

Waterplanten maaien, conserveren en verwerken

Gerard ter Heerdt

Met medewerking van:

Jos Mense (Waternet)

Henk den Hartog (Hartstocht)

Mark Nijman (Waternet)

Marcel Zandvoort (Waternet)

Arnaud Duine (Opure)

Karel van Houwelingen (Veenweide Innovatie Centrum)

Jan Pels (ECN)

Dirk Jan Vos (Danvos)

Rob Vasbinder (Nettenergy)

Peter Beemsterboer (Waternet)

en tientallen collega's die hielpen met meedenken, oogsten, transporteren,
verwerken, bemonsteren, analyseren en boekhouden.

Korte Ouderkerkerdijk 7
Amsterdam
Postbus 94370
1090 GJ Amsterdam
T 0900 93 94 (20 cent per gesprek,
plus uw gebruikelijke belkosten)
F 020 608 39 00
KvK 41216593

www.waternet.nl

20 november 2014

Colofon

Opdrachtgever

Sector	Drinkwater
Afdeling	Bron & Natuurbeheer
Projectleider	Petra Nelissen
Projectnummer	00.7647 / 00.9222

Opdrachtnemer

Sector	Techniek, Onderzoek en Projecten
Afdeling	Onderzoek en Advies
Projectleider	Gerard ter Heerdt
Kwaliteitsborger	Renske Diek
Projectnummer	00.7647 / 00.9222

Rapport

Rapporteur	Gerard ter Heerdt
Versie	1
Rapportnummer	14.123373

Inhoud

Samenvatting	9
1 Inleiding	10
1.1 Aanleiding voor het onderzoek	10
1.2 Maaitechnieken voor het grootschalig maaien van waterplanten	11
1.3 Tijdstip, hoeveelheid en frequentie	11
1.4 Transport en conservering	12
1.5 Duurzame verwerking	13
1.5.1 Storten en laten vergaan	13
1.5.2 Vergisten tot biogas	13
1.5.3 Persen tot vaste brandstof	14
1.5.4 Veevoer	16
2 Onderzoeken en resultaten	17
2.1 Maaitechnieken	17
2.2 Tijdstip, frequentie, diepte en te maaien oppervlakte	19
2.3 Transport en conservering	20
2.3.1 Vers materiaal	20
2.3.2 Hakselen	23
2.3.3 Persen en inkuilen vers materiaal	24
2.3.4 Drogen, balen persen en inkuilen	26
2.3.5 Aanvullende kuilproeven met verschillende additieven	31
2.4 Duurzame verwerking	32
2.4.1 Storten en laten vergaan	32
2.4.2 Vergisten	35
2.4.3 Verwerken tot brandstofpellets	38
2.4.4 Pyrolyse	42
2.4.5 Veevoer vers en ingekuild	42
3 Discussie en conclusies	46
3.1 Maaitechnieken	46
3.2 Tijdstip, hoogte en hoeveelheid	46
3.3 Transport en conservering	46
3.3.1 Verse planten	46
3.3.2 Drogen en persen	46
3.4 Duurzame verwerking	47
3.4.1 Storten	47
3.4.2 Inkuilen en vergisten	47
3.4.3 Verwerken tot pellets	48
3.4.4 Pyrolyse	49
3.4.5 Veevoer	49
3.5 De bron van kalk en silicium	49
3.6 Toekomstperspectief	50
4 Bijlagen	50
5 Literatuur	51

Voorwoord

In 2010 kreeg de omgeving van de Loenderveense Plas te maken met waterplantenoverlast. Grote hoeveelheden aangespoelde planten lagen te stinken tegen de oever en niemand wist daar een oplossing voor. Dat vroeg om een plan: hoe krijgen we die grote hoeveelheid waterplanten uit het water en vooral, hoe transporteren en verwerken we die kostenefficiënt en duurzaam? Een groep ervaringsdeskundigen uit de wereld van beheer en onderhoud, afvalverwerking, landbouw, transport en ecologie ging ermee aan de slag. Begin 2012 lag er het projectplan "Maaien van waterplanten in plassen en verwerking maaisel tot bio-energie". De provincie Noord-Holland riep de "Uitvoeringsregeling bio-energie uit landschapsbeheer" in het leven en met de financiering uit dat fonds kon het project worden uitgevoerd.

In 2012 bleek hoe onvoorspelbaar de natuur kan zijn. In de Loenderveense Plas waren onvoldoende planten om daarmee op praktijkschaal te experimenteren. De uitvoering van het project werd verschoven naar 2013. Wel kon het, Energieonderzoek Centrum Nederland op kleine schaal experimenteren met brandstofproductie via het TORWASH-proces. Eind 2012 bleek voor andere beheerders met waterplantenoverlast, met name Rijkswaterstaat, al wel duidelijk te zijn op welke wijze, waar en wanneer moest worden gemaaid. Maar de vraag op welke manier de planten konden worden getransporteerd en verwerkt was actueler dan ooit. Dus verschoof het accent nog meer naar de productie van bio-energie en veevoer uit waterplanten.

In 2013 bevatte de Loenderveense Plas weer niet genoeg planten, maar in het Gooimeer en Eemmeer waren er meer dan genoeg. De firma Mobarn ging daar maaien en Waternet kreeg de planten om ze te verwerken. De firma Hartstocht verwerkte de planten alsof het gras was. Adviesbureau Opure en proefboerderij Zegveld bepaalden de kwaliteit van de diverse producten.

Het resultaat van de gezamenlijke inspanningen wordt beschreven in dit rapport. De verwerkingsmethoden variëren van hoogst experimenteel tot bijna pasklaar. Het rapport bevat bovendien veel informatie over het "gedrag" en de samenstelling van waterplanten en over het oogsten en verwerken ervan. We publiceren het met trots, in de verwachting dat het een bijdrage levert aan de vermindering van overlast door waterplanten en aan een duurzaam gebruik ervan.

Namens het projectteam,
Gerard ter Heerdt

Samenvatting

Dit rapport beschrijft een ontdekkingsstocht in de wereld van het maaien van waterplanten in meren en plassen. Gezocht is naar methoden om waterplanten in plassen efficiënt te maaien en de regels die daarbij gelden. Daarnaast is gezocht naar methoden om het maaisel te benutten voor de productie van energie of veevoer. Daarvoor zijn diverse methoden op praktijk- of laboratoriumschaal getest.

Goede maaitechnieken blijken tegenwoordig voor elk type water te bestaan. Maai-
boten zijn in alle soorten en maten voorhanden. Ook zijn er voldoende regels en
voorschriften om op een effectieve en natuurvriendelijke manier te maaien.

Het probleem dat waterplanten veel water en lucht bevatten en snel gaan rotten
blijkt oplosbaar. De waterplanten kunnen eenvoudig op grasland worden verspreid
en dan worden gedroogd als kuilgras. Na een of meerdere keren schudden, kun-
nen de gedroogde planten tot de gangbare kuilvoerbalen worden geperst en in
plastic worden verpakt. Door uitsluiting van zuurstof conserveren melkzuurbacte-
riën de geperste planten. De balen zijn licht, bijna onbeperkt houdbaar, goed te
transporteren en bevatten alle mineralen en energie van de waterplanten. Drogen
en het persen van balen zijn in de melkveehouderij gangbare technieken. En melk-
veehouderijen zijn er volop. Mogelijk is drogen en balen persen zelfs goedkoper
dan composteren.

De conservering en verhoging van het gehalte organische stof brengt de productie
van biogas een stap dichterbij. Een ton gedroogde waterplanten kan € 90 aan
groen gas opleveren. Daar gaan dan nog wel de verwerkingskosten vanaf. De
verwerking tot biogas moet nog verder worden uitprobeerde, bij voorkeur op
praktijkschaal. Mogelijk komen ook andere vormen van het gebruik van water-
planten als brandstof in zicht, zoals het persen van brandstofpellets met het
TORWASH-procedé. Maar ook hiervoor is nog meer onderzoek en ontwikkeling
nodig. Duidelijk is wel dat voor een efficiënte winning van energie grote hoeveel-
heden planten beschikbaar moeten zijn.

De verwerking van waterplanten tot veevoer heeft weinig toekomst. De voeder-
waarde is te gering en op de markt zijn veel alternatieven. Alleen als het persen
van balen inderdaad goedkoper is dan composteren en als veehouders het product
willen afnemen, komt de toepassing als veevoer in beeld.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding voor het onderzoek

In de vorige eeuw heeft de watervervuiling in Nederland geleid tot algenbloeien in meren en plassen, waarbij de ondergedoken waterplanten grotendeels zijn verdwenen (Gulati en van Donk 2002). De afgelopen decennia is hard gewerkt aan het herstel van de kwaliteit van het oppervlaktewater (Lamers 2009), en met succes. Het water wordt weer schoner en helderder (Pot 2010; Specken en de Groot 2010; van Puijenbroek *et al.* 2014) en de waterplanten keren weer terug (Lamers *et al.* 2012).

Dat succes heeft echter ook een keerzijde. Doordat de bodem en vaak ook het water nog erg voedselrijk zijn, kunnen de waterplanten hard gaan groeien (Lamers *et al.* 2012). Als ze hoge dichtheden bereiken en/of doorgroeien tot dicht onder het wateroppervlak levert dat overlast op voor de recreatievaart en voor zwimmers. De afgelopen jaren zijn daarover veel publicaties in de pers verschenen. Door maaien en afvoeren kan de overlast worden beperkt (Bloemendaal en Roelofs 1988; Zant *et al.* 1999; Lamers *et al.* 2012; RWS IJsselmeergebied 2012).

Als waterplanten in meren gaan woekeren, gebeurt dat al snel over een oppervlakte van tientallen hectaren of meer en tot waterdiepten van 2 à 5 meter. Dit volume moet niet alleen worden gemaaid. Het maaisel moet ook meteen worden afgevoerd om stankoverlast, schade voor scheepvaart, recreatie en natuur en een achteruitgang van de waterkwaliteit te voorkomen (de Haan *et al.* 2012). De hoeveelheden waterplanten kunnen oplopen tot 5 ton drooggewicht/50 ton natgewicht per hectare (Bakker *et al.* 2010; Pot en ter Heerdt 2014).

De ervaringen in meren waar de afgelopen jaren planten zijn gemaaid (Loenderveensche Plas Oost, Randmeren, Bovenwater, Oldambtmeer, etc.), leren dat het maaien van grote oppervlakten een omvangrijke en kostbare operatie kan zijn. Voordat daartoe wordt overgegaan, moeten de volgende praktische vragen worden beantwoord:

- Welke maaitechniek is het geschiktst voor het grootschalig maaien van waterplanten in plassen en meren?
- Wanneer kan het best worden gemaaid? Welke hoeveelheden moeten worden verwijderd? Wat is de ideale maaifrequentie?
- Hoe kan het maaisel het best worden getransporteerd, opgeslagen en/of geconserveerd?
- Hoe kan het maaisel het best worden verwerkt tot nuttige producten als energie of veevoer?

Het hier beschreven project probeert op deze vier vragen een antwoord te geven op basis van literatuuronderzoek en een middelgrote pilot/praktijkproef. De resultaten zijn vooral gericht op meren en plassen, maar zijn (deels) ook van toepassing op sloten en kanalen waaruit bij het onderhoud grote hoeveelheden waterplantenmaaisel vrijkomen (STOWA 2003; Steketee *et al.* 2005).

1.2 Maaitechnieken voor het grootschalig maaien van waterplanten

Het gaat in dit onderzoek om ondergedoken waterplanten in het open water van meren en plassen (waterpest, doorgroeid fonteinkruid, etc.), niet om oeverplanten (riet, lisdodde, biezen, etc.) en drijfbladplanten (gele plomp en waterlelie). Maaien vanaf de wal is dus géén optie. Met een boot moet worden gemaaid. Tot 2012 werden waterplanten in plassen en meren meestal gemaaid met maaiboten met een sleepmes of maaibalk. In de randmeren wordt ook wel de maaikor ingezet (www.helpdeskwater.nl). De kosten van deze technieken zijn echter hoog, vooral door de geringe omvang van de maaiboten en het grote aantal dat daarom nodig is voor het maaien van tientallen hectaren (www.helpdeskwater.nl, Arcadis 2008). Bovendien moet een tweede groep boten het losse maaisel opruimen. Ter illustratie: in het Bovenwater (100 hectare) werden op het hoogtepunt van de vegetatieontwikkeling één grote maaiboot, drie kleine maaiboten en een schepboot ingezet (Arcadis 2008). Met deze inspanning bleef het water bevaarbaar, maar aanspoelende planten leverden overlast en schade op aan de oevervegetatie (Arcadis 2011).

Op basis van de ervaringen blijkt de capaciteit van de standaard-maaiboten te gering te zijn voor grotere oppervlakten zoals meren. Veel maaisel blijft achter, ondanks het “vegen”, en veroorzaakt problemen. Daarom wordt gezocht naar een efficiëntere en kosteneffectievere techniek, met de volgende specificaties:

- varend
- met vingerbalk, knippend, ruim boven de bodem
- met een systeem om maaisel meteen af te voeren
- met voldoende opslagruimte en mogelijkheden om zelfstandig te lossen
- werkbaar tot windkracht 5 bft
- over de weg te vervoeren
- tewaterlating vanaf een eenvoudige loswal.

1.3 Tijdstip, hoeveelheid en frequentie

Vroegtijdig maaien kan gunstig zijn. Er is nog geen overlast en het gaat om weinig materiaal. Het risico bestaat dat vanwege hergroei nog eens moet worden gemaaid. Maaien op een later tijdstip kan dat voorkomen. Wel moet tijdig worden gemaaid: vóór het vaarseizoen en/of voordat problemen ontstaan met de waterhuishouding. Gezocht wordt naar een zodanig tijdstip dat één keer maaien voldoende is. Het tijdstip waarop wordt gemaaid moet ook voldoen aan de natuurwetgeving.

Het maaien moet een reden hebben, de recreatievaart, maar moet ook voldoen aan de doelstellingen van de natuurwetgeving. Omdat de reden en de doelstelling (deels) tegengesteld kunnen zijn, moet worden gezocht naar een optimum. De maaidiepte moet zodanig zijn dat de recreatievaart geen hinder ondervindt, dat wordt voldaan aan de natuurwetgeving (niet altijd alles verwijderen) en de hergroei beperkt blijft. Ook hierbij wordt gezocht naar een optimum.

1.4 Transport en conservering

De hoeveelheid waterplanten die in meren overlast kan veroorzaken, kan bijzonder groot zijn (Figuur 1). In 2010 kwam in de Loenderveensche Plas Oost minimaal 7.500 tot mogelijk 25.000 m³ waterpest vrij. Om die hoeveelheid af te voeren zouden minimaal 375 ritten van € 100 à 200 nodig zijn geweest. Waterplanten zijn erg nat en los van structuur. Ze bevatten vooral uit water en lucht. Dat maakt het transport inefficiënt. Daarom is het wenselijk over methoden te beschikken om de waterplanten te ontwateren en te comprimeren.

Figuur 1: Een bult van 300 m³. Hoe verwerken we 25 van die bulten?



De waterplanten die op hopen langs de Loenderveensche Plas bleven liggen, bleken zeer snel te gaan rotten en stinken. Daarom is het vinden van een manier om ze te conserveren ook bijzonder wenselijk.

