

Haalbaarheid van gasfermentatie tot PHA-bioplastics bij vergisters

Auteur: Remco Hoogma, Dwarsverband
Opdrachtgever: Biorenewables Business Platform
Projectduur: November & december 2016

Samenvatting

PHA-polyesters (polyhydroxyalkanoaten) zijn een veelbelovende groep bioplastics. Door keuze van monomeren, combinaties (co-polymeren), en door blending, verandering van oppervlak, of combinatie met andere polymeren, enzymen en anorganische stoffen kunnen diverse eigenschappen gecreëerd worden. Er wordt nog weinig geproduceerd (grootteorde 10 kton/a wereldwijd).

Uitdagingen in de PHA-ontwikkeling zijn: verlaging van productiekosten, o.a. door schaalvergroting; gezamenlijke marktontwikkeling; verhoging van kwaliteit en uniformiteit bij gebruik van heterogene koolstofbronnen; verbetering van producteigenschappen voor verwerking; verhoging van PHA-opslagcapaciteit in de micro-organismen; en verbetering van extractie- en opwerkingstechnieken. Het grote voordeel van bioplastics en met name PHA is dat ze gebruikt kunnen worden voor toepassingen waar de snelheid van afbreken van belang is.

Methaan is een mogelijke grondstof voor PHA. Er zijn meerdere bedrijven actief met methaanfermentatie naar PHA: Newlight Technologies, Mango Materials, en VTT (ook eiwitten). Calysta commercialiseert gasfermentatie naar eiwitten en melkzuur. Studies van Stanford University laten zien dat PHB bij grootschalige productie op kosten kan concurreren met PLA en plastics uit aardolie. Newlight Technologies claimt dit ook (kosten <1,5 €/kg).

Om de benodigde schaal van productie te bereiken zijn de beschikbare biogasbronnen al snel te klein, zodat naar verwachting gekozen zal worden voor aardgas als grondstof. De extra kosten van aardgasinkoop worden ruim gecompenseerd door de schaalvoordelen van productie. In Nederland kan door gebruik te maken van aardgas met groengascertificaten wel op grotere schaal PHA uit biogas worden gemaakt (orde 25 kton/a PHA uit 100 mio m³ groengas).

Met een alternatieve PHA-productiewijze uit slib zijn in Nederland daadwerkelijk ervaringen opgedaan in pilots, terwijl gasfermentatie nog wacht op eerste toepassing. De tot dusver in Nederland geproduceerde hoeveelheden PHA waren nog onvoldoende voor toepassingsonderzoek waarbij de kwaliteit en zuiverheid van het PHA door de klanten beoordeeld kon worden. De geschatte kosten voor PHA uit slib zijn aanmerkelijk hoger dan berekend voor PHA uit methaan.

Ombouwen van GFT-vergisters volgens de vetzuurroute kan rendabel zijn. Hierbij worden bioreactoren gevoed met directe VFA-productie uit het GFT-afval, terwijl minder of geen biogas wordt geproduceerd, waarna de vetzuren naar bioreactoren met PHA-producerende micro-organismen worden geleid. De PHA-opbrengst is duidelijk hoger dan de biogasopbrengst, ook inclusief subsidie; de business case wordt wel beter als de subsidie wegvalt.

1. Inleiding

Het Biorenewables Business Platform (BBP) heeft tot taak om (grootschalige) businesscases te helpen identificeren en te ontwikkelen voor de BV Nederland. Zij richt zich daarbij primair op mogelijkheden om hernieuwbare grondstoffen in te zetten voor chemische producten en bouwstenen voor duurzame (bio)-materialen. Energie is nu de meest voorkomende toepassing van biomassa in Nederland. Het BBP stelt zich de vraag of bestaande installaties, zoals biovergisters, herbestemd zouden kunnen worden van energie naar materialen.

Volgens Rabobank staan er in Nederland zo'n 130 biovergisters. De meeste zijn gebouwd tussen 2002 en 2012 onder de regeling milieukwaliteit elektriciteitsproductie (MEP), en daarna zijn er nog 20 bijgekomen onder de Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE). Ongeveer 100 biovergisters staan op boerenerven (meestal uit de MEP-periode), de overige 30 staan op industrie-terreinen, bij waterzuiveringbedrijven of voedselverwerkende bedrijven.¹ De gezamenlijke productie van deze vergisters in 2015 was 13,7 PJ ruw biogas, oftewel 625 mio m³ (bij 22 MJ/m³ energie-inhoud).² De meeste biovergisters produceren elektriciteit en warmte, een kleiner deel maakt groengas.

Er zijn nieuwe technologieën in ontwikkeling die biovergisters mogelijkheden bieden voor business cases in de biobased economy (naast of na bio-energie). Centraal in deze notitie staat gasfermentatie: de microbiologische verwerking van gasen die dienen als koolstofbron, zoals koolmonoxide, kooldioxide, methaan of syngas. De gasen worden geleid door een reactor met micro-organismen die de gasen omzetten in het gewenste product.

Gasfermentatie is een mogelijke na te schakelen technologie voor bestaande bio-energie installaties zoals vergisters (biogas) en vergassers (biosyngas). Met de technologie kan het biogas of syngas worden verwaard tot bijv. 2,3-butaandiol, een verbinding die wordt gebruikt bij het maken van nylon en rubber (Lanzatech), bioafbreekbare polymeren op basis van PHA (Newlight Technologies, Mango Materials), bioethanol (INEOS Bio, Lanzatech),³ azijnzuur, propanol of n-butanol (Synata Bio, voorheen Coskata).⁴

Deze notitie beperkt zich tot oplossingen die mogelijk zijn bij biovergisters. Gasfermentatie van syngas of CO₂ blijft buiten beschouwing. Ook beperkt de notitie zich, met enkele uitstapjes, tot bioplastics, specifiek PHA.

Verantwoording

De studie is uitgevoerd in november-december 2016. Het betrof hoofdzakelijk deskresearch, aangevuld met interviews en telefonische en emailcontacten. Er is voor dit hoofdstuk informatie ingewonnen bij (in alfabetische volgorde):

- Michiel Adriaanse, Programmamanager Bioraffinage, KCPK - Kennis Centrum Papier en Karton

¹ <https://fd.nl/ondernemen/1164960/energie-uit-mest-is-mooi-idee-maar-in-praktijk-zeer-moeilijk-rendabel-te-krijgen>; o.a. interview met Hans van den Boom

² CBS statline 21 december 2016,

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=SLNL&PA=82004NED&LA=NL>

³ Lanzatech en staalbedrijf Arcelor-Mittal bouwen in Gent een proeffabriek voor 25.000 ton/a ethanol door omzetting van CO uit afvalgasen van hoogovens door micro-organismen.

<https://www.deingenieur.nl/artikel/vliegtuigbrandstof-uit-hoogoven>

⁴ <http://www.biobasedpress.eu/nl/2016/07/gasfermentatie-weer-mooie-groene-technologie/>

- Hans van den Boom, Relatiemanager Innovatie F&A + Duurzame Energie, Rabobank
- Erik R. Coats, Associate Professor of Civil Engineering, University of Idaho (email)
- Gerd van der Logt, Directeur, Groen Gas Nederland (en Eneco)
- Hans Mooibroek, Senior Scientist, Unit Biobased Products, Bioconversion, Wageningen Food & Biobased Research (email)
- Jan Ravenstijn, consultant bioplastics
- Dr. René Rozendal, Chief Technology Officer, Paques
- Martin Tietema, Directeur, KNN Bioplastics
- Jan Wessemius, Product manager Specialties, Oerlemans Plastics

Ook is informatie ter beschikking gesteld door leden van het Biorenewables Business Platform en RVO. Vertrouwelijk versterkte informatie is alleen gebruikt om gedurende het onderzoek ontstane inzichten en berekeningen te toetsen.

2. Bioplastics

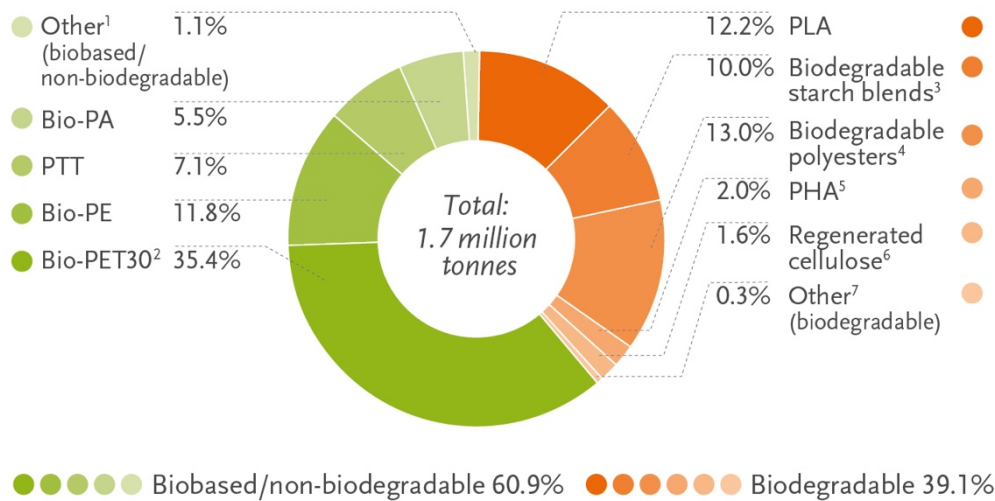
Bioplastics, dat wil zeggen plastics uit hernieuwbare grondstoffen,⁵ maken $\pm 1\%$ uit van de jaarlijkse wereldproductie van plastics, maar het volume groeit sterk. Volgens belangenorganisatie European Bioplastics⁶ zal de wereldwijde productiecapaciteit voor bioplastics op korte termijn verviervoudigen, van 1,7 mio ton in 2014 tot 7,8 mio ton in 2019. Biobased, niet-bio-afbreekbare plastics, zoals biobased PE en biobased PET, zijn de belangrijkste groeiers met meer dan 60% van de productiecapaciteit voor bioplastics in 2014 en 80% in 2019. De productiecapaciteit van bio-afbreekbare plastics, zoals PLA, PHA, en zetmeelplastics, groeit van 0,7 mio ton in 2014 tot 1,2 mio ton in 2019. De productiecapaciteit van PHA (2% aandeel in 2014) zal van 2014 tot 2019 verdubbelen door opschaling in Azië en de VS.

Bioplastics worden in uiteenlopende markten gebruikt, waaronder verpakkingen, cateringproducten, consumentenelectronica, automotive, land- en tuinbouw, speelgoed en textiel. Verpakkingen is verreweg de belangrijkste toepassing (2014: 1,2 mio ton oftewel 70% en 2019: 6,5 mio ton oftewel 80%).

⁵ Formeel mag een bioplastic al biobased genoemd worden als 20% van het product afkomstig is uit hernieuwbare bron.

⁶ <http://www.european-bioplastics.org/market/>

Global production capacities of bioplastics 2014 (by material type)



¹Contains durable starch blends, Bio-PC, Bio-TPE, Bio-PUR (except thermosets); ²Biobased content amounts to 30%; ³Blend components incl. in main materials; ⁴Contains fossil-based PBAT, PBS, PCL; ⁵Incl. Newlight Technologies (CO₂-based); ⁶Compostable hydrated cellulose foils; ⁷Biodegradable cellulose ester

Source: European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites, nova-Institute (2015).

