

# Biomassaconversietechnieken voor de productie van groengas – status 2017

gasunite  
crossing borders in energy




12 March 2018

# Document informatie

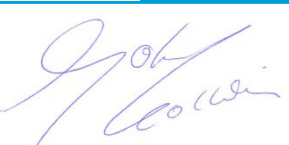
Rapporttitel	Biomassaconversietechnieken voor de productie van groengas – status 2017
Documentnummer	OGNL.18.R.10071453
Datum	12 maart 2018
Klant	dhr. C. Alberts, N.V. Nederlandse Gasunie

Auteur **P. Schulze**




.....

Auteur **J. Holstein**




.....

Auteur **M. Cremers**



.....

Review **H. Vlap**



.....

Goedgekeurd **J. Knijp**



.....

## Ownership

Copyright © 2018, DNV GL Netherlands B.V., Arnhem, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

Het is verboden om dit document op enige manier te wijzigen, het opsplitsen in delen daarbij inbegrepen. In geval van afwijkingen tussen een elektronische versie (bijv. een PDF bestand) en de originele door DNV GL verstrekte papieren versie, prevaleert laatstgenoemde. DNV GL Netherlands B.V. en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe, indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken.

De inhoud van deze studie mag slechts als één geheel aan derden kenbaar worden gemaakt, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten, aansprakelijkheid en rechtsgeldigheid.

# Inhoudsopgave

---

<b>1. Introductie</b>	<b>4</b>
- Achtergrond, Scope, leeswijzer	5
- Definities en aannames	8
<b>2. Overzicht biomassaconversietechnieken ter productie van biogas/syngas</b>	<b>9</b>
- Biochemische conversie van biomassa – introductie	10
- Anaerobe vergisting	11
- Thermochemische conversie van biomassa – introductie	12
- Conventionele vergassing - wervelbedvergassing	14
- Superkritische watervergassing	15
<b>3. Opwaarderingstechnieken van biogas/syngas naar groengas</b>	<b>17</b>
- Opwerkingstechnieken van biogas naar groengas	18
- Technieken ter methanisering van syngas naar groengas	19
<b>4. Verbeteringspotentieel van het omzetrendement</b>	<b>21</b>
- Voorbewerking van natte biomassa voor vergisting – mechanische desintegratie	22
- Voorbewerking van natte biomassa voor vergisting – thermische drukhydrolyse	23
- Gebruik van enzymen	24
- Voorbewerkingstechnieken voor biomassa voor vergassing (torrefactie)	25
<b>5. Overzicht groengas productiecapaciteiten in Nederland</b>	<b>29</b>
- Huidige productiecapaciteit	30
- Verwachte groei productiecapaciteit tot en met 2028	31