Een brainstormgroep binnen Waternet kwam met de volgende suggesties:

- Hakselen. In de landbouw is dit zeer gangbaar, bijvoorbeeld voor mais. Het volume neemt af, het vochtgehalte niet. Het materiaal is beter te transporteren.
- Inkuilen in kuilvoerbalen, zoals gebruikelijk is in de melkveehouderij. Het gewas wordt aan de lucht gedroogd, in een baal geperst en luchtdicht in plastic verpakt. Door het drogen en persen neemt het volume sterk af. In de kuilvoerbaal treedt vervolgens melkzuurgisting op, waardoor de planten goed worden geconserveerd en bijna onbeperkt houdbaar zijn. Het gaat hierbij om een gangbare techniek. De methode is eerder, met succes, toegepast op eendenkroos (Hoving *et al.* 2011). Mogelijk is het persen van balen zonder voordrogen een alternatief. Het scheelt werk, maar water wordt niet verwijderd.
- Onder hoge druk en temperatuur tot pellets persen. Het gaat om een innovatieve techniek, TORWASH, waarmee ECN aan het experimenteren is. De planten worden gemalen tot een slurry, die onder hoge druk en temperatuur wordt uitgeperst. Hiervoor bestaat nog geen mobiele apparatuur. De slurry moet naar

de installatie, maar is efficiënter te vervoeren dan verse, losse planten. De droge pellets zijn onbeperkt houdbaar.

1.5 Duurzame verwerking

Behalve water bevatten waterplanten ook veel energie en voedingsstoffen (Steketee *et al.* 2005; Escobar *et al.* 2011). In Nederland is het gebruikelijk dat kleine hoeveelheden gemaaide planten op de oever worden gestort en daar vergaan, zodat energie en voedingsstoffen dan niet worden benut. Grotere hoeveelheden worden naar een composteringsbedrijf gebracht. Dat is wel een duurzame methode, maar mogelijk kan er nog meer uit worden gehaald. In dit project wordt onderzocht of de productie van bio-energie door vergisten of verbranden (Steketee *et al.* 2005; Escobar *et al.* 2011) of het verwerken tot veevoer (Holshof *et al.* 2009) realistische alternatieven zijn voor composteren. De volgende verwerkingsmethoden zijn uitgetoetst en met elkaar vergeleken:

- storten en laten vergaan / simulatie van composteren
- vergisten tot biogas
- persen tot vaste brandstof
- veevoer.

1.5.1 Storten en laten vergaan

Kleine hoeveelheden waterplanten, tot enkele kubieke meters, worden vaak op een bult gestort, waar ze dan weggroten. Dit is de minst duurzame manier van verwerken. Energie en voedingsstoffen worden niet benut. De methode is wel goedkoop. Het lekverlies naar bodem en oppervlaktewater wordt gezien als groot potentieel probleem vormt de belangrijkste reden om deze "verwerkingsmethode" niet op grote schaal toe te passen.

Grote hoeveelheden waterplanten worden niet altijd direct afgevoerd. Vaak laat men ze enkele dagen liggen, met als argument dat ze dan "uitlekken" en dat het volume afneemt. Logistieke problemen kunnen er ook toe leiden dat de planten een paar dagen worden opgespaard. In dergelijke bulten tredt snel broei op. Vermoed wordt dat binnen enkele dagen ook veel vocht uit de bulten lekt en energie-inhoud en nutriënten verloren gaan. Eenvoudige composteringsmethodes komen er vaak op neer dat de planten een tijd op een bult liggen en periodiek worden omgezet tot een goed eindproduct wordt verkregen. Dat gebeurt op een water-ondoorlatende vloer, waarbij het weglekkende vocht in goten wordt opgevangen en wordt afgevoerd naar een zuivering. De volgende vragen zijn onderzocht:

- Hoeveel vocht lekt uit de bult?
- Wat is de samenstelling van het lekvocht?
- Wat is de volumereductie van de bult?
- Hoe verandert de energiewaarde van de bult?
- Hoe verandert de hoeveelheid nutriënten in de bult?

1.5.2 Vergisten tot biogas

Om efficiënt te kunnen worden vergist moet het materiaal aan een aantal voorwaarden voldoen (zie Steketee *et al.* 2005). In de eerste plaats moet het schoon zijn en geen drijfvuil of zand bevatten. Waarschijnlijk is dat bij maaien in plassen het geval, aangezien in open water weinig drijfvuil ligt en ruim boven de bodem wordt gemaaid. In de tweede plaats moet het materiaal weinig houtig

materiaal bevatten, zoals het geval is bij waterplanten. In de derde plaats zijn het drogestofgehalte en het gehalte organische stof van belang. Dat is bepalend voor de energie-inhoud, maar ook voor het type vergister dat kan worden ingezet. Mestvergistingsinstallaties vragen om een laag drogestofgehalte. In een vergistingsinstallatie voor steekvast afval is een hoger drogestofgehalte van belang. Het restproduct na vergisting, digestaat, wordt in de regel afgezet als compost. De gehalten aan nutriënten (veel is positief) en zware metalen (veel is negatief) bepalen de afzetbaarheid en de waarde van de compost. Op de volgende vragen is in dit onderzoek een antwoord gezocht:

- Is het materiaal schoon genoeg?
- Wat is het drogestofgehalte?
- Wat is het organische-stofgehalte?
- Wat is de energie-inhoud?
- Wat is de nutriëntensamenstelling?
- Wat is het gehalte aan (zware) metalen?

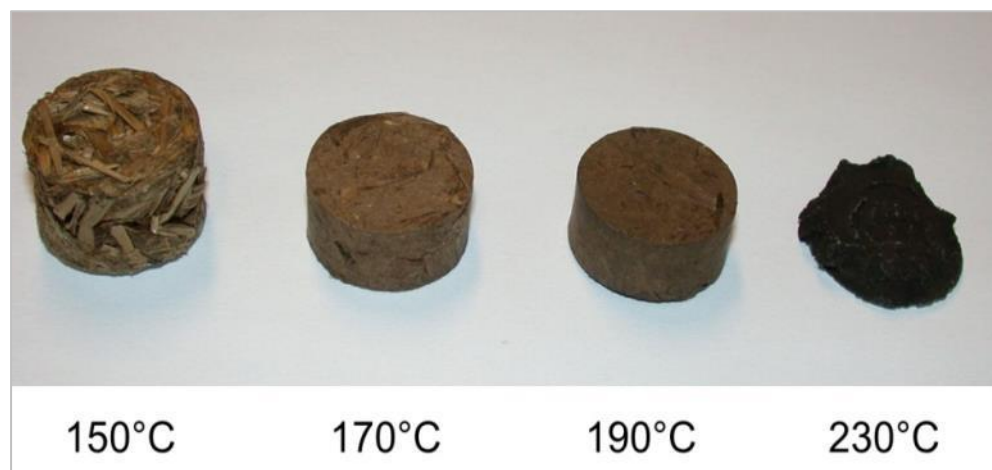
1.5.3 Persen tot vaste brandstof

In theorie kan in bestaande kolen- en bio-energiecentrales met waterplanten worden gestookt (Steketee *et al.* 2005). Ter voorkoming van corrosie is daarbij een voorwaarde dat het chloride-gehalte niet te hoog is. Om problemen met de as te voorkomen mag het gehalte aardalkalimetalen niet te hoog zijn. Het materiaal moet droog, voldoende verkleind en van constante kwaliteit zijn. Pelletisering is een optie om aan deze voorwaarden te voldoen.

TORWASH-pellets

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN, www.ecn.nl) heeft een technologie ontwikkeld – TORWASH – voor het opwerken van natte planten tot brandstof. Om zand en chloride te verwijderen wordt het materiaal eerst gewassen. Daarna wordt het fijn gemalen tot een slurry. Deze wordt onder hoge druk verhit. Daarbij wordt de structuur van de planten gedeeltelijk afgebroken, waardoor de veerkracht afneemt. Dat wordt “torrefactie” genoemd (van het Franse “torrefier”, wat roosteren, van bijvoorbeeld koffiebonen, betekent). De combinatie van torrefactie en wassen (in het Engels) is TORWASH. Het zo bewerkte materiaal kan vervolgens goed worden uitgeperst tot droge pellets (Figuur 2).

Figuur 2: TORWASH-pellets; de optimale temperatuur is 190°C



Daarbij komt lekwater vrij. In dit onderzoek is het TORWASH-proces getest op waterplanten . Daarbij zijn de volgende vragen beantwoord:

- Kan een goede slurry worden gemalen en wat is daarbij de volumereductie?
- Zijn er pellets van te persen. Wat is daarbij de volumereductie en het vochtgehalte? Wat is de samenstelling van het perssap?
- Wat is de verbrandingswaarde van de pellets?
- Wat zijn de gehalten as, aardalkalimetalen en chloride?

Standaardpellets

In de handel zijn standaard-pelleteermachines om van plantaardig materiaal pellets te persen. Deze pellets zijn goed te hanteren en op te slaan en zouden kunnen dienen als zowel brandstof als veevoer. Om na te gaan of het gedroogde materiaal met deze machines kan worden verwerkt is een kleine praktijkproef uitgevoerd. De belangrijkste vraag was of het technisch mogelijk is.

Pyrolyse

Pyrolyse is het thermisch "kraken" van biomassa in afwezigheid van zuurstof. Bij een temperatuur boven 300°C valt de biomassa uiteen in kleinere moleculen. Pyrolyse gebeurt vaak bij atmosferische druk. Bij snelle pyrolyse, waarbij de biomassa kort in de reactor blijft, ontstaan drie productstromen: een vaste stof (as en kool), een vloeistof (olie met water) en een brandbaar gas. Vaak wordt de kool en/of het gas gebruikt voor het verhitten van de biomassa. De olie vormt dan het goed bruikbare eindproduct.

Nettenergy (<http://www.nettenergy.com>) heeft zijn eigen pyrolysetechnologie ontwikkeld: PyroFlash. PyroFlash onderscheidt zich doordat het meerdere vloeibare fracties simultaan kan produceren: een droge olie, een natte olie en een aparte waterfase. Verder kan de PyroFlash-technologie mobiel worden ingezet (Figuur 3), zodat de omzetting naar nieuwe producten ter plaatse kan worden gerealiseerd.

Figuur 3: De pyrolysemachine komt naar de productieplek van de biomassa



Biomassa heeft als samenstelling altijd drie hoofdcomponenten: lignine, hemicellulose en cellulose. De lignine zorgt voor aromatische componenten in de olie en de cellulose voor suikergelateerde componenten. Omdat de concentratie lignine in waterplanten laag is, worden weinig aromatische componenten verwacht.

1.5.4 Veevoer

Zoals alle planten bevatten waterplanten koolhydraten, eiwitten en mineralen. Theoretisch zijn ze te gebruiken als veevoer. Eendenkroos is hiervoor geschikt gebleken (Holshof *et al.* 2009). Voor de beoordeling is van belang:

- de verteerbaarheid
- het eiwitgehalte
- het gehalte organische stof
- het gehalte mineralen en zware metalen.

Zie Korevaar (1986) en Nele (2006).

2 Onderzoeken en resultaten

2.1 Maaitechnieken

Onderzoek

Oorspronkelijk was het de bedoeling om in de Loenderveense Plas Oost meerdere maaitechnieken uit te proberen. In 2013 bleek dat dit project door de praktijk was ingehaald : op verschillende plaatsen in het land met grootschalige waterplantenoverlast waren de kleine maaiboten vervangen door grote maaiverzamelboten, zoals in de Randmeren, het Oldambtmeer, het Bovenwater en het Oranjekanaal. Informatie over deze maaitechnieken is verzameld op het internet.

Resultaten

De maaiverzamelboten die tegenwoordig in meren worden toegepast hebben een zeer brede, u-vormige maaibalk van circa drie meter. De diepte waarop gemaaid wordt –tot 2,5 meter – is goed instelbaar. Deze boten zijn ontworpen om veilig te werken op grootschalig open water. De gemaaide planten komen op een lopende band en worden direct in het ruim gestort. Zo komen geen planten in het water terecht. Vanuit het ruim kunnen de planten met een kraan of lopende band in een container of beunbak worden gelost.

In het Oldambtmeer en het Bovenwater werd eerst gewerkt met de “klassieke”, kleine, maaiboten. Dit bleek kostbaar te zijn (veel personeel) en niet effectief (het maaisel drijft alle kanten op). De grote maaiverzamelboten zijn kostenefficiënter dan de “klassieke” maaiboten. Ze kunnen via de weg worden getransporteerd, maar moeten door hun omvang met een kraan te water worden gelaten.

Diverse aannemers werken met verzamelboten van het merk “Conver” (Figuur 4). *De MC105-10 wordt op verschillende meren ingezet, onder andere in het Bovenwater en het Oldambtmeer.* Zie www.conver.com.

Figuur 4: De MC105-10 (foto Conver)



Sommige aannemers hebben hun eigen maaiverzamelboot ontworpen en gebouwd. Ze verschillen in details, maar werken volgens hetzelfde principe.

De firma Mobarn zet de Mobi5000 (Figuur 5) in op de randmeren (zie www.mobarn.nl).

Figuur 5: De Mobi5000 (Foto Mobarn)



Ook de firma Vertisol heeft een maaiverzamelboot ontwikkeld (Figuur 6), die in verschillende meren en kanalen in het land is ingezet (zie www.vertisol.nl).

Figuur 6: De maaiverzamelboot van Vertisol (foto waterschap Velt en Vecht)



Voor de specificaties van deze grote maaiverzamelboten wordt verwezen naar de leveranciers. Het is niet onmogelijk dat behalve de genoemde drie nog meer maaiverzamelboten in de markt zijn. In kleinschalige wateren kunnen kleinere maaiverzamelboten worden ingezet. Conver en Mobarn hebben ook deze in hun assortiment. Als het niet anders kan zal een klassieke maaiboot met maibalk moeten worden ingezet. Deze is alom verkrijgbaar (de Haan *et al.* 2012).

In ondiep water moet worden voorkomen dat de bootschroef bodemmateriaal opwerfelt, wat kan leiden tot ernstige vertroebeling en zuurstofloosheid. Om dezelfde reden is het gebruik van het sleepmes onwenselijk, al kan dit desnoods worden gebruikt op harde zandbodems, zoals in het Oldambtmeer (Veeningen 1985, ter Stege en Pot 1991, de Haan *et al.* 2012).

In grootschalig water met een ijle begroeiing is een vissersboot met een maaikor (Figuur 7) goed bruikbaar (de Haan *et al.* 2012).

Figuur 7: De maaikor (foto Rijkswaterstaat IJsselmeergebied)



Conclusie: Voor het maaien in meren en plassen is een ruime variatie aan goede technieken beschikbaar.

2.2 Tijdstip, frequentie, diepte en te maaien oppervlakte

Onderzoek

Dit deel van het project bestond uit een literatuuronderzoek. In verschillende meren, zoals Oldambtmeer, Bovenwater en de Randmeren, wordt op grote schaal gemaaid. Daarbij is de nodige kennis over maaidatum, maafrequentie en maai-diepte/hoogte boven de bodem al aanwezig. Belangrijke criteria zijn de effectiviteit van het verwijderen, de kosten en de randvoorwaarden voor natuur en milieu.

Resultaten

- **Maaidatum:** Aanbevolen wordt om in de rijkswateren niet vóór 1 juli te maaien. Soorten zoals doorgroeid fonteinkruid, die niet erg snel groeien, blijven dan tot het eind van het seizoen kort genoeg. Als eerder wordt gemaaid, hebben de planten de tijd om zich te herstellen en ontstaat in augustus of september opnieuw overlast. Maaien in het broedseizoen kan schadelijk zijn voor de vogelstand, doordat vogels die in het open water voedsel voor hun jongen zoeken worden verstoord. Als na een zeer warm en zonnig voorjaar de waterplantenoverlast vroeg op gang komt, kan al in juni worden gemaaid (RWS IJsselmeergebied 2012, De Haan *et al.* 2012).
- **Maafrequentie:** Als niet te vroeg wordt gemaaid zal eenmaal per jaar voldoende zijn. Een uitzondering vormt het maaien van woekerende soorten zoals waterpest, Cabomba en enkele uitheemse vederkruiden. Die groeien zo snel dat een tweede keer maaien nodig kan zijn (RWS IJsselmeergebied 2012, De Haan *et al.* 2012).
- **Maaidiepte:** Bij het maaien moet op voldoende hoogte boven de bodem worden gebleven. Daarvoor zijn verschillende redenen. In de eerste plaats moet worden

voorkomen dat de bodem wordt opgewerveld. Zeker in kleinschalig water kan opwerveling leiden tot vertroebeling en vissterfte. In en op de bodem leven vele dieren, zoals mosselen, die een belangrijke rol spelen in het ecosysteem. De bodem mag dus niet worden geraakt en de planten mogen niet direct boven de bodem worden afgemaaid (van Geest en Noordhuis 2014). Aanbevolen wordt om in de rijkswateren minstens 60 cm vegetatie te laten staan (RWS IJsselmeergebied 2012, De Haan *et al.* 2012). Daardoor blijven de kranswieren gespaard en wordt hun ontwikkeling zelfs gestimuleerd. Dat dit werkt blijkt uit de ervaringen in het Bovenwater (Arcadis 2008, 2011). Om de opgroeigebieden voor vis niet te schaden wordt voor het IJsselmeergebied geadviseerd om niet te maaien in water dat ondieper is dan twee meter (van Geest en Noordhuis 2014). In ondiepe laagveenplassen is die diepte niet realistisch. Geadviseerd wordt om daar grote delen van de randzone (een oppervlakte van minimaal 50%) niet te maaien (ter Heerdt 2014).

