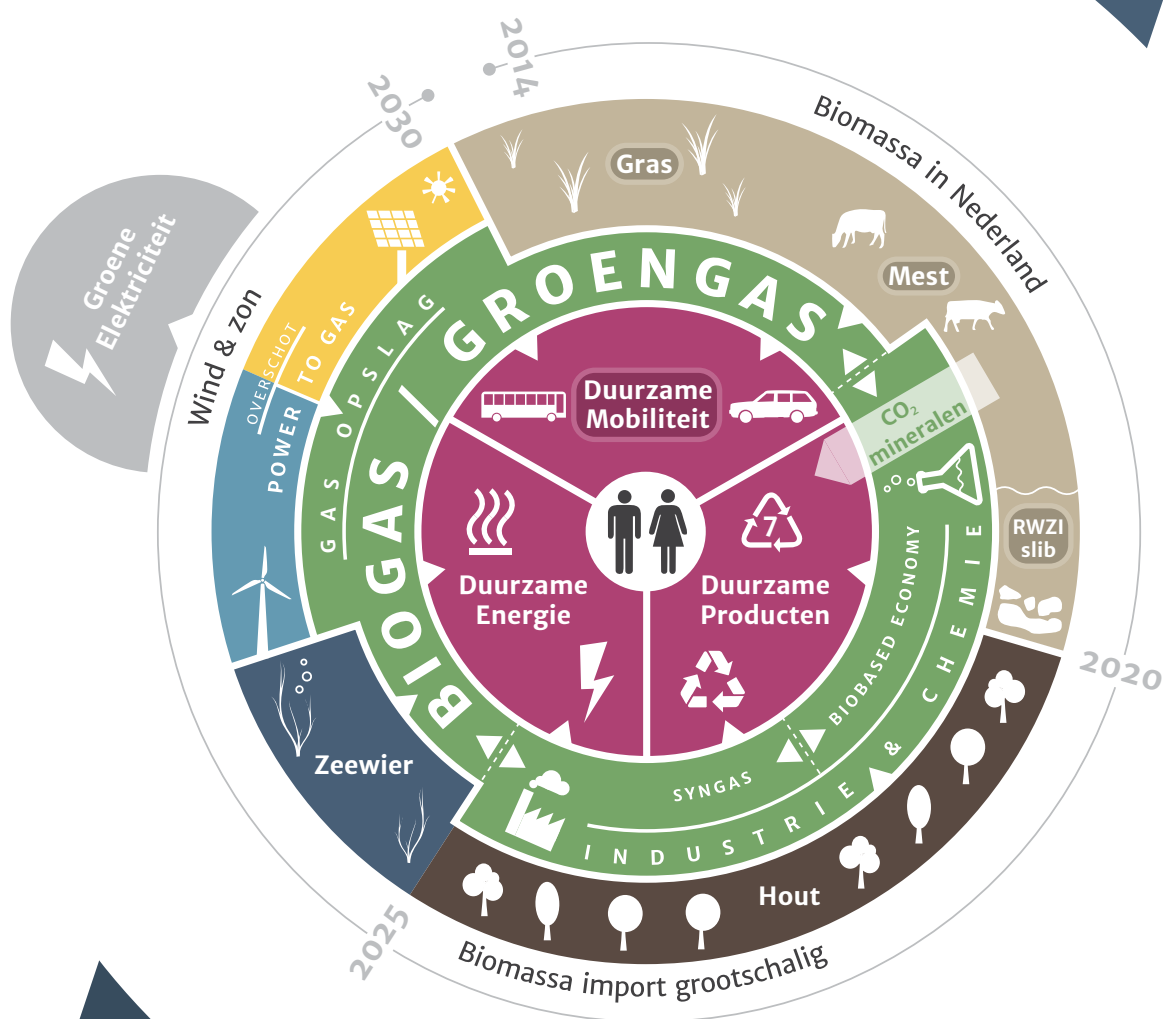


Routekaart hernieuwbaar gas



Groen Gas Forum
Green Gas Green Deal (deal 33)

Juni 2014

Routekaart hernieuwbaar gas

Deze routekaart is opgesteld door De Gemeynt, ECN en Groen Gas Nederland, RVO.nl en in opdracht van het Groen Gas Forum. Bij de samenstelling van de Routekaart heeft een groot aantal partijen uit de hernieuwbare gasketen waardevolle informatie geleverd.

Bijdragen:

De Gemeynt: Jan Paul van Soest (projectleiding), Hans Wiltink, Heleen van Soest.

ECN: Eppe Luken, Marc Londo, Hamid Mozaffarian.

Groen Gas Nederland: Har van Himbergen, Ron van Dorp, Xander van Mechelen.

RVO: Mathieu Dumont, René Wismeijer.

Juni 2014

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	5
Voorwoord	9
Samenvatting	11
1 Inleiding	11
2 Aanbod, vergisting	11
3 Afzet, vraag	12
4 Acties en maatregelen	13
Vergisting	13
Vergassing	14
5 Lange termijn	14
Innovatie	15
6 Leeswijzer	15
1. Routekaart – Inleiding	17
1.1 Opdracht en reikwijdte	17
1.2 Groen gas-ketens: hoofdroutes	18
2. Routekaart – Vergisting	19
2.1 Internationale ontwikkelingen	19
2.2 Potentiëlen	15
2.3 Kosten	21
2.4 Toepassingen	22
3. Routekaart – Acties Vergisting	25
3.1 Algemeen	25
3.2 Acties korte termijn: nu-2020	26
3.3 Acties middellange termijn: 2020-2030	27
4. Routekaart – Vergassing	28
4.1 Mogelijke hoofdroutes	28
4.2 Acties	29
4.3 Power-to-Gas	30

5. Routekaart – Hernieuwbaar ga na 2030	31
5.1 Rollen voor gasvormige energiedragers	31
5.2 Toepassingsgebieden gassen	32
5.3 Innovatieagenda	32
 1. Achtergrondrapport – Inleiding	 35
1.1 De Routekaart hernieuwbaar gas	35
<i>Opdracht en reikwijdte</i>	35
1.2 Groen gas-ketens: hoofdroutes	36
<i>Overeenkomsten en verschillen</i>	36
<i>Hoofdroutes</i>	37
1.3 Analyse kader en opzet rapport	38
 2. Achtergrondrapport – Vergisting nu-2030	 40
2.1 Inleiding en internationale ontwikkelingen	40
2.2 Potentiëlen	42
2.3 Ketens: van grondstof tot producten en markten	43
<i>Conversieroutes</i>	43
<i>Infrastructuur</i>	44
<i>Toepassingen: marktsegmenten en groenwaarde</i>	45
2.4 Kosten	46
2.5 Potentiëlen per afzetroute	48
 3. Achtergrondrapport – Acties Vergisting	 49
3.1 Algemeen	49
3.2 Bepalende factoren	49
3.3 Sleutelacties	51
<i>Shortlist en longlist</i>	51
<i>Acties korte termijn: nu-2020</i>	51
<i>Acties middellange termijn: 2020-2030</i>	52
 4. Achtergrondrapport – Vergassing en Power-to-Gas	 54
4.1 Stand van zaken en keuzes vergassing	54
<i>Inleiding</i>	54
<i>Redenen voor vergassing</i>	54
<i>Vergassing in de routekaart</i>	55
4.2 Hoofdroutes	57
<i>Biomassa -> productgas/syngas</i>	57
<i>Biomassa -> energie</i>	58
<i>Biomassa -> groen gas</i>	59

4.3	Strategie	59
	<i>Driefasenstrategie</i>	59
	<i>Fase 1 (nu–2020)</i>	60
	<i>Fase 2 (2020–2025)</i>	61
	<i>Fase 3 (2025–2030)</i>	63
	<i>Stappenplan vergassing samengevat</i>	65
4.4	Power-to-Gas	66
5.	Achtergrondrapport – Langetermijnperspectief	68
5.1	Blijvende rollen voor gas(sen)	68
5.2	Contouren van een langetermijnvisie	69
5.3	Groenwaarde en flexibiliteit: 2025–2030 en verder	72
	Literatuurlijst	75
1.	Bijlagen – Biogaspotentieel vergisting Nederland	79
1.1	Inleiding	79
1.2	Biogaspotentieel uit vergisting	79
1.3	Ontwikkeling in het aantal installaties	80
1.4	Maximumpotentieel per afzetroute	81
1.5	Data	82
	<i>Biogaspotentieel per type biomassa</i>	82
	<i>Maximum potentieel per afzetroute</i>	83
1.6	Onderbouwing potentieel per type biomassa	85
	<i>Methode</i>	85
	<i>Gft</i>	86
	<i>Rundermest</i>	86
	<i>Varkensmest</i>	87
	<i>Kippenmest</i>	89
	<i>Energiegewassen</i>	89
	<i>VGI</i>	90
	<i>RWZI</i>	91
	<i>AWZI</i>	91
	<i>Gras</i>	92
	<i>Stortgas</i>	93
	<i>Zeewier</i>	93
2.	Bijlagen – Acties	95
2.1	Shortlist	95
2.2	Longlist	96
	<i>Nu–2020</i>	96
	<i>2020–2030</i>	98
	<i>Na 2030</i>	100
2.3	Bronnen voor de actielijsten	100

Voorwoord

Op 3 oktober 2011 is de Groen Gas Green Deal ondertekend door het ministerie van Economische Zaken en 25 partijen verenigd in het Groen Gas Forum. De Groen Gas Green Deal richt zich op de ontwikkeling van de groengasmarkt op de middellange termijn. Daarbij wordt nadrukkelijk ingezet op schaalvergroting van vergisting, innovatieve technologie zoals biomassavergassing en onderzoek en ontwikkeling. De ondertekenaars van de Deal hebben in de hoedanigheid van het Groen Gas Forum de regievoering over de groengasketens op zich genomen.

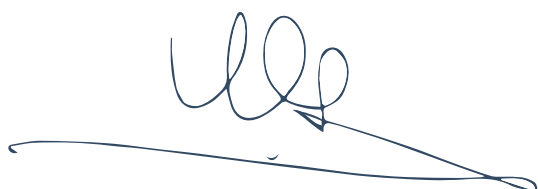
Alle afspraken uit de Green Deal zijn belegd bij partners als Groen Gas Nederland, TKI Gas – als onderdeel van de Topsector Energie – en door marktpartijen, al dan niet vertegenwoordigd in het Groen Gas Forum.

Inmiddels zijn de nodige resultaten bereikt. Zo zijn er de initiatieven voor grootschalige uitrol van monomestvergisting op boerderijschaal en initiatieven in de richting van biomassastromen als gras. En de invoedvoorwaarden voor groen gas worden in een ministeriële regeling vastgelegd.

Om het perspectief te schetsen voor de potentie van hernieuwbaar gas in het tijdvak 2014–2020 en 2020–2030 heeft het Groen Gas Forum een *Routekaart hernieuwbaar gas* opgesteld zoals was afgesproken in de Green Deal.

Deze Routekaart beschrijft de perspectieven voor hernieuwbaar gas uit vergisting en vergassing en analyseert daarbij ook welke grondstoffen beschikbaar zullen of kunnen komen voor hernieuwbaar gas en op welke wijze de producten in de economie en het energiesysteem kunnen worden ingezet.

Ulco Vermeulen

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized loops and a long horizontal stroke at the bottom.

Voorzitter Groen Gas Forum

Samenvatting

1 Inleiding

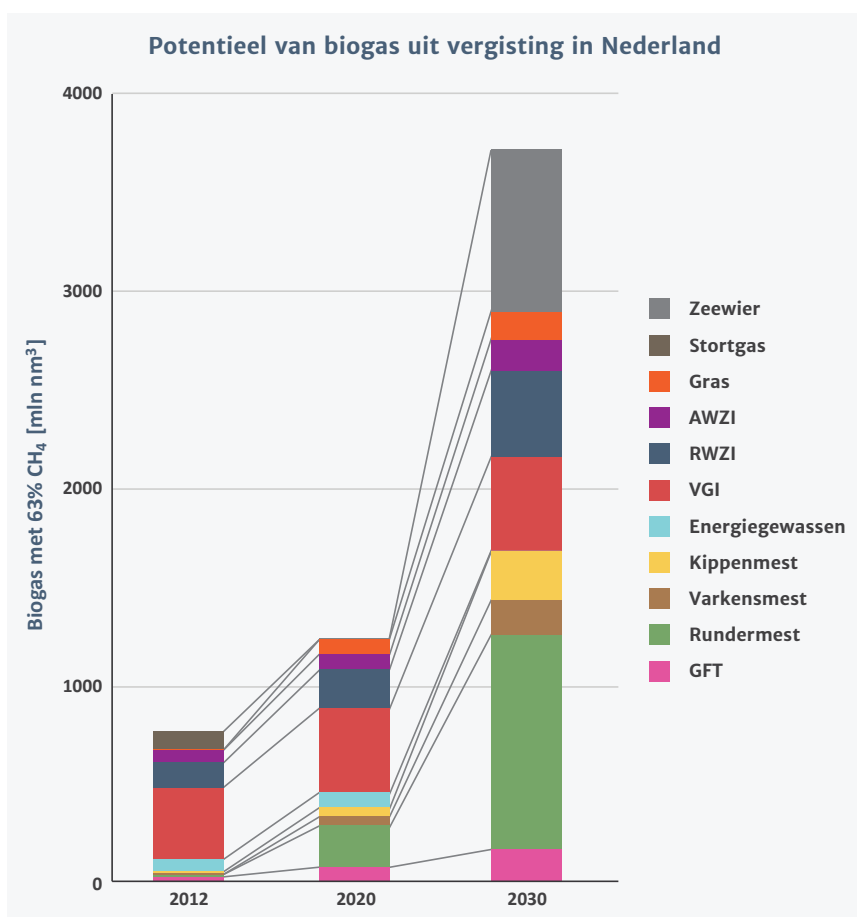
De Routekaart *hernieuwbaar gas* brengt in beeld welke perspectieven er in de tijd zijn voor het produceren van biogas, groen gas (aardgaskwaliteit) uit biomassa, via vergisting en vergassing, en welke acties nodig zijn om dit potentieel daadwerkelijk te realiseren. Op termijn kan ook ‘nieuw gas’ (waterstof en methaan) geproduceerd met behulp van hernieuwbare elektriciteit een rol spelen. Vandaar de overkoepelende term ‘hernieuwbaar gas’, voor het hele gamma aan gasvormige (inclusief gecompriëerde en vloeibaar gemaakte) energiedragers.

De belangrijkste bevindingen volgen hieronder.

2 Aanbod, vergisting

Voor vergisting wordt een groeiend potentieel voorzien, doordat de inzet van enkele vergistbare (natte) reststromen sterk kan gaan toenemen:

- Mest, in het bijzonder rundermest door veranderende marktomstandigheden en regelgeving; daarnaast varkens- en kippenmest.
- Zuiveringsslib.
- Gras.
- Tegen 2030 kan een extra biomassa-stroom worden geteeld: zeewier.



Uit vergisting kan in 2020 ca. 1,2 miljard m³ biogas worden verkregen, oftewel 0,75 miljard m³ aardgasequivalent (1 m³ biogas levert 0,63 m³ aardgasequivalent). In 2030 kan ca. 3,7 miljard m³ biogas worden verkregen, oftewel 2,2 miljard m³ aardgasequivalent. Daarmee kan vergisting in potentie ongeveer driekwart van de ambitie die in de Groen Gas Green Deal is neergelegd (3 miljard m³ aardgasequivalent in 2030) invullen.

De totale energie-inhoud van het potentieel aan biogas in 2020 is circa 25 PJ. Afhankelijk van de gekozen conversieroutes telt dit voor circa 15–20 PJ mee in de hernieuwbare energiedoelstelling (in bruto eindverbruik) van 14% in 2020. Daarmee kan biogas dus een bijdrage leveren van tussen 5 en 7% van de hernieuwbare energiedoelstelling in 2020, met snel toenemende bijdragen tussen 2020 en 2030.

3 Afzet, vraag

Productie en gebruik van biogas kent *maatschappelijke voordelen* (verwerking reststromen, emissiereducties, energieonafhankelijkheid), maar strikt financieel-economisch blijft hernieuwbaar gas duurder dan fossiel. Om groen gas ingezet te krijgen zal de samenleving ‘linksom of rechtsom’ het verschil moeten overbruggen door (een mix van) beprijzing van fossiel, stimulering van niet-fossiel en/of regulering van deelmarkten (quota, verplichtingen).

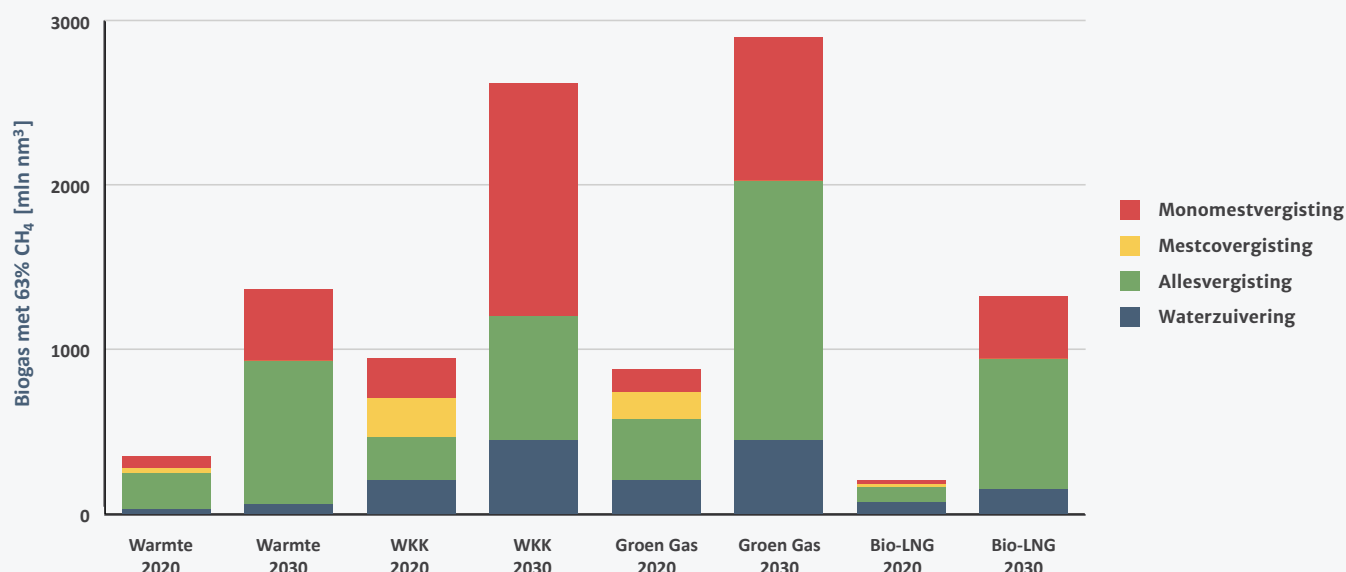
Naast de aanwezigheid en hoogte van overheidsstimulering zijn de specifieke mogelijkheden op een locatie bepalend voor de huidige inzet (routekeuze) van biogas in de vorm van warmteproductie, warmtekrachtkoppeling, inzet in het gasnet of als bio-CNG of bio-LNG voor de mobiliteit:

- Directe levering van biogas voor warmte heeft de laagste onrendabele top. Het nadeel hiervan is de beperkte flexibiliteit: het aantal plekken waar een biogasproducent gekoppeld kan worden aan een stabiele, gegarandeerde warmtevraag is beperkt.
- Invoeding in het aardgasnet geeft wat meer zekerheid.
- In de mobiliteit zijn de alternatieven voor ‘vergroening’ beperkt, en zijn er mogelijkheden de ‘groenwaarde’ van niet-fossiele methaan te verzilveren in de vorm van bio-CNG en bio-LNG.

Al met al lijkt de transportsector op termijn de interessantste afzetroute, die ook qua vraag mee kan groeien met de stijgende biogasproductie. Inzet in het aardgasnet en warmtekrachtkoppeling, waar lokaal mogelijk, zijn robuuste alternatieven.

De grafiek op bladzijde 13 geeft een inschatting van het maximum-potentieel van de verschillende afzetroutes voor biogas uit vergisting in 2020 en 2030. Hierbij is rekening gehouden met de specifieke kenmerken (zoals schaal en locatie) van het type vergisting en van de afzetroute.

Maximum potentieel per afzetroute voor biogas uit vergisting in Nederland



4 Acties en maatregelen

Vergisting

Deze potentiën zullen niet vanzelf worden gerealiseerd. Daarvoor zijn acties en maatregelen nodig. De belangrijkste zijn:

- Actie 1: Lanceer als overheid en sector een gezamenlijk programma om monomestvergisting van de grond te krijgen.
- Actie 2: Maak de inzet van biogas meer flexibel in de SDE+, waarbij de afzetroute tijdens de looptijd van een project moet kunnen veranderen.
- Actie 3: Zorg dat hoogwaardige benutting van biomassa wordt gestimuleerd in (overheids) aanbestedingen voor afvalverwerking en bermbeheer.
- Actie 4: Organiseer en professionaliseer markt en sector. De sector is nu teveel versnipperd. Maak gebruik van kennis en ervaring in andere landen.
- Actie 5: Werk systematisch aan (financiële) waardering van maatschappelijke baten van biogas.
- Actie 6: Werk een samenhangend plan voor een groen 'level playing field' mobiliteit uit dat de maatschappelijke baten van groen gas-mobiliteit (op basis van *well-to-wheel*) op een vergelijkbare wijze beloont als andere opties.
- Actie 7: Blijf nieuwe grondstofstromen en technologie ontwikkelen om het groen gaspotentieel te vergroten.

Vergassing

Voor vergassing is een verdere technologieontwikkeling nodig voordat van een substantieel aandeel gas uit vergassing sprake kan zijn.

- Actie 8: Ontwikkel vergassing in een drietrapsstrategie:
 - Nu-2020: technologieontwikkeling: bewijs levensvatbaarheid en relevantie van verschillende vergassingsopties; rol voor TKI Gas.
 - 2020-2025: marktontwikkeling: creatie van nichemarkten; markt en overheid in samenwerking.
 - 2025-2030: commerciële uitrol: marktpartijen aan zet binnen heldere beleidskaders.

Gegeven de stand der techniek is de bijdrage uit vergassing kwantitatief nog niet goed in te schatten.

Gezien de benodigde verdere techniekontwikkeling hoeft de keuze voor een route nu nog niet te worden gemaakt. Maar voor het uitstippelen van afzetroutes voor gas uit vergassing is het op voorhand te overwegen *niet primair* op methanisering/invoeding in aardgassysteem te mikken, maar op substitutie van aardgas waar relevant en mogelijk (syngas, feedstock).

5 Lange termijn

Gasvormige energiedragers kunnen op langere termijn een rol spelen in een verduurzamende energiehuishouding:

- Hernieuwbare, groene gasen in de aardgasmix: op basis van deze routekaart kan in 2030 zo'n 3,7 miljard m³ biogas (2,2 miljard m³ aardgasequivalent groen gas) per jaar worden geproduceerd op basis van vergisting.
- Systeemfunctie, opslag, flexibiliteit: gas is snel bij te regelen en de opslag- en transportkosten van gas per energie-eenheid c.q. per energie-eenheid per kilometer zijn relatief laag. Flexibiliteit wordt in toenemende mate nodig om het wisselende aanbod van zon en wind als hernieuwbare bronnen op te vangen.
- Verbijzondering daarvan: elektriciteit uit zon en wind kan, op momenten dat het aanbod hoger is dan de vraag, worden omgezet in waterstofgas. Dit waterstofgas kan in het gassysteem worden bijgemengd of rechtstreeks in industriële of mobiliteitstoepassingen worden ingezet. Een andere veelbelovende mogelijkheid is Power-to-Gas: de omzetting van waterstof samen met (niet-fossiele) CO₂ in methaan.
- Daarnaast grenzen ontwikkelingen in Groen Gas aan de biobased economy: inzet van biogeen (niet-fossiel) koolstof als grondstof. Idealiter wordt niet-fossiel koolstof bij voorkeur hoog in de waardeketen ingezet; na 'cascadering' (af dalen van de gebruiksladder naar lagere niveaus) is energetisch gebruik nog mogelijk. Omgekeerd kan Groen Gas een (financiële) drager zijn om toe te werken naar hogere sporten op de ladder.

Deze mogelijkheden geven aanleiding tot:

- Actie 9: Ontwikkel een gedeeld perspectief op een logische rol voor gasvormige energiedragers in een energiehuishouding die verregaande CO₂-emissiereductie nastreeft; dat is gewenst om de huidige onderzoeks-, ontwikkel- en investeringsinspanningen zicht te geven op blijvende waarde.

Innovatie

Hernieuwbaar gas bevindt zich op het grensvlak van energie en biobased economy. Een continu innovatieprogramma dat zich richt op zowel de korte (mestvergisting, opwaardering) als middellange termijn (superkritische vergassing, zeewier, bioraffinage) is daarbij cruciaal. TKI Gas en TKI Biobased Economy zijn de aangewezen partijen om dit in nauwe afstemming vorm te geven. TKI Gas en TKI Biobased Economy hebben, buiten de stimulering van technologieontwikkeling, een belangrijke functie in het verbeteren van de kosteneffectiviteit.

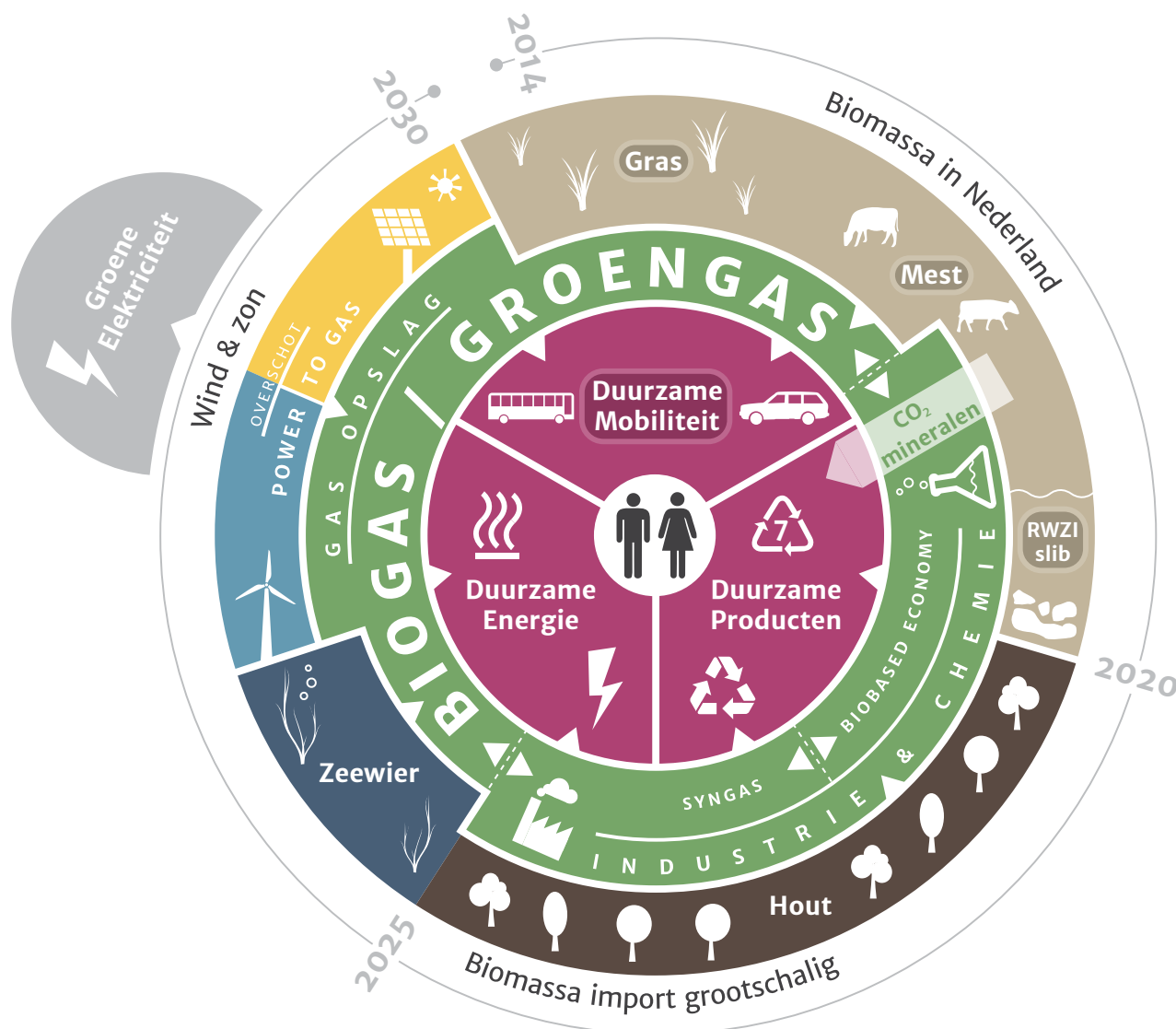
- Actie 10: Stel op basis van de routekaart een robuuste innovatieagenda op die programmatisch wordt gevolgd en eens in de paar jaar op basis van geconstateerde feiten up-to-date wordt gemaakt.

6 Leeswijzer

De *Routekaart hernieuwbaar gas* bestaat uit deze samenvatting en een compact hoofdrapport dat hierna volgt. Daarnaast is een uitgebreid achtergrondrapport met bijlagen gemaakt, dat integraal in deze uitgave is opgenomen. Om dit achtergrondrapport ook afzonderlijk leesbaar te maken, zijn per hoofdstuk telkens inleidende passages uit het hoofdrapport opgenomen. De literatuurlijst is de basis voor zowel het hoofdrapport als het achtergrondrapport.

Hernieuwbaar gas

De schakel tussen laagwaardige grondstoffen en hoogwaardige toepassingen



Hoofdpunten Routekaart

Biogas kan in 2020 ca. 5-7% van de duurzame energiedoelstelling realiseren (ca. 15-20 PJ bruto eindverbruik)

Het potentieel voor biogas uit vergisting is:

- 2020: 1,2 miljard m³ biogas
- 2030: 3,7 miljard m³ biogas

Acties korte termijn

Inzetten op:

- Mest, gras, RWZI-slib
- Level playing field voor mobiliteit
- Innovatieprogramma o.a (superkritische) vergassing en Power-to-Gas

Versterken van ketenregie: krachtenbundeling van huidige organisaties en voortzetting PPS-aanpak

Perspectief voor 2030

Belangrijke rol van groen gas in Power-to-Gas en biobased economy

Bij sterke groei van de biobased economy blijft het biogaspotentieel overeind

1.1 Opdracht en reikwijdte

De *Routekaart hernieuwbaar gas* is onderdeel van de Groen Gas Green Deal, een gezamenlijk initiatief van marktpartijen en overheid met als doel het stimuleren van de productie van groen gas in Nederland. De routekaart heeft tot doel een kader te bieden voor de activiteiten in het kader van de Green Deal en daarmee ook een basis te bieden voor richtinggevende keuzes door de samenwerkende partners in de Green Deal.

De routekaart is opgesteld door een projectteam van De Gemeyn (penvoering), ECN en Groen Gas Nederland, met medewerking van RVO. De routekaart is gebaseerd op literatuuranalyse en inbreng van en gesprekken met betrokken belangenpartijen en experts onder regie van De Gemeyn. De onderbouwende inschattingen en berekeningen zijn gedaan door Groen Gas Nederland en ECN.

De routekaart heeft betrekking op alle gasvormige energiedragers van niet-fossiele oorsprong. Deze kunnen worden verkregen door vergisting (natte biomassa(rest)stromen) en vergassing (droge biomassa). Op termijn zijn ook productie van waterstof en eventueel methaan (na reactie van waterstof met CO_2 uit vergisting) met behulp van duurzame elektriciteit denkbaar: Power-to-Gas (P2G).

Als overkoepelende term gebruiken we ‘hernieuwbaar gas’; maar gemakshalve én omdat het accent in deze routekaart ligt op gasen met biogene (niet-fossiele) koolstof zal veelal de term Groen Gas gebruikt blijven worden. Waar specifiek biogas (‘ruw’ gas verkregen door vergisting), syngas of stookgas (verkregen door vergassing), dan wel groen gas (aardgaskwaliteit) wordt bedoeld, zal dit expliciet worden vermeld.

Terminologie

- Biogas: ongezuiverd gasmengsel verkregen uit vergisting, bevat ca. 55–50% methaan (CH_4), en verder hoofdzakelijk CO_2 en H_2O , en sporen van andere componenten waaronder H_2S .
- Syngas of productgas: ongezuiverd gasmengsel verkregen uit vergassing, bevat hoofdzakelijk waterstof (H_2) en koolmonoxide (CO).
- groen gas (met kleine letters): tot aardgaskwaliteit (Groningengas) opgewerkt biogas of syngas.
- Power-to-Gas (P2G): gasen verkregen met behulp van elektriciteit (power), met name:
 - Waterstofgas (H_2) door elektrolyse van water.
 - Methaan (CH_4), waarbij H_2 is gemethaniseerd met behulp van CO_2 . (Dit is overigens alleen maar ‘hernieuwbaar’ of ‘klimaatneutraal’ te noemen als niet alleen de elektriciteit, maar ook de CO_2 voor methanisering uit hernieuwbare bronnen afkomstig is.)
- Hernieuwbaar gas of ook wel Groen Gas (met hoofdletters): verzamelbegrip voor alle niet-fossiele gasen.

Hernieuwbare grondstoffen en daaruit te winnen gassen kunnen zowel een rol spelen in het energiesysteem als in de biobased economy. Dat maakt routeplanning lastig, maar juist in de multi-inzetbaarheid van (hernieuwbare) gassen liggen de kansen.

1.2 Groen gas-ketens: hoofdroutes

Uitgangspunt bij het ontwikkelen van de routekaart is de gezamenlijke ambitie om 3 miljard m³ groen gas in 2030 te realiseren.

De hoofdroutes vergisting en vergassing hebben elk een eigen benadering nodig.

De primaire *driver* voor het verder ontwikkelen van vergistingsketens is dat er reststromen zijn die nu eenmaal moeten worden verwerkt; dan is energetische benutting als biogas met mogelijke verdere opwerking tot groen gas een waardevolle route.

De primaire *driver* voor het ontwikkelen van vergassingsketens is te zoeken in een mix van:

- Industrie/technologiebeleid: ontwikkeling Nederlands cluster van bedrijven en kennis rond vergassingstechnologie, en;
- Energie/verduurzamingsbeleid: in potentie een omvangrijke bijdrage aan de duurzame energie- en grondstoffenhuishouding via een energiedrager (gas) die goed past bij de Nederlandse energie-infrastructuur.

Dit leidt tot twee verschillende hoofdroutes, die een verschillende ontwikkeling kennen:

- 1 Bij ketens 'natte biomassa(rest)stromen – conversie: vergisting – infra/transport – toepassing' gaat het vooral om uitrol en doorontwikkeling waarmee snel groeiende tot nu toe nog niet volledig benutte reststromen in biogas/groen gas kunnen worden omgezet: mest (met name rundermest), gras en zuiveringsslib, en op termijn zeewier. Om dit mogelijk te maken is van belang goede markt- en beleidscondities te scheppen.
- 2 Bij de ketens 'droge biomassastromen – conversie: vergassing – infra/transport – toepassing' gaat het in de eerstkomende ca. 10 jaar vooral om technologieontwikkeling. Groen gas uit vergassing (als syngas of na verdere opwerking tot methaan) zal pas in de tweede helft van de jaren twintig aan de doelstelling gaan bijdragen.

Een relatief nieuwe technologie, *superkritische (water)vergassing*, staat tussen deze hoofdroutes in: hoogefficiënte vergassing van natte biomassastromen.