# 1. Introductie

# Achtergrond

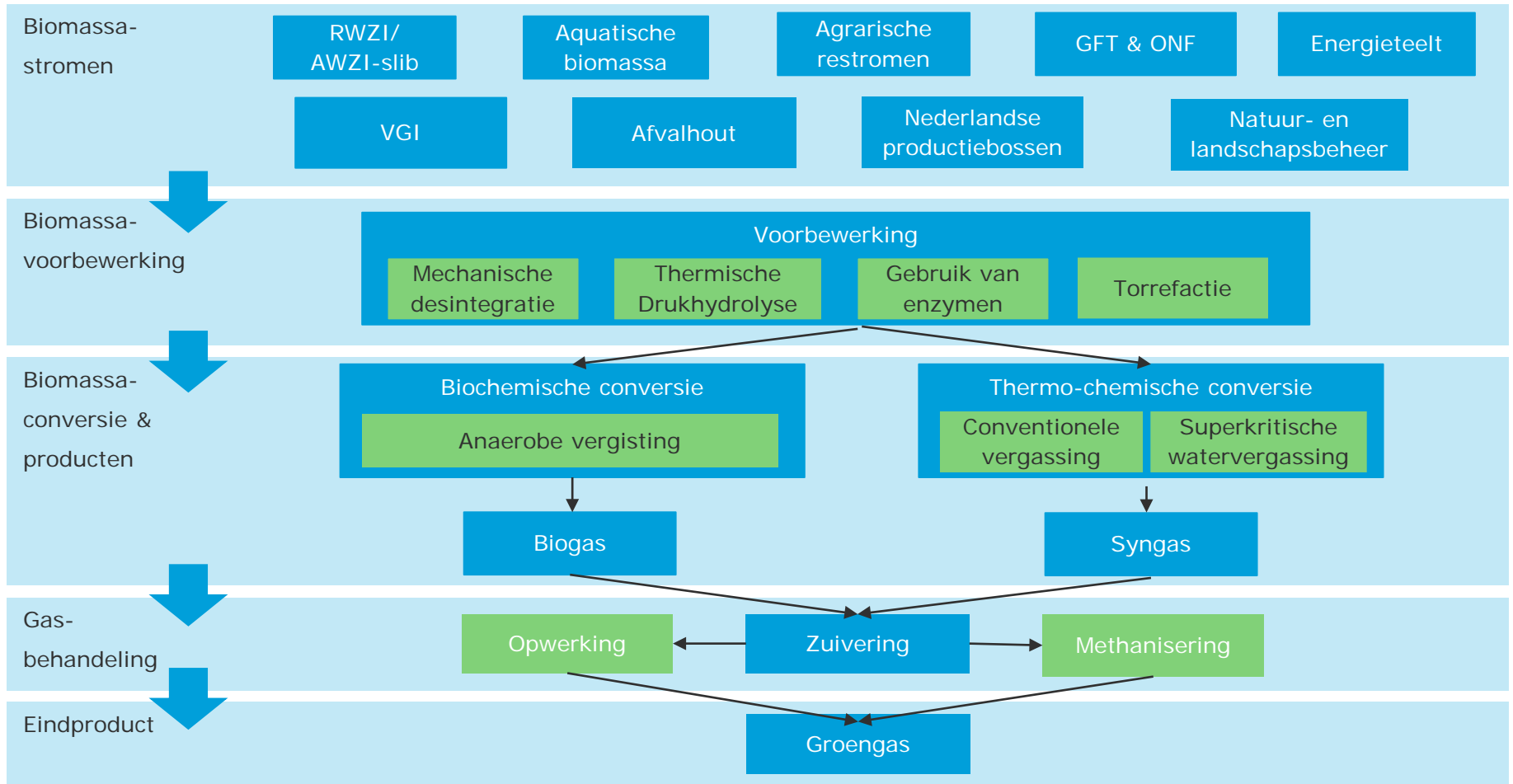
---

- Gasunie gelooft in een duurzame toekomst met een uitgebalanceerde energiemix en een blijvende rol voor (hernieuwbaar) gas, dat afkomstig is van verschillende (duurzame) bronnen.
- Een bron van hernieuwbaar gas is groengas dat geproduceerd wordt uit biomassa. Om de transitie naar een CO<sub>2</sub>-neutrale energievoorziening te versnellen werkt Gasunie aan concrete projecten om de facilitering van groengas verder te ontwikkelen.
- In publieke discussies ontstaat echter steeds meer het beeld dat er (nu en in de toekomst) een beperkte hoeveelheid groengas beschikbaar is; daarom lijkt een toekomstige inzet voor meerdere marktsegmenten (zoals industrie, mobiliteit en de bebouwde omgeving met hybride warmtepompen) problematisch te zijn. In het licht daarvan heeft Gasunie behoefte aan een heldere visie over de (toekomstige) productie van groengas in Nederland.
- In Q1 2017 heeft DNV GL het biomassapotentieel en de beschikbaarheid hiervan voor energiegerelateerde toepassingen voor Gasunie in kaart gebracht.<sup>1</sup> Daarnaast is het van belang om een helder overzicht te hebben van de efficiëntie en het verbeteringspotentieel van technieken om groengas te maken uit biomassa. Ook is de huidige productiecapaciteit van groengas in Nederland in kaart gebracht evenals de verwachte ontwikkelingen tot 2020. In onderhavige rapportage zijn de uitkomsten van deze studie opgetekend.

<sup>1</sup> Schulze et. al., Biomassapotentieel in Nederland, GCS.17.R.10032629.2 (06-04-2017)

# Projectscope

Onderstaande figuur geeft een overzicht van alle mogelijke routes uit de groengasproductieketen. Van de groen gearceerde biomassaconversietechnieken zijn factsheets opgenomen in deze rapportage.



- De biomassaconversietechnieken voor de productie van groengas zijn ingedeeld in de hoofdcategorieën “biomassavoorbewerking”, “biochemische conversie”, “thermochemische conversie” en “opwaardering”. Deze categorieën zijn vervolgens onderverdeeld in verschillende subcategorieën.
- Per factsheet is een overzicht gegeven van mogelijke technologieleveranciers. Dit overzicht heeft geenszins tot doel compleet te zijn.
- In hoofdstuk 2 zijn de technieken van categorie “biochemische conversie” en “thermochemische conversie” beschreven, waarmee biomassa in biogas of syngas wordt omgezet. In hoofdstuk 3 zijn de technieken beschouwd die de ruwe gasstromen opwerken tot groengas. Vervolgens zijn in hoofdstuk 4 de voorbewerkingstechnologieën opgenomen die een verbetering van het omzetrendement van biomassa naar groengas mogelijk maken. Hoofdstuk 5 geeft de huidige en verwachte groengas productiecapaciteit Nederland weer.

## Definities en aannames

- Alle energiegerelateerde berekeningen en -beschouwingen zijn uitgevoerd op basis van de calorische bovenwaarde.
- **Biogas**: een mengsel van methaan en kooldioxide dat geproduceerd wordt door de bacteriële afbraak van organisch materiaal
- **Syngas** (of synthegas): is een gasmengsel met de hoofdbestanddelen koolstofmonoxide (CO) en waterstof (H<sub>2</sub>) en andere componenten zoals stikstof (N<sub>2</sub>), kooldioxide (CO<sub>2</sub>) en methaan (CH<sub>4</sub>) dat geproduceerd wordt via thermochemische omzetting van biomassa.
- **Groengas**: Groengas is duurzaam opgewekt gas dat opgewerkt is zodat het dezelfde kwaliteit heeft als aardgas. Groengas kan o.a. worden gemaakt uit biogas en syngas.
- **Omzettingsrendement**: hoeveelheid energie, die na de biomassaconversie in het biogas aanwezig is, gedeeld door hoeveelheid energie, die in de primaire biomassa aanwezig was (MJ biogas/MJ biomassa). Het eigen energieverbruik (warmte en/of elektriciteit) van de installatie, dat ook uit het biogas voorzien zou kunnen worden, is in deze studie niet in mindering gebracht op de energie-inhoud van het biogas of syngas.
- **Koudgasrendement**: energie-inhoud van het koude (syn- of groen)gas dat de installatie uitkomt gedeeld door de energie-inhoud van de biomassa die de installatie ingaat (MJ syngas / MJ biomassa-input).
- **Rendement** van opwerkings- of syntheseset technologieën: de energiewaarde van het groengas, gedeeld door de energiewaarde van de ingaande biogas- of syngasstroom (MJ groengas / MJ biogas/syngas).
- **Verhoging van het rendement** (door bijv. voorbewerkingstechnologieën toe te passen): om uiteindelijk op het total omzettingsrendement van biomassa naar groengas te komen dient het percentage 'verhoging omzettingsrendement' te worden toegepast op het percentage 'omzettingsrendement' (voorbeeld: 'verhoging omzettingsrendement' = 40% en 'omzettingsrendement' = 10% → 'totaal omzettingsrendement' = 44%)



## 2. Overzicht biomassaconversietechnieken voor de productie van biogas en syngas

# Biochemische conversie van biomassa - introductie

---

- Biochemische omzetting van biomassa omvat het gebruik van bacteriën, micro-organismen en enzymen om biomassa af te breken in gasvormige of vloeibare energiedragers, waaronder biogas.
- Vergisting is het proces waarbij in een zuurstofloze (anearobe) omgeving biomassa door micro-organismen wordt omgezet in biogas. De uitgegiste biomassa (digestaat), dat overblijft na vergisting, bestaat uit een organische en een inerte fractie.
- De vergistbaarheid of afbreekbaarheid van biomassa betreft de hoeveelheid organische stof die binnen een bepaalde tijd (5-35 dagen) bij een bepaalde temperatuur (25-55°C) kan worden omgezet in biogas. De afbreekbaarheid van biomassastromen ligt typisch tussen 25-60%, op basis van het organisch droge stofgehalte. Dit rendement is afhankelijk van de procesomstandigheden (zuurgraad, temperatuur), maar ook van de afbraaksnelheid waarmee de vier achtereenvolgende fasen van vergisting (hydrolyse, acidogenese, acetogenese en methanogenese) simultaan worden uitgevoerd.
- De benodigde verblijftijd voor een goede organische stofafbraak in een vergister is afhankelijk van de toegepaste temperatuur. Mesofiele vergisting ( $T=35-38^{\circ}\text{C}$ ) is het meest toegepaste proces. De rendementen van mesofiele vergisting zijn in de praktijk echter lager dan die van thermofiele vergisting ( $T=52-56^{\circ}\text{C}$ ).

# Anaerobe vergisting

## Technologiebeschrijving

Het drogestof (DS)-gehalte van de biomassa bepaalt het type vergistingsproces. Bij een DS-gehalte in de reactor tot 15 % spreekt men van natte vergisting, bij een DS-gehalte tussen 20 en 40 % van droge vergisting.

De meest voorkomende reactoren werken continu, via propstroom, of batchgewijs.

Bij natte vergisters worden hoofdzakelijk de geroerde tankreactoren opgesteld waar biomassa (semi-)continu wordt in- en afgevoerd.