- *Te maaien oppervlakte:* Het bepalen van de te maaien oppervlakte zal vaak neerkomen op maatwerk, waarbij een balans moet worden gevonden tussen de wens om te maaien en de wens om waterplanten te stimuleren of te behouden. Daarbij zijn de kosten mogelijk doorslaggevend. Grotere wateren betreffen meestal een waterlichaam, dat valt onder de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW). Dat betekent dat een vastgestelde minimale oppervlakte bedekt moet zijn met waterplanten. Het maaien mag die oppervlakte niet in gevaar brengen. Voor rijkswateren wordt geadviseerd om niet meer dan 10% van de oppervlakte te maaien (RWS IJsselmeergebied 2012). Maatwerk is echter altijd mogelijk. Afhankelijk van de bedekking van het gehele waterlichaam en de noodzaak om veel te maaien zou meer dan 10% kunnen worden gemaaid, als er maar voldoende overblijft voor het behalen van de KRW-doelstellingen. Dat vraagt wel om coördinatie. Als de één het totale quotum heeft gemaaid, kan de ander niet meer maaien (De Haan *et al.* 2012).

Daarnaast vallen diverse wateren onder de Natura 2000-doelstelling voor de habitattypen "Meren met krabbenscheer en fonteinkruiden" (H3150) en/of "Kranswierwateren" (H3140). Het maaien mag die doelstellingen niet in gevaar brengen, goed overleg met de Provincies is daarom noodzakelijk. Deze gebieden zijn goed op kaarten te vinden. Zie als voorbeeld de Atlas Natura 2000 Oostelijke Vechtplassen en Naardermeer (Provincie Noord-Holland 2012). Als de vegetatie tot 60 centimeter boven de bodem blijft staan, wordt voldaan aan de meeste, zo niet alle, eisen vanuit de KRW en Natura 2000.

Conclusies: Maai niet vóór 1 juli (tenzij daar dwingende redenen voor zijn). Maai één keer per jaar (tenzij vaker maaien nodig is om de planten onder controle te krijgen) en laat vegetatie staan tot minimaal 60 cm boven de bodem (tenzij dat niet kan). Bepaal met de provincie hoe groot de te maaien oppervlakte mag zijn.

2.3 Transport en conservering

2.3.1 Vers materiaal

Onderzoek

Het voor dit onderzoek gebruikte plantenmateriaal was afkomstig uit het Gooimeer en het Eemmeer. Daar werd door de firma Mobarn gemaaid (www.mobarn.nl). Het maaisel werd dezelfde dag of de volgende dag vervoerd naar de firma Hartstocht

(www.hartstocht.net). Voor het transport zijn vooral het volume en het gewicht van belang. Dat wordt voor een groot gedeelte bepaald door het vocht-/drogestofgehalte. Het volume werd door een ervaren transporteur visueel geschat. Het gewicht werd bepaald door de vrachtwagen voor en na het lossen te wegen op een weegbrug met een nauwkeurigheid van 10 kg. Het vocht-/drogestofgehalte werd bepaald door de firma Opure (www.opure.nl) via monsters die in een goed afgesloten 10 liter-emmer bij 4°C werden bewaard. Zie voor de analysemethode bijlage 1.

Resultaten

Van 6 juli t/m 23 juli werden 14 vrachten waterplanten uit het Gooimeer en het Eemmeer door de firma Mobarn geleverd. Het overgrote deel (geschat op 99%) bestond uit doorgroeid fonteinkruid (*Potamogeton perfoliatus*) en een geringe hoeveelheid aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*). Gemiddeld had een vracht een geschat volume van 12 m³ (Figuur 8) en een gewicht van 2954 kg (Tabel 1).

Figuur 8: Een bult verse planten van ongeveer 10 m³; linksonder lekt een beetje water uit.



In totaal werd in deze periode 163 m³ geoogst en geleverd met een gewicht van 41.361 kg. De planten waren de vorige of dezelfde dag geoogst, late vrachten bleven wel eens een nacht staan. De planten waren aan boord al grotendeels uitgelekt. Bij de firma Hartstocht aangeleverd lekte er nog maar weinig water uit, slechts enkele liters (Figuur 8). De bult planten voelde vaak warmer aan dan de omgeving en in de koele ochtend was stoom zichtbaar. Het materiaal oogde echter vers en was niet of nauwelijks verlept (Figuur 9).

Figuur 9: Planten van de vorige dag, stomend in de ochtendkoelte



Het volume, het gewicht en het soortelijke gewicht van de vrachten varieerde fors (Tabel 1). De variatie in volume en soortelijk gewicht kan voor een groot deel worden verklaard door de geogoste hoeveelheid, het schatten door de vervoerder en de mate waarin de planten waren samengedrukt. Het vochtgehalte was erg stabiel, met een gemiddelde van 86,7% (Tabel 1). Het gehalte organische stof als percentage van de droge stof nam bij de latere vrachten af. De latere vrachten bevatten dus meer anorganisch materiaal. Vermoedelijk gaat het om een groeiende laag kalkaanslag op de bladeren van de verouderende planten.

Het soortelijke gewicht was met 253 kg/m³ opvallend laag (Tabel 1). Uit gesprekken met de vervoerder ontstond de indruk dat natte waterplanten erg zwaar waren en dat het gewicht beperkend zou zijn voor het transport. In de praktijk zal zelfs een zeer grote vrachtwagen het wettelijk toegestane maximumlaadgewicht van 30.000 kg niet kunnen overschrijden. Het volume zal eerder beperkend zijn.

Tabel 1

Gewicht, volume en vochtgehalte van de vrachten						
vracht	datum	volume m3	gewicht kg	srt. gew. kg/m3	vocht %	org. Stof % van ds
1	9-07-13	10	2531	253	86,6	65,4
2	9-07-13	10	2680	268	88,1	74,3
3	10-07-13	8	2470	309	87,4	63,0
4	11-07-13	10	1590	159	86,8	66,6
5	11-07-13	12	2400	200	87,6	71,2
6	12-07-13	10	2500	250	88,1	69,6
7	15-07-13	16	4160	260	84,4	55,8
8	18-07-13	12	3990	333	85,7	49,9
9	19-07-13		2270			
10	19-07-13	12	3480	290		
11	22-07-13	17	4450	262		
12	22-07-13	15	3160	211		
13	23-07-13	10	2480	253	85,9	56,3
14	23-07-13		3200			
gemiddeld		12	2954	253	86,7	
totaal		163	41361			

Conclusies: Het verse materiaal bevat veel lucht en water. De conservering is slecht. Al na een dag treedt broei op. Bij het transport is eerder het volume beperkend dan het gewicht.

2.3.2 Hakselen

Onderzoek

Twee vrachten, met een gezamenlijk volume van 23 m³ en een gewicht van 5680 kg, zijn verhakseld met een gangbare hakselaar die ook voor mais en dergelijke wordt gebruikt. Daarvoor werden de planten eerst gelegd op langgerekte hopen (wiersen) (Figuur 10), waar de trekker met raapinstallatie en hakselaar overheen kon rijden. De verhakselde planten werden in een bak opgevangen, waarna het volume opnieuw werd geschat. Zowel vóór als na hakselen werden monsters genomen om het vocht-/drogestofgehalte te bepalen. Zie voor de analysemethode bijlage 1.

Resultaten

Het hakselen van doorgroeid fonteinkruid bleek niet eenvoudig. Het wiersen ging zwaar. De lange slierten hadden de neiging om proppen te vormen, waarop de machine vastliep. Door de wiers klein te houden, lukte het toch. De stukken werden mooi kort, enkele centimeters. Het materiaal was goed met een schop te verwerken, in tegenstelling tot de meterslange slierten. Bij het hakselen kwam weinig of geen vocht vrij. Vóór het hakselen was het vochtgehalte 85,9%, na het hakselen 85,0%. De dagen na het hakselen ging het materiaal stinken en lekken. De volumereductie was fors. De oorspronkelijke 23,0 m³ werd teruggebracht tot ongeveer 7,5 m³, een reductie van 67%.

Conclusie: Hakselen kan het volume fors reduceren, maar het materiaal blijft nat.

Figuur 10: Het op een wiers leggen (wiersen)



2.3.3 Persen en inkuilen vers materiaal

Onderzoek

Vers materiaal werd met de hand op een wiers gelegd, op een betonnen vloer (Figuur 10). Voor het persen en inpakken werd een Welcher Double Action gebruikt, een machine die zowel perst als verpakt. Omdat het verse materiaal zacht was, werd geperst op stand twee. Elke baal werd ingepakt in een kunststof net en acht lagen plastic voor de stevigheid. Dat is meer dan gebruikelijk, maar het verse materiaal was ook zwaarder dan gebruikelijk. De balen werden gewogen op de weegbrug. Eventueel perssap werd bemonsterd en geanalyseerd op chemisch zuurstofverbruik, totaal-stikstof en totaal-fosfor. Zie voor de details bijlage 3. De conservering van de balen werd na drie maanden bemonsterd en bepaald door BLGG AgroXpertus (<http://blgg.agroxpertus.nl>). Zie voor de details bijlage 1.

Resultaten

Een vracht van 9 m³ werd geperst in twee balen, één van 1110 kg en één van 1160 kg. Het rapen en persen verliep redelijk. Als niet te snel werd gereden werden alle planten van de wiers opgepakt. De machine had wel duidelijk "moeite" met het inpakken van de zware baal, de machinist moest handmatig aansturen om de baal ingepakt en gelost te krijgen (Figuur 11).

Figuur 11: De baal komt scheef uit de pers



De balen waren niet erg stijf en daardoor onregelmatig van vorm. Ze moesten voorzichtig worden gehanteerd, omdat ze anders uit vorm zouden kunnen raken of openbarsten (Figuur 12). Ze werden daarom later op een pallet vervoerd in plaats van in een grijper, zoals gebruikelijk, en daardoor bleven ze goed gesloten.

Figuur 12: Een zware en slappe baal



De diameter van dit type baal bedroeg 1,25 meter en de hoogte was 1,2 meter. Het volume bedroeg 1,47 m³. Het volume was dus afgenomen van 4,5 naar 1,47 m³. Het soortelijk gewicht, de hoeveelheid droge stof en de hoeveelheid water in de baal waren direct na het persen, drie keer zo hoog als in los vers materiaal (Tabel 2).

Tabel 2

Gewichten en volumes kuilbalen van verse waterplanten										
	vers				baal nat				verdichting	
	gewicht kg	volume m ³	srt gew. kg/m ³	droge stof kg/m ³	gewicht kg	volume m ³	srt gew. kg/m ³	droge stof kg/m ³	droge stof %	water %
Baal 1	1.110	4,5	247	32,8	1.110	1,47	755	100,4	306	306
Baal 2	1.160	4,5	258	34,3	1.160	1,47	789	105,0	306	306

Bij het persen kwam geen perssap vrij, maar wel later in de baal (Figuur 13). Door het lekken in de baal nam het drogestofgehalte in drie maanden toe van 13,3 naar 19,7%. Dat betekent dat 361 liter water uit de planten was vrijgekomen, ruim 30% van het oorspronkelijke gewicht.

Figuur 13: Het eerste perssap komt vrij onderin de baal, geen helder sap, maar erg vuil water (inzet)



Het perssap is direct na het persen bemonsterd. De kwaliteit ervan was erg slecht: chemisch zuurstofverbruik 15.000 mg/l O₂, Kjeldahl-stikstof 700 mg/l N, Totaal-fosfor 150 mg/l P. Dat zijn zeer hoge waarden. Dergelijk water mag niet worden geloosd in bodem, oppervlaktewater of riool. Bovendien gaan energie en nutriënten verloren. Deze balen laten uitlekken is dus geen goed idee. De conservering na drie maanden was slecht. De balen waren sterk verzakt. Het materiaal was slap en slijmerig en stonk onaangenaam.

De pH was met 6,5 hoger dan wenselijk (4,0-4,8). Het NH₃-gehalte was met 14 mg/kg veel hoger dan de norm van 9 mg/kg die geldt voor een goede conservering (zie ook bijlage 5).

Conclusies: Het persen van nat materiaal levert een flinke volumereductie op. Direct na het persen zit al het water nog in de baal, maar in de opslag lekt er veel perssap uit. Het perssap is te vuil om te mogen lozen. De conservering is slecht en het materiaal gaat rotten.

2.3.4 Drogen, balen persen en inkuilen

Onderzoek

Om na te gaan hoeveel verlies optrad tijdens het strooien, schudden, wiersen en persen is een hoeveelheid planten voorzichtig op een schone betonplaat uitgestrooid, gedroogd en weer verzameld. Voordat balen werden geperst werd het verse materiaal gewogen op de weegbrug en met een kraan in een breedstrooier geladen (Figuur 14). De strooier was van het type "Strautmann Streublitz VS16". Daarna werd het uitgestrooid (Figuur 15). Vervolgens werden de waterplanten behandeld als gras: laten drogen, schudden, wiersen en persen. Gestreefd werd naar een drogestofgehalte van 40%, zoals bij gras gebruikelijk is. Voor de persing werd een Welcher Double Action gebruikt, stand 7. Het droge materiaal was

redelijk stevig. De baal werd verpakt in een net en drie lagen plastic. Op deze manier is twee keer een baal geperst. Monsters werden genomen van vers materiaal, tijdens het drogen, vlak voor het persen en uit de balen. Bij Opure werden drogestof- en organische-stofgehalte bepaald (als percentage van de droge stof), zie bijlage 1. De balen werden gewogen op de weegbrug. De conservering van de balen werd na drie maanden bemonsterd en bepaald door BLGG AgroXpertus. Zie voor de details bijlage 2.

Resultaten

Op de betonplaat werd 640 kg vers materiaal gedroogd. Dat leverde 90 kg droog materiaal op (14,1%). Een gewichtsreductie van 85,9%! Voor het persen van balen werd na enig experimenteren gestrooid met de klep dicht. Dat strooide gelijkmatiger en breder. Met een open klep vormden de slierten zich namelijk tot klonten. Om een goede droging te garanderen werd dun gestrooid (Figuur 16). Naar schatting werd 20 m³ gestrooid op 0,5 hectare. Een vracht van 12 m³ kon in 20 minuten worden verwerkt. Er werd twee keer geschud.

Figuur 14: Het laden van de breedstrooier met op de achtergrond het soort balen dat we willen maken



Figuur 15: Strooien met de klep open



Figuur 16: Dun gestrooid materiaal na één dag



De firma Hartstocht schatte dat bij goed weer één dag drogen genoeg is om een drogestofgehalte van 40% te verkrijgen. Dat blijkt ook uit de metingen, want op dag één is het drogestofgehalte al hoger dan 60%. Daarna verloopt het drogen trager (Tabel 3).