Bij superkritische vergassing wordt zeer natte biomassa (drijfmest, RWZI-slib) onder superkritische condities (in water boven 300 bar en 400 °C) ontleed in methaan, mineralen en verschillende restproducten. In de routekaart is met mogelijke opbrengstverhogingen bij succesvolle introductie van superkritische vergassing echter nog niet gerekend omdat de technologie zich eerst moet bewijzen (fase op dit moment: prototype).

2.1 Internationale ontwikkelingen

Nederland doet internationaal mee in de frontlinie op het gebied van Groen Gas en is actief in verschillende internationale projecten. Meer informatie is te vinden op de projectwebsite www.greengasgrids.eu. Internationale ontwikkelingen zijn goed beschreven door het International Energy Agency (Bioenergy Task 37: www.iea-biogas.net).

Tabel 1. geeft een samenvattend overzicht per land van het aantal projecten, de stimuleringsregelingen, de vraag of een specifieke rol voor netbalancing is benoemd, en de motieven voor actie en de daarbij aansluitende wettelijke regelingen.

Tabel 1. Overzicht vergistingsmaatregelen in enkele Europese landen

Land	Aantal projecten	Stimulering	Rol netbalancing	Motieven, wettelijke regelingen
Duitsland	> 100	Feed-in subsidie voor uiteindelijk geproduceerde elektriciteit via WKK.	Ja	Algemeen: Energiewende. Productiedoelstelling 2020: 6 miljard Nm ³ . Wet: Gereguleerde gasnettoegang via GasNetzZugangsVerordnung.
Zweden	30-40	Fiscale maatregelen	Nee	Toepassing met name in mobiliteit.
Oostenrijk	20-30	Feed-in subsidie	Nee	Belangrijkste toepassing: mobiliteit.
Zwitserland	20-30	Certificatenhandel	Nee	Belangrijkste toepassing: mobiliteit.
Denemarken	10	Feed-in subsidie	Ja	Klimaatbeleid: 50% mest via vergister in 2020 ter beperking CH ₄ -emissies uit mestopslagen; sterke groei verwacht.
Verenigd Koninkrijk	10	Feed-in subsidie	Nee	Sterke groei verwacht; drive voor toepassing in zwaar transport.
Frankrijk	3	Feed-in subsidie	Nee	Sterke groei verwacht vanaf introductie subsidie in 2013.
Italië	0	Feed-in subsidie	Nee	Sterke groei verwacht vanaf introductie subsidie in 2013.

2.2 Potentiëlen

Door de aard van het proces (biologisch: bacteriën) is het mogelijk via vergisting energie te winnen uit (rest)stromen die voor andere, hoogwaardiger toepassingen niet of nauwelijks nog inzetbaar zijn. Daarom is hier gekeken naar de *potentiëlen* van de verschillende stromen: nu, 2020 en 2030: wat is er maximaal beschikbaar voor vergisting en wat levert dat aan biogas/groen gas, tegen welke kosten? De ontwikkeling van de potentiëlen tussen nu en 2020 en van 2020 tot 2030 wordt ingeschat in **Figuur 1**.

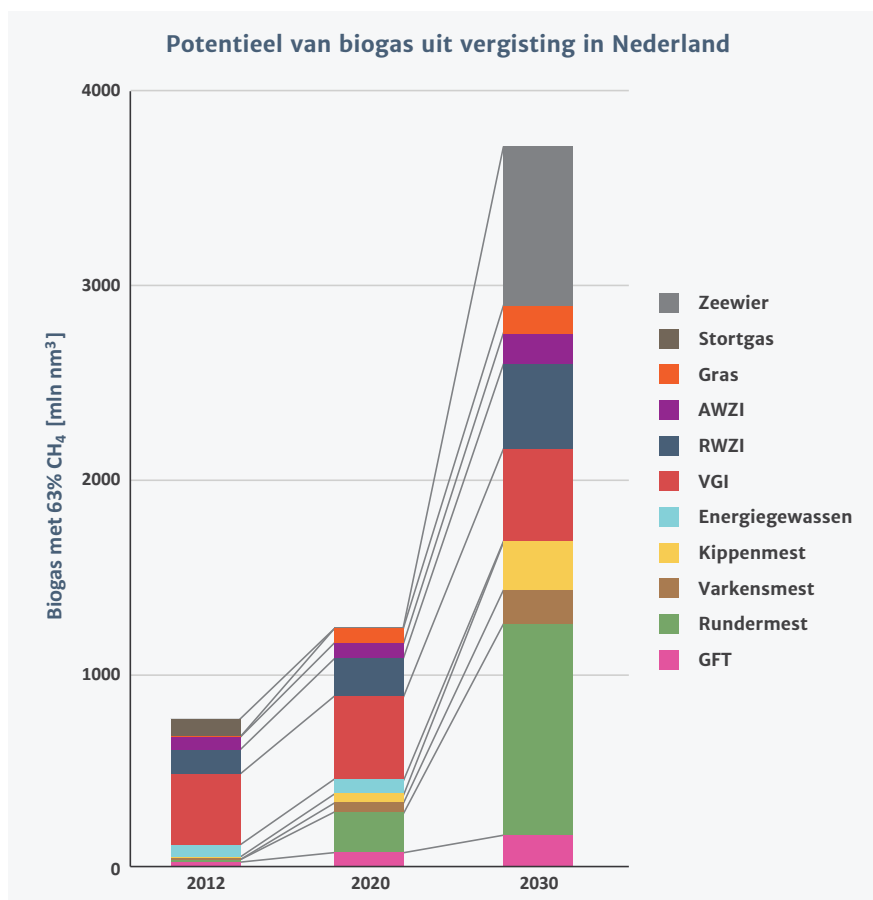
Mest, slib en gras zijn dé grondstoffen voor vergisting in de komende 15 jaar.

Groei is vooral te verwachten in de benutbaarheid van mest, hoofdzakelijk rundermest en in mindere mate varkens- en kippenmest. De verwachting is dat het aandeel rundermest zal groeien

als gevolg van het wegvallen van belemmeringen op de melkproductie en de veranderende landbouw- en mineralenwetgeving. Daarnaast wordt enige groei in vergistbare stromen verwacht uit de rioolwaterzuivering (RWZI) en gras.

In 2020–2030 kan aan de reststromen een te telen stroom worden toegevoegd: zeewier. Dat brengt het potentieel in 2030 inclusief zeewier op 3,7 miljard m³ biogas, oftewel 2,2 miljard m³ aardgasequivalent (uit 1 m³ biogas kan ca. 0,63 m³ aardgaskwaliteit worden gewonnen). Dit is ongeveer 75 PJ.

Vergisting kan zo voor bijna driekwart in de ambities van de Groen Gas Green Deal (3 miljard m³ aardgasequivalent in 2030) voorzien. Of dat potentieel zal worden ingezet voor energiedoeleinden zal afhangen van de economie van vergisting, maar ook van de concurrerende toepassingen. Zo zullen mogelijkheden om deelstromen in te zetten voor de biobased economy (chemicaliën, materialen) een hogere toegevoegde waarde hebben. Daarmee gaat die inzet in eerste instantie af van de potentiële inzet voor vergisting. Echter, na inzet en meermalige benutting in de biobased economy, zal het vaak mogelijk zijn die stromen alsnog energetisch te benutten.



Figuur 1. Ontwikkeling potentiële vergistbare grondstoffen

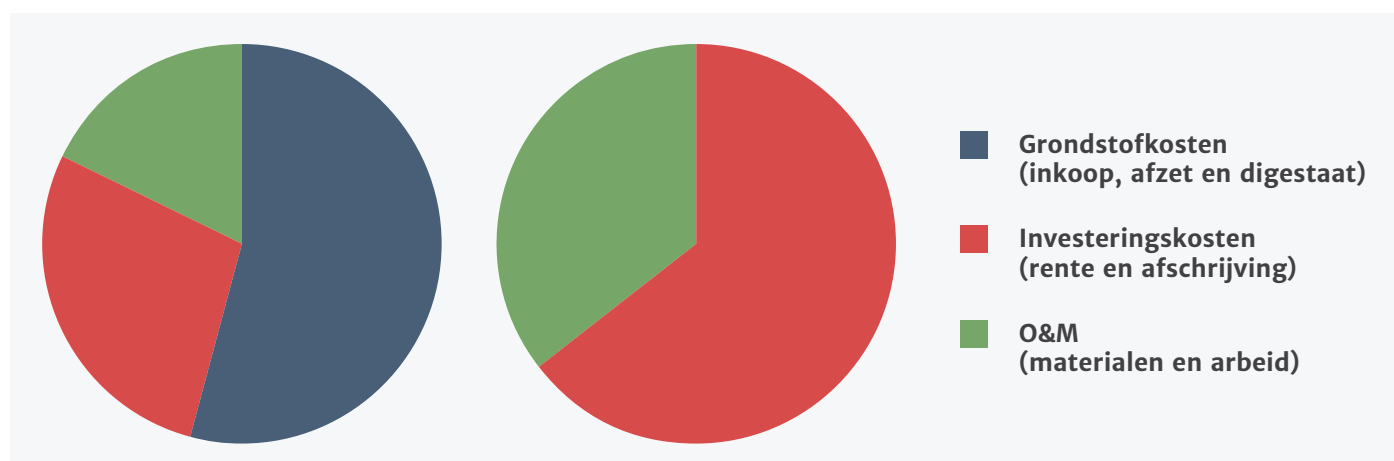
Wanneer er om maatschappelijke of beleidsredenen beperkingen aan de inzet van deelstromen worden opgelegd, gaat dat uiteraard eveneens rechtstreeks van dat deelpotentieel af. De routekaart doet geen uitspraken over de maatschappelijke of politieke wenselijkheid van deze beperkingen.

2.3 Kosten

Zonder structurele ingrepen in de markt is en blijft de productie van biogas duurder dan de productie van aardgas. De overwegingen om toch op biogas in te zetten, komen voort uit maatschappelijke ambities rond klimaat en duurzame energie. Om de potentiëlen te realiseren zullen de meerkosten, dwz. de ‘onrendabele top’ (ORT), voor het realiseren van die ambities maatschappelijk gewaardeerd moeten worden. Dat kan door regulering/voorschriften die de inzet van biogas afdwingen, dan wel door financiële regelingen die de gerealiseerde CO₂- en CH₄-reductie, de mestverwerking en het gebruik van mineralen een waarde geven.

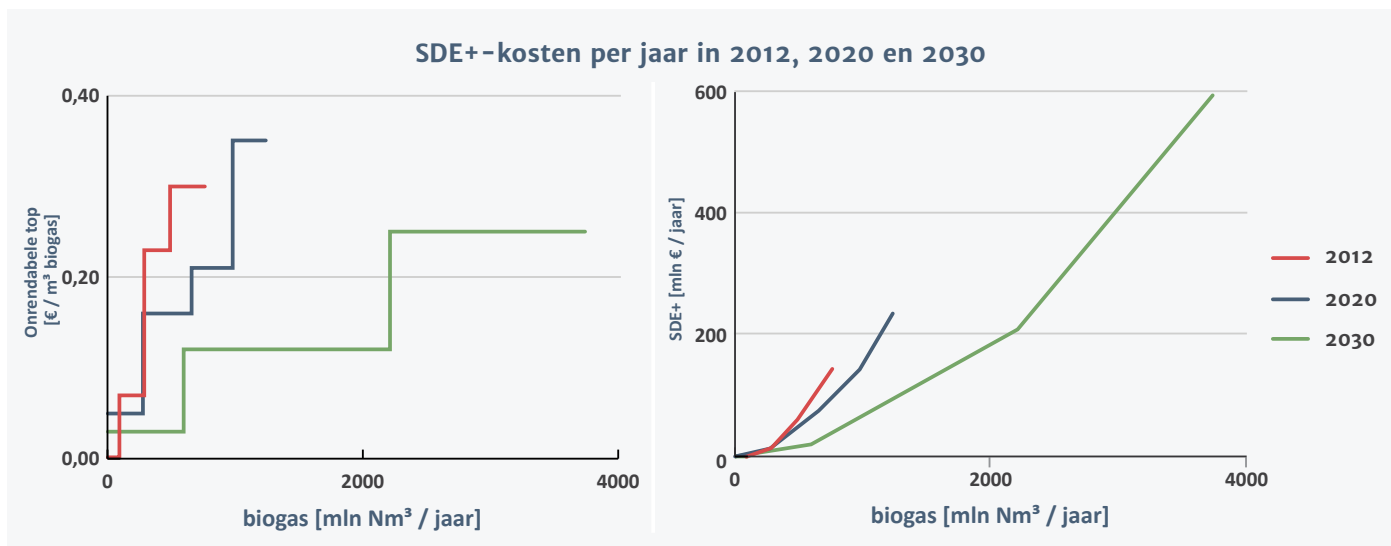
Door gerichte inspanningen is de ‘onrendabele top’ van vergisting sterk te reduceren

De kostprijsopbouw van biogasproductie kan sterk verschillen tussen de opties en afzetroutes. Dit wordt geïllustreerd door **Figuur 2.**, waar de indicatieve kostprijsopbouw van covergisting en monomestvergisting met elkaar worden vergeleken.



Figuur 2. Relatieve aandelen van grondstofkosten, investeringskosten en O&M-kosten in groengasproductie uit covergisting (links) en mestmonovergisting (rechts). Gebaseerd op basisbedragen SDE 2014 (Lensink 2013b)

Figuur 2. laat zien dat de grootste uitdaging bij mestcovergisting ligt in het verlagen van de kosten van de grondstof (inclusief afvoerkosten van digestaat). Logische acties hiervoor zijn het zoeken naar goedkopere substraten (zoals berm- en beheersgras) en digestaatverwaarding. Voor monomestvergisting moet het vooral komen van een reductie in de investeringskosten, en mogelijk ook van digestaatverwaarding. Een uitvoerigere analyse van deze kostprijsopbouw gecombineerd met een analyse van de mogelijke verdiensten per technologie kan helpen bij het verbeteren van de businesscase van vergistingsprojecten en een doelmatige inzet van R&D-middelen.



Figuur 3. Onrendabele top (ORT) in 2020 en 2030; marginaal (links) en cumulatief (rechts)

Figuur 3. raamt de onrendabele top voor 2020 en 2030. Basis daarvoor is een kostenreductie door ontwikkeling van technologie, logistiek, infrastructuur en opbrengstverhoging en financiële waardering van (tussen)producten van 30% respectievelijk 50%. Per m³ daalt de marginale ORT (de meerkosten voor de duurste in te zetten grondstofvergisting: monomestvergisting) van ca. € 0,35/m³ in 2020 naar ca. € 0,25/m³ in 2030.

Cumulatief is om het hele potentieel van jaarlijks 3,7 miljard m³ biogas in 2030 te realiseren dan € 600 miljoen/jaar overbrugging van de ORT nodig. In 2020 gaat het om ca. € 230 miljoen/jaar.

Van belang is op te merken dat hier sprake is van een technologie die voor een belangrijk deel de methaanemissie van dierlijke mest in de atmosfeer voorkomt. Vanuit maatschappelijk gezichtspunt scoort de bijdrage aan vermeden broeikaseffect goed. Vergisting is en blijft een manier om dierlijke mest te verwerken, waarbij als nuttig bijproduct biogas wordt gevormd. Financiering van de ORT is dan ook te zien als een bijdrage aan het oplossen van een toenemend mestverwerkingsvraagstuk.

2.4 Toepassingen

Het via vergisting verkregen biogas, hoofdzakelijk methaan (CH_4) en CO_2 , kan via verschillende routes worden *benut*:

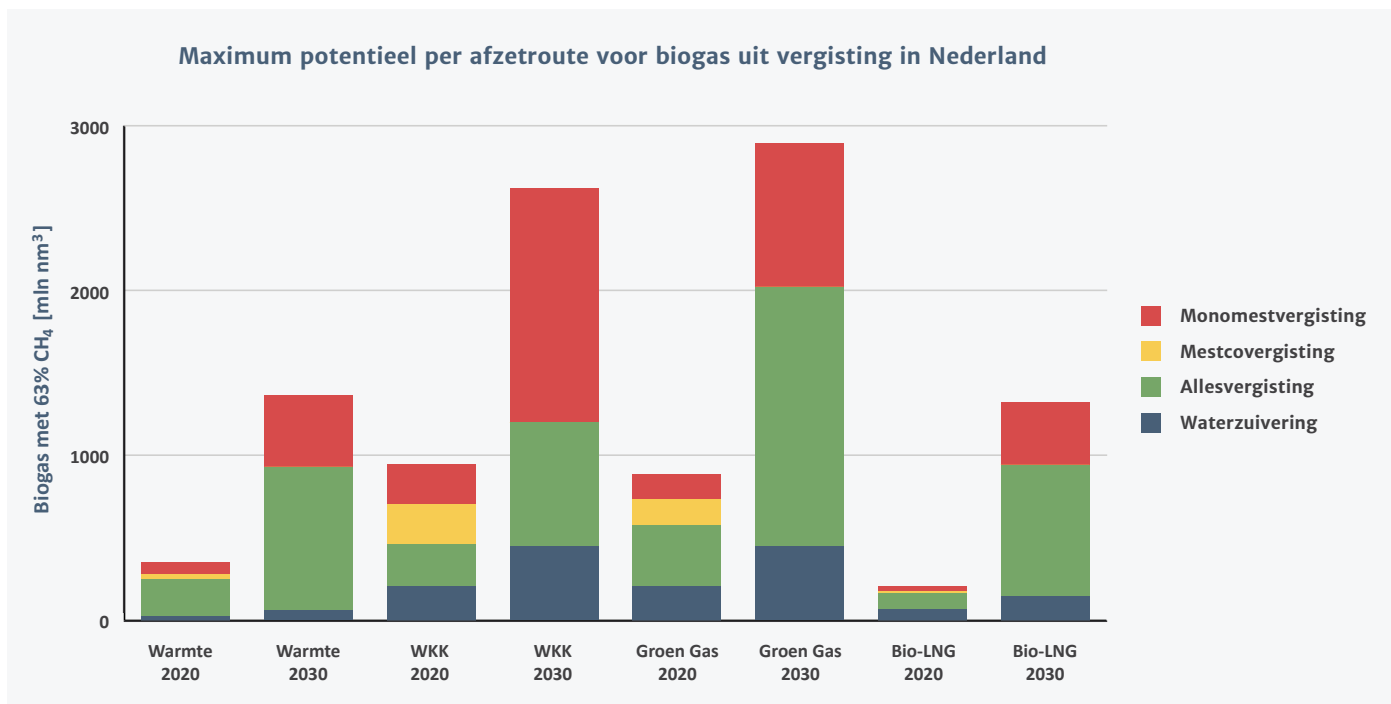
- Directe verbranding voor warmteproductie.
- Verbranding in een warmtekrachtinstallatie (WKK) voor de productie van elektriciteit en warmte.
- Opwerking (o.a. door afscheiding van CO_2) tot aardgaskwaliteit, waarna:
 - Invoeding in het gasnet, verder te gebruiken zoals regulier aardgas.
 - Na compressie in te zetten in de mobiliteit (rijden op groen gas).
 - Na liquefactie (vloeibaar maken) door koeling tot LBG in te zetten in zwaar transport (weg, scheepvaart).

Wat energetisch en financieel-economisch de optimale route is, wordt sterk bepaald door de lokale situatie en valt slechts via algemene afwegingen aan te geven (zie **Kader: Algemene afwegingen bij biogasprojectontwikkeling**).

Inzet als groen gas (methaan) in het gasnet en WKK zijn robuuste afzetroutes voor biogas. Na 2020 kan inzet in transport als bio-LNG een vlucht nemen. De 'groenwaarde' is in het segment mobiliteit hoog.

Kader: Algemene afwegingen bij biogasprojectontwikkeling

- Is lokale warmteafzet mogelijk?
 - Zo ja:
 - Is er eigen voldoende elektriciteitsvraag?
 - Zo ja: warmtekracht WKK.
 - Zo nee: rechtstreekse verbranding: warmteketel.
 - Zo nee:
- Zijn de volumina voldoende voor eigen opwerking tot methaan én is er een invoedpunt in de nabijheid?
 - Zo ja: opwerken en invoeden in gasnet.
 - Zo nee:
- Zijn er nabije biogasproducenten?
 - Zo ja: overweeg de ontwikkeling van een biogashub.
- Zijn er mogelijkheden voor fysieke levering aan mobiliteit?
 - Keuze:
 - Compressie: CNG.
 - Liquefactie: LBG (bio-LNG).
 - Dan wel:
 - Book-and-claim via aardgasnet.
- Zijn er additionele mogelijkheden?
 - Verkoop CO₂.
 - Bemestingswaarde digestaat.
 - Raffinage mineralen/grondstoffen.
 - Inkomsten door netbalancering (bio-WKK of Power-to-Gas).



Figuur 4. Maximum potentieel per afzetroute voor biogas uit vergisting

Rekening houdend met de typische omstandigheden van de soort vergisting en de afzetroute van het biogas is een schatting gemaakt van de maximum potentiëlen per afzetroute voor 2020 en 2030, weergegeven in **Figuur 4**. Inzet als bio-LNG in transport kan, als de eerste stappen zijn gezet (in het bijzonder ontwikkeling van de benodigde infrastructuur voor LNG), tussen 2020 en 2030 een vlucht nemen.

N.B. De routes tellen niet bij elkaar op, maar concurreren met elkaar.

3.1 Algemeen

Op korte termijn wordt de businesscase van vergisting bepaald door de lokale situatie (zie **Kader: Algemene afwegingen bij biogasprojectontwikkeling**) en de *huidige marktsituatie en beleidsregelingen*: SDE+, Garanties van Oorsprong (GvO) en biotickets, naast de generieke instrumenten emissiehandel (EU-ETS) en generieke fiscale regelingen. Naar inzicht van de routekaart is niet te verwachten dat deze regelingen in de periode tot 2020 wezenlijk zullen (kunnen) veranderen. Wel kunnen de *groenwaarden* die uit deze regelingen voortkomen (de meerprijs die in deelmarkten wordt betaald voor groene energie) door veranderingen in vraag en aanbod schommelen.

Om de potentiële van biogas uit vergisting te verzilveren is in de komende jaren een palet aan acties nodig; een deel zal al snel effect kunnen hebben, een deel is op de langere termijn pas effectief.

Deze conclusie heeft gevolgen voor de timing van acties die nodig zullen zijn om de potentiële daadwerkelijk te realiseren:

- 1 Op de relatief *korte termijn* (nu–2020) gaat het om het versnellen en verbeteren binnen de huidige kaders, die op zichzelf niet binnen afzienbare tijd veranderbaar zijn. Hiervoor is uit de veelheid van mogelijkheden een beperkt aantal sleutelacties geselecteerd.
- 2 Op de *middellange termijn* (2020–2030) gaat het daarnaast ook om het voorbereiden en vormgeven van een stabiel en aantrekkelijk ontwikkel- en investeringsklimaat voor vergroening van de gasvoorziening.

De acties zijn op te pakken door:

- De sector/marktpartijen.
- Kenniswereld (instituten, advies).
- Overheden.

Ook maatschappelijke groeperingen (NGO's, natuur- en milieuorganisaties) kunnen een rol spelen. Voor hen zijn echter geen specifieke acties benoemd.

3.2 Acties korte termijn: nu–2020

Voor de korte termijn (nu–2020) is een beperkt aantal *sleutelacties* benoemd. Ze zijn hieronder samengevat:

Actie 1: Lanceer als overheid en sector een gezamenlijk programma om monomestvergisting van de grond te krijgen.

Realiseren van een innovatieprogramma voor het ontwikkelen en uitrollen van kleinschalige mestvergisters inclusief een mesttraffinagestap. Dit programma wordt aangevuld met een plan om grootschaligere mestvergisting te ondersteunen bij het vinden van locaties en financiering. Daarnaast dient het reguleringskader (o.a. vergunningen, omgeving, digestaatinzet) dit plan maximaal te faciliteren.

Actie 2: Maak de inzet van biogas meer flexibel.

Op dit moment moet binnen de SDE+ vooraf voor de hele looptijd van een project worden bepaald wat de afzet van het biogas is (warmte, groen gas, WKK). Dit belemmert de optimale inzet voor het biogas en de totstandkoming van biogashubs.

Actie 3: Zorg dat hoogwaardige toepassing van biomassa, waaronder de mogelijkheid tot gasproductie, in (overheids)aanbestedingen opgenomen is.

Energetische benutting van organische afvalstromen als biogas dient standaard te worden bij alle overheidsaanbestedingen. Daartoe kunnen Groen Gas Nederland en RVO modelaanbestedingen (laten) ontwikkelen.

Actie 4: Organiseer en professionaliseer markt en sector.

Normaliter groeit de organisatiegraad van een sector met het volwassen worden van de markt. We bevelen in geval van groen gas juist verbetering van organisatie en professionaliteit aan om de marktontwikkeling te versnellen. De sector is op dit moment versnipperd. Er zijn organisaties, taakgroepen en platforms voor verschillende onderdelen van de keten en deelmarkten. Krachtenbundeling in één enkele organisatie en aanspreekpunt is geboden. Met name productie van groen gas en afzet, in het bijzonder in de mobiliteit, zouden intensiever moeten samenwerken. Samenwerkende sectorspelers en kennisinstellingen kunnen dan met een gezamenlijke (virtuele) kennisbasis marktpartijen ondersteunen bij hun professionalisering. Gebruik kan worden gemaakt van de lessen en ervaringen in omringende landen.

3.3 Acties middellange termijn: 2020–2030

Op de middellange termijn (2020–2030) zijn er meer vrijheidsgraden om wezenlijke veranderingen door te voeren. Met de voorbereidingen daarvan moet dan nu al worden begonnen. De algemene lijn is:

- Maatschappelijke baten van biogasketens financieel verzilveren.
- Scheppen van een gelijk, groen en stabiel speelveld waarop concurrerende opties pro rato worden afgerekend op basis van hun maatschappelijke kosten en baten.

Dit leidt tot een aantal *sleutelacties* op de middellange termijn die effect moeten sorteren in de periode na 2020:

Actie 5: Werk systematisch aan (financiële) waardering van maatschappelijke baten van biogas.

De bijkomende waarden van de inzet van biomassa naar biogas kunnen de totale keten naar biogas economisch interessanter maken. Hiervoor is het nodig dat vermeden emissies (CO₂, methaan, enz.), eventueel de toepassing van CO₂, de mestwaarde van digestaat en de bijdrage aan de mineralenbalans naar hun maatschappelijke waarde financieel worden gewaardeerd. De sector zou zelf het initiatief tot een programma moeten nemen, samen met overheden en kennisinstellingen.

Actie 6: Werk een samenhangend plan voor een groen ‘level playing field’ mobiliteit uit.

Groen gas kan een interessant alternatief zijn in mobiele toepassingen, met name voor zwaarder transport. Dat vereist een well-to-wheel-benadering waarin de milieuwinst van groen gas op een zelfde niveau wordt gehonoreerd als voor andere mobiliteitsopties geldt. Dit vergt aanpassingen aan het reguleringskader, wat een intensieve publiek–private samenwerking zal vereisen.

Actie 7: Blijf nieuwe grondstofstromen en technologie ontwikkelen om het groen gas-potentieel te vergroten.

Voor de middellange termijn kunnen nieuwe bronnen van biomassa worden ontwikkeld, zoals wieren. Ook kunnen nieuwe conversietechnieken tegen een betere kosten–batenverhouding een kans krijgen, zoals superkritische vergassing en bioraffinage. Dat vergt een gecoördineerd onderzoek en ontwikkelprogramma in het kader van het TKI Gas en het TKI Biobased Economy.

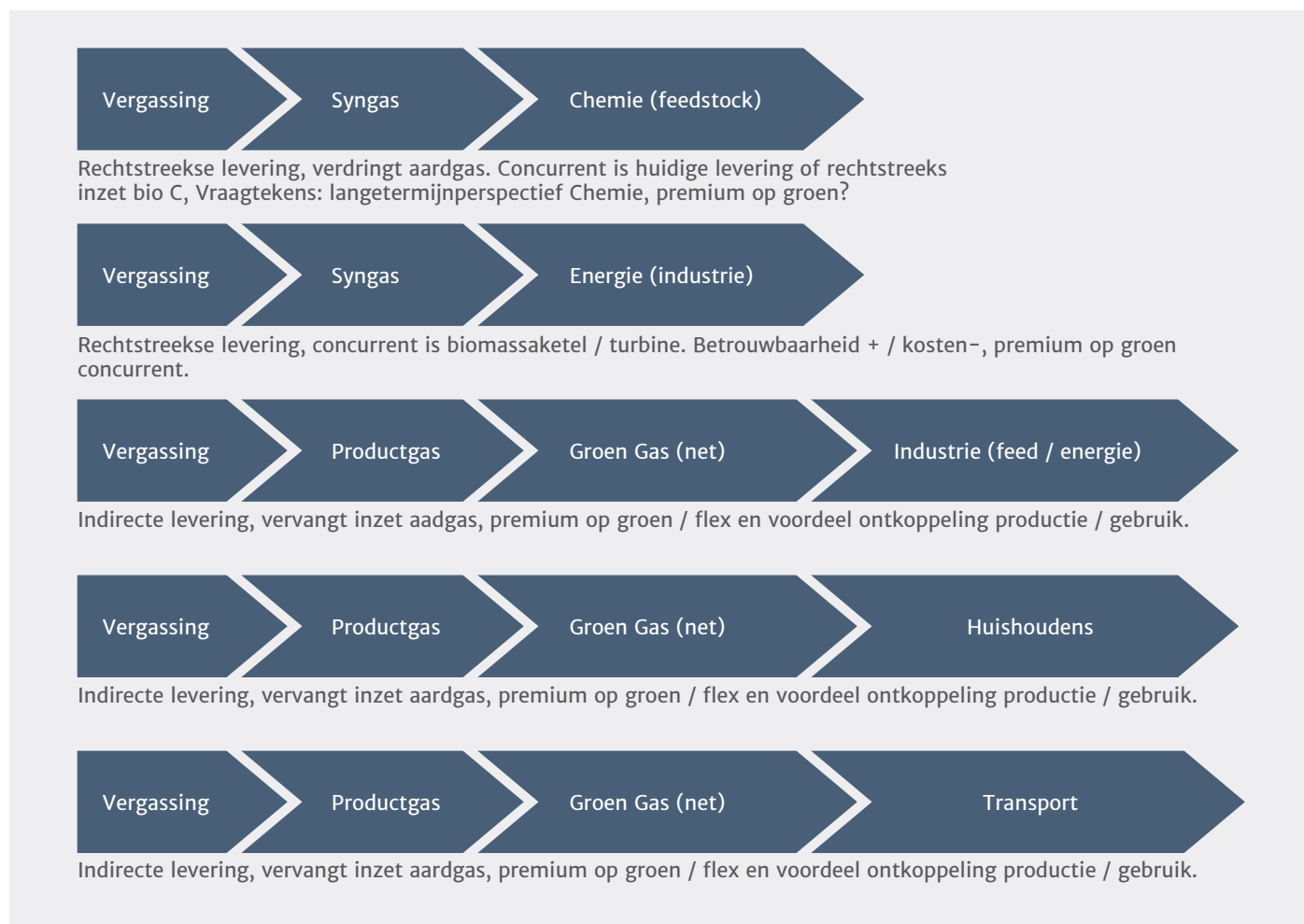
4

Routekaart Vergassing

4.1 Mogelijke hoofdroutes

In vergelijking met vergisting is de vergassingstechnologie nog onrijp: eerst is verdere technologieontwikkeling aan de orde voordat goede keuzes voor een uitrolstrategie kunnen worden gemaakt. Uiteindelijk is van belang op welke tussen- en eindproducten wordt gemikt, oftewel welke gangbare tussen- en eindproducten moeten worden beconcurrereerd. De prijsvorming van die concurrerende producten bepaalt uiteindelijk de route en stelt eisen aan de kosten van de conversietechnologieën in de keten.

Er zijn drie mogelijke hoofdroutes voor vergassing, maar het is te vroeg er nu één te kiezen.



Figuur 5. Hoofdroutes voor vergassing

De drie hoofdroutes die zich nu, lopende de technologieontwikkeling, aandienen zijn:

a) Biomassa -> productgas/syngas

Dit productgas (een mengsel van hoofdzakelijk H₂ en CO) wordt rechtstreeks als feedstock in de industrie ingezet. Vergassing zal zo ingepast zijn een in haven-industriële omgeving, voor de aanvoer van biomassa, en benutting in industriële installaties. De rationale voor deze route is dat vergassing zo een onderdeel kan zijn van een strategie voor vergroening van de industrie, en de biobased economy.

b) Biomassa -> energie

In deze route wordt het verkregen productgas/syngas voor directe energieproductie (elektriciteit, warmte) ingezet. Concurrentie is met directe inzet van biomassa voor energieproductie. Vergassing in plaats van directe energieproductie met biomassa ligt alleen voor de hand als over de gehele (regionale) syngasketen gezien een efficiencyvoordeel in transport en gebruik kan worden behaald.

c) Biomassa -> groen gas

In deze route wordt het verkregen syngas gemethaniseerd tot methaan. De rationale is hier een nieuwe, groene bron te hebben om de bestaande gasinfrastructuur met zijn voordelen van goedkoop energietransport en goedkope energieopslag en flexibiliteit in een verduurzamende energiehuishouding te kunnen gebruiken.

Mik wat betreft vergassing niet op voorhand op groen gas (methaan), maar op paden waar fossiel aardgas te vervangen is door syngas(-componenten) uit vergassing.

De keuze voor een route is gegeven de stand der techniek nu nog niet aan de orde. Om de routes onderling te kunnen waarderen bepleit de routekaart uit te gaan van de mogelijkheid om waar dat het meest logisch is, fossiel aardgas te vervangen, in plaats van nu al op voorhand toe te werken naar aardgasequivalent op basis van syngas. Dat biedt de mogelijkheid om de technologiekeuze te baseren op wat uiteindelijk werkelijk nodig blijkt te zijn: syngas, waterstof, Power-to-Gas of groen gas.

4.2 Acties

Actie 8: Ontwikkel vergassing in een driestapsstrategie.

Gezien de huidige stand der techniek en de keuzes die later aan de orde zijn, komt de routekaart met een strategie in drie stappen:

1 Nu-2020: technologieontwikkeling

Het doel is om de verschillende vergassingsopties zich naast elkaar te laten bewijzen op economie, betrouwbaarheid en relevantie voor de toekomstige energievoorziening. Technologische ontwikkeling en verkenning van het perspectief van de optie staan centraal. De routekaart beveelt aan hier het tenderen van technologie in PPS-kader als basis te nemen om daarmee marktrisico te beperken. TKI Gas lijkt hier de meest aangewezen partij.

2 2020–2025: marktontwikkeling

Deze fase kenmerkt zich door een focus op het realiseren van marktomstandigheden die de commerciële uitrol van de vergassingstechnologie ondersteunen. Gegeven de stand van de techniek kunnen keuzes worden gemaakt voor de markten waarvoor de opties relevant worden. In deze fase zal het ontwikkelen van PPS-financiering essentieel zijn. Marktpartijen en overheid zullen hier samen moeten optrekken in een internationale ontwikkeling, zowel voor technologie als groen gas.

3 2025–2030: commerciële uitrol

Deze fase kenmerkt zich door grootschalige investeringen in productie en commerciële uitrol. Marktpartijen zijn hier aan zet, binnen door overheden gestelde beleidskaders. Net als bij vergisting is de inschatting dat ook hier een onrendabele top overblijft, ook na 2030, die gecompenseerd zal moeten worden op basis van de maatschappelijke meerwaarde van groen gas. De mogelijkheid om zowel ontwikkelkosten als exploitatie internationaal te spreiden verdient aanbeveling.