Propstroomreactoren zijn vaak langere cilinders waarbij de inputstroom er aan de ene kant ingaat en het digestaat er aan de andere kant uitkomt, hier is geen sprake van doorgedreven menging.

Bij een batch-vergister wordt de biomassa in één keer als een pakket vergist in afgesloten boxen.



**Ontwikkelingsfase:** Volwassen en commercieel beschikbaar

**Technologieleveranciers:** Biogas Plus, BEKON, Orgaworld Oosterhof Holman, HoSt, OWS, Kompogas en vele anderen.

Proces	Biomassa-input	Omzettingsrendement*
Natte vergisting	VGI-stromen	46-80% [2-1] <sup>a</sup>
	Primair zuiveringsslib	25-62% [2-1]
	Energieteelt (Mais)	60-70% [2-1]
	Agrar. reststromen – gewasresten (graskuil, tarwestropulp)	20-45% [2-2]
	Agrarische reststromen – mest	41-51% [2-1]
Droge vergisting	Natuur- en landschapsbeheer (bermgrass)	40-45% [2-3]
	GFT & ONF (keukenafval)	30-70% [2-4], [2-5]

\*Berekening van DNV GL met data van respectievelijke bron

<sup>a</sup>Referenties aan het eind van elk hoofdstuk opgevoerd

Proces	Referentie	Leverancier
Natte vergisting	Naturgas Overijssel, Zwolle	Kompogas
	Ecoson, Son	HoSt
Droge vergisting	GFT vergister Hengelo	OWS
	GFT vergister Lelystad	Orgaworld

## Thermochemische conversie – introductie (1/2)

- Thermochemische conversie is de toepassing van warmte- en chemische processen bij de omzetting van biomassa in energiedragers.
- Een belangrijk thermochemisch conversieproces is hierbij vergassing, dat zich richt op de conversie van biomassadeeltjes in een brandbaar gas, het zogenaamde syngas, bij onder-stoichiometrische condities.
- Het is een tussenstap tussen pyrolyse (volledig zuurstofvrij) en verbranding (overmaat aan zuurstof). Syngas bestaat uit een mengsel van waterstof ( $H_2$ ), en koolmonoxide ( $CO$ ), stikstof ( $N_2$ , bij luchtvergassing), kooldioxide ( $CO_2$ ) en methaan ( $CH_4$ ).
- Naast het type technologie speelt ook het vergassingsmedium een rol: lucht, zuurstof of stoom. De bijbehorende stookwaardes van het resulterende syngas zijn 4-6, 10-12 en 12-14 MJ/kg. Voor de secundaire omzetting naar groengas komt alleen stoomvergassing in aanmerking omdat zo vermeden wordt dat te veel zuurstof of stikstof in het gas zit dat moeilijk af te scheiden is.
- Grofweg zijn er de volgende typen vergassing (ook in volgorde van voorkeurs schaalgrootte):
  - **Vast bed**, opwaardse of neerwardse stroom (vaak kleine schaal) → opereren in het algemeen bij hoge temperatuur ( $1200^\circ C$  of meer), met lucht, onder atmosferische druk. Daarom zijn deze types vergassers **niet geschikt** voor de productie van groengas.
  - **Wervelbedvergassing**, bubbling bed of circulerend bed → atmosferisch of onder druk (medium tot grote schaal); bij wervelbedvergasers worden biomassadeeltjes tot circa 10 mm doorsnede in suspensie gebracht met een gasstroom van beneden. De temperaturen bij wervelbedvergassing zijn  $800 - 900^\circ C$ , waardoor risico's op teervorming beperkt zijn. De bekende installaties in Güssing en Gotenburg zijn beide circulerende wervelbedvergasers die gebruik maken van stoom.

## Thermochemische conversie – introductie (2/2)

---

- **Stofwolkvergassing** (“entrained flow”) (grote schaal) → hierbij wordt biomassa in poedervorm geïntroduceerd in de reactor (in het algemeen een drukreactor) waarbij onder temperaturen van > 1200°C vergast wordt. De verblijftijden zijn zeer kort (seconden) maar de installatie is zeer gevoelig voor “fouling” door smeltende as. Stofwolkvergassing is eerder geschikt voor de vergassing van steenkool en olie, maar is **minder gangbaar voor biomassa**.
- Het thermisch rendement van de omzetting van biomassa in syngas ligt bij 75-90% afhankelijk van het proces.
- Syngas is in principe een halfproduct in de volledige conversie van biomassa. Voor de productie van groengas moet het syngas worden gereinigd en ondergaat een synthese naar methaan.
- **Conventionele vergassingstechnologieën** zoals boven beschreven zijn **alleen geschikt voor** de omzetting van **droge biomassastromen**; natte biomassastromen kunnen niet economisch worden omgezet vanwege de grote hoeveelheid energie die nodig is voor verdamping van water.
- Een van de nieuwe technologieën voor de conversie van **natte biomassa en afvalstromen** is **vergassing in superkritisch water**.

# Conventionele vergassing - Wervelbedvergassing

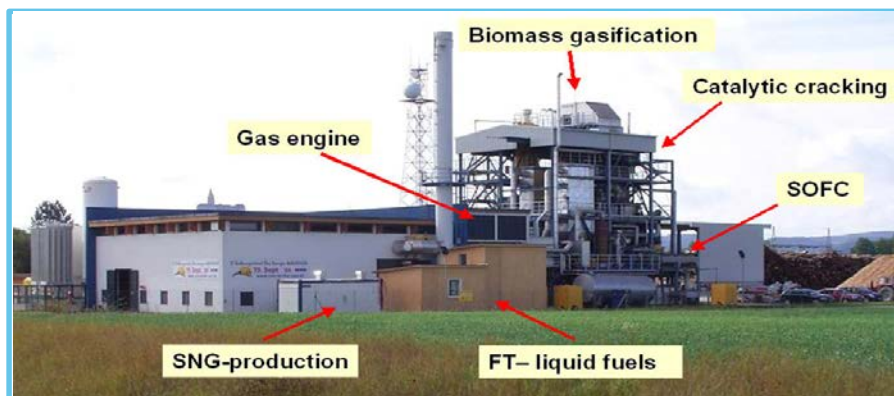
## Technologiebeschrijving

Zowel in Güssing als in Gotenburg wordt gebruik gemaakt van stoomvergassing in speciale wervelbedvergasers (Fast Internal Circulating Bed (FICB)). Het voordeel van deze technologie is dat een syngas met een hoog gehalte aan methaan en waterstof wordt gegenereerd, waardoor het zeer geschikt is voor omzetting naar groengas.

Het syngas heeft een laag stikstofgehalte, een hoog waterstofgehalte en een  $H_2:CO$  ratio van 1,6 – 1,8. De installatie heeft een gemiddelde beschikbaarheid van 7000 uur/jr.

Inmiddels is bij de installatie in Güssing een research centrum (BioEnergy 2020+) opgezet voor de ontwikkeling van verdere opwerking van het synthegas naar groengas.