More information: www.bio-based.eu/markets and www.downloads.ifbb-hannover.de

Afbeelding 1: Wereldwijde productiecapaciteit van verschillende bioplastics.

De toename van capaciteit betekent nog niet vanzelf een toename van productie. Volgens bioplasticsconsultant Jan Ravestijn hadden PHA-producenten in 2009 76 kton/a capaciteit en uitbreidingsplannen naar 920 kton/a in 2015, maar bedroegen de verkopen in 2013 slechts 1 kton.⁷ Er werd leergeld betaald om de eigenschappen van PHA (hierna besproken) te doorgronden. Pionier Metabolix sloot zijn eerste fabriek; anderen zoals Meredian pasten hun plannen aan, zodat er in 2014 nog 54 kton/a capaciteit was en teruggeschoofde plannen voor 230 kton/a. Het aantal spelers nam toe tot zo'n 30, waaronder producenten met nieuwe productietechnieken zoals gasfermentatie. In 2015 begonnen de verkopen ook toe te nemen. Ravenstijn wijst erop dat het vaak zo'n 20 jaar duurt voordat een nieuw op de markt gebrachte plastic winst gaat opleveren (of dat de pogingen gestaakt worden). De voorbeelden betreffen plastics op basis van aardolie maar ook PLA. De PHA-pioniers begonnen in 1992.

3. PHA-bioplastics

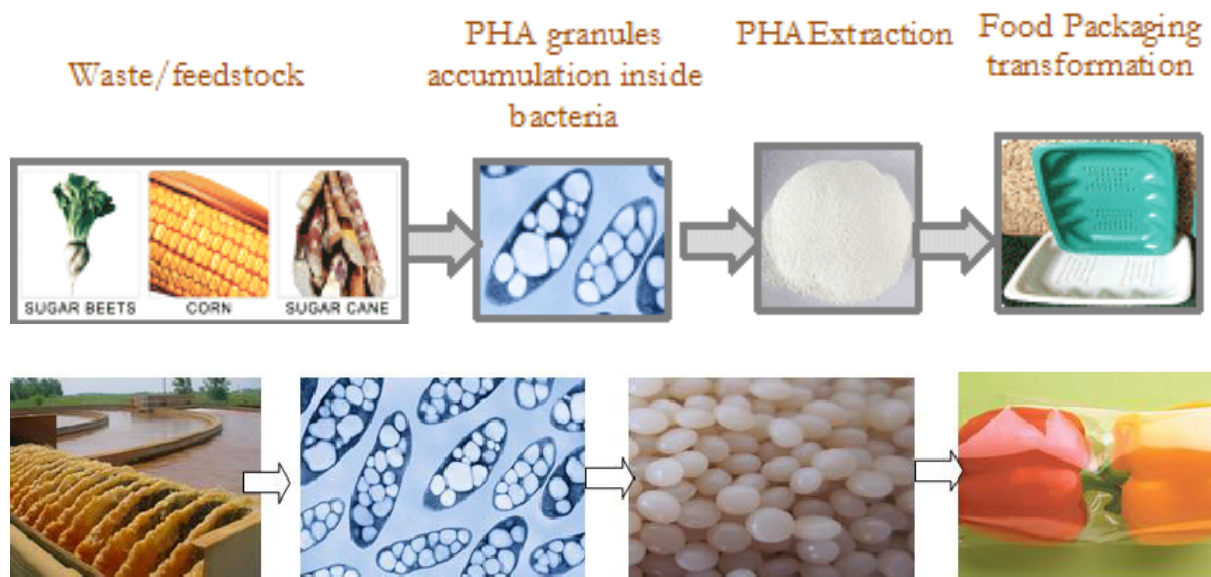
Polyhydroxyalkanoaten, of PHA, zijn bio-afbreekbare polyesters die door micro-organismen worden gemaakt uit organische grondstoffen. Meer dan 300 soorten bacteriën zijn bekend die de koolstof onder de juiste omstandigheden omzetten in PHA. Micro-organismen gebruiken PHA als energieopslagmedium, vergelijkbaar met vetten bij mensen. PHA worden aangemaakt als er na aanvankelijke overvloed van koolstof en nutriënten een tekort aan een nutriënt wordt veroorzaakt (feast-famine regime). De niet in water oplosbare PHA-granules, in feite ruwe plastic, kunnen tot 80-90% van het drooggewicht van

⁷ <http://www.slideshare.net/JanRavenstijn1/the-pha-platform-extension-and-diversification-6-april-2016>

micro-organismen uitmaken en daardoor efficiënt geoogst worden; in de praktijk is de opbrengst echter vaak minder.

PHA is een verzamelnaam: verschillende micro-organismen maken verschillende PHA, waarvan PHB (poly-3-hydroxybutyrate) de bekendste is.⁸ PHB wordt gezien als een mindere PHA vanwege broosheid en lage elasticiteit en daardoor beperkte toepasbaarheid. De chemische formule is: $(O-CHR-(CH_2)_n-CO)_{100-30000}$, waarbij de zijketen R een waterstofatoom is of een koolwaterstofketen, die ook functionele groepen kan bevatten. Als de koolstofketen van het monomeer tot 5 C-atomen bevat heet het short chain length (scl)-PHA, van 6 tot 14 heet het medium chain length (mcl)-PHA. Het eerste type komt het meest voor, het tweede worden door beperkte groep micro-organismen gemaakt.

Er zijn meer dan honderd monomeren onderscheiden die leiden tot uiteenlopende eigenschappen van de polymeren (van amorf tot kristallijn, van sterk, hard en broos tot zwak, zacht en elastisch). Door keuze van monomeren, combinaties (co-polymeren), en door blending, verandering van oppervlak, of combinatie met andere polymeren, enzymen en anorganische stoffen kan de gewenste eigenschap gecreëerd worden; hier staat men nog aan het begin van kennisontwikkeling.



Afbeelding 2: PHA-bioplactic van grondstof tot product (www.europha.eu).

Er zijn diverse processen beschikbaar en in ontwikkeling voor extractie en opwerking van PHA uit micro-organismen, waaronder chemische (met oplosmiddelen zoals bleekloog, zuren, basen, organische oplosmiddelen), biologische (enzymen), mechanische (malen, druk, centrifuge, membranen), gebruik van superkritische vloeistof, gammastraling e.a.⁹ De meest gebruikte methode is met oplosmiddelen zoals chloroform, natriumhypochloriet

⁸ Andere voorbeelden: poly3-hydroxybutyraat-co-4-hydroxybutyraat (P(3HB4HB)), poly-hydroxybutyraatvaleraat (PHBV) en poly-hydro-xybutyraathexanoaat (PHBH).

⁹ B. Kunasundar, K. Sudesh., 'Isolation and recovery of microbial polyhydroxyalkanoates', *EXPRESS Polymer Letters* Vol.5, No.7 (2011) 620-634.

(bleekloog), aceton en ethanol. Vanwege de hoge kosten en milieubelasting van het gebruik van deze middelen worden alternatieven gezocht. De winning van PHA kan worden gecombineerd met terugwinning van nutriënten stikstof en fosfor en de resterende biomassa kan worden benut voor energie.

PHA-biopolymeren bezitten een gunstige combinatie van technische functionaliteit, verwerkbaarheid en biodegradeerbaarheid (o.a. OK compost HOME label).¹⁰ Ze zijn matig geschikt voor toepassingen die structurele stevigheid vereisen. PHA-film is doorzichtig, overige PHA niet. PHA zijn afbreekbaar in het milieu en kunnen ook opgenomen worden door en verteren in het menselijk en dierlijk lichaam. PHA laten waterdamp door maar blijven waterdicht.

Er zijn twee hoofdproblemen voor de verwerking van PHA:

- kleine processing window. De meeste PHA zijn 3-hydroxyalkanoaten, met 3 koolstofatomen in de hoofdketen ($n=1$), zijketens niet meegerekend. Het probleem met 3 koolstofatomen in de hoofdketen is dat bij temperatuur vanaf 160°C, dichtbij het smeltpunt, ketenbreuken en intramoleculaire overgang naar 6-ringsformaties kan plaatsvinden, waardoor het molecuulgewicht omlaag gaat. spuitgiet- en andere apparatuur voor plastics is ingesteld op hogere temperaturen (>160°C), dus dan kan P3HA niet zonder risico verwerkt worden. Een mogelijke oplossing is om P4HA te bouwen met 4 koolstofatomen in de monomeerketen ($n=2$), want dan kan geen 6-ringsformatie plaatsvinden en vergroot je het processing window.¹¹ Mcl-PHA smelten bij lagere temperaturen, en zijn daardoor gemakkelijker te verwerken.
- Nucleation. De kristallisatiesnelheid van PHA is laag, waardoor het verwerken van PHA in spuitgietmachines e.d. te lang duurt. Dat probleem was er eerst ook bij polypropreen. Het kan worden opgelost met nucleating agents (additieven). Daar wordt volop naar gezocht, en wetenschappelijke artikelen melden er voortgang over.

Commerciële PHA-productie vindt tot dusver plaats onder steriele omstandigheden met gekweekte bacteriecultures (reincultures) en met glucose, zetmeel of plantaardige olie uit maïs- of aardappelproducten als koolstofbron. Bij full-scale commerciële microbiologische productie van PHA bedragen de kosten van de koolstofbron 70% van de grondstofkosten, en de grondstoffen bepalen voor 40% de kostprijs. Het benutten van goedkope organische reststromen is dus een aantrekkelijk alternatief. Het vinden van een alternatief voor voedingsgewassen als grondstof vanwege publieksacceptatie is ook een argument. De marktprijs voor PHA is omstreeks €4-5/kg biopolymeer, aanzienlijk hoger dan andere biopolymeren zoals onderstaande tabel laat zien. Voor bepaalde hoogwaardige PHA-kwaliteiten en medische toepassingen zijn de prijzen een veelvoud.¹²

¹⁰ Er worden 4 labels toegepast voor de mate van biologische afbreekbaarheid van producten: OK compost (composteerbaar onder industriële condities, 55-60°C); OK compost HOME (composteerbaar in composteervat); OK compost SOIL (biologisch afbreekbaar in de grond); en OK compost WATER (biologisch afbreekbaar in water). PHA voldoen aan alle vier, PLA alleen aan OK compost.

¹¹ Hypothese van Jan Ravenstijn.

¹² 'The price of PHA depends on its grade as well as origin. Companies like Metabolix in USA report market price around 4-5€/kg but other specific grades can reach up to 30€/kg.'
<http://www.ows.be/wp-content/uploads/2015/01/Newsletter-Oli-PHA-EN.pdf>

Type plastic	Marktprijs (bulk) €/kg
Polyetheen, polypropreen en polyvinylchloride	1,00-1,50
Polystyreen en polyetheentereftalaat	tot 2,00
Poly lactide	1,50-2,00
Zetmeelplastics (blends)	2,00-4,00
Celluloseplastics	4,00-5,00
Bio-PE	1,50-2,25
PHA	4,10-4,70

Tabel 1: Marktprijzen voor verschillende (bio)-plastics.¹³

STOWA haalt aan dat naar verwachting van de TU Delft de marktprijs van enkel het intermediaire product (de droge biomassa met ongeveer 80% PHA) rond de 0,5-1 €/kg zal liggen, en dat de PHA-opwerkingskosten meer bepalend zullen zijn voor de gewenste marktprijs voor PHA van 3-4 €/kg.¹⁴ Volgens consultant Jan Ravenstijn moet het doel zijn om de S-curve in te zetten bij 2 €/kg kostprijs en dan zakt later de prijs door schaalvergroting nog de helft, zo laat de geschiedenis van andere plastics zien. Hij is optimistisch dat dit kan, maar het kost wel tijd. De kosten voor extractie lijken nu hoog maar volgens zijn contacten met bedrijven zitten er nieuwe goedkope en milieuvriendelijke methodes aan te komen, die nog niet in de literatuur gepubliceerd zijn. De ontwikkelingen bij bedrijven lopen volgens hem voor op de wetenschappelijke literatuur.

