

MATERIALEN TEN BEHOEVE VAN BIOBASED ECONOMY ONDERWIJS IN NEDERLAND



BIOMASS RESEARCH REPORT 1403

MATERIALEN TEN BEHOEVE VAN BIOBASED ECONOMY ONDERWIJS IN NEDERLAND

BIOMASS RESEARCH REPORT 1403

Bibliographical data:

J.W.A. Langeveld – Biomass Research

Biomass Research, Wageningen, December 2014

Publications available from www.biomassresearch.eu

Further information on this study can be obtained from Hans Langeveld.

.

© Copyright, Biomass Research, Wageningen

Biomass Research
P.O. Box 247
6700 AE Wageningen
The Netherlands

T: +31 (0) 6 520 58 537
info@biomassresearch.eu
www.biomassresearch.eu

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	4
VOORWOORD	3
1. INLEIDING	5
2. PERSPECTIEFVOLLE KETENS	7
2.1. Bronnen	7
2.2. Beschrijvingen	7
2.2.1. Unbeatable beet	8
Achtergrond en doel	8
Aanpak	8
Resultaat	9
2.2.2. Photanol: Greencell ID	9
Achtergrond en doel	9
Resultaat	9
2.2.3. Grassa!	9
Achtergrond en doel	9
Resultaat	10
2.2.4. Groot Zevert vergisting	10
Achtergrond en doel	10
Resultaat	10
2.2.5. Aquapro biobased waterboxx	10
Achtergrond en doel	11
Resultaat	11
2.2.6. Sabic	11
Achtergrond en doel	11
Resultaat	11
3. LESMATERIAAL	13
3.1. Video's	13
3.2. Onderwijselementen	14
4. AFWEGING	17
BIJLAGE 1: CASUSSEN	19
Unbeatable beet	19
<i>Partners</i>	19
<i>Achtergrond en doel</i>	19
<i>Aanpak</i>	19
<i>Resultaat</i>	20
Bietenpulp	20
Bietenblad	20
<i>Vervolg</i>	21
<i>Info</i>	21
<i>Gebruikte bronnen</i>	21
Photanol	22
<i>Partners</i>	22
<i>Achtergrond en doel</i>	22

<i>Aanpak</i>	22
<i>Resultaat</i>	23
<i>Vervolg</i>	24
<i>Info</i>	24
<i>Gebruikte bronnen</i>	24
Grassa!	25
<i>Partners</i>	25
<i>Achtergrond en doel</i>	25
<i>Aanpak</i>	25
<i>Resultaat</i>	26
<i>Raffinagestappen</i>	26
<i>Vervolg</i>	27
<i>Info</i>	27
<i>Gebruikte bronnen</i>	27
Groot Zevert	28
<i>Partners</i>	28
<i>Achtergrond en doel</i>	28
<i>Aanpak</i>	28
<i>Resultaat</i>	29
<i>Vervolg</i>	29
<i>Info</i>	29
<i>Gebruikte bronnen</i>	29
AquaPro Biobased Waterboxx	30
<i>Partners</i>	30
<i>Achtergrond en doel</i>	30
<i>Aanpak</i>	30
<i>Resultaat</i>	30
<i>De Groasis Technologie</i>	31
<i>Vervolg</i>	32
<i>Info</i>	32
<i>Gebruikte bronnen</i>	32
BIJLAGE 2: ONDERWIJSMATERIAAL EN VIDEO'S	33

VOORWOORD

De biobased economy biedt kansen voor Nederland op het gebied van vermindering van broeikasgassen, verwaarding van afvalstromen en creëren van werkgelegenheid. In verschillende studies zijn ontwikkelingsscenario's uitgezet op basis van de bestaande beschikbaarheid van biomassa, en mogelijke toepassingen in energie, chemie en bioproducten.

Terwijl momenteel een groot aantal initiatieven in Nederland wordt ontwikkeld ontstaat er bij het bedrijfsleven groeiende behoefte aan studenten die bekend zijn met de principes en praktijken van biogebaseerde productieketens. Veel onderwijsinstellingen springen hier op in door het ontwikkelen van speciale opleidingen of cursussen.

Docenten die een onderwijselement gericht op de biobased economie ontwikkelen zien zich vaak voor de vraag gesteld waar ze geschikt achtergrondmateriaal kunnen vinden. Niet zelden gaan ze hiervoor zelf op zoek naar beschikbare openbare bronnen. Hierbij ontstaat het gevaar dat veel tijd wordt besteed aan eenzijdige, ongefundeerde of anderszins onevenwichtige bronnen.

Anderzijds is het jammer dat bestaand goed gefundeerd materiaal niet in beeld is.

De Stichting Groene Kennis Coöperatie (GKC), speelt een belangrijke rol bij het ontwikkelen en delen van materiaal over de zich ontwikkelende biobased economie in en rond Nederland. Zij houdt zich onder andere bezig met het ontwikkelen van leermiddelen voor de biobased economy.

Op verzoek van het GKC heeft Biomass Research bestaand onderwijsmateriaal en ander voor het onderwijs geschikt materiaal over de biobased economy geïnventariseerd en beschreven. Dit rapport doet verslag van de resultaten.

Ik wil dank uitbrengen aan Gerlinde van Vilsteren van het GKC voor de goede begeleiding van het rapport. Dank ook aan alle bij de in dit rapport beschreven biobased ketens en onderwijselementen voor hun bereidheid hun ervaringen en inspiratiebronnen te delen.

Wageningen, December 2014

Hans Langeveld
Directeur

1. INLEIDING

De biobased economy biedt grote kansen voor de vermindering van broeikasgassen, en kan helpen ook op andere onderdelen de ecologische voetafdruk van Nederland te verminderen. Het biedt nieuwe mogelijkheden voor de benutting van reststromen, bijproducten en andere biomassa bij de productie van energie, materialen en grondstoffen voor de chemie en andere industriële sectoren. Voor Nederland wordt hierbij uitgegaan van een brede beschikbaarheid van biomassa enerzijds, en een groot aantal toepassingen in energie, chemie en bioproducten anderzijds. Mogelijkheden hiertoe zijn vrij gedetailleerd in kaart gebracht (zie onder andere Sanders en Langeveld, 2010; WTC, 2010; 2013)¹.

Bij de waarde creatie geldt dat Nederland, als een dichtbevolkt land met een intensieve landbouwsector en grote agro- en foodindustrie, belangrijke voordelen heeft met belangrijke beschikbare reststromen die een grote waarde te vertegenwoordigen. Nieuwe technologie maakt het mogelijk 1 miljard euro aan extra waarde te creëren, met name door de inzet van bioraffinage, productie van biogas en het intensiever scheiden van huishoudelijk afval. Dit levert naast economische groei ook werkgelegenheid op (TNO, 2013)².

Regionale initiatieven zijn onder andere te vinden in vele delen van het land, waaronder Groningen, Drenthe, Overijssel, Brabant, Zuid Holland en Zeeland. Deze lijst is niet uitputtend en wekelijks komen er nieuwe initiatieven bij.

Met de groeiende aandacht voor de biobased economy, en het snel toenemende aantal initiatieven door zowel overheden als bedrijfsleven ontstaat een groeiende behoefte aan goed opgeleide studenten die goed bekend zijn met de principes en praktijken van biogebaseerde productieketens. Veel onderwijsinstellingen springen hier op in door het ontwikkelen van speciale opleidingen of cursussen.

In de meeste gevallen zijn betrokken docenten zelf echter niet geschoold in de principes van de biobased economy. Dit betekent dat zijn een inhaalslag moeten maken. Daarbij gaan de ontwikkelingen zo snel, dat alleen het bijhouden van nieuwe initiatieven al een grote inspanning vraagt.

Veel docenten die betrokken zijn bij de ontwikkeling van biobased-gerelateerde onderwijsmateriaal zijn vooralsnog aangewezen op eigen kennis en openbare bronnen. Dit is vooral een probleem voor docenten uit middelbaar en lager onderwijs die niet betrokken zijn bij bestaande initiatieven dan wel beschikking hebben tot (studenten en) onderzoeksfaciliteiten. Het betekent vaak een aanslag op de hoeveelheid beschikbare tijd, niet zelden leidend tot internet sessies die soms tot diep in de nacht duren.

Dit kan niet alleen leiden tot motivatieproblemen of problemen bij de uitvoering van andere (onderwijs)taken. Het maakt het onderwijs ook afhankelijk van de beschikbaarheid (en bereikbaarheid) van een willekeurige kennisbronnen en daarmee kwetsbaar voor propaganda, amateurisme en desinformatie. Vanuit een pedagogisch standpunt is het beter als docenten kunnen terugvallen op brede, genuanceerde en goed gedocumenteerde bronnen die bij voorkeur actuele en aansprekende voorbeelden presenteren.

¹ Sanders, J. en J.W.A. Langeveld (2010). A biobased economy for the Netherlands. In: H. Langeveld, J. Sanders en M. Meeusen (eds.), *The biobased economy. Biofuels, materials and chemicals in the post-oil Era*, pp. 341-360. Londen, Earthscan. WTC (2010). *Essay 2010: Groene Chemie*. WTC (2013). *Biomaterialen: drijfveer voor de biobased economy*. Den Haag, Wetenschappelijke en Technologische Commissie Biobased Economy.

² Bastein, T., E. Roelofs, E. Rietveld en A. Hoogendoorn (2013). *Kansen voor de circulaire economie in Nederland*. Delft, TNO.

De Stichting Groene Kennis Coöperatie (GKC) heeft een belangrijke rol gespeeld bij het ontwikkelen en delen van materiaal over de zich ontwikkelende biobased economie in en rond Nederland. In 2013 is de stichting GKC in overleg met partijen die betrokken zijn bij het onderwijs op het gebied van de biobased economy begonnen met het ontwikkelen van leermiddelen voor de biobased society.

Na 2014 zal het GKC verder werken vanuit een andere organisatievorm. Een van haar huidige activiteiten is het ondersteunen van docenten en bestuurders in het onderwijs die zich nadrukkelijker willen gaan bezighouden met het integreren van onderwerpen uit de biobased economy in het lesmateriaal. Hiertoe zijn een aantal activiteiten ontplooid.

Dit rapport presenteert een weergave van twee activiteiten zoals deze door Biomass Research zijn uitgevoerd. Het betreft een identificatie en beschrijving van perspectiefvolle initiatieven op het gebied van de biobased economy in Nederland en een inventarisatie van materiaal dat gebruikt kan worden bij het ontwikkelen van onderwijslelement ten behoeve van het biobased economy onderwijs.