De commissioning van de GoBiGas installatie (totaal 32 MW input biomassa) is in 2013 begonnen, maar de reguliere operatie pas in augustus 2015 gestart; één van de uitdaging was dat de inputkwaliteit van het syngas voor de methanisering zeer constant moet zijn. De tweede fase van het project (100 MW gasoutput) is in verband met economische haalbaarheid op hold gezet.



## Ontwikkelingsfase

**Volwassen:** De installatie in Güssing is in 2002 gebouwd als een pilot/demonstratie installatie. Inmiddels is er veel relevante informatie vergaard en zijn zowel de gasreiniging als de operatie van de gasmotor geoptimaliseerd. De technologie moet beschouwd worden als 'volwassen'. Het vergassingsconcept wordt door verschillende afnemers gekopieerd.

**In ontwikkeling:** ECN is al jaren bezig met de ontwikkeling van een vergasser, die geschikt is als tussenstap voor groengasproductie (in 2016 Ambigo onderzoeks- en ontwikkelingstraject gestart) → in 2019 zal er een werkende installatie worden opgeleverd (1 ton / uur).

## Technologieleverancier

Repotec (Güssing), Senden, GoBiGas fase 1  
ECN in samenwerking met Royal Dahlman als apparaatleverancier

Biomassa-input	Koudgasrendement
Hout uit productiebossen	70-80% [2-6]
Natuur- en landschapsbeheer (wortel, takken)	Ca. 75%
Afvalhout (Zaagsel)	45-71% [2-7]

Referentie	Leverancier
Güssing, GoBiGas, Senden	Repotec (volwassen technologie)
Alkmaar / Ambigo	ECN/Royal Dahlman (demo-fase)
Bio Energy Netherlands / vergasser	Zero Point Cleantech (demo)

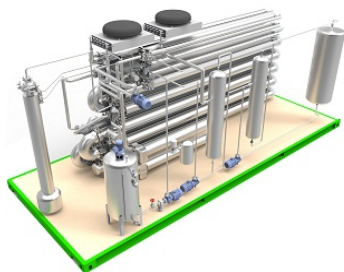
# Superkritische watervergassing

## Technologiebeschrijving

Het hoge vochtgehalte van zogenaamde natte biomassastromen (>60% vochtgehalte) maakt conventionele thermochemische technologieën inefficiënt vanwege de hoge energiebehoefte aan waterverdampering. Vergassing van biomassa in warm, samengeperst water (temperatuur > 275° C, druk > 220 bar) wordt beschouwd als een veelbelovende techniek om dergelijke natte stromen om te zetten in een gas dat rijk is aan waterstof of methaan, afhankelijk van de bedrijfsomstandigheden en toegepaste katalyse. Omdat temperatuur en druk net boven het superkritische punt van water in het fasendiagram zijn, wordt dit proces superkritische watervergassing (SWG of SCWG) genoemd.

Door de hoge druk werkt het water oxiderend. De zuurstof uit het water vormt vervolgens verbindingen met de koolstof uit de biomassa. De hoofdcomponenten in het productstroom zijn CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> en CO (afhankelijk van de procestemperatuur en biomassa met een aandeel van ca. 15-45%, 10-35%, 25-45% en 0-20% respectievelijk). De procestijd is slechts enkele minuten en het gas komt onder druk vrij.

- **Lage temp.** → 350-600°C met gebruik van katalysator
- **Hoge temp.** → 500-750°C zonder gebruik van katalysator



**Ontwikkelingsfase:** Onderzoeksfase / demonstratiefase

**Technologieleverancier:** Ontwikkelaars van de superkritische watervergassingstechnologie zijn SCW Systems, Gensos en YGM.

## Omzetrendementen, Bron: [2-8]

Biomassa-input	Temp (°C)	Reactor type	Verblijf tijd	KGR*
Maiszetmeel	~700	Tubular with carbon catalyst	2,18 h	91%
Microalgae	600	Quartz capillary	2 min	53%
Rioolslib	540	Fluidized bed	n/a	32%
Agrar. Reststromen (Mest)	405	Batch reactor with nickel catalyst	36 min	76%
Agrar. Reststromen (Mest)	600	Flow reactor with carbon catalyst	1,7 min	90%

\*KGR= koudgasrendement

## Referentie

## Instituut

VERENA test facility	Forschungszentrum Karlsruhe (FzK) (status - onbekend)
SCW Energy Alkmaar	SCW systems, Gasunie New Energy (status - bouwfase)

## Referenties

---

- 2-1** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2013. Leitfaden Biogas - Von der Gewinnung zur Nutzung, Gülzow.
- 2-2** CVB Tabellenboek Veevoeding 2016, Voedernormen Rundvee, Schapen, Geiten en voederwaarden voedermiddelen voor Herkauwers. CVB-reeks nr. 52. November 2016
- 2-3** Zwart, K.B. & Boer, D. de, 2015. Droge vergisting van berm- en natuurgras. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2661. 46 blz.; 14 fig.; 7 tab.; 4 ref.
- 2-4** Attero, 2016. Ontwikkelingen GFT-verwerking & biogasvalorisatie in Nederland. Vlaco vzw - Jaarlijks symposium.
- 2-5** Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2006. Handreichung Biogas, Gülzow.
- 2-6** Experimental investigation of a downdraft biomass gasifier; Z.A. Zainal et al, Biomass and Bioenergy vol.23, 2002
- 2-7** Biomass gasification in a circulating fluidized bed; XT Li et al, Biomass and Bioenergy vol 26, 2004; 2.17 Optimized approach of high cold gas efficiency of woody biomass in a fluidized bed gasifier with triple beds, T. Murakami et al, Journal of JSPM, vol 13, 2013.
- 2-8** Onursal Yakaboylu, Supercritical water gasification of wet biomass: modeling and experiments, PhD Thesis, TU Delft, 2016



# 3. Opwaarderingstechnieken van biogas/syngas naar groengas

# Opwerking van biogas naar groengas

## Technologiebeschrijving

Voor de opwerking van biogas naar groengas, dat in principe de scheiding van methaan van kooldioxide inhoudt, zijn vijf verschillende opwerkingsprincipes beschikbaar:

- **Waterwas /organische was** → Fysische absorptie van CO<sub>2</sub> in water of een organische solvent. Scheiding op basis van toenemende oplosbaarheid bij verhoogde druk. Regeneratie van solvent of water door drukreductie.
- **Aminewas** → scheiding op basis van chemische binding van CO<sub>2</sub> aan de amine bij lage temperatuur. Regeneratie door temperatuurverhoging
- **Cryogene scheiding** → Vloeibaar maken van gas door rectificatie, scheiding op basis van verschil in dauwpunten
- **Membraanscheiding** → Scheiding op basis van verschil van diffusiesnelheden van gascomponenten
- **Pressure swing adsorption** → Wisselende fysische adsorptie en desorptie door drukveranderingen met adsorptie op een poreuze vaste stof zoals koolstof.

In Nederland is de meest toegepaste techniek membraan-scheiding (momenteel 17 van totaal 34 projecten), gevolgd door waterwas (8 projecten).

