



Hydrothermische conversie van (bio)massa: bron van koolstof in een all-electric toekomst

Samenvatting

Als we in de toekomst nog nauwelijks gebruik maken van fossiele brandstoffen, ontstaat er bij de chemische industrie behoefte aan een ander koolstofbron. (Bio)massa in alle denkbare vormen is daarvoor de belangrijkste kandidaat. Ook de watersector kan leverancier zijn van (bio)massa. Denk daarbij aan waterzuiveringsslib en bermmaaisel bij de waterschappen maar ook biomassaströmen die vrijkomen bij het beheer van de natuurgebieden rondom winnings- en infiltratielocaties van de drinkwaterbedrijven. De opkomst van innovatieve hydrothermische methoden voor conversie van (bio)massa leidt tot vragen over wat de technisch – en economisch meest optimale route is voor een (bio)massaastroom.

Consequenties voor u

	Laag	Middel	Hoog	Beknorte uitleg
Impact				Vooral voor waterschappen maar ook voor drinkwaterbedrijven
Zekerheid				Onvermijdelijke trend



Communale waterzuiveringen vormen in de toekomst mogelijk een belangrijke bron voor biomassa



Trendbeschrijving en achtergrond

Koolstof wordt schaars in een all-electric toekomst

Op de middellange termijn tot lange termijn zal het gebruik van fossiele brandstoffen steeds verder afnemen en uiteindelijk volledig stoppen. In de verre toekomst (richting einde van de eeuw) zullen we onze energie voornamelijk halen uit hernieuwbare energiebronnen zoals wind, zon, waterkracht en biomassa. In de all-electric-samenleving die dan ontstaat, speelt dag- en seizoensopslag van elektriciteit met batterijen en waterstof als energiedrager een belangrijke rol.

En hoewel dat wellicht vreemd in de oren zal klinken met het huidige CO₂-vraagstuk, zal er op termijn een tekort ontstaan aan koolstof. Vooral de chemische industrie zal – ter vervanging van de koolstof uit aardolie en gas – in toenemende mate vragen om alternatieve koolstofbronnen (feedstock). Biomassa is daarvoor de belangrijkste kandidaat. Denk daarbij aan specifiek geteelde gewassen, afvalproducten uit de landbouw en voedingsmiddelenindustrie, GFT-afval maar ook aan snoeihout, bermmaaisel en communaal zuiveringsslib. Teelt van specifieke gewassen staat overigens ter discussie vanwege de concurrentie met voedselproductie (“food versus fuel debate”). Specifiek voor drinkwaterbedrijven gaat het bijvoorbeeld om

(droge) biomassastromen die vrijkomen bij het beheer van de natuurgebieden rondom winnings- en infiltratielocaties.

Thermochemische conversietechnieken voor biomassa

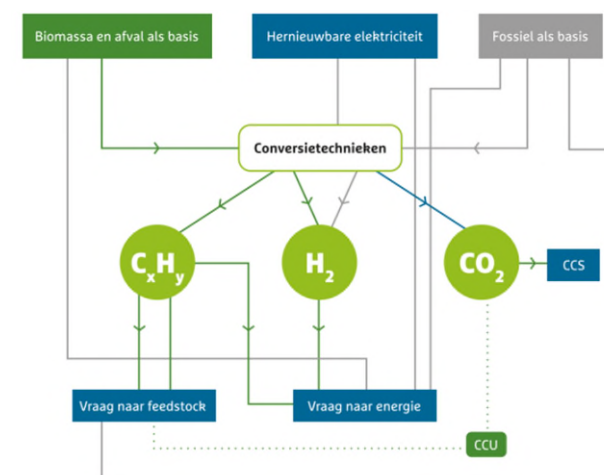
Een recent rapport¹ laat zien dat wanneer de hele Nederlandse chemische industrie, voor zowel energie als feedstock, overgaat op koolstof uit biomassa, er 700 PJ aan biomassa nodig is, ofwel een bos zo groot als het gehele Verenigd Koninkrijk. Dit laat zien dat we goed moeten gaan nadenken over waar we biomassa voor willen gaan inzetten.