Het vervolg van het rapport ziet er als volgt uit. Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van perspectiefvolle biobased casussen. Lesmateriaal wordt gepresenteerd in Hoofdstuk 3. Hierna volgt een korte afweging (Hoofdstuk 4).

Bijlage 1 geeft een overzicht van de ten behoeve van het project gemaakte uren. Een uitgebreide beschrijving van de casussen is te vinden in Bijlage 2. Overzichten van video's en ander onderwijsmateriaal worden gepresenteerd in Bijlage 3.

2. PERSPECTIEFVOLLE KETENS

2.1. Bronnen

Er is een overzicht gemaakt van recente, aansprekende en perspectiefvolle Nederlandse biobased economy initiatieven die voor beschrijving en presentatie in aanmerking komen. Hiertoe is gebruik gemaakt van een aantal verschillende bronnen, waaronder een brochure van Agentschap NL uit 2013 (nu RVO), 'Bioraffinage en SBIR: kansen verzilveren in de praktijk'³. Hiernaast is onder andere geput uit eigen netwerk, publicaties (onder andere WTC, 2013) en het internet.

Casussen die mogelijk in aanmerking komen voor gebruik in het onderwijs zijn onder andere: COSUN: The Unbeatable Beet; Photanol: Greencell ID; GRASSA!!; Groot Zevert Vergisting en AquaPro: Biobased Waterboxx. Tabel 2.1 geeft enkele karakteristieken van de geselecteerde ketens. Ze worden uitgewerkt in paragraaf 2.2.

Tabel 2.1 Overzicht van ketens in Bioraffinage en SBIR brochure

Keten	Initiatiefnemers	Motivatie	Bronnen
<i>Unbeatable beet</i>	Cosun Hoogland	Productie van inhoudstoffen en chemische grondstoffen uit suikerbieten	www.cosun.nl
<i>Photanol: Greencell ID</i>	Photanol Colsen B.V. ICOS Capital	Via een innovatieve aanpak zetten bacteriën fotosynthesemateriaal direct om in fermentatieproducten	www.photanol.nl Technisch Weekblad
<i>GRASSA!</i>	Hoogland Marrum	Kleinschalige bioraffinage van gras levert vezels en eiwitten	Dhr. Gjalt de Haan
<i>Groot Zevert Vergisting</i>	Groot Zevert Vergisting CC Advies ForFarmers Thecogas	Teelt van eendegroos op digestaat van dierlijke mest levert eiwitten voor veevoer	Dhr. Arjan Prinsen, Dhr. Hayo Canter Cremers
<i>AquaPro Biobased Waterboxx</i>	Technisch Teken Bureau Matrico VOF	Een innovatieve bak van bioplastic vangt dauw op voor boomteelt in droge gebieden	www.groasis.com Dhr. Pieter Hoff
<i>Sabic</i>	Sabic	Vervanging van plastics door bioplastic	Van Lieshout et al. (2013) .

Bron: Agentschap NL (2013); Van Lieshout et al. (2013)⁴, SABIC (2011)⁵

2.2. Beschrijvingen

Van de gekozen ketens is een overzicht opgesteld van aanwezige informatie. Het proces van biomassa verzameling, behandeling en omzetting is in schematische vorm weergege-

³ Agentschap NL, 2013. 'Bioraffinage en SBIR: kansen verzilveren in de praktijk'. Utrecht: Agentschap NL.

⁴ Van Lieshout, M., M.R. Afman, and I.Y.R. Odegard, 2013. Inventarisatie biobased economy in de Nederlandse chemie. Synthese op basis van bedrijfsanalyses van vijftig VNCI-leden. Delft, CE-Delft.

⁵ SABIC, 2011. Sustainability report. As cited by Van Lieshout et al. (2013).

ven. Hierna is van de geselecteerde ketens een factsheet gemaakt. Deze zijn aan de betrokken partijen voorgelegd. Hierna zijn ze aangepast en geschikt gemaakt voor de website.

Een korte samenvatting van de casussen wordt hieronder gegeven. Een meer volledige beschrijving is te vinden in de bijlagen.

2.2.1. Unbeatable beet

Achtergrond en doel

Suikerbiet is traditioneel een belangrijk gewas voor de Nederlandse landbouw. Voor de spelers in de keten is het van belang de suikerbiet optimaal te gebruiken, en niet alleen voor suiker. Cosun heeft ingezet op optimale waardecreatie uit reststromen. Het doel is binnen een relatief korte periode van drie jaar succesvolle business concepten te ontwikkelen op pilotplant schaal.

Suikerbieten produceren jaarlijks 20 à 26 ton droge stof biomassa per hectare. Daarmee is het de beste biomassaleverancier in Noordwest Europa. Na de winning van de suikerproductie kunnen de reststromen (bietenpulp en -blad) hoog- en laagwaardige producten leveren voor de (petro)chemie. Ook bevatten ze nuttige eiwitten en mineralen. Cosun onderzoekt de technische en economische haalbaarheid van een geïntegreerd proces voor coproductie van deze producten uit biet.

Producten die uit bietenpulp en bietenblad gehaald kunnen worden zijn vezels, mono- en oligosacchariden, eiwitten en mineralen. Bij de ontwikkeling van nieuwe ketens ligt de nadruk op hoogwaardige toepassingen. Laagwaardige opties, zoals vergisting, komen op de tweede plek. Volgens Cosun kunnen echter alleen combinatietoepassingen leiden tot succesvolle business concepten. Streven is een geïntegreerd procesconcept te ontwerpen dat alle fracties van de suikerbiet zo goed mogelijk tot waarde brengt. Hoe efficiënter dit gebeurt, hoe hoger het economisch rendement.

Aanpak

Er is een pilotplant ontwikkeld. Doel van de plant is:

- technologisch onderzoek uitvoeren op het gebied van ontsluiting, scheiding en conversie van bietenpulp- en blad tot de gewenste producten
- 'proof of concept' krijgen voor (delen van) het bioraffinageconcept
- voldoende 'proefproduct' krijgen om mogelijke toepassingen te onderzoeken
- inzicht krijgen in economische haalbaarheid

Er zijn twee productielijnen, namelijk op basis van bietenpulp en -blad.

De COBRA pilot plant voor de bioraffinage van **bietenpulp** maakt uit natte biomassa gelijktijdig diverse producten (hoogwaardige vezels, speciale suikers, suikerzuren en oligosacchariden). Conversie van de monosacchariden en suikerzuren in een speciale multipurpose reactor naar bouwstenen voor de chemische industrie zoals furaandicarbonzuur is gedemonstreerd. De verkregen producten zijn getest door marktpartijen, waarbij is gekeken naar toepassingen op het gebied van voeding, veevoer, cosmetica, detergenten, coatings, olie & gas productie, composieten en polymeren. De resultaten zijn gebruikt voor de onderbouwing van de business case voor dit bioraffinage concept.

Er wordt momenteel een demonstratieplant ontwikkeld voor de productie van vezels, speciale suikers, oligosacchariden en biobased chemicaliën op semi-industriële schaal voorbereid.

Ook de raffinage van geoogst **bietenblad** is getoetst. Op pilotschaal is blad geoogst, gewassen verkleind, geperst, gedecanteerd en gecoaguleerd. Dit levert diverse fracties op

met vezels, eiwitten en opgeloste componenten. De opbrengstwaarden bleken echter niet hoger te liggen dan de waarde voor bodemverbetering door onderploegen.

Resultaat

Binnen drie jaar potentiële succesvolle business concepten ontwikkelen op pilotplant schaal. Het bioraffinage concept kan naar verwachting ook worden toegepast op andere reststromen, zoals citruspulp, appelpulp, cichoreipulp, bierbostel en aardappelreststromen. Voor de Nederlandse bietenteelt (ongeveer 75.000 hectare) is het optimaal waardevol maken van de bieten doorslaggevend om een goede concurrentiepositie te behouden. Naast het hoofdproduct suiker is waardecreatie uit reststromen daarom cruciaal.

2.2.2. Photanol: Greencell ID

Achtergrond en doel

Photanol is een spin-off van de Universiteit van Amsterdam dat zich bezighoudt met het testen en optimaliseren van de inbouw van cyanobacteriën met een functionele genenset die hen in staat stelt fotosynthetisch gemaakte stofwisselingsproducten om te zetten in meer geavanceerde (en meer waardevolle) producten. De genetisch ingebrachte genenset bepaalt welk product wordt gemaakt. In schematische vorm:

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{zonlicht} \rightarrow \text{product} + \text{O}_2$

De cyanobacteriën zijn geen eindproduct maar functioneren hierbij als katalysatoren in de fotobioreactor. Daarmee is de nutriëntenbehoefte minimaal, is geen verdere bewerking nodig en bevindt het product zich na scheiding van de biomassa in een nauwelijks met restnutriënten vervuilde oplossing. In 2008/2009 is op laboratoriumschaal het zogenaamde 'proof of principle' geleverd voor melkzuur, ethanol en etheengas, inmiddels ook voor 2,3 butaandiol en een andere hoogwaardige verbinding.

Resultaat

Tussen 2010 en maart 2012 is een pilot plant ontworpen en gebouwd in het kassencomplex van het Science Park van de UvA, met een oppervlakte van 50 m² en een werkvolume van 2.500 liter. Deze bestaat uit modulaire fotobioreactoren.

Elke fotobioreactor bestaat uit een serie verticale cultuurbuizen met rookgasinlaten aan de onderkant voor maximale menging. Hoogte en onderlinge afstand van de systemen werden geoptimaliseerd voor lichtinvang. De scheiding tussen biomassa en cultuurvloeistof gaat met behulp van membraantechnologie. Het celmateriaal gaat terug naar de fotobioreactoren zodat een gesloten systeem ontstaat.

Sinds maart 2013 vindt optimalisatie van het proces plaats, hetgeen geleid heeft tot economisch interessante concentraties product. De volgende stap is verdergaande optimalisatie van procesontwerp en -voering evenals het aangaan van samenwerkingsverbanden en genereren van financiering voor commercialisatie.

2.2.3. Grassa!

Achtergrond en doel

(Cultuur)gras wordt in Nederland niet volledig benut als ruwvoer. Met name rondom het grasgroeiseizoen komen andere eiwitrijke gewasresten, zoals bietenloof, beschikbaar, die waardevolle componenten kunnen bevatten. Hierbij komt een groeiende vraag uit de markt naar duurzaam geproduceerd eiwitten (bijvoorbeeld ter vervanging van importen van so-

ja). Ook de vraag naar alternatieve duurzame vezels neem toe, met name voor toepassing in bijvoorbeeld de papier- en kartonindustrie.