**Ontwikkelingsfase:** Volwassen en commercieel beschikbaar

**Technologieleveranciers:** DMT (waterwas, membraan), Gts (cryogeen), Malmberg Water (waterwas), CarboTech (PSA), HAASE Energietechnik AG (organische was), Cirmac (PSA, membraan), Envitec (membraan), Haffmans Pentair (membraan, cryogeen), Greenlane (waterwas)

Technologie	Rendement Bron [3-1, 3-2]
Waterwas	> 98%
Cryogene scheiding	> 97%
Membraanscheiding	> 96%
Amine scrubber	> 99%
Pressure swing adsorption	> 97%



Referentie	Leverancier
Stortplaats Schoterog (cryogeen)	Gts
Suikerunie (waterwas)	Greenlane
Warmehuizen (membraan)	DMT
Schaap Bio Energie (membraan & cryogeen)	Haffmans Pentair
Meerlanden (aminewas)	Cirmac

# Methanisering

## Technologiebeschrijving

Methanisering is de katalytische omzetting van waterstof, koolmonoxide en koolstofdioxide in methaan. Het proces is gebaseerd op de chemische Sabatier-reactie en wordt reeds op grote schaal toegepast voor de productie van synthetisch gas uit kolen. Voor de omzetting in methaan is een verhouding van  $H_2:CO=3:1$  benodigd. Voor syngas -dat grofweg evenveel waterstof als koolmonoxide bevat- geldt dan ook dat de hoeveelheid te produceren methaan wordt gelimiteerd door het waterstofgehalte. Een externe waterstofbron is nodig om het maximale rendement uit dit proces te halen.

Om meer koolmonoxide om te kunnen zetten in methaan zou het vergassingsproces gecombineerd kunnen worden met elektrolyse (splitsing van water in waterstof en zuurstof), waarbij het waterstof wordt omgezet in methaan in de synthesereactor. Zo zou het biomassa omzettingsrendement nog kunnen verhoogd.

Voor het methaniseringproces in combinatie met syngas wordt gebruik gemaakt van een katalysator (meestal nikkeloxide). De levensduur van de katalysator wordt sterk beperkt door de aanwezigheid van zwavel, teer en andere verontreinigingen in het syngas. Hierdoor is het noodzakelijk deze componenten van te voren te verwijderen.



**Ontwikkelingsfase:** Volwassen technologie (chemisch/katalytische methanisering)

**Technologieleveranciers:** Haldor Topsoe, Paul Scherrer Institut, ETOGAS GmbH

Proces	Omzettingsrendement
Katalytische methanisering	70-78% [3-3, 3-4, 3-5]

Referentie	Leverancier
Xinjiang Qinghua	Haldor Topsoe
Güssing	REPOTEC
Xinjiang, Tremp® process	Haldor Topsoe

## Referenties

---

**3-1** Vienna University of Technology, 2012. Biogas to biomethane technology review.

**3-2** Petersson, A. & Wellinger, A., 2009. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. IEA Bioenergy Task 37 - Energy from biogas and landfill gas

**3-3** Potocnik, P. (2010b). Natural Gas. Chapter 5: Sudiro, M. & Bertucco, A., pages 105 – 126. ISBN 978-953-307-112-1.

**3-4** Hafenbradl, Doris (2017) Best practice: BioCat Project: power-to-gas facility at a wastewater treatment plant in Denmark. Joint Power-to-Methane Workshop of EBA, GIE and ERGaR

**3-5** Gassner, M. en Maréchal, F (2009). Thermo-economic process model for thermochemical production of Synthetic Natural Gas (SNG) from lignocellulosic biomass. Biomass and Bioenergy 33, 1587 - 1604

# 4. Verbeteringspotentieel van de efficiëntie van conversietechnieken

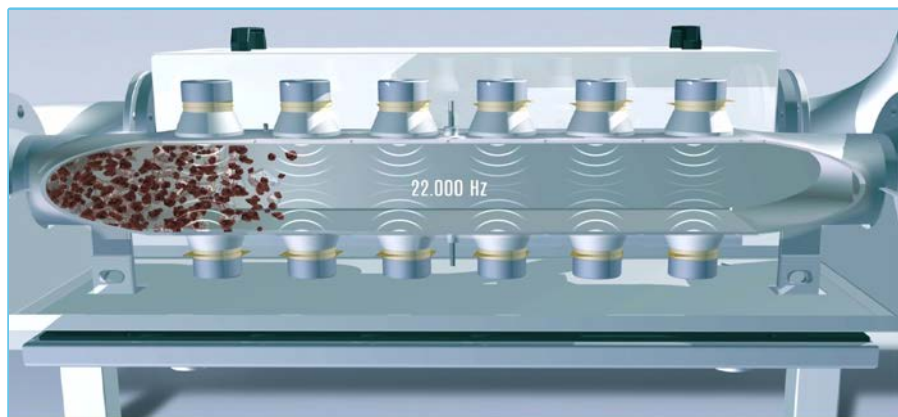
# Vorbewerking van natte biomassa – mechanische desintegratie

## Technologiebeschrijving

- Verbetering van het gistingsrendement door ontsluiting van macromoleculen (zoals cellulose, lignine) → moeilijk vergistbaar materiaal voor bacteriën wordt beter inzetbaar, bijvoorbeeld GFT-afvalstromen en agrarische reststromen

## Technologieën:

- **Echografische desintegratie** → afbraak van biomassa en vermindering van viscositeit via echografie (frequenties >20 kHz). Ultrasonische golven veroorzaken in waterige media periodieke compressie (druk) en stretching (negatieve druk) van het medium - cavitatie
- **Mechanische desintegratie** → ontsluiting via frictie, kneuzing, kleinmaken en wisselende drukken; extrusie is de meest gebruikelijke manier
- **Chemische desintegratie** → destructie van lignineverbindingen met behulp van zuren of alkaline oplossingen (meest gebruikelijk NaOH)



**Ontwikkelingsfase:** Commercieel verkrijgbare technologie

**Technologieleverancier:** Weber Entec (BioPush®), Lehmann Maschinenbau GmbH (Bioextrusion®), Ultrawaves GmbH

Proces	Biomassa-input	Verhoging omzettingsrendement
Echografische desintegratie	GFT/ONF	13%-24% [4-1, 4-2]
	Energieteelt	3-15% [4-3, 4-4]
	Mest	4% [4-5]
Extruder	Agr. reststromen	18-70% [4-6], [4-7]
	Energieteelt	40% [4-7]
Alkaline ontsluiting	Mest	13-23% [4-8]
	Agr. reststromen	33% [4-9]
	Energieteelt	10-37% [4-7]
	ONF	72% [4-10]

Referentie	Leverancier
> 20 installaties in Duitsland en EU	Weber Entec
> 150 biogas plants in Duitsland	Lehmann Maschinenbau
AVA Mariks (D) → behandeling van GFT & ONF	Ultrawaves GmbH