Conversietechnieken zijn processen waarmee biomassa wordt omgezet in energiedragers en/of biochemicalïen. Naast chemische en biologische conversietechnieken zijn er ook thermische technieken en sommige processen combineren deze drie omzettingen. Op dit moment worden bepaalde conversietechnieken voor biomassa al op grote schaal toegepast, denk aan biologische conversietechnieken zoals slibvergisting, waarbij de biomassa gedeeltelijk wordt omgezet in biogas. Maar tegelijkertijd zijn er – onder invloed van de geschetste energietransitie – in de recente jaren vele nieuwe ontwikkelingen op het vlak van thermochemische conversie van (bio)massa voor verdere omzetting en

benutting van (bio)massa. Die technieken kunnen worden ingedeeld op basis van een tweetal procescondities²:

- De mate van aanwezigheid van zuurstof of lucht: oxidatief of reducerend.
- Met of zonder verdamping van het in de (bio)massastroom aanwezige water: onder verhoogde druk of niet.

In combinatie met de aanwezigheid van lucht/zuurstof en de druk, speelt de temperatuur ook een rol als procesconditie.



Opties voor omzetting van (bio)massa in feedstock en energie.

¹ M. Stork, J. de Beer, N. Lintmeijer, and B. den Ouden, “Chemistry for Climate : Acting on the need for speed Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050,” Utrecht, 2018.

² EFGF, “Thermische verwerkingstechnieken voor zuiveringsslib in vogelvlucht”, www.waterschapsenergie.nl, 2021



De aard van de (bio)massa (feedstock) in combinatie met de procescondities zijn uiteindelijk bepalend voor de producten die via thermochemische conversietechnieken kunnen worden gevormd. Dat varieert van gasvormige producten (H_2 , CO, CO_2 , CH_4) via bio-olie en biochar tot teerachtige producten. Biochar is een poreuze koolstofhoudende vaste stof met een hoge stabiliteit en fysisch-chemische eigenschappen die het potentieel geschikt maken als bodemverbeteraar en voor de veilige en langdurige opslag van koolstof in het milieu. Een belangrijk aandachtspunt is de zuiverheid van de (bio)massastromen, omdat die uiteindelijk ook bepalend zal zijn voor de kwaliteit en zuiverheid van de gevormde producten. Zo moet bijvoorbeeld bij communale zuiveringsslib ook rekening worden gehouden met zware metalen die uiteindelijk in de (vaste/vloeibare) producten of in de waterige reststroom terecht zullen komen.

Oxidatieve thermochemische conversietechnieken

Het toevoegen van zuurstof leidt tot verbranding van een deel van de (bio)massa waardoor het thermische proces zichzelf in stand kan houden (exotherme reactie). Afhankelijk van de mate van zuurstof die beschikbaar is, wordt onderscheid gemaakt in (1) volledige verbranding van (bio)massa tot as en CO_2 , en (2) vergassing wat naast

as ook laag calorisch gas oplevert met waterdamp, CO, H_2 (syngas³) en CH_4 .

Door drukverhoging kan energieverlies door verdamping van water worden voorkomen, zodat ook natte (bio)massafracties oxidatief kunnen worden behandeld. Dat geldt bijvoorbeeld bij hoge druk natte oxidatie en superkritische oxidatie. In dat laatste geval vinden de omzettingen plaats boven het superkritische punt van water bij drukken boven 100 bar en temperaturen boven 400 °C. Superkritisch betekent dat het onderscheid tussen de gasfase en vloeistoffase verdwijnt onder omstandigheden van hoge druk en temperatuur. Wanneer de oxidatie plaatsvindt onder deze omstandigheden leidt het tot volledige mineralisatie en destructie van de aanwezige organische verbindingen.