4.3 Power-to-Gas

Power-to-Gas (P2G) verdient speciale vermelding gezien de actuele aandacht voor dit thema. Door de toenemende inzet van niet-regelbare decentrale duurzame productie zoals wind en zon, vraag gaat ontstaan naar de balancerende tussen vraag en aanbod, op verschillende tijdschalen: op basis van uren, maar ook dag/nacht en seizoenen. Het idee is dat het gasnet een effectieve en efficiënte balanceerfunctie kan krijgen, door buffering, maar ook door van duurzame elektriciteit gas te maken. Die route loopt dan van het produceren van waterstof (H_2) door elektrolyse, eventueel gevolgd door methanisering met CO_2 . Het zo verkregen gas kan dan via het bestaande gasnet worden benut. Waterstof is momenteel technisch en qua regulering slechts beperkt bij te mengen; methaan is vanzelfsprekend breed inzetbaar.

Op dit moment wordt de waarde van die functie bestudeerd en besproken. Hoewel het laatste woord daarover nog niet is gezegd is de indruk uit de eerste analyses die o.a. ECN momenteel uitvoert, dat het voordeel van de genoemde P2G-optie via het gasnet vooral optreedt bij zeer substantiële emissiereductiepercentages.

Het is momenteel niet de verwachting dat die percentages al in de zichttermijn van de routekaart (2030) zullen worden geëist of gerealiseerd. Op dit moment is de optie Power-to-Gas dan ook vooral te bezien vanuit de behoefte om deze innovatie vorm te geven in pilots en proefprojecten, om haar mogelijk later beschikbaar te hebben als dat aan de orde is.

5.1 Rollen voor gasvormige energiedragers

De ontwikkeling van biogas en groen gas zal gemakkelijker zijn als relevante partijen ook op langere termijn, na 2030, een duidelijke rol voor gasvormige energiedragers in het energiesysteem herkennen. Dan hebben de onderzoeks-, ontwikkel- en investeringsinspanningen ook op langere termijn waarde.

In plannen en scenario's ligt het accent thans vooral op duurzame elektriciteit, omdat het elektriciteitssysteem relatief gemakkelijker te vergroenen is dan de warmtevoorziening en de mobiliteit. Ook een verduurzamende energievoorziening (efficiënter, hernieuwbare bronnen, laag CO₂) biedt mogelijkheden voor gasvormige energiedragers.

Op langere termijn kunnen gasvormige energiedragers belangrijke bijdragen aan de verduurzamende energiehuishouding leveren: vergroening aardgas, optie voor mobiliteit, en flexibiliteit en opslag in het energiesysteem.

Gassen kunnen in een verduurzamende energiehuishouding verschillende rollen vervullen:

- Groene gassen in de aardgasmix: op basis van deze routekaart kan in 2030 zo'n 3,7 miljard m³ biogas, oftewel 2,2 miljard m³ aardgasequivalent groen gas per jaar worden geproduceerd op basis van vergisting. Daarbij kan een nu nog niet in te schatten hoeveelheid groen syngas uit vergassing komen, afhankelijk van de technologieontwikkeling; de (droge, houtige) grondstoffen daarvoor zullen dan hoofdzakelijk moeten worden geïmporteerd.
- Systeemfunctie, opslag, flexibiliteit: gas is snel bij te regelen, en de opslag- en transportkosten van gas per energie-eenheid c.q. per energie-eenheid per kilometer zijn relatief laag. Flexibiliteit wordt in toenemende mate nodig om het wisselende aanbod van hernieuwbare bronnen zon en wind op te vangen.
- Verbijzondering daarvan: elektriciteit uit wind en zon kan, op momenten dat het aanbod hoger is dan de vraag, worden omgezet in waterstofgas, dat in het gassysteem kan worden bijgemengd, of rechtstreeks in industriële of mobiliteitstoepassingen kan worden ingezet. Denkbaar is ook het waterstof om te zetten in synthetisch methaan (Power-to-Gas), met behulp van CO₂. Om klimaatneutraal te zijn zou dit dan niet-fossiele CO₂ (bijvoorbeeld uit vergisting) moeten zijn.

Actie 9: Ontwikkel een gedeeld perspectief op een logische rol voor gasvormige energiedragers in een energiehuishouding die verregaande CO₂-emissiereductie nastreeft; dat is gewenst om de huidige onderzoeks-, ontwikkel- en investeringsinspanningen zicht te geven op blijvende waarde.

5.2 Toepassingsgebieden gassen

Kwalitatief kan worden aangegeven in welke toepassingsgebieden de groen- en flexibiliteitswaarde van gassen naar verwachting het hoogst zal worden. Dit geeft houvast voor de richting waarin op termijn de businesscases zullen moeten worden gezocht:

- Elektriciteit is relatief gemakkelijker te verduurzamen dan andere sectoren.
Door inzet van hernieuwbare bronnen met 0-marginale kosten, dalen de marktprijzen voor elektriciteit, en daarmee ook de groenwaarde van elektriciteit uit biogas.
- Warmte is moeilijker te verduurzamen, de mate waarin dat zo is verschilt per deelmarkt:
 - Voor de nieuwbouw in de gebouwde omgeving zijn verschillende warmte-opties denkbaar, zoals het opnemen van biogas/groengasverbruik in de EPC of EMG.
 - De bestaande bouw is lastiger te verduurzamen, met een vermoedelijk hogere groenwaarde voor Groen Gas in dat segment als gevolg.
 - De (vaak hogetemperatuur)warmte voor industrieel gebruik laat zich het lastigst vergroenen; dat maakt in beginsel de groenwaarde in dat segment relatief hoog. Maar door de internationale concurrentiepositie van de industrie is de *willingness to pay* in dat segment relatief laag. Per saldo zal daarom de groenwaarde in de industrie sterk uiteen lopen.
- Van alle marktsegmenten kent het transport de minste opties om te vergroenen.
Naar verwachting zal daarom de groenwaarde in het transport hoogst zijn.

Bovenop de groenwaarde kan in deelmarkten ook een flexibiliteitswaarde of -bonus ontstaan, c.q. worden voorbereid door sector en beleidsmakers. Met de verdere introductie van hernieuwbare intermitterende energiebronnen groeit de waarde van flexibiliteit, die goed door hernieuwbare gassen geleverd kan worden.

5.3 Innovatieagenda

Het ontwikkelen van verschillende rollen voor hernieuwbare gasvormige energiedragers in een verduurzamende energiehuishouding vergt gecoördineerde onderzoeks- en innovatie-inspanningen. Gebruikmaking van internationale ervaringen is hierbij cruciaal. Hernieuwbaar gas beweegt zich op het grensvlak van het *energiesysteem* en de *biobased economy* en kan een wezenlijke rol spelen in de verbinding tussen beide domeinen.

Die rol verdient een programmatische aanpak, met als belangrijke ingrediënten:

- Verdere analyse en ontwikkeling van rollen van gasvormige energiedragers in het bredere energiesysteem en de rol die netwerkbedrijven hierin kunnen spelen.
- Ontwikkeling monomestvergisting voor de kortere termijn.
- Ontwikkeling nieuwe vergistingsbronnen, in het bijzonder zeewier, voor de middellange termijn.

- Ontwikkeling innovatieve en efficiënte conversietechnologieën zoals superkritische vergassing.
- Doorontwikkeling vergassingstechnologie en Power-to-Gas.
- Programmatische aanpak benutbaarheid (bioraffinageconcepten) en ‘verwaarding’ deelstromen zoals mineralen, CO₂ en eiwitten.
- Doorontwikkeling afzetmogelijkheden, in het bijzonder in de mobiliteit (o.a. bio-LNG).
- Uitwerking beleidsinstrumenten (regelgeving, incentives) die de inzet van biomassa conform de principes van cascadering sturen.

TKI Gas en TKI Biobased Economy zijn de aangewezen partijen om deze agenda uit te werken en op te pakken.

Actie 10: Stel op basis van de routekaart een robuuste innovatieagenda op, die systematisch wordt gevolgd, en die eens in de paar jaar op basis van de geleerde lessen up-to-date wordt gemaakt.

1.1 De Routekaart hernieuwbaar gas

Opdracht en reikwijdte

De *Routekaart hernieuwbaar gas* is onderdeel van de Groen Gas Green Deal, een gezamenlijk initiatief van marktpartijen en overheid met als doel het stimuleren van de productie van groen gas in Nederland. De routekaart heeft tot doel een kader te bieden voor de activiteiten in het kader van de Green Deal en daarmee ook een basis te bieden voor richtinggevende keuzes door de samenwerkende partners in de Green Deal.

Dit Achtergrondrapport geeft de onderbouwing van de routekaart.

Routekaart en Achtergrondrapport beogen een wegwijzer te zijn in de soms onoverzienbare mogelijkheden en onmogelijkheden die het gebruik van biomassa voor het maken van groen gas biedt. Dat is nodig, omdat de wereld van de bio-energie een nogal complexe wereld is.

Het aantal combinaties van biomassasoorten, conversietechnieken en gebruikstoepassingen is groot. Dat leidt tot vragen zoals:

- Van welke ketens van biomassa tot eindverbruik is het meest te verwachten?
- Welke ontwikkelingen zullen bepalend zijn voor het succes of mislukken van bio-energie?
- Wat moet er gebeuren op het gebied van R&D, marktintroductie en uitrol om de meest kansrijke ketens verder te brengen?
- Welke rollen zijn voor private partijen, overheden, maatschappelijke organisaties en kennisinstellingen weggelegd?

Om dergelijke vragen te beantwoorden is de routekaart opgesteld, door een team van Groen Gas Nederland, ECN en De Gemeiynt (projectleiding), in opdracht van en met inbreng van de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), op verzoek van het Groen Gas Forum dat toeziet op de uitvoering van de Groen Gas Green Deal.

De routekaart en dit Achtergrondrapport hebben betrekking op *alle* gasvormige energiedragers van niet-fossiele oorsprong. Deze kunnen worden verkregen door vergisting (natte biomassa(rest) stromen) en vergassing (droge biomassa). Op termijn zijn ook productie van waterstof en eventueel methaan met behulp van duurzame elektriciteit denkbaar: Power-to-Gas (P2G).

1.2 Groen gas-ketens: hoofdroutes

Overeenkomsten en verschillen

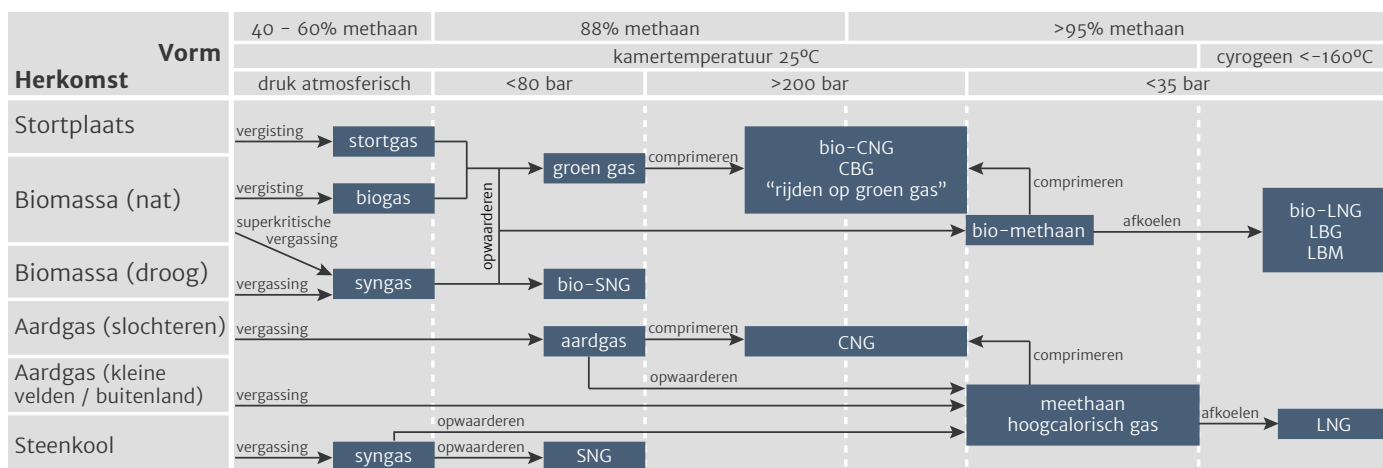
Uitgangspunt bij het ontwikkelen van de routekaart is de gezamenlijke ambitie om 3 miljard m³ groen gas in 2030 te realiseren.

De routekaart beoogt begaanbare wegen in kaart te brengen die kunnen leiden naar de doelen die in de Groen Gas Green Deal zijn vastgelegd, inclusief de barrières op weg daarheen, oplossingsrichtingen en een ‘agenda’ voor verdere ontwikkeling voor de verschillende bij Groen Gas betrokken spelers: bedrijfsleven, overheden, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties.

In de routekaart wordt gesproken over zowel biogas als groen gas, en over syngas of stookgas. Steeds gaat het dan om *gasvormige energiedragers van biogene (niet-fossiele) oorsprong*. Deze definitie omvat ruw onbewerkt biogas verkregen uit vergisting, ruw onbewerkt stookgas verkregen uit vergassing, alsmede de tot aardgaskwaliteit opgewerkte varianten.

Ook de vloeibaar gemaakte vorm, bio-LNG oftewel LBG, wordt gemakshalve onder de definitie Groen Gas begrepen. Tenslotte kan ook gas dat met behulp van duurzame elektriciteit worden geproduceerd, zoals waterstof dat wordt gemaakt bij een overaanbod van duurzame stroom, als Groen Gas worden gezien. Dat geldt voor synthetisch methaan (waterstof dat met CO₂ wordt omgezet naar methaan) ook, maar uitsluitend als de hiervoor gebruikte CO₂ niet van fossiele oorsprong is.

Het schema in **Figuur 6**. geeft inzicht in de meest gangbare definities afhankelijk van de oorsprong en fysische verschijningsvorm.



Figuur 6. Definities en verschijningsvormen biogas/groen gas

Om goed vergelijkingsmateriaal te kunnen bieden zijn voor biogas en groen gas telkens dezelfde definities aangehouden voor energie-inhoud en methaangehalte. Voor de energie-inhoud van groen gas wordt de onderwaarde van aardgas aangehouden: 31,65 MJ/Nm³. We nemen aan dat biogas voor 56% uit methaan bestaat. De verbrandingswaarde van 1 Nm³ biogas stellen we daarom op 56% van 35,9 = 20,1 MJ/Nm³. Dat betekent dus dat 1 Nm³ biogas overeenkomt met 0,635 Nm³ aardgasequivalent.

De primaire *driver* voor het verder ontwikkelen van *vergistingketens* is dat er reststromen zijn die nu eenmaal moeten worden verwerkt. Dan is energetische benutting als biogas met mogelijke verdere opwerking tot groen gas een waardevolle route.

De primaire *driver* voor het ontwikkelen van *vergassingsketens* is te zoeken in een mix van:

- Industriebeleid/technologiebeleid: ontwikkeling Nederlands cluster van bedrijven en kennis rond vergassingstechnologie.
- Energie/verduurzamingsbeleid: in potentie een omvangrijke bijdrage aan de duurzame energie- en grondstoffenhuishouding via een energiedrager (gas) die goed past bij de Nederlandse energie-infrastructuur.

Hoofdroutes

Dit leidt tot twee verschillende hoofdroutes, die een verschillende ontwikkeling kennen:

- 1 Bij ketens 'natte biomassa(rest)stromen – conversie: vergisting – infra/transport – toepassing' gaat het vooral om uitrol en doorontwikkeling waarmee snel groeiende c.q. tot nu toe nog niet volledig energetisch benutte reststromen in biogas/groen gas kunnen worden omgezet: mest (met name rundermest), gras en zuiveringsslib, en op termijn zeewier. Om dit mogelijk te maken is van belang goede markt- en beleidscondities te scheppen. Voor vergisting, een volwassen technologie waarmee beschikbare reststromen kunnen worden verwerkt, wordt een schatting gemaakt van het potentieel en de mogelijke ontwikkeling van realisatie van dat potentieel in de tijd. Voorts wordt gekeken welke sleutelfactoren voor deze ontwikkeling bepalend zijn en welke acties voor welke actoren (sector/bedrijfsleven, overheden, kennisinstellingen en – beperkt – maatschappelijke organisaties) daaruit voortvloeien. Dan kan vergisting verder worden 'uitgerold' en zich tijdens de rit verder ontwikkelen.
- 2 Bij de ketens 'droge biomassastromen – conversie: vergassing – infra/transport – toepassing' gaat het in de eerstkomende ca. tien jaar vooral om technologieontwikkeling. Groen gas uit vergassing (als syngas of na verdere opwerking tot methaan) zal pas in de tweede helft van de jaren twintig aan de doelstelling gaan bijdragen. Voor vergassing moet een ander spoor worden bewandeld. Deze technologie bevindt zich in een veel eerdere fase in de innovatiecurve. Hier is in wezen sprake van innovatiebeleid, waarna pas beduidend later implementatie kan volgen als de eerstkomende stappen succesvol blijken. Dat roept wezenlijke vragen op naar het doel van zo'n innovatietraject, die thans niet eenduidig beantwoord zijn. Daarom schetst het vergassingsdeel van de routekaart meer een mogelijke strategie in plaats van mogelijke wegen naar een vastomlijnd doel.

Een relatief nieuwe technologie, *superkritische (water)vergassing* staat tussen deze hoofdroutes in: hoogefficiënte vergassing van natte biomassastromen.

Bij superkritische vergassing wordt zeer natte biomassa (drijfmest, RWZI-slib) onder superkritische condities (in water boven 300 bar en 400 °C) ontleed in methaan, mineralen en verschillende restproducten. Het omzettingsrendement van biomassa naar methaan is met 70% hoog. Bij superkritische vergassing worden geen teren gevormd zoals bij conventionele vergassing, waar zij voor technische problemen kunnen zorgen. Onder meer de waterzuiveringssector (via zijn kennisinstituut Stowa) werkt aan superkritische vergassing.

Deze technologie zal zich de komende jaren verder ontwikkelen en per saldo tot hogere omzettingsrendementen en daarmee tot meer biogas uit reststromen kunnen leiden. In de routekaart is met mogelijke opbrengstverhogingen bij succesvolle introductie van superkritische vergassing echter nog niet gerekend, omdat de technologie zich eerst moet bewijzen (huidig stadium: prototype).

1.3 Analysekamer en opzet rapport

De routekaart helpt de weg te vinden in een groot aantal mogelijke ketens van grondstofstromen via verschillende conversietechnieken naar eindproducten die op verschillende markten kunnen worden afgezet. Deze kunnen veranderen in de tijd. Bij elk van deze 'ketenschakels' en op verschillende momenten in de tijd kan actie geboden zijn om verder op weg te komen.

Bij het maken van de routekaart is een veelheid aan aspecten bekeken:

- Voor respectievelijk vergisting en vergassing is telkens gekeken naar de wijze waarop de belangrijkste ketens (grondstoffen – conversie – infrastructuur – producten/markten) zich in de tijd kunnen ontwikkelen.
- Een accent ligt bij vergisting op de potentiële van de verschillende grondstoffen; deze geven een beeld van de relatieve bijdrage aan de doelen uit de Green Deal.
- Veranderingen in de tijd zijn van belang: nu (referentiejaar: 2012), 2020 en 2030, tevens is een doorkijk gegeven naar de langere termijn.
- Barrières en oplossingsrichtingen, waarbij is gekeken naar:
 - Technieken, operationele aspecten en (keten)organisatie; samengevat als Hardware en Software (HS).
 - Economische aspecten en (deel)Markten, samengevat als Economie en Markten (EM).
 - Maatschappelijke en beleidsaspecten, samengevat als Regulering en Samenleving (RS).
- Acties en actoren: welke spelers met welke rollen zijn bepalend, met welke acties kunnen de mogelijkheden ook gerealiseerd worden?

De volgende uitgangspunten zijn voorts gehanteerd:

- De routekaart geeft aan wat mogelijk is, maar spreekt zich niet uit over maatschappelijke en politieke afwegingen. De bevindingen zijn steeds te lezen als 'als-dan'.
- Gekeken is naar routes die tot gasvormige energiedragers kunnen leiden. Grondstoffen, halffabricaten en eindproducten kunnen ook voor andere toepassingen worden ingezet: biobased economy. Die routes zijn hier niet uitgewerkt; hiervoor wordt verwezen naar o.a. de routekaart biobased economy: www.biobasedeconomy.nl/routekaart. Na 'cascadering'

in de biobased economy kunnen verschillende grondstoffen later overigens altijd nog energetisch worden benut.

Dit Achtergrondrapport geeft onderliggende informatie bij de routekaart. Die informatie is in het algemeen eerst opgesteld, waarna de bouwstenen die hier nu beschreven zijn gebruikt zijn om de routekaart samen te stellen. Rekensommen en werkdocumenten die op hun beurt weer onder dit Achtergrondrapport liggen, zijn op aanvraag via de opstellers van de Routekaart beschikbaar.

Om het Achtergrondrapport ook zelfstandig leesbaar te laten zijn, zijn ter inleiding van de hoofdstukken passages uit de routekaart opgenomen. Enkele doublures tussen routekaart en Achtergrondrapport waren daardoor onvermijdelijk.

2.1 Inleiding en internationale ontwikkelingen

Op de korte termijn zal het grootste deel van de Groen Gas-productie uit vergisting voortkomen. Na een korte samenvatting van de belangrijkste ontwikkelingen in het buitenland wordt op basis van de beschikbare biomassa een onderbouwde inschatting gemaakt van het potentieel aan biogas uit vergisting. Vervolgens wordt weergegeven wat de verwachte maximale inzet per afzetroutes kan zijn. Uiteindelijk worden de belangrijkste acties bepaald die nodig zijn om dit potentieel ook te realiseren.

In deze paragraaf wordt een kort overzicht gegeven van de Groen Gas-ontwikkelingen in het buitenland. De focus hierbij is op de opwaardering van biogas naar aardgaskwaliteit en de toepassing hiervan. In **Tabel 2.** wordt een globaal overzicht gegeven van de stand van zaken eind 2013. Hierin is een overzicht opgenomen van het aantal biogasopwaardeerinstallaties in diverse landen. In diverse landen is de biogasbranche behoorlijk ontwikkeld. Duitsland is op dit gebied wereldwijd duidelijk marktleider met zo'n 8.000 biogasinstallaties in bedrijf. Ook in Italië is de groei van het aantal biogasinstallaties in de afgelopen zeven jaar behoorlijk geweest. In Italië zijn in deze periode 1.200 biogasinstallaties gebouwd en maakt men nu ook de overstap naar groen gasproductie.

Hiertoe is december 2013 een wettelijke regeling aangenomen voor de productiestimulering van groen gas, vergelijkbaar met de Nederlandse SDE+-regeling. In landen als Zweden, Oostenrijk, Zwitserland, Frankrijk, Finland, Frankrijk, het Verenigd Koninkrijk en Denemarken staan enkele tientallen tot enkele honderdtallen biogasinstallaties. Een gedetailleerd overzicht van deze ontwikkeling is te vinden in een recente publicatie van de International Energy Agency (Bioenergy Task 37: www.iea-biogas.net). Nederland doet internationaal mee in de frontlinie op het gebied van Groen Gas. Met deze achtergrond heeft Nederland deelgenomen aan het door de Europese Commissie ondersteunde project Green Gas Grids. Dat liep via Agentschap NL (nu RVO), in samenwerking met zusterorganisaties en andere landenvertegenwoordigers.

Nederland had hierin samen met Duitsland, Zweden en Oostenrijk een voortrekkersrol, blijkend uit onder meer twee studiereizen waarin vertegenwoordigers van verschillende landen kennis hebben kunnen nemen van praktijkvoorbeelden in de voortrekkerslanden. Meer info is te vinden op de projectwebsite www.greengasgrids.eu. De drivers voor de ontwikkeling van Groen Gas kunnen sterk landenspecifiek zijn. In **Tabel 2.** wordt dit kort samengevat. Voor enkele landen aanvullend op de tabel nog een korte toelichting:

Duitsland

De Groen Gas-ontwikkeling in Duitsland wordt gestimuleerd door een sterk reguleringskader, via de GasNetzzugangszVerordnung (GNZV). Hierin hebben de gasnetbeheerders een gespecificeerde taak en verantwoordelijkheid in de ontwikkeling van de Groen Gas-projecten. De BundesNetzAgentur (vergelijkbaar met de energietak van de Nederlandse Autoriteit Consument en Markt) brengt jaarlijks een monitoringrapport uit over de ontwikkelingen van de Groen Gas-markt. Dit gebeurt

mede op grond van de politiek verankerde doelstelling voor de productie van zes miljard Nm³ groen gas in 2020 en tien miljard Nm³ in 2030.

Zweden

De Groen Gas-ontwikkeling in Zweden wordt met name gestimuleerd via belastingmaatregelen. De toepassing van Groen Gas wordt met name gezocht in de mobiliteit. De reden hiervoor is dat Zweden streeft naar onafhankelijkheid van olie-import voor de energievoorziening. Omdat het gasnet in Zweden niet goed ontwikkeld is, wordt een groot deel van het geproduceerde Groen Gas ook 'per as' (via tankwagens over de weg) vervoerd, of in tankstations dicht bij de productie-eenheden afgenomen.

Daarnaast wordt in Zweden veel aandacht besteed aan de ontwikkeling van de vergassingstechnologie. Hiervoor is in 2013 een grote demonstratie-installatie in Göteborg in gebruik genomen.

Denemarken

De ontwikkeling van biogas is in het verleden met name gedomineerd door de ontwikkeling van lokale warmtenetten waarin de biogasinstallaties hun warmte leverden. Op basis van het klimaatbeleid heeft de biogasbranche echter een nieuwe impuls gekregen met nieuwe subsidieprogramma's voor mestvergisting. Hierin is vastgelegd dat in 2020 50% van de dierlijke mest via een vergister verwerkt dient te worden. Het beleidsdoel hierachter is, naast de productie van duurzame energie, vooral gericht op het reduceren van methaanemissies uit mestopslagen.

Daarnaast is er een Denemarken een sterke focus op de netbalanceringsproblematiek. De productie van biogas en Groen Gas speelt hierin een belangrijke rol.

Zwitserland

De ontwikkeling van Groen Gas in Zwitserland is vooral gericht op de marketingstrategieën in de verkoop van Groen Gas aan de eindverbruikers. Hierin speelt een certificeringssysteem een centrale rol. Consumenten zijn in toenemende mate bereid om een kleine meerprijs te betalen voor gas waarvoor gegarandeerd kan worden dat het voor een beperkt percentage (5–10%) bestaat uit Groen Gas. Deze ontwikkeling heeft nog geen enorme omzetvolumes bereikt, maar gaat wel gestaag door.

Tabel 2. Overzicht vergistingsmaatregelen in enkele Europese landen

Land	Aantal projecten	Stimulering	Rol netbalancing	Motieven, wettelijke regelingen
Duitsland	> 100	Feed-in subsidie voor uiteindelijk geproduceerde elektriciteit via WKK.	Ja	Algemeen: Energiewende. Productiedoelstelling 2020: 6 miljard Nm ³ . Wet: Gereguleerde gasnettoegang via GasNetZugangsVerordnung.
Zweden	30-40	Fiscale maatregelen	Nee	Toepassing met name in mobiliteit.
Oostenrijk	20-30	Feed-in subsidie	Nee	Belangrijkste toepassing: mobiliteit.
Zwitserland	20-30	Certificatenhandel	Nee	Belangrijkste toepassing: mobiliteit.
Denemarken	10	Feed-in subsidie	Ja	Klimaatbeleid: 50% mest via vergister in 2020 ter beperking CH ₄ -emissies uit mestopslagen; sterke groei verwacht.
Verenigd Koninkrijk	10	Feed-in subsidie	Nee	Sterke groei verwacht; drive voor toepassing in zwaar transport.
Frankrijk	3	Feed-in subsidie	Nee	Sterke groei verwacht vanaf introductie subsidie in 2013.
Italië	0	Feed-in subsidie	Nee	Sterke groei verwacht vanaf introductie subsidie in 2013.

2.2 Potentiëlen

Door de aard van het proces (biologisch: bacteriën) is het mogelijk via vergisting energie te winnen uit (rest)stromen die voor andere, hoogwaardiger toepassingen niet of nauwelijks nog inzetbaar zijn. Daarom is hier gekeken naar de *potentiëlen* van de verschillende stromen: nu, 2020 en 2030: wat is er maximaal beschikbaar voor vergisting en wat levert dat aan biogas/groen gas, tegen welke kosten?

De ontwikkeling van de potentiëlen tussen nu en 2020 en van 2020 tot 2030 is ingeschat door Groen Gas Nederland en gecontroleerd door ECN. De bevindingen zijn samengevat in **Figuur 7**.

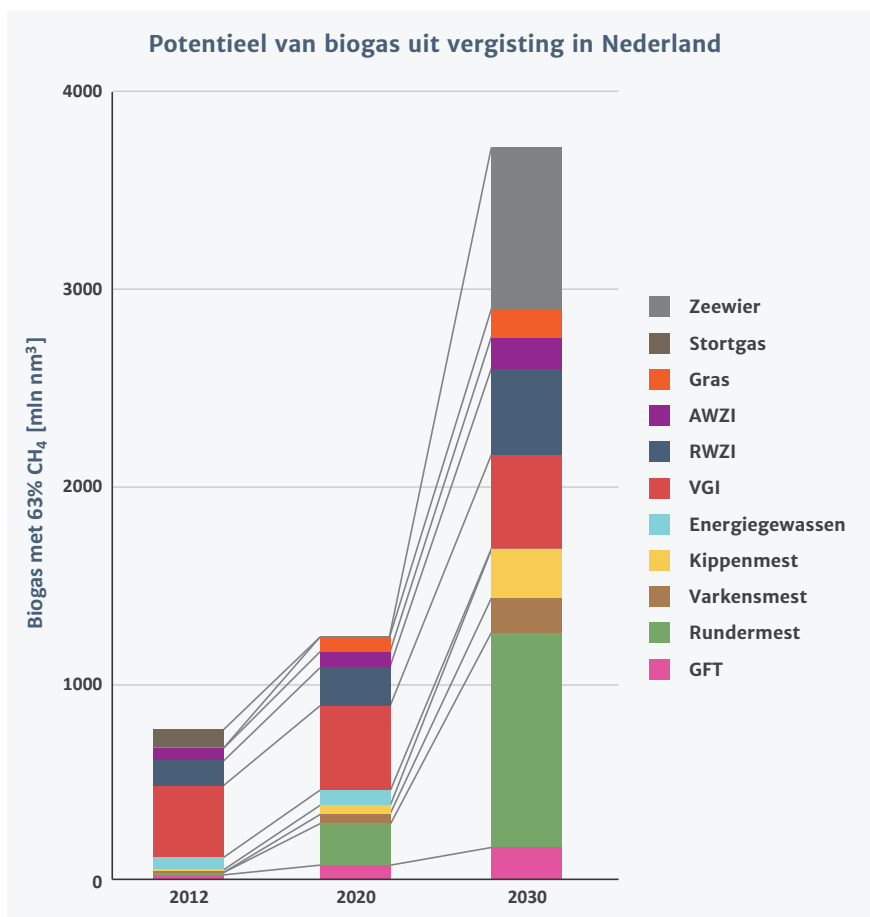
De onderbouwing van de schattingen van Groen Gas Nederland is opgenomen als **Bijlage 1**. In die bijlage wordt ook een uitsplitsing naar deelstroom weergegeven in **Tabel 7**.

Groei is vooral te verwachten in het aanbod (beschikbaarheid voor vergisting) van mest, hoofdzakelijk rundermest en in mindere mate varkens- en kippenmest. De verwachting is dat het aandeel rundermest zal groeien als gevolg van het wegvallen van belemmeringen op de melkproductie en de veranderende landbouw- en mineralenwetgeving. Daarnaast wordt enige groei in vergistbare stromen verwacht uit rioolwaterzuivering (RWZI) en gras.

Vanaf 2020–2030 kan aan de reststromen een te telen stroom worden toegevoegd: zeewier. Dat brengt het potentieel in 2030 inclusief zeewier op 3,7 miljard m³ biogas, oftewel 2,2 miljard m³ aardgasequivalent (uit 1 m³ biogas kan ca. 0,63 m³ aardgaskwaliteit worden gewonnen). Dit is ongeveer 75 PJ.

Vergisting kan zo voor bijna driekwart in de ambities van de Groen Gas Green Deal (3 miljard m³ aardgasequivalent in 2030) voorzien.

Of dat potentieel zal worden ingezet voor energiedoelinden zal afhangen van de economie van vergisting, maar ook van de concurrerende toepassingen. Zo zullen mogelijkheden om deelstromen in te zetten voor de biobased economy (chemicaliën, materialen)



Figuur 7. Potentiëlen vergistbare grondstoffen, nu–2020–2030

een hogere toegevoegde waarde leveren en daarmee gaat die inzet in eerste instantie af van de potentiële inzet voor vergisting. Echter, na inzet, bewerking en afdanking in de biobased economy zal het veelal mogelijk zijn die stromen alsnog energetisch te benutten. Wanneer er, om maatschappelijke of beleidsredenen, beperkingen aan de inzet van deelstromen worden opgelegd, gaat dat uiteraard eveneens rechtstreeks van dat deelpotentieel af. De routekaart doet geen uitspraken over de maatschappelijke of politieke wenselijkheid van deze beperkingen.

2.3 Ketens: van grondstof tot producten en markten

Conversieroutes

Het via vergisting verkregen biogas (hoofdzakelijk methaan CH_4 en CO_2) kan via verschillende routes worden *benut*:

- Directe verbranding voor warmteproductie.
- Verbranding in een warmtekrachtinstallatie (WKK) voor productie van elektriciteit en warmte.
- Opwerking (o.a. door afscheiding van CO_2) tot aardgaskwaliteit, waarna:
 - Invoeding in het gasnet, verder te gebruiken zoals regulier aardgas.
 - Na compressie in te zetten in de mobiliteit (rijden op groen gas).
 - Na liquefactie (vloeibaar maken) door koeling tot LBG in te zetten in zwaar transport (weg, scheepvaart).

Elk van deze routes heeft voor- en nadelen. De weging van deze voor- en nadelen loopt uiteen, afhankelijk van de gebruikte criteria.

Van belang zijn in het algemeen de volgende criteria, zowel voor beleidsmakers als ondernemers:

- 1 **Energetisch rendement.** Hoeveel van de energiewaarde van het biogas wordt daadwerkelijk nuttig ingezet?
- 2 **Kosteneffectiviteit.** Wat zijn de kosten voor het opwekken van een hoeveelheid duurzame energie? (in de bruto eindverbruik, conform EU-monitoringsmethodiek)
- 3 **Leveringszekerheid.** Kan een project ook in de toekomst zijn energie nog leveren?
- 4 **Aantal geschikte locaties.** Zijn er voldoende locaties te vinden die aan de juiste randvoorwaarden voldoen om een rendabel project mogelijk te maken?
- 5 **Marktinkomsten groenwaarde.** Wat zijn de mogelijkheden om extra inkomsten te verkrijgen uit de groenwaarde van het biogas? (de 'groenwaarde' is de bonus die markten bereid zijn te betalen bovenop de marktprijs van fossiel gas).
- 6 **Kans op SDE+-subsidie.** Komt deze route in aanmerking voor SDE+? In welke fase komt de technologie in aanmerking voor subsidie?
- 7 **Vermindering broeikasgasemissies.** Hoeveel broeikasgasemissies, met name CO_2 en CH_4 , worden er bespaard?

Daarnaast blijkt de lokale situatie telkens sterk bepalend voor wat de haalbare energetisch en financieel-economisch optimale route is. De feitelijk beste route in de praktijk is alleen met kennis van de lokale situatie te becijferen. Het is wel mogelijk een aantal algemene afwegingen te geven (zie **Kader: Algemene afwegingen bij biogasprojectontwikkeling**).