Resultaat

Een mobiele procesinstallatie is ontwikkeld waarmee op pilotschaal modulair diverse soorten biomassa kunnen worden gescheiden. Doordat de installatie mobiel is, wordt transport van waterrijke verse biomassa voorkomen. Het modulaire karakter maakt een flexibele inzet mogelijk, afhankelijk van grondstof en gewenste fracties. De kleinschalige aanpak is goed duplicerbaar en koppelbaar met andere initiatieven op het gebied van bioraffinage en bioenergie.

De optimalisering van de oogst leidt tot een hoogwaardigere grondstof, met een efficiëntere logistiek. Door de primaire milde scheiding zijn grascomponenten hoogwaardig inzetbaar en behouden ze zoveel mogelijk van hun functionaliteit. Hierbij worden alle winbare deelfracties gewonnen en opgewerkt, zoals:

- Eiwit en voor feed (en food)
- (Gedeeltelijk) ontsloten vezels als groene grondstof voor industrie (verpakkingen) en energie (vergisting, verbranding)
- Fosfaatfractie (struviet)
- Concentraat van suikers, aminozuren en organische zuren t.b.v. diervoeders
- Reductie van mineralenoverschot in NL en optimalisering van eiwit- en mineralenmanagement op melkvee- en intensieve veehouderij bedrijven

Er wordt gewerkt aan de ontwikkeling van een business plan met daarin meerdere verdienmodellen, gebaseerd op een commercieel in te zetten en mobiele procesinstallatie met een capaciteit van 8 ton/uur. Hierbij is samenwerking mogelijk met andere bioraffinage initiatieven op het gebied van natuur- en bermgras, gewasresten uit tomaten- en paprikateelt, bietenloof.

2.2.4. Groot Zevert vergisting

Achtergrond en doel

Het doel van het project is het ontwikkelen van eendenkroos als teelt om het te gebruiken als eiwitbron in veevoer. Deze drijvende waterplantjes bevatten tot circa 40% eiwit dat qua samenstelling lijkt op dat van soja en andere in veevoerders veel gebruikte eiwitbronnen. De plantjes groeien goed op medium met runder- of varkensmest als voedingsbron. De productie van eendenkroos is hoog (circa 17-27 ton droge stof per ha per jaar). Door de combinatie van eigenschappen kan eendenkroos worden gebruikt als sleutel tot een duurzame kringloop voor mineralen en nutriënten.

Resultaat

Gedurende het project is de teelt opgeschaald van grote lab schaal tot kleine praktijk-schaal. Daarnaast zijn de noodzakelijke stappen doorlopen om het te mogen gebruiken als veevoer, waaronder de GMP certificering en het onderzoek van de veevoederwaarde. Hierdoor staat nu een kant-en-klaar concept klaar voor marktintroductie. Het concept is aantrekkelijk voor nagenoeg alle melkveehouders en varkensboeren in Nederland en de andere Europese landen. In vergelijking met sojateelt geeft eendenkroos vermindering van de CO₂ emissies van circa 80 ton CO₂-equivalent per ha teelt. De teelt van een ha eendenkroos in Nederland vermindert de noodzaak van de teelt van soja op circa 6 ha in Zuid Amerikaanse landen, wat aantasting van het tropisch regenwoud belangrijk kan doen afnemen. De marktkansen voor eendenkroos zijn dan ook bijzonder goed.

2.2.5. Aquapro biobased waterboxx

Achtergrond en doel

Door gebruik te maken van een watercontainer kan de verdroging van jonge bomen voorkomen worden. Het doel is de productie van het eerste prototype watercontainer op basis van biobased grondstoffen, in eerste instantie op basis van biobased plastics, vanwege de ontwikkelingen op basis van cellulose pulp.

Probleemstellingen van de cellulose watercontainer:

- Additieven maken de container waterbestendig en vraatbestendig
- De ontwikkeling van een matrijs voor de verwerking van de cellulose

Resultaat

Er is een commercieel haalbare watercontainer ontwikkeld uit bioplastic en uit papierpulp. Tevens wordt gewerkt aan verdere ontwikkeling van een geschikte vorm van papierpulp uit herbruikbare natuurlijke vezels. Hierbij maakt selectie van de juiste additieven papierpulp langer waterbestendig zonder af te doen aan de afbreekbaarheid. Ook worden additieven geselecteerd voor de bevordering van de plantengroei. De productiesnelheid van papierpulp matrijs wordt verhoogd met als doel het verder optimaliseren van de productie en het verlagen van de kostprijs.

De afzet van de box heeft een grote potentie omdat de vraag naar een goedkopere watercontainer voor eenmalig gebruik groot is. De grote markten zijn: openbare gebieden langs wegen en gebouwen, herstel van aangetaste gebieden zoals geërodeerde berghellingen en verbrande gebieden, consumentenmarkt.

2.2.6. Sabic

Achtergrond en doel

Sabic staat voor Saudi Basic Industries Corporation, een internationaal opererend bedrijf met hoofdkantoor in Saoedi-Arabië. Sabic werkt aardgas op tot chemicaliën. Het produceert basischemicaliën, 'specialties' en polymeren (Van Lieshout et al., 2013)⁶.

Sabic verwacht dat de meeste plastics op de lange termijn gemaakt worden uit biobased materialen. Deze kunnen bijdragen aan een lage carbon footprint, ze bieden grondstofzekerheid en voldoen aan de vraag om milieuvriendelijke producten. SABIC Innovative Plastics heeft zijn dertien faciliteiten in Europa waar innovatieve plastics, polyetheleen, polypropyleen en chemische producten worden geproduceerd. Vier hiervan staan in Nederland.

De lancering van zijn de eerste gecertificeerde hernieuwbare polyolefinen is aangekondigd. De basis hiervoor is de ISCC Plus-regeling, die strikte regels hanteert over traceerbaarheid. De controleketen is gebaseerd op een massabalanssysteem (Biobased Economy, 2014)⁷. Hiermee gaat SABIC in op een toenemende vraag naar duurzame materialen in de verpakingssector. Het heeft de capaciteit ontwikkeld om hernieuwbaar, tweede generatie PP en PE te vervaardigen uit zware grondstoffen gemaakt uit afvalvetten en -oliën.

Resultaat

Het nieuwe hernieuwbare portfolio is tot stand gekomen in een aanpak waarbij SABIC in nauwe samenwerking met klanten duurzame materialen ontwikkelt die geen impact hebben op de voedselketen. De productie van hernieuwbaar PP en PE is mogelijk op basis van grondstoffen verkregen uit afvalvetten en -oliën. Directe concurrentie met de voedselketen

⁶ Van Lieshout, M., M.R. Afman, and I.Y.R. Odegard, 2013. Inventarisatie biobased economy in de Nederlandse chemie. Synthese op basis van bedrijfsanalyses van vijftig VNCI-leden. Delft, CE-Delft.

⁷ <http://www.biobasedeconomy.nl/2014/05/14/sabic-introduceert-portfolio-met-gecertificeerd-hernieuwbare-polyolefinen/> Accessed 15 May 2014

wordt zo vermeden. Het concept van SABIC is gevalideerd aan de hand van een interne beoordeling van de levenscyclus.

De duurzaamheid van de nieuwe grondstoffen is aangetoond in samenwerking met de International Sustainability and Carbon Certification (ISCC) waarbij externe, onafhankelijke auditors de betrouwbare toepassing van het massabalanssysteem binnen SABIC hebben gecontroleerd en verzekerd. In het kader van een Green Deal is gewerkt aan het ontwikkelen van duurzaamheidscertificaten.

3. LESMATERIAAL

Docenten die betrokken zijn bij de ontwikkeling van biobased-gerelateerd onderwijsmateriaal zijn vaak aangewezen op eigen kennis en openbare bronnen. Met name docenten uit het middelbare en lager onderwijs die geen beschikking hebben tot onderzoeksfaciliteiten moeten veel moeite doen om goed gedocumenteerde achtergrondinformatie te vinden die gebruikt kunnen worden bij het onderbouwen en illustreren van hun biobased vakken.

Om te voorkomen dat docenten in het onderwijs te sterk afhankelijk worden van een willekeurige kennisbronnen is gekeken naar online materiaal over de ontwikkeling en achtergrond van de biobased economy.

Naast volledig ontwikkelde lessen zijn er veel fraaie voorbeelden van op de biobased economy geschoolde filmpjes, diaserie's, boeken en lespakketten. Een groot deel hiervan is op het internet te vinden. Sommige pakketten zijn bijzonder uitgebreid. Veel materiaal is gratis, of tegen geringe kosten, op te vragen. In andere gevallen presenteren universiteiten zich online met hun vakken aanbod.

In het kader van de ondersteuning van docenten die zich willen verdiepen in het biobased economy onderwijs is uitgebreid gezocht naar bestaand lesmateriaal. Tevens is een selectie gemaakt van online beschikbare video's. Deze zijn deels speciaal op studenten gericht.

De meest belovende voorbeelden worden in dit hoofdstuk besproken.

3.1. Video's

Er is op verschillende media gezocht naar video's die mogelijk een rol kunnen spelen in onderwijsprogramma's in de Nederlandse biobased opleidingen. Hierbij is in eerste instantie gezocht in het door de universiteitsbibliotheek van Wageningen UR verzamelde en geclassificeerde materiaal. Daarnaast is gezocht op Youtube en met de Google zoekmachine. De beste resultaten zijn afkomstig van Youtube.

Een overzicht van de meest veelbelovende video's wordt gegeven in Tabel 3.1. Een behoorlijk aantal is afkomstig uit Nederlandse regio's of gemaakt door regionale organisaties (Regio Twente, BOM Brabant, NOM, RTV Drenthe), dan wel door Nederlandse bedrijven. Deze zijn over het algemeen Nederlands gesproken. Hiernaast is een aantal Engelstalige video's opgenomen. Opvallend is dat sommige filmpjes geen gesproken woord bevatten.