# Vorbewerking van natte biomassa – thermische drukhydrolyse

## Technologiebeschrijving

- Verbetering van het gistingsrendement door ontsluiting van macromoleculen (zoals cellulose, lignine) → voor bacteriën moeilijk vergistbaar materiaal wordt beter inzetbaar, bijvoorbeeld GFT-afvalstromen en agrarische reststromen
- Ook rioolslib kan worden behandeld via deze techniek met als effect een hoger biogasproductie te bereiken en een betere ontwatering van de slib → minder afzetkosten
- Vermindering van de verblijftijd 5-20%

## Proces

- Water werkt in een hydrolysevat onder subkritisch milieu (120-220°C en 2-40 bar) als solvent (bevordert door natuurlijke ingrediënten van de biomassa zoals organische zuren)
- Na een verblijftijd van ~1 uur overbrenging van materiaal naar een expansievat; de plotselinge drukval laat het materiaal expanderen → extra opening van de structuur



**Ontwikkelingsfase:** Commercieel verkrijgbare technologie, echter maar weinig gerealiseerde installaties

**Technologieleverancier:** Bareau, Scheuchl, Sustec, HoST, EnviTec Biogas, CAMBI AS, Eliquo Stulz GmbH, etc.

Biomassa-input	Verhoging omzettingsrendement*
Aquatische biomassa (Microalgae)	20-81% [4-11, 4-12, 4-13]
Agrar. reststromen - gewasresten	30% [4-14]
Agrar. reststromen – Mest	8-35% [4-15, 4-16]
Energieteelt	3-35% [4-17, 4-18, 4-19]
GFT & ONF	40% [4-20]
Rioolslib	30-67% [4-21, 4-22]

\* In vergelijking met vergisting van onbehandelde biomassa

	Referentie	Leverancier
Agrarische vergisters	2 biogas plants in Noord-Duitsland	Fraunhofer UMSICHT SuRo-Institute
	2 biogas plants in Duitsland	Scheuchl GmbH
RWZI	RWZI Venlo	Sustec
	RWZI Amersfoort	Eliquo Stulz GmbH
	RWZI Hengelo	CAMBI AS
	EnTranCe	Bareau

# Gebruik van enzymen

## Technologiebeschrijving

Enzympreparaten worden al jaren in biogasinstallaties gebruikt. Laboratoriumtests suggereren een katalyserend effect van enzymadditieven in het biogasproces → snellere afbraak van het substraat, versnelde reactie in de vergister (lagere verblijfstijd), en verbeterde viscositeit.

## Soorten enzymen

- Laccasen en peroxidasen → afbraak van lignine
- Cellulasen / Hemicellulassen → afbraak van cellulose
- Proteasen en pektinassen → afbraak van eiwitten en pektin

In de procesketen van biogas kan de toevoeging van enzymen op verschillende locaties plaatsvinden (naar de uitgangsmaterialen (externe hydrolyse), in een prehydrolysetank, in de hoofdvergister en naar het digestaat. De werking en het effect van enzymen is afhankelijk van de dosering, incubatietijd, voorbewerking van de biomassa, het vormen van remmende stoffen en procesmilieu (pH, T).

De toepassing van enzyme kan worden gestapeld met andere voorbewerkingstechnologieën zoals mechanische desintegratie.



**Ontwikkelingsfase:** Commerciële beschikbaarheid van de Additieven. Er is nog veel onderzoek naar de daadwerkelijke effecten op het vergistingsproces; meerdere studies konden tot nu toe geen verhogend effect op methaanopbrengst aantonen.

**Technologieleverancier:** DSM, BIOPRACT GmbH, BayWa Bioclear Earth & Ekwadraat, Dupont

Additief	Biomassa-input	Verhoging omzettingsrendement
Cellulase	Energieteelt	0% [4-23], [4-24], [4-25] – 19% [4-26]
	Rioolslib	12% [4-27]
	Agrarische reststromen - Mest	3-5% [4-24]
Laccase	Energieteelt	2-25% [4-28]
Peroxidase	Energieteelt	17% [4-28]
Pektinase	Energieteelt	6% [4-29]

Referentie	Leverancier
MethaPlus®	BIOPRACT GmbH/DSM
Greenstep	Bioclear Earth & Ekwadraat
OPTIMASH® AD-100	DuPont



# Factsheet Torrefactie

## Technologiebeschrijving

Torrefactie is een thermochemische opwerkingstechniek om vanuit een vezelige biomassasoort in een inerte omgeving bij 230-300°C een product te maken dat bros is, een verhoogde verbrandingswaarde heeft en waterafstotend is. Het torrefactieproces kan biomassa dat door zijn eigenschappen niet of moeilijk inzetbaar is voor groengasproductie dusdanig conditioneren dat het via het vergassingsproces wél inzetbaar is. Zo is meer biomassapotentieel toegankelijk voor de productie van groengas.

In tegenstelling tot onbewerkte biomassa, kan getorreficeerde biomassa toegepast worden in een entrained flow vergasser.

**Reactortechnologieën** → De torrefactietechnologie kent een scala aan type reactoren, welke in veel gevallen afgeleid zijn van droogtechnieken. Deze omvatten: roterende trommels, schroeven, fluide bedden (zowel vast als circulerend), torbed, vibrerend rooster, roterende verticale haard.

**Vorbewerking** → verkleining, scheiding en droging

**Nabewerking** → koeling en pelletiseren/briketteren

**Overige processtappen** → verbranding torrefactiegassen



**Ontwikkelingsfase:** Demonstratie, commercieel verkrijgbaar

**Technologie leverancier:** TSI, Airex, CEG, CMI, Blackwood

## Voordelen Torrefactie

Torrefactie maakt biomassa bruikbaar in een entrained flow vergasser. Een entrained flow vergasser heeft een relatief hoog rendement tegen relatief lage investeringskosten. De temperatuur in de reactor is hoog (>1000°C), waardoor teervorming zeer beperkt is. De verblijftijd in een entrained flow vergasser is kort, en een fijne deeltjesgrootte is vereist (<100 µm). Hierdoor is onbewerkte biomassa niet geschikt. Getorreficeerde (of door stoom bewerkte) biomassa kan wel toegepast worden. Door de lage asconcentratie in het getorreficeerde materiaal blijft het rendement van de vergasser hoog. Doordat de gasopbrengst (volume) bij biomassa hoger is dan bij kolen, dient wel rekening gehouden te worden met een verlaging van de output van de installatie.

Het rendement van het torrefactieproces is ongeveer 80-95%.