Inzet als groen gas (methaan) in het gasnet en WKK zijn robuuste afzetroutes voor biogas. Na 2020 kan inzet in transport als bio-LNG een vlucht nemen. De 'groenwaarde' is in het segment mobiliteit hoog.

Kader: Algemene afwegingen bij biogasprojectontwikkeling

- Is lokale warmteafzet mogelijk?

Zo ja:

- Is er eigen voldoende elektriciteitsvraag?

Zo ja: warmtekracht WKK.

Zo nee: rechtstreekse verbranding: warmteketel.

Zo nee:

- Zijn de volumina voldoende voor eigen opwerking tot methaan én is er een invoedpunt in de nabijheid?

Zo ja: opwerken en invoeden in gasnet.

Zo nee:

- Zijn er nabije biogasproducenten?

Zo ja: overweeg de ontwikkeling van een biogashub.

- Zijn er mogelijkheden voor fysieke levering aan mobiliteit?

Keuze:

- Compressie: CNG.
- Liquefactie: LBG (bio-LNG).

Dan wel:

- Book-and-claim via aardgasnet.

- Zijn er additionele mogelijkheden?

- Verkoop CO₂.
- Bemestingswaarde digestaat.
- Raffinage mineralen/grondstoffen.
- Inkomsten door netbalancing (bio-WKK of Power-to-Gas).

Infrastructuur

Tenzij het geproduceerde biogas lokaal kan worden gebruikt voor warmteopwekking of opwekking van warmte en stroom via warmtekrachtkoppeling, is invoeding in een gasnet een mogelijkheid, na opwerking van ruw biogas naar aardgaskwaliteit. De lokale situatie is sterk bepalend voor wat er kan. Als er meerdere bronnen van biogas op beperkte afstand van elkaar zijn, is een lokaal biogasnet (biogashub) dat levert aan een centrale opwerk- en invoedingsinstallatie een optie. Zo'n biogasnet kan als 'smart grid' worden uitgevoerd,

waarmee invoeding, opslag, druk en timing slim worden gestuurd, en geoptimaliseerd afhankelijk van aanbod en vraag. Het Actieplan Duurzame Energievoorziening van Netbeheer Nederland sorteert voor op slimme gasnetten en een rol van de netbeheerder bij de ontwikkeling ervan. Vooralsnog gaat het om situatieafhankelijk maatwerk.

Voor inzet in transport moet aangesloten worden bij de infrastructuur die in dat marktsegment geldt, die voor motorbrandstoffen. Dat betekent dat biogas voor toepassing in transport in elk geval opgewerkt zal moeten worden naar aardgaskwaliteit. Na compressie tot CNG kan het als aardgas voor aardgasvoertuigen worden gebruikt (de infrastructuur is op dit punt overigens ook nog maar beperkt ontwikkeld). Na vloeibaar maken door koeling tot LNG (bio-LNG of LBG) is het inzetbaar in met name het zware transport (scheepvaart, zwaar wegtransport). Ook daar geldt nog een infrastructurele ‘kip-ei-situatie’: de ontwikkeling staat nog maar aan het begin. Bio-LNG zal niet de drager van de benodigde infrastructuur zijn, logischerwijze trekt (fossiel) LNG de ontwikkeling van de infrastructuur, waarna geleidelijk het aandeel bio-LNG kan groeien dankzij de dan bestaande infrastructurele voorzieningen.

Toepassingen: marktsegmenten en groenwaarde

Al dan niet tot aardgas opgewerkt biogas kan in verschillende marktsegmenten worden toegepast:

- Elektriciteit.
- Warmte.
- Elektriciteit en warmte gezamenlijk, via WKK.
- Aardgas.
- Transport.

Groenwaarde nu – ca. 2020 tot 2030

Wat het meest voor de hand liggende marktsegment is, is afhankelijk van de marktprijzen in dat segment *plus* de bonus die dat marktsegment voor de ‘groenwaarde’ betaalt, vrijwillig dan wel via overheidsinterventies geregeld.

Tabel 3. geeft een overzicht van de huidige (referentiejaar: 2012) groenwaarde in de verschillende marktsegmenten¹. Gegeven de beperkte veranderingen die in de tijd tot 2020 nog beleidsmatig kunnen en zullen worden doorgevoerd, is deze tabel tevens te zien als richtlijn voor de te realiseren groenwaarden tot ca. 2020, en mogelijk ook nog voor de jaren daarna. In de periode na 2025–2030 kunnen wel wezenlijke veranderingen optreden.

¹ Bron: schattingen door Eise Spijker – JIN/Joint Implementation Network

Tabel 3. Groenwaarden biogas in verschillende marktsegmenten

Titel / certificaat	Prijsrange / eenheid	Referentieprijs	Wanneer concurrerend met SDE groen gas?	Karakter marktvraag	Toelichting
SDE	0,2 – 0,6 EUR/Nm ³	0,6 EUR/Nm ³	-		
GvO elektriciteit	0,3 – 2,0 EUR/MWh		60 EUR/MWh (min. 30x huidige max. prijs)	Vnl. vrijwillig karakter (of stroometiketten / leveranciersverplichting) Waarschijnlijk losgekoppeld van energie	Prijs is afhankelijk van type (water, bio, zon of wind)
GvO warmte	?	?	?	Vnl. vrijwillig karakter (of leveranciersverplichting) Waarschijnlijk gekoppeld aan energie	?
GvO groen gas	5 – 8 EUR/MWh	0,05 – 0,08 EUR/Nm ³	60 EUR/MWh (min. 7,5x huidige max. prijs)	Vnl. vrijwillig karakter Waarschijnlijk losgekoppeld van energie (maar alleen binnenlandse handel)	
EU ETS	5 – 8 EUR/tCO ₂	0,01157 EUR/Nm ³	340 EUR/tCO ₂	Gereguleerde markt (uitsluitend administratieve overdracht)	Prijs is afhankelijk van EU ETS vraag/aanbod (nu situatie van oversupply en prijs van 6,5 EUR/tCO ₂ ETS monitoring (alleen directe emissies)
Bioticket (CNG of LNG)	6 – 10 EUR per bioticket	0,06 – 0,22 EUR/Nm ³	Ca. 30 EUR (enkel tellend) Ca. 15 EUR (dubbeltellend)	Gereguleerde markt (grotendeels op basis van administratieve overdracht binnen NL)	Prijs is afhankelijk van marginale kosten conventionele biofuels, enkel/dubbeltellend, niveau van bijmengverplichting en brandstofbelastingen (aanne = 8,5 EUR per bioticket).
Algemene beperkingen / belemmeringen	Volatiliteit titels/certificaten (met name biotickets and GvOs omdat de handel vrijwel uitsluitend OTC/ bilateraal is, dus beperkte informatie over referentieprijs.	Administratieve overdracht en/of virtuele vergroening wordt soms wel geaccepteerd (inzet GvOs + NTA8080 in transport), en soms niet (inzet GvOs groen gas onder ETS).	Exploitatie-risico bij SDE veel beter afgedekt en er is geen prikkel om hybride-constructies op te zetten vanwege correctie op SDE vergoeding.	Monitoring, rapportage, tracking-tracing en interacties/ overlappings tussen verschillende titels/certificaten. Handelen we in emissiereducties (EUA-CO ₂)? Handelen we in hernieuwbare energie (GvO)? Of handelen we in duurzame energie (bioticket; incl CO ₂)?	Relatief weinig mogelijkheden voor grensoverschrijdende handel.

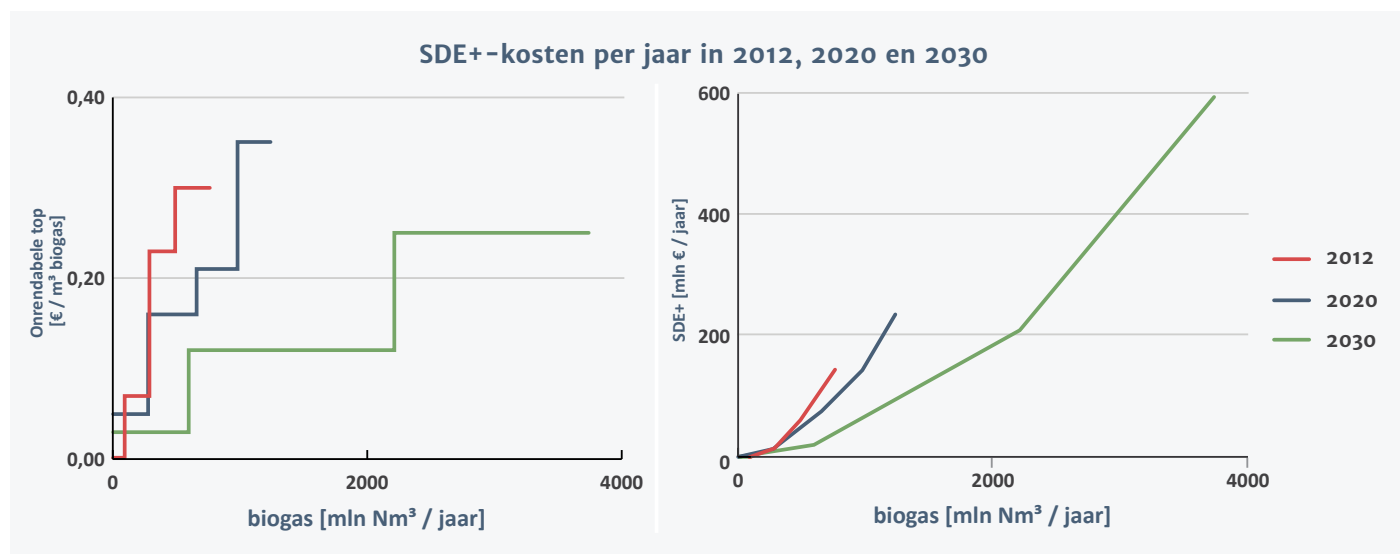
Een (kwalitatief) beeld van de op langere termijn te beredeneren groenwaarden geeft Hoofdstuk 5.

2.4 Kosten

Zonder structurele ingrepen in de markt is en blijft de productie van biogas duurder dan de productie van aardgas. De overwegingen om toch op biogas in te zetten komen voort uit maatschappelijke ambities rond klimaat en duurzame energie. Om de potentiële te realiseren zullen de meerkosten (onrendabele top) voor het realiseren van die ambities maatschappelijk gewaardeerd moeten worden. Dat kan door regulering/voorschriften die de inzet van biogas afdwingen, dan wel door financiële regelingen die de gerealiseerde CO₂-reductie,

mestverwerking of gebruik van mineralen een waarde geven. Vanuit een breed welvaartsperspectief is de term ‘onrendabele top’ (ORT) overigens betwistbaar. Preciezer geformuleerd gaat het namelijk om het overbruggen van het verschil in maatschappelijke kosten tussen fossiele en hernieuwbare energie. Zo zou ook van een ‘maatschappelijk onrendabele top’ van fossiel gesproken kunnen worden.

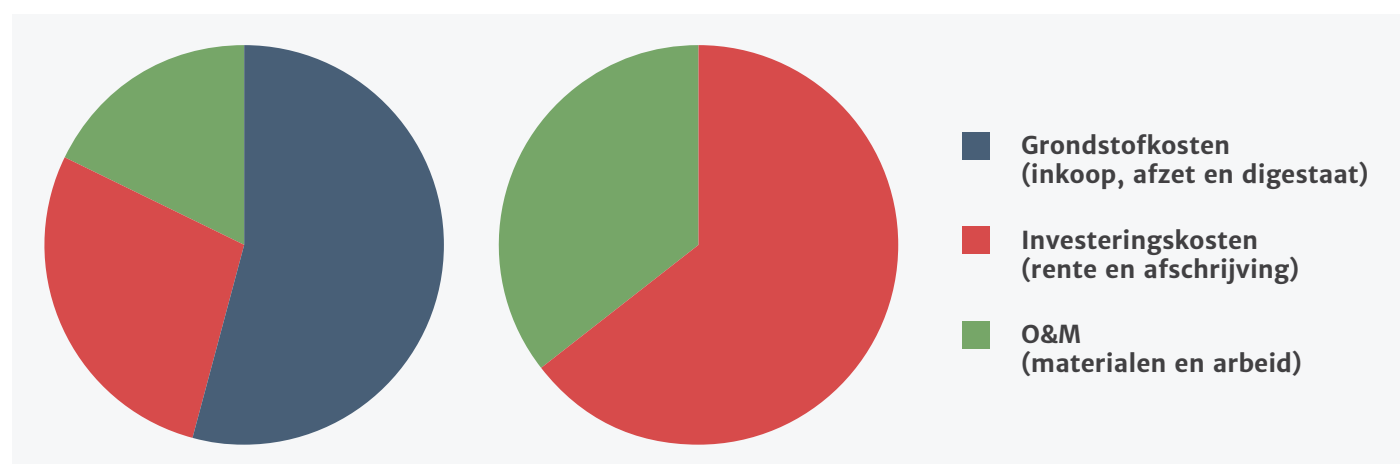
Figuur 8. raamt de ORT voor 2020 en 2030. Basis daarvoor is een kostenreductie door ontwikkeling van technologie, logistiek, infrastructuur en opbrengstverhoging en financiële waardering van (tussen)producten, van 30% respectievelijk 50%. Per m³ daalt de marginale ORT (de meerkosten voor de duurste in te zetten grondstofvergisting: monomestvergisting) van ca. € 0,35/m³ in 2020 naar ca. € 0,25/m³ in 2030.



Figuur 8. Onrendabele top (ORT) in 2020 en 2030; marginaal (links) en cumulatief (rechts)

Cumulatief om het hele potentieel van jaarlijks 3,7 miljard m³ biogas in 2030 te realiseren is dan € 600 miljoen/jaar overbrugging van de ORT nodig. In 2020 gaat het om ca. € 230 miljoen/jaar.

De kostprijsopbouw van biogasproductie kan sterk verschillen tussen de opties en afzetroutes. Dit wordt geïllustreerd door **Figuur 9**, waar de indicatieve kostprijsopbouw van covergisting en monomestvergisting met elkaar worden vergeleken.



Figuur 9. Relatieve aandelen van grondstofkosten, investeringskosten en O&M-kosten in groengasproductie uit covergisting (links) en mestmonovergisting (rechts). Gebaseerd op basisbedragen SDE 2014 (Lensink 2013b)

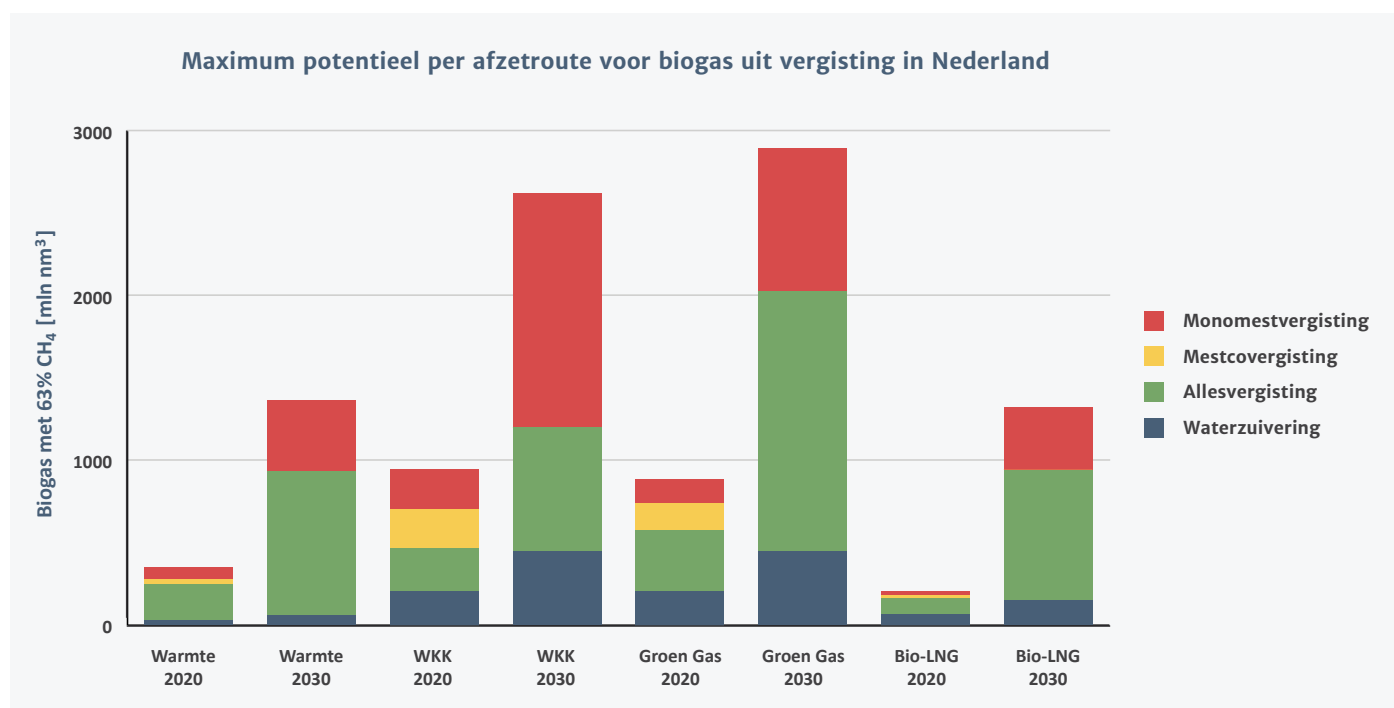
Figuur 9. laat zien dat de grootste uitdaging bij mestcovergisting ligt in het verlagen van de kosten van de grondstof (inclusief afvoerkosten van digestaat). Logische acties hiervoor zijn het zoeken naar goedkopere substraten (zoals berm- en beheersgras) en digestaatverwaarding. Voor monomestvergisting moet het vooral komen van een reductie in de investeringskosten, en mogelijk ook van digestaatverwaarding. Een uitvoerigere analyse van deze kostprijsopbouw gecombineerd met een analyse van de mogelijke verdiensten per technologie kan helpen bij het verbeteren van de businesscase van vergistingsprojecten en een doelmatige inzet van R&D-middelen.

2.5 Potentiëlen per afzetroute

Op basis van literatuurgegevens, de daling van de ORT zoals hierboven beschreven, de vuistregels en praktijkervaringen zoals verzameld door Groen Gas Nederland is een schatting gemaakt van het maximum-potentieel per afzetroute, voor 2020 en 2030. De resultaten zijn weergegeven in **Figuur 10**. De hoeveelheden zijn exclusief zeewier als nieuwe grondstofstroom.

In beginsel kan alle te produceren biogas in 2030 in groen gas (methaan, aardgaskwaliteit) worden omgezet, ofwel – met een iets lager potentieel – in warmtekracht. Inzet als bio-LNG in transport kan, als de eerste stappen zijn gezet (in het bijzonder ontwikkeling van de benodigde infrastructuur voor LNG) tussen 2020 en 2030 een vlucht nemen.

Merk op dat de routes in **Figuur 10**. niet bij elkaar optellen, maar met elkaar concurreren: meer inzet in de ene route gaat ten koste van inzet in de andere.



Figuur 10. Maximum potentieel per afzetroute voor biogas uit vergisting

3.1 Algemeen

Op korte termijn wordt de businesscase van vergisting bepaald door de lokale situatie (zie **Kader: Algemene afwegingen bij biogasprojectontwikkeling**) en *de huidige marktsituatie en beleidsregelingen*: SDE+, Garanties van Oorsprong (GvO) en biotickets, naast de generieke instrumenten emissiehandel (EU-ETS) en generieke fiscale regelingen.

Naar inzicht van de opstellers van de routekaart is niet te verwachten dat deze regelingen in de periode tot 2020 wezenlijk zullen (kunnen) veranderen. Wel kunnen de *groenwaarden* die uit deze regelingen voortkomen (de meerprijs die in deelmarkten wordt betaald voor groene energie) door veranderingen in vraag en aanbod schommelen.

Deze conclusie heeft gevolgen voor de timing van acties die nodig zullen zijn om de potentiële daadwerkelijk te realiseren:

- Op de relatief *korte termijn* (nu–2020) gaat het om het versnellen en verbeteren binnen de huidige kaders, die op zichzelf niet binnen afzienbare tijd veranderbaar zijn. Hiervoor is uit de veelheid van mogelijkheden een beperkt aantal sleutelacties geselecteerd.
- Op de *middellange termijn* (2020–2030) gaat het daarnaast ook om het voorbereiden en vormgeven van een stabiel en aantrekkelijk ontwikkel- en investeringsklimaat voor vergroening van de gasvoorziening.

De acties zijn op te pakken door:

- De sector/marktpartijen.
- Kenniswereld (instituten, advies).
- Overheden.
- Ook maatschappelijke groeperingen (NGO's, natuur en milieuorganisaties) kunnen een rol spelen, hiervoor zijn geen specifieke acties benoemd.

3.2 Bepalende factoren

Verschillende factoren zijn van invloed op de verdere ontwikkeling van Groen Gas; deze bepalen of de potentiële zoals beschreven in het vorige hoofdstuk ook daadwerkelijk worden gerealiseerd.

De veelheid van factoren onderscheiden we in drie categorieën:

- Hardware/Software (HS): techniek, operationele aspecten en (keten)organisatie.
- Economische aspecten en Markten (EM).
- Regulering (beleid) en wensen/acceptatie samenleving (RS).

HS: Hardware/Software

Het halen van potentiële 2020 kan in beginsel met de technieken die nu commercieel verkrijgbaar zijn. Nu lopende innovatietrajecten zullen pas na 2020 hun vruchten afwerpen in termen van kostenreductie, efficiencyverbetering, bredere inzetbaarheid van grondstoffen en verkrijging van andere componenten dan energie alleen.

Voor monomestvergisters echter is een daling van de investeringskosten gewenst, en via een programmatische aanpak naar verwachting ook realiseerbaar.

Om dit te kunnen realiseren is verdere professionalisering van de sector en krachtenbundeling geboden. Het ontwikkelen, contracteren, financieren en bedrijven van vergisters is een professie, niet iets dat eenvoudig naast een andere activiteit kan worden gedaan.

Dat geldt ook op het niveau van belangenbehartiging. In de praktijk is succes te boeken door de keten georganiseerd te krijgen.

Dat zou dan ook in de overkoepelende organisatie en belangenbehartiging weerspiegeld moeten zijn. Dat is nu niet het geval: de sector is fragmentarisch georganiseerd, op onderdelen van de keten. Bijgevolg richt de belangenbehartiging zich meer op het 'verdelen van de koek' (projecten, onderzoeken, subsidies etc.) dan op het 'vergroten van de koek': inspanningen om groen gas en de sector als geheel een betere concurrentiepositie te geven.

Normaliter groeit de organisatiegraad en professionaliteit met de volwassenwording van een markt. Maar omgekeerd kan soms ook verbeteren van organisatiegraad en professionalisering helpen de marktontwikkeling te versnellen, door afstemming van activiteiten in de keten en door gezamenlijke belangenbehartiging en beleidsbeïnvloeding. Dat lijkt binnen de sector nu aan de orde.

EM: Economie/Markten

Gegeven een zich tot 2020 beperkt ontwikkelende technologie, zal de invloed van de technologie op de verbetering van de economie van projecten ook maar beperkt zijn. De belangrijkste uitdagingen om de economie van projecten op de korte termijn tot 2020 te verbeteren liggen dan ook niet daar, maar in organisatorische oplossingen.

Voor 2020 hoeven geen substantiële veranderingen qua markten te worden verwacht.

Een aantal trends die nu al zichtbaar zijn zal naar verwachting doorzetten:

- Biomassa/grondstoffen:
 - Omvat een groot scala aan deelmarkten, velen ervan blijven volatiel.
 - Er wordt nog geen aanzuigende werking door de biobased economy verwacht.
 - Er is een toenemende beschikbaarheid van mest, door wegvallen melkquota in combinatie met mestwetgeving.
- Warmte: lokale afzetbaarheid van warmte blijft de sleutel.
- Elektriciteit: businesscase wordt moeilijker door ontwikkelingen elektriciteitsmarkt (overcapaciteit, penetratie zon en wind).
- Gas: doorgroeiende behoefte aan groen gas.
- Motorbrandstoffen
 - Een politiek bepaalde, onvoorspelbare en daardoor volatiele markt.
 - Biotickets creëren een interessante markt.

Ook beleidsmatig worden op de korte termijn 2020 geen substantiële veranderingen verwacht. Een paar algemene tendensen zullen naar verwachting doorzetten:

- Uitvoering SER-energie-akkoord zal tot 2020 maatgevend zijn.
- Bij matige economische vooruitzichten zullen de staatsuitgaven voor o.a. duurzame energie, beperkt blijven, c.q. nieuwe uitgaven liggen niet in het verschiet.

De maatschappelijke discussie over (fossiel) gas in de energiehuishouding en in de energietransitie zal naar verwachting weinig consequenties voor groen gas hebben. Een positieve consequentie zou kunnen zijn dat de grotere spelers in de gasindustrie hun kennis en kunde mede gaan richten op Groen Gas.

3.3 Sleutelacties

Shortlist en longlist

Op elk van deze sleutelfactoren is, in de loop van de periode nu–2020–2030, in meer of mindere mate invloed uit te oefenen door het bedrijfsleven/de sector, overheden, kennisinstellingen en maatschappelijke organisaties.

De volgende acties kunnen worden aangemerkt als ‘sleutelacties’ die onmisbaar zijn om de ontwikkeling van groen gas verder te bevorderen, te onderscheiden in acties die mogelijk op de korte termijn al effect sorteren, en acties die een langere adem vergen en pas op de middellange termijn effect zullen hebben. De sleutelacties zijn gebaseerd op een uitvoerige analyse van actiepunten die in studies zijn aangetroffen, en op gesprekken en bijeenkomsten met stakeholders.

Bijlage 2 bevat een shortlist met acties, gevolgd door een uitgebreidere longlist.

Acties korte termijn: nu–2020

Voor de korte termijn, tot 2020, is de volgende lijst sleutelacties opgesteld:

Actie 1: Lanceer als overheid en sector een gezamenlijk programma om monomestvergisting van de grond te krijgen.

Realiseren van een innovatieprogramma voor het ontwikkelen en uitrollen van kleinschalige mestvergisters inclusief een mesttraffinagestap. Dit programma wordt aangevuld met een plan om grootschaligere mestvergisting te ondersteunen bij het vinden van locaties en financiering. Daarnaast dient voor beide opties het reguleringskader (vergunningen, omgeving, digestaat-inzet e.a.) dit plan maximaal te faciliteren.

Actie 2: Maak de inzet van biogas meer flexibel binnen de SDE+.

Op dit moment moet binnen de SDE+ vooraf voor de hele looptijd van een project worden bepaald wat de afzet van het biogas is (warmte, groen gas, WKK). Dit belemmert de optimale inzet voor het biogas en de totstandkoming van biogashubs.

Actie 3: Zorg dat hoogwaardige toepassing van biomassa wordt gestimuleerd in (overheids) aanbestedingen voor afvalverwerking en bermbeheer.

Energetische benutting van organische afvalstromen als biogas dient standaard te worden bij alle overheidsaanbestedingen. Daartoe kunnen Groen Gas Nederland en RVO modelaanbestedingen (laten) ontwikkelen.

Actie 4: Professionaliseer markt en sector.

Normaliter groeit de organisatiegraad van een sector met het volwassen worden van de markt. We bevelen in geval van groen gas juist verbetering van organisatie en professionaliteit aan om de marktontwikkeling te versnellen. De sector is thans versnipperd; er zijn organisaties, taakgroepen en platforms voor verschillende onderdelen van de keten en deelmarkten. Krachtenbundeling in één enkele organisatie en aanspreekpunt is geboden; met name productie van groen gas en afzet, i.h.b. in de mobiliteit, zouden intensiever moeten samenwerken. Krachtenbundeling van in elk geval Groen Gas Nederland, Groen Gas Mobiel, Platform Bioenergie, Biogas Branche Organisatie (BBO) en de Vereniging van Groen Gas Producenten (VGGP) lijkt geboden.

Samenwerkende sectorspelers en kennisinstellingen kunnen dan met een gezamenlijke (virtuele) kennisbasis marktpartijen ondersteunen bij hun professionalisering.

Gebruik kan worden gemaakt van lessen en ervaringen in omringende landen.

Acties middellange termijn: 2020–2030

Op de middellange termijn (2020–2030) zijn er meer vrijheidsgraden om wezenlijke veranderingen door te voeren. Met de voorbereidingen daarvan moet dan nu al worden begonnen.

De algemene lijn is:

- Maatschappelijke baten van biogas-ketens financieel verzilveren.
- Scheppen van een gelijk, groen en stabiel speelveld waarop concurrerende opties pro rato worden afgerekend op basis van hun maatschappelijke kosten en baten.

Dit leidt tot een aantal *sleutelacties* op de middellange termijn die effect moeten sorteren in de periode na 2020:

Actie 5: Werk systematisch aan (financiële) waardering van maatschappelijke baten van biogas.

De bijkomende waarden van de inzet van biomassa naar biogas kunnen de totale keten naar biogas economisch interessanter maken. Hiervoor is het nodig dat vermeden emissies (CO₂, methaan, enz.), eventueel de toepassing van CO₂, de mestwaarde van digestaat en de bijdrage aan de mineralenbalans naar hun maatschappelijke waarde financieel worden gewaardeerd. De sector zou zelf het initiatief tot een programma moeten nemen, samen met overheden en kennisinstellingen.

Actie 6: Werk een samenhangend plan voor een groen ‘level playing field’ mobiliteit uit.

Groen gas kan een interessant alternatief zijn in mobiele toepassingen, met name voor zwaarder transport. Dat vereist een well-to-wheelbenadering waarin de milieuwinst van groen gas op eenzelfde niveau wordt gehonoreerd als voor andere mobiliteitsopties geldt. Dit vergt aanpassingen aan het reguleringskader, wat een intensieve publiek-private samenwerking zal vereisen.

Actie 7: Blijf nieuwe grondstofstromen en technologie ontwikkelen om het groen gas-potentieel te vergroten.

Voor de middellange termijn kunnen nieuwe bronnen van biomassa worden ontwikkeld, zoals wieren. Ook kunnen nieuwe conversietechnieken tegen een betere kosten-batenverhouding een kans krijgen, zoals superkritische vergassing en bioraffinage. Dat vergt een gecoördineerd onderzoeks- en ontwikkelprogramma in het kader van het TKI Gas en TKI Biobased Economy.

4.1 Stand van zaken en keuzes vergassing

Inleiding

De Green Deal Groen Gas geeft de ambities aan van de sector voor de introductie van groen gas in Nederland. Daarbij wordt vergassing van biomassa gezien als de mogelijkheid tot opschaling van de productie van groen gas. Zoals eerder gesteld wordt groen gas gedefinieerd als gas uit biomassa opgewaardeerd naar de kwaliteit van aardgas.

Vergassing van biomassa is op dit moment (2014) mondiaal nog een technologie in het ontwikkelstadium. Biovergassers op basis van diverse technische concepten zijn of worden op dit moment ontwikkeld en in gebruik genomen (IEA Bioenergy – Task 33).

Vrijwel alle vergassers zijn gericht op het produceren van syngas, hetzij voor elektriciteit en warmte, hetzij voor raffinage. Alleen de GoBiGas-installatie in Gotenburg is gericht op de markt voor mobiele toepassingen.

In Nederland is met biomassavergassing echter nog weinig ervaring. Een overzicht van recente biomassavergassingsprojecten is te vinden in een brochure hierover van Groen Gas Nederland (Van Dorp, 2013).

De routekaart richt zich volgens de gekozen invalshoek in eerste instantie op de route naar groen gas (methaan van biogene oorsprong opgewerkt tot aardgaskwaliteit), maar tijdens deze zoektocht is de vraag opgekomen of dit op voorhand wel als meest logische of meest wenselijke route moet worden gezien. Die vraag speelt als groen gas (aardgaskwaliteit) uit vergassing wordt bekeken in het licht van alternatieve routes voor vergassingsproducten.

De stand van de technologieontwikkeling laat echter toe dat de keuze voor wat de beste route is, of routes zijn, pas in een later stadium wordt gemaakt.

Redenen voor vergassing

De stap van vergisting naar vergassing is om meerdere redenen een verandering in benaderingswijze: het gaat om een stap van verwerking van *reststromen* (vergisting) naar *industriële productie* (vergassing) van hoofdzakelijk te importeren grondstoffen.

Vergisting richt zich voornamelijk op het verwerken van (natte) materiaalstromen waarvoor geen hoogwaardiger toepassing meer mogelijk is. Vergisten van biogene afvalstromen en residuen draagt dus bij aan de verwerking van afvalstromen, waarbij als bijproduct biogas vrijkomt.

De stap naar opschaling via vergassing is echter een expliciete poging om via de thermochemische omzetting van biologisch materiaal te komen tot een significante (10–20%) bijdrage aan de gasvoorziening in 2030. Feitelijk terug naar de ‘gasfabriek’ uit het midden van de vorige eeuw, maar dan met biologisch materiaal in plaats van destijds kolen.

Daarnaast kunnen sommige vergassingsroutes ook andere koolwaterstoffen opleveren zoals benzeen, toluen en xyleen. Dergelijke coproductie van platformmoleculen voor de chemie

kunnen de businesscase van vergassing verbeteren. Aangezien dit primair aansluit op groene chemie, niet op groen gas, is deze optie niet verder uitgewerkt in deze routekaart.

Van een bijproduct uit de verwerking van een afvalstroom wordt het een uitgangspunt om groen gas te produceren op substantiële, industriële schaal. De grondstofkeuze is daar vervolgens een afgeleide van, wat bijvoorbeeld kan leiden tot een keuze om biomassa gericht te importeren voor energiedoeleinden.

Die verandering in benaderingswijze gaat gepaard met een aanzienlijke financiële en technologische inspanning.

Voordat een dergelijke route wordt ingezet is het belangrijk de basisgedachte (hoofddreden, rationale) achter deze stap te identificeren waarop deze ontwikkeling moet steunen. Deze rationale kan gebaseerd zijn op een of meer van onderstaande motieven:

- Industriepolitieke overwegingen ('groene groei').
- Klimaatbeleid (koolstofarme energievoorziening).
- Vermindering van de afhankelijkheid van gasimporten bij afnemende nationale winning van aardgas.
- Buffering voor intermitterende duurzame elektriciteit (via o.a. Power-to-Gas).
- In stand houden van de gasinfrastructuur als relatief goedkope transport- en opslagfaciliteit.

Uit gesprekken met betrokkenen is gebleken dat de rationale voor vergassing (nog) niet eenduidig vast staat. Er leven dan ook tegenstrijdige opvattingen over noodzaak, richting en ambitie van de vergassingsroute. Voor een routekaart naar een doel is overeenstemming over het waarom van de reis echter wenselijk als onderbouwing van haar legitimiteit.

Het gebrek aan eenduidigheid heeft vooral betrekking op de stap naar 'groene methaan' zolang er nog goedkopere routes bestaan die gasvormige aardgasvervangers opleveren.

Het produceren van groene methaan maakt het mogelijk om een biobased product in te voeden op een (in Nederland) sterk ontwikkeld en fijnmazig distributienet. De vraag die dan naar voren komt is of op de langere termijn de rol van aardgas nog is wat het nu is en welke alternatieve routes daarnaast bestaan en zullen ontstaan.

Dat vraagt om toekomstbeelden en systeemanalyses voor de rol van aardgas en andere energiedragers in ons energiesysteem. Het ontwikkelen en vergelijken van toekomstscenario's voor het (Europese) energiesysteem valt buiten de scope van deze routekaart.