Het Platform Agro-Papier-Chemie zet vraagtekens bij de marktkansen voor PHA bioplastics.¹⁵ Er is tot dusver volgens Platform APC te weinig aandacht geweest voor de marktontwikkeling van PHA. Er zijn diverse demonstratieprojecten geweest, maar het is de vraag voor welke toepassingen PHA echt geschikt zijn. De ontwikkelingen zijn gedreven door techniekontwikkelaars en door partijen die beschikken over reststromen die ze hoogwaardiger willen inzetten. Deze reststromen zijn interessant als goedkope grondstof voor PHA, maar het heterogene karakter ervan maakt de verwerking ook moeilijker (variabele kwaliteit, verontreinigingen). Het platform ziet als teken aan de wand dat er bij de Nederlandse PHA-initiatieven (tot dusver) niet mede geïnvesteerd wordt door de markt (afnemers). Platform APC adviseert om bij elke grondstof-technologie-markt-combinatie te onderzoeken welke waardepropositie en business case er is, op welke termijn marktintroductie kan plaatsvinden, en wie het product naar de markt gaat brengen.

Nadelig voor de marktontwikkeling is ook dat de PHA-producenten geheimzinnig doen over de toegepaste technieken en het opbouwen van hun patentenportfolio's centraal stellen. De plasticverwerkers willen echter geen single source technologie omwille van leveringszekerheid van hun grondstoffen. PHA-producenten zouden als concurrenten moeten samenwerken aan marktontwikkeling. Veel PHA-ontwikkelaars zetten de techniek centraal, maar het gaat uiteindelijk om de toepassingen en marktontwikkeling.

¹³ Bron: STOWA 2014, ontleend aan: C. Bolck, J. Ravenstijn, K. Molenveld en P. Harmsen, 'Biobased plastics 2012', Wageningen UR, 2012. Prijzen voor plastics ook op http://plasticer.de/preise/preise_ecebd_en.php

¹⁴ STOWA, *Bioplastic uit slib. Verkenning naar PHA-productie uit zuiveringsslib*, 2014, <http://waterenergie.stowa.nl/upload/publicatie2014/STOWA%202014%2010%20WEB%2011%200april.pdf>

¹⁵ Platform APC: samenwerkingsverband tussen de agrosector en de papierindustrie verenigd in het Dutch Biorefinery Cluster en de chemische industrie verenigd in VNCI, http://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/418/documenten/PHA_discussedocument_APC_-_June_2016.pdf

4. Waardeproposities voor bioplastics, in het bijzonder PHA

Zolang PHA niet rechtstreeks op prijs kunnen concurreren met fossiele plastics moet een alternatieve waardepropositie worden ontwikkeld.

Bioplastics zijn van hernieuwbare afkomst, maar dat wil niet zeggen dat ze per se bio-afbreekbaar of composteerbaar zijn. Een bio-afbreekbare plastic kan ook uit niet-hernieuwbare grondstof worden gemaakt. Om te bepalen welke soort plastic het best voor een toepassing kan worden gebruikt moet de hele productlevenscyclus worden beschouwd. Wat er na de gebruiksfase gebeurt met de plastic bepaalt sterk de milieuprestatie. Voor het milieu is het zo vaak mogelijk hergebruiken van eindige grondstoffen het beste. Hergebruik dient voor hernieuwbaar te gaan. Biobased is goed, maar circulair is beter, en biobased materialen circulair gebruiken is het best. Bioplastics halen 2,78 kg CO₂ per kg plastic uit de lucht, terwijl reguliere plastics 2,1 kg CO₂ per kg plastic produceren (in het geval van PE vs. bio-PE).¹⁶ Aan het eind van de levensduur verbranden levert dan nog wat energie op.

Een risico met bioplastics is dat ze niet meer worden gerecycled en dat is materiaal- en energieverspilling. Ook kunnen de verschillende soorten plastic bij elkaar komen, omdat de consument ze ondanks logo's moeilijk uit elkaar kan houden. Afbreekbaar bioplastic komt in de 'plastic hero'-zak, en niet-afbreekbaar plastic in de GFT-container. Opschonen van beide stromen is kostenverhogend.

Het grote voordeel van bioplastics is dat ze gebruikt kunnen worden voor toepassingen waar de snelheid van afbreken van belang is. PHA scoren hier beter dan zetmeelplastics en PLA (verschil van weken tegen maanden; bij PLA verloopt het afbreken bij hogere temperatuur sneller). Bioplastics zouden dan ook voor dergelijke toepassingen moeten worden gereserveerd. Voorbeelden van geschikte toepassingen voor PHA bioplastics zijn:

- Land- en tuinbouwfolie: de stilstaande luchtlaag tussen aarde en folie houdt gedurende enkele weken warmte vast voor de nacht, waarna de folie vergaat. Dat spaart tijd en energiegebruik uit voor het weghalen. Het wordt met name toegepast voor kweek van lelies.
- GFT-zak: deze houdt de container schoon, bespaart tijd en middelen voor schoonmaken, en wordt met het GFT-afval verwerkt.
- Bioplastic voor barrièrewerking bij papieren verpakkingen (zie onder): PHA vergaan in de papierpulp.
- 3D geprinte urnen voor de uitvaartsector.

PHA-bioplastics zijn ook toepasbaar voor afbreekbare consumenten- en cateringproducten ('disposables'); farmaceutische en medische producten; en afbreekbare verpakkingsmaterialen. In de sector wordt wel de zorg geuit dat het voordeel van afbreekbaarheid ertoe kan leiden dat slecht gedrag wordt beloond, resp. in stand gehouden. Voorbeelden zijn:

- Draagtasjes uit composteerbaar materiaal aanbieden belooft verkeerd gedrag want nodigt uit tot weggooien.
- Wetgeving in België en Frankrijk stelt 'home degradable' plastics (niet per se bioplastics) verplicht voor mailingfolie in de tijdschriftenmarkt. In de praktijk komen PHA dan het meest in aanmerking; PLA breekt pas af bij compostering bij 50-70°C.

¹⁶ <http://www.braskem.com/site.aspx/the-life-cycle-assessment-of-its-green-plastic>

- Bio-afbreekbaar afzetlint voor sporten nodigt uit tot laten hangen in plaats van weghalen en hergebruiken.

Overigens zijn de kosten van PHA bij laagwaardige toepassing als “disposables” veelal te hoog.

De papier- en kartonindustrie heeft met name belangstelling om PHA-bioplastics uit eigen afvalwater circulair toe te passen voor de eigen producten. Omdat de grondstof dan afval uit eigen productie is kan men vertrouwen op de herkomst en kwaliteit. De eigenschap van PHA dat het langzaam uiteenvalt onder invloed van vocht en schimmels is positief voor de afbreekbaarheid maar belemmert bijvoorbeeld de toepassing voor verpakking van vochtige producten. Uit de proefinstallaties was en is er nog te weinig materiaal om toepassingen te testen. Daarom is eerst gekeken wat je kunt met PHA uit reïncultuur.

Een onderzocht spoor is de toepassing van uit papier en bioplastics samengestelde verpakkingen met barrière-eigenschappen zoals vocht- of vetwerende coatings en laminaten, d.w.z. gelaagde verpakkingen. De mogelijkheden worden onderzocht in het project ProgRESS. Hier wordt als voorlopige conclusie getrokken (illustratief voor hierboven genoemde aspecten): *“To sum up, PHA can be (technically) suitable for food packaging; however, these complex systems can become too expensive to be competitive. Also, these multilayer films are hardly compostable and can cause hurdles in material recycling which would make them lose their ‘green’ advantage. Without this advantage and at high costs these materials would struggle to compete with other monomaterials with higher barrier performance.”*¹⁷

De publieksacceptatie van PHA uit afvalwater is overigens een punt van zorg en reden om weg te blijven bij food-verpakkingen. Zo zijn ook sommige extractiemethoden niet mogelijk omdat daarmee geen ‘food contact approval’ verkregen kan worden.

5. PHA uit biogas

Methaan is een mogelijke grondstof voor PHA. Er zijn diverse methanotrofe micro-organismen geïsoleerd die in staat zijn om PHA-polymeren te maken.

Methaan is naast een energiebron en een grondstof ook een sterk broeikasgas. Belangrijke bronnen van methaan naar de atmosfeer zijn stortplaatsen, waterzuiveringen, veeteelt en rottende biomassa, evenals lekkages in aardgasleidingen en afblazen. Afvangen en benutten van methaan uit deze bronnen draagt bij aan beperking van het broeikaseffect (verminderen van broeikasgaspotentieel van 24 voor methaan naar 1 voor CO₂, aangezien PHA afbreken tot CO₂ en water) en levert “gratis” energie of grondstof. Biogas bevat zo’n 50-70 vol% methaan afhankelijk van herkomst. Wordt biogas gebruikt voor het maken van PHA dan resulteert een bioplastic, maar dit is strikt genomen niet het geval als fossiel methaan wordt gebruikt. De claim dat bedrijven “plastics maken uit broeikasgas” snijdt hout als zij biogas of weglekkend aardgas gebruiken, maar niet als zij methaan aan een aardgasleiding onttrekken.

¹⁷<https://www.ivv.fraunhofer.de/content/dam/ivv/de/documents/Forschungsfelder/Materialentwicklung/Newsletter%204%20ProgRESS.pdf>

De PHA-opbrengst van methanotrofe micro-organismen verschilt. Volgens een recente overzichtsstudie wordt in laboratoria in de orde van 0,55-0,59 gram PHB per gram methaan gehaald (alleen PHB beschouwd). De hoeveelheid PHB die de micro-organismen accumuleren verschilt sterk, het hoogste behaalde percentage is 67% van droge celmassa.¹⁸ Een LCA laat zien dat PHA-productie uit biogas van waterzuiveringen en stortplaatsen minder energie vereist dan als suiker uit maïs als substraat wordt gebruikt (37 MJ/kg PHB versus 42MJ/kg PHB).¹⁹

5.1. Newlight Technologies

Het verste gevorderd met commercialisatie van PHA uit methaan is het Amerikaanse bedrijf Newlight Technologies, met een pilot plant voor 45 ton/a en een geplande 23 kton/a fabriek in de VS. Het Nederlandse Paques, leverancier van water- en gaszuiveringssystemen, heeft voor 15 jaar een licentieovereenkomst gesloten met Newlight om tot 1,3 mio ton bioplastic te maken, verwerken en verkopen (dat betekent 87 kton/a).²⁰ Hoe de technologie precies werkt wordt niet onthuld op de website en in andere uitingen van Newlight, en Paques mag er ook weinig over zeggen.