Tabel 3

droge stof in de tijd			
	droge stof		droge stof
baal 1	%	baal 2	%
dag 0	11,9	dag 0	12,4
dag 0	12,6	dag 0	11,9
dag 1	60,1	dag 0	15,6
dag 2	64,9	dag 1	65,9
dag 3	76,3	dag 4	62,6
dag 3	82,1	dag 4	75,3

Na het drogen werd het materiaal op een wiers gelegd en geperst. Tijdens het schudden en wiersen kwam veel stof vrij. Er was zichtbaar bladverlies. Het blad was erg broos, terwijl de stengel veel steviger was. Het drogestofgehalte in de kuilbalen (Tabel 4) was veel hoger dan dat in het verse materiaal, al werd het niet zo hoog als de laatste droge monsters in het veld (Tabel 3) of op de plaat (Tabel 4). De balen werden in de avond geperst. Plantenmateriaal staat er om bekend om weer snel vocht uit de lucht op te nemen, wat het verschil zou kunnen verklaren.

Tabel 4

Droge stof kuilbalen van gedroogde waterplanten								
	vers			droog			verlies	
	gewicht	droge stof	droge stof	gewicht	droge stof	droge stof	droge stof	droge stof
	kg	%	kg	kg	%	kg	kg	%
Plaat	640	13,3	85	90	82,6	74	11	12,7
Baal 1	5.150	12,2	630	390	68,0	265	365	57,9
Baal 2	9.060	13,7	1244	590	61,7	364	880	70,7

Als de totale hoeveelheid droge stof (in kg) vóór en na het drogen en persen wordt berekend, blijkt dat een grote hoeveelheid materiaal is achtergebleven op het land, namelijk zo'n 60-70%. Vermoedelijk kwam dat door het zeer "ijle" spreiden.

Vergeleken met gras, ging het maar om een zeer dun laagje. Dat is moeilijker volledig op te pakken. Het verlies bij het drogen op de plaat is waarschijnlijk een overschatting, want het materiaal werd immers grondig bijeengeveegd. De weegbrug was, met een nauwkeurigheid van 10 kg op ongeveer 90 kg, voor deze bepaling niet geschikt. De twee balen waren stevig en hadden een goede cilindervorm (Figuur 17). Dat is van belang bij het stapelen en transporteren.

Figuur 17: Twee keurige kuilvoerbalen met gedroogde waterplanten



Het soortelijke gewicht van baal 1 was niet hoger dan dat van het verse materiaal. Maar het drogestofgehalte per m³ was wel veel hoger (Tabel 5) Baal 1 was zo "los", omdat er te weinig planten waren voor een compactere baal. Voor baal 2 werd meer materiaal gebruikt. Deze baal was dan ook veel compacter. Maar ook bij het persen van baal 2 bleef geen materiaal over. De balen kunnen dus nog compacter.

Tabel 5

Gewichten en volumes kuilbalen van gedroogde waterplanten										
	vers				baal gedroogd				verdichting	
	gewicht	volume	srt gew.	droge stof	gewicht	volume	srt gew.	droge stof	droge stof	water
	kg	m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg	m ²	kg/m ³	kg/m ³	%	%
Baal 1	5.150	18,0	286	35,0	390	1,47	265	180,4	515	34
Baal 2	9.060	38,0	238	32,7	590	1,47	401	247,6	756	75

Het gehalte organische stof als percentage van de droge stof is toegenomen na het drogen (Tabel 6). Dat betekent dat er relatief veel anorganisch materiaal verloren is gegaan. Dat is verklaarbaar, omdat anorganisch materiaal vaak kalk is dat op de bladeren is neergeslagen. Juist het brosse blad verkrumelde gemakkelijk en bleef achter bij het rapen. Het verschil was het grootst bij baal 2, die het meeste anorganisch materiaal bevatte.

Tabel 6

Percentage organische en anorganische stof vóór en na drogen						
	baal 1		baal 2		plaat	
	organisch	anorganisch	organisch	anorganisch	organisch	anorganisch
vers	74,3	25,7	55,8	44,2	71,2	28,8
droog	75,3	24,7	68,8	31,2	78,8	21,2

De conservering van de balen na drie maanden was goed. De balen bleven goed in vorm. Het materiaal was stevig, droog en rook aangenaam naar waterplanten en kuilvoer. De pH was met 6,3 en 6,6 hoger dan wenselijk (4,0-4,8). Maar de NH₃-fractie (5) was ruim lager dan de streefwaarde (9). Dat is voldoende om een goede conservering te waarborgen (zie bijlage 2 en 5). Het drogestofgehalte (ruim 60%) was hoger dan het streeftraject van 40% ± 10%.

Figuur 18: Na drie maanden wordt de baal uitgepakt en ziet er nog prima uit, met aan de buitenkant een beetje schimmel door condensvorming



Conclusies: Door het drogen en persen wordt voorkomen dat grote hoeveelheden lucht en water moeten worden getransporteerd. Het materiaal waarom het gaat, de organische stof en de nutriënten, kan daardoor efficiënt worden vervoerd. Het proces kan nog worden verbeterd door het strooien en rapen te verbeteren, om zodoende de verliezen te verminderen, en door compactere balen te persen. De conservering is goed. De balen zullen lang houdbaar zijn.

2.3.5 Aanvullende kuilproeven met verschillende additieven

Onderzoek

Het Veenweide Innovatie Centrum in Zegveld (www.veenweiden.nl), onderdeel van Livestock Research Wageningen UR, heeft aanvullende proeven uitgevoerd met inkuilen. Dat gebeurde door minisilo's te vullen met planten, eventueel met additieven, zie Tabel 7. Gewichten zorgen voor de nodige compactheid. Eventueel perssap werd opgevangen. Zie Figuur 19 voor de proefopstelling. De proef duurde tien weken.

Tabel 7

Behandelingen proefsilo-proef		
behandeling	additieven	waterplanten kg.
vers	geen	8
voorgedroogd	geen	6
voorgedroogd	Melasse 0,45 kg	6
voorgedroogd	Ecosyl 4 gr.	6

Figuur 19: De "proefsilo's", eenvoudig, maar doeltreffend



Om de kwaliteit van de conservering te beoordelen werd na tien weken het ammoniakgehalte (NH_3) bepaald. Dat mag niet hoger zijn dan 9. Daarnaast is het drogestofgehalte bepaald: hoe hoger, des te beter de conservering. Ook de drie bij Hartstocht geproduceerde kuilbalen zijn op deze wijze geanalyseerd. Details van de proeven en de analyses zijn te vinden in bijlage 5.

Resultaten

Het gebruikte materiaal was minder droog dan de kuilvoerbalen van Hartstocht: ruim 30% droge stof (Tabel 8) in plaats van ruim 60% (Tabel 4). Tijdens de melkzuurgisting en andere bacteriële processen traden verliezen op aan droge stof (Tabel 8). Deze waren het grootst bij vers, niet gedroogd materiaal: rond de 9%.

Bij de toevoeging van melasse was het verlies aan droge stof ruim 3%. Bij de andere behandelingen was het verlies lager.

Tabel 8

behandeling en additief	Inhoud (kg) bij inkuilen	ds% bij inkuilen	kg ds bij inkuilen	inhoud (kg) bij uitkuilen	ds% bij uitkuilen	kg ds bij uitkuilen	kg ds verlies	ds-verlies (%)
vers	8.06	14.6%	1.18	5.46	19.5%	1.06	0.12	9.8%
vers	7.12	14.6%	1.04	4.6	20.7%	0.95	0.09	8.5%
voorgedroogd	5.38	30.1%	1.62	5.32	30.1%	1.60	0.02	1.3%
voorgedroogd	5.28	30.1%	1.59	5.22	30.4%	1.59	0.00	0.2%
gedroogd + Melasse	5.54	33.1%	1.83	5.42	32.8%	1.78	0.06	3.1%
gedroogd + Melasse	5.90	33.1%	1.95	5.74	32.8%	1.88	0.07	3.5%
gedroogd + Ecosyl	5.32	30.2%	1.61	5.14	31.0%	1.59	0.01	0.8%
gedroogd + Ecosyl	5.40	30.2%	1.63	5.42	29.9%	1.62	0.01	0.7%

De hoeveelheid perssap die vrijkwam uit het verse materiaal was groot. Tussentijds moest zelfs worden gelegegd (Tabel 9). Van het oorspronkelijke startgewicht lekte 30% weg. Het meeste kwam in de eerste twee weken vrij. Bij de andere behandelingen was de hoeveelheid perssap minimaal.

Tabel 9

hoeveelheden perssap					
behandeling en additief	inhoud (kg) bij inkuilen	perssap (kg) eind week 1	perssap (kg) eind week 2	perssap totaal (kg) eind week 10	% perssap
vers	8.06	1.52	0.80	2.32	28.8%
vers	7.12	1.72	0.58	2.30	32.3%
voorgedroogd	5.38	-	-	-	0.0%
voorgedroogd	5.28	-	-	-	0.0%
gedroogd + Melasse	5.54	-	0.06	0.06	1.1%
gedroogd + Melasse	5.90	-	0.08	0.08	1.4%
gedroogd + Ecosyl	5.32	-	-	-	0.0%
gedroogd + Ecosyl	5.40	-	0.02	0.02	0.4%

Door een vergissing van het laboratorium zijn helaas de pH en NH₃ van het materiaal uit de silo's niet bepaald. Het verse materiaal rook na tien weken niet fris, het gedroogde materiaal wel. Het drogestofgehalte (ruim 30%) was hoog genoeg voor een goede conservering. Er zijn geen aanwijzingen dat het toevoegen van melasse of Ecosyl effect had op de conservering.

Conclusie: Voor een goede conservering door inkuilen is drogen noodzakelijk, minimaal tot 30% droge stof, maar nog droger is beter.

2.4 Duurzame verwerking

2.4.1 Storten en laten vergaan

Onderzoek

Het procedé van storten en laten vergaan is gesimuleerd in vier big bags. Het volume was 80x80x90 cm (lxbxh), ofwel 0,576 m³. Ze werden gevuld met 230-240 kg plantenmateriaal, aangedrukt door er op te staan. De big bags stonden in een open loods om neerslag en opwarming door zon te voorkomen. Ze waren waterdoorlatend en stonden in een bak van landbouwplastic om lekvocht op te vangen, helaas bleek de bak lek. De temperatuur werd gemeten met een steekthermometer van 40 cm lang, midden in de big bag. Het volume werd geschat op dag nul en op dag acht.

Het gewicht van de big bags werd op dag 0 en op dag 8 gewogen door ze met een trekker op de weegbrug te rijden. De nauwkeurigheid van deze weegbrug was 10 kg. De hoeveelheid lekvocht werd berekend uit het gewichtsverlies. De samenstelling van het lekvocht (totaal-fosfor, Kjeldahl-stikstof en chemisch zuurstofverbruik) werd bepaald op 13-07-2013 (monster 16 BB 01), 15-07-2013 (monster 17 BB 02), 17-07-2013 (monster 21 BB 03) en 19-07-2013 (monster 22 BB 04). Omdat het water in de bak niet werd verwijderd, zijn de laatste drie monsters altijd een mengsel van water van verschillende leeftijd. De analyses werden uitgevoerd door laboratorium Waterproef (bijlage 3).

De proef werd ingezet op 11-07-2013 met materiaal dat op 10-07-2013 was geoogst (Opure-monsters nr. 7 en 8). Vervolgmonsters werden genomen op dag twee (monster 16), dag vier (monster 17), dag zes (monster 21) en dag acht (monster 22). De monsternamen vond plaats door met de hand (handschoen!), op verschillende plaatsen en diepten, een tiental plukken uit een big bag te trekken. De monsters uit de vier big bags vormden samen een mengmonster van ongeveer 10 liter. Tot de verwerking werden de monsters bij 4°C opgeslagen in een monsteremmer met deksel.

Resultaten

Direct op dag twee werden de waterplantenmassa's behoorlijk warm (Tabel 10), met een temperatuur ver boven de omgevingstemperatuur van ongeveer 20°C. Na acht dagen was de temperatuur nog steeds hoger dan de omgeving.

Tabel 10

Temperatuurverloop Big Bags				
	dag 2	dag 4	dag 6	dag 8
Big Bag nr.	13-7-2013	15-7-2013	17-7-2013	19-7-2013
1	40	44	36	32
2	50	40	36	34
3	50	41	29	32
4	52	44	40	38

Ook was goed te ruiken dat de planten flink aan het rotten waren. Na acht dagen was het volume met meer dan de helft afgenomen (Tabel 11). De massa verloor geleidelijk zijn structuur en werd bruin (Figuur 20).

Tabel 11

Volume afname Big Bags (kubieke meter)				
nr.	dag 0	dag 8	verlies	verlies
Big Bag nr.	11-7-2013	19-7-2013	absoluut	%
1	0,576	0,256	0,32	55,6
2	0,576	0,224	0,352	61,1
3	0,576	0,224	0,352	61,1
4	0,576	0,224	0,352	61,1

Uit de planten kwam veel lekvocht vrij. Het gewichtsverlies tussen dag 0 en dag 8 lag rond de 25% (Tabel 12).

Tabel 12

Gewichtsverlies Big Bags				
	dag 0	dag 8	verlies	verlies
Big Bag nr.	kg	kg	kg	%
1	230	170	60	26,1
2	240	185	55	22,9
3	240	180	60	25,0
4	240	180	60	25,0

Het lekwater bevatte grote hoeveelheden goed afbreekbaar organisch materiaal, stikstof en fosfor (Tabel 13).

Tabel 13

Kwaliteit lekwater						
dag nummer			dag 2	dag 4	dag 6	dag 8
datum			13-7-2013	15-7-2013	17-7-2013	19-7-2013
monsternummer			BB 16 01	BB 17 02	BB 21 03	BB 22 04
Chemisch zuurstofgebruik (mg/l O ₂)			4600	9570	8340	5060
Kjeldahl-stikstof (mg/l N)			250	590	630	420
Totaal-fosfor (mg/l P)			37	89	79	46

Figuur 20: Een van de big bags na acht dagen, die daarvóór nog helemaal vol was. Dat het materiaal nog steeds rot blijkt uit de hoge temperatuur



Conclusie: Storten is niet duurzaam. Het lekkende perssap en de stank zijn problematisch. Potentieel bruikbare stoffen gaan verloren.

2.4.2 Vergisten

Onderzoek

In 2012 is de vergistbaarheid van waterpest bepaald. In 2013 is de vergistbaarheid van doorgroeid fonteinkruid bepaald. Vers materiaal (2.3.1) en materiaal in verschillende stadia van conservering is bemonsterd en geanalyseerd: hakselen (2.3.2), persbalen vers (2.3.3), persbalen droog (2.3.4), storten (2.4.1). De vergistbaarheid werd bepaald door het plantenmateriaal te incuberen in een fles met water en gistingsbacteriën (Figuur 21). De samenstelling van het geproduceerde gas werd gemeten (CH_4 , CO_2 , H_2S). Daarnaast werden vochtgehalte, organische-stofgehalte, chemisch zuurstofverbruik, totaal-stikstof en totaal-fosfor bepaald.

Om de opbrengst te kunnen berekenen heeft Opure ook de opbrengsten uit groen gas of elektriciteit uitgerekend. De aannamen zijn 62 cent/ m^3 groen gas (92% methaan) en 15 cent/kWh (oudere subsidieregelingen zoals MEP, waar de meeste installaties nog mee rekenen). Deze getallen moeten worden gezien als indicatie, aangezien de subsidieregelingen vaker zijn aangepast en zullen worden aangepast. Zie voor de details van de analyses de bijlagen 1 en 4.

Figuur 21: De glazen batch-reactor en de broedstovenruimte; het lijkt eenvoudig, maar daarbinnen gebeurt van alles



Resultaten waterpest

Waterpest heeft een laag drogestofgehalte en een laag organische-stofgehalte. Daardoor is de biogasproductie ook niet hoog (Tabel 14). Zie voor de details bijlage 4.