Wij volstaan hier daarom met de constatering dat de meningen over de relevantie van het grootschalig invoeden van groen gas in het Nederlandse gasnet verdeeld zijn. Dat kan van betekenis zijn voor het draagvlak voor een biomassa-vergassingsroute gericht op bijmengen van groen gas in het gasnet, zeker als dit hoge kosten met zich meebrengt en een beroep doet op vanuit duurzaamheid gezien discutabele grondstofstromen.

Vergassing in de routekaart

Voor de routekaart betekent dit dat naar een flexibele invulling zal moeten worden gezocht, waarbij kostbare lock-in-situaties worden vermeden. Het landschap met de diverse stappen, tussenstappen, argumenten en businesscases rond vergassing is complex en net als de technologie nog niet volledig uitgedacht.

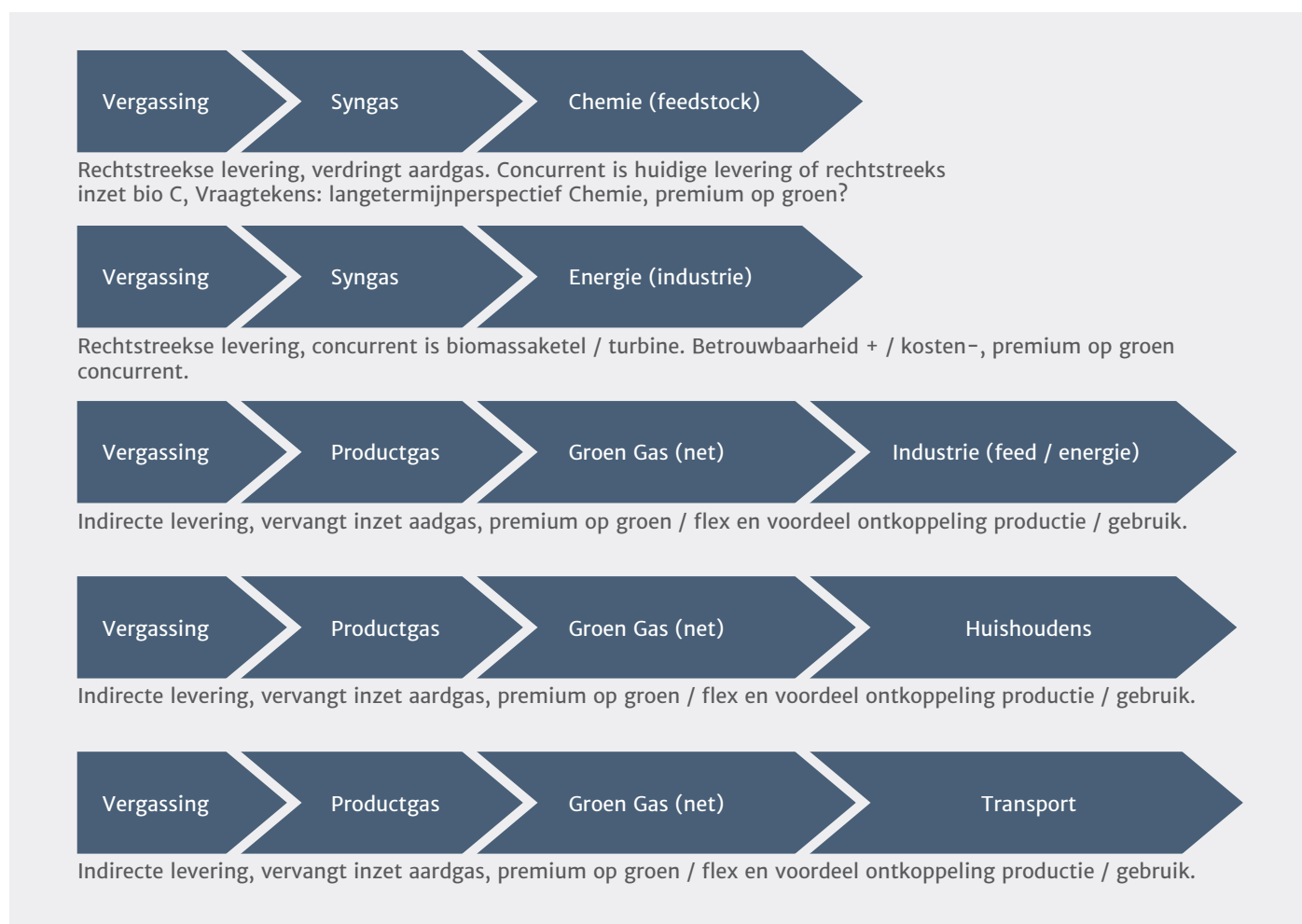
Uitgangspunt bij het ontwikkelen van de vergassingsroute is niet zozeer de beschikbaarheid van biogene afval- en productstromen zoals bij vergisting, maar de realisatie van een substantieel aandeel groen gas, waarbij het bronmateriaal beschikbaar gemaakt moet worden. Bij vergassing gaat het dan vaak om houtachtige materialen en deels biogeen afval. De vraag of en hoeveel van dat materiaal beschikbaar is of gemaakt kan worden en tegen welke kosten is al jaren een onderwerp van onderzoek. In Nederland houdt de Commissie Corbey (www.corbey.nl) zich hiermee bezig. In haar recente advies 'duurzaamheid vaste biomassa' (2013) geeft deze commissie aan dat import van vaste biomassa voor energie, los van de vraag of dat een wenselijke inzet van biomassa oplevert, al snel zal leiden tot concurrentie binnen Europa.

Zelfs bij een *business as usual*-scenario groeit Nederland al snel toe naar een beslag van 60% van de beschikbare houtachtige biomassa. Andere studies stellen dat een substantieel extra potentieel aan houtachtige biomassa kan worden ontsloten door teelt van snelgroeiende bomen en grassen op (al dan niet marginale) landbouwgronden (www.biomassfutures.eu). Ook afvalstromen kunnen substantieel zijn, al zal ook hierom concurrentie optreden met andere toepassingen en kan verdergaande recycling en cradle-to-cradle ertoe leiden dat er minder afval ontstaat.

Onderdeel van de uitvoering van het energieakkoord zoals dat in 2013 is gesloten is het ontwikkelen van duurzaamheidscriteria voor vaste biomassa. Aanleiding daartoe vormen de voornemens tot bij- en meestook van vaste biomassa, maar voor vergassing van deze biomassastromen kan worden aangesloten bij de uitkomsten van deze ontwikkeling. Vergassingsroutes kunnen dus een substantieel extra potentieel aan grondstoffen ontsluiten voor groen gas, maar de beschikbaarheid van (duurzame) biomassa voor het opschalen van een vergassingsroute is niet vanzelfsprekend. Noch is vanzelfsprekend welke route of routes uiteindelijk de beste zal of zullen blijken, daarvoor is de stand van de technologieontwikkeling nog te pril. Om deze redenen raamt de routekaart geen potentiële voor vergassing, noch wordt gepleit voor een specifieke route. In plaats daarvan komt op basis van een aantal mogelijke routes een trapsgewijze strategie tevoorschijn, waarbij pas tijdens de uitvoering nadere keuzes worden gemaakt.

4.2 Hoofdroutes

In **Figuur 11.** staan de drie hoofdroutes die zich nu, lopende de technologieontwikkeling, aandienen:



Figuur 11. Hoofdroutes voor vergassing

Biomassa -> productgas/syngas

Dit productgas (mengsel van hoofdzakelijk H_2 en CO) wordt rechtstreeks als feedstock in de industrie ingezet. Vergassing zal zo ingepast zijn een in haven-industriële omgeving, voor aanvoer van biomassa, en benutting in industriële installaties.

In de praktijk zal dit betekenen dat bij gebruik van syngas als feedstock de productie van dit gas dicht bij de gebruikers plaatsvindt, omdat syngas niet kan worden getransporteerd via de reguliere gasinfrastructuur. Gegeven de locatie van de chemie en de behoefte aan voldoende volume grondstoffen zijn dit dus de grotere chemische locaties in de havengebieden met importmogelijkheden (Delfzijl, Amsterdam, Rotterdam en Terneuzen).

De rationale voor deze route is dat vergassing zo een onderdeel kan zijn van een strategie voor vergroening van de industrie en de biobased economy (Krebbekx et al., 2011).

Essentieel voor deze route is de beschikbaarheid van afval- en grondstoffenstromen, bij voorkeur dicht bij de (gas)productielocatie en de mogelijkheid om hiervoor langere termijn levering te

garanderen. De ambitie van Nederland om biohub voor Europa te worden draagt daaraan bij (Van Luijken et al., 2012). Dat geldt in gelijke mate voor de afzet; deze route vereist een continuïteit in de aanwezigheid van voldoende chemische bedrijvigheid die een beroep kan doen op het beschikbare syngas. Waar mogelijk zal het premium op het groene deel een waarde moeten krijgen.

Biomassa –> energie

In deze route wordt het verkregen productgas/syngas voor directe energieproductie (elektriciteit, warmte) ingezet. Concurrentie is met directe inzet van biomassa voor energieproductie. Vergassing in plaats van directe energieproductie met biomassa ligt alleen voor de hand als over de gehele (regionale) syngasketen gezien een efficiencyvoordeel in transport en gebruik kan worden behaald.

Deze route richt zich op energietoepassingen, veelal een combinatie van elektriciteit en warmtelevering. Biomassa wordt omgezet in syngas die na reiniging kan worden ingezet in ketels of gasturbine. Gezien de aard van de technologie (decentraal op basis van afvalverwerking op industriële schaal) zal dat in veel gevallen hoge temperatuurwarmtelevering zijn. Ook hier is dus de beschikbaarheid van bronmateriaal op de (gas)productielocatie belangrijk.

In geval het syngas wordt ingezet voor de productie van elektriciteit en warmte is de vergassingsroute een directe concurrent van andere routes van biomassa naar elektriciteit en warmte, zoals meestook in kolencentrales, inzet van biomassa in ketels en bio-WKK via vergisting.

De rationale achter deze route is uiteindelijk kostenreductie in de levering van energie, uitgaande van het vooraf realiseren van de efficiencymogelijkheden, waarbij de benchmark in veel gevallen de inzet van aardgas zal zijn. Als verduurzaming en reductie van fossiel CO₂ een rol spelen zal de vergelijking met andere bio-WKK oplossingen worden gemaakt.

Vergassing is in principe een technologie die organische afvalstromen met een hoge efficiency om kan zetten naar een gasvormige energiedrager. Uit gesprekken met stakeholders komt naar voren dat benchmark via gewone ketels echter zeer concurrerend is in efficiency, prijs en betrouwbaarheid. Rendementen boven de 85% worden gerealiseerd tegen meer dan 95% beschikbaarheid onder autonoom bedrijf. Vergassing biedt daar geen meerwaarde, omdat een alternatieve technologie economisch niet opweegt tegen de betrouwbaarheid. Kleinere vergassers van enkele MWe hebben een hoger rendementsvoordeel, maar ook hier geldt dat betrouwbaarheid onder autonoom bedrijf doorslaggevend zal zijn.

Verder beschikt Nederland over een infrastructuur aan afvalverbranding met ca. 15% overcapaciteit om het Nederlandse afval te verwerken, wat een aanzienlijke toetredingsdrempel voor nieuwe technologie oplevert. Voor de langere termijn spelen onzekerheden over de invloed van recycling (I&M et al., 2012) en cradle-to-cradle ontwerp, ketenaansprakelijkheid en belastingen op het verbranden van afval. Dat kan zowel effect hebben op de beschikbaarheid van biomassa, de onderlinge waarde van biomassastromen als op de businesscase voor biomassavergassing.

Biomassa –> groen gas

In deze route wordt het verkregen syngas gemethaniseerd tot methaan. De rationale is hier een nieuwe, groene bron te hebben om de bestaande gasinfrastructuur met zijn voordelen van goedkoop energietransport en goedkope energieopslag en flexibiliteit in een verduurzamende energieuishouding te kunnen gebruiken.

Dit is de kern van de Groen Gas Green Deal. Deze route richt zich op het vergroten van het aandeel ‘groen aardgas’ in de Nederlandse energievoorziening gegeven de beschikbaarheid van de aardgasinfrastructuur. De rationale achter deze keten is vooral het benutten van de bestaande infrastructuur voor het transport van een gasvormige energiedrager van omzetting naar eindgebruiker. De route van biomassa naar groen gas is niet onomstreden omdat er veel twijfels zijn over de meerwaarde van een aardgasvervanger in de vorm van groen gas. Voor het vervangen van aardgas door een groene optie bestaan ook andere (syngas) oplossingen zoals hiervoor aangeduid. Wil de route van biomassa naar groen gas via syngas toch worden doorlopen is daarvoor zullen de meerkosten ten opzichte van de directe inzet van productgas moeten worden gerechtvaardigd door het maatschappelijke voordeel van groen gas.

De rationale voor groen gas bestaat vooral uit het gebruik van bestaande infrastructuur. Door de infrastructuur ontstaat de mogelijkheid om los te komen van de koppeling van productie en gebruik, die kenmerkend is voor de bovenstaande syngasroutes. In principe maakt dit het mogelijk om ook decentrale gasgebaseerde warmteopwekking via het gasnet te vergroenen en energie te leveren voor mobiele toepassingen. Verder biedt het benutten van internationale infrastructuur ook mogelijkheden om op termijn groen gas buiten Nederland te produceren en af te zetten zodat efficiënter gebruik kan worden gemaakt van beschikbare biogene afvalstromen.

4.3 Strategie

De keuze voor een (hoofd)route is gegeven de stand der techniek nog niet aan de orde. Om de routes onderling te kunnen waarderen, bepleit de routekaart uit te gaan van de mogelijkheid om waar dat het meest logisch is, fossiel aardgas te vervangen, in plaats van nu al op voorhand toe te werken naar aardgasequivalent op basis van syngas. Dat biedt de mogelijkheid om de technologiekeuze te baseren op wat uiteindelijk werkelijk nodig blijkt te zijn: syngas, waterstof, Power-to-Gas of groen gas.

Driefasenstrategie

Een strategie voor de ontwikkeling van vergassing zal rekening moeten houden met de hiervoor genoemde onzekerheden en uitdagingen in technologie en marktontwikkeling. Die onzekerheden vragen flexibiliteit en het inbouwen van momenten om de aanpak te (her)ijken aan de actuele ontwikkelingen.

Daarom is de routekaart voor het deel vergassing naar 2030 onderverdeeld in drie fasen die elk een eigen karakter kennen:

1 Nu–2020: technologieontwikkeling

Het doel is om de verschillende vergassingsopties zich naast elkaar te laten bewijzen op economie, betrouwbaarheid en relevantie voor de toekomstige energievoorziening. Technologische ontwikkeling en verkenning van het perspectief van de optie staan centraal.

2 2020–2025: marktontwikkeling

Deze fase kenmerkt zich door een focus op het realiseren van marktomstandigheden die de commerciële uitrol van de vergassingstechnologie ondersteunen. Gegeven de stand van de techniek kunnen keuzes worden gemaakt voor de markten waarvoor de opties relevant worden.

3 2025–2030: commerciële uitrol

Deze fase kenmerkt zich door grootschalige investeringen in productie en commerciële uitrol.

Fase 1 (nu–2020)

Biomassavergassing verkeert nog in een fase waarin de technologie haar waarde moet bewijzen. De meest economische vergassingsroute leidt op dit moment van biomassa/reststromen naar synthesegas als *feedstock* voor industrie. Voor zover de businessplannen bekend zijn, mag worden aangenomen dat er tot 2020 nog wel enkele gelijksoortige initiatieven bij komen.

Voor de vergassing naar groen gas is een specifiek Nederlandse oplossing ontwikkeld (Milena/Olga) waarvoor een demonstratieproject in ontwikkeling is rond Alkmaar. De verwachting is dat de ervaring met dit project nog voor 2020 tot een beslissing over een vervolgproject zal leiden. De industriële ontwikkeling van deze technologie zal naar het zich laat aanzien worden gedreven door mogelijkheden voor projecten in het buitenland gericht op het omzetten van reststromen naar energie (o.a. het Verenigd Koninkrijk). De maatschappelijke meerkosten van deze ontwikkelingen worden gefinancierd door combinaties van risicodragende participaties uit de private sector en financiering uit SDE.

Bepalende factoren:

Hardware/Software (HS)

Technologieontwikkeling (hardware) staat voorop; organisatie is gericht op het realiseren van een demo-project, alsmede op het bundelen van krachten om maximaal te kunnen leren vervolgens door te kunnen stomen.

Economie en Markten (EM)

Hiervoor is in dit stadium nog niet veel aandacht, na de technologie moet immers de economie van de vergassing zich nog bewijzen.

Regulering en Samenleving (RS)

Om succesvol te kunnen ontwikkelen, is cofinanciering van de technologieontwikkeling door de samenleving onontbeerlijk. Dat vereist wel enig draagvlak: de wens die kant op te gaan én het vertrouwen dat een Nederlands cluster hier een positie kan claimen.

Fase 2 (2020–2025)

De periode 2020–2025 is gericht op de marktontwikkeling van de vergassingstechnologie. Die is gebaseerd op een evaluatie van de beschikbare technologie, zowel in betrouwbaarheid en economie, als ook in de bijdrage aan de energiehuishouding. Dat biedt uitzicht op de gewenste opschaling. Dat betekent ook dat in deze overgangsfase een scherpere definitie van de meest aantrekkelijke vergassingsroutes nodig is. Zo zal dan de vraag aan de orde zijn of die gebaseerd moet zijn op een route naar groene methaan, en dus uitzicht op het benutten van de loskoppeling van productie en gebruik, of gericht kan zijn op groen syngas of groene energie.

Bepalende factoren in deze periode:

Hardware/Software (HS)

Hier staat het snel doorlopen van een leercurve centraal; de organisatie moet daarop gericht zijn. Vanuit het huidige (2014) perspectief betekent dit het realiseren van enkele (4–5) demonstratie- of vroeg-commerciële installaties van enkele tientallen MW. Het resultaat van deze fase zal moeten zijn dat voor één of meer biomassavergassingsroutes het technische en economische risico zo overzichtelijk is dat een commerciële uitrol van meerdere installaties industrieel te realiseren is.

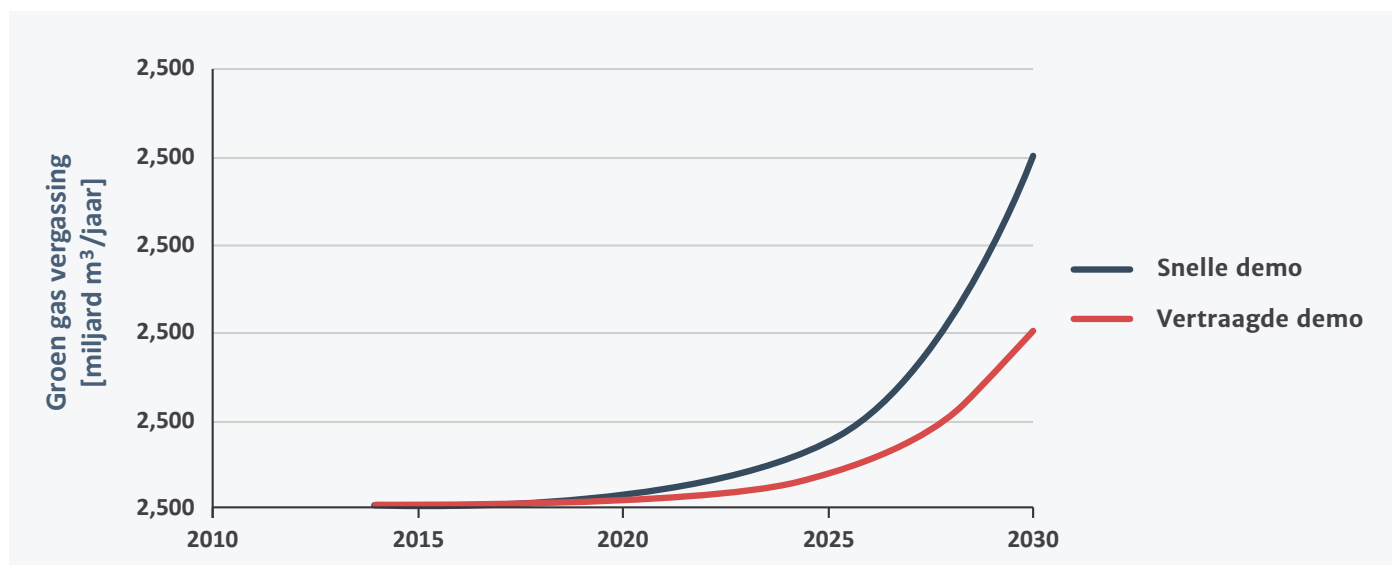
Economie en Markten (EM)

Met het doorlopen van de leercurve zal ook de economie van vergassing verbeteren, maar van concurrentie met andere opties is dan nog geen sprake.

Marktontwikkeling zal in deze fase gericht zijn op het realiseren van de marktcondities voor de gewenste opschaling. Daarbij zal duidelijk moeten worden hoe de balans tussen publiek en privaat risico komt te liggen.

Hoe meer de waarde van het geproduceerde eindproduct wordt gereflecteerd in de prijs de markt bereid is daarvoor te betalen, hoe lager het publieke risico. Daarvoor is een goed functionerend Europees certificatenstelsel voor biogas een voorwaarde. Om de kosten Europees te kunnen spreiden, zou dat dus een Europees geaccepteerd systeem moeten zijn.

Naarmate de technologische risico's afnemen zal duidelijker worden wat de investerings- en exploitatiekosten zullen worden bij grootschalige uitrol. Op basis van de huidige inzichten kan een inschatting worden gemaakt van een ontwikkeltraject naar 3 miljard m³ vanaf 2020.



Figuur 12. Maximum potentieel per afzetroute voor biogas uit vergisting

Figuur 12. laat zien hoe de groei van de markt daarvoor eruit zou kunnen zien (Lensink, 2013).

Regulering en Samenleving (RS)

Cofinanciering van de technologieontwikkeling door de samenleving blijft onontbeerlijk. De regulering concentreert zich in deze fase op het mogelijk maken van de commerciële uitrol in de periode 2025–2030. Dat concentreert zich vermoedelijk op de beschikbaarheid van biomassa. Zolang onzekerheid bestaat over de toelaatbaarheid en van biomassastromen zal marktontwikkeling stagneren en zal er een groot politiek of reguleringsrisico in projecten bestaan wat financieel consequenties heeft voor de onrendabele top.

Regulering van import van duurzame biomassa is daarin belangrijk, maar ook de regulering van de invoeding van grotere hoeveelheden biogas op het gasnet. Op dit moment ligt de gaskwaliteit vast tot 2020. Als besloten wordt om de realisatie van de groengasambitie via het gasnet te laten verlopen zal regulering van de gaskwaliteit aan de orde zijn. Die regulering zal afhankelijk zijn van de mate waarin er dan (aard)gas wordt gebruikt voor de diverse toepassingen en de mate waarin technologisch kan worden omgegaan met veranderende gassamenstellingen.

Daarnaast zullen nog niet alle groengasopties al zonder ondersteuning bij marktintroductie kunnen worden gerealiseerd. Als het perspectief voor groen gas aantrekkelijk lijkt zal in deze fase een verschuiving plaatsvinden van het overnemen risico's naar een marktinstrument als de SDE of een verplichtingssysteem met certificaten. In de loop van deze fase kunnen deze instrumenten dan mogelijk ook worden uitgefaseerd en kan worden teruggevallen op een generiek instrument zoals een CO₂-prijs via het ETS. Pure RD&D-ondersteuning wordt afgebouwd.

Bij een stap naar marktontwikkeling is een perspectief op de commerciële betekenis van die ontwikkeling nodig. Omdat de routekaart zich met name richt op de realisatie van een aandeel groen gas in het gasnet is op basis van de inzichten van nu een poging gedaan de economie van een marktontwikkelingstraject van die optie te schetsen. Onderstaande **Tabel 4.** vat die berekeningen samen.

Ter vergelijking is in **Tabel 4.** ook een indicatie opgenomen van de verwachte onrendabele top van wind op zee (WOZ) in 2020–2023, inclusief een indicatie van de onbalanskosten, de kosten van het intermitterende karakter van wind op zee. Uiteraard is dit een illustratie met beperkte zeggingskracht alleen al omdat wind op zee elektriciteit levert, geen gas. Maar het laat zien hoe vergassing zich verhoudt tot een andere optie die momenteel als duur wordt gezien.

Tabel 4. Kentallen vergassing, overzicht van investeringen en onrendabele top (ORT) voor de realisatie van 2 miljard m³ groen gas in 2030. Ter vergelijking is de verwachte onrendabele top van Wind op Zee (WOZ) opgenomen

	Eenheid	Houtchips	Houtpellets
Referentiegrootte	[MWth]	150	150
Energie-inhoud feedstock	[GJ/ton]	12,5	16
Grondstofkosten	[€/ton]	70	140
Doelstelling bio-SNG productie in 2030	[mrd m ³ /j]	2	2
Aantal vergassingsinstallaties	[-]	21	21
Investering totaal	M€	3.371	3.371
O&M totaal	M€	169	169
ORT totaal	M€	6.093	9.242
ORT bio-SNG in 2020	[€/GJ]	12,7	16,5
ORT bio-SNG in 2030	[€/GJ]	6,5	10,3
ORT WOZ in 2020-2023 (inclusief profielkosten van 2 €/GJ)	[€/GJ]	11	11

Afhankelijk van de gekozen biomassa-feedstock leidt vergassing tot investeringen in de orde van 3–4 miljard euro, waarbij het onrendabele deel van de productie van het groene gas optelt tot een bedrag tussen de 6 en ruim 9 miljard euro.

De ORT is daarbij berekend conform de huidige SDE+-systematiek, dus financiering van de ORT voor 12 jaar. Dat dekt niet de geschatte economische levensduur van twintig jaar per installatie; deze loopt dus voor de meest recent geïnstalleerde unit tot 2042. De kosten zijn in euro's van nu, zonder rekening te houden met *time value*. De berekeningen gaan uit van een schaaleffect op de omvang van de installatie van 0,6 (elke verdubbeling is 60% kosten) en een leercurve op de investeringen van 10% (elke verdubbeling in aantallen units is 90% van de kosten). Voor de realisatie van 2 miljard m³ gas in 2030 gaan we uit van 21 te realiseren units (150 MWth). Overigens leidt dit in 2030 tot een resterende ORT van 7–11 €/GJ, wat betekent dat bij doorgroei van de productie nog steeds financiering van een ORT nodig is.

Bovenstaande berekening is een globale illustratie op basis van de inzichten van nu zonder concrete ervaring met de realisatie van vergassingseenheden in deze omvang. Voor de marktontwikkeling is bijvoorbeeld geen rekening gehouden met aspecten als bijvoorbeeld cost of capital voor het realiseren van een aanzienlijke opschaling in productiecapaciteit, kosten van locaties, vergunningen enz. Uitgaande van de snelheid waarmee ervaring kan worden opgedaan met deze technologie is verondersteld dat de realisatie van groengasproductie pas na 2025 een grotere vlucht zal nemen. Dat betekent dat het merendeel van de financiële middelen voor het doen van de noodzakelijke investeringen in een zeer korte periode moet plaatsvinden.

Fase 3 (2025–2030)

De periode 2025–2030 moet de fase van de opschaling worden, gebaseerd op technologie die dan in voldoende mate betrouwbaar is en die economisch kan gaan wedijveren met op dat moment beschikbare alternatieven.

Bepalende factoren:

Hardware/Software (HS)

Het principe onder de routekaart is dat opschaling gebaseerd moet zijn op een gezonde markt en voldoende vertrouwen in de beschikbare technologie. Dat betekent dat de technologische ontwikkeling in deze fase onderdeel is van de reguliere engineering en productontwikkeling.

Voor de industrie zal de ontwikkeling van vergassingstechnologie hand in hand gaan met het ontwikkelen van het exportpotentieel.

Economie/Markten (EM)

Vergassing van biomassa naar groen gas is een oplossing die past binnen de Nederlandse context van gasinfrastructuur en het streven naar verduurzaming. Die elementen zijn essentieel om een basis te leggen onder een gezonde marktontwikkeling. Zolang de investeringen in technologie en marktontwikkeling nog relatief overzichtelijk zijn in de voorgaande fasen kan dat nog wijzigen. Zodra grootschalige uitrol, met substantiële private risico's (markt en technologie) is een stabiel perspectief nodig, zowel voor de investeringen in behoud en gebruik van die infrastructuur als in het maatschappelijke belang daarvan voor de verduurzaming van de energievoorziening. Zonder dat perspectief is commerciële uitrol niet goed denkbaar. Opschaling van biomassavergassing naar 2–3 miljard m³ en meer betekent dat er op grote schaal wordt geïnvesteerd in een productievolume met een economische levensduur van 10–15 jaar, wellicht langer.

Als uitsluitend wordt ingezet op groen gas (productgas opgewerkt naar aardgaskwaliteit) zou dit betekenen dat in deze periode de bulk van de 20–25 installaties moet worden gerealiseerd. Of dat in de productietechnologie te realiseren valt is nu moeilijk te overzien, maar het bedrijfseconomische risico van een dergelijke opschaling is groot. Gegeven de bijdrage aan de maatschappelijke verduurzamingsambitie betekent dit dat de kans groot is dat dit risico voor een belangrijk deel ook met publieke middelen zal moeten worden afgedekt. Spreiding van dit risico internationaal is daarom een verstandige actie.

De productie van groen gas uit vergassing kan plaatsvinden in Nederland en on-site uit afval(hout) in gebieden waar dit tegen lagere kosten voorhanden is. Een door KEMA uitgevoerde studie (Bahlmann & Van Wingerden, 2011) zet de diverse routes naast elkaar. Daaruit blijkt dat van de scenario's die uitgaan van het produceren van groen gas bij de bron ('bio-SNG') na de lokale afzet van het gas, het transport via de bestaande infrastructuur relatief het voordeligst is. KEMA komt in haar rapport tot een waarde rond de 20 euro/GJ, wat ruim het dubbele is van de toen gehanteerde aardgasprijs van 11 €/GJ en het drievoudige van de huidige. De kosten per vermeden ton CO₂ liggen dan in de range van 100–200 euro/ton. Dit alles gebaseerd op een hoog scenario waarbij er voor ca. 5 miljard m³ aan bio-SNG wordt geproduceerd, met een geschat investeringsvolume van 10 miljard euro.

Dat zijn omvangrijke investeringen in kapitaalintensieve installaties die langere tijd een bijdrage aan de energievoorziening kunnen leveren. Gedurende die periode moet ook de marktcontext stabiel genoeg zijn om deze investeringen te laten renderen. Dat betekent niet alleen een keuze voor groen gas/duurzame waterstof/syngas, maar ook over de toekomst van de infrastructuur en afzetkanalen. In die zin is het aan te bevelen om het produceren van biogas als aardgasvervangers te zien in de context van het 'kleine-veldenbeleid'; alle hebben immers tot doel om de afhankelijkheid van de eigen gasvoorraad en aanvullende importen zo klein mogelijk te laten zijn. De komende jaren zal worden geïnvesteerd in besparingen op

gasgebruik in industrie en gebouwen. Niettemin mag worden verwacht dat Nederland vanaf ca. 2020 een netto-gasimporteur zal zijn.

De vraag naar import van gas zal daarom toenemen en daarmee mogelijk ook de (geopolitieke) waarde van aardgasvervanging. Dat pleit voor een ‘biogasbeleid’ naast of juist in aanvulling op het ‘kleine-veldenbeleid’ dat sinds 1974 een stabiele basis biedt voor het ontwikkelen van minder renderende kleinere gasvoorraden. De basis daarvoor is echter een volwassen en betrouwbare technologie.

Regulering en Samenleving (RS)

De opschaling van Groen Gas heeft internationale impact. Zowel de ‘vergassing op locatie’, het verhandelen van groengascertificaten als het omgaan met import van duurzame biomassa vergt regulering. Bij voorkeur zou dit onderdeel moeten zijn van Europese regulering om daarmee marktgroei maximaal en marktverstoring minimaal te laten zijn.

Daarnaast is het uitwerken van regulering naar ‘overseas markets’ te overwegen. Diverse bedrijven hebben al of overwegen locaties in ‘houtrijke’ gebieden buiten Europa. In het kader van handelsovereenkomsten kunnen dergelijke initiatieven worden gesteund en gereguleerd.

Stappenplan vergassing samengevat

In het kort leidt de routekaart voor het onderwerp biomassavergassing dus tot een flexibel stappenplan met de volgende elementen:

De strategie is:

- Flexibiliteit door in te zetten op brede aardgasvervanging.
- Ontwikkeling in fasen: nu–2020, 2020–2025, 2025–2030.
- Voor groen gas benutten van comparatieve voordeel: ontkoppeling productie van gas en gebruik van gas en Europese opschaling/kostenvoordeel.

Fasering:

- *Fase 1 (nu–2020): technologieontwikkeling*

Het doel is om de verschillende vergassingsopties zich naast elkaar te laten bewijzen op economie, betrouwbaarheid en relevantie voor de toekomstige energievoorziening. Technologische ontwikkeling en verkenning van het perspectief van de optie staan centraal. De routekaart beveelt aan hier het tenderen van technologie in PPS-verband als basis te nemen om daarmee marktrisico te beperken. TKI Gas lijkt hier de meest aangewezen partij.

- Technologie: ontwikkelen technologie naar half size-demo, PPS-commitment op basis van technology procurement.
- Markt: ontwikkelen groengashandelssysteem op basis van certificaten.
- Markt: harmonisatie biofuels-beleid EU.
- Markt: aanscherpen EU-duurzaamheidsdoelen/ETS.
- Industrie: export vergassing met reststromen-syngas als basis.

Resultaat: Go/no-go op basis van inzicht in haalbaarheid van techniek en marktroutes.

- *Fase 2 (2020–2025): marktontwikkeling*

Deze fase kenmerkt zich door een focus op het realiseren van marktomstandigheden die de commerciële uitrol van de vergassingstechnologie ondersteunen. Gegeven de stand van de techniek kunnen keuzes worden gemaakt voor de markten waarvoor de opties relevant worden. In deze fase zal het ontwikkelen van PPS-financiering essentieel zijn. Marktpartijen en overheid zullen hier samen moeten optrekken in een internationale ontwikkeling, zowel voor technologie als groen gas.

- Technologie: realiseren full size-plant op basis van businessplan en international business.

- Markt: ontwikkelen locaties bij voldoende biograndstoffen.

- Markt: import biomassa volgens internationaal erkende standaarden.

- Industrie: EU-opscaling, enkele (4–5) thuislocaties.

Resultaat: Go/no-go op basis van marktwaarde en risicobeheersing.

- *Fase 3 (2025–2030): commerciële uitrol*

Deze fase kenmerkt zich door grootschalige investeringen in productie en commerciële uitrol. Marktpartijen zijn hier aan zet, binnen door overheden gestelde beleidskaders. Net als bij vergisting is de inschatting dat ook hier een onrendabele top overblijft, ook na 2030, die gecompenseerd zal moeten worden op basis van de maatschappelijke meerwaarde van groen gas. De mogelijkheid om zowel ontwikkelkosten als exploitatie internationaal te spreiden verdient aanbeveling.

- Technologie: volwassen, business-based.

- Markt: EU-markt voor groengascertificaten.

- Markt: Ontwikkelen overseas markets, import of certificaten.

- Industrie: innovatie in eigen hand.

Resultaat: ontwikkelde markt voor vergassing naar biogas, concurrerend binnen het energiesysteem.