De inhoud varieert van korte introducties van (regionale) initiatieven, gewassen of technieken, tot algemene overzichten van het concept biobased economy. Vanwege de vaak zeer beperkte lengte (veel video's zijn korter dan vijf minuten) zijn de filmpjes goed geschikt voor gebruik in de klas. Een eerste classificatie van het onderwijsniveau waar ze gebruikt kunnen worden laat een oververtegenwoordiging zien van hoger onderwijs (met name HBO en WO). Toch is voor lagere onderwijsniveaus voldoende materiaal gevonden.

Internet adressen van de gepresenteerde video's staan in de bijlage.

Tabel 3.1 Selectie van video's die in het onderwijs gebruikt kunnen worden

Titel	Bron	Overig, opm						
		PO	VO	VMBO	MBO	HBO	WO	
BETON Biobased Economy & Technology over biobased verf	Regio Twente	X	X	X	X	X		NL gesproken. 1:49 minuut
Biobased Economy: vezels uit reststromen	BOM Brabant	X	X	X	X	X		NL gesproken. 2:05 minuut
Agrifood & Biobased Economy in Noord-Nederland	NOM	X	X	X	X	X	X	NL gesproken. 7:17 minuut. Breed opgezet; Noord Nederland
The Bioeconomy starts here! Principes van de bioeconomy	Innovation Union (European Union)		X	X	X	X	X	Engels gesproken. Animatie. Aansprekend. 1:57 minuten.
Towards a bio-based economy. Breed opgezette introductie tot de biobased economie	'Bioeconomy'		X	X	X	X	X	Overzichtelijk. Engels gesproken, ondertiteld. 9:04 minuten. Gericht op Gent
Zo Kan Het Ook: Biobased economy, provincie Gelderland, part 2	Trea FD		X	X	X	X		NL gesproken. Engels ondertiteld. 5:31. Vooral bouwgerelateerd
Pyrolysis diesel. Introductie pyrolyse techniek om biodiesel te maken	BTG		X	X	X	X	X	NL gesproken. 3:27 minuten. Techniek van BTG. Mooi. Reclame
Eerste brug van biocomposieten gemaakt in Emmen	RTV Drenthe		X	X	X	X	X	NL gesproken. 1:19 minuten. Nieuwsbericht
Van tomatenstengel naar tomatenverpakking	Studiohugen		X	X	X	X	X	NL gesproken en ondertiteld. 5:51 minuten. Film. Heel mooi.
Cradle Crops: Miscanthus Giganteus (olifantsgras) de teelt	Cradle Crops		X		X	X	X	NL ondertiteld. Niet gesproken. 7:00 minuten. Documentaire Miscanthus
Fischer tropisch synthesis. Technische beschrijving van het proces	bitte102		X		X	X	X	Engels gesproken. 5:09 minuten. College door Prof. H. Bitter
Miscanthus Häckseln. Het oogsten van miscanthus	lesagi51	X	X	X	X	X	X	Niet spoken. 4:19 minuten. Film

Vindplaats van de video's is te vinden in de Bijlage (Tabel B.1).

3.2. Onderwijselementen

Een overzicht van de meest veelbelovende onderwijselementen wordt gegeven in Tabel 3.2. Naast een beperkt aantal Nederlandse lessen of lespakketten wordt een aantal Engeltalige materialen gepresenteerd. Opvallend is de grote keuze aan Amerikaanse producten. Sommige hiervan hebben uitgebreide handleiding voor docenten, deze lijken goed bruikbaar voor de Nederlandse situatie. Enkele producten zijn zeer fraai vormgegeven. Nederlandse materialen zijn soms nog in ontwikkeling.

De meeste producten zijn geschikt voor klassikaal onderwijs, zowel theorie als praktijk. In een geval kan een mini-vergister worden opgezet. Er zit ook een bordspel bij. Enkele producten zijn uitgegeven door een docentenorganisatie. Eén hiervan is in het Duits.

Tabel 3.2 Selectie van beschikbaar onderwijsmateriaal die door docenten gebruikt kunnen worden

Titel	Bron							Overig, opm
		PO	VO	VMBO	MBO	HBO	WO	
Een wereld zonder afval	Avans. Geproduceerd door COEBBE.	X X X						Mooi vormgegeven, geheel uitgewerkt. Uitgedeeld bij meer dan 160 basisscholen.
Food or Fuel?	Ontwikkeld door docenten i.s.m. Be-Basic		X X X					Beschrijft de productie van bio-ethanol uit agrarisch en ander cellulose afval. Naast bèta-vakgebieden ook aandacht voor maatschappelijke problemen (concurrentie met voedsel)
Maak zelf bioplastic	Stichting C3	X X X		X				Zeer eenvoudig
Entering the Bio Based Economy	Helicon opleidingen					X		Onduidelijk wanneer het klaar is. AOC-raad. Hans Blankestijn, Ede
Hoe kun je ruiken of iets van aardappelresten is gemaakt?	Martine van Groenwegen en Foluke Quist-Wessel		X X X					Les ontwikkeld om meisjes enthousiast te maken voor technische onderwijs en de biobased economy
MOOC Biobased economy	COEBBE					X X X		Verwacht Februari 2015
Sustainable forestry for bioenergy and bio-based products	Southern Forest Research Partnership							Engelstalig. Goed onderbouwd uitstekend overzicht van bioenergie uit bossen, gericht op de VS. 2007
High School Chemistry Curriculum	University of Idaho		X X X		X X	X X		Engelstalig. Prachtig, goed gedocumenteerd lessenpakket aansluitend op chemielessen op Amerikaanse high schools.
Ethanol-blended fuels	Clean Fuels Development Coalition, Nebraska Ethanol Board					X X X	X	Engelstalig. Ziet er goed en professioneel uit.
Renewable energy and biodiesel	University of Idaho. Dept of Biological and Agricultural Engineering	X X X		X X				Engelstalig. Zeer verzorgd. Ontwikkeld voor de VS, indicatie lager school (8-12 jr.). 'Student workbook' en 'Instructor's manual'.
Fuel for Thought: Building Energy Awareness in Grades 9-12	National Science Teachers Association. Alrington, Virginia, VS		X X X	X X	X X			Engelstalig. Book, e-book. Ontwikkeld door de National Science Teachers Association (NSTA). Dat lijkt een serieuze aanbeveling.
A Life-Cycle Assessment of Biofuels: Tracing Energy and Carbon Through a Fuel-Production Sys-	NSTA Learning Center		X X X	X X	X X			Engelstalig. 'A life-cycle assessment (LCA) is [...] make measurements of net energy, greenhouse gas production, water consumption [...]. [...] Describes an activity de-

tem								signed to walk students through the qualitative part of an LCA.'
AgEnergy Iowa	Agricultural Energy Curriculum. Dav-enport, Iowa, VS		X X X	X X	X X X	X		Gratis Engelstalig curriculum, 15 modules. Syllabus, student handouts, opdachten. 'Suited for High School and Higher Education'.
Mini fermenter	Great Lakes Bioenergy Research Center; CB2E		X X X	X X	X X			In het Engels. 10 p. Instructies en beschrijving van materialen. High School through Undergraduate (9-16 jr).
The Bioenergy Farm Game	Great Lakes Bioenergy Research Center; CB2E		X X	X X	X X X	X X	X	Engelstalig. Prachtig uitgewerkt bordspel. 'In this board game, players take on the role of bioenergy crop farmers trying to earn a living while trying to be good environmental stewards.' Middle School through Undergraduate.
Converting cellulosic biomass to ethanol.	Great Lakes Bioenergy Research Center; CB2E		X X X	X X	X X			In het Engels. 24 p. Uitgebreide instructies. High School through Undergraduate (9-16 jr.)
Fermentation Challenge: Making Ethanol from Cellulose	Great Lakes Bioenergy Research Center; CB2E		X X X	X X	X X			Engelstalig. 15 p. Uitgebreide instructies. High School through Undergraduate (9-16 jr.)
Massive open online course 'Technology for Biobased Products'.	MOOC on biobased economy, 'Technology for Biobased Products'						X X X	Engelstalig. Materiaal niet kunnen inzien. Eerste les begonnen op 27 Oktober 2014.
Bioethanol - Herstellung und Anwendungen	lehrer-online. Recensie uit 2012							Duitstalig. Zip-file te downloaden. Goed gedocumenteerd en van pedagogisch commentaar voorzien.

Vindplaats van het materiaal is te vinden in de Bijlage (Tabel B.2).

4. AFWEGING

In Nederland wordt hard gewerkt aan de totstandkoming van een biobased economy. Ook de ontwikkeling van het biobased onderwijs is in volle gang. Met name in het hogere onderwijs is een stroom van lessen en vakken ontwikkeld. Deze zijn beperkt bereikbaar voor docenten in andere scholen en in andere onderwijsvormen. Met name in het basis- en lager onderwijs lijkt er behoefte aan aantrekkelijk, bereikbaar, en begrijpelijk materiaal.

Er is een beperkt aantal perspectievolle biobased ketens in ontwikkeling. Volledig uitgewerkte, en beschreven, casussen zijn nog niet volop voorhanden. Een aantal van de meest aansprekende voorbeelden is in dit rapport beschreven. Betrokkenen hebben vaak enthousiast gereageerd op het verzoek om een overzicht op de biobased onderwijspagina te mogen plaatsen. In sommige gevallen is er nog geen definitieve toestemming om de beschrijving online te zetten.

Opvallend is de ogenschijnlijk geringe samenwerking tussen bedrijfsleven en onderwijs. Hoewel aansprekende voorbeelden in ontwikkeling zijn is dit niet goed in het aanbod van onderwijselementen terug te vinden. Een eerste inventarisatie van de situatie in ons omringende landen (België, Duitsland, Frankrijk) lijkt aan te geven dat dit ook hier het geval is.

Met name in de Verenigde Staten is opvallend veel goed onderwijsmateriaal beschikbaar, dat in sommige gevallen door het bedrijfsleven (mede) is ontwikkeld. Een deel van dit materiaal is ontwikkeld (of wordt verspreid) door docentenverenigingen. Het huidige rapport brengt een aantal van deze materialen samen.

In Nederland wordt hard gewerkt aan nieuw onderwijsmateriaal voor studenten in de biobased economy. Met name de introductie van de eerste MOOC's (Massive Open Online Courses, onder andere door Delft University) is hoopgevend. Dit kan aanknopingspunten bieden voor docenten in het middelbare onderwijs voor de ontwikkeling van nieuwe biobased-geïntereerde vakken. Ook kunnen docenten zich op deze manier mogelijk zelf bij-scholen.