Essentieel is een enzymatische biocatalyst, die methaan naar eigen zeggen negen maal effectiever dan voorheen omzet in thermoplastics (PHA): *'Newlight's biocatalyst works by combining air with methane, and assembling the carbon, hydrogen, and oxygen molecules therein into a long chain PHA-based thermoplastic material called AirCarbon that is, by weight, approximately 40% oxygen from air and 60% carbon and hydrogen from methane emissions. Once synthesized, AirCarbon is removed from the reactor system and processed into a pellet, which is then melted and formed into shapes.'*²¹

Negen maal effectiever lijkt overdreven: aanvankelijk had de firma 1 kg eenheid katalysator (micro-organisme) nodig voor 1 kg PHA, later werd dat 1 kg katalysator voor 9 kg PHA. Dat is dus een verbetering van 50% opslagcapaciteit in de cel naar 90% opslagcapaciteit, bijna een verdubbeling (maar nog steeds een hele prestatie). Dat betekent ongetwijfeld een grote besparing op de kosten voor extractie en opwerking. Voor zijn pilotinstallatie gebruikt Newlight Technologies biogas dat in flessen van een veeboerderij werd gehaald.²²

¹⁸ Peter James Strong et al., 'The Opportunity for High-Performance Biomaterials from Methane', *Microorganisms* 2016, 4, 11; doi:10.3390/microorganisms4010011 Het theoretische maximum is 0,67 gram PHB per gram methaan op grond van de reactievergelijking.

¹⁹ Aangehaald in Peter James Strong 2016.

²⁰ <http://nl.paques.nl/nieuws/nieuws/newlight-technologies-signs-15-year-production-license-agreement-with-paques-holdings-bv/5>

²¹ <https://www.newlight.com/technology/>

²² <http://www.latimes.com/business/la-fi-0712-newlight-20150712-story.html>

How Newlight turns GHGs into plastic

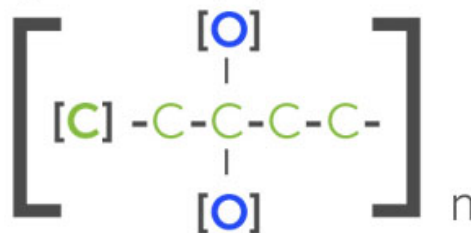
- 1 Capture:** First, air and captured carbon are directed into Newlight's conversion reactor.



- 2 Isolate:** Next, the air-based input stream is put in contact with Newlight's biocatalyst, which separates carbon out of an air stream.



- 3 Polymerize:** Finally, the isolated carbon is re-assembled and linked together into a long chain thermopolymer called AirCarbon.



Afbeelding 3: Processchema voor AirCarbon van Newlight Technologies.

Vergeleken met heterogene grondstoffen voor PHA zoals afvalwater is een voordeel van methaan dat de samenstelling uit een bron in hoge mate constant is, zodat de kwaliteit van het product PHA hoogwaardig is. Newlight claimt dat zijn PHA op prijs (zullen) concurreren met petrochemische polymeren zoals PE en PP. Dat betekent dus een kostprijs van 1-1,5 €/kg.

Newlight Technologies heeft afnamecontracten gesloten met grote klanten. Zo heeft men een overeenkomst gesloten met IKEA voor exclusieve toepassing van de technologie voor woningdecoratie.²³ Als proeve van kunnen toont Newlight bijvoorbeeld een uit PHA gemaakte stoel (volgens critici een blend met beperkt aandeel van Newlight's PHA). IKEA neemt de helft van de huidige productie af en de gezamenlijke ambitie is om te groeien naar afname van 453 kton/a PHA.²⁴ Een langjarige deal voor toekomstige afname van 453 kton/a is ook gesloten met het plastics en chemieconcern Vinmar, en Dell Computers werkt samen met Newlight aan plastic verpakkingen voor computers. Paques wil PHA onder meer als grondstof voor zijn eigen gas- en waterzuiveringreactoren gebruiken.

De business case voor PHA uit biogas is sterk afhankelijk van de inkoopprijs van het biogas. Door de omzetting van biogas door de biocatalyst vervallen de eventuele inkomsten voor het biogas als energiebron. In Nederland zijn deze inkomsten laag bij waterzuiveringen en stortplaatsen omdat daar lage subsidietares gelden voor inzet van biogas voor hernieuwbare energie. De inkomsten zijn echter hoog bij boeren- en industriële vergisters waarvoor hoge SDE-subsidietares gelden. Daarom ziet Paques vooral mogelijkheden voor

²³ <http://www.luxresearchinc.com/content/who-buying-bio-based-ikea-throws-its-hat-ring-slightly-trend-move-0>

²⁴ <http://www.prnewswire.com/news-releases/newlight-signs-supply-collaboration-and-technology-license-agreement-with-ikea-300228307.html>

bioplastics direct uit waterzuiveringbiogas, uit stortgas (in Nederland is daar nog weinig van maar elders heel veel), of uit het gasnet direct na een invoerpunt voor groengas (na de meter). Het gas dat je op dat punt onttrekt is dan daadwerkelijk biomethaan, hetgeen een klant kan vaststellen met C₁₄-datering van de bioplastic. De kosten bedragen dan de aardgasprijs plus groengascertificaat, ±25-30 €/m³. Bij deze prijs zou de technologie van Newlight nog rendabel zijn. Paques zoekt nu een locatie voor een proefinstallatie.

De PHA-opbrengst per gram methaan in het proces van Newlight is niet bekend. Nemen we een opbrengst aan van 0,6 kg PHA per kg CH₄ (vgl. voornoemde opbrengsten van PHB) dan zou een inkoopprijs van 0,30 €/m³ Nederlands aardgas (82vol% CH₄) plus groengascertificaat leiden tot extra kosten van 0,76 €/kg PHA. Dat is de helft van de door Newlight Technologies aangekondigde kostprijs op het niveau van PE en PP (1,5 €/kg). Een kostprijs van 2,25 €/kg is nog ruim onder doelprijs van 3-4 €/kg.

Voor zijn aangekondigde fabriek voor 23 kton/a PHA heeft Newlight Technologies 58 mio m³/a methaan nodig. Het valt te betwijfelen dat het gaat om een biogasbron, die zou dan een omvang van zo'n 80 mio m³/a moeten hebben. Als het gaat om aardgas dan vormen de inkoopkosten voor aardgas een extra kostenpost, maar minder dan in Nederland. De Amerikaanse aardgasprijzen waren recent één-derde van de Europese prijzen.

5.2. Mango Materials²⁵ / Stanford University

De start-up Mango Materials richt zich op productie van PHB uit biogas volgens een aan Stanford University ontwikkeld proces dat als volgt wordt beschreven:

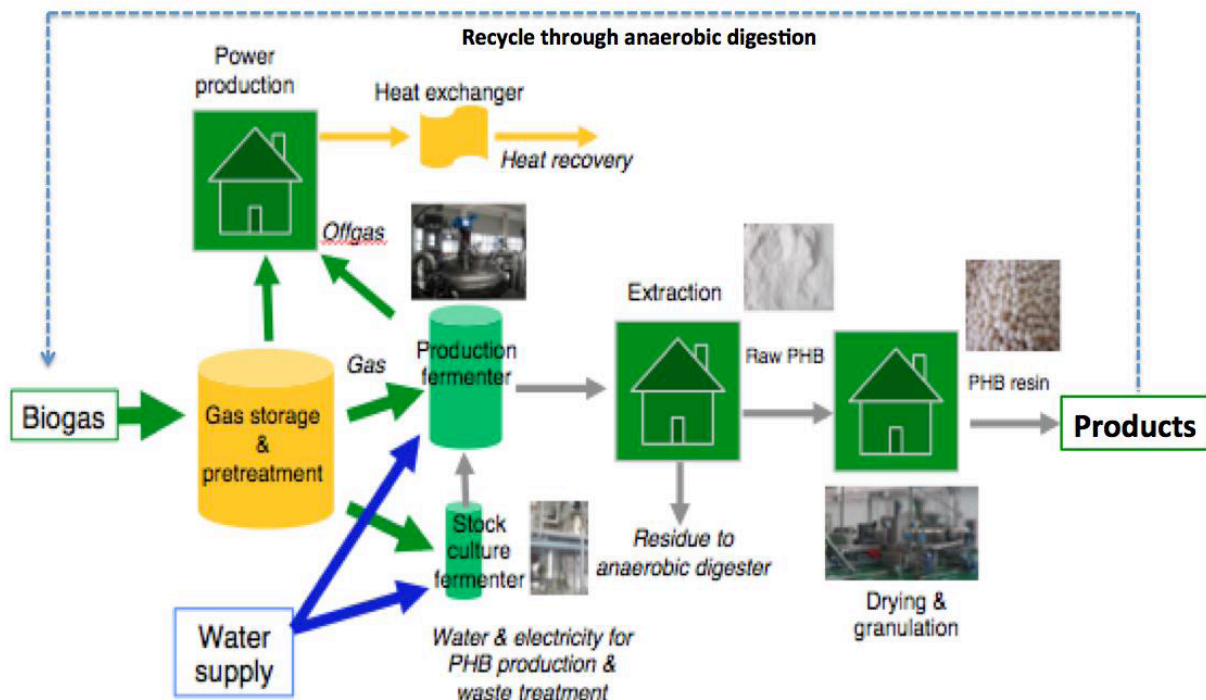
*"Once methane is captured it is introduced into a primary fermenter where the PHB accumulation phase begins. Methanotrophs are bacteria that feed on the carbon in methane and store it in their cells as cytoplasmic granules to be used as an energy source when needed. The methanotrophs multiply during this first phase which may last approximately 48 hours, after which they are moved to a secondary fermenter to begin the growth phase. During this second phase, lasting an estimated 24 hours, the bacteria cells grow under nutrient-starved conditions. Following this process, the material is sent to a hydraulic belt press. Next is processed in a rotary drum heater, resulting in a powder form of the polymer. The powder then goes to an underwater pelletizer, where it is formed into marketable resin pellets."*²⁶

Mango Materials produceert voorlopig alleen voor onderzoeksdoeleinden en hoopt volgens haar website snel samples beschikbaar te hebben.

Onderstaande afbeelding van Stanford University toont het productieproces.

²⁵ <http://mangomaterials.com>

²⁶ David Roland-Holst et al., *Bioplastics in California, Economic Assessment of Market Conditions for PHA/PHB Bioplastics Produced from Waste Methane*, September 30, 2015, California Department of Resources Recycling and Recovery, <http://www.calrecycle.ca.gov/Publications/Documents/1469/20131469.pdf>



Afbeelding 4: Processchema voor PHB-productie uit biogas.