## Referentie

## Leverancier

Referentie	Leverancier
Roterende trommel	TSI, Torr-Coal
Fluide bed/torbed	Blackwood, Yilkins, River Basin
Band	CEG
Hybride	Airex
Vertikale vuurhaard	CMI

# Referenties

---

- 4-1** Ultrawaves GmbH, 2014. <http://www.ultrawaves.de/biogasanlagen/referenzen/fallstudie-anaeroben-abfallvergaerung>
- 4-2** Cesaro A, Belgiorno V. Sonolysis and ozonation as pretreatment for anaerobic digestion of solid organic waste. *Ultrason Sonochem* 2013;20:931–6.
- 4-3** Ultrawaves GmbH, 2014, <http://www.ultrawaves.de/biogasanlagen/referenzen/fallstudie-loehndorf>
- 4-4** Ultrawaves GmbH, 2014. <http://www.ultrawaves.de/unternehmen/downloads/fallstudie-bga-ense>
- 4-5** Castrillon, L., Y. Fernandez-Nava, P. Ormaechea and E. Maranon, 2011. Optimization of biogas production from cattle manure by pre-treatment with ultrasound and co-digestion with crude glycerin. *Bioresour. Technol.*, 102: 7845-7849
- 4-6** – Hjorth M. et al, 2011. Extrusion as a pretreatment to increase biogas production, In *Bioresource Technology*, Volume 102, Issue 8, 2011, Pages 4989-4994,
- 4-7**– Döhler, H. et al, 2011. Stand und Perspektiven der landwirtschaftlichen Biogastechnik. DWA Kassel 14./15. November 2011
- 4-8** Angelidaki, I., Ahring, B. (2000) Methods for Increasing the Biogas Potential from the Recalcitrant Organic Matter Contained in Manure. *Water Science and Technology*. 41, 3, 189.
- 4-9** Schwarz, B. 2011. Stand und neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der Substratvorbehandlung für den Biomasseinsatz in Biogasanlagen, Fraunhofer IKTS, Dresden, Biogas – Fachtagung Thüringen in Dermbach.
- 4-10** Lopez Torres M, del Espinosa Llorens Ma. Effect of alkaline pretreatment on anaerobic digestion of solid wastes. *Waste Manage* 2008;28:2229–34.
- 4-11** Keymer P. et al., High pressure thermal hydrolysis as pre-treatment to increase the methane yield during anaerobic digestion of microalgae, In *Bioresource Technology*, Volume 131, 2013, Pages 128-133.
- 4-12** Cho S. et al., Evaluation of thermal, ultrasonic and alkali pretreatments on mixed-microbial biomass to enhance anaerobic methane production, In *Bioresource Technology*, Volume 143, 2013, Pages 330-336,

# Referenties

---

- 4-13** Mendez L. et al., Effect of high pressure thermal pretreatment on *Chlorella vulgaris* biomass: Organic matter solubilisation and biochemical methane potential, In *Fuel*, Volume 117, Part A, 2014, Pages 674-679
- 4-14** Döhler, H. et al, 2011. Stand und Perspektiven der landwirtschaftlichen Biogastechnik. DWA Kassel 14./15. November 2011
- 4-15** Gonzalez-Fernandez, C., C. Leon-Cofreces and P.A. Garcia-Encina, 2008. Different pretreatments for increasing the anaerobic biodegradability in swine manure. *Bioresour. Technol.*, 99: 8710-8714.
- 4-16** Angelidaki, I., Ahring, B. (2000) Methods for Increasing the Biogas Potential from the Recalcitrant Organic Matter Contained in Manure. *Water Science and Technology*. 41, 3, 189.
- 4-17** Krassowski, J., 2010, Beseitigung technischer, rechtlicher und ökonomischer Hemmnisse bei der Einspeisung biogener Gase in das Erdgasnetz zur Reduzierung klimarelevanter Emissionen durch Aufbau und Anwendung einer georeferenzierten Datenbank. Bd.2: Prozessüberwachung und -automatisierung zur Dynamisierung und Verbesserung der Effizienz des Biogasanlagenbetriebs; Fraunhofer UMSICHT.
- 4-18** Schumacher, B & Oechsner, H., Aufbereitung von nachwachsenden Rohstoffen zur Optimierung der Biogausausbeute, in: *Biogas 2007 – Energieerträge der Zukunft*, VDI-Berichte 1983, S. 157-168.
- 4-19** Stahl, R., 2008. Die Thermodruckhydrolyse – ein alternatives Verfahren zur Klärschlammbehandlung?, Fa. Scheuchl GmbH Ortenburg
- 4-20** Kim HW, Han SK, Shin HS. Anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste using temperature-phased anaerobic digestion process. *Water Sci.Technol.* 2004;50:107–14.
- 4-21** Waterschapsbedrijf Limburg, <https://www.wbl.nl/Paginas/TDH.aspx>
- 4-22** Qiao W. et al. 2011. Evaluation of biogas production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment, In *Renewable Energy*, Volume 36, Issue 12, 2011, Pages 3313-3318.

# Referenties

---

**4-23** Romano, R.T.; Zhang, R.; Teter, S.; McGarvey, J.A. (2009): The effect of enzyme addition on anaerobic digestion of Jose Tall Wheat Grass. *Bioresource Technology*, Vol. 100, p. 4564-71.

**4-24** Heiermann M. et al., 2014. Untersuchungen und Bewertung zum Einsatz von Enzymen in Biogasanlagen auf deren Wirksamkeit und deren Wirkungsweise sowie zur Veränderung des Verfahrensablaufs im Labor-, Technikum- und Praxisanlagen-Maßstab"; 6 Teilvorhaben, Funded by: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) / Bundesministerium für Landwirtschaft, Ernährung und Verbraucherschutz (BMELV), Bonn, Berlin

**4-25** Binner, R.; Menath, V.; Huber, H.; Thomm, M.; Bischof, F.; Schmack, D.; Reuter, M. (2011): Comparative study of stability and half-life of enzymes and enzyme aggregates implemented in anaerobic digestion processes. *Biomass Conversion and Biorefinery*, Vol. 1, p. 1-8, 2011.

**4-26** Speda J, Johansson MA, Odnell A, Karlsson M. Enhanced biomethane production rate and yield from lignocellulosic ensiled forage ley by in situ anaerobic digestion treatment with endogenous cellulolytic enzymes. *Biotechnology for Biofuels*. 2017;10:129.

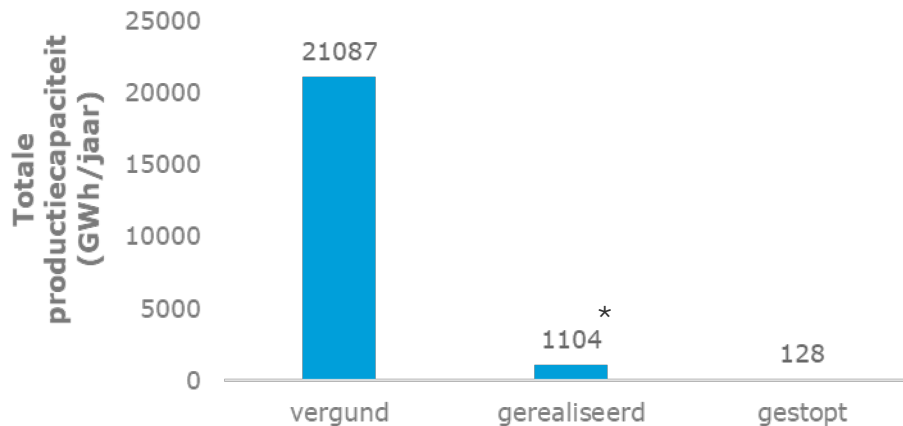
**4-27** Higgins G, Swartzbaugh J (1986) Enzyme addition to the anaerobic digestion of municipal wastewater primary sludge. USEPA Water Engineering Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, EPA/600/2-86/084

**4-28** Schroyen M, Vervaeren H, Vandepitte H, Van Hulle SWH, Raes K. Effect of enzymatic pretreatment of various lignocellulosic substrates on production of phenolic compounds and biomethane potential. *Bioresour Technol*. 2015;192:696–702.