Reducerende thermochemische conversietechnieken

Conversie van (bio)massa onder zuurstofloze condities biedt aanzienlijk meer mogelijkheden om specifiek te sturen op de vorming van bruikbare producten zoals synthesesgas (H_2 + CO), bio-olie en biochar. Het is wel belangrijk te beseffen dat van buiten energie moet worden toegevoerd aan de processen omdat geen materiaal wordt geoxideerd. Dit is wat pyrolyse anders maakt dan verbranding: het proces is zuurstofloos en om het gaande te houden moet energie worden

toegevoegd. Pyrolyse heeft plaats bij atmosferische druk met temperaturen tussen 300 en 700 °C en richt zich vooral op droge (bio)massastromen. Naast biochar wordt pyrolysegas gevormd, wat een mengsel is van CO, CO_2 , H_2 en CH_4 , en/of bio-olie. Bij pyrolyse is naast de absolute temperatuur ook de verwarmingssnelheid (temperatuurstijging per tijdseenheid) van belang. De gasopbrengst wordt gemaximaliseerd bij pyrolyse boven 600 °C met een verwarmingssnelheid hoger dan 1.000 °C/s (flash pyrolyse). Bio-olie wordt vooral gevormd bij temperaturen tussen 450 en 600 °C en een verwarmingssnelheid van 300 °C/min (snelle pyrolyse). Langzame pyrolyse (450 °C en lange verblijftijden tot 1 uur) resulteert vooral in de vorming van biochar.

Er is een grote variatie aan technieken om natte (bio)massastromen onder druk te behandelen in afwezigheid van zuurstof. Vanwege de aanwezigheid van water in de (bio)massa wordt ook wel gesproken over hydrothermale technieken. Superkritische vergassing heeft plaats bij temperaturen tussen 500 en 700 °C en bij een zeer hoge druk boven het superkritisch punt van water (> 220 bar). Hierbij ontstaat een gas dat rijk is aan methaan, kooldioxide en waterstof. De vaste stof bevat veel mineralen en nog maar relatief weinig organische stof. Het handhaven van de superkritische conditie

³ Syngas is de combinatie van CO en H_2 . Door middel van het Fischer-Tropsch-proces kunnen uit syngas synthetische koolwaterstoffen worden geproduceerd in de chemische industrie.



vereist echter veel energie en brengt specifieke procestechnologische uitdagingen met zich mee. Liquefactie vindt plaats bij mildere condities met drukken tussen 50 en 200 bar en temperaturen rond de 200 tot 300 °C en is gericht op de vorming van bio-olie. Bij carbonisatie ligt de focus op de productie van vaste stof in de vorm van biochar. Hiertoe wordt de (bio)massa onder drukken van 10 tot 50 bar verwarmd tot temperaturen tussen 200 en 300 °C.

Technologieleveranciers en -ontwikkelaars

Er zijn in Nederland verschillende hydrothermische conversietechnieken in ontwikkeling en ook internationaal wordt veel vooruitgang geboekt. Een aantal van de hydrothermische technologieën kunnen naast biomassa ook andere stromen verwerken, zoals plastics, kunststoffen of koolwaterstoffen. De technologieën zijn derhalve zeker ook interessant voor momenteel lastig te verwerken stromen, zoals zuiveringsslib en met plastic vervuilde biomassa stromen, maar ook digestaat, mest en concentraatstromen.