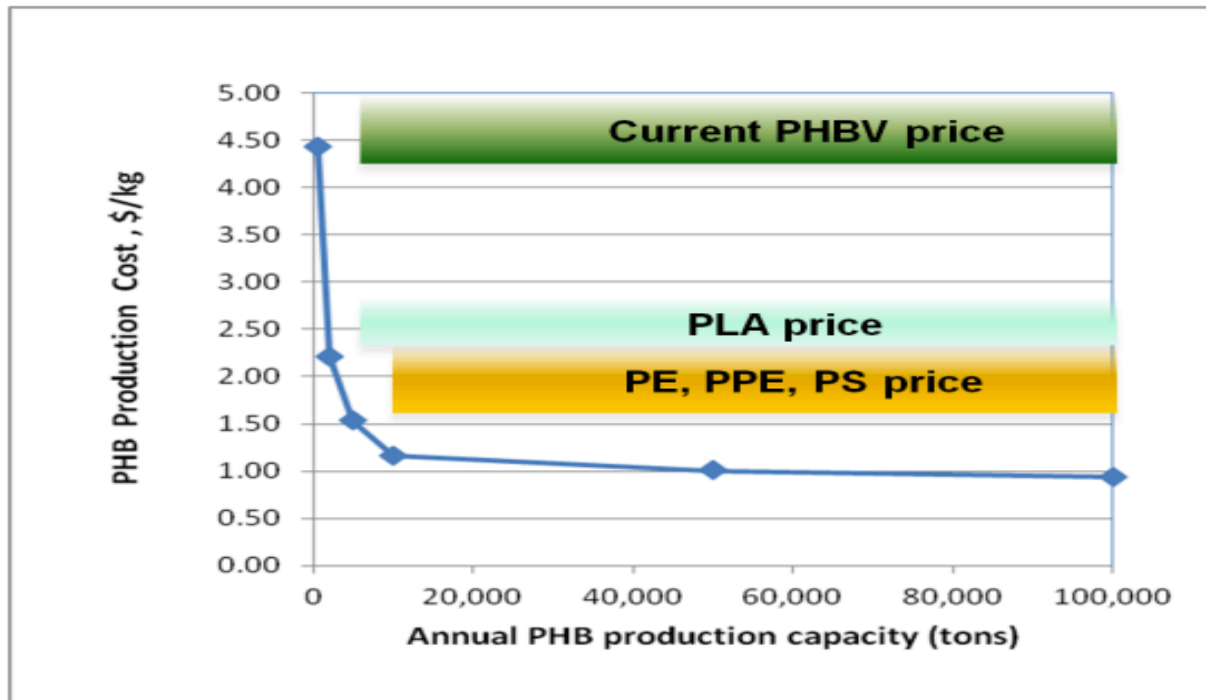
Het productieproces bestaat uit:

- Bioreactoren, zowel voor fermentatie tot PHB-rijke biomassa als voor het onderhouden van de micro-organisme cultures.
- Apparatuur voor extractie van PHB zoals tanks, biomassafilters, en centrifuge.
- Apparatuur voor drogen, extruderen, verpakken en opslag.
- Ondersteunende faciliteiten zoals laboratorium voor analyse, technische onderhoudsruimte, controlekamer en kantoor.
- Naast biogas als grondstof is water en elektriciteit nodig voor de productie en nabehandeling van product en residuen.

Onderstaande afbeelding van Stanford University²⁷ geeft de kostprijsontwikkeling in \$/kg PHB weer bij toenemende productiecapaciteit van installaties, met biogas als grondstof (aangenomen is dat het biogas gratis ter beschikking is). De marktprijzen voor enkele gevestigde polymeren zijn als referentie opgenomen.

Uit deze grafiek kan worden geconcludeerd dat grootschalige PHB-productie uit biogas op kosten kan concurreren met PLA en plastics uit aardolie. Om onder 1,5 \$/kg PHB te duiken is een productie vanaf 5 kton/a nodig, waarvoor een bron vanaf 20 mio m³ biogas nodig is. Als aardgas wordt gebruikt in plaats van "gratis" biogas dan stijgen de productiekosten (in de VS) volgens de studie met 0,22-0,26 \$/kg.

²⁷ Craig S. Criddle et al., *Renewable Bioplastics and Biocomposites From Biogas Methane and Waste-Derived Feedstock: Development of Enabling Technology, Life Cycle Assessment, and Analysis of Costs*, California Department of Resources Recycling and Recovery, August 2014.



Afbeelding 5: PHB-productiekosten uit biogas tegen schaal van PHB-productie (capaciteit); tevens marktprijzen van PHBV, PLA en plastics uit aardolie.

De kostenopbouw voor de punten op de curve wordt gegeven in onderstaande tabel.

Capacity (tonne/yr)	Cost (\$/tonne)	Chemical (%)	Electricity (%)	Labor (%)	Indirect & misc (%)	Depreciation (%)
500	4,400	6	14	48	20	12
2,000	2,200	11	28	27	20	14
5,000	1,500	16	33	19	21	11
10,000	1,200	21	31	16	21	10
50,000	1,000	25	38	6	21	10
100,000	900	27	37	6	21	10

Tabel 2: Kostenopbouw voor PHB-productie met biogas als grondstof (gerekend met een opbrengst van 0,49 g PHB/g methaan).

Voor kleine installaties (tot 2 kton/a) zijn de personeelskosten een belangrijke kostenfactor. Voor de kleinste onderzochte installatie (500 ton/a) gaat het om 17 arbeidskrachten, bij 10 kton/a om 30 m/v personeel. Bij grote installaties (boven 5 kton/a) is energie (elektriciteit) de belangrijkste kostenpost, gevolgd door chemicaliën voor extractie en opwerking. Er is gerekend met inkoop van elektriciteit maar als deze ter plekke uit biogas wordt gemaakt bespaart dat kosten.

De energiebehoefte voor de PHB-productie is aanzienlijk: het gaat hier om energie voor roeren en beluchten in de reactor, en centrifuge, verwarming, drogen, filtreren en pompen tijdens PHB-opwerking. Een LCA van Stanford University stelt dat PHB-opwerking uit celmassa de grootste factor is in de milieu-impact van PHB-productie, vooral bij gebruik van oplosmiddelen voor extractie. Tenzij biogas wordt benut is de energiebehoefte (elektriciteit) de tweede milieu-impact factor.²⁸

²⁸ Katherine Helen Rostkowski, Understanding methanotrophic polyhydroxybutyrate (PHB) production across scale, dissertation Stanford University, June 2012.

Een vergelijkende studie van RU Utrecht en TU Delft concludeert dat alkalische extractie het goedkoopst is met 1,40 €/kg PHB, terwijl extractie met oplosmiddelen 1,95 €/kg PHB kost. De economisch gunstigste optie blijkt in dit geval ook de meest milieuvriendelijke optie te zijn.²⁹ Met de huidige wisselkoers zou deze goedkoopste extractiemethode te duur zijn maar volgens consultant Jan Ravenstijn zullen de kosten voor extractie en opwerking nog sterk dalen omdat bedrijven werken aan nieuwe methoden die nog niet in de wetenschappelijke literatuur beschreven zijn.

We gaan verder met de resultaten van Stanford, waarbij we de kosten bij 1 kton/a intrapoleren naar 3 \$/kg.

University of California, Berkeley identificeerde in Californië 49 stortplaatsen en 10 waterzuiveringen waar voldoende biogas beschikbaar is voor productie van 1 kton/a PHB, dat wil zeggen vanaf 5,8 mio m³/a biogas (inclusief biogas voor eigen energieopwekking voor de fabriek).³⁰ Het gaat hier om tamelijk grote biogasbronnen: de meeste waterzuiveringen, stortplaatsen en biovergisters in Nederland produceren minder biogas. Als een biogasstroom wordt benut voor bioplastics in plaats van gesubsidieerde energie is sprake van inkomstenderving. In Nederland gaat het om de som van verkoopprijs van energie en meerkostendekkende subsidie. Voor vergisters zijn verschillende SDE-basisbedragen vastgesteld: de gemiddelde kostprijs van een installatie op basis waarvan het kostendekkende subsidiebedrag wordt vastgesteld. Zie onderstaande tabel.

Een biovergister met 5,8 mio m³/a biogasproductie die overstapt van gesubsidieerde energieproductie naar bioplasticproductie uit het biogas derft tussen 0,48 en 1,32 €/kg PHB. Een verborgen kostenpost is ook eventuele vervroegde afschrijving van geïnstalleerde wkk-motor of groengasopwerking.

Basisbedrag SDE+ 2016 – fase 1	€/kWh	€/m ³	€ inkomsten bij 5,8 mio m ³ /a	€/kg PHA bij 0,6 g PHA/gCH ₄
Awzi/rwzi (gas)	0,032	0,19	1,1 mio	0,48
Allesvergisting (warmte)	0,060	0,36	2,1 mio	0,91
Verlengde levensduur mestcovergisting (warmte)	0,066	0,40	2,3 mio	1,01
Mestcovergisting (warmte)	0,078	0,47	2,7 mio	1,19
Verlengde levensduur mestcovergisting (wkk)	0,086	0,52	3,1 mio	1,32
Allesvergisting (wkk)	0,087	0,52	3,1 mio	1,32

Tabel 3: SDE+ basisbedragen 2016 fase 1; vaste conversie 1 m³ biogas = 6 kWh

De casus voor 1 kton/a PHB-productie is weliswaar opgesteld voor de Amerikaanse situatie met een specifiek belastingregime, maar is verder vergelijkbaar in Nederland. Op grond van bovenstaande berekeningen is de conclusie dat PHB-productie uit biogas bij biovergisters in Nederland economisch haalbaar kan zijn, mits de verkoopprijs van PHB voldoende hoog is (zeg >4 €/kg)

²⁹ Cora Fernández-Dacosta et al., 'Microbial community-based polyhydroxyalkanoates (PHAs) production from wastewater: Techno-economic analysis and ex-ante environmental assessment', *Bioresour Technol* 185, June 2015, 368-377, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.025>

³⁰ David Roland-Holst et al., 2015.

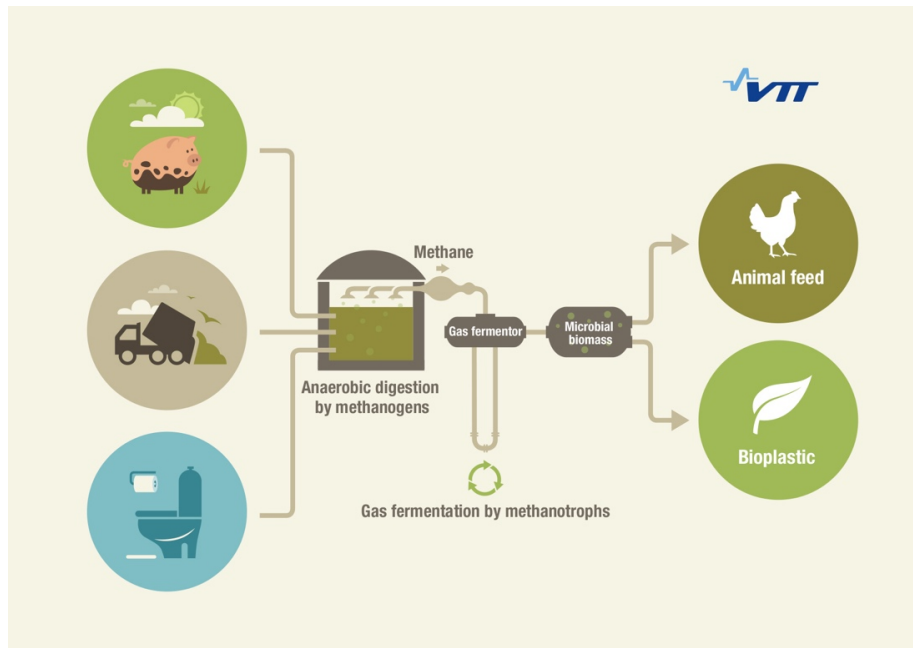
om de productiekosten (omstreeks 3 €/kg volgens Stanford) en de gedeelde inkomsten uit energie (0,48-1,32 €/kg) goed te maken. De kostencurve geeft echter een duidelijke prikkel aan grootschalige productie, dat wil zeggen groter dan de schaal waarop biogas in Nederland lokaal beschikbaar is.