Tabel 14

opbrengsten van waterpest								
	droge stof	org. Stof	biogas	methaan	biogas	H2S	tot. N	tot. P
	%	% ds	m^3/ton	vol. %	$\text{m}^3/\text{ton os}$	ppm	kg/ton	kg/ton
niet gehakseld	10	52	25	58	499	105	3,0	0,4
gehakseld	9	53	23	58	457	118		

Resultaten "zonder drogen"

Vers en ouder ongedroogd materiaal heeft een relatief lage energieopbrengst per ton, simpelweg door het lage droge- en organische-stofgehalte. Hakselen had geen effect op de energieopbrengsten (Tabel 15). Ook de nutriënten en andere parameters veranderden niet (Tabel 16). In de balen met nat geperste waterplanten nam de energieopbrengst per ton nat materiaal flink toe. Dat kan worden verklaard door de toename van het drogestofgehalte, doordat veel water is weggelekt (Tabel 15). Daardoor namen ook het CZV en de nutriëntengehalten toe (Tabel 16).

In de big bags nam de energieopbrengst per ton binnen acht dagen sterk af, namelijk met de helft (Tabel 15). Dat werd niet veroorzaakt door veranderingen in het drogestofgehalte. Het CZV nam af, maar niet met de helft (Tabel 16). Omdat geen sluitende stoffenbalans valt te maken (wegens de lekke lekbak) is over de oorzaak geen uitsluitsel te geven. Mogelijk verdwijnt organisch materiaal door de broei. Een vergelijking met de waterlekkende natte baal versterkt die suggestie. In beide gevallen lekte er CZV-houdend water uit (zie 2.3.3 en 2.4.1), maar uit de baal die niet broeide nam de energieopbrengst toe en niet af.

Tabel 15

Experimenten zonder drogen: energie opbrengsten van "nat" materiaal									
		droge stof	biogas	methaan	groen gas		energieopbrengst		biogas
		%	m3/ton	vol. %	m3/ton	Euro/ton	kWh/ton	Euro/ton	m3/ton os
hakselen	voor	14	36	52	20	13	64	10	454
	na	15	35	53	20	13	64	10	423
baal vers	vers	14	35	56	21	13	67	10	495
	maand 3	20	53	60	34	21	108	16	547
big bags	vers	13	44	54	26	16	82	12	518
	vers	13	49	54	29	18	90	14	521
	dag 2	13	38	51	21	13	67	10	415
	dag 4	14	24	54	14	9	45	7	338
	dag 6	13	26	58	17	10	52	8	381
	dag 8	13	23	53	13	8	41	6	328

Tabel 16

Experimenten zonder drogen: diversen							
		H2S	CZV	tot. N	tot. P	tot. N	tot. P
		ppm	kg/ton	kg/ton	kg/ton	g N/kg ds	g P/kg ds
hakselen	voor	167	92	2,4	0,4	16,8	2,5
	na	142	104	2,5	0,4	16,4	2,7
baal vers	vers	142	96	2,5	0,4	17,4	2,6
	maand 3	137	157	3,8	0,5	19,5	2,6
big bags	vers	196	101	3,6	0,7	27,2	5,1
	vers	226	103	3,8	0,6	28,5	4,8
	dag 2	231	90	4,2	0,7	31,2	5,4
	dag 4	217	82	3,6	0,7	25,9	4,8
	dag 6	136	87	3,7	0,6	29,3	4,9
	dag 8	205	92	4,2	0,7	32,9	5,3

Resultaten "met drogen"

Drogen leidde tot hogere drogestofgehalten en daardoor tot hogere energieopbrengsten per ton materiaal. Hoe droger, hoe hoger de opbrengst aan gas en energie (Tabel 17). Ook CZV en nutriëntengehalten namen door het drogen toe (Tabel 18). De kwaliteit van het gas was goed, al was het H₂S gehalte aan de hoge kant (100 is normaal; zie bijlage 1). Het methaangehalte lag tussen de 50 en 55%, wat wordt beschouwd als laag. Dat beperkte de waarde van het gas. De opbrengst van de balen kan liggen rond € 90.

Tabel 17

Experimenten met drogen: energie opbrengsten van "vochtig" materiaal									
		droge stof	biogas	methaan	groen gas		energieopbrengst		biogas
		%	m ³ /ton	vol. %	m ³ /ton	Euro/ton	kWh/ton	Euro/ton	m ³ /ton os
plaat	vers	13	49	54	29	18	90	14	521
	droog	83	303	53	174	108	544	82	465
baal 1	vers	12	50	53	29	18	90	14	563
	vers	13	40	55	24	15	76	11	507
	dag 1	60	224	51	124	77	388	58	500
	dag 2	65	220	54	129	80	403	60	479
	dag 3	76	286	52	163	101	509	76	504
	dag 3	82	298	52	168	104	526	79	481
	maand 3	68	240	55	143	89	447	67	463
baal 2	vers	12	50	53	29	18	91	14	566
	vers	12	45	54	27	17	84	13	549
	vers	16	43	56	26	16	81	12	489
	dag 1	66	223	52	125	78	393	59	491
	dag 4	63	211	52	120	74	375	56	471
	dag 4	75	240	51	133	83	418	63	456
	maand 3	62	240	54	142	88	444	67	512

Tabel 18

Experimenten met drogen: diversen							
		H ₂ S	CZV	tot. N	tot. P	tot. N	tot. P
		ppm	kg/ton	kg/ton	kg/ton	g N/kg ds	g P/kg ds
plaat	vers	226	103	3,8	0,6	28,5	4,8
	droog	225	71	23,1	3,7	28,0	4,5
baal 1	vers	143	102	3,3	0,7	27,9	5,7
	vers	183	86	3,3	0,6	26,1	4,5
	dag 1	129	506	13,9	2,0	23,1	3,4
	dag 2	191	593	17,5	3,1	27,0	4,8
	dag 3	168	686	17,3	2,8	22,7	3,7
	dag 3	119	744	21,1	3,4	25,7	4,1
	maand 3	215	562	19,0	2,9	17,9	4,3
baal 2	vers	249	96	3,3	0,6	26,8	5,1
	vers	209	98	3,1	0,6	26,2	5,0
	vers	101	98	3,0	0,4	19,4	2,6
	dag 1	116	583	14,7	2,2	22,3	3,3
	dag 4	121	554	16,2	2,6	25,9	4,2
	dag 4	61	578	18,4	3,2	24,4	4,3
	maand 3	159	588	14,0	2,5	22,7	4,0

Conclusies: Verse, gedroogde en goed ingekuilde waterplanten zijn goed vergistbaar. Door het drogen neemt het drogestofgehalte en daarmee de opbrengst per ton toe. Als de planten gaan rotten, neemt de hoeveelheid gas die er uit kan worden gewonnen sterk af.

2.4.3 Verwerken tot brandstofpellets

A: TORWASH

Onderzoek

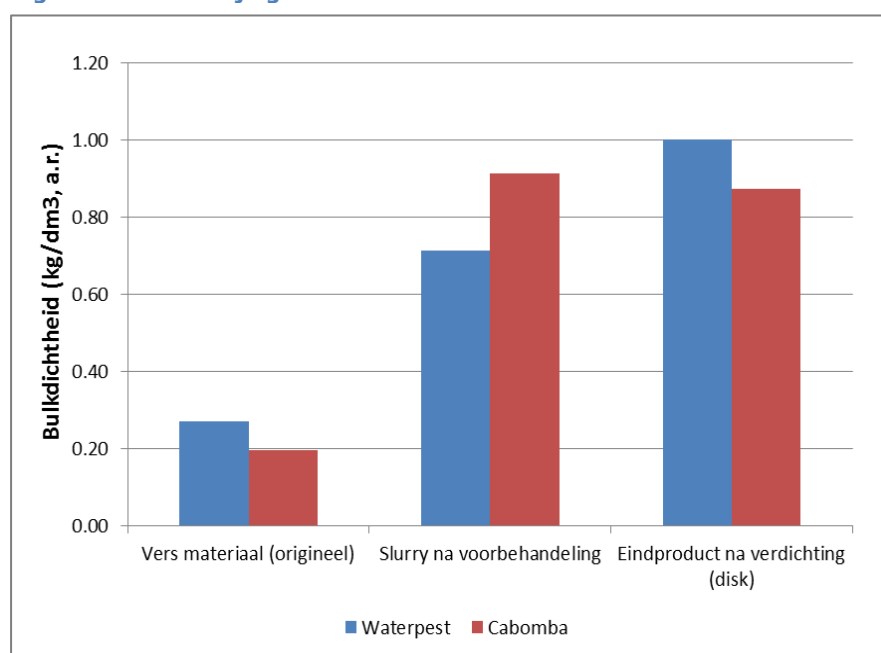
Dit deel van het onderzoek is uitgevoerd door ECN in Petten (www.ecn.nl) in 2012. Waterpest (*Elodea nuttallii*) was afkomstig uit de Loenderveense Plas en waterwaaier (*Cabomba caroliniana*) uit de Loosdrechtse Plassen. De planten zijn op drie manieren verwerkt: vers, gehakseld en geTORWASHt. Het hakselen werd uitgevoerd met een standaard-foodprocessor voor huishoudelijk gebruik. De autoclaaf waarin het materiaal werd geroosterd was van het type "Buchi Glasuster". Het temperatuurbereik was 150-250°C, de druk was net iets boven de stoomdruk en kan oplopen tot 25 bar. Pellets werden geperst met een pers van het type "Carver Die", met een diameter van 2,25 inch en een druk van 150 bar. Zie voor de details Bleijendaal *et al.* 2012 (Bijlage 6). Onderzocht werd:

1. Dichtheid van: a. vers materiaal, b. vers gehakseld materiaal, c. geperst TORWASH-product (190°C)
2. Drogestofgehalte van: a. vers materiaal (ongeperst en geperst), b. gehakseld materiaal (ongeperst en geperst), c. geperst TORWASH-product (180°C-210°C)
3. Massaopbrengst geperst TORWASH-product (180°C-210°C)
4. Verbrandingswaarde (HHV) van: a. vers materiaal, b. geperst TORWASH-product (190°C)
5. As-analyses van: a. vers materiaal, b. geperst TORWASH-product (190°C).

Resultaten

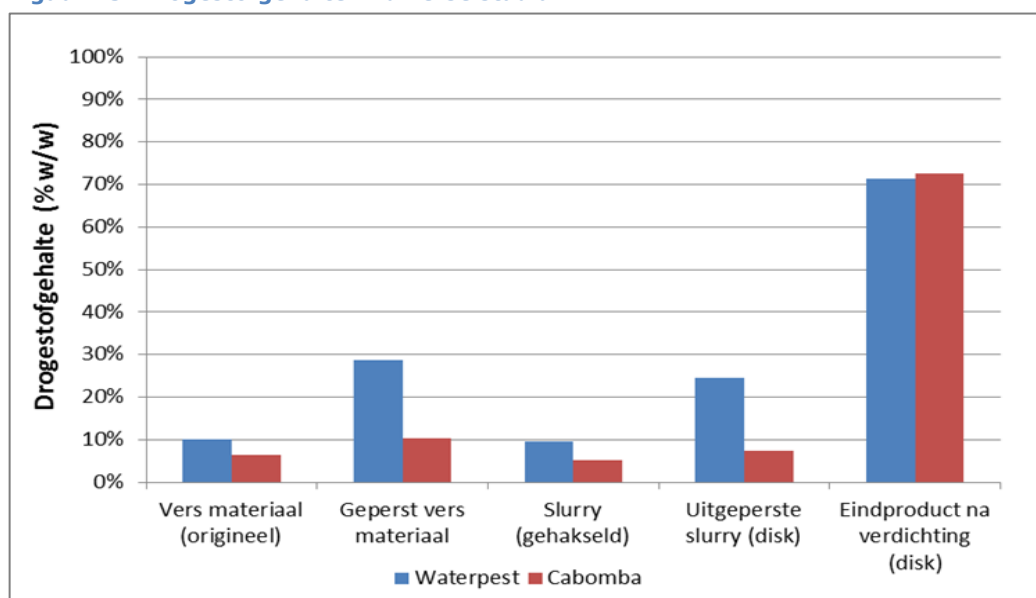
Het soortelijk gewicht (bulkdichtheid) van het verse materiaal was laag (Figuur 22). Hakselen tot een slurry verhoogde het soortelijk gewicht sterk. Het soortelijk gewicht van TORWASH-pellets was vergelijkbaar met de slurry, maar het vochtgehalte was veel lager: 25% in de pellets en 90% in de slurry.

Figuur 22: Soortelijk gewicht in diverse stadia



Het drogestofgehalte is sterk afhankelijk van de plantensoort en de behandeling (Figuur 23). Het is het laagst in vers plantenmateriaal. Persen, zonder eerst te hakselen, leidt tot een forse verhoging van het drogestofgehalte. Waterpest is het beste uit te persen. De slurry bevat, uiteraard, evenveel droge stof als het verse materiaal. Het persen van de slurry leidt tot een verhoging van het drogestofgehalte, maar gaat minder goed dan bij vers materiaal. Ook hierbij verloopt het uitpersen het beste bij waterpest.

Figuur 23: Drogestofgehalte in diverse stadia



Het persen van geTORWASHt materiaal gaat veel beter en er komen mooie stevige pellets of disks uit (Figuur 24) TORWASH leidt tot hoge drogestofgehalten en het verschil tussen de soorten is verdwenen (Figuur 23).

Figuur 24: TORWASH-pellets: links van waterpest, rechts van Cabomba



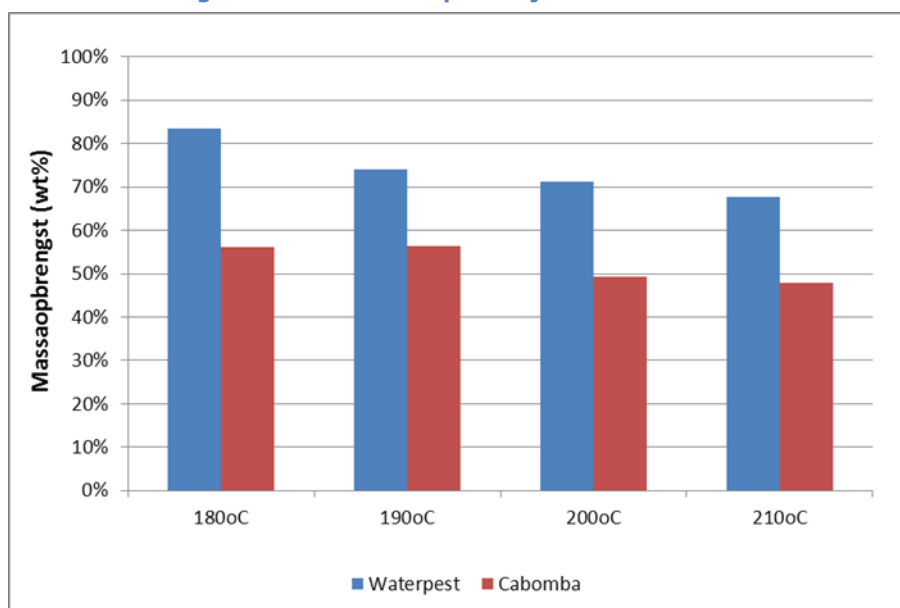
Het perssap dat bij het persen van de TORWASH-pellets vrijkomt heeft een zeer hoog chemisch zuurstofverbruik (CZV) en bevat zeer hoge concentraties chloride en nutriënten (Tabel 19).

Tabel 19

Samenstelling perssap na TORWASH					
	CZV	Cl	N-totaal	P-totaal	Sulfaat
	mg/lO ₂	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
waterpest	29600	1200	1400	73	500
Cabomba	19400	1200	890	150	210

De hoge gehalten van stoffen in het perssap hebben invloed op de massaopbrengst van het TORWASH-proces. Afhankelijk van de gebruikte temperatuur en de plantensoort blijft tot minder dan 50-70% van het materiaal behouden (Figuur 25). Meer dan 190°C verhitten is niet effectief.