4.4 Power-to-Gas

Power-to-Gas (P2G) verdient speciale vermelding gezien de actuele aandacht voor dit thema. Reden voor die aandacht is de gedachte dat door toenemende inzet van niet-regelbare decentrale duurzame productie zoals wind en zon, vraag gaat ontstaan naar de balancerende tussen vraag en aanbod, op verschillende tijdschalen: op basis van uren, maar ook dag/nacht en seizoenen. Het idee is dat het gasnet een effectieve en efficiënte balanceerfunctie kan krijgen, door buffering, maar ook door van duurzame elektriciteit gas te maken. Die route loopt dan van het produceren van waterstof (H_2) door elektrolyse, eventueel gevolgd door methanisering met CO_2 . Het zo verkregen gas kan dan via het bestaande gasnet worden benut. Waterstof is momenteel technisch en qua regulering slechts beperkt bij te mengen; methaan is vanzelfsprekend breed inzetbaar.

Op dit moment wordt de waarde van die functie bestudeerd en besproken. Hoewel het laatste woord daarover nog niet is gezegd is de indruk uit de eerste analyses die o.a. ECN momenteel uitvoert, dat het voordeel van de genoemde P2G-optie via het gasnet vooral optreedt bij zeer substantiële emissiereductiepercentages.

Het is momenteel niet de verwachting dat die percentages al in de zichttermijn van de routekaart (2030) zullen worden geëist of gerealiseerd. Op dit moment is de optie Power-to-Gas dan ook vooral te bezien vanuit de behoefte om deze innovatie vorm te geven in pilots en proefprojecten, om haar mogelijk later beschikbaar te hebben als dat aan de orde is.

5.1 Blijvende rollen voor gas(sen)

De ontwikkeling van biogas en groen gas zal gemakkelijker zijn als relevante partijen ook op langere termijn, na 2030, een duidelijke rol voor gasvormige energiedragers in het energiesysteem herkennen. Dan hebben de onderzoeks-, ontwikkel- en investerings-inspanningen ook op langere termijn waarde.

In plannen en scenario's ligt het accent thans vooral op duurzame elektriciteit, omdat het elektriciteitssysteem relatief gemakkelijker te vergroenen is dan de warmtevoorziening en de mobiliteit. Ook een verduurzamende energievoorziening (efficiënter, hernieuwbare bronnen, laag CO₂) biedt mogelijkheden voor gasvormige energiedragers.

Gassen kunnen in een verduurzamende energiehuishouding verschillende rollen vervullen:

- Groene gassen in de aardgasmix: op basis van deze routekaart kan in 2030 zo'n 3,7 miljard m³ biogas, oftewel 2,2 miljard m³ aardgasequivalent groen gas per jaar worden geproduceerd op basis van vergisting.
- Daarbij kan een nu nog niet in te schatten hoeveelheid groen syngas uit vergassing komen, afhankelijk van de technologieontwikkeling; de (droge, houtige) grondstoffen daarvoor zullen dan hoofdzakelijk moeten worden geïmporteerd.
- Systeemfunctie, opslag, flexibiliteit: gas is snel bij te regelen, en de opslag- en transportkosten van gas per energie-eenheid c.q. per energie-eenheid per km. zijn relatief laag. Flexibiliteit wordt in toenemende mate nodig om het wisselende aanbod van hernieuwbare bronnen zon en wind op te vangen.
- Verbijzondering daarvan: elektriciteit uit wind en zon kan, op momenten dat het aanbod hoger is dan de vraag, worden omgezet in waterstofgas, dat in het gassysteem kan worden bijgemengd, of rechtstreeks in industriële of mobiliteitstoepassingen kan worden ingezet. Denkbaar is ook het waterstof om te zetten in synthetisch methaan, met behulp van CO₂. Om klimaatneutraal te zijn zou dit dan niet-fossiele CO₂ (bijvoorbeeld uit vergisting) moeten zijn.

Kwalitatief kan worden aangegeven in welke toepassingsgebieden de groen- en flexibiliteitswaarde van gassen naar verwachting het hoogst zal worden. Dit geeft houvast voor de richting waarin op termijn de businesscases zullen moeten worden gezocht:

- Elektriciteit is relatief gemakkelijker te verduurzamen dan andere sectoren. Door inzet van hernieuwbare bronnen met o-marginale kosten, dalen de marktprijzen voor elektriciteit, en daarmee ook de groenwaarde van elektriciteit die uit biogas wordt geproduceerd.

- Warmte is moeilijker te verduurzamen, de mate waarin dat zo is verschilt per deelmarkt:
 - Voor de nieuwbouw in de gebouwde omgeving zijn verschillende warmte-opties denkbaar, zoals het opnemen van biogas/groengasverbruik in de EPC of EMG.
 - De bestaande bouw is lastiger te verduurzamen, met een vermoedelijk hogere groenwaarde voor Groen Gas in dat segment als gevolg.
 - De (vaak hogetemperatuur)warmte voor industrieel gebruik laat zich het lastigst vergroenen; dat maakt in beginsel de groenwaarde in dat segment relatief hoog. Maar door de internationale concurrentiepositie van de industrie is de willingness to pay in dat segment relatief laag. Per saldo zal daarom de groenwaarde in de industrie sterk uiteen lopen.

Van alle marktsegmenten kent het transport de minste opties om te vergroenen. Naar verwachting zal daarom de groenwaarde in het transport hoogst zijn.

Bovenop de groenwaarde kan in deelmarkten ook een flexibiliteitswaarde of –bonus ontstaan.

5.2 Contouren van een langetermijnvisie

Een helder langetermijnperspectief voor Groen Gas kan richting geven aan het handelen van nu, geeft een beeld van waarheen de situatie zich op lange termijn kan ontwikkelen én kan helpen belangrijke spelers (zoals de conventionele gasindustrie) te mobiliseren om in het groengasveld actief te zijn of actiever te worden.

De routekaart geeft zo'n langetermijnperspectief, verkennend en illustratief, als doorkijkje naar de langere termijn, maar het valt buiten het bestek van de routekaart zo'n langetermijnvisie voor na 2030 grondig uit te werken. De aanbeveling is dat sector en overheid gezamenlijk zo'n perspectief gaan maken.

De keuze voor een blijvende rol voor gas (gasvormige energiedragers) is niet vanzelfsprekend. De huidige discussie en ontwikkelsporen richten zich vooral op de elektriciteitsvoorziening. De achterliggende gedachte is dat de verduurzaming/ontkoling met name door elektriciteitsopties zal worden ingevuld. Het idee van een systemische en blijvende rol voor gas is nog niet sterk uitgewerkt en staat ook nog maar beperkt op de agenda's.

Op langere termijn bepaalt de bredere ruimte voor gasvormige energiedragers in het energiesysteem ook de perspectieven voor Groen Gas. De keuzes die voor het energiesysteem als geheel zullen worden gemaakt in de komende jaren, werken door in de ontwikkelkansen voor Groen Gas op termijn.

Omgekeerd is het raadzaam dat de Groen Gas-sector zich gaat inzetten voor het vormgeven van een langetermijnperspectief voor gasvormige energiedragers, waarin ook Groen Gas een rol kan krijgen

Vertrekpunt voor een langetermijnvisie is het breed gedragen beeld dat in de komende tientallen jaren de transitie naar een energiehuishouding met een zeer lage koolstofuitstoot zal moeten worden gemaakt, en dat deze zich ook daadwerkelijk zal voltrekken. In veel scenario-analyses vindt deze transitie vooral plaats via de lijn van elektrificatie. Het lijkt gemakkelijker lage- of o-CO₂-uitstoot te realiseren via elektriciteit dan via gas. Veel CO₂-loze opties zoals zonne- en windenergie produceren immers elektriciteit, geen gas. Elektriciteit maakt echter maar zo'n 20%

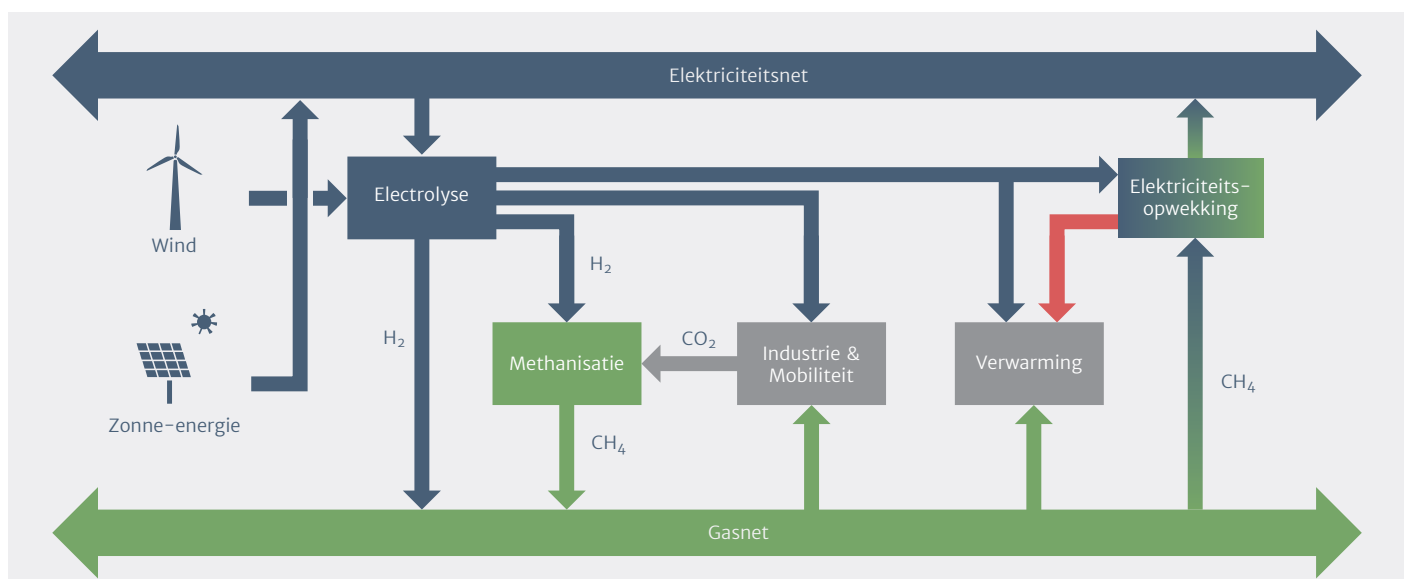
van het finale energieverbruik uit.

De verdere penetratie van hernieuwbare, ‘intermitterende’ (niet op afroep beschikbare) elektriciteitsbronnen stelt het elektriciteitssysteem waar vraag en aanbod steeds op ieder moment in balans moeten zijn, voor nieuwe uitdagingen. Het gassysteem kan helpen die uitdagingen het hoofd te bieden.

Een interessante rol voor gas, breed bedoeld als gasvormige energiedragers, komt vooral naar voren als niet uitsluitend naar de individuele opties, maar ook naar het systeem als geheel wordt gekeken. In onder meer Duitsland en Denemarken, waar de penetratiegraad van duurzame elektriciteit hoger is dan in Nederland, wordt dan ook met meer dan gemiddelde belangstelling naar de rol van gasvormige energiedragers gekeken (Klaus et al., 2010). Dat heeft te maken met de hoge energie-opslagcapaciteit van het gassysteem in vergelijking met alle andere mogelijke buffers om pieken en dalen in het aanbod van hernieuwbare elektriciteit op te vangen, en met de relatief lage transportkosten (in euro per energie-eenheid per kilometer) (Rooijers & Leguijt, 2010).

Tenslotte is het mogelijk, naast deze twee ‘enabling’ functies, die kunnen helpen het energiesysteem als geheel snel te verduurzamen, het gassysteem zélf te vergroenen, door het invoeden van Groen Gas zoals in deze routekaart is uitgewerkt, maar ook ‘nieuw gas’ dat kan worden geproduceerd uit hernieuwbare elektriciteit op momenten dat het aanbod ervan hoger is dan de vraag. Dat zal dan in eerste instantie waterstof zijn, dat volgens een praktijkproef op Ameland tot 20% bleek te kunnen worden bijgemengd in het aardgasnet (Ameland, 2012). Volgens de huidige regelgeving is dat nu niet toegestaan; de huidige specificatie voor waterstof in het GTS-aardgasnet is maximaal 0,02%. Gedacht wordt momenteel aan verhogen van die norm naar 0,5%. Daarvoor moet de regelgeving worden aangepast. Voor verdere verhoging van de percentages is gericht nader onderzoek naar alle aspecten van waterstofbijmenging nodig. In Duitsland wordt gediscussieerd over bijmenging tot 10%.

Er wordt echter ook, in het bijzonder opnieuw in Duitsland, gekeken naar productie van synthetisch aardgas (SNG), waarbij de waterstof met CO₂ kan reageren tot methaan (Power-to-Gas). In een langetermijnbeeld waarin nog maar amper CO₂ naar de atmosfeer wordt geloosd, zal de basis



Figuur 13. Een mogelijk langetermijnperspectief: toenemende integratie van het gas- en het elektriciteitssysteem (Bron: DNV-GL, 2013)

voor SNG logischerwijze CO₂ uit biomassa zijn, niet uit fossiele bronnen. Hiervoor zou bijvoorbeeld CO₂ die vrijkomt bij de vergisting van biomassa kunnen worden gebruikt.

Op deze basis kan een rol voor gasvormige energiedragers ontstaan, zowel in het transitieproces naar een duurzame energiehuishouding als in het ‘eindplaatje’ van een low-carbon energiesysteem zelf, zoals **Figuur 13**. laat zien. De toekomstschetsen uit onder meer Denemarken en Duitsland kunnen als inspiratie en leidraad dienen. Het is wenselijk dat een visie op de rol van gasvormige energiedragers ook voor de Nederlandse situatie wordt uitgewerkt en gekwantificeerd. De kwantitatieve uitwerking van het geschetste toekomstperspectief valt buiten het bestek van deze (voorstudie) routekaart.

Maar ook op basis van een kwalitatieve schets en enkele indicatieve getallen kunnen toch al enkele acties worden uitgestippeld (zie **Tabel 5.**).

De kern van de acties is een verschuiving van de aandacht van individuele opties naar een *systeembenadering*. Hoe kan en gaat het gehele energiesysteem veranderen?

Tabel 5. Langetermijnacties voor een blijvende rol van gas(sen) in het energiesysteem

	Sector	Kennis	Overheden	Maatsch. Org.
Hardware/Software	Ontwikkelprogramma systeemfunctie gasvormige energiedragers Ontwikkel flexibele inzet van installaties	Uitvoering programma R&D naar systeemfunctie en naar flexibiliteit	Cofinanciering ontwikkelprogramma systeemfunctie	Langetermijn beoordelingskader op systeemniveau ontwikkelen
Economie/Markten	Onderzoek waarde van energiebuffering en flexibiliteit Langetermijn-markten voor gasvormige energiedragers (doen) analyseren	Idem	Maak een beoordelingskader systeemkosten in plaats van kosten individuele opties ontwikkelen	
Regulering/Samenleving	Opbouwen gedeelde langetermijnvisie	Idem	Eenduidige randvoorwaarden: niet sturen op specifieke opties, maar op alle ‘groene’ MJ’s, met een bonus/voorrangsregel voor bio-based-toepassingen boven energie Instrumenteer buffering en flexibele inzet	Langetermijnvisie op regulering en acceptatie ontwikkelen

Voor de ontwikkelaars van Groen Gas-opties betekent dit de vraag hoe een optie niet alleen op zichzelf groen is, maar ook hoe deze kan bijdragen aan de bredere transitie. Dat kan van invloed zijn op de businesscase en voor het ontwerp van het project of plan. Vanuit een systeemfunctie voor gas gezien is het bijvoorbeeld mogelijk dat voor levering van flexibiliteit en energiebuffering betaald zal gaan worden, naast betaling voor de groene MJ’s zoals nu ook al het geval is. Projectontwikkelaars en investeerders kunnen op deze mogelijkheden anticiperen. Ook de ontwikkeling van en investering in infrastructuur kan zo in een ander perspectief komen te staan. Voor de gassector kan een langetermijn- en systeemperspectief aanleiding zijn zich actief in de ontwikkeling van ‘nieuw gas’ en daarbij passende infrastructuur te begeven: groen gas (niet alleen aardgas, maar ook groen syngas), waterstof uit duurzame elektriciteit.

5.3 Groenwaarde en flexibiliteit: 2025–2030 en verder

Voor de langere termijn kunnen groenwaarden van gasvormige energiedragers beredeneerd en kwalitatief worden aangegeven. De precieze vormgeving van het beleidsinstrumentarium bepaalt uiteindelijk in welke mate de zo beredeneerde groenwaarde ook daadwerkelijk in financiële waarde wordt uitgedrukt.

Vertrekpunt voor een langetermijngroenwaarde is het idee dat de samenleving streeft naar een klimaatemissiearme en in hoge mate op hernieuwbare bronnen gebaseerde energiehuishouding. Modelstudies waaraan deze restricties zijn opgelegd laten zien in welke richting de energievoorziening zich dan beweegt en geven vergelijkbare beelden. De kosten en moeite die het in de verschillende sectoren kost om zo te verduurzamen, kunnen worden gezien als een graadmeter voor de langetermijngroenwaarde.

In grote lijnen geldt:

- Elektriciteit is relatief gemakkelijk te verduurzamen. Bovendien nemen door hoge productiecapaciteit en toenemende inzet van hernieuwbare bronnen met 0-marginale kosten de marktprijzen voor elektriciteit af. Hierdoor zal de groenwaarde van elektriciteit uit Groen Gas relatief afnemen.
- Warmte is moeilijker te verduurzamen dan elektriciteit. De mate waarin echter dat zo is verschilt per deelmarkt:
 - Voor de nieuwbouw in de gebouwde omgeving zijn verschillende opties denkbaar, zoals het opnemen van biogas/groengasverbruik in de EPC of EMG.
 - De gebouwde omgeving bestaande bouw is lastiger te verduurzamen, met een vermoedelijk hogere groenwaarde voor Groen Gas in dat segment als gevolg.
 - De (dikwijls: hogetemperatuur)warmte voor industrieel gebruik laat zich het lastigst vergroenen; dat maakt in beginsel de groenwaarde in dat segment relatief hoog. Daar staat echter tegenover dat gezien de internationale concurrentiepositie van de industrie de willingness to pay in dat segment relatief laag is. Per saldo is de conclusie dat in het industrieel segment de groenwaarde sterk uiteen zal lopen, van laag in internationaal concurrerende bedrijfstakken tot tamelijk hoog in minder concurrentiegevoelige takken en bij het duurzame pionierssegment.

Van alle marktsegmenten kent het transport de minste opties om te vergroenen. Naar verwachting zal daarom de groenwaarde in het transport hoogst zijn.

Tenslotte is er nog het meer generieke beleid voor de emissies van broeikasgassen, dat nu hoofdzakelijk via het Emissiehandelssysteem (ETS) vorm krijgt. De huidige prijzen zijn laag (enkele €/ton CO₂), en de algemene verwachting is dat deze de komende 10–20 jaar ook niet boven de ca. 20 €/ton zullen uitkomen. Dat kan veranderen als er een (internationaal) politiek momentum ontstaat de CO₂-prijzen meer in overeenstemming te brengen met de langetermijnschadekosten (social cost of carbon). Een overzichtsstudie (Van den Bergh & Botzen, 2014) raamt deze kosten op minimaal € 90/ton CO₂. Merk op dat specifiek beleid soms, dikwijls tijdelijk, tot aanzienlijk hogere CO₂-schaduw prijzen (revealed preference) kan leiden, zoals voor de stimulering van elektrisch en plug-in hybride rijden.

Voorts kan in toenemende mate sprake zijn van niet alleen een ‘groenwaarde’ van Groen Gas, maar ook van een flexibiliteitswaarde of –bonus. Bij een toenemend aandeel intermitterende (niet op afroep beschikbare) bronnen als zon en wind, stijgt de waarde van flexibele inzetbare bronnen. (Groen) gas is daar een van. Er wordt gewerkt aan de ontwikkeling van flexibiliteits- en capaciteitsinstrumenten, waarmee de flexibele inzetbaarheid ook een financiële waarde kan krijgen. Maar momenteel is de verwaarding hiervan dus nog onzeker.

Literatuurlijst

Onderstaande lijst omvat alle geraadpleegde literatuur, zowel studies waarnaar in de hoofdtekst en bijlagen wordt verwezen, als achterliggende stukken waarvan voor de routekaart en de onderliggende rekensommen gebruik is gemaakt.

Accenture (2013) *Discussiemodel kleinschalige energieopslag – Eindrapportage*, Accenture / Netbeheer Nederland

Asveld L., Van Est R., Stermerding D. (2011) *Naar de kern van de bio-economie: De duurzame beloftes van biomassa in perspectief*, Rathenau Instituut

Bahlmann R., Van Wingerden J. (2011) *Visie grootschalig bio-SNG: Vergroening van het aardgassysteem door de inpassing van grootschalige bio-SNG productie en de mogelijke routes om dit te realiseren*, KEMA

Van den Berg W.J. (2013) *Biomassastromen op regionale schaal – Is er nog hoop voor regionale installaties en wat betekent dat voor de provinciale rol?*, KNN Advies

Van den Bergh J.C.J.M., Botzen W.J.W. (2014) A lower bound to the social cost of CO₂ emissions, *Nature Climate Change* (4), 26 maart 2014, p. 253–258

Bergsma G.C., Croezen H.J. (2011) *Kansen voor Groen Gas – Concurrentie Groen Gas met andere biomassa opties*, CE Delft

Bio-energiecluster Oost-Nederland (2013) *Actieplan Vergisting*, Bio-energiecluster Oost-Nederland

Van Blijderveen M., Van Berkel W. (2012) *Beslismodel groen gas balancerings: Een studie naar de mogelijkheden om een overschot aan groen gas in het gasnet te verwerken*, Liandon

Boersma M., Pentinga F., Van der Hagen T., Dierikx M. (2012) *Rapportage Topsector Energie bij de Innovatiecontracten Energie maart 2012*, Topteam Energie

Van den Boom H. (2014) Thema-update: Duurzame Energie – Welke duurzame energie win(d)t? Een doorkijk naar de ontwikkelingen in Nederland tot 2020, *Rabobank Cijfers & Trends* (38), januari 2014, p. 1–7

Van den Boom H., Van der Elst C. (2013) Thema-update: Biogas, *Rabobank Food & Agri* (37), januari 2013, p. 1–12

Van den Burg S., Stuiver M., Veenstra F., Bikker P., López Contreras A., Palstra A., Broeze J., Jansen H., Jak R., Gerritsen A., Harmsen P., Kals J., Blanco A., Brandenburg W., Van Krimpen M., Van Duijn A., Mulder W., Van Raamsdonk L. (2013) *A Triple P review of the feasibility of sustainable offshore seaweed production in the North Sea*, Wageningen UR

CBS (2013) *Hernieuwbare energie; eindverbruik en vermeden verbruik fossiele energie*, CBS Statline, Beschikbaar: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=7516&D1=2-5&D2=2-4&D3=a&D4=21-22&VW=T> [Bezocht 27 juni 2013]

CBS (2013a) *Elektriciteit; productie naar energiebron*, CBS StatLine, Beschikbaar: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=8003oned&D1=a&D2=0&D3=7&D4=0,2,7,12,13,14&VW=T> [Bezocht 17 juli 2013]

CBS (2014) Afvalwaterzuiveringen bij bedrijven; installaties naar type zuivering, CBS StatLine, Beschikbaar: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=81603ned&D1=a&D2=o&D3=7,12,I&HDR=T&STB=G1,G2&VW=T> [Bezocht 17 april 2014]

Croezen H.J., Odegard I.Y.R., Bergsma G.C. (2013) *Hoe duurzaam is biogas? Evaluatie van biogasproductie en -gebruik vanuit ecologisch en economisch perspectief*, CE Delft

DNV-GL (2013) European cooperation on power to gas for future energy systems; http://www.dnv.nl/nieuws_events/nieuws/2013/european_cooperation_on_power-to-gas_for_future_energy_systems.asp [Bezocht 22 mei 2014]

Dooren H.J.C., Biewenga G., Zonderland J.L. (2005) *Vergisting van gras uit natuurgebieden in combinatie met runderdrijfmest*, Wageningen UR

Van Dorp R. (2013) *Innovatieve technieken en leveranciers voor biogas en groen gas*, Groen Gas Nederland

ECN (2013) *Concept-ketenkaart Vergisting/Natte stromen*, ECN, intern werkdocument

Ehlert P., Zwart K., Spijker J. (2010) *Biogas uit Bermmaaisel*, Wageningen UR

Van der Eijk A. (2012) *Meerwaarde uit gft-afval*, Vereniging Afvalbedrijven

Elbersen W., Janssens B., Koppejan J. (2011) *De beschikbaarheid van biomassa voor energie in de agro-industrie*, Wageningen UR / Procede Biomass

Feenstra C.F.J., Elsen A.M.D. (2013) *Draagvlak voor duurzame energie: Stappenplan voor een succesvolle aanpak in uw gemeente*, Agentschap NL

FrieslandCampina (2008) *Verder verduurzamen melkveehouderij; Pro-actieve aanpak – Route2020*, FrieslandCampina

Gigler, J. (2014) *Voorstel voor het Programma Systeemintegratie van de TKI's Energie – Advies van de gezamenlijke TKI's Energie aan het Topteam Energie (7 maart 2014)*, Topsector Energie

Groen Gas Nederland (2013a) *Groen gas sleutelrol in duurzame economie*, Groen Gas Nederland / Ministerie van Economische Zaken

Groen Gas Nederland (2013b) *Verslag Partner Platform 17 april*, Groen Gas Nederland

Grond L., Schulze P., Holstein J. (2013) *Systems Analyses Power to Gas, Deliverable 1: Technology Review*, DNV KEMA / ECN

Haenen J., Hoff T., Jepma C., Den Ouden B. (2012) *De TKI Gas programmering 2013-2015*, Ad-hoc commissie programmering TKI Gas 2013-2015

I&M, het verpakkende bedrijfsleven, VNG (2012) *Raamovereenkomst tussen I&M, het verpakkende bedrijfsleven en de VNG over de aanpak van de dossiers verpakkingen en zwerfafval voor de jaren 2013 t/m 2022*, Ministerie van Infrastructuur en Milieu / het verpakkende bedrijfsleven (FNLI, CBL, RND, Fiar, Vlehan, BVNL) / VNG

IEA Bioenergy – Task 33 (2014) *Thermal Gasification of Biomass*, IEA Bioenergy, Beschikbaar: <http://www.ieatask33.org/> [Bezocht 12 mei 2014]

Klaus T., Vollmer C., Werner K., Lehmann H., Müschen K. (2010) *Energy target 2050: 100% renewable electricity supply*, Umweltbundesamt

Koppejan J., Elbersen W., Meeusen M., Bindraban P. (2009) *Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor*

elektriciteit en warmte in 2020, Procede Biomass / Wageningen UR

Krause H., Müller-Syring G. (2010) *Das Erdgasnetz als Speicher für regenerative Energie*, DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH

Krebbekx J., Lambregts E., De Wolf W., Van Seventer M. (2011) *Melk, de groene motor – Routekaart voor een 100% energieneutrale zuivelketen in 2020 met klimaatneutrale groei*, Berenschot / E-kwadraat

Krebbekx J.A., De Wolf W.J., Postma B., Duivenvoorde G.P.J., Lenselink J., Meuzelaar D.J. (2011) *De sleutelrol waarmaken – Routekaart Chemie 2012–2030: Energie en klimaat*, VNCI / Agentschap NL / eei / M.E.C. / Berenschot

Laks R. (2013) *Perspectief groen gas – Verslag meeting 16 augustus 2013*, De Gemeeynt, intern werkdokument

LEI (2014) *Land- en tuinbouw cijfers*, LEI Wageningen UR, Beschikbaar: <http://www3.lei.wur.nl/ltc/Classificatie.aspx> [Bezocht 20 februari 2014]

Lensink S. (2013) *Een langetermijnperspectief voor groen gas – Position paper*, ECN

Lensink S. (ed) (2013b): *Eindadvies basisbedragen SDE+ 2014*. ECN/KEMA, Petten/Arnhem.

Nieuwenhout F.D.J. (2013) *Kosten van het inpassen van grote hoeveelheden zon en wind in de Nederlandse elektriciteitsvoorziening*, ECN

Londo M., Wiltink H. (2013) *Toepassing criteria kansrijke ketens op ketenkaarten versie 3.1*, ECN, intern werkdokument

Van Loon M. (2013) *Vergisten met kippenmest*, AgriContent, 28 september 2013, p. 9

LTO Nederland (2013) *Mest en Energie, de ultieme combinatie voor een duurzame veehouderij*, LTO Nederland

LTO Noord (2014) *Thema Mestverwerking*, LTO Noord, Beschikbaar: <http://www.ltonoord.nl/content/mestverwerking> [Bezocht 24 januari 2014]

Van Luijken I., Vaessen W., Oomes V. (2012) *The Chemical Industry in the Netherlands: World leading today and in 2030–2050*, Deloitte / VNCI

Migchels G., Kuikman P., Aarts H.F.M., Van Dooren H.J.C., Ehlert P.A.I., Luttik J., Sebek L.B., Zwart K.B. (2011) *Kansen en bedreigingen voor mestvergisting en groengasproductie in de Gelderse landbouw – Een eerste verkenning*, Wageningen UR Livestock Research

Murphy J., Braun R., Weiland P., Wellinger A. (2011) *Biogas from Crop Digestion*, IEA Bioenergy

Netbeheer Nederland (2013) *Actieplan Duurzame Energievoorziening: Op weg naar het Energiesysteem van 2030*, Netbeheer Nederland

Van Nieuwenhuijzen A.F., Koornneef E., Roeleveld P.J., Visser A., Berkhout D., Van den Berg van Saparroe F., Miska V., Van Voorthuizen E., Van Erp Taalman Kip C. (2011) *Handboek Slibgisting*, DHV / MHV / Royal Haskoning / MWH

Peene A., Velghe F., Wierinck I. (2011) *Evaluatie van de vergisters in Nederland*, Organic Waste Systems / Agentschap NL

Peeters S.J.W., Horstink M.C.J., Schlatmann A.T.M. (2011) *Achtergrondrapport integrale visie duurzame drijfmestverwaarding*, EnergyMatters

Platform Nieuw Gas, Werkgroep Groen Gas (2006) *Vol gas vooruit! De rol van groen gas in de Nederlandse energieuishouding*

PwC (2012) *Inventarisatie van verschillende afzetroutes voor groen gas*, PricewaterhouseCoopers / Agentschap NL

Rayer J. (2003) *Een inventarisatie van de Drentse biomassastromen voor opwekking van hernieuwbare energie, Nota biomassa*, DHV Infrastructuur en Milieu

RebelGroup (2007) *Vergisting van reststromen VGI: businesscase*, RebelGroup / SenterNovem / FNLI

Reith J.H., Hemmes K., Curvers A.P.W.M., Kamermans P., Brandenburg W., Zeeman G. (2005) *Bio-offshore, Grootschalige teelt van zeewieren in combinatie met offshore windparken in de Noordzee*, Wageningen UR / ECN / RIVO / Lettinga Associates Foundation

Rijkswaterstaat (2013) *Afvalverwerking in Nederland, Gegevens 2012*, Rijkswaterstaat

Römgens B., Kruizinga E. (2012) *Routekaart Afvalwaterketen – Op weg naar een duurzame afvalwaterketen: Visie 2030*, DNV

Rooijers F.J., Leguijt C. (2010) *Achtergrondrapportage bij NET-document Netbeheer Nederland*, CE Delft

Ros J., Prins A.G. (2014) *Biomassa – wensen en grenzen*, Planbureau voor de Leefomgeving

RVO (2014) *Mestverwerkingsplicht voor landbouwers*, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Beschikbaar: <http://www.drloket.nl/onderwerpen/mest/dossiers/dossier/wijzigingen-mestbeleid-vanaf-2014/mestverwerkingsplicht-voor-landbouwers> [Bezocht 24 januari 2014]

Van der Schans F., Van Well E., Vlaar L. (2008) *Prestaties, potenties en ambities, Quickscan landbouw en klimaat*, CLM

Schlichting P. (2013) *OrangeDreams* (presentatie symposium *Innovatieve technieken voor biogas*, 18 december 2013), OrangeGas

SER (2013) *Energieakkoord voor duurzame groei*, Sociaal-Economische Raad

Ameland (2012) – Onderzoek waterstof bijmengen in aardgas; http://www.ameland.nl/duurzaamameland/waterstof-in-aardgas-eeen-eerste-stap-in-duurzaam-gas_3648/ (bezocht 22 mei 2014).

Vereniging Afvalbedrijven (2010) *Milieuverslag gft-afval 2009 – Van gft-afval naar compost, biogas, elektriciteit en andere nuttige producten*, Vereniging Afvalbedrijven / Elsinga Beleidsplanning en Innovatie

Vereniging GroengasMobiel (2013) *Groengas in transport: kansen voor milieu, energie & economie*, Vereniging GroengasMobiel

Versnellerteam Groen Gas (2013) *Werkdocument Groen Gas – Overzicht Beleidsvraagstukken Groen Gas*, Agentschap NL

Vervoort K., Beekman R., Van den Bossche M. (2012) *Groengas in verkeer en vervoer: Feiten en cijfers op een rij*, Ecorys / Vereniging GroengasMobiel

Voncken T. (2014) *De bijdrage van monomestvergisting aan grootschalige mestverwerking*, Groen Gas Nederland

Weckhuysen B., Gosselink H., Kiel J., Van der Wielen L. (2011) *Werkpakket Bioenergy & Biochemicals*, Compact Kernteam Bioenergie

Wetenschappelijke en Technologische Commissie voor de Biobased Economy (2011) *Naar groene chemie en groene materialen: Kennis- en innovatieagenda voor de biobased economy*, WTC

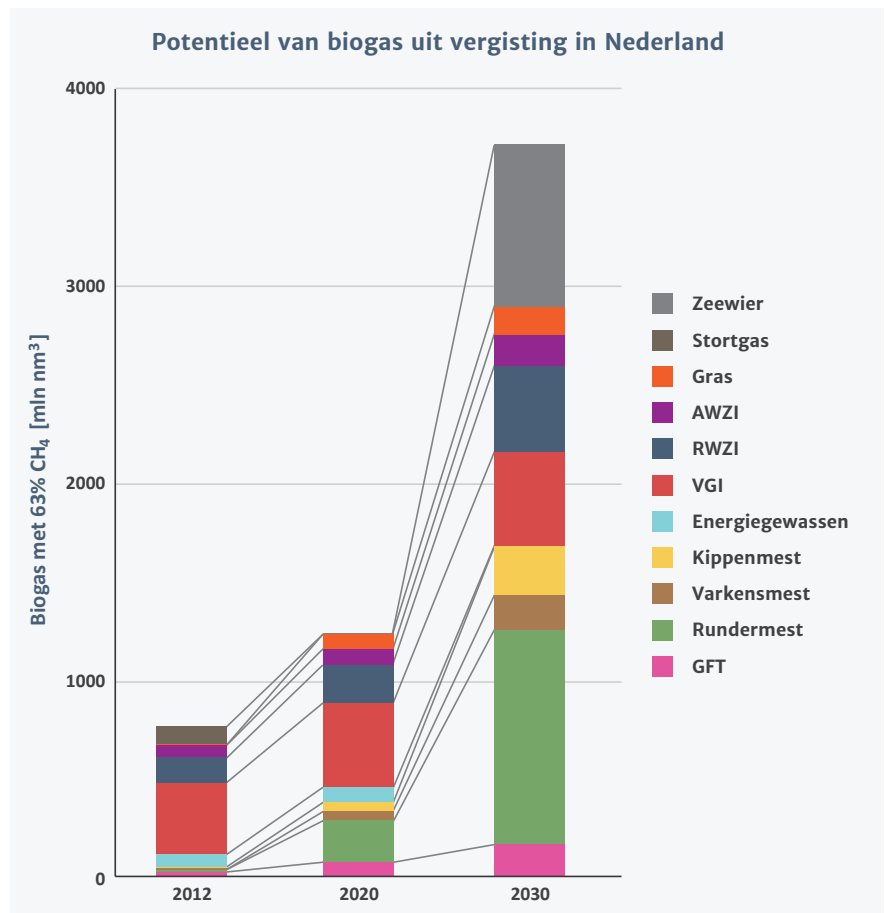
1.1 Inleiding

Deze deelstudie probeert een ordegrrootte-inschatting te geven voor het biogaspotentieel uit vergisting in Nederland. Dit wordt gedaan door inschattingen per biomassastroom bij elkaar op te tellen. Daarnaast wordt inzicht gegeven in het maximale potentieel per afzetroute van het biogas. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in: warmte, WKK, groen gas en bio-LNG. Waar opmerkelijk specifieke getallen staan voor schattingen in 2020 en 2030 is dit een gevolg van de gemaakte aannames.