Zou niet biogas maar aardgas met groengascertificaat als grondstof gekozen worden voor de beschreven PHB-installatie dan kost dat bij een inkoop prijs van 30 ct/kg jaarlijks €1,74 mio (0,76 €/kg PHB). Er is dan geen sprake van derving van inkomsten uit energie. Door groengascertificaten die worden uitgegeven voor lokale productiesites te bundelen kan de schaal van productie vergroot worden, en dan is PHB-productie uit biogas bij biovergisters in Nederland economisch haalbaar, wel weer afhankelijk van de verkoopprijs van PHB. Momenteel wordt in Nederland ± 100 mio m³ groengas geproduceerd; zouden alle groengascertificaten worden gebundeld voor PHB-bioplastics dan kan daarmee een fabriek van 25 kton/a PHB uit methaan worden vergroend (dus ongeveer de schaal van de geplande fabriek van Newlight Technologies in de VS). De productiekosten komen dan op minder dan 2 €/kg.

In principe zouden boerenvergisters die uit de MEP-subsidie gaan lopen kunnen overstappen op productie van bioplastics. De gemiddelde met MEP-subsidie gestarte biovergister produceert 1MWe uit 0,5 mio m³ biogas. Daarmee zou 150 ton/a PHA gemaakt kunnen worden, dus een kleine opbrengst vergeleken met bovengenoemde ambities. PHA-productie bij zulke vergisters is vanwege schaalnadeel (zie voorgaande afbeelding en tabel) en een aantal praktische redenen niet haalbaar. Het bedrijven van de installaties vraagt veel personeel en de nodige expertise (naast de expertise over vergisting), en het is de vraag of PHA-opwerking op het boeren erf vergoedbaar zal zijn (afhankelijk van methode, in het bijzonder bij gebruik van milieubelastende middelen). Als opwerking ter plekke niet mogelijk is moet PHA-houdende celmassa naar een centrale opwerkingslocatie gebracht kunnen worden. Het opzetten van een dergelijk systeem past op zich goed bij de landbouw (vgl. de zuivelketen) maar kan pas optimaal werken bij inschakeling van de centrale opwerking voor een groot aantal decentrale PHA-productielocaties.

University of Queensland, Australië heeft de technische en economische haalbaarheid gemodelleerd van grootschalige productie van 100 kton/a PHB door methanotrofe fermentatie en extractie met aceton-water oplossing.³¹ De productiekosten werden geschat op 2,9-4,8 €/kg PHA (omgerekend van Australische dollars), aanmerkelijk hoger dan de resultaten van Stanford. De grondstofkosten waren 22% bij gebruik van methaan tegen 30-50% bij gebruik van suikers. Een grote kostenpost (28% van O&M) bleek de benodigde koeling van de reactor omdat bij deze schaal van productie minder oppervlakte voor warmteafvoer beschikbaar is ten opzichte van het reactorvolume. Thermofiele methanotrofe bacteriën zouden kosten voor koeling kunnen besparen, maar die zijn nog niet geïsoleerd.

³¹ Ian Levett et al., 'Techno-economic assessment of poly-3-hydroxybutyrate (PHB) production from methane—The case for thermophilic bioprocessing', Journal of Environmental Chemical Engineering Vol. 4, 4A, December 2016, 3724-3733, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343716302834>



Afbeelding 6: Bioplastics en proteïne uit biogas volgens VTT.

5.3. VTT: bioplastics en proteïne uit biogas

Interessant voor kleine biogasbronnen zoals boerenvergisters is het werk van het Finse onderzoeksinstituut VTT, dat een reactor ontwikkelt voor kleinschalige gasfermentatie (schaal niet nader aangeduid), waarin bacteriën methaan omzetten in basisstoffen voor proteïne en bioplastics.³² Het kan gaan om biomethaan uit vergisting, stortgas of waterzuivering. Biogas wordt afgevangen en in de reactor gevoerd, waar een groeimedium met methanotrofe bacteriën door een leidingensysteem circuleert. De bacteriën zetten het methaan om in celmassa met 60% proteïnegehalte, die gefilterd, gepasteuriseerd en gedroogd wordt. De methanotrofe bacteriën en (afhankelijk van de groeiomstandigheden) celmassa kunnen ook PHB bevatten. De celmassa kan voor 50% bestaan uit PHB, en in dat geval is het proteïnegehalte 30%. PHB en proteïne moeten dan worden gescheiden uit de droge celmassa.

VTT richt zich in het vervolgonderzoek op verhoging van de omzettingssnelheid en testen van de geschiktheid van de proteïne als veevoer. Deze bron van veevoer kan rendabel zijn als het concurreert met kosten voor soja als veevoer.

5.4. Calysta: proteïne en PLA uit methaan

Een zijstap naar de gas-to-protein markt: meerdere bedrijven manifesteren zich hier. Het meest prominent is Calysta, dat dit jaar in Teesside, Engeland een eerste fabriek in gebruik nam met 50 kton/a capaciteit. Eind 2018 opent Calysta een fabriek in de VS voor aanvankelijk 20 kton/a en uiteindelijk 200 kton/a proteïne (productnaam FeedKind).³³ Calysta verwierf de technologie van het Noorse BioProtein A/S. De grondstof is aardgas; per ton proteïne is een ton aardgas nodig (dus 20-200 mio m³/a benodigd aardgas).³⁴ Calysta richt zich als eerste op de markt voor visvoer, waar prijzen recent \$1.500-2.000/ton

³² <http://www.vttresearch.com/media/news/protein-feed-and-bioplastic-from-farm-biogas>

³³ <https://www.undercurrentnews.com/2016/11/29/calysta-cargill-choose-tennessee-site-for-first-us-plant/>; het Deense Unibio is een andere gas-to-protein firma.

³⁴ <http://www.thefuturescentre.org/signals-of-change/3756/methane-future-fish-feed>

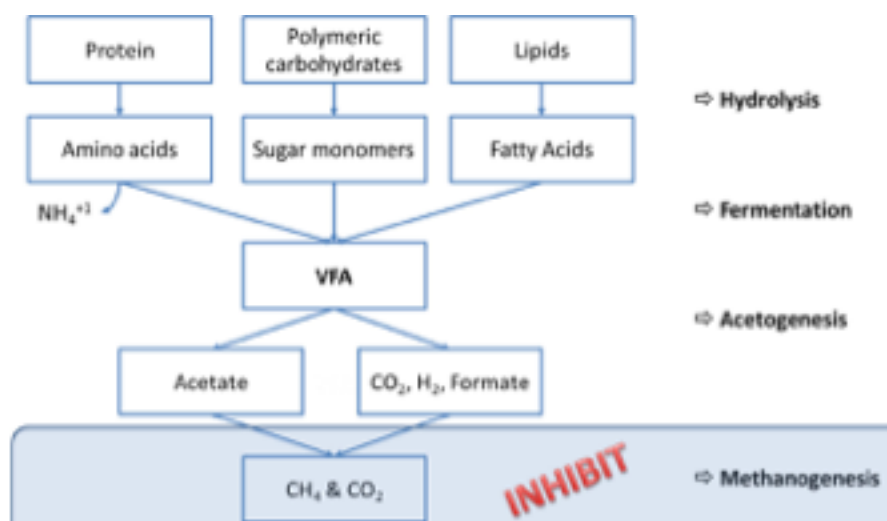
bedroegen, en daarna vee-, varkens- en kippenvoer. Volgens de Britse Carbon Trust scoort visvoer van Calysta zeer goed als het gaat om waterverbruik (77-98% minder dan alternatieve bronnen van proteïne zoals soja of tarwe) en landgebruik (vermeden arealen akkerbouw), maar is de CO₂-balans bij gebruik van aardgas als grondstof slechter. Calysta reageert dat er onvoldoende biogas beschikbaar is voor al zijn voorgenomen productie.³⁵ Voor de genoemde fabriek zou 30-300 mio m³ biogas nodig zijn: er zijn weinig bronnen met een dergelijke hoeveelheid biogas.

Bij opschaling van gasfermentatie naar PHA valt ook te verwachten dat fossiel methaan de voornaamste grondstof wordt, zeker op plekken met goedkoop aardgas, met navenant effect op de CO₂-balans van PHA.

Tenslotte een zijstap naar de andere kant: behalve PHA blijkt ook melkzuur, bouwsteen voor PLA (polymelkzuur), uit methaan gemaakt te kunnen worden. PLA-marktleider NatureWorks and Calysta Energy, tak van de hierboven genoemde firma die uit methaan proteïne produceert, werken hier samen aan. Het gaat om een prille ontwikkeling, het duurt naar verwachting nog 5 jaar tot commerciële haalbaarheid is bewezen.³⁶

6. PHA uit afvalwater

Behalve door gasfermentatie van methaan kunnen PHA ook uit organische stof in afvalwater worden gemaakt. Kennis van de opeenvolgende processen gedurende vergisting heeft geleid tot het inzicht dat hoogwaardiger (tussen)-producten gewonnen kunnen worden voordat deze worden omgezet in biogas. Het gaat dan om VFA: volatile fatty acids, vluchtige vetzuren (C₂-C₄), die door micro-organismen kunnen worden omgezet in PHA.



Afbeelding 7: Anaerobe vergisting: verhindering van methanogenese³⁷

³⁵ <http://www.feednavigator.com/Regulation/Carbon-Trust-runs-the-numbers-on-Calysta-s-gas-to-feed-protein>

³⁶ <http://www.specialchem4bio.com/articles/2016/04/defining-moment-for-bioplastic-feedstock-developments>

³⁷ R. Kleerebezem et al., 'Anaerobic digestion without biogas?', *Rev Environ Sci Biotechnol*, published online 08 September 2015

In Nederland heeft deze route om PHA te maken de afgelopen jaren veel aandacht gekregen en er zijn ook daadwerkelijke ervaringen mee opgedaan in pilots, terwijl gasfermentatie nog wacht op eerste toepassingen in ons land. De geleerde lessen voor PHA uit afvalwater zijn ook relevant voor PHA-productie via gasfermentatie, met name als het gaat om de extractie/opwerking. Dit blijkt immers de bepalende kostenfactor in de business case. Daarom wordt PHA uit afvalwater hier ook behandeld. Onder meer is de vraag hoe de business cases voor PHA uit gasfermentatie en uit afvalwater zich tot elkaar verhouden.