**4-29** Schimpf U.; Valbuena, R. (2009): Effizienzsteigerung der Biomethanisierung durch Enzymzusätze. *Bornimer Agrartechnische Berichte*, Vol. 68, S. 44-56.

# 5. Nederlandse productiecapaciteit groengas

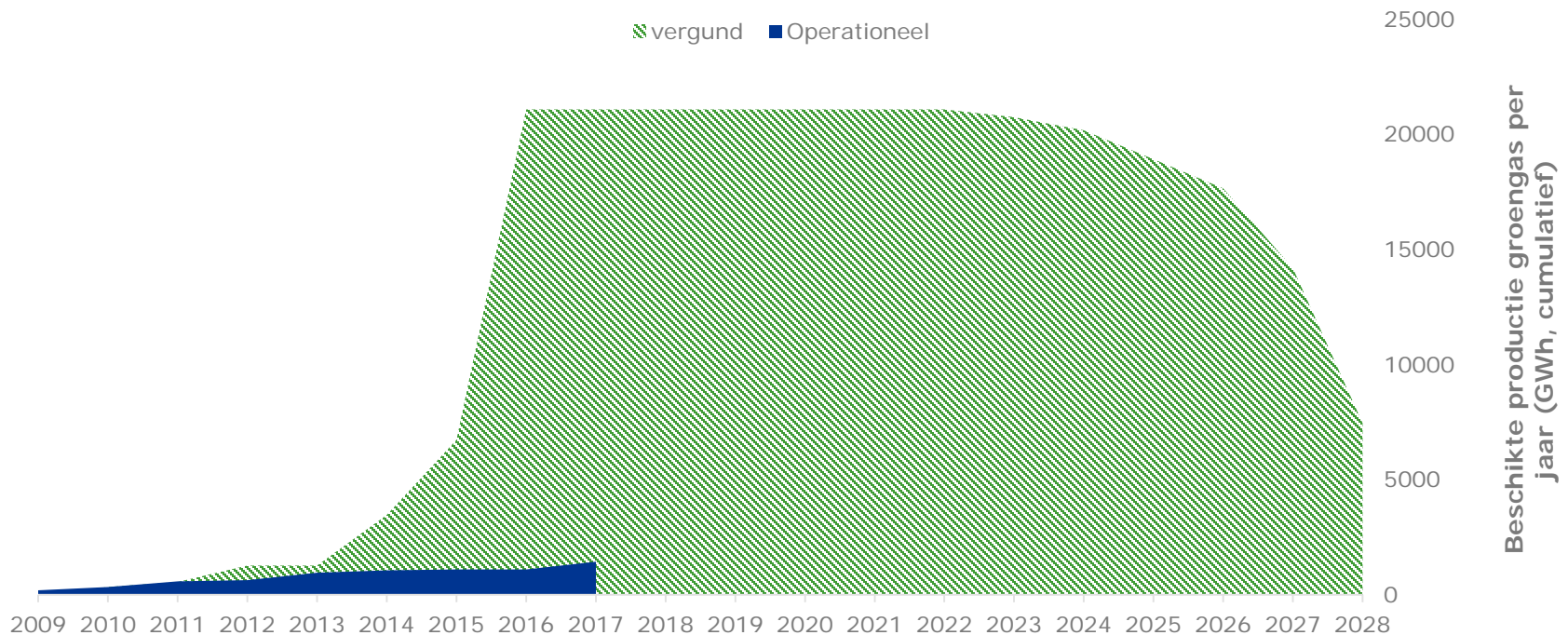
# Huidige productiecapaciteit groengas in Nederland



- In het bovenste staafdiagram is een overzicht gegeven van de gerealiseerde productie-capaciteit per jaar voor groengasproductie onder invloed van de SDE(+)-regeling [5-1], inclusief 3 stortgaslocaties [5-2]. In 2017 is de productiecapaciteit het snelst toegenomen met een groei van 330 GWh geïnstalleerd vermogen. In 2015 is één groengasproductie-locatie gesloten [5-3]. De totaal geïnstalleerde productiecapaciteit eind 2017 bedraagt 1305 GWh/jaar.
- In de onderste staafdiagram is een overzicht gegeven van de totaal vergunde, gerealiseerde, gestopte productiecapaciteit vanaf 2009 tot en met 2017. De vergunde productiecapaciteit is gebaseerd op de gegevens van de SDE(+)-regeling [5-1], waarvoor (\*) de gegevens van de 3 stortgaslocaties niet zijn meegenomen. Van de vergunde capaciteit is tot op heden 5,8% gerealiseerd met vergistingsprojecten. Hiervan is 5,2% op dit moment operationeel. Per juli 2017 zitten nog 68 projecten in de pijplijn [5-1], tenzij de subsidietoekenning is ingetrokken.

## Verwachte groei productiecapaciteit tot en met 2028

- In onderstaande grafiek is een overzicht gegeven van de vergunde en gerealiseerde productiecapaciteit voor groengas in Nederland. Tot 2013 is de gerealiseerde en operationele productiecapaciteit vergelijkbaar met de vergunde productiecapaciteit. Vanaf 2014 zijn meer SDE-aanvragen vergund en (tot op heden) nog niet gerealiseerd [5-1]. Op basis van de toegekende SDE(+)-subsidies voor groengas, is het aannemelijk dat de productiecapaciteit van groengas zal toenemen in de komende jaren.
- De totaal vergunde productiecapaciteit voor groengas per juli 2017 is 21.087 GWh/jaar [5-1]. Hiervan is:
  - 20.773 GWh/jaar (=98,5%) vergund voor groengasproductie middels biomassavergisting.
  - 314 GWh/jaar (=1,5%) voor groengasproductie middels biomassavergassing.



## Referenties

---

**5-1** Feiten en cijfers SDE(+) Algemeen, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, <https://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie/feiten-en-cijfers/feiten-en-cijfers-sde-algemeen>

**5-2** Database DNV GL productiegegevens groengas invoeders (intern)

**5-3** Informatie van gasnetbeheerders locaties groengas invoeders





---

**Paula Schulze**

Paula.schulze@dnvgl.com

+31 (0)26 35 63 021

**[www.dnvgl.com](http://www.dnvgl.com)**

**SAFER, SMARTER, GREENER**