Het in dit rapport gepresenteerde overzicht is niet uitputtend; op korte termijn mag verder verwacht worden dat een veelheid aan nieuw materiaal beschikbaar zal komen. Te hopen valt dat het Nederlandse (Europese) bedrijfsleven hierin initiatieven gaat nemen, mogelijk in samenwerking met onderwijsinstellingen. De grote hoeveelheid, met name Amerikaanse, voorbeelden uit het buitenland kunnen hier als inspiratie dienen.

BIJLAGE 1: CASUSSEN

Unbeatable beet

Partners

- Royal Cosun
- Hoogland Gras en Groenvoeders Marrum B.V.

Achtergrond en doel

Suikerbiet is een belangrijk gewas voor de Nederlandse landbouw. Voor de spelers in de keten is het van belang de plant optimaal te gebruiken, en niet alleen voor suiker. Cosun, de enige verwerker van suikerbieten in ons land, heeft voor haar leden ingezet op optimale waardecreatie uit reststromen: bietenpulp en -blad. Het doel is binnen een periode van enkele jaren succesvolle business concepten te ontwikkelen op pilotplant schaal.

Suikerbieten brengen in Nederland jaarlijks gemiddeld 20 à 26 ton droge stof biomassa per hectare op. Daarmee is het de beste biomassaleverancier in Noordwest Europa. Bovendien heeft het een gunstige samenstelling, die de biomassa geschikt maakt voor verwerking. Al met al genoeg reden voor Cosun om te investeren in de ontwikkeling van een geïntegreerd raffinageproces waarbij reststromen als grondstof dienen voor hoog- en laagwaardige producten ten behoeve van de (petro)chemie. Ook kunnen nuttige eiwitten en mineralen worden gewonnen. Cosun onderzoekt de technische en economische haalbaarheid van dit proces dat gelijktijdig zowel suiker als biobased producten levert.

Producten die uit reststromen gehaald kunnen worden zijn onder andere vezels, mono- en oligosachariden, eiwitten en mineralen. Bij de ontwikkeling van nieuwe productieketens ligt de nadruk op hoogwaardige toepassingen. Laagwaardige opties, zoals vergisting van biomassa tot methaan, komen op de tweede plek. Doel van het project is binnen enkele jaren potentieel succesvolle business concepten te ontwikkelen op pilotplant schaal. Het bioraffinage kan daarna naar verwachting worden toegepast op andere reststromen, zoals citruspulp, appelpulp, cichoreipulp, bierbostel en aardappelreststromen.

Voor de Nederlandse bietenteelt (ongeveer 75.000 hectare) is het optimaal waardevol maken van de bieten doorslaggevend om een goede concurrentiepositie te behouden. Naast suiker is waardecreatie uit reststromen daarom cruciaal. Volgens Cosun kunnen alleen combinatietoepassingen leiden tot succesvolle business concepten. Streven is daarom het ontwikkelen van een geïntegreerd proces dat alle fracties van de biet gelijkmatig tot waarde brengt. Hoe efficiënter dit gebeurt, hoe hoger het economisch rendement.

Aanpak

In 2009 is begonnen met de ontwikkeling van een pilot plant. Deze had als doel:

Biomass Research Report 1403

Materiaal ten behoeve van het biobased economy gerelateerde onderwijs



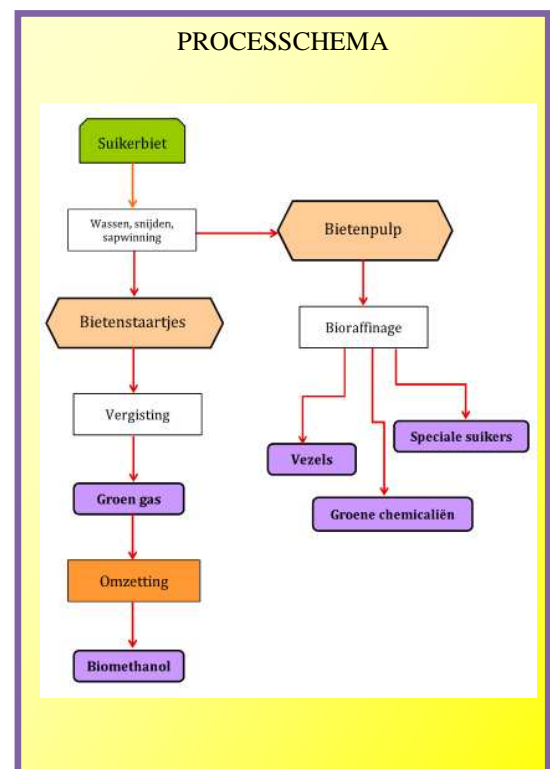
- technologisch onderzoek te doen naar de ontsluiting, scheiding en omzetting van bietenpulp- en blad naar de gewenste producten
- 'proof of concept' te krijgen voor (delen van) het bioraffinageconcept
- voldoende 'proefproduct' te produceren om nieuwe toepassingen te onderzoeken
- inzicht te krijgen in de economische haalbaarheid

Resultaat

De technische haalbaarheid van bioraffinage is inmiddels bewezen. Er zijn twee productielijnen, op basis van bietenpulp en van het bietenblad.

Bietenpulp

- De bioraffinage pilot plant kan gelijktijdig diverse producten maken (hoogwaardige vezels, speciale suikers, suikerzuren en oligosacchariden) met een gezamenlijk gewicht van 1 – 50 kg (droge stof) uit 100 – 1000 kg natte biomassa per dag
- De omzetting van de verkregen monosacchariden en suikerzuren in een speciale multipurpose reactor naar bouwstenen voor de chemische industrie zoals furaandicarbonzuur is inmiddels gedemonstreerd
- Producten verkregen uit de pilot plant zijn getest door marktpartijen. Er is gekeken naar mogelijke toepassingen op het gebied van voeding, veevoer, cosmetica, detergenten, coatings, olie & gas productie, composieten en polymeren. De resultaten zijn gebruikt voor de onderbouwing van de business case voor dit bioraffinage concept
- Er is een proces ontwikkeld voor het verbeteren van de voederkwaliteit van bietenpulp door het deels af te breken tot een product dat geschikt is als brijvoer voor varkens



Bietenblad

Er is getoetst of raffinage van bietenblad meer oplevert dan onderploegen. Op pilotschaal is blad geoogst, gewassen verkleind, geperst, gedecanteerd en geïncubeerd. Dit levert diverse fracties op met vezels, eiwitten en opgeloste componenten. De opbrengstwaarden bleken echter niet hoger te liggen dan de waarde voor bodemverbetering door onderploegen.

Vervolg

De opgedane kennis wordt gebruikt bij het ontwikkelen van een demonstratiefabriek voor productie van vezels, speciale suikers, oligosacchariden en biobased chemicaliën uit bietenpulp op semi-industriële schaal. Doel van deze fabriek is het onderzoeken van technische opschaling en economische haalbaarheid.

Bij het onderzoek wordt samengewerkt met Arkema, een bedrijf dat zich bezig houdt met de productie van biobased chemische producten. Frisdrankfabrikant Refresco ziet mogelijkheden voor het gebruik van furaandicarbonzuur uit bietenpulp dat plastics kan vervangen in petflessen. De demonstratiefabriek wordt in 2014 gebouwd.

Info

www.cosun.nl
Harry Raaijmakers (0165 - 58 28 63)
Harry.raaijmakers@cosun.com

Edwin Poiesz
Edwin.poiesz@cosun.com

Gebruikte bronnen

Dutch Biorefinery Cluster, 2013. COSUN: The unbeatable beet.
[http://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/282/documenten/projectbladen/Cosun - the unbeatable beat.pdf](http://www.dutchbiorefinerycluster.nl/download/282/documenten/projectbladen/Cosun_-_the_unbeatable_beat.pdf) Bezocht 2 April 2014

De Laat, A., 2010. The Unbeatable Beet. 2nd thematic workshop of Crops2Industry EU project 'Carbohydrate crops and the dilemma of using them for non-food purposes'

Koudijs, M., 2013. De kracht van bietenafval. COSUN oogst succes met bioraffinage van pulp en blad. Maandblad van de VNCI. Chemiemagazine, **12**, pp 18-20

Photanol

Partners

- Photanol
- Colsen BV
- ICOS Capital

Achtergrond en doel

Photanol, een spin-off van de Universiteit van Amsterdam, test en optimaliseert de omzetting van primaire stofwisselingsproducten in diverse gewenste producten die kunnen worden uitgescheiden door cyanobacteriën. De in de bacteriën genetisch ingebrachte fermentatiecassette bepaalt welk product wordt gemaakt.

$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{zonlicht} \rightarrow \text{product} + \text{O}_2$

De cyanobacteriën functioneren als katalysatoren in een fotobioreactor. Daarmee is de nutriëntenbehoefte minimaal, is geen verdere bewerking nodig en bevindt het product zich na scheiding van de biomassa in een nauwelijks met reststoffen (nutriënten) vervuilde oplossing.

De Photanol technologie is de meest efficiënte productiemethode die CO_2 direct omzet in waardevolle organische componenten, zoals biobrandstoffen, bioplastics, essentiële oliën, geur en smaakstoffen en vele andere verbindingen. Het enige bijproduct is zuurstof. In vergelijking met de klassieke fermentatietechnieken gebruikt Photanol 40 keer minder land en tot 10.000 keer minder water. De productie is niet afhankelijk van bodemkwaliteit of high-tech infrastructuur.

Aanpak

Photanol ontwikkelde een proefinstallatie van rijen doorzichtige buizen waarin bacteriën met behulp van zonlicht koolstofdioxide rechtstreeks omzetten in vloeibare energiedragers zoals ethanol. Microbioloog prof. Hellingwerf kwam op het idee voor dit concept toen hij de inefficiënte van de productie van biobrandstoffen besprak met een aantal collega's uit de natuurkunde. 'In bestaande procedures laat je eerst planten koolstofdioxide omzetten in biomassa en suikers die je vervolgens omzet in alcohol, wat weer veel energie kost'. Samen met zijn collega Teixeira de Mattos heeft hij, gebaseerd op bovengenoemd concept, vervolgens het spin-off bedrijf Photanol BV opgericht.

De energievretende omweg kan vermeden worden door een stukje van het dna van een fermenterende bacterie in een fotosynthetische bacterie in te bouwen. Zo ontstond een bacterie die zowel de fotosynthese als de fermentatie uitvoert.