Om goed vergelijkingsmateriaal te kunnen bieden zijn voor biogas en groen gas telkens dezelfde definities aangehouden voor energie-inhoud en methaangehalte. Voor de energie-inhoud van groen gas wordt de onderwaarde van aardgas aangehouden: $31,65 \text{ MJ/Nm}^3$. We nemen aan dat biogas voor 56% uit methaan bestaat. De verbrandingswaarde van een Nm^3 biogas stellen we daarom op 56% van $35,9 = 20,1 \text{ MJ/Nm}^3$. Dat betekent dus dat 1 Nm^3 biogas overeenkomt met $0,635 \text{ Nm}^3$ aardgasequivalent. Om een vergelijking te kunnen maken met andere duurzame energieopties wordt de totale energie-inhoud van het biogas ook nog weer-gegeven in PJ. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat een gedeelte van de energie uit het biogas nog verloren gaat bij conversie naar het eindverbruik. Dit is afhankelijk van het eindproduct en de lokale situatie.

1.2 Biogaspotentieel uit vergisting

Figuur 14. geeft een grafisch overzicht van het biogas-potentieel uit vergisting in Nederland. De exacte getallen en onderbouwing worden verderop in deze bijlage gedetailleerd toegelicht.



Figuur 14.

Biogaspotentieel uit vergisting in Nederland in 2020 en 2030

Opvallend is dat een groot deel van het realistische potentieel op de middellange termijn al is bereikt. In 2020 kan nog 60% extra biogasproductie kunnen worden gerealiseerd ten opzichte van 2012, een totaal van 1,2 miljard m³ biogas (785 Nm³ Groen Gas-equivalent). Dit extra potentieel zit met name in rundermest, gras en RWZI-slib. Met de strengere storteisen en de sterke afname in gasproductie zal stortgas volledig verdwenen zijn in uiterlijk 2018, terwijl dit in 2012 nog een achtste van de totale biogasproductie vertegenwoordigde.

De schaalgrootte van installaties zal meer extremen gaan aannemen: veel kleinschalige monomestvergisters van rundermest terwijl in de overige soorten installaties juist doorzetting van schaalvergroting plaatsvindt.

Als alles mee zit zal in 2030 ongeveer vijf keer zoveel biogasproductie worden gerealiseerd als in 2012, een totaal van 3,7 miljard m³ biogas (2,4 miljard Nm³ groen gas-equivalent). Dit extra potentieel zit met name in mest, aquatische biomassa (zeewier) en waterzuiveringsstromen. De verwachting is dat met uitzondering van gras geen energiegewas meer richting een vergister gaat in 2030. Met verbeterde inzameling en voorberekings- en vergistingstechnologie is vooral in RWZI's, gft, gras en varkensmest nog veel extra gas te winnen per ton.

1.3 Ontwikkeling in het aantal installaties

Tabel 6. geeft een globaal beeld van de ontwikkelingen in het aantal installaties per type biomassa. Uiteraard zijn deze verwachtingen erg onzeker, ze zijn dan ook met name bedoeld om een gevoel te geven van de ordegrottes waar we het over hebben. Daarnaast is het zo dat sommige installaties meer dan één soort biomassa kunnen verwerken (bijvoorbeeld gras en mest).

De installaties op basis van rundermest zijn boerderijvergisters passend bij een bedrijfsgrootte van ca. 150 koeien. Uiteraard gaan deze ontwikkelingen niet vanzelf. Zo is voor de doorbraak van boerderijvergisters kostprijsverlaging nodig door innovatie en integratie met gesloten stalsystemenstallen. Voor bermgrasvergisting is afstemming in de keten en duurzaam aanbesteden van het maaibeheer door de eigenaren van het gras cruciaal.

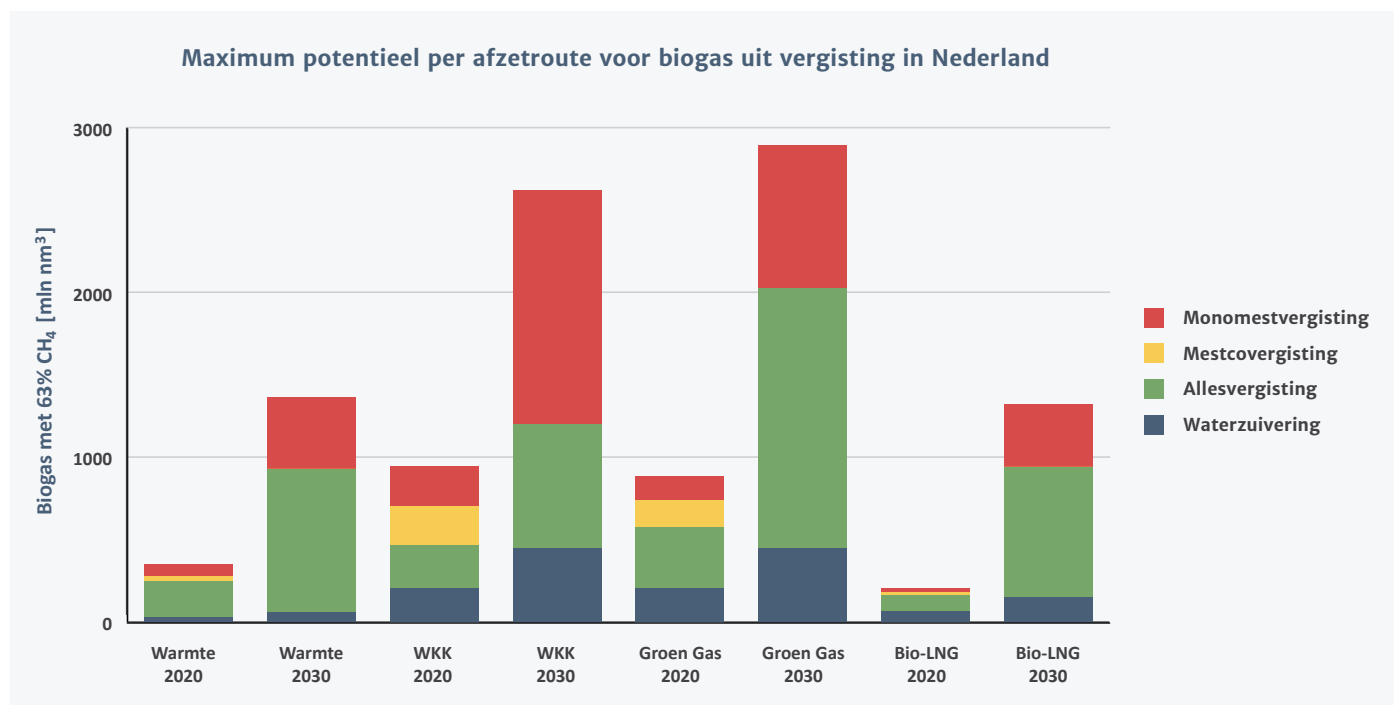
Tabel 6. Ontwikkelingen aantal installaties per type biomassa

	Aantal installaties 2012	Aantal installaties 2020	Aantal installaties 2032
GFT	11	20	25
Rundermest	105*	1000	4000
Varkensmest		60**	30
Kippenmest			10
Energiegewassen			0
VGI	13	20	40
RWZI	82	120	300
AWZI	50	50	75
Gras	0	10	30
Stortgas	41	0	0
Zeewier	0	2	50
	* = covergisters totaal		** = covergisters + grootschalige monomestvergisters

1.4 Maximumpotentieel per afzetroute

Biogas kent meerdere toepassingsmogelijkheden. In dit geval wordt onderscheid gemaakt in de afzet voor warmte, WKK, groen gas en bio-LNG. Welke toepassing wordt gekozen is afhankelijk van marktontwikkelingen, beleid en de mogelijkheden op een locatie. **Figuur 15.** geeft een inzicht in de **maximale potentie** van de verschillende afzetroutes in 2020 en 2030. Deze zijn bepaald door per type installatie een inschatting te maken welk percentage maximaal naar een bepaalde afzetroute zal kunnen gaan in 2020 en 2030. Voor de overzichtelijkheid is het aantal type installaties teruggebracht. In Paragraaf 5. van deze bijlage staat weergegeven welke biomassa in welk type installatie wordt ingezet. Bio-LNG zal in 2020 nog beperkt zijn en ligt de groengasroute voor kleinschalige mestvergisting minder voor de hand dan WKK. De gehanteerde percentages staan in **Tabel 8**.

Let op: de vier scenario's bij elkaar opgeteld komen in **Figuur 15.** hoger uit dan het totale biogaspotentieel uit. Dit is logisch aangezien het gaat om een maximum potentieel per route.



Figuur 15. Maximum potentieel per afzetroute voor biogas uit vergisting

Met name voor 2030 kan bio-LNG een rol van betekenis spelen omdat met duurdere fossiele stromen wordt geconcurrereerd. Op de korte termijn is bio-LNG vooral voor goedkopere biogasstromen interessant. Dus vooral voor waterzuivering en een deel allesvergisting. WKK is het meest vanzelfsprekend bij kleine schaal (monomestvergisting van rundermest) of plaatsen waar de warmte goed benut kan worden (waterzuivering, industriële allesvergisting). De rechtstreekse benutting van biogas voor warmte is sinds 2012 in de SDE+ opgenomen en was in 2013 goed voor 5 van de 39 aanvragen voor nieuwe installaties, allen uit covergisting. Rechtstreekse warmtebenutting betekent dat er voldoende constante afname moet zijn gedurende het hele jaar. Hierdoor is voor sommige type installaties het potentieel beperkt. De groengasbenutting is vooral interessant wanneer er voldoende schaalgrootte kan worden verkregen (allesvergisting en monomestvergisting van varkensmest en kippenmest).

1.5 Data

Biogaspotentieel per type biomassa

Tabel 7. Biogaspotentieel vergisting per type biomassa

2012	Aantal installaties [-]	Verwerkte biomassa [kton ns]	Verwerkte biomassa [% van totale beschikbaarheid]	Totaal beschikbare biomassa [kton ns]	Biogas-opbrengst substraat [Nm ³ / ton ns]	Totale biogas-opbrengst [mln Nm ³ biogas 63% met CH ₄]	Totale biogas-opbrengst [mln Nm ³ aardgas eq.]	Totale biogas-opbrengst [PJ]
GFT	11	210	13%	1600	75	16	10	0,3
Rundermest	105*	399	0,9%	46000	27	11	7	0,2
varkensmest		499	4%	12000	21	10	7	0,2
Kippenmest		40	2,8%	1440	167	7	4	0,1
Energiegewassen		373	4%	9900	170	63	40	1,3
VGI	13	1215	62%	1965	302	367	233	7,4
RWZI	82	656	48%	1363	195	128	81	2,6
AWZI	50	331	43%	777	195	65	41	1,3
Gras	0	43	3%	1500	77	3	2	0,1
Stortgas	41	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	93	59	1,9
Zeewier	0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0,0
Vergisting totaal						763	485	15,3

2020	Aantal installaties [-]	Verwerkte biomassa [kton ns]	Verwerkte biomassa [% van totale beschikbaarheid]	Totaal beschikbare biomassa [kton ns]	Biogas-opbrengst substraat [Nm ³ / ton ns]	Totale biogas-opbrengst [mln Nm ³ biogas 63% met CH ₄]	Totale biogas-opbrengst [mln Nm ³ aardgas eq.]	Totale biogas-opbrengst [PJ]
GFT	20	1145	57%	2000	90	68	43	1,4
Rundermest	1000	6276	11%	55660	35	213	135	4,3
varkensmest	60**	2378	20%	12000	21	50	32	1,0
Kippenmest		258	18%	1440	250	43	27	0,9
Energiegewassen		450	5%	9900	170	77	49	1,5
VGI	20	1765	90%	1965	244	431	273	8,7
RWZI	120	800	59%	1363	244	195	124	3,9
AWZI	50	331	43%	777	244	81	51	1,6
Gras	10	755	50%	1500	100	76	48	1,5
Stortgas	0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0,0
Zeewier	2	75	50%	150	54	4	3	0,1
Vergisting totaal						1237	785	24,9

2030	Aantal installaties [-]	Verwerkte biomassa [kton ns]	Verwerkte biomassa [% van totale beschikbaarheid]	Totaal beschikbare biomassa [kton ns]	Biogas-opbrengst substraat [Nm ³ / ton ns]	Totale biogas-opbrengst [mln Nm ³ biogas 63% met CH ₄]	Totale biogas-opbrengst [mln Nm ³ aardgas eq.]	Totale biogas-opbrengst [PJ]
GFT	25	1600	80%	2000	100	160	102	3,2
Rundermest	4000	31250	56%	55660	35	1094	695	22,0
varkensmest	30	6000	50%	12000	30	180	114	3,6
Kippenmest	10	720	50%	1440	350	252	160	5,1
Energiegewassen	0	0	0%	0	100	0	0	0,0
VGI	40	1965	100%	1965	244	480	304	9,6
RWZI	300	1363	100%	1363	321	438	278	8,8
AWZI	75	500	64%	777	321	161	102	3,2
Gras	30	1243	50%	2485	115	143	91	2,9
Stortgas	0	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	0	0	0,0
Zeewier	50	41600	20%	208000	20	832	528	16,7
Vergisting totaal						3738	2374	75,1

* = covergisters totaal

** = covergisters + grootschalige monomestvergisters

Maximum potentieel per afzetroute

De verdeelsleutels per installatietype voor 2012 is gebaseerd op het aantal installaties en de geïnstalleerde capaciteit per installatietype (RVO, 2014 en Van Dorp, 2013), de totale hoeveelheid ingevoerd groen gas in 2012 (CBS, 2013a). Voor covergisting is aangenomen dat de samenstelling in 2020 gelijk is als in 2012, maar bij grotere capaciteit en een aandeel van 10% gras. De inschatting van de maximale percentages die per technologie naar een bepaalde afzetroute kan gaan zijn gedaan door expert judgement vanuit RVO, Groen Gas Nederland, ECN en De Gemeiynt. De maxima per route tellen op tot meer dan 100% van het biogaspotentieel in Nederland. Dit komt doordat een gedeelte van het biogas naar meerdere afzetroutes kan gaan.

Tabel 8. Aantal installaties en maximaal potentieel per afzetroute

2012	Installaties	Biomassa	Biogas-opbrengst	installatie-grootte	Maximaal naar warmte		Maximaal naar WKK		Maximaal naar Groen Gas	
	[-]	[-]	[mln Nm ³ biogas]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]
Stortgasinstallaties	41	Vuilstort	93	2,3	in 2012 ingevoerd in SDE+		86%	80	14%	13
Waterzuivering	132	Rioolslib, afvalwaterslib	193	1,5			95%	184	4,6%	8,9
Allesvergisting	13	VGI	184	14,2			96%	176	4,3%	7,9
	11	GFT, onf, gras	19	1,7			46%	8,7	54%	10
Mestcovergisting	105	VGI, energiegewassen, mest	274	2,6			97%	266	3,0%	8,3
			763	2,5			94%	715	6%	48

2020	Installaties	Biomassa	Biogas-opbrengst	installatie-grootte	Maximaal naar warmte		Maximaal naar WKK		Maximaal naar Groen Gas		Maximaal naar bio-LNG	
	[-]	[-]	[mln Nm ³ biogas]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[%]	[mln Nm ³ biogas]
Waterzuivering	170	Rioolslib, afvalwaterslib	276	1,6	10%	28	75%	207	75%	207	25%	69
Allesvergisting	20	VGI	239	12,0	75%	179	75%	179	100,0%	239	25%	60
	10	Gras	36	3,6	40%	14	75%	27	75,0%	27	25%	9
	22	GFT, onf, vgi, gras, teek	105	4,8	25%	26	50%	53	100,0%	105	25%	26
Mestcovergisting	50	VGI, energiegewassen, gras, mest	322	6,4	10%	32	75%	242	50%	161	5%	16
Mono-mestvergisting	1000	rundermest	190	0,2	20%	38	100%	190	50%	95	5%	10
	10	Varkensmest, kippenmest	68	6,8	50%	34	75%	51	75%	51	25%	17
			1237	1,0	28%	352	77%	949	72%	886	17%	207

Tabel 8. Aantal installaties en maximaal potentieel per afzetroute (vervolg)

2030	Installaties	Biomassa	Biogas-opbrengst	installatie-grootte	Maximaal naar warmte		Maximaal naar WKK		Maximaal naar Groen Gas		Maximaal naar bio-LNG	
	[-]	[-]	[mln Nm ³ biogas]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[% van totaal]	[mln Nm ³ biogas]	[%]	[mln Nm ³ biogas]
Waterzuivering	375	Rioolslib, afvalwaterslib	598	1,6	10%	60	75%	449	75%	449	25%	150
Allesvergisting	40	VGI	480	12,0	75%	360	75%	360	100,0%	480	75%	360
	30	Gras	143	4,8	40%	57	75%	107	75,0%	107	75%	107
	25	GFT, onf	160	6,4	25%	40	50%	80	100,0%	160	75%	120
	50	Zeewier	832	16,6	50%	416	25%	208	100,0%	832	25%	208
Mono-mestvergisting	4000	Rundermest	1094	0,3	20%	219	100%	1094	50%	547	5%	55
	40	Varkensmest, kippenmest	432	10,9	50%	216	75%	324	75%	324	75%	324
			3738	0,8	37%	1367	70%	2621	78%	2898	35%	1323

1.6 Onderbouwing potentieel per type biomassa

Methode

Het grootste gedeelte van de grondstoffen voor vergisting zijn lokaal beschikbare reststromen met een lage energie-inhoud. Het betreft natte stromen met een lage kostprijs per ton, waardoor transport relatief kostbaar is. De beschikbaarheid van deze grondstoffen zorgt daarmee voor een maximum aan de potentie van biogas uit vergisting. Er zijn de afgelopen jaren al veel studies verricht naar de beschikbaarheid van biomassa voor energie. Het gaat dan niet alleen om biomassa voor vergisting, maar ook aan stromen die meer geschikt zijn voor verbranding (bijvoorbeeld hout) of biobrandstoffen (bijvoorbeeld frituurvet). De meest uitgebreide nationale, studie was die van Koppejan uit 2009. Deze studie is ook gebruikt in het Nationale Actieplan dat Nederland voor de Europese Commissie heeft moeten opstellen. Vandaar dat de routekaart deze ook als basis neemt. Daarnaast zijn er nog enkele regionale beschikbaarheidsstudies verricht voor de routekaart.

Bruikbaarheid van studie Koppejan (2009)

Koppejan heeft in zijn onderzoek de totaal beschikbare biomassa voor 2020 ingeschat voor vier scenario's. Per scenario heet hij ook een inschatting gemaakt van het percentage van de biomassa die beschikbaar zou kunnen komen voor vergisting. Op basis van de verbrandingswaarde van deze biomassastroom en de meest waarschijnlijke conversieroute met bijbehorende rendementen, is vervolgens een inschatting gemaakt van de hoeveelheid duurzame energie die hiermee kan worden opgewekt.

Het één-op-één overnemen van de gegevens van Koppejan kent voor de routekaart enkele nadelen:

- De verschillende scenario's maken het complex.
- De keuzes voor conversieroutes en rendementen liggen vast.
- De gehanteerde aannames voor biogasproductie voor vergisting op basis van de verbrandingswaarde komen niet overeen met praktijkwaarden.
- Het is lastig om snel inzicht te krijgen in de aannames per biomassastroom.

Daarom kiezen we er in deze routekaart voor om zoveel mogelijk gebruik te maken van Koppejan als bron voor de hoeveelheid biomassa en het potentieel aan biogas hieruit af te leiden.

Aanpak

Per biomassastroom worden de volgende zaken ingeschat en toegelicht:

- Verwachte beschikbaarheid in 2020 en 2030 in kton Natte Stof (NS).
- Verwachte percentage dat beschikbaar komt voor vergisting in 2020 en 2030.
- Verwachte biogasproductie per ton NS in 2020. De biogasproductie waar we mee rekenen is gebaseerd op huidige kentallen met ruimte voor enige verbetering door innovaties in procesvoering tot aan 2020 en 2030.

Het totaal potentieel voor de biogasproductie kan dan worden uitgerekend door deze factoren met elkaar te vermenigvuldigen.

Gft

2020

De rijksoverheid en gemeenten werken binnen in projecten zoals 'Van Afval Naar Grondstof' en 'Gft-inzameling omhoog!' aan betere inzameling bij huishoudens, maar ook van kantoor- en winkeldienstenafval. Vooral in gemeenten met veel laagbouw is veel potentie. Eigen inschatting op basis van de ambities geformuleerd door de Vereniging van Afvalbedrijven is dat op middellange termijn het totale potentieel aan gft nog kan stijgen van 1.600 kton (Rijkswaterstaat, 2013) per jaar nu naar 2.000 kton per jaar in 2020.

In 2015 is er voldoende beschikte capaciteit om 859 kton gft te vergisten in 15 installaties (Van der Eijk, 2012). Voor 2020 kan de ambitie dus zelfs nog iets hoger liggen, bij dezelfde installatiegrootte naar eigen inschatting 1.145 kton gft in 20 installaties. Ook kan de opbrengst per m³ nog iets stijgen. Deze is in de praktijk nu rond 75 Nm³ per ton natte stof, maar zou door verbetering in inzameling en vergistingstechnologie kunnen stijgen. Voor 2020 is 90 Nm³ per ton natte stof aangenomen.

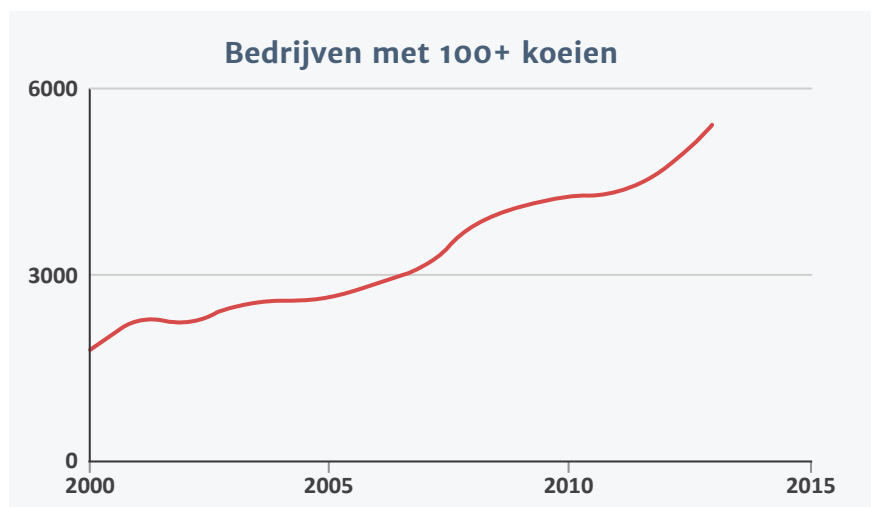
2030

Voor 2030 wordt aangenomen dat het volle biogaspotentieel van biomethaan benut zal worden. Brinkmann Consultancy schat dat op deze termijn 80% van het gft-afval geschikt is voor vergisting. Een biogasopbrengst van 100 Nm³ per ton natte stof is mogelijk (Vereniging Afvalbedrijven, 2010). Tussen 2020 en 2030 wordt geen groei in gft-afval aangenomen doordat alle stromen al ontsloten zijn, deze blijft dus 2000 kton op jaarbasis.

Rundermest

2020

Rundermest is uitermate geschikt voor kleinschalige monomestvergisting. Een bedrijf moet een minimumgrootte hebben om rendabel te zijn voor een monovergister, waarbij meestal uitgegaan wordt van 150 koeien. In Nederland zijn op dit moment circa 5.400 bedrijven met meer dan 100 koeien (LEI, 2014). Met de afschaffing van het melkquotum en door verdere intensivering van de melkveehouderij zal het aantal bedrijven dat groot genoeg is voor plaatsing van een monomestvergister verder stijgen. Vergisting biedt een mogelijkheid om duurzame energie terug te winnen uit mest, methaan-emissies tijdens transport en opslag te voorkomen en het geproduceerde biogas heeft een van de hoogste levenscyclische CO₂-reducties binnen vergisting.



Figuur 16. Ontwikkeling bedrijven met meer dan 100 koeien

Op basis van extrapolatie van de recente ontwikkeling van de melkveehouderij zijn er 15.000 bedrijven van gemiddeld 98 koeien per bedrijf in 2020, waarvan 6.750 met meer dan 100 koeien. Toonaangevende bedrijven Friesland Campina en LTO Nederland zetten in op duizend tot tweeduizend microvergisters in 2020. Met voldoende ondersteuning en standaardisatie kan dit mogelijk zijn op de grotere bedrijven. 1000 microvergisters bij bedrijven van gemiddeld 150 koeien komt neer op 5.430 kton bewerkte rundermest, 12% van de huidige jaarlijkse mestproductie. Daarnaast zal bij een toenemende grootte nog eens 846 kton rundermest worden ondergebracht bij covergisters.

Op dit moment komt jaarlijks 46.000 kton rundermest (alleen stalmest) vrij (LTO Nederland, 2013). De afschaffing van het melkquotum vergroot de melkveesector volgens CLM met 10–30% en volgens de Rabobank met 22% (FrieslandCampina, 2008). Voor 2020 is uitgegaan van 55.660 kton rundermest. LTO Nederland schat dat 25% van de rundermest beschikbaar kan komen voor vergisting in 2020. Door minder weidegang en verdere intensivering van de melkveesector zal het totaal aan rundveemest nog iets kunnen stijgen. Voor monomestvergisters wordt uitgegaan van een opbrengst van 35 Nm³ per ton natte stof, omdat deze relatief versere mest zullen gebruiken dan covergisters. De gemiddelde opbrengst uit rundermest is op dit moment 27 Nm³ per ton natte stof (Peene et al., 2011).

2030

Tegen die tijd zullen er, als de huidige trend zich voortzet, 13.000 melkveebedrijven zijn met gemiddeld 122 koeien. LTO Noord heeft aangegeven dat de intentie is om 4.000 microvergisters te realiseren in 2030. Wanneer de hoeveelheid mest niet langer stijgt na 2020, kan 56% van de mest worden vergist.

Varkensmest

2020

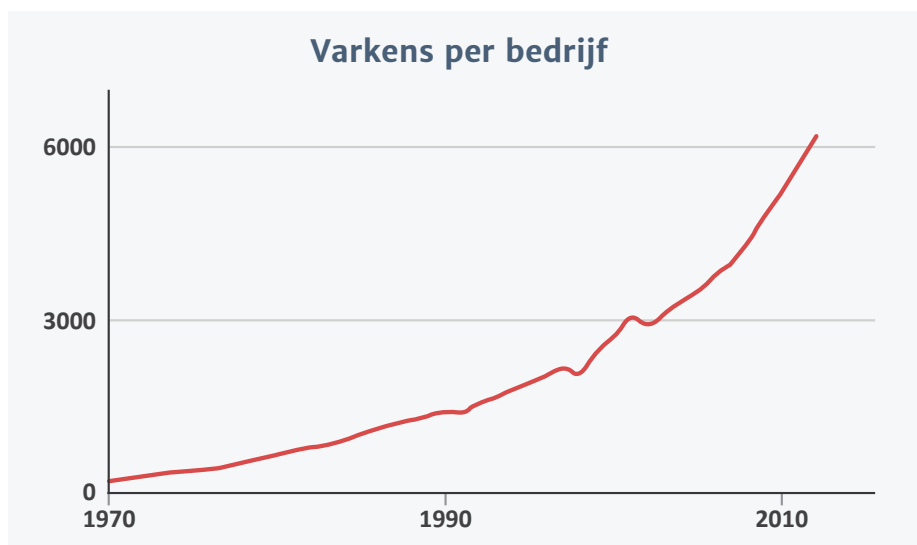
Het overschot aan mest overschrijdt de plaatsingsruimte vooral in de provincies Noord-Brabant en Limburg, waar voornamelijk varkenshouderij bedreven wordt. Iedere veehouder heeft, afhankelijk van de regio, de verplichting een overschot van groter dan 100 kilogram fosfaat te verwerken. Mestverwerking betekent dat de mest zodanig moet zijn bewerkt dat het wettelijk geen mest meer is óf dat de mest zich niet langer in Nederland bevindt. De veehouder kan dit zelf doen of de verwerking kan worden uitbesteed. Hoewel vergisting niet geldt als verwerking maar bewerking van mest, kan het een positieve bijdrage leveren in de business-case en draagt het bij aan de duurzame energiedoelstellingen voor 2020 en de verdere toekomst. Waar de kostprijs van biogas uit covergisting afhankelijk is van de prijs van coproducten, is monomestvergisting grotendeels afhankelijk van de beter te voorspellen mestprijs en de investeringskosten. Met de naar verwachting steeds verder stijgende verwerkingsplicht in de toekomst zal vergisting steeds meer financieel moeten concurreren met andere mestbewerkingsvormen.

Tabel 4. Verplicht te verwerken aandeel plaatsingsoverschot mest

	Regio Zuid noord- en midden-Limburg, Noord-Brabant	Regio Zuid Gelderland, Overijssel, deel van Utrecht	Regio Overig overig Nederland
2014	30%	15%	5%
2015	50%	30%	10%

De helft van de verplicht te verwerken mest in 2015 bestaat uit varkensmest (Voncken, 2014). De mestverwerkingsplicht betekent in het bijzonder voor de varkenshouderij dat varkensmest al grootschalig bij elkaar zal worden gebracht op selecte locaties. Dit biedt bijzondere kansen voor vergisting.

De varkenshouderij profiteert daarnaast van een hoge gemiddelde schaalgrootte van meer dan 2.000 varkens. Deze schaalgrootte neemt nog altijd sterk toe. Daarnaast bevindt deze sector zich voor een groot deel in de twee provincies met de grootste mestplaatsingsoverschotten: Noord-Brabant en Limburg. De sector zal met het oog op de mestwet in de komende jaren meer mest moeten verwerken. Vergisting op zichzelf is weliswaar geen mestverwerking, maar kan wel bijdragen aan een positieve business-case voor mestverwerking. Uitgegaan wordt van grootschalige monomestvergistingsinitiatieven en daarnaast afzet in grootschalige, professionele covergisters.



Figuur 17. Ontwikkeling aantal varkens per bedrijf

Met voortzetting van de huidige trend zullen er in 2020 ongeveer 4.400 varkenshouderijen zijn met gemiddeld 2.700 varkens. Er komen niet zozeer meer bedrijven met meer dan duizend varkens, maar er verdwijnen vooral kleine varkenshouderijen. Commerciële bedrijfsvoering van varkensmest monovergisters is mogelijk vanaf 200 kton varkensmest, waarvan de helft dikke fractie (Voncken, 2014). Hierdoor zullen er relatief weinig monovergisters komen die veel mest verwerken per installatie. Eigen inschatting dat er ruimte is voor 10 installaties in 2020 voor een totaal van 1.730 kton varkensmest, aangevuld met 192 kton kippenmest. Met een aandeel varkensmest in covergisting kan 20% van het totale potentieel aangesproken worden.

2030

Door versere mest te gebruiken en verbeteringen in de infrastructuur wordt voor 2030 ingeschat dat 30 Nm³ per ton natte stof mogelijk is.

Het aantal varkens is in de afgelopen drie decennia nauwelijks gewijzigd. De hoeveelheid mest wordt daarom voor 2020 en 2030 beschouwd als 12.000 kton (LTO Nederland, 2013), het niveau van 2012. LTO Nederland schat in dat op termijn 50% van de varkensmest voor vergisting beschikbaar komt. Met een schaalgrootte van 200 kton komt dit neer op 30 monovergisters.

Kippenmest

2020

Kippenmest laat zich door een hoger organisch stofgehalte en hoge stikstofwaarden makkelijker afzetten en vervoeren over langere afstanden dan drijfmest. Bovendien is deze mest gemakkelijker te verbranden. Hierdoor moet kippenmest concurreren met meerdere verwerkingsvormen en zal slechts een deel beschikbaar zijn voor vergisting. Kippenmest heeft de hoogste potentiële biogasopbrengst van de mestsoorten. Op dit moment wordt in de praktijk gemiddeld 167 Nm³ per ton natte stof gehaald (Peene et al., 2011). De omzettingsgraad kan beperkt worden door het vrijkomen van stikstofverbindingen als ammoniak. Met verse mest, goede bedrijfsvoering en voorbehandeling wordt in de praktijk 350 tot 400 Nm³ per ton natte stof worden behaald volgens André Vermue (Van Loon, 2013). Eigen inschatting is dat kippenmest vanwege de technische moeilijkheden voorlopig vooral in monomestvergisters worden toegepast of als toevoeging bij andere monomestvergisters om voldoende organische belasting te krijgen. Daarnaast wordt aangenomen dat het een vergelijkbaar aandeel uitmaakt van de input voor covergisting. Door betere ontsluiting moet 250 Nm³ per ton natte stof haalbaar zijn in 2020.

De hoeveelheid kippen in Nederland is minder dan 15% geschommeld in de afgelopen 30 jaar, met uitzondering van 2003–2005 door de kippenpest (LEI, 2014). Uitgegaan wordt van eenzelfde hoeveelheid mest voor de komende 15 jaar, 1.440 kton (Koppejan et al., 2009).

In 2020 kan het potentieel van kippenmest, bij 18% van de totale hoeveelheid verwerkt, uitkomen op 43 miljoen Nm³ biogas.

2030

Met verdere technische verbetering is mogelijk toegewijde installaties te bouwen in 2030 die tot 350 Nm³ biogas per ton natte stof kunnen halen. Eigen inschatting is dat 50% van de kippenmest beschikbaar komt voor vergisting vanwege concurrentie met andere toepassingen als export en verbranding. Dan wordt 720 kton kippenmest vergist tot 252 miljoen Nm³ biogas.

Energiegewassen

2020

Energiegewassen zullen op middellange termijn nog een wezenlijk onderdeel blijven uitmaken van covergisters in Nederland. Er wordt uitgegaan dat het aandeel energiegewassen in covergisters in 2020 ongewijzigd is ten opzichte van nu, goed voor 77 miljoen Nm³ biogas op basis van 450 kton verwerkt. Voor perspectief, dit is ongeveer 5% van het huidige maïsareaal van 9.900 kton per jaar [CBS, 2013].

In tegenstelling tot Duitsland, waar meer dan de helft van de voor vergisting bestemde substraten uit toegewijde biomassa bestaat, is in Nederland energieteelt (bijvoorbeeld koolzaad voor biodiesel, granen voor ethanol of maïs voor biogas) nooit heel prevalent geweest. Hoge kostprijs en gebrek aan maatschappelijke acceptatie liggen hieraan ten grondslag.