Figuur 25: Massaopbrengst, het percentage droge stof dat na persen is overgebleven. Van waterpest blijft meer over



Om de verbrandingswaarde (HHV ofwel Higher Heating Value) te beoordelen, is een vergelijking gemaakt met houtsnippers en steenkool (Tabel 20). De verbrandingswaarde van Cabomba komt in de buurt van die van houtsnippers. De verbrandingswaarde van waterpest is veel lager. Het verschil wordt vooral veroorzaakt door het hoge kalkgehalte (Ca) van waterpest. Die kalk is vermoedelijk afkomstig van neerslag op de bladeren. Cabomba bevatte veel kiezel (Si), mogelijk afkomstig uit zand of door een afzetting van kiezelwieren op de planten.

Tabel 20

Vocht, as, belangrijkste vaste stoffen en verbrandingswaarde							
	vocht gehalte	as (550°C)	as (815°C)	Ca	Si	CL	verbrandings waarde
	%	%	%	mg/kg ds	mg/kg ds	mg/kg ds	MJ/kg
Cabomba, vers	94	17	16	9.536	19.766	16.051	16
Cabomba, TORWASH	29	22	21	22.227	60.961	545	18
Waterpest, vers	89	40	27	141.776	11.417	6.201	11
Waterpest, TORWASH	27	47	33	183.875	17.329	418	11
Houtsnippers	8	3	2	4.780	840	295	19
Steenkool	10	7	6	8.737	5.744	29	26

TORWASHen bij een temperatuur van 190°C en een behandelingsduur van 30 minuten levert de beste resultaten op met betrekking tot massaopbrengst, mechanische ontwatering en verdichting.

Conclusies: Met het TORWASH-proces zijn goede brandstofpellets te persen. De kwaliteit is sterk afhankelijk van de samenstelling van het gebruikte plantenmateriaal. Daarbij moet wel rekening gehouden worden met de productie van grote hoeveelheden perssap van slechte kwaliteit.

B: Standaardpellets

Onderzoek

De test is uitgevoerd door de firma Danvos (www.danvos.nl/). Het materiaal uit een kuilvoerbaal werd eerst verkleind met een 3 kW hamermolen met een capaciteit van circa 25 kg per uur. Daarna werd het geperst in een 7,5 kW pelletmolen met een capaciteit van circa 100 kg per uur, afgesteld op pellets van 6 mm dik en 20 mm lang. Als test voor veevoer is in een partij een scheut melasse toegevoegd. Alle machines waren afkomstig van de firma Passie voor pellets.

Resultaten

De ingekuilde waterplanten waren droog genoeg om pellets van te maken, maar de hamermolen had er moeite mee om al het materiaal voldoende te verkleinen. De fragmenten varieerden van fijn stof tot stukjes van 20 mm. Het drogestofgehalte, ruim 60%, was hiervoor toch nog te laag, waardoor het materiaal nog iets te veerkrachtig was. Meer dan 70% zou goed zijn, maar 86% was ideaal. Bij het pellets persen bleek de pelletmachine het materiaal verder te verkleinen. Door de hoge druk, steeg de temperatuur tot 90°C en kwam vocht vrij in de vorm van stoom. Perssap kwam niet vrij. Eénmaal pelleteren leverde een goede, maar kruimelige pellet op, met een herkenbare vezelstructuur. Door de pellet twee keer opnieuw te pelletiseren werd de dichtheid nog hoger. Minder vezelstructuur was te zien en de buitenkant werd glazig en harder (Figuur 26). Dat kwam door de combinatie van verkleinen en drogen.

Figuur 26: Standaardpellets, na twee keer persen. Ze lijken op kalverbrokken en ze zijn stevig en stuiven niet



Met melasse ontstond in één keer een vaste pellet. Deze ging echter na een paar dagen schimmelen. Waarschijnlijk was te veel melasse toegevoegd.

Conclusie: Het persen tot brandstofpellets is in potentie haalbaar.

2.4.4 Pyrolyse

Onderzoek

Voor de PyroFlash-installatie moesten de waterplanten worden gedroogd en gepelletiseerd (zie boven). Deze pellets (6x30mm, 1x geperst) hebben een vochtgehalte van 17,4%. De test is uitgevoerd door Nettenergy (www.nettenergy.com).

Resultaten

Een experiment met een testinstallatie van PyroFlash resulteerde in een gas dat niet brandbaar was en veel rookontwikkeling o. De pellets reduceerden tot as (Figuur 27), maar de vloeistofproductie was minimaal.

Figuur 27: Originele pellet, verkoolde pellet en asrest



Conclusie: De pyrolyse van waterplanten levert geen bruikbare olie op.

2.4.5 Veevoer vers en ingekuild

Onderzoek

Het Veenweide Innovatie Centrum in Zegveld, onderdeel van Livestock Research Wageningen UR, heeft de voederwaarde van de kuilvoerbalen en de aanvullende proeven met inkuilen bepaald. Voor en na het inkuilen werden monsters onderzocht op onder andere droge stof (ds), ruw eiwit (re), ruwe celstof (rc), ruw as (ras), ruw vet (rvet), suiker (NI), verteringscoëfficiënt organische stof (vc-os) en een aantal mineralen en sporenelementen. De verschillende gehalten zijn bepaald volgens de klassieke nat-chemische methoden. De in-vitroverteerbaarheid van de organische stof is bepaald volgens de methode van Tilley & Terry (T&T).

Op basis van de chemische samenstelling en de vc-os zijn, met de formule voor vers gras, de voedereenheid melk (VEM), de darmverteerbaar eiwit (DVE) en de onbestendig-eiwitbalans (OEB) berekend volgens de voorschriften van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 1999). Zie voor de details bijlage (5). De planten zijn twee keer aangeboden bij een grasdrogerij om te worden verwerkt tot voeder-

pellets. De beheerder wilde ze echter niet aannemen. In de eerste plaats omdat hij er niets in zag. In de tweede plaats omdat de beschikbare hoeveelheden (vrachten van slechts 12 m³) niet goed gescheiden konden worden verwerkt. De standaard-pellets die in 2.4.3 zijn beschreven zijn voorgezet aan koeien, varkens en paarden om te zien of de dieren het wilden eten. Kleine hoeveelheden planten, vers, en na het inkuilen, zijn voorgezet aan varkens en koeien.

Resultaten

Verse waterplanten die in Zegveld zijn verwerkt hebben een lage voederwaarde (VEM, DVE en OEB). Opvallend is de lage hoeveelheid verteerbare organische stof (VOS), veroorzaakt door het hoge ruw-asgehalte, en het lage ruw-eiwitgehalte (Tabel 21). De gehalten calcium (Ca) en mangaan (Mn) liggen duidelijk hoger dan de streefwaarden. De kwaliteit van een kuil van vers of voorgedroogd materiaal is niet beter dan die van de verse planten, al neemt het drogestofgehalte toe. De toevoeging van melasse of Ecosyl leidt tot een duidelijke verhoging van de voederwaarde, al blijft deze fors beneden het streeftraject (Tabel 21).

Tabel 21

Voederkwaliteit aanvullende kuilproeven										
	vers	vers ingekuild		voorgedroogd		gedroogd + Melasse		gedroogd + Ecosyl		streeftraject
		A	B	A	B	A	B	A	B	
droge stof	167	202	192	292	295	317	278	306	253	300-500
VEM	387	353	360	387	391	474	438	453	406	880-940
VEVI	379	352	359	378	383	479	432	452	400	900-980
Dve+	-5	1	14	17	23	26	22	23	25	60-80
Oeb+	21	4	-7	9	-1	8	-4	7	0	40-80
Vos	298	277	284	311	315	372	353	361	325	680-720
Fosp+	214	168	258	206	269	230	263	227	272	525-600
OEB+ 2 uur	13	8	8	12	11	13	9	13	12	40-95
FOSp+ 2 uur	49	33	46	42	50	46	48	45	51	225-300
StrWrd	1	0.8	0.9	1	1.2	0.9	1.4	1.1	1	2.6-3.0
verzadigingswaarde	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.95-1.1
Ruw as	549	607	599	535	541	486	487	489	526	90-120
Vcos T&T	66	70.6	70.8	66.9	68.7	72.4	68.9	70.7	68.5	76-80
Re	95	76	84	100	99	105	91	102	102	160-190
Ruw celstof	144	123	127	141	160	128	175	154	140	230-280
Suiker	16	2	2	2	2	4	2	2	2	40-100
NDF	240	200		260		259		264		420-500
ADF	x	274		305		276		283		240-290
ADL	45	27		38		37		48		20-30
Na	3.8		3.6		5.1		4.4		5.2	2.0-3.0
K	16.3		13.4		18.9		20.6		19.8	25-35
Mg	6.7		6.1		6.8		7.8		6.9	2.0-3.5
Ca	68.7		73.4		85.8		80.5		83	4.5-6.5
P	2.1		2		2.2		2.3		2.1	3.0-4.5
S	5.2		4.4		5.8		7.2		6	2.0-4.0
Mn	517		458		477		443		508	40-125
Zn	19		24		21		32		21	25-50
Fe	485		600		519		462		547	100-500
Cu	6.2		6.6		6.7		0.2		7.4	12.0-15.0
Mo	0.2		0.2		0.2		0.2		0.3	1.0-2.5
J	3.3		5.8		7		6.8		7.7	0.5-2.5
Co	373		341		426		403		476	100-500
Se	125		133		137		155		150	90-250

De voederwaarde van de kuilvoerbaal die gemaakt is van vers materiaal bij Harts-tocht is vergelijkbaar met die van het materiaal dat bij Zegveld is verwerkt: hoog asgehalte, laag eiwitgehalte en dus een lage voederwaarde. De twee balen die zijn gemaakt van voorgedroogd materiaal hebben een lager asgehalte en een hoger ruw-eiwitgehalte. De voederwaarde is dan ook hoger (Tabel 22), maar is nog steeds lager dan de streefwaarde. Dat is maar voor een klein deel het gevolg van

het inkuilproces, waarbij anorganisch materiaal op het land achterbleef. De planten die in Zegveld werden verwerkt en die vers werden geperst, hadden een veel hogere anorganische fractie (50,1%) dan de planten die werden gedroogd (44,2 en 25,7%). Na drogen, schudden en persen nam de anorganische fractie verder af (31,2 en 24,7%). Jongvee besnuffelde de planten, maar wilde er niet van eten (Figuur 28). De varkens aten, zo te zien gretig, zowel verse als droog ingekuilde waterplanten (Figuur 29).

De pellets die van de kuilbalen werden geperst (2.4.3 B) werden ook gegeten door de varkens, maar die leken de voorkeur te hebben voor regulier voer. Paarden en pony's aten de pellets ook. De koeien snuffelden er aan, maar aten ze niet. Het kan zijn dat er toen al schimmel in zat.

Conclusies: De voederwaarde van doorgroeid fonteinkruid is laag, maar kan met additieven enigszins worden verhoogd. De belangrijkste beperkingen zijn het hoge, sterk variabele, anorganische-stofgehalte en het lage ruw-eiwitgehalte.

Tabel 22

Voederkwaliteit kuilvoerbalen				
	nat	droog	droog	streeftraject
droge stof	188	594	683	300-500
VEM	343	635	666	880-940
VEVI	326	633	667	900-980
Dve+	32	68	78	60-80
Oeb+	1	18	29	40-80
Vos	282	515	535	680-720
Fosp+	272	359	382	525-600
OEB+ 2 uur	11	22	30	40-95
FOSp+ 2 uur	94	100	110	225-300
StrWrd	1.1	1.7	1.4	2.6-3.0
verzadigingswaarde	1.1	1.07	1.1	0.95-1.1
Ruw as	559	282	253	90-120
Vcos T&T	64	71.7	71.6	76-80
Re	102	151	174	160-190
Ruw celstof	153	213	176	230-280
Suiker	x	x	x	40-100
Na	x	6	7.3	2.0-3.0
K	X	26.7	28	25-35
Mg	X	6	6.1	2.0-3.5
Ca	X	61.9	50.9	4.5-6.5
P	X	4.2	4.3	3.0-4.5
S	X	5.7	6.5	2.0-4.0
Mn	X	1276	2107	40-125
Zn	X	34	44	25-50
Fe	X	886	1434	100-500
Cu	X	9.3	11	12.0-15.0
Mo	X	0.8	0.6	1.0-2.5
J	X	8.6	9.7	0.5-2.5
Co	X	554	867	100-500
Se	X	174	240	90-250
pH	6.5	6.3	6.6	4.0-4.8
NH3	14	5	5	<9

Figuur 28: Koeien snuffelen aan de ingekuilde planten, maar eten er niet van



Figuur 29: Varkens tasten gretig toe op de verse planten, terwijl ze vlak daarvoor nog hun reguliere maaltijd hebben genoten



3 Discussie en conclusies

3.1 Maaitechnieken

Voor het maaien van (grote hoeveelheden) waterplanten in plassen en meren zijn sinds kort goede technieken beschikbaar. Speciaal voor het werken op grote wateren zijn grote maaiverzamelboten ontwikkeld, die nu op verschillende plaatsen in het land worden ingezet. Deze boten zijn veilig en arbotechnisch verantwoord. Door hun omvang kunnen ze worden ingezet op grote oppervlakten en ze kunnen tot op grote diepte maaien. Ze werken allemaal met knipmessen. De gemaaide planten worden meteen uit het water verwijderd. Deze boten hebben een forse opslagcapaciteit en zijn zelflossend. Daarnaast zijn kleinere maaiverzamelboten beschikbaar, de maaikor en het klassieke assortiment. Voor elke situatie bestaat een beproefde techniek (zie ook de Haan *et al.* 2012).

3.2 Tijdstip, hoogte en hoeveelheid

Voorschriften en adviezen om effectief en natuurvriendelijk te maaien zijn inmiddels voorhanden (RWS IJsselmeergebied 2012; De Haan *et al.* 2012). Aanbevolen wordt om niet vóór 1 juli te maaien, behalve als de planten vroeg zijn gaan woekeren. In de regel is één keer maaien genoeg. Maai bij voorkeur minimaal 60 cm boven de bodem om de natuur te sparen. Dat voorkomt deels ook een snelle hergroei van woekerende soorten. De te maaien oppervlakte vormt een kwestie van maatwerk, rekening houdend met de verschillende belangen, waaronder de natuurwetgeving. Overleg met de provincies is daarbij noodzakelijk.

3.3 Transport en conservering

3.3.1 Verse planten

Verse waterplanten hebben een laag soortelijk gewicht en een zeer hoog watergehalte. Dat maakt het vervoer kostbaar. Door de planten te hakselen kan het volume met 67% worden verkleind. Dat kan met bestaande machines. Dat weegt waarschijnlijk niet op tegen de tijd en kosten die daarmee zijn gemoeid. De planten zijn nog steeds niet geconserveerd, gaan snel rotten en moeten daarom direct worden verwerkt. Het persen en inkuilen van "verse" waterplanten bleek geen goed idee. De volumereductie is fors, maar de balen zijn zwaar, lastig te hanteren en bederven ook snel. Er komt veel, sterk vervuild lekwater uit vrij. Waarschijnlijk is het de moeite niet waard. Net als na hakselen moeten ze snel worden verwerkt.