Techniekontwikkeling

Waterschappen onderzoeken de haalbaarheid om (grootschalig) PHA-bioplastics te maken uit zuiveringsslib en hier toepassingen voor te vinden. Het project onder de naam PHARIO is een gezamenlijk initiatief van waterschappen Brabantse Delta, De Dommel en Wetterskip Fryslân met SNB, STOWA en de marktpartijen AnoxKaldnes/Veolia Water en KNN Bioplastic.³⁸

Een proefinstallatie op de rwzi in Bath produceerde in 2015-2016 enkele kilo's PHA uit rioolslib per week. Het potentieel bij een waterzuiveringinstallatie is enkele kton/a. De proef was succesvol: er was een goede opbrengst met goede kwaliteit. Extractie van PHA uit het rioolslib vond plaats in Zweden in een proeffabriek van Veolia Water, dat hiervoor gepatenteerde techniek heeft en al vanaf 2008 PHA wint in pilots bij waterzuiveringen in Zweden en Brussel. De Cella-technologie van Veolia Water omvat de volgende processtappen:³⁹

- Reguliere behandeling via biologische aerobe en/of anaerobe zuivering.
- Hydrolyse van het gevormde secundaire slib in vluchtige vetzuren.
- Gelijktijdige kweek van een cultuur van in waterzuiveringen van nature voorkomende PHA-producerende organismen in een selector.
- De geselecteerde biomassa wordt vervolgens samengevoegd met de vluchtige vetzuren, waarna onder gecontroleerde omstandigheden PHA-biopolymeren worden gevormd.
- Extractie van PHA met een gepatenteerde methode (oplosmiddel).
- Verkoop in poeder- of granulaatvorm aan plasticverwerkende industrie.

Recent heeft Veolia Water echter besloten de ontwikkeling van de technologie on hold te zetten. Dat zet de rem op realisatie van een fullscale referentie-installatie van 1 kton/a PHA en opschaling naar 6 kton/a in 2020. De waterschappen blijven volgens KNN onverminderd geïnteresseerd. Een publieke rapportage over de proef in Bath is in de maak.

Een aandachtspunt bij PHA uit slib zijn de kwaliteitseisen. Variatie in slibsamenstelling resulteert in variatie in vetzuursamenstelling en daarmee in een wisselende PHA-productkwaliteit. Voor hoogwaardiger toepassingen zal de productkwaliteit verbeterd en gegarandeerd moeten worden.

Een andere ontwikkelaar van PHA-reactoren is Paques. Deze firma heeft met een kleine proefinstallatie op locatie bij verschillende bedrijven PHA uit afvalwater gemaakt, met goede thermische stabiliteit (doorgaans een zwak punt van PHA).

³⁸ <http://www.efgf.nl/uploads/editor/Bioplastics-Vetzuren-A0.pdf>

³⁹ <http://kunststofkringloop.nl/wp-content/uploads/2015/11/Factsheet-Bioplastics-uit-afvalwater.pdf>;

http://www.knnbioplastic.nl/user_files/downloads/14/KNN%20Bioplastic%20Fact%20Sheet%20-%20Cella%20Technologie%20voor%20Bioplasticproductie.pdf

Er werden opbrengsten tot 74% accumulatie behaald. In samenwerking met TU Delft en eerst Attero⁴⁰ en daarna Orgaworld is een aanpak ontwikkeld om PHA te maken vanuit organisch afval zoals GFT-afval. Hierbij wordt de biomassa besproeid met gerecycled percolaatwater, dat naar bioreactoren met PHA-producerende micro-organismen wordt geleid. Overigens wordt het GFT-afval op reguliere wijze vergist tot biogas en digistaat.

In een volgende ontwikkelingsfase wordt het proces herontworpen en worden de bioreactoren gevoed met directe VFA-productie uit het GFT-afval, zonder biogas. Het doel is een demo-installatie te bouwen voor 500 kg PHA/dag. Voor de downstream processing van PHA hebben TU Delft en Paques plannen uitgewerkt voor een proefinstallatie voor 1 kg/dag. Deze zou in 2018 gereed kunnen zijn, men zoekt nu geschikte sites. Denkbaar is een centrale processing met aanvoer vanuit decentrale PHA-productiesites.

Twee andere Nederlandse partijen die werken aan PHA-productie uit afvalwater zijn Opure (proefopstelling bij papierfabriek Parenco) en BioNND (focus op leksap van ingekuilde suikerbietenbladeren). Wageningen UR Food & Biobased leidt een onderzoeksprogramma naar PHA uit afvalwater en leksap met meer dan tien partners. De nadruk ligt op toepassingsmogelijkheden in lijmen (hotmelts), verven, additieven in autobanden en toepassingen in de land- en tuinbouw, en op bijbehorende extractiemethoden. Ook mogelijke microbiële productie en gebruikte grondstoffen worden in het onderzoek met elkaar vergeleken en onderzocht.⁴¹ Sinds juni dit jaar heeft de WUR van partners bacteriële biomassa beschikbaar gekregen met voldoende PHA om extractie-methoden te testen en toepassingsonderzoek uit te voeren. Dit is nog in volle gang.

Economische haalbaarheid

STOWA heeft in 2014 de economische haalbaarheid van PHA-productie uit zuiveringsslib onderzocht.⁴² Voor een aantal procesontwerpen werden de indicatieve kostendekkende verkoopprijzen in €/kg PHA bepaald met een nauwkeurigheid van 50%. Er is gerekend aan een casestudie waarin de rwzi's met gistinginstallaties en voorbezinktanks voor primair slib worden ingezet voor bioplasticproductie (gemodelleerd als 28 fictieve rwzi's). In de groene-weide-variant is uitgegaan van volledige nieuwbouw van de PHA-productiefaciliteit en de bijbehorende slibverwerkinglijn die het resterend organisch afval omzet tot biogas en ontwaterd slib. In de andere variant is uitgegaan van nieuwbouw van de PHA-productiefaciliteit maar blijft de bestaande slibverwerking door vergisting ongewijzigd; in dat geval wordt minder slib verwerkt en ontstaan kosten door overcapaciteit. Voor beide varianten is zowel met een rich culture (opbrengst 2.940 ton/a PHA) als met een mixed culture gerekend (5.240 ton/a PHA).⁴³ Na

⁴⁰ Green Deal Productie Bioplastics uit Groente-, Fruit- en Tuinafval tussen de partijen Paques, Attero, Novamont, Technische Universiteit Delft, Gemeente Venlo en ministerie van Infrastructuur en Milieu. Doel was om uit in een pilotinstallatie geproduceerd PHA zakjes te maken voor de inzameling van GFT in de gemeente Venlo.

⁴¹ Project Polydroxyalkanoaten (PHA's) uit heterogene biomassa, Topsector AgriFood, TKI kleinschalige bioraffinage. Partners: Wageningen Food & Biobased Research, Attero, BIONND, Bodec, FeyeCon, KNN, Maan, Nuplex Resins, Opure, Rodenburg Biopolymers, Waterschap Brabantse Delta, Waterschap De Dommel. Einde project: 31-dec-2016.

⁴² STOWA, Bioplastics uit slib, 2014.

⁴³ 'Rich culture': een bacteriecultuur waarvan alle organismen in staat zijn om PHA op te slaan, verkregen en in stand gehouden door continue selectie. 'Mixed culture': een bacteriecultuur

PHA-productie uit slib worden de PHA opgewerkt om een basisproduct te verkrijgen dat ingezet kan worden voor de uiteindelijke productie van bioplastic.

Zonder PHA-opwerking (ruw)	Rich (€/kg)	Mixed (€/kg)
Groene weide	6,0	2,5
Bestaande slibverwerking	9,1	5,3
Met PHA-opwerking (ruw)		
Groene weide	7,9	5,7
Bestaande slibverwerking	11,0	8,5
rwzi Bath inclusief inkopen van externe vetzuurbron en zonder PHA-opwerking		
Bestaande slibverwerking		2,5
Ter vergelijking		
Huidige marktprijs	4,0 – 5,0	

Tabel 4: Indicatieve kostendekkende verkoopprijs PHA (€/kg) uit zuiveringsslib volgens STOWA-studie 2014

De tabel toont de resultaten voor genoemde cases, aangevuld met een casus voor rwzi Bath, waarin niet het primaire slib wordt gebruikt (dit wordt vergist) maar het secundaire slib, aangevuld met van elders aangevoerde vetzuren. Dit leidt tot een productie van 1.950 ton/a op deze ene rwzi (in de andere cases 28 fictieve rwzi's). De aanvoer van vetzuren en het schaalgroottevoordeel leiden tot een indicatieve kostendekkende verkoopprijs van 2,5 €/kg PHA (ruw product zonder PHA-opwerking). Uit de tabel blijkt voor de andere cases dat PHA-opwerking bij mixed culture 2,2 €/kg PHA kost; daarmee zou de kostendekkende productieprijs van casus Bath misschien kunnen concurreren met de huidige marktprijs.

De geschatte kosten voor PHA uit slib zijn aanmerkelijk hoger dan voor PHB uit methaan uit de voorgaande paragraaf.

Er waren nog veel onzekerheden bij de uitwerking van de cases, zoals welke extractie- en opwerkingmethode het meest geschikt zou zijn, of de rendementen uit de literatuur overeenkomen met de praktijk, en hoeveel afvalwater hierbij vrijkomt en dus gezuiverd moet worden. In de studie is uitgegaan van extractie door voorbehandeling met NaCl, een behandeling met NaOH en een nabehandeling met 20% ethanol. Bij de centrale PHA-opwerking kan afhankelijk van de methode een grote afvalstroom vrijkomen met opgeloste extractiechemicaliën zoals zout, loog en ethanol. Een centrale PHA-opwerking resulteert in de onderzochte cases in een afvalstroom gelijk aan 45.000 en 262.000 i.e. (inwonersequivalenten, een maat voor vervuiling in het afvalwater) voor respectievelijk de rich en mixed culture route. Dat is een forse hoeveelheid ten opzichte van de aangenomen totale capaciteit van de fictieve rwzi's van 10 mio i.e. Dit betekent dat deze PHA-opwerkingsmethode alleen op een industrieterrein met waterzuivering kan plaatshebben.

STOWA concludeerde in 2014 over PHA-productie uit slib van rwzi's dat het technisch haalbaar is, maar economisch nog niet haalbaar; dat de invloed op de procesvoering van de rwzi gering is; en dat er onzekerheid is over de toepasbaarheid van de gekozen PHA-opwerkingsmethode, mede gelet op de vrijkomende afvalwaterstroom. Ook deed STOWA diverse aanbevelingen voor

waarvan een deel van het scala aan micro-organismen in staat is om PHA op te slaan. Secundair zuiveringsslib, afkomstig van een communale rwzi, is een voorbeeld van een mixed culture.

nader onderzoek en optimalisatieslagen. De resultaten uit de recente pilot op rwzi Bath zullen wellicht de inzichten vergroten; de rapportage hiervan is nog niet beschikbaar.

Wanneer een vergisting wordt geoptimaliseerd voor VFA en PHA dan vervallen deels inkomsten voor het biogas. Doordat VFA's worden geproduceerd uit primair slib, en in het geval van de mixed culture route een deel van het secundair slib (circa 15 %) wordt gebruikt, neemt de biogasproductie en daarmee de productie van warmte en elektriciteit af met 25-30%. De opbrengst uit PHA kan deze derving echter meer dan goed maken.⁴⁴

GFT-vergisters kunnen in Nederland rekenen op flinke subsidies voor biogas, zodat derving van biogasinkomsten daar meer zal doortikken in de business case. Het ombouwen van GFT-vergisters volgens de vetzuurroute kan volgens Paques desondanks rendabel zijn. De PHA-opbrengst is daar duidelijk hoger dan de biogasopbrengst, zelfs inclusief subsidie. De business case wordt natuurlijk wel beter als de subsidie wegvalt. Er zijn ook marktniches waar extra meerwaarde is uit communicatief oogpunt, zoals GFT-inzamelzakken uit PHA.