Hierna volgt een overzicht van een aantal Nederlandse hydrothermische technologieontwikkelaars en -leveranciers⁴:

- Alucha heeft een pyrolyseproces voor materialen die enerzijds bestaan uit plastic of biomassa en anderzijds uit mineralen of metalen. De kunststof/biomassa wordt omgezet in gas en olie, terwijl het metaal of mineraal onveranderd blijft. Voorbeelden van grondstoffen zijn laminaatmaterialen (drankkartons, tandpastatubes, zakjes etc.) en gemengde kunststoffen, maar ook biomassastromen zoals slib, rijstkaf en andere soortgelijke stromen.
- BioBTX heeft een Integrated Cascading Catalytic Pyrolysis (ICCP) technologie die non-food biomassa en plastic afval omzet in benzeen, toluen en xyleen (BTX), essentiële componenten die nodig zijn om hoogwaardige materialen te maken, zoals nieuwe kunststoffen.
- Carbonauten heeft een geavanceerde pyrolytische carbonisatietechnologie die biokoolstoffen produceert uit houtachtige residuen van biomassa uit de bosbouw, landbouw, voedsel- en houtindustrie. De producten bestaan uit een combinatie van biokoolstoffen met verschillende bindmiddelen zoals eiwitten, biopolymeren, polymeren, silicaten, mineralen, etc., die nieuwe, soms superieure eigenschappen hebben, waaronder gewicht en duurzaamheid.
- DBG Bioenergy maakt gebruik van een gepatenteerde enzymtechnologie, EpiCellulyse XT™, die grote hoeveelheden industrieel biomassa-afval zonder uitstoot of schadelijke effluënten omzet in groene BioLNG (biogas) voor de energie- en zware transportsector en groene meststoffen voor landbouwgebruik.
- DOPS Direct Carbon Immobilization (DCI) proces is een nieuw, energiezuinig, thermisch conversieproces op hoge temperatuur (gecombineerde pyrolyse, carbonisatie, vergassing). Het "eet alles" zolang er nog wat koolwaterstoffen aanwezig zijn. Het schijnt dat vervuilende stoffen (PAC's, PCB's, dioxines, PFAS, etc.) worden afgebroken tot basiselementen en kleine moleculen.
- SCW Systems ontwikkelt de superkritische (water)vergassingstechnologie die (natte) organische reststromen zoals rioolslib, agrarische biomassa, GFT en industriële reststromen omzet in groene grondstoffen voor de chemische industrie en groene brandstoffen voor de energie-industrie. De omzetting vindt plaats onder hoge druk en temperatuur boven het zogenaamde superkritische punt van water. De output bestaat uit groen gas (methaan) en/of groene waterstof.

⁴ <https://ispt.eu/events/waste-stream-valorisation-matchmaking-event/>



- Stork werkt met het Solena Plasma Enhanced Gasification (SPEG)-proces bij een temperatuur van meer dan 3500 °C en kan 11 ton/dag/unit groene waterstof produceren uit 120 ton/dag/unit (droog) afvalmateriaal. De eerste unit wordt gebouwd in Lancaster, Californië.
- TNO onderzoekt een zogenaamde flegmatiseringstechniek voor de afvalverwerking van energetische materialen. Dat zijn componenten die in korte tijd veel energie kunnen vrijgeven (explosieven/vuurwerk/fakkels...).
- TORWASH® is een gepatenteerd hydrothermisch proces dat natte organische resten omzet in een vaste biobrandstof die kan worden gebruikt voor warmte- en krachtoepassingen. Dit proces wordt uitgevoerd onder verhoogde temperatuur en druk, zodat water niet verdampt. Water werkt als reactiemedium voor hydrolysereacties die leiden tot een stroom die efficiënt kan worden gescheiden in een vaste en een vloeibare fractie. De dikke fractie kan efficiënt worden geperst tot korrels en uit de vloeibare fractie, die opgeloste organische stoffen bevat, kan biogas worden geproduceerd in een vergister. Het biogas is voldoende om de energiebehoefte van het proces te dekken. Dit maakt het een afvalvrij en energieneutraal proces.