Resultaat

In 2008/2009 is het 'proof of principle' geleverd op laboratoriumschaal voor de productie van melkzuur, ethanol en etheengas. Inmiddels is dit ook gelukt voor hoogwaardige verbindingen zoals 2,3-butaandiol, en zoet- en geur- en smaakstoffen.

'We hebben veel minder ruimte nodig dan voor de traditionele productie van melkzuur en verbruiken weinig energie', aldus Teixeira De Mattos. Het was een uitdaging om bacteriën te maken die de omzetting snel uitvoeren, maar niet te snel, anders vergiftigen de bacteriën zichzelf. Een tweede uitdaging was het bouwen van de installatie, waarvoor de microbiologen procesttechnologie en membraanttechnologie nodig hadden.

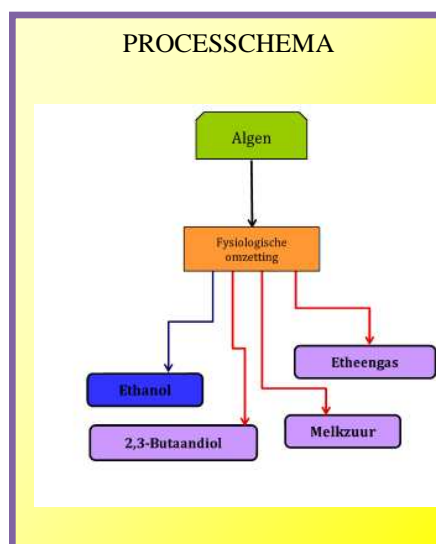
Tussen 2010 en 2012 is een proefinstallatie ontwikkeld. Photanol bouwde een proeffabriek in het kassencomplex van het UvA Science Park in samenwerking met Colson BV. In rijen doorzichtige buizen zetten bacteriën met behulp van zonlicht koolstofdioxide om in melkzuur. De installatie is modulair van opbouw, en heeft een oppervlakte van 50 m² en een werkvolume van 2.500 liter.

Elke fotobioreactor bestaat uit een serie verticale cultuurbuizen met rookgasinlaten aan de onderkant voor maximale menging. Hoogte en onderlinge afstand van de systemen zijn afgestemd op optimale licht invang. De scheiding tussen biomassa en cultuurvloeistof geschiedt met membranen. Het celmateriaal gaat terug naar de fotobioreactoren zodat een gesloten systeem ontstaat.

Sinds maart 2013 wordt gewerkt aan de optimalisatie van het proces. Dit heeft geleid tot het verkrijgen van economisch interessante concentraties van het eindproduct.

De proeffabriek draait nu goed en inmiddels zijn een commerciële financier (Icos Capital) en andere subsidiebronnen gevonden om het proces verder te ontwikkelen. In 2020 hoopt men volledig commercieel te zijn.

Producten verkregen uit de proeffabriek zijn getest door marktpartijen. Er is gekeken naar mogelijke toepassingen op het gebied van voeding, veevoer, cosmetica, detergents, coatings, olie & gas productie, composieten en polymeren.



Vervolg

De volgende stap is verdergaande optimalisatie van procesontwerp en -voering evenals het aangaan van samenwerkingsverbanden en genereren van financiering voor commercialisatie.

Op korte termijn zal Photanol kostenefficiënte alternatieve productieroutes ontwikkelen voor producten uit geur- en smaakstoffenbranche. Het zal producten afleveren met een constante kwaliteit en aanvoer aan een markt waar beschikbaarheid van grondstoffen tot nu toe sterk varieerde.

Op lange termijn voorziet de 'Photanol benadering' in de kostenefficiënte productie van bulk chemicaliën en brandstoffen, die momenteel in hoge mate afhankelijk zijn van beschikbaarheid van olie en gas.

Info

www.photanol.nl

Gebruikte bronnen

<http://www.photanol.nl> Bezocht 11 april en 7 mei 2014

van Baal, M., 2013. Bioraffinage moet verder op eigen benen. Technisch Weekblad, **40**, pp 6

Grassa!

Partners

- Gras- en Groenvoeders Hoogland Marrum B.V. (Aldtsjerk)
- PMF Machinefabriek Delfzijl B.V. (Delfzijl)
- Beuker Vochtrijke Diervoeders B.V. (Doetinchem)
- Eska Graphic Board B.V. (Hoogezand)
- Sanovations B.V. (Groningen)
- Stichting Courage (Zoetermeer)
- NOM
- LTO Noord

Achtergrond en doel

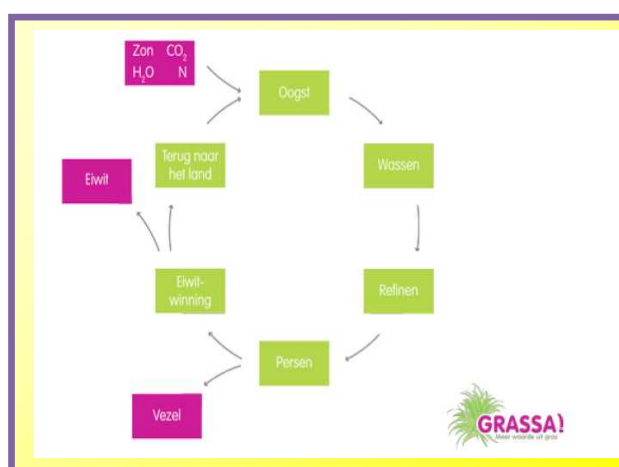
Nederland heeft circa 1 miljoen hectare grasland. Er is dus een enorme hoeveelheid gras. Dit bestaat voor het grootste deel (80/90%) uit water. De vaste stof bestaat uit vele componenten. Sommige hiervan kunnen gemakkelijk kunnen worden gewonnen, andere alleen via een ingewikkeld en duur proces. De belangrijkste producten zijn vezels en eiwit.

Gras wordt vaak niet volledig benut; een deel blijft na de oogst achter op het land. Aan de andere kant neemt de vraag naar plantaardig eiwit toe, evenals de vraag naar natuurlijke vezels. Doel van Grassa! is meerwaarde uit gras te realiseren door de productie van hoogwaardig eiwit en vezels in een mobiel verwerkingsproces.

Naast gras kan ook andere biomassa geraffineerd worden. Zo kan het blad van de suikerbiet verwerkt worden. Buiten het seizoen kan de installatie werken met ingekuild gras.

Aanpak

Een onderzoeksproject moet vragen beantwoorden over de optimalisatie van het raffinageproces en de verwerking en valorisatie van de productstromen. Ook wordt onderzocht welke waardevolle componenten uit het restsap gewonnen kunnen worden. Suikers uit het sap kunnen door bacteriën of gisten worden omgezet in andere verbindingen. Op deze wijze kan bijvoorbeeld melkzuur worden geproduceerd.



In 2006 is begonnen met het testen van een graspers; vers gemaaid gras werd verhakseld en grascellen kapot gemaakt. De gemalen en geperste vezels bleken direct toepasbaar in een papier- en kartonfabriek. Ook bleek het mogelijk eiwitten te verwerken tot hoogwaardig diervoer.

Na de vorming van een consortium ging het project in 2009 officieel van start. De eerste fase stond in het teken van het verzamelen van informatie over de techniek, kwaliteit en gebruiksmogelijkheid van eiwitten en vezels uit gras.

Momenteel wordt onderzocht:

- welk type gras kan worden verwerkt (bijvoorbeeld weide- of natuurgras)
- hoe gras moet worden verwerkt om waardevolle producten (eiwit en vezels) te krijgen
- of deze producten goed toegepast kunnen worden (bijvoorbeeld in diervoeder of karton)
- of het proces economisch rendabel is

Resultaat

De presentatie van een kleinschalige, modulaire mobiele grasraffinaderij in 2011 was een wereldprimeur. Gras wordt gekneusd en vermalen zodat het aanwezige sap kan worden gewonnen waarna de grasvezel overblijft. Verwarming van het sap geeft het eiwit een vaste vorm krijgt zodat het kan worden gescheiden. Het eiwit kan worden toegepast in voeding of soja vervangen in veevoer. De grasvezel kan geschikt worden gemaakt voor gebruik in de karton- en papier industrie.

Door transport van verse biomassa te voorkomen wordt een enorme kostenbesparing gerealiseerd. De productie van een kilo eiwit kost nu slechts één kilowattuur. Er zijn geen afvalstoffen, want er worden geen chemicaliën gebruiken; de restwarmte wordt hergebruikt.

Raffinagestappen

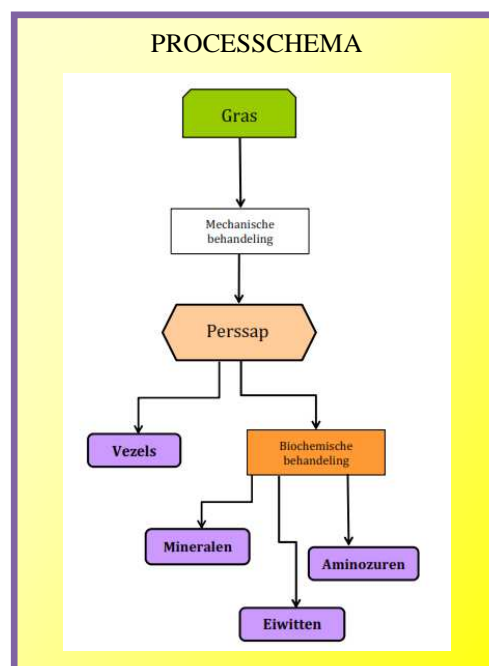
Hoewel de machine, een enorm gevaarte van lopende banden, trechters en stampers, complex oogt, is het raffinageproces niet ingewikkeld. Het omvat de volgende stappen.

Stap 1: Oogst

Gras gaat direct na de oogst de machine in.

Stap 2: Wassen

Vervolgens krijgt het een grondige wasbeurt. Om de machine te beschermen wordt het zand er uit gewassen.



Stap 3: Raffinage

Hierna wordt het gras vermalen door twee schijven die in tegengestelde richting draaien. Dit werkt als een molensteen; het gras wordt gekneusd.

Stap 4: Persen

De ontstane groene grasmassa wordt in een taps toelopende vijzel geperst. Dat levert grasvezels en ook een eiwitrijk grassap op.

Stap 5: Eiwitwinning

Er wordt zuur aan het grassap toegevoegd; de temperatuur wordt nu verhoogd. Dit zorgt ervoor dat het eiwit stolt. Vervolgens wordt het eiwit gescheiden.