3.3.2 Drogen en persen

Het drogen en tot kuilbalen persen met standaard-landbouwmachines bleek erg succesvol. De reductie van het volume en vochtgehalte was groot. Het verlies bij het drogen was nog groot, maar dat kan waarschijnlijk worden verminderd door dikker te strooien. De balen waren goed geconserveerd en goed houdbaar. Ze werden niet erg zuur, mogelijk door het hoge kalkgehalte. Ze waren stevig en goed hanteerbaar. De geteste additieven verbeteren de conservering niet. Dit opent perspectieven voor grootschalige verwerking. Elke melkveehouder heeft de beschikking over de nodige apparatuur en in de maaiperiode (juli-augustus) is altijd wel ergens pas gemaaid grasland in de buurt. Planten die op dag één zijn gemaaid, kunnen op dag twee worden gestrooid en zijn op dag vier tot balen

geperst. Deze balen kunnen lang worden bewaard, tot er zoveel aanwezig zijn dat er een volle vracht naar de verwerking kan worden gereden. Materiaal dat op het grasland is achtergebleven, vormt waarschijnlijk een goede aanvulling op de mineralenbalans (STOWA 2003): het bevat koolstof, niet veel voedingsstoffen en redelijk veel kalk en andere mineralen. Welke vergoeding een boer voor deze dienst zou moeten ontvangen is uiteraard afhankelijk van de kosten die hij moet maken. In paragraaf 3.4.2 staat een rekenvoorbeeld van kosten en opbrengsten.

3.4 Duurzame verwerking

3.4.1 Storten

Het op een bult storten en laten vergaan is bijzonder onduurzaam, zelfs als het materiaal maar een paar dagen blijft liggen. Het lekvocht zal water en bodem sterk vervuilen. De stank kan bijzonder hinderlijk zijn. Voor composteringsinstallaties bestaan, niet voor niets, strenge milieuvorschriften. Bovendien gaan energie en voedingsstoffen verloren. Hetzelfde geldt voor balen die worden geperst van verse planten. Experimenten elders laten een vergelijkbaar beeld zien (Steketee *et al.* 2005).

3.4.2 Inkuilen en vergisten

Dit onderzoek toont aan dat vergisting van waterplanten goed mogelijk is. De energieopbrengst per ton is sterk afhankelijk van het drogestofgehalte. Dat van de kuilbalen is zo hoog dat ze voor € 90 per ton aan gas kunnen opbrengen. Ter vergelijking: zeer schone compost levert € 17 per ton op (de Wit 2013). Een andere kant vormen de kosten. Het aanleveren van plantenmateriaal aan een composteringsbedrijf als Hartstocht kost € 10 per m³ / € 40 per ton. Steketee *et al.* 2005 kwamen 10 jaar geleden uit op € 30-35 per ton. Je moet er dus voor betalen om het kwijt te raken. De kosten van het drogen en persen zijn door Hartstocht berekend op basis van de tijd per vracht van 12 m³ en de kosten die voor een machine met chauffeur per uur worden gerekend. Om inkuilen en composteren met elkaar te kunnen vergelijken is dus wat rekenwerk nodig (Tabel 23).

Tabel 23

kosten verwerken van 12 m ³ of 3 ton waterplanten			
	uur	€ per uur	totaal
laden met kraan	0,25	55	13,75
uitrijden	0,33	90	29,70
schudden en wiersen	0,25	60	15,00
persen	0,17	85	14,45
materiaal			10,00
totaal inkuilen			82,90
composteren			120,00
verschil			37,10

De vergelijking valt gunstig uit voor het inkuilen. Dat is € 37,10 goedkoper dan het aanleveren van dezelfde vracht bij de composteerder. Die drie ton vers materiaal levert 0,207 ton ingekuild materiaal op. Dat is goed voor € 18,63 aan gas. Dan is de vraag hoeveel compost overblijft van die drie ton. Het drogestofgehalte van verse planten bedraagt 15%. Die drie ton bevat dus 450 kg droge stof. Aangezien compost een vochtgehalte heeft van maximaal 50%, blijft 0,9 ton compost

over. Dat levert op zijn best € 15,30 op. Ook in dit opzicht steekt inkuilen en vergisten gunstig af: € 3,33 meer opbrengst. Het verschil in kosten en opbrengsten samen levert een positief resultaat op van ruim € 40 voor een vracht van 12 m³ bij inkuilen en vergisten.

Uiteraard is deze kostenberekening niet compleet. De transportkosten zijn buiten beschouwing gelaten. Zowel bij composteren als bij inkuilen en vergisten is transport nodig. Bij vergisten worden ook kosten gemaakt voor het uitpakken, de vermenging met water en de afzet van het digestaat. Bij composteren zijn er de kosten van het regelmatig omzetten en de afzet van het digestaat. Het is echter de vraag of dat het verschil van € 40 teniet zal doen.

De bovenstaande berekening is gebaseerd op het verwerken van een kleine vracht per dag. Als meer planten worden aangeleverd zouden de kosten voor het inkuilen nog verder kunnen dalen. Transport is kostbaar. Een vracht van 12 m³ 40 km verderop afleveren kost € 150. Als met lokale boeren wordt samengewerkt, dichterbij dan het dichtstbijzijnde composteringsbedrijf, kunnen daardoor de kosten van drogen, balen en vergisten mogelijk verder afnemen. Als een vergister in de buurt is, zou het waarschijnlijk efficiënter zijn om de planten vers aan te leveren. Als alternatief voor vergisten kan worden overwogen om de balen (bij) te stoken in warmtekrachtinstallaties van het type dat ook wel met strobalen wordt gestookt of in huisvuilverbrandingsinstallaties.

3.4.3 Verwerken tot pellets

Op laboratoriumschaal is het TORWASH-proces succesvol. De pellets hebben een drogestofgehalte van rond 75%. Daardoor zijn de volumereductie en de houdbaarheid groot. De hoeveelheid perssap is echter evenredig met de gewichtsreductie en het perssap is van slechte kwaliteit en mag zeker niet worden geloosd in bodem, oppervlaktewater of riool. De meest realistische toepassing lijkt nu dat de planten ter plekke tot een slurry worden verwerkt en per tankwagen naar een vaste installatie worden vervoerd. Die kan worden aangesloten op een zuiveringsinstallatie. De verbrandingswaarde van de Cabomba-pellets komt in de buurt van die van houtsnippers. Die van waterpest is veel lager vanwege het hoge kalkgehalte van het materiaal. Bij het TORWASH-proces gaat veel materiaal verloren. Het komt terecht in het perssap.

Het TORWASH-proces verwijdert, zonder wassen, een groot deel van het chloride, tot een niveau iets hoger dan bij houtsnippers. Het asgehalte is hoog, vergeleken met dat van houtsnippers en steenkool. Bij waterpest zit veel kalk in de as, maar dat hoeft bij verbranding geen groot probleem te zijn. Bij Cabomba bevat de as veel silicium. Dat mineraal smelt eerder en kan bij de verbranding leiden tot afzettingen in de oven. Op basis van dit onderzoek kan TORWASH voorlopig worden gezien als een kansrijke methode om waterplanten mee te stoken in elektriciteitscentrales. Maar voor de methode toepasbaar is zal nog meer ontwikkeling en onderzoek nodig zijn.

Persen tot standaardpellets is technisch goed mogelijk. Verder geldt hetzelfde als voor TORWASH-pellets.

3.4.4 Pyrolyse

Het inzetten van waterplantenpellets in het pyrolyseproces wordt afgeraden. Het geproduceerde gas kan niet worden ingezet voor energieopwekking en zal leiden tot veel rookoverlast. De hoeveelheid geproduceerde as is vergeleken met die van hout erg groot.

3.4.5 Veevoer

De voederwaarde van verse en vers ingekuilde waterplanten is erg laag. De voederwaarde van voorgedroogde en ingekuilde planten is hoger, maar nog steeds laag, zelfs vergeleken met de voederwaarde van natuurhooi van lage kwaliteit (Korevaar 1986). De voederwaarde is sterk afhankelijk van het drogestofgehalte en het organische-stofgehalte bij het inkuilen: hoe hoger hoe beter. Dat verklaart het verschil tussen de kuilvoerbalen en de aanvullende experimenten. Inkuilen met een additief als melasse of Ecosyl, verhoogt de voederwaarde, maar niet tot normale waarden, vooral omdat het drogestofgehalte laag blijft. De kuilvoerbalen komen voor een aantal parameters in de buurt van de streefwaarden, vooral omdat het asgehalte van de verwerkte planten laag was.

Bij de voeding aan (melk)vee zal een hoge opname van Ca kunnen leiden tot een verlaagde resorptie van onder andere Ca, Mg, P, Cu. Bij drachtig vee ontstaat daardoor het risico dat een koe na het afkalven, als de Ca-behoefte opeens veel groter wordt, te weinig Ca (en Mg) kan opnemen in het bloed. Hierdoor zal de koe melkziekte kunnen krijgen. Bij het voeren van beperkte hoeveelheden zal het risico op ziekte van het vee minimaal zijn. Het verdient wel aanbeveling om bij het vervoederen van grote hoeveelheden waterplanten (al dan niet ingekuild) een diergezondheidsrisicoanalyse uit te voeren. Een overmaat aan mangaan wordt goed verdragen vanwege de gemakkelijke uitscheiding via darmsappen. Wel kan het de benutting van andere mineralen remmen, onder andere van het element ijzer (Gios Nele, 2006).

3.5 De bron van kalk en silicium

Zowel de waarde als brandstof als de waarde als veevoer wordt sterk bepaald door het gehalte organische stof en is omgekeerd evenredig met het gehalte anorganische stof of as. Dat anorganische-stofgehalte wordt bij waterplanten sterk beïnvloed door hoge calcium- en siliciumgehalten. Voor de vaak hoge kalkgehalten geeft Weeda (2011) een treffende verklaring: "In basisch water is de oplosbaarheid van CO₂ groter dan in neutraal water en ook minder afhankelijk van de temperatuur, omdat het wordt omgezet in bicarbonaat. Een aantal waterplanten dat het hele seizoen onder water leeft, kan uit dit bicarbonaat CO₂ afsplitsen en als koolstofbron gebruiken. Daarbij ontstaat onoplosbare kalk (calciumcarbonaat), die zich vaak als een korst afzet op de planten. In feite gebeurt hier hetzelfde als in huishoudelijke apparaten waarin bicarbonaatrijk leidingwater wordt verhit. Om deze kalkafzetting wordt zulk water "hard" genoemd. Typische hardwaterplanten zijn glanzig fonteinkruid, schedefonteinkruid en grof hoornblad, die in stilstaand water vaak met kalkaanslag bedekt zijn. Hiertegenover staan zachtwaterplanten, die aan (zwak tot sterk) zuur water gebonden zijn." Het ligt voor de hand dat de kalklaag geleidelijk toeneemt, waardoor de vroeg geoogste planten "schoner" zijn en een hogere waarde hebben als energiebron of veevoer.

Hoge siliciumgehalten worden door Bleijendaal *et al.* (2012) verklaard door aanhangend zand. Dat kan inderdaad het geval zijn. Door ruim (60 cm) boven de bodem te maaien wordt het meenemen van zand vermeden. Dat sluit de aanwezigheid van silicium echter niet uit. De massale groei van kiezelwieren, die voorkomt op sommige planten, zal ook kunnen leiden tot verhoogde siliciumgehalten (STOWA 2014). Hoge kalk- en kiezelgehalten zijn dus kenmerkend voor waterplanten en kunnen maar ten dele worden vermeden.

3.6 Toekomstperspectief

Het probleem dat waterplanten veel water en lucht bevatten en snel gaan rotten lijkt oplosbaar. Drogen en het persen van balen zijn in de melkveehouderij gangbare technieken. En melkveehouders zijn er volop. Mogelijk is drogen en het persen van balen zelfs goedkoper dan composteren. Conservering en verhoging van het gehalte organische stof brengt de productie van biogas een stap dichterbij. De verwerking tot biogas moet verder worden uitgetoet, bij voorkeur op praktijk-schaal om een realistisch beeld van de kosten en de opbrengsten te kunnen krijgen. Het verwerken tot andere brandstoffen is nog sterk experimenteel. Hiervoor is nog meer onderzoek en ontwikkeling nodig. Duidelijk is wel dat voor een efficiënte winning van energie grote hoeveelheden planten beschikbaar moeten komen. Het hoge asgehalte vormt een probleem. Verder is nog niet duidelijk waaruit de organische stof van waterplanten bestaat. Vermoedelijk zijn ze anders van samenstelling dan "landplanten".

De toepassing als verwerking tot veevoer ligt niet voor de hand. De voederwaarde is te gering en op de markt zijn veel alternatieven voorhanden. Als het persen van balen inderdaad goedkoper is dan composteren en als veehouders het product "om niet" afnemen, komt de toepassing als veevoer in beeld.

4 Bijlagen

1. Rapport Opure samenstelling en vergistbaarheid. (Duine 2013 a en b)
2. Rapportageformulieren voederwaarde kuilvoerbalen BLGG AgroXpertus
3. Analyserapport perssap en lekwater BigBags Waterproef
4. Analysebericht vergistbaarheid waterpest en Cabomba, Opure
5. Rapportage aanvullende kuilproeven, Zegveld (van Houwelingen 2013)
6. Rapportage TORWASH, ECN (Bleijendaal *et al.* 2012)
7. Analyserapport perssap waterpest en Cabomba, Waterproef

5 Literatuur

1. ARCADIS. Evaluatie Bovenwater 2008-20010. Apeldoorn: ARCADIS; 2011.
2. --. Evaluatie project Bovenwater 2006-2007. Apeldoorn: ARCADIS; 2008.
3. Bakker, E. S.; van Donk, E.; Geclerck, S. A. J.; Helmsing, N. R.; Hidding, B., and Nolet, B. A. Effect of macrophyte composition ann nutrient enrichment on plant biomas and algal blooms. *Basic and Applied Ecology*. 2010; 11:432-439.
4. Bleijendaal, L. P. J.; Sumbharaju, R.; Pels, J. R.; van der Laan, R. R.; Cieplic, M. K., and Bosma, M. Waterpest en Cabomba TORWASH experimenten. Petten: ECN; 2012.
5. Bloemendaal, F. H. J. L. and Roelofs, J. G. M. *Waterplanten en waterkwaliteit*. editorsUtrecht: Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging; 1988.
6. de Haan, M.; Pot, R., and van Oostveen, M. *Onderbouwing handreiking waterplanten maaibeheer*. Rijkswaterstaat; 2012.
7. Duine, A. *Onderzoek vergistbaarheid waterplanten*. Ede: Opure BV; 2013; Rapportnr. 013246.
8. --. *Onderzoek vergistbaarheid waterplanten, laatste drie monsters*. Ede: Opure BV; 2013; Rapportnr. 014014.
9. Escobar, M. M.; Voyevoda, M.; Fühner, C., and Zehndorf, A. Potential uses of *Elodea nuttallii*-harvested biomass. *Energy, Sustainability and Society*. 2011; 1/4.
10. Gulati, R. D. and van Donk, E. Lakes in the Netherlands, their origin, eutrophication and restoration: state-of-the-art review. *Hydrobiologia*. 2002; 478:73-106.
11. Holshof, G.; Hoving, I. E., and Peeters, E. T. H. M. *Eeendenkroos van afval tot veevoer*. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research; 2009.
12. Hoving, I. E.; van Schooten, H. A.; Holshof, G.; van Houwelingen, K., and van de Geest. *Inkuilen van eendenkroos als veevoer met verschillende additieven*. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research; 2011.
13. Jaarsma, N.; Klinge, M., and Lamers, L. *Van Helder naar Troebel en weer terug*. Utrecht: STOWA; 2008.
14. Korevaar, H. *Productie en voederwaarde van gras bij gebruiks- en bemestingsbependingen voor natuurbeheer*. Wageningen: Landbouwuniversiteit Wageningen; 1986.