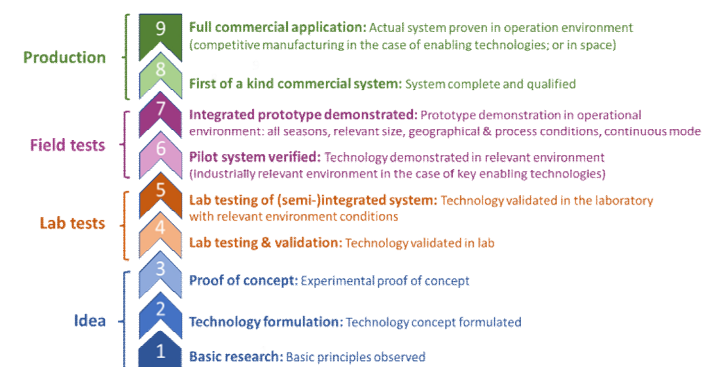
Relevantie

Energie en grondstoffenfabriek (EFGF)

In de EFGF – een initiatief van de Nederlandse waterschappen - wordt momenteel door middel van slibvergisting uit de (natte) biomassa energie gewonnen in de vorm van biogas. De vraag is of deze technologie op termijn nog wel het beste aansluit bij de energietransitie. In plaats van biogasproductie wordt dan ook door diverse partijen gewerkt aan de introductie van nieuwe, innovatieve thermochemische technologieën. Bij de communale waterbehandeling komt vooral veel zuiveringsslib vrij met een relatief hoog watergehalte. Hierdoor ligt het voor de hand om vooral te kijken naar thermochemische conversie onder druk, zoals hoge druk oxidatie, superkritische oxidatie, liquefactie, carbonisatie en of superkritische vergassing. Het zuiveringsslib wordt daarbij ofwel vergaand gemineraliseerd (met zuurstof) of omgezet in groene grondstoffen voor de chemische industrie en groene brandstoffen als energie. Bij superkritisch vergassen bestaan de producten uit groen gas (methaan), groene waterstof en een gemineraliseerd residu. Wat resteert is een waterige stroom die verdere nabehandeling behoeft.

Huidige status van biomassavergassing in Nederland

In een rapportage uit maart 2021 geeft BTG Biomass Technology Group BV in opdracht van RVO een overzicht van de huidige status en perspectief van biomassavergassing in Nederland⁵. Om aan te geven in welke fase de ontwikkeling van een nieuwe technologie zich bevindt wordt de Technology Readiness Level (TRL) maatstaf benut (zie figuur hieronder).



Ref: Based on TRL definition according to Horizon 2020

Overzicht beschrijvingen van Technology Readiness Level (TRL).

De productie van SNG (Substitute Natural Gas of groen gas) via thermische vergassing van biomassa is in Nederland nog niet op industriële schaal aangetoond. Wel is er uitgebreide ervaring opgedaan in verschillende pilot plants, waarmee het huidige TRL-niveau op 6 – 7

⁵ Technische status en perspectief van biomassavergassing in Nederland. BTG in opdracht van RVO, maart 2021..



wordt geschat. Internationaal is de productie van SNG via thermische vergassing van biomassa (houtpellets) op industriële schaal aangetoond in de 20 MW_{SNG} installatie van GoBiGas in Zweden. Daarmee is het geschatte TRL-niveau 8.

De productie van SNG door superkritische water-vergassing van biomassa is in Nederland nog niet commercieel aangetoond. Het verst in de ontwikkeling is SCW Systems. In Alkmaar heeft dat bedrijf 's werelds eerste industriële superkritische water vergasser gerealiseerd gericht op de productie van SNG. Hierbij wordt het gevormde waterstof via methanisering ook omgezet naar methaan. De installatie heeft een capaciteit van 18,6 MW_{SNG}. De technologie kent nog wel belangrijke technische uitdagingen om tot een continue bedrijfsvoering te komen. Met deze realisatie wordt de technologie van niveau TRL 5- 6 naar niveau TRL 7 gebracht.

Vele internationale bedrijven en organisaties werken aan (superkritische) vergassing, pyrolyse, hydrothermische carbonisatie of -liquefactie op TRL-niveaus van 6, 7 of maximaal 8.