Stap 6: Raffinage restsap

Momenteel wordt onderzocht hoe resteiwitten, losse aminozuren, organische zuren en mineralen als fosfor en kalium uit het restsap terug te winnen zijn. Zo krijgt het restsap in de toekomst nog meer toegevoegde waarde.

Vervolg

Naast de raffinage van restsap overwegen de Grassa! partners om de machine jaarrond in te zetten voor de raffinage van bijvoorbeeld suikerbietenblad of loof dat overblijft na de teelt van paprika's en tomaten. De aanpassing van het raffinageproces aan andere grondstoffen vormt een nieuwe uitdaging.

Info

GRASSA!
Hoogland Marrum
Gjalt de Haan,
E: gjaltdehaan@xs4all.nl
T: 058 - 25 61 493

Dit project wordt medegefinancierd door het Europees fonds voor regionale ontwikkeling, door het Ministerie van Economische Zaken, 'Pieken in de Delta' en het 'Samenwerkingsverband Noord Nederland'.

Gebruikte bronnen

Grassa, 2014.
<http://www.grassanederland.nl/>
(Bezocht 15 en 16 april 2014)

Groot Zevert

Partners

- Groot Zevert
- CC Advies
- ForFarmers
- Thecogas

Achtergrond en doel

Eendenkroos is een verzamelnaam voor diverse soorten kleine drijvende waterplanten met een doorsnede tot circa 2 cm. Onder gunstige omstandigheden neemt de hoeveelheid eendenkroos in snel tempo toe (tot circa 50% toename per dag). In voedselrijk water ontstaat daarom vaak een gesloten dekken van verschillende soorten, vooral *Lemna minor*, *Lemna gibba* en *Spirodela polyrrhyza*. Deze soorten kunnen tot 45 procent eiwit bevatten, dat qua samenstelling overeenkomt met dat van soja en andere in veevoer toegepaste eiwitbronnen. Onderzoek heeft aangetoond dat eendenkroos kan worden gevoerd aan vee (runderen, varkens, schapen), pluimvee en vissen.

Eendenkroos groeit goed op een medium met vergiste dierlijke mest (digestaat). Dit bevat veel nutriënten en mineralen, waardoor het mogelijk is om eendenkroos te kweken en te verwerken in veevoer via een korte nutriënten kringloop. Hierdoor kan het soja als eiwitbron in veevoer (deels)vervangen.

Dit concept heeft een aantal aantrekkelijke milieu- en duurzaamheidsvoordelen, zoals:

- vermindering van de kap van tropisch regenwoud voor de aanleg van 'soja-akkers'
- aanzienlijke vermindering van de emissies van CO₂, methaan en lachgas (circa 500 ton CO₂-equivalenten per hectare eendenkroos) en vermindering van de Nederlandse import van nutriënten en mineralen
- verduurzaming van agrarische bedrijfsvoering via de creatie van korte kringloop voor nutriënten, mineralen en CO₂

Aanpak

Groot Zevert Vergisting heeft een lange ervaring met de uitbating van een grootschalige biovergistingsinstallatie. Het werkt samen met Thecogas uit Lochem, gespecialiseerd in ontwerp en realisatie van vergistingsinstallaties gecombineerd met WKK's, met CC Advies uit Ulft, specialist in het ontwikkelen en optimaliseren van kweekmethoden voor aquatische biomassa, en met veevoederfabrikant ForFarmers uit Lochem.

Doel is een systeem te ontwikkelen dat eendenkroos produceert dat als eiwitbron dient in veevoer. De opbrengsten van eendenkroos zijn hoog (circa 17-27 ton droge stof per ha per

jaar). Doordat verschillende functies worden gecombineerd kan eendenkroos de sleutel zijn van een duurzame kringloop voor mineralen en nutriënten.

Het haalbaarheidsonderzoek naar deze toepassing heeft als belangrijke onderzoeksvragen:

- Wat is de potentiële productie en de voedingswaarde van de verschillende soorten eendenkroos gekweekt op een medium met digestaat als bron van nutriënten en mineralen?
- Is eendenkroos veevoedertechisch en bedrijfseconomisch geschikt als eiwitbron in veevoer?
- Is grootschalige teelt van eendenkroos technisch en bedrijfseconomisch haalbaar?

Resultaat

De teelt is opgeschaald van grote labschaal tot kleine praktijschaal. Daarnaast zijn stappen gezet om het te mogen gebruiken als veevoer; waaronder het aanvragen van GMP certificering en het bepalen van de voederwaarde. Een kant en klaar concept is ontwikkeld voor marktintroductie. Dit concept is aantrekkelijk voor nagenoeg alle melkveehouders en varkensboeren, in Nederland en in andere Europese landen.

In vergelijking met soja geeft eendenkroos vermindering van de CO₂ emissies van circa 80 ton CO₂-equivalent per ha. De teelt van een ha eendenkroos in Nederland vermindert de noodzaak van de teelt van soja in Zuid Amerika op circa 6 ha, hetgeen aantasting van het tropisch regenwoud belangrijk kan doen afnemen. De marktkansen voor eendenkroos zijn dan ook bijzonder goed.

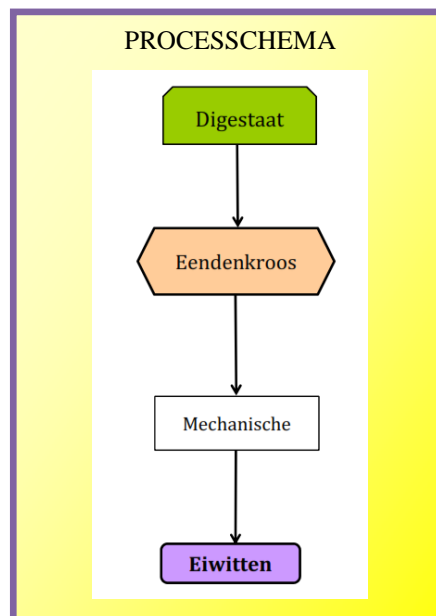
Vervolg

De volgende stap is verdergaande optimalisatie van procesontwerp en -voering evenals het aangaan van samenwerkingsverbanden en genereren van financiering voor commercialisatie.

Info

Arjan Prinsen, Groot Zevert Vergisting
a.prinsen@groot-zevert.nl
06 - 512 491 07

Hayo Canter Cremers, CC Advies
h.cantercremers@chello.nl
06 - 424 263 692



Gebruikte bronnen

<http://www.groot-zevert.nl> Bezocht 7 mei 2014

AquaPro Biobased Waterboxx

Partners

- Groasis B.V.

Achtergrond en doel

De Groasis Waterboxx is een praktisch instrument zonder onderhoudskosten, dat in staat is om het probleem van het planten van bomen in gematigde en dorre gebieden op te lossen en de resultaten hiervan te verbeteren.

De Groasis Technologie is een kopie van hoe Moeder Natuur problemen bij het planten in woestijnen, in geërodeerde gebieden of op onvruchtbare grond en gesteente oplost. De technologie kan helpen woestijnen of door menselijk handelen ontstane geërodeerde gebieden te herbebossen en de vegetatie te herstellen. De geplante bomen leveren hout en fruit, maar ook groenten en struiken met zaden en bessen voor mens en dier.

De Waterboxx is efficiënt met water en zorgt ervoor dat men kan planten in gebieden waar water schaars of duur is.

Aanpak

De Groasis Technologie is geïntroduceerd door AquaPro Holland, dat werd opgericht door uitvinder Pieter Hoff. Hoff, een voormalig leliëkweker, heeft de Waterboxx ontwikkeld. Dit systeem biedt een boomzaadje de gelegenheid onder de meest droge omstandigheden toch wortel te schieten.

Aan de basis staat een doordacht gevormde bak van Rodenburg's bioplastic. Het deksel loopt naar het midden taps toe. Het vocht uit de overdag verwarmde lucht condenseert 's nachts op het deksel, stroomt naar het midden en vormt een voorraad in het reservoir binnen in de bak. Van daaruit wordt het water met behulp van een katoenen draad geleidelijk naar het zaadje gevoerd.

Dat krijgt nu de kans om te ontkiemen en boom uit te groeien. De dikker wordende stam en de vertakkende wortels breken de bak en de aarde neemt de restanten van het bioplastic in de loop der tijd weer op.

Resultaat

De Groasis Technologie wordt commercieel vermarkt. Het gebruik van de Waterboxx kost tussen de 1 à 2 US\$ per aanplant. Op de website staat een keur aan instructies en videomateriaal.

De box wordt inmiddels in meer dan 30 landen gebruikt. Indien de instructies goed worden opgevolgd kan men op elk droog, geërodeerd of rotsachtig gebied planten met een overlevingspercentage van meer dan 90%.

In November 2008 won de Groasis Waterboxx de Bèta Dragons Science Award 2008. Deze wedstrijd is georganiseerd door het Platform Bèta Techniek in samenwerking met het Ministerie van Economische Zaken. De jury was zeer positief over de bijdrage van de Groasis Waterboxx als oplossing voor de ecologische -, klimaat- en armoedeproblematiek.

In mei 2010 werd de Groasis Waterboxx gekozen door Popular Science, Amerika's grootste populairwetenschappelijke tijdschrift met 3 miljoen lezers, als een van de top-10 uitvindingen van 2010.

In november van dat jaar organiseerde Popular Science hun jaarlijkse verkiezing van de "Best of What's New" innovatie. In deze wedstrijd, die 117 producten bevatte van Fortune 500 ondernemingen - inclusief de iPad van Apple en de Ledlamp van Philips, won de Groasis Waterboxx in de categorie "Duurzame uitvindingen". Tevens werd de "Best Of All" prijs in de wacht gesleept.

De Groasis Technologie

De Groasis Waterboxx is geïnspireerd door de werkwijze van Moeder Natuur; deze plant zaait met behulp van vogels of grazende dieren. Dit gebeurt niet in maar OP de grond. De mest fungeert als bedekking waardoor er een capillaire kolom ontstaat (=vochtigheidskolom). Na het ontkiemen van de zaden ontwikkelen deze wortels in de capillaire kolom; op het moment dat ze daar water vinden, ontwikkelen er bladeren waardoor de fotosynthese kan plaatsvinden. Met behulp van deze techniek groeien er bomen op de Rocky Mountains en op de Alpen, die bestaan uit granietsteen en rotsen.

Bomen laten groeien op rotsen of in de woestijn is geen probleem. Het planten en laten ontkiemen – zorgen dat de boom de aanplant-periode overleeft tot het zelf water krijgt via het natuurlijke capillaire water – dat is het probleem. Dit probleem wordt door de Groasis

Waterboxx opgelost. Zoals de natuur zelf is het beide een heel uitgekend doch ook een heel simpel plant concept.