2030

In 2030 zal de sociale druk voor optimale benutting van het landgebruik nog groter worden met de opkomst van de biobased economy. Energieteelt is de afgelopen jaren steeds meer in opspraak geraakt door de food versus fuel-discussie. Maatschappelijke acceptatie voor energiegewassen die

rechtstreeks concurreren met de voedingsmiddelenindustrie of veevoer – de zogenaamde eerste generatie biomassa – is verdwenen en met de groeiende wereldbevolking en voedselbehoefte wordt niet verwacht dat deze acceptatie terug zal komen. Ook eerste generatie biomassa uit import wordt niet langer geaccepteerd. Energieteelt zal dus aan strenge eisen moeten voldoen.

VGI

2020

De Voedsel en Genotsmiddelen Industrie (VGI) bestaat uit ongeveer 4.500 bedrijven en heeft de meest uiteenlopende biomassa. De VGI heeft vaak langdurig gecontracteerde biomassa in grote hoeveelheden, waardoor meer zekerheid in een businesscase voor vergisting verkregen kan worden.

De brancheorganisatie van de levensmiddelenindustrie FNLI en het ministerie van Economische Zaken willen bevorderen dat laagwaardige reststromen worden ingezet voor productie van energie. Een groot aandeel van de restproducten vindt afzet als veevoer, bijvoorbeeld vetten (rugspek, broekvet, nekspek, reuzel), andere slachtbijproducten, bietenrestproducten (melasse, natte perspulp en staartjes), bierbostel, aardappelbijproducten (stoomschillen, vlokken/snippers, afgekeurde aardappelen, snijverlies, persvezel, diksap, eiwit, frituurvet uit aardappelverwerking), vinasse, tarweconcentraat en groenteafval. Andere stromen komen niet in aanmerking als veevoer, zoals gespecificeerd risicomateriaal, ongeboren mest, kanen en sorteerafval van uien.

De VGI is vooral interessant voor vergisting wanneer verwerkingskosten van reststromen hoog zijn, er veel samenwerking in de keten is, er een afnemer is voor de geproduceerde warmte (eventueel binnen eigen bedrijf), digestaat goed af te zetten is (bij voorkeur uitrijdbaar) en subsidie verkregen kan worden.

De meeste toegankelijke reststromen in de Voedsel- en Genotsmiddelen Industrie waren al benut in 2012. Deze stromen vertegenwoordigen grote hoeveelheden biomassa in eigen beheer, waardoor deze grootschalige vergisters minder risico's lopen in prijsfluctuaties, toelevering en beschikbaarheid. Daarnaast is door de grote schaal mogelijk gekwalificeerd personeel toe te wijden aan de vergister, waardoor minder storingen zullen plaatsvinden. Brinkmann Consultancy meldt stromen die nog kunnen worden benut in de sector: groente- en fruitverwerking (inclusief conserven), kleine reststromen in de zuivelindustrie en reststromen uit de productie van meel (tarwe, maïs enz.), koffie, thee, soepen en bier. Het extra potentieel is ongeveer 750 kton ten opzichte van 2012.

Momenteel wordt gemiddeld 302 Nm³ biogas per ton natte stof gewonnen (Peene et al., 2011). De 750 kton nog te winnen stromen zijn nat en hebben daarom een lagere gemiddelde opbrengst, waarbij uitgegaan wordt van 150 Nm³ biogas per ton natte stof, de helft van de gemiddelde opbrengst van reststromen die nu al worden ingezet. De gemiddelde biogasopbrengst van alle VGI-stromen zal in 2020 daarom dalen naar 244 Nm³ per ton natte stof. Als het totale potentieel van 1.981 kton wordt ingezet levert dit 431 miljoen Nm³ biogas op, een stijging van slechts 16% ten opzichte van 2012.

2030

Met 86% is het overgrote merendeel van het potentieel aan VGI-stromen al aangesproken in 2012. De kleine groei kan in 2020 al verwezenlijkt zijn, wat betekent dat er voor 2030 geen groeiruimte meer wordt voorzien.

RWZI

2020

Rioolwaterzuiveringen hebben het potentieel om volledig energieneutraal te zijn en zelfs nog te leveren aan derden. Biogas uit RWZI's is het goedkoopst te realiseren van alle categorieën in 2020 door lage aanvullende investeringen, waardoor deze stroom met laag organische stofgehalte als eerste in aanmerking komt. 82 van de 352 RWZI's produceerden in 2012 al biogas, vooral voor elektriciteit en warmte in eigen gebruik. Deze installaties waren van bovengemiddelde grootte en vertegenwoordigden 45% van de totale beschikbaarheid aan rioolwaterzuiveringsslib (Van Nieuwenhuijzen et al., 2011). In combinatie met nieuwe voorbewerkingstechnieken kan een groter aandeel van de organische stof in het slib worden omgezet in biogas. Hoewel de beschikbare hoeveelheid slib niet zal toenemen is op termijn een verdrievoudiging van de biogasproductie mogelijk.

De beschouwde hoeveelheid verwerkt rioolwaterslib is afhankelijk van het vochtgehalte. Er is circa 1.363 kton nat rioolwaterslib bij 23% droge stof gehalte (Koppejan et al., 2009). Bij 40% organische omzettingsgraad en 0,75–1,12 Nm³ per kilogram droog slib (Van Nieuwenhuijzen et al., 2011) wordt 215 Nm³ per ton natte stof behaald.

Potentie voor bijna de helft aan extra biogasopbrengst is mogelijk (Van Nieuwenhuijzen et al., 2011). Voor 2020 is uitgegaan van een geleidelijke stijging tot 244 Nm³ per ton natte stof. Als een 120-tal installaties een vergistingsinstallatie heeft in 2020 is er potentie voor 195 miljoen Nm³ biogas uit 59% van het totale rioolwaterzuiveringsslib.

2030

De laatste jaren is er een trend in fusies van RWZI's. In 2030 zullen er waarschijnlijk minder RWZI's zijn dan nu. Uitgegaan wordt dat het potentieel van de volledige (circa 300) installaties zal worden benut. Waar het typische afbraakpercentage van organische stof in 2012 nog 35–65% was, zal door verbetering van techniek een biogasopbrengst van 321 Nm³ per ton natte stof mogelijk zijn (Van Nieuwenhuijzen et al., 2011) bij 23% droge stofgehalte. Het potentieel van RWZI's is daarmee 438 miljoen Nm³ per jaar.

AWZI

2020

Afvalwaterzuiveringen zijn toegespitst op de soort afvalwaterstroom die verwerkt moet worden. Daarom is er meer diversiteit in verontreinigingen en verwerkingsmethodes. Een aantal zuiveringsinstallaties zal ook in de toekomst blijven bestaan uit mechanische, fysisch-chemische of aeroob biologische zuiveringsinstallaties. (Deels) anaerobe zuiveringsinstallaties vertegenwoordigen de grootste AWZI's met 11% van het aantal installaties en 43% van de totale verwerkingscapaciteit. Het aantal zuiveringsinstallaties is, na flink te zijn afgenomen sinds de jaren negentig, sinds 2005 redelijk stabiel (CBS, 2014).

De verwerkingscapaciteit van AWZI's in Nederland is ongeveer 57% van de geïnstalleerde RWZI-capaciteit (CBS, 2014) in inwonerequivalenten. Hiermee wordt de totale biomassa geschat op 777 kton RWZI-slib equivalent. Eigen inschatting is dat bij hogere omzettingsgraad van organische stof AWZI's de helft meer biogasopbrengst kunnen realiseren per ton biomassa, vergelijkbaar met RWZI's. In 2012 waren er 50 installaties met anaerobische processen, vaak in combinatie

met aerobe processen (CBS, 2014). In 2020 zal er niet veel meer plaats zijn voor anaerobe AWZI's en wordt enkel gerekend op betere ontsluitingstechniek. Het potentieel voor 2020 is 81 miljoen Nm³ biogas.

2030

Wanneer vergisting een lucratieve optie is voor een aantal nieuw te bouwen AWZI's, zou het aantal AWZI's met anaerobe processen wellicht nog iets kunnen stijgen. In combinatie met hogere biogasopbrengst is er bij 75 installaties van vergelijkbare verwerkingscapaciteit een potentieel van 143 miljoen Nm³ biogas mogelijk.

Gras

2020

Gras heeft veel potentie voor vergisting maar maakt op dit moment nog geen wezenlijk onderdeel uit van de totale vergistingsmix. Op basis van een eigen inschatting werd in 2012 ongeveer 3 miljoen Nm³ biogas gewonnen uit gras.

Gras kan afkomstig zijn van weideland, bermgras, natuurgras en slootmaaisel. Verzameld weidegras wordt traditioneel ingekuild voor de wintermaanden, met een klein aandeel dat tot hooi wordt verwerkt of als zomerstalvoeding dient. De overige stromen zijn in beheer van Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer, ministerie van Defensie, provincies, gemeenten en waterschappen. Natuurbeheerders en private partijen beheren ook aanzienlijke reststromen gras, waardoor bij regionale inzameling al gauw veel partijen betrokken zijn. Veel maaisel wordt op dit moment niet benut, doordat het wordt ondergeploegd, lokaal wordt verwerkt (Vrijstellingsregeling plantenresten en tarragrond) of elders wordt verwerkt. Op korte termijn hebben gft- en covergisters potentieel voor verwerking van grassen tot 10–30% van de totale inputstroom. Gras heeft dus met name een logistiek vraagstuk, waarbij de afzetroute naar vergisting gevonden moet worden en veel samenwerking tussen regionale partijen nodig is.

In Nederland is het aantal hectares met een beheerdoelstelling gegroeid terwijl de bestaande afzetmogelijkheden naar veehouders is verminderd en verwerkingskosten stijgen. Het is de verwachting dat meer gras uit natuurgebieden beschikbaar zal komen. Bermmaaisel wordt momenteel nog gecomposteerd, maar vergisting biedt energieproductie met voorkomen broeikasgasemissies en een beter mestproduct in de vorm van digestaat. Het is belangrijk dat gras erg vers is voor maximale opbrengst. Hiervoor zal een aangepaste logistiek en infrastructuur moeten worden opgezet. In bermgrassen kunnen zware metalen en arseen voorkomen. Naast grassen zullen ook kruidachtigen en vlinderbloemigen zich in de maaimix bevinden. Brinkmann Consultancy schat dat 50% van de nu verwerkte 1500 kton aan berm- en natuurgras beschikbaar kan komen voor vergisting.

2030

Momenteel wordt slechts 1.500 kton van 4.300 kton aan berm- en natuurgras afgezet. Dit aandeel zou nog kunnen worden verhoogd, waarbij voor 2030 de conservatieve schatting van 2.000 kton wordt aangehouden. Daarnaast is er potentie voor 325 kton als permanente energieteelt als buffer tussen natuurgebieden en intensieve vormen van landgebruik, braakliggende akkerbouwgronden, combinatie met de productie van vezelhout, visuele en akoestische afscheiding van (spoor)wegen en wijken, als onderdeel van recreatieterreinen, combinatie met direct hergebruik van baggerspecie, ter verbetering van de waterkwaliteit in waterwingebieden en als filter van huishoudelijk en

industrieel afvalwater (Rayer, 2003). Eigen inschatting is de potentie als wisselgewas, 160 kton wanneer op 4% van het Nederlandse akkerbouwareaal een keer in de vier jaar wordt ingezaaid. De totale potentie voor grassen komt daarmee op 2485 kton per jaar. Bij 50% inzet in vergisting kan hieruit 143 miljoen Nm³ biogas worden gewonnen.

Stortgas

2020/2030

Stortgas is de goedkoopste vorm van biogas en op dit moment met 93 miljoen Nm³ nog verantwoordelijk voor een achtste van de totale biogasproductie. Als de jaarlijkse afname in productie blijft doorzetten, door afname in organisch materiaal en afname in kwaliteit van het biogas, zullen in 2018 alle stortgasinstallaties hun deuren hebben gesloten. In de routekaart zal dus geen verdere aandacht aan stortgas worden gegeven.

Zeewier

2020

Op korte termijn kan 150 kton teek, een zeewierhoudend materiaal dat voor overlast zorgt in de visserij, beschikbaar worden gesteld voor vergisting. Hierdoor kunnen eventuele verwerkingskosten ook worden gedrukt.

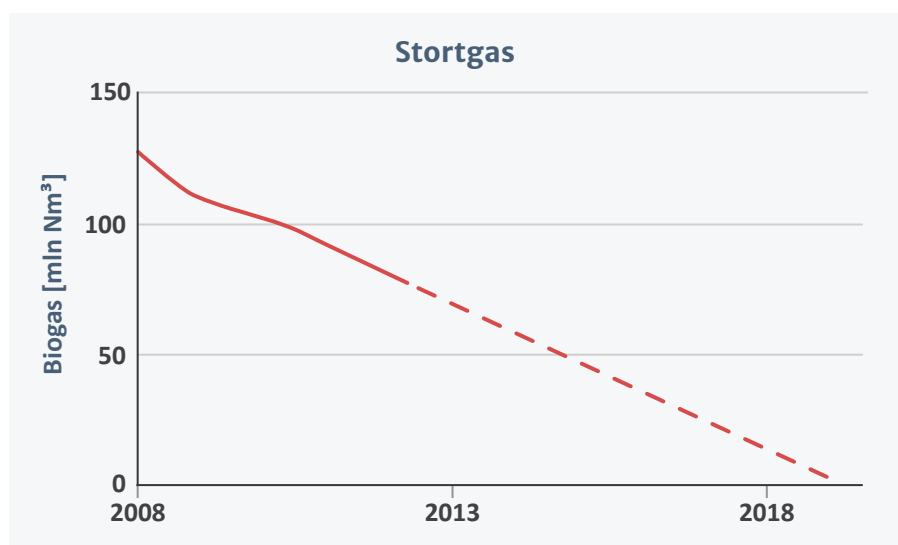
De potentie voor 2020 is 4 miljoen Nm³ biogas, uitgaande van vergelijkbare opbrengst als gekweekt zeewier.

2030

Zeewier is een vorm van biomassa die geen beslag op land legt. Offshore windparken laten geen scheepsvaart toe en zijn daarmee dus optimaal voor kweek van zeewieren. De kweek van zeewier kan gepaard gaan met de kweek van vis of mosselen, die gezamenlijk een ecosysteem vormen dat bevorderlijk is voor de groei van beide. Ook kunnen meerdere soorten zeewier worden gecombineerd op verschillende diepten, waarbij groen-, rood- en bruinwieren een ander deel van het lichtspectrum benutten. Het product zelf, de zeewieren, biedt zelfs kansen voor eiwitproductie ten behoeve van de biobased economy, zodat geen oneerlijke concurrentie met de voedselketen ontstaat en deze juist wordt versterkt. Zeewier neemt mineralen op uit het water, die vervolgens als meststof op het land zouden kunnen worden aangewend.

Zeewier laat zich gemakkelijk vergisten door het lage ligninegehalte, wat landplanten nodig hebben voor stugheid. Op de korte termijn biedt teek, een zout zeewier-bevattend materiaal waarvan 150.000 m³ per jaar aanspoelt, potentie voor vergisting. Teek levert op dit moment nog extra kosten met zich mee voor verwerking in de visserij, maar kan worden omgezet in een bron van inkomsten.

Zeewier vereist een nieuwe infrastructuur en logistiek en zal daarom langer op zich laten wachten. De nutriëntengehaltes in de Noordzee zijn relatief laag, wat betekent dat groei langzamer zal



Figuur 18. Afname winning stortgas

zijn of dat extra nutriënten moeten worden toegediend. De potentie is echter enorm vanwege het grote ongebruikte zeeoppervlak van Nederland. In 2003 is in het Transitiepad 'Aquatische Biomassa' een toekomstvisie opgenomen voor grootschalige teelt van zeewieren op 5.000 km² geïntegreerd in offshore windparken. Rijk en overheid hebben een akkoord gesloten en het huidige ondersteuningsbeleid afgestemd op 4.450 MW windenergie op zee in 2020 [SER, 2013]. Dit ondersteunt al 740 km² zeeoppervlak.

Bij 5.000 km² komt 25.000 kton droge stof per jaar vrij. Bij 88% vochtgehalte (Van den Burg et al., 2013) is dit 208.000 kton natte stof. Voor zeewier wordt een opbrengst van 166 Nm³ biogas per ton droge stof gemeld (Reith et al., 2005), oftewel 20 Nm³ per ton natte stof. Eigen aanname is dat 20% hiervan, oftewel 1.000 km², haalbaar is in 2030.

Voor verwerking via anaerobe vergisting is vooral nog ontwikkeling nodig in scheiding (persen/drukfiltratie), bepaling van maximale methaanopbrengst, effect van voorbehandeling (verkleinen/hydrolyse), thermofiele opbrengst en recycling van nutriëntenstromen.

2.1 Shortlist

Ketenschakel	Sector	Kennis	Overheden
Grondstoffen	Vorbereiden op grasvergisting		Inzameling en vergisting gras opnemen in aanbesteding
	Opzetten 'substraatcentrum' voor het professioneel bedrijven van vergisters		
	Uitwerken vergistingsketens voor zeewier	Kennisontwikkeling inzet zeewieren	Financiële ondersteuning
Conversie	Verwaarden concentraten als vervanger voor kunstmest		Erkenning bemestingswaarde concentraat
	Jumpstart-programma mono-mestvergisting: 200 kleinschalige vergisters		Green Deal entameren voor Jumpstart
			Stroomlijning en versnelling planning en vergunning kleinschalige mestvergisting
	Verwaarding CO ₂ : afscheiding en opwaardering CO ₂ tbv verkoop; in businesscases opnemen.	Goedkopere scheidings- en opwerkingstechnieken	
Infrastructuur	Bijdragen aan visie netbeheerders		Visie op en richtlijnen voor rol en bevoegdheden netbeheerders; incl. richtlijn kosten invoeding en invoedvoorwaarden
	Realiseren demo groengashub gelijkwaardige producenten; regierol hiervoor ontwikkelen		
	(bijdragen aan uitrol en standaardisatie LNG-infrastructureur)	Kennisinzet via TKI Gas	(bijdragen aan uitrol en standaardisatie LNG-infrastructureur)
Toepassing/Markten	Ontwikkeling markttransparantie biotickets: brokers-rol		Ontwikkeling markttransparantie biotickets: rekenregels en beleid
			Gelijktrekking fiscale stimulering rijden op groen gas en elektrisch/plug-in rijden
	Ontwikkeling groengasmarkt voor consumenten		
			Groengascertificaten mee laten tellen in EU ETS-systeem
			Belonen vermeden broeikasgasemissies

2.2 Longlist

Nu-2020

	Sector	Kennis	Overheden
Hardware/Software	Probleem: Aanjagen volume productie groen gas op korte termijn. Oplossing: Versnelling invoering kleinschalige mono(mest) vergisting voor lokaal gebruik. Actie: realisatie Green Deal 13 ('Jumpstart monomestvergisting') (kleine impact qua volume groen gas). (Bron: 1 & 2)	Probleem: laagwaardige reststromen kunnen nog niet kostenefficiënt worden vergist. En het rendement van vergisters is nog onvoldoende. (Bron: 6) Oplossing: Om restwarmte en reststromen beter te benutten is innovatie nodig in de nabewerking. Voorbehandeling leidt tot beter rendement. Actie: onderzoek en innovatie in voor- en nabewerking (Bron: 5-8)	Actie (in samenwerking met sector): Uitvoeren van de Green Deal 13 voor versnelling van de invoering van kleinschalige monomestvergisting (barrières wegnemen) (Bron: 1)
	Probleem: beschikbaarheid voldoende biomassa. Oplossing & actie: Toepassing 'nieuwe' grondstoffen waaronder rest- en afvalstromen, snoeiafval, hekkelmateriaal, kippenmest, berm- en beheersgras > vergroot aanbod. (middelmatige impact) (Bron: 3 & 4)		
	Probleem: Bij vergisting komt veel warmte vrij, een klein deel wordt gebruikt in de vergisterinstallatie, rest gaat verloren. Oplossing: restwarmte benutten. (Bron: 3 & 5 & hier) Actie: afzet vinden voor laagwaardige warmte, evt. in combinatie met stimuleringsmaatregelen zoals een warmtebonus op nuttig gebruik van de restwarmte (Bron: 16). Voorbeeld: Project Energierijk (ACCRES), gebruikt restwarmte van de vergister voor bio-ethanolproductie en algenvijver.		
Economie/Markten			Probleem: weglekken van regionale biomassa naar grootschalige installaties of buitenland (Bron: 10); te weinig vraag naar groen gas in transport. Knelpunten marktontwikkeling: beperkt aantal auto's kan op bio-CNG/bio-LNG rijden en infrastructuur (tank- en vulstations) ontbreekt (Bron: 11). Oplossing: Versnellen invoering van groen gas in transport. Actie: vergroten van de vraag, bijv. door duurzaam inkopen in OV. En: actief stimuleringsbeleid van de overheid om bovenstaande knelpunten weg te nemen. (grote impact) (Bron: 8, 10 & 11)

	Sector	Kennis	Overheden
Regulering/ Samenleving	Probleem: groen gas is nog relatief onbekend, beeldvorming kan beter, en sector te weinig transparant. Maatschappelijke weerstand ontstaat vooral in geval van schaalvergroting (Bron: 8 & 36). Oplossing: Om het imago van groen gas te verbeteren is helder communicatieplan rondom toepassingen van groen gas nodig (Bron: 12). Actie: werken aan communicatieplan en vergroten transparantie.		Probleem: maatschappelijke weerstand vergisters. Oplossing: Vergroten draagvlak vergisters door Actie: heldere besluitvorming. (Bron: 37) Probleem: afzet en verwerking van digestaat kosten geld; onvoldoende producten die co-vergist mogen worden (nodig om te voldoen aan groeiende vraag). Oplossing & actie: Kunstmestbeleid aanpassen zodat digestaat als kunstmest wordt erkend. En voor co-vergisting: positieve lijst uitbreiden (middelmatische impact) (Bron: 1, 3, 8, 13-17) Probleem: Bioticketmarkt nog onvoldoende ontwikkeld en weinig interessant voor aanbieders. Markt is te instabiel voor banken om financiering te bieden. Biotickets zijn alleen interessant als aanbieder geen of te weinig SDE-subsidie krijgt. Nadelen bioticketsysteem : afhankelijk van politieke besluiten, te kleine markt en instabiele prijs waardoor aanbieders kiezen voor SDE. (Bron: 9). Mogelijke oplossingen: SDE+ als garantie voor biotickets, bonussysteem (Bron: 1 & 18-20). Actie: analyse van de effectiviteit van het bioticketsysteem. Samenvattend: harmoniseren sturingsregime rond mobiliteit (grote impact) Probleem: SDE+ bepaalt of project kan doorgaan; zichttermijn subsidie te kort; onzekerheid voor investeringen. Oplossing: Aanpassingen SDE gewenst om groengasproductie en gebruik te vergroten: langere termijn, zekerheid over toewijzing, bredere inzet toepassingen (direct gebruik, levering aan burens), flexibilisering door bijv. revolving fund, extra bonussysteem voor biobased economy toepassingen. Actie: SDE+ aanpassen (Bron: 13, 20, 31). Groen gas in transport: Probleem: CO₂ -emissievoordeel van groen gas ten opzichte van andere brandstoffen en elektrisch rijden wordt genegeerd; ongelijke fiscale behandeling. Oplossing: gelijke fiscale behandeling zorgt voor level playing field met andere vormen van duurzaam transport. Actie: gelijke fiscale behandeling van alle vormen van duurzaam transport; groen gas laten vallen onder het 7%-tarief. (Bron: 1, 12, 18) Probleem: geen evenwichtig speelveld tussen sectoren; beleidsconcurrentie met het subsidiesysteem in Duitsland. Oplossing & actie: Verplicht aandeel groen gas in de gassector zorgt voor evenwichtig speelveld, vermindert beleidsconcurrentie, en vergroot marktvraag en stimuleert realisatie. (middelmatische impact) (Bron: 14)

	Sector	Kennis	Overheden
			Probleem: Knelpunten in ruimtelijke ordening zoals bestemmingsplannen belemmeren (grootschalige) vergisting. Bijv. niet altijd duidelijk of vergister een agrarische of industriële activiteit is. Oplossing: ruimte in bestemmingsplan maken voor vergisters. Actie: Aanpassingen vroegtijdig in gang zetten om implementatie te versnellen.(Bron: 9, 15, 17) Probleem: Groen gas in transport telt niet mee in het door het CBS vastgelegde percentage hernieuwbare energie. Oplossing: Groen gas mee laten tellen in verplichting duurzame transportbrandstoffen. Renewable Energy Directive, 2009/28/EG biedt mogelijkheden: naast de zgn. massabalansverificatiemethode loopt onderzoek naar een book & claim systeem. Actie: onderzoek naar en invoering van een geschikt systeem om groen gas mee te laten tellen (Bron: 1)

2020-2030

	Sector	Kennis	Overheden
Hardware/Software	Probleem: opwaardering naar groen gas heeft schaalvergroting nodig. Oplossing & actie: Realiseren hubs voor schaalvergroting van vergisting en opwaarderen gas (Bron: 11, 21, 22) en investeringen in infrastructuur (gasrotonde) (Bron: 13) dragen bij aan vergroting productiecapaciteit (middelmatische/grote impact) Probleem: verhogen van de vergistbaarheid van grondstoffen; optimalisatie van het vergistingsproces; schaalvergroting nodig. Oplossing & actie: Enzymen en bacteriën bij vergisters gebruiken (Bron: 23). Implementatie van innovatie in voor- en nabewerking. Restwarmte en reststromen benutten. Realisatie schaalvergroting vergisters. (Bron: 5&6) (grote impact) Probleem: beschikbaarheid van voldoende en betaalbare grondstoffen. Oplossing & actie: Toepassing aquatische biomassa (grote impact) (Bron: 4, 5, 8, 22) Vergassing: Probleem: groei in groen gasproductie nodig; vergassingsroute staat nog aan het begin van de innovatiecyclus; ieder jaar uitstel in innovatie leidt tot significante daling productie van groen gas uit vergassing in 2030; gebruik van reststroom vergassing (as) staat nog in de kinderschoenen. Oplossing & actie: Vergassing versnellen door onderzoek, R&D, innovatie en demonstratie (incl. torrefactie, superkritische vergassing en gebruik as). (grote impact) (Bron: 3, 15, 17, 22, 24-26)		

	Sector	Kennis	Overheden
	Probleem: afnameonzekerheid van gas in de zomer; afzetmogelijkheden bij invoeding; hindernissen (onduidelijke voorwaarden) en technische beperkingen om groen gas in te voeden, beperkte invoedcapaciteit. Oplossing: Smart gas grid (in combinatie met schaalvergroting monovergisters: grote impact) (Bron: 3 & 8), koppeling van netten (Bron: 11 & 27), overstort (Bron: 17 & 29), vergroten van de invoedmogelijkheden (Bron: 1, 17, 28). Actie: onderzoek en pilots op het gebied van netten en invoeden starten of voortzetten (bijv. pilot voor overstort van RNB naar LNB in Wijster). (Bron: 17) LBG: Probleem: infrastructuur ontbreekt, business case voor bio-LNG/LBG hangt o.a. af van investeringen in infrastructuur (Bron: 6 & 11). Oplossing: ontwikkeling van infrastructuur voor (fossiel) LNG maakt het makkelijker om in 2de instantie LBG in te voeren. Actie: infrastructuur voor LNG/LBG uitbreiden (middelmatic-grote impact). (Bron: 30) Probleem: energie alleen levert te weinig op; waardeketen en business case versterken; cascadering in de praktijk brengen. Oplossing & actie: Ontwikkeling en inzet bioraffinage > cascadering en hogere verwaarding van de keten. (middelmatic/grote impact) (Bron: 3, 5, 8, 24, 31-34)		
Economie/Markten			Probleem: sommige ketens bereiken een hoge broeikasgasemissiereductie, maar worden beleidsmatig alleen op energiewaarde gewaardeerd. Oplossing & actie: Ketens mede waarderen op broeikasgasemissiereductie zoals bepalen van de CO₂-waarde, leidt tot een ander speelveld (grote impact) (Bron: 1, 3, 14, 35)
Regulering/ Samenleving			Groen gas in transport: Probleem: CO₂-emissievoordeel van groen gas ten opzichte van andere brandstoffen en elektrisch rijden wordt genegeerd; er wordt geen recht gedaan aan totale CO₂-uitstoot over de hele keten. Oplossing & actie: autobeleid voor alle brandstoffen baseren op well-to-wheel benadering (Bron: 3, 8, 12) Probleem: groen gas wordt nog niet in scheepvaart gebruikt omdat de sector niet onder het groengascertificatensysteem valt. Oplossing & actie: Scheepvaart onder groengascertificatensysteem laten vallen zal vraag stimuleren naar schonere brandstoffen zoals LBG. Effect: opschaling groen gas via LNG. Impact komt pas op lange termijn (Bron: 31)

	Sector	Kennis	Overheden
Grondstoffen	Probleem: beschikbaarheid van voldoende en betaalbare grondstoffen. Oplossing & actie: Onderzoek en toepassing aquatische biomassa leidt in combinatie met bioraffinage tot nieuwe ketens. (grote impact) (Bron: 4, 5, 8, 22)	Probleem: beschikbaarheid van voldoende en betaalbare grondstoffen. Oplossing & actie: Onderzoek naar toepassing van aquatische biomassa (grote impact) (Bron: 4, 5, 8, 22)	

2.3 Bronnen voor de actielijsten

1: Groen Gas Nederland (2013a) *Groen gas sleutelrol in duurzame economie*, Groen Gas Nederland / Ministerie van Economische Zaken

2: Van Himbergen H., Van Dorp R. (2013) *Brokstukken voor Routekaart Groen Gas Vergisting met focus tot 2020*, De Gemeyn, intern werkdokument

3: De Gemeyn (2014) *Barrières en oplossingen Routekaart Groen Gas – vergisting*, De Gemeyn, intern werkdokument

4: Ros J., Prins A.G. (2014) *Biomassa – wensen en grenzen*, Planbureau voor de Leefomgeving

5: Wiltink H. (2013) *Samenvatting gesprekken met stakeholders RKGK vergisting*, De Gemeyn, intern werkdokument

6: Van den Boom H., Van der Elst C. (2013) *Thema-update: Biogas, Rabobank Food & Agri (37)*, januari 2013, p. 1-12

7: Boersma M., Pentinga F., Van der Hagen T., Dierikx M. (2012) *Rapportage Topsector Energie bij de Innovatiecontracten Energie maart 2012*, Topteam Energie

8: De Gemeyn (2014a) *Inbreng van de stakeholders over de Routekaart Vergisting*, De Gemeyn, intern werkdokument

9: Bio-energiecluster Oost-Nederland (2013) *Actieplan Vergisting*, Bio-energiecluster Oost-Nederland

10: Van den Berg W.J. (2013) *Biomassastromen op regionale schaal – Is er nog hoop voor regionale installaties en wat betekent dat voor de provinciale rol?*, KNN Advies

11: PwC (2012) *Inventarisatie van verschillende afzetroutes voor groen gas*, PricewaterhouseCoopers / Agentschap NL

12: Vervoort K., Beekman R., Van den Bossche M. (2012) *Groengas in verkeer en vervoer: Feiten en cijfers op een rij*, Ecorys / Vereniging GroengasMobiel

13: Krebbekx J., Lambregts E., De Wolf W., Van Seventer M. (2011) *Melk, de groene motor – Routekaart voor een 100% energieneutrale zuivelketen in 2020 met klimaatneutrale groei*, Berenschot / E-kwadraat

- 14: Bergsma G.C., Croezen H.J. (2011) *Kansen voor Groen Gas – Concurrentie Groen Gas met andere biomassa opties*, CE Delft
- 15: Koppejan J., Elbersen W., Meeusen M., Bindraban P. (2009) *Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020*, Procede Biomass / Wageningen UR
- 16: Peene A., Velghe F., Wierinck I. (2011) *Evaluatie van de vergisters in Nederland*, Organic Waste Systems / Agentschap NL
- 17: Versnellerteam Groen Gas (2013) *Werkdocument Groen Gas – Overzicht Beleidsvraagstukken Groen Gas*, Agentschap NL
- 18: Vereniging GroengasMobiel (2013) *Groengas in transport: kansen voor milieu, energie & economie*, Vereniging GroengasMobiel
- 19: Groen Gas Nederland (2013) *De ultieme combinatie voor duurzaamheid*, Groen Gas Nederland/Ministerie van Economische Zaken
- 20: Laks R. (2013) *Perspectief groen gas – Verslag meeting 16 augustus 2013*, De Gemeynnt, intern werkdocument
- 21: Groen Gas Nederland (2013b) *Verslag Partner Platform 17 april*, Groen Gas Nederland
- 22: Lensink S. (2013) *Een langetermijnperspectief voor groen gas – Position paper*, ECN
- 23: Londo M., Wiltink H. (2013) *Toepassing criteria kansrijke ketens op ketenkaarten versie 3.1*, ECN, intern werkdocument
- 24: Römgens B., Kruizinga E. (2012) *Routekaart Afvalwaterketen – Op weg naar een duurzame afvalwaterketen: Visie 2030*, DNV
- 25: ECN (2013) *Concept-ketenkaart Vergisting/Natte stromen*, ECN, intern werkdocument
- 26: Haenen J., Hoff T., Jepma C., Den Ouden B. (2012) *De TKI Gas programmering 2013–2015*, Ad-hoc commissie programmering TKI Gas 2013–2015
- 27: Netbeheer Nederland (2013) *Actieplan Duurzame Energievoorziening: Op weg naar het Energiesysteem van 2030*, Netbeheer Nederland
- 28: De Gemeynnt (2013) *Besprekingsverslag werksessie stakeholders RKG 3 september 2013*, De Gemeynnt, intern werkdocument
- 29: Van Blijderveen M., Van Berkel W. (2012) *Beslismodel groen gas balanceren: Een studie naar de mogelijkheden om een overschot aan groen gas in het gasnet te verwerken*, Liandon
- 30: Van den Boom H. (2014) *Thema-update: Duurzame Energie – Welke duurzame energie win(d)t? Een doorkijk naar de ontwikkelingen in Nederland tot 2020*, Rabobank Cijfers & Trends (38), januari 2014, p. 1–7

- 31: Wetenschappelijke en Technologische Commissie voor de Biobased Economy (2011) *Naar groene chemie en groene materialen: Kennis- en innovatieagenda voor de biobased economy*, WTC
- 32: De Gemeynt, ECN (2013) *“Elke weg...” Offerte Voorstudie Routekaart Groen Gas – Herziene versie, 2.1*, De Gemeynt / ECN
- 33: Asveld L., Van Est R., Stemerding D. (2011) *Naar de kern van de bio-economie: De duurzame beloftes van biomassa in perspectief*, Rathenau Instituut
- 34: Weckhuysen B., Gosselink H., Kiel J., Van der Wielen L. (2011) *Werkpakket Bioenergy & Biochemicals*, Compact Kernteam Bioenergie
- 35: Croezen H.J., Odegard I.Y.R., Bergsma G.C. (2013) *Hoe duurzaam is biogas? Evaluatie van biogasproductie en -gebruik vanuit ecologisch en economisch perspectief*, CE Delft
- 36: Migchels G., Kuikman P., Aarts H.F.M., Van Dooren H.J.C., Ehlert P.A.I., Luttik J., Sebek L.B., Zwart K.B. (2011) *Kansen en bedreigingen voor mestvergisting en groengasproductie in de Gelderse landbouw – Een eerste verkenning*, Wageningen UR Livestock Research
- 37: Feenstra C.F.J., Elsen A.M.D. (2013) *Draagvlak voor duurzame energie: Stappenplan voor een succesvolle aanpak in uw gemeente*, Agentschap NL



Groen Gas Forum
Green Gas Green Deal (deal 33)

Juni 2014