Kennisvragen en innovatiebehoefte

Voor de geschetste technologieën is het relevant meer kennis en inzicht te verschaffen in hoe ze optimaal kunnen worden ingezet in de waardeketen naar productie van duurzame energie (biogas, waterstof)

enerzijds en/of de productie van feedstock voor de industrie (syngas, biocrude, bio-oil) of voor de landbouw (biochar) anderzijds. De kwalificatie 'optimaal' kan in dat opzicht betekenen meest economisch rendabel maar daarnaast ook meest duurzaam en natuurlijk veilig voor mens en milieu. Het systeemperspectief en de mogelijk schadelijke effecten van de processen en potentiële zijstromen en bijproducten verdienen voldoende aandacht. Het ontwikkelen van inzicht is relevant om kosteneffectief en duurzaam sturing te geven aan technologieontwikkelingsactiviteiten, overheidsbeleid en de investeringsagenda's van potentiële industriële eindgebruikers. Dit inzicht is uiteindelijk ook relevant voor de watersector, waarbij naast efficiënte (her)benutting van (bio)massa ook de veiligheid van mens en milieu centraal staat.

Meer specifiek richten de kennisvragen zich op het uitvoeren van een techno-economische analyse en op het in kaart brengen van de downstreamketen. Wat zijn de kapitaalslasten en operationele kosten voor de verschillende technologieën? Welke parameters zijn bepalend voor de economische haalbaarheid? Wat is het marktpotentieel van de gevormde producten? En voor wat betreft de downstreamketen: wat zijn per technologie de gevormde producten, wat zijn de sturingsmogelijkheden per type product binnen het proces, wat zijn de verwerkingscapaciteiten, wat is de globale samenstelling van de producten, wat zijn

typische verontreinigingen en wat zijn de benodigde nabehandelingstappen? Uiteindelijk zal er een overall beeld van efficiënte en duurzame hydrothermische conversietechnieken van (bio)massa moeten worden verkregen.

Voor drinkwaterbedrijven is deze nieuwe ontwikkeling erg interessant voor verwaarding van hun (bio)massastromen en eventueel andere momenteel lastig af te zetten reststromen. Potentieel kunnen zeer zorgwekkende stoffen worden afgebroken met de hydrothermische conversietechnieken, maar hiervoor is nog wel onderzoek nodig. Het is ook belangrijk om eventuele contaminanten die vrijkomen bij de verschillende processen te beschouwen, waardoor er een stimulans naar schone hydrothermische conversietechnieken kan worden gegeven. Reststromen zoals het water dat vrijkomt is natuurlijk ook van direct belang voor de drinkwaterbedrijven.



Meer informatie

- M. Stork, J. de Beer, N. Lintmeijer, and B. den Ouden, “Chemistry for Climate : Acting on the need for speed Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050,” Utrecht, 2018.
- EFGF, “Thermische verwerkingstechnieken voor zuiveringsslib in vogelvlucht”, www.waterschapsenergie.nl, 2021
- Technische status en perspectief van biomassavergassing in Nederland. BTG in opdracht van RVO, maart 2021.
- KWR-intern 2021.005. Overview of hydrogen production methods – focus on water footprint and thermal conversion methods from biomass. August 2021.
- De Gemeyn, “Green Liaisons.” 2018 [Online]. Available:
- Rerimassie, V. & D. Stemerding: Politiek over leven. In debat over synthetische biologie. Den Haag, Rathenau Instituut 2012.
- <https://ispt.eu/events/waste-stream-valorisation-matchmaking-event/>
- http://www.wageningenur.nl/upload_mm/a/8/c/8d3dab53-e354-4658-97d5-42fdf2978740_WUR%20Biobased%20Economy%20Nederlands.pdf

Keywords

(bio)massa, conversie, groen gas, hydrothermisch, slib, technologie, waterstof