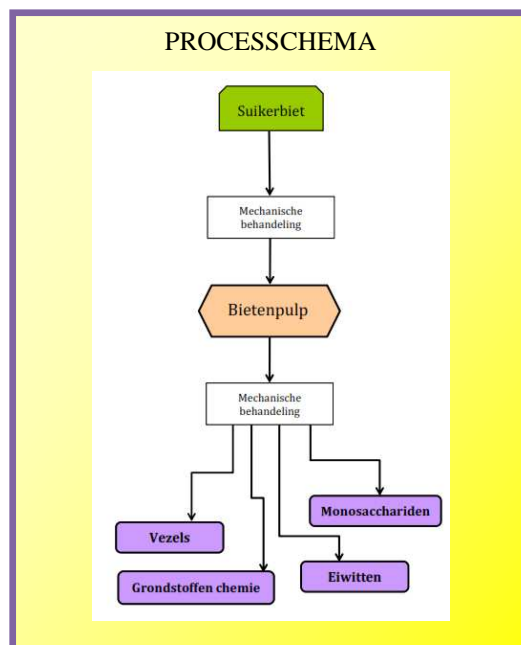
De Groasis Technologie (GT) is een plant techniek, niet een vorm van irrigatie. Gedurende het eerste jaar bespaar je meer dan 90% water in vergelijking met andere methoden. Het is een biomimicry technologie die bestaat uit het:

- verbeteren van de grond met mycorrhiza
- in tact laten van de capillaire structuur
- gebruik maken van planten met de juiste primaire wortel
- gebruiken van de capillaire boor

De Waterboxx wordt geproduceerd met twee verschillende soorten grondstoffen. De *polypropyleen* box is gemaakt van een hoge kwaliteit kunststof die kan overleven in de barre omstandigheden van de woestijn.

Er is ook een bio-afbrekbare versie gemaakt met *Ecopure*. Deze Waterboxx kan worden gebruikt voor één boom. De box produceert eerst water; eenmaal afgebroken produceert ze de nodige voedingsstoffen voor de boom.

Hiernaast is er een bio-afbrekbare watercontainer voor jonge boompjes. De Aquapro voorkomt dat de boompjes verdrogen. Deze container is ontwikkeld uit papierpulp, waaraan additieven zijn toegevoegd om de container water- en vraatbestendig te maken.



Vervolg

De vraag naar goedkope watercontainers voor éénmalig gebruik is groot. De Aquapro is ideaal voor toepassing in openbare gebieden langs wegen en gebouwen, de consumentenmarkt en herstel van aangetaste gebieden zoals geërodeerde berghellingen en verbrande gebieden.

In de komende tijd zal het commercialiseren van de beide uitvoeringen van de Waterboxx verder vorm krijgen. Hiernaast gaat men verder met het experimenteren met de bioafbreekbare uitvoering.

Info

Groasis B.V.
Franseweg 9
4651PV Steenberg
The Netherlands
Tel +31 167 547554

<http://www.groasis.com/nl>
info@groasis.com

Gebruikte bronnen

Groasis. 2014
<http://www.groasis.com/nl> (Bezocht 17 en 18 april 2014)

Agentschap NL, 2013. Bioraffinage en SBIR: kansen verzilveren in de praktijk.

Factsheet Biobased Economy (<http://edepot.wur.nl/292609>)

BIJLAGE 2: ONDERWIJSMATERIAAL EN VIDEO'S

Tabel B.1 geeft een overzicht van beschikbare biobased video's

Titel	Webadres	Overig, opm
BETON Biobased Economy & Technology over biobased verf	http://www.youtube.com/watch?v=Cntvg2vjh1I&index=8&list=PL8FgXeeYklG-VX-cSQrzcdvfkxPq85YCc	NL gesproken. 1:49 minuut
Biobased Economy: vezels uit reststromen	http://www.youtube.com/watch?v=zXeX9qIRpEq&list=PL8FgXeeYklG-VX-cSQrzcdvfkxPq85YCc&index=11	NL gesproken. 2:05 minuut
Agrifood & Biobased Economy in Noord-Nederland	http://www.youtube.com/watch?v=LLzUyUIXDw4&index=16&list=PL8FgXeeYklG-VX-cSQrzcdvfkxPq85YCc	NL gesproken. 7:17 minuut. Breed opgezet
The Bioeconomy starts here! Principes van de bioeconomy	http://www.youtube.com/watch?v=2xvXkOMRTs4	Engels gesproken. Animatie. 1:57 minuten.
Towards a bio-based economy. Breed opgezette introductie tot de biobased economie	http://www.youtube.com/watch?v=hSwnSW5308U	Engels gesproken, ondertiteld. 9:04 minuten.
Zo Kan Het Ook: Biobased economy, provincie Gelderland, part 2	http://www.youtube.com/watch?v=VajWw_8S7ss	NL gesproken. Engels ondertiteld. 5:31. Vooral bouwgerelateerd
Pyrolysis diesel. Introductie pyrolyse techniek om bio-diesel te maken	http://www.youtube.com/watch?v=ZypOjgkrqao	NL gesproken. 3:27 minuten. Techniek van BTG.
Eerste brug van biocomposieten gemaakt in Emmen	http://www.youtube.com/watch?v=EmBJ3vmqzWc	NL gesproken. 1:19 minuten. Nieuwsbericht
Van tomatenstengel naar tomatenverpakking	http://www.youtube.com/watch?v=MyOWWti6IQQ	NL gesproken en ondertiteld. 5:51 minuten. Film.
Cradle Crops: Miscanthus Giganteus (olifantsgras) de teelt	http://www.youtube.com/watch?v=zD6GdWg8jB8	NL ondertiteld. Niet gesproken. 7:00 minuten.
Fischer tropisch synthesis. Technische beschrijving van het proces	http://www.youtube.com/watch?v=qpZWPK4vcEU	Engels gesproken. 5:09 minuten.
Miscanthus Häckseln. Het oogsten van miscanthus	http://www.youtube.com/watch?v=weacGUeCEiU	Niet spoken. 4:19 minuten. Film

Tabel B.2 geeft een overzicht van op het internet beschreven en beschikbare onderwijs-elementen

Titel	Webadres	Overig, opm
Een wereld zonder afval	http://www.coebbe.nl/nieuws/biobased-lessenset-voor-basisscholen-werken-aan-een-wereld-zonder-afval	Mooi vormgegeven, geheel uitgewerkt
Food or Fuel?	http://www.wageningenur.nl/nl/Onderwijs-Opleidingen/Docenten-vwo/Vakken/NLT/NLT-lesmodules/Food-or-Fuel.htm	Beschrijft de productie van bio-ethanol uit agrarisch en ander cellulose afval
Maak zelf bioplastic	http://www.expeditionchemistry.nl/maak-bioplastic/	Eenvoudig
Entering the Bio Based Economy	http://www.aocraad.nl/projecten/en/internationalisation/projects/ http://europea.org/projects/ebbey/	Onduidelijk wanneer dit klaar is. AOC-raad, Ede
Hoe ruik je of iets van aardappelresten is gemaakt?	http://www.de-klik.com/de-klik-onderwijs.php	Les ontwikkeld om meisjes enthousiast te maken voor technische onderwijs en de biobased economy
MOOC Biobased economy	http://www.coebbe.nl/project/centre-of-expertise-biobased-economy-ontwikkelt-eerste-hbo-mooc	Verwacht Februari 2015
Sustainable forestry for bioenergy and bio-based products	http://www.forestbioenergy.net/training-materials/training-curriculum-notebook/BiomassTrainNotebook.pdf	Engelstalig. Goed onderbouwd uitstekend overzicht van bioenergie uit bossen, gericht op de VS.
High School Chemistry Curriculum	http://web.cals.uidaho.edu/biodiesel/high-school-curriculum/ Hele module: http://web.cals.uidaho.edu/biodiesel/files/2013/04/UI-Biodiesel-HS-Curriculum.pdf	Engelstalig. Prachtig, goed gedocumenteerd lessenspakket aansluitend op chemielessen op Amerikaanse high schools.
Ethanol-blended fuels	http://www.ethanolcrossamerica.net/EthanolCurriculum93003.pdf	Engelstalig. Ziet er goed en professioneel uit.
Renewable energy and biodiesel	http://web.cals.uidaho.edu/biodiesel/4-h-curriculum-for-ages-8-12/	Engelstalig. Zeer verzorgd. Ontwikkeld voor de VS, indicatie lager school
Fuel for Thought: Building Energy Awareness in Grades 9-12	http://learningcenter.nsta.org/product_detail.aspx?id=10.2505/9781936959938	Engelstalig. National Science Teachers Association (NSTA).
A Life-Cycle Assessment of Biofuels: Tracing Energy and Carbon Through a Fuel-Production System	-	Engelstalig. 'Walk students through the qualitative part of an LCA.'
AgEnergy Iowa	http://agenergyia.org/about/ http://agenergyia.org/modules/	Gratis Engelstalig curriculum, 15 modules. Syllabus, handouts voor studenten, en opdrachten
Mini fermenter	https://www.glbrc.org/education/classroom-materials#qlca	In het Engels. 10 p. Instructies en beschrijving van materialen. High School through Undergraduate (9-16)
The Bioenergy Farm Game	https://www.glbrc.org/education/classroom-materials#qlca	Engelstalig. Prachtig uitgewerkt bordspel. 'Players take on the role of bioenergy crop farmers trying to earn a living while try-

		ing to be good environmental stewards.' Middle School through Undergraduate.
Converting cellulosic biomass to ethanol.	https://www.glbrc.org/education/classroom-materials#qlca	In het Engels. 24 p. Uitgebreide instructies. High School through Undergraduate (9-16)
Fermentation Challenge: Making Ethanol from Cellulose	https://www.glbrc.org/education/classroom-materials#qlca	Engelstalig. 15 p. Uitgebreide instructies. High School through Undergraduate (9-16)
Massive open online course 'Technology for Biobased Products'.	By BE-Basic and TU Delft.	Engelstalig. Eerste les begonnen op 27 Oktober 2014.
Bioethanol - Herstellung und Anwendungen	http://www.lehrer-online.de/bioethanol.php	Duitstalig. Zip-file met materialen. Goed gedocumenteerd en van pedagogisch commentaar voorzien