7. PHA uit mest

Veel biovergisters in Nederland zijn mestcovergisters. Naast biogas kan ook de mest grondstof zijn voor PHA. De Universiteit van Idaho heeft PHA geproduceerd uit gefermenteerde dunne mestfractie. In een fermentatietank wordt de mest omgezet in vetzuren, waarna uit rwzi onttrokken bacteriënkolonies deze zuren in een reactortank omzetten in PHA. De bacteriën worden gescheiden en gedood met chloor om de polymeren te oogsten. Er is een mobiele proefinstallatie gebouwd die dagelijks 38 liter koeienmest omzet in 2,3 kilo bioplastic met 760 liter fermentatietanks. De volgende stap moet een commerciële installatie zijn met 3.700 m³ fermentatietanks.⁴⁵ De verwachting in 2013 dat dit 'enkele jaren' zou duren bleek te optimistisch: dit is nog steeds de tijdshorizon.⁴⁶

Deze PHA-productie is volgens de onderzoekers verenigbaar met biovergisting voor energie. De anaerobe vergisting gebruikt de dikke fractie, niet de dunne fractie. De fermentatietank en de PHA-reactor kunnen worden geschakeld tussen de mestopslag en de biovergister. In het proces verblijft mestslurry gedurende korte tijd in een fermentatietank. Het effluent bestaat uit dikke en dunne fractie: de dikke fractie gaat naar de vergister, terwijl de dunne fractie die rijk is aan organische zuren wordt afgescheiden voor PHA-productie. In potentie wordt biovergisting met bioplastics als extra inkomstenbron rendabel voor meer boeren, aldus de onderzoekers. De extra tanks kunnen wel een fors ruimtebeslag betekenen. Extra synergie is mogelijk door het effluent uit de PHA-reactor te gebruiken voor algenteelt; verwerking van de algen in het proces verhoogt zowel

⁴⁴ Imperial College Londen berekende dat bij een bepaalde rwzi de inkomsten uit PHA £4,95 mio kunnen bedragen tegenover £0,60 mio uit (ongesubsidieerd) biogas. Gerekend werd met een productie van 1.390 ton/a PHA en een prijs van £3,5/kg PHA.

<http://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/faculty-of-engineering/civil/public/ug/ug-final-year-projects/E26---John-Sing-Key.pdf>

⁴⁵ <http://www.producer.com/2013/12/manure-transformed-into-biodegradable-plastic/>

⁴⁶ Emailcorrespondentie prof. Erik. R. Coats, University of Idaho, 30 november 2016

de methaanopbrengst als de PHA-opbrengst.⁴⁷

In Nederland ontwikkelt KNN Advies in eigen beheer, voortbouwend op opgedane kennis over vetzuurwinning uit agro-reststromen, het technisch-economisch concept en de fermentatietechniek voor verwaarding van mest via vetzuren. Het doel is het produceren en in pure vorm extraheren van biobased azijnzuur uit mest door het retrofitten van bestaande biovergisters. Centraal staat de vraag welke aanpassingen in de bestaande biogasinfrastructuur de productie van vetzuren op boerderijschaal mogelijk maken.⁴⁸ Er is geen informatie beschikbaar om hieraan te kunnen rekenen.

Decentrale productie van vetzuren uit dunne mest op boerderijen, ingezameld voor centrale PHA-productie en opwerking is een mogelijk alternatief model voor gasfermentatie en decentrale PHA-productie bij biovergisters.

8. PHA omzetten tot chemisch bouwblok

Er is nog tenslotte nog een andere optie voor PHA: omzetting van PHA met methanol naar methyl crotonate gevolgd door methathese naar methylacrylaat. Dit is dan een deels biobased route naar een bestaand chemisch bouwblok. Wageningen Universiteit & Research heeft hieraan gewerkt; de economische haalbaarheid is nog de vraag.⁴⁹

9. Conclusies

PHA-polyesters zijn een veelbelovende groep bioplastics. Door keuze van monomeren, combinaties (co-polymeren), en door blending, verandering van oppervlak, of combinatie met andere polymeren, enzymen en anorganische stoffen kunnen uiteenlopende eigenschappen gecreëerd worden; hier staat men nog aan het begin van kennisontwikkeling. Er zijn zo'n 30 bedrijven die werken aan PHA, maar er wordt nog weinig geproduceerd (grootteorde 10 kton/a). In de geschiedenis van plastics is een marktopbouwperiode van >20 jaar normaal.

Er zijn nog veel uitdagingen in de PHA-ontwikkeling:

- Verlaging van productiekosten door benutting van goedkope grondstoffen en verlaging van proceskosten. Schaalvergroting is een belangrijke factor.
- Schaalvergroting vereist marktontwikkeling, maar de meeste PHA-bedrijven zijn techniekgedreven en werken niet samen aan een markt.
- Verhoging van kwaliteit en uniformiteit bij gebruik van heterogene koolstofbronnen.
- Verbetering van producteigenschappen voor optimale inpassing in bestaande plasticverwerkende industrie (o.a. toepassing additieven, blenden met andere plastics).
- Verhoging PHA-opslagcapaciteit in de micro-organismen.
- Verbetering van extractie- en opwerkingstechnieken (kostenverlaging, vermindering van milieubelasting, invloed van methode op zuiverheid).

⁴⁷ Simon Smith et al., 'Toward sustainable dairy waste utilization: Enhanced VFA and biogas synthesis via upcycling algal biomass cultured on waste effluent', *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 91(1):113-121 · January 2016, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jctb.4706/abstract>

⁴⁸ http://www.knnadvies.nl/portfolio/projecten_van_knn_advies/meer_waarde_uit_mest/

⁴⁹ Harry Bitter, WUR.

Zolang PHA niet rechtstreeks op prijs kunnen concurreren met fossiele plastics moet een alternatieve waardepropositie worden ontwikkeld. Het grote voordeel van bioplastics en met name PHA is dat ze gebruikt kunnen worden voor toepassingen waar de snelheid van afbreken van belang is. Bio-afbreekbare plastics moeten zolang de kosten hoger en de beschikbaarheid beperkt is niet recyclebare plastics vervangen, maar aanvullend ingezet worden.

PHA door gasfermentatie

Methaan is een mogelijke grondstof voor PHA. Er zijn diverse methanotrofe micro-organismen geïsoleerd die in staat zijn om PHA-polyesters te maken. De claim dat bedrijven "plastics maken uit broeikasgas" snijdt hout als zij biogas uit stortplaatsen, waterzuiveringen, veeteelt en rottende biomassa of weglekkend aardgas gebruiken, maar niet als zij methaan aan een aardgasleiding onttrekken.

Er zijn meerdere bedrijven actief met methaanfermentatie naar PHA: Newlight Technologies, Mango Materials, en VTT (ook eiwitten). Calysta commercialiseert gasfermentatie naar eiwitten en melkzuur. Daadwerkelijke productie is er nog weinig. Het verste gevorderd met commercialisatie van PHA uit methaan is het Amerikaanse bedrijf Newlight Technologies, met een pilot plant voor 45 ton/a en een geplande 23 kton/a fabriek in de VS. Newlight werkt veel aan marktontwikkeling door met aansprekende klanten deals te sluiten voor licenties en afname van toekomstige grootschalige productie.

Studies van Stanford University, die een proces voor PHB-productie heeft ontwikkeld dat door Mango Materials gecommmercialiseerd wordt, laten zien dat PHB bij grootschalige productie op kosten kan concurreren met PLA en plastics uit aardolie. Newlight Technologies claimt dit ook (kosten <1,5 €/kg). Om de benodigde schaal van productie te bereiken zijn de beschikbare biogasbronnen al snel te klein, zodat naar verwachting gekozen zal worden voor aardgas als grondstof. De extra kosten van aardgasinkoop worden ruim gecompenseerd door de schaalvoordelen van productie. In Nederland kan door gebruik te maken van aardgas met groengascertificaten wel op grotere schaal PHA uit biogas worden gemaakt (orde 25 kton/a PHA uit 100 mio m³ groengas).

In principe zouden boerenvergisters die uit de MEP-subsidie gaan lopen kunnen overstappen op productie van bioplastics. De gemiddelde met MEP-subsidie gestarte biovergister produceert 1MWe uit 0,5 mio m³ biogas. Daarmee zou 150 ton/a PHA gemaakt kunnen worden, dus een kleine opbrengst vergeleken met bovengenoemde ambities. PHA-productie bij zulke vergisters is vanwege het schaalnadeel en een aantal praktische redenen niet haalbaar. Het bedrijven van de installaties vraagt veel personeel en de nodige expertise (naast de expertise over vergisting), en het is de vraag of PHA-opwerking op het boeren erf vergunbaar zal zijn (afhankelijk van methode, in het bijzonder bij gebruik van milieubelastende middelen). Als opwerking ter plekke niet mogelijk is moet PHA-houdende celmassa naar een centrale opwerkingslocatie gebracht kunnen worden. Het opzetten van een dergelijk systeem past op zich goed bij de landbouw (vgl. de zuivelketen) maar kan pas optimaal werken bij inschakeling van de centrale opwerking voor een groot aantal decentrale PHA-productielocaties.

PHA-bioplastics uit slib

Met PHA-productie uit slib zijn in Nederland daadwerkelijk ervaringen opgedaan in pilots, terwijl gasfermentatie nog wacht op eerste toepassing. De rapportage over de ervaringen uit de laatste pilot op rwzi Bath is nog niet beschikbaar. De tot dusver in Nederland geproduceerde hoeveelheden PHA waren nog onvoldoende voor toepassingsonderzoek waarbij de kwaliteit en zuiverheid van het PHA door de klanten beoordeeld kon worden. Variatie in slibsamenvoeging resulteert in variatie in vetzuursamenvoeging en daarmee in een wisselende PHA-productkwaliteit.

STOWA concludeerde in 2014 over PHA-productie uit slib van rwzi's dat het technisch haalbaar is, maar economisch nog niet haalbaar; dat de invloed op de procesvoering van de rwzi gering is; en dat er onzekerheid is over de toepasbaarheid van de gekozen PHA-opwerkingsmethode, mede gelet op de vrijkomende afvalwaterstroom.

De geschatte kosten voor PHA uit slib zijn aanmerkelijk hoger dan berekend voor PHA uit methaan (biogas of aardgas).

Ombouwen van GFT-vergisters volgens de vetzuurroute kan volgens Paques rendabel zijn. Hierbij worden bioreactoren gevoed met directe VFA-productie uit het GFT-afval, terwijl minder of geen biogas wordt geproduceerd, waarna de vetzuren naar bioreactoren met PHA-producerende micro-organismen worden geleid. De PHA-opbrengst is duidelijk hoger dan de biogasopbrengst, ook inclusief subsidie; de business case wordt wel beter als de subsidie wegvalt.

Vetzuren uit mest

Veel biovergisters in Nederland zijn mestcovergisters. Naast biogas kan ook de mest grondstof zijn voor PHA. Decentrale productie van vetzuren uit dunne mest op boerderijen, ingezameld voor centrale PHA-productie en opwerking, is een mogelijk alternatief model voor gasfermentatie en decentrale PHA-productie bij biovergisters. Er was geen informatie beschikbaar om hieraan te kunnen rekenen.

Wageningen Universiteit & Research heeft de omzetting onderzocht van PHA met methanol naar methyl crotonate gevolgd door methathese naar methylacrylaat. De economische haalbaarheid is nog niet bewezen.