15. Lamers, L., ed. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Eindrapportage 2006-2009 (Fase 2). Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit; 2009; DK nr. 2006/057-O.
16. Lamers, L.; Schep, S., and Geurts, J. Smolders F. Erfenis fosfaatrijk verleden: helder water met woekerende waterplanten. H2O. 2012; 44(13):29-31.
17. Nele, G. Belang van mineralen en vitaminen in de melkveevoeding. Geel: Katholieke Hogeschool Kempen; 2006.
18. Pot, R. Toestand en trends in de waterkwaliteit van Nederlandse meren en plassen. Resultaten van de vijfde eutrofiëringenenquête in opdracht van de werkgroep Routekaart Heldere Meren. Pandijk: Roelf Pot; 2010.
19. Pot, R. and ter Heerdt, G. N. J. Succession dynamics of aquatic lake vegetation after restoration measures: increased stability after 6 years of development. Hydrobiologia. 2014; online maart 2014.
20. Provincie Noord-Holland. Atlas Natura 2000 Oostelijke Vechtplassen en Naardermeer. Haarlem: Provincie Noord-Holland; 2012.
21. RWS IJsselmeergebied. Handreiking waterplanten maaibeheer. Aanwijzingen voor het maaien van waterplanten in rijkswateren ten behoeve van recreatie. Lelystad: RWS IJsselmeergebied; 2012.
22. Specken, B. and de Groot, J. Trends in waterkwaliteit in het beheergebied van Amstel, Gooi en Vecht. H2O. 2010; (4):45-48.
23. Steketee, J. J.; Mels, A.; Bisschops, I., and Reth, J. H. Waterplanten als grootschalige energiebron. Coalitievorming en vormgeving transitie-experimenten. Deventer: Tauw; 2005.
24. STOWA. Bodemverbeterende eigenschappen van sloot- en oevermaaisel op landbouwgronden. Utrecht: STOWA; 2003.
25. STOWA. Handboek hydrobiologie H9 kiezelwieren. Amersfoort: STOWA; 2014.
26. ter Heerdt, G. N. J. Overematige waterplantegroei in het Loosdrechtse Plassengebied. Probleembeschrijving, achtergronden, mechanismen en mogelijkheden tot aanpak. Amsterdam: Waternet; 2014.
27. ter Stege, E. A. and Pot, R. Slootschoning Geschouwd. Mogelijkheden voor ecologisch beheer van watergangen. Arnhem: provincie Gelderland; 1991.
28. van Geest, G. and Noordhuis, R. Sturen op watervegetaties. Delft: Deltares; 2014.

29. van Houwelingen, K. M. Conserveren van waterplanten met verschillende additieven. Wageningen: Wageningen UR Livestock Research; 2013.
30. van Puijenbroek, P. J. T. M.; Cleij, P., and Visser, H. Aggregated indices for trends in eutrophication of different types of fresh water in the Netherlands. *Ecological Indicators*. 2014; 36:456-462.
31. Veeningen, R. Zuurstofhuishouding in Poldersloten. Nieuwersluis: Limnologisch Instituut; 1985.
32. de Wit, J. Bedrijfseconomische effecten van verhoging van het bodemorganische-stofgehalte: compostgebruik in de akkerbouw. Driebergen: Louis Bolk Instituut; 2013.
33. Zant, F. M.; Bijkerk, R.; van den Berg, M. S., and Coops, H. Beheersing van waterplanten in de Veluwerandmeren. Literatuurstudie naar methoden en effecten. Haren: Koeman en Bijkerk bv.; 1999; Koeman en Bijkerk rapportnr 99-03.

Bijlage 1

Rapport Opure samenstelling en vergistbaarheid. (Duine 2013 a en b)

**ONDERZOEK VERGISTBAARHEID
WATERPLANTEN**

WATERNET

ONDERZOEK VERGISTBAARHEID WATERPLANTEN

WATERNET

p.013089

Opure BV
Max Planckstraat 24A
NL-6716BE Ede
Tel. + 31 (0) 318 621200
Fax + 31 (0) 318 668440
info@Opure.nl
www.opure.nl

Datum: 18 oktober 2013
Auteur: A. Duine
Projectnr: 013089
Rapportnr. 013246

1 AANLEIDING

Dhr. ter Heerdt heeft Opure BV opdracht gegeven 24 monsters van waterplanten te onderzoeken op vergistbaarheid. Daarnaast moesten enkele parameters van het materiaal worden bepaald (ds, os, tot. N, tot. P en CZV).

De volgende monsters werden aangeleverd.

Tabel 1. Overzicht van de aangeleverde monsters

nummer	omschrijving	opmerking
1	Doorgroeid f. vers 09-07-13	nat
2	Doorgroeid Broei 09-07-13	nat
3	Maaien 08-07, Spreiden 09-07, persen ? Voorgedroogd 10-07-13	droog
4	Doorgroeid vers 10-07-13	nat
5	voorgedroogd 3e dag 11-07	droog
6	voorgedroogd 2e dag 11-07	droog
7	vers 11-07	nat
8	vers II 11-07	nat
9	voorgedroogd op plaat 15-07	droog
10	vers 11-07	nat
11	voorgedroogd 1e partij van 11-07 gebrocht 15-07	droog
12	net voor persen 11-07	droog
13	pers verliesen 11-07	droog
14	voorgedroogd 2e partij van 11-07 15-07	droog
15	vers materiaal 12-07	nat
16	Big Bag 13-07	nat
17	Big Bag 15-07	nat
18	vers 15-07	nat
19	vers 18-07	nat
20	materiaal van 15e droog 16-07	droog
21	Big Bags 17-07	nat
22	Big Bags 19-07	nat
23	vers voor hakselen 23-07	nat
24	na hakselen 23-07	nat

2 METHODE

Op het laboratorium van Opure BV werd eerst het droge stof- en org. stofgehalte (in triplo!) bepaald waarna de te doseren hoeveelheden voor de vergistingstest werden berekend. Voor de droge stofbepaling werden speciale cupjes gebruikt. Op een weegschaal wordt het substraat ingewogen (ca. 100 g per cupje). Deze worden vervolgens 48 uur gedroogd bij 105 ° C. Na 48 uur wordt het droog gewicht teruggewogen en wordt het cupje gedurende 8 uur verast bij 550 °C. De te doseren hoeveelheid (de range ligt in praktijk bij ca. 1 - 30 g) hangt namelijk af van de verwachte biogasopbrengst, het doel is enerzijds zoveel mogelijk biogas tijdens de test op te wekken, zodat de test zo nauwkeurig mogelijk wordt, anderzijds moet worden opgepast, dat de bacterien niet te hoog belast worden en de reactor verzuurd. De berekende hoeveelheid werd met 200 g (met nauwkeurige weegschaal) speciaal voorbehandeld mesofiel entmateriaal (afkomstig van 3 verschillende vergisters) gemengd in een batchreactor (zie afbeelding). Het entmateriaal wordt voorbehandeld (3 verschillende soorten, mengen, grof zeven en fijn zeven (200 µm) om het zo homogeen mogelijk te maken (anders ontstaan er verschillen tussen de reactoren in gasopbrengst!) en om de gasproductie van het entmateriaal zo laag mogelijk te houden. Dit is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de biogasproductie uit het te onderzoeken materiaal veel meer biogas maakt dan het entmateriaal (hoe meer biogas uit het te onderzoeken materiaal tov. het entmateriaal des te nauwkeuriger).

Voor elk substraat (behalve GFT en huishoudelijk afval) worden altijd 3 reactoren gebruikt (onderzoek in triplo). Tevens worden altijd drie referentiereactoren met alleen entmateriaal ingezet (om de biogasproductie van het entmateriaal te bepalen. Het substraat werd met een schaar in kortere stukken geknipt om ervoor te zorgen dat het goed in het entmateriaal kan worden vermengd. Het materiaal is dus niet vermoesd (dit kan tot afwijkingen leiden). Na menging van het substraat met het entmateriaal in de proefreactoren wordt nog een magneetroerder toegevoegd, zodat op elk gewenst moment met een magneetroerder kan worden gemengd. Daarna worden de reactoren met stikstof geflushed (verdringing van zuurstof) en luchtdicht afgesloten. Tenslotte worden ze in een broedstoof bij 35 ° C geincubeerd. De reactoren worden niet continu gemengd, daar bij langere proefduur dit tot sliblagen aan de wand van de leidt (ze worden 1 keer per week voorzichtig opgemengd op een plaat met 10 magneetroerder plaatsen). In alle flessen wordt de biogasproductie gevolgd. Als de druk te hoog wordt, wordt biogas afgelaten (terwijl het methaan, kooldioxide en zwavelwaterstofgehalte wordt gemeten).



Foto 1. Glazen batchreactor



Foto 2. Broedstovenruimte (Termaks)

De biogasvorming van het substraat wordt als volgt berekend:

(Biogasproductie in de reactoren met substraat – biogasproductie in de referenties (als gemiddelde en gecorrigeerd voor de exact gedoseerde hoeveelheid digestaat)) temperatuurcorrectiefactor*

Deze hoeveelheid wordt gedeeld door de gedoseerde hoeveelheid substraat, wat vervolgens wordt omgerekend naar norm-m³ / ton substraat (norm m³ betekent dat het volume is terugerekend naar 0 ° C, 1 atm).

De biogasproductie werd met behulp van een nauwkeurige drukverschilmeting bepaald. Indien de druk 0,5 bar boven de normale luchtdruk lag, werd tot 0,0 bar verschil afgelaten en de gassenstelling van het afgelaten gas werd gemeten (CH₄, CO₂, H₂S). Deze procedure wordt herhaald tot de proef is afgelopen.

Aan het eind van de proef (als bijna geen biogas meer wordt geproduceerd) wordt voor de laatste keer methaan, kooldioxide en zwavelwaterstof gemeten. Hiermee wordt dan met in excel berekend hoeveel % methaan er in het totale biogas zit (de methaan en kooldioxidegehalten van elke keer dat er methaan/kooldioxide is gemeten worden omgerekend naar ml en opgeteld).

Opure BV heeft ook het CZV-gehalte van alle stromen in drievoud bepaald. Dit is een vrij bewerkelijke meting omdat het materiaal eerst vermoed moet worden en dan verdund om het CZV-gehalte te kunnen bepalen.

Verder werd het tot. N en tot. P gehalte door Acmaa bepaald (in duplo).

3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

droge stof / org. stof

In tabel 2 zijn de droge stof- en organische stofgehalten weergegeven. Er is duidelijk verschil tussen natte en droge monsters. De natte monsters hebben over het algemeen een ds-gehalte van 10 tot 15 %. De droge stromen hebben een ds-gehalte in de range van 60 – 83 %. Monster 9 heeft het hoogste ds-gehalte. De organische stofgehalten liggen in een wat lagere range, 50 – 79 %. Vermoedelijk heeft dit te maken met bv. zand wat aan wortels kleeft, maar ook met opgeloste zouten in het water van de plant (nutrienten zoals nitraat, fosfaat, sulfaat etc).

Tabel 2. Overzicht samenstelling van de monsters (ds, os)

nummer	omschrijving	opmerking	% van ds	
			droge stof	org. stof
1	Doorgroeid f. vers 09-07-13	nat	11,9	74,3
2	Doorgroeid Broei 09-07-13	nat	13,4	65,4
3	Maaien 08-07, Spreiden 09-07, persen ? Voorgedroogd 10-07-13	droog	60,1	74,5
4	Doorgroeid vers 10-07-13	nat	12,6	63,0
5	voorgedroogd 3e dag 11-07	droog	76,3	74,3
6	voorgedroogd 2e dag 11-07	droog	64,9	70,9
7	vers 11-07	nat	13,2	66,6
8	vers II 11-07	nat	13,3	71,2
9	voorgedroogd op plaat 15-07	droog	82,6	78,8
10	vers 11-07	nat	12,4	71,2
11	voorgedroogd 1e partij van 11-07 gebrocht 15-07	droog	62,6	71,5
12	net voor persen 11-07	droog	82,1	75,3
13	pers verliezen 11-07	droog	73,7	74,6
14	voorgedroogd 2e partij van 11-07 15-07	droog	75,3	70,0
15	vers materiaal 12-07	nat	11,9	69,6
16	Big Bag 13-07	nat	13,3	68,9
17	Big Bag 15-07	nat	13,7	52,4
18	vers 15-07	nat	15,6	55,8
19	vers 18-07	nat	14,3	49,9
20	materiaal van 15e droog 16-07	droog	65,9	68,8
21	Big Bags 17-07	nat	12,5	55,3
22	Big Bags 19-07	nat	12,6	55,7
23	vers voor hakselen 23-07	nat	14,1	56,3
24	na hakselen 23-07	nat	15,0	55,9

Stikstof en fosfor

In tabel 3 zijn de resultaten van de stikstofmeting weergegeven (per ton nat en per kg ds). De natte monsters hebben een normaal stikstofgehalte in de range van ca. 2,5 tot 4 kg N/ton nat. De droge monsters bevatten natuurlijk hogere gehalten, de range is dan ca. 14 – 23 kg N/ton nat. Per kg droge stof liggen de getallen dicht bij elkaar, ca 23 tot 30 g/kg ds. Monsters 2, 18 en 19 wijken af naar beneden. Bij tot. P liggen de getallen in de range van 0,35 – 4,0 kg/ton nat en uitgedrukt per kg ds 2,5 – 6 g P/kg ds.

Tabel 3. Overzicht samenstelling van de monsters (N,P)

nummer	omschrijving	opmerking	kg/ton	kg/ton	g N/kg ds	g P/kg ds
			tot. N	tot. P	tot. N	tot. P
1	Doorgroeid f. vers 09-07-13	nat	3,32	0,68	27,9	5,7
2	Doorgroeid Broei 09-07-13	nat	2,81	0,40	21,0	3,0
3	Maaien 08-07, Spreiden 09-07, persen ? Voorgedroogd 10-07-13	droog	13,90	2,04	23,1	3,4
4	Doorgroeid vers 10-07-13	nat	3,30	0,57	26,1	4,5
5	voorgedroogd 3e dag 11-07	droog	17,30	2,83	22,7	3,7
6	voorgedroogd 2e dag 11-07	droog	17,50	3,09	27,0	4,8
7	vers 11-07	nat	3,59	0,67	27,2	5,1
8	vers II 11-07	nat	3,80	0,63	28,5	4,8
9	voorgedroogd op plaat 15-07	droog	23,10	3,74	28,0	4,5
10	vers 11-07	nat	3,33	0,63	26,8	5,1
11	voorgedroogd 1e partij van 11-07 gebrocht 15-07	droog	16,20	2,63	25,9	4,2
12	net voor persen 11-07	droog	21,10	3,40	25,7	4,1
13	pers verliezen 11-07	droog	19,50	3,07	26,4	4,2
14	voorgedroogd 2e partij van 11-07 15-07	droog	18,40	3,24	24,4	4,3
15	vers materiaal 12-07	nat	3,11	0,59	26,2	5,0
16	Big Bag 13-07	nat	4,16	0,72	31,2	5,4
17	Big Bag 15-07	nat	3,55	0,65	25,9	4,8
18	vers 15-07	nat	3,02	0,41	19,4	2,6
19	vers 18-07	nat	2,49	0,37	17,4	2,6
20	materiaal van 15e droog 16-07	droog	14,70	2,20	22,3	3,3
21	Big Bags 17-07	nat	3,66	0,61	29,3	4,9
22	Big Bags 19-07	nat	4,15	0,67	32,9	5,3
23	vers voor hakselen 23-07	nat	2,37	0,35	16,8	2,5
24	na hakselen 23-07	nat	2,46	0,40	16,4	2,7

Biogasopbrengst en – samenstelling

In tabel 4 zijn de biogasopbrengst en biogas samenstelling (methaan, waterstofsulfide) weergegeven. De biogasopbrengst is teruggerekend naar de zgn. norm- m^3 (0 ° C, 1 atm.) zodat er mee kan worden gerekend (bv. energieopbrengst). Logischerwijs is er weer duidelijk verschil tussen droge en natte

stromen. De natte stromen hebben een opbrengst is de range 23 tot 50 nm³/ton nat. De droge stromen hebben een opbrengst in de range van 200 – 300 nm³/ton nat. Het methaangehalte bevindt zich in een lage range (50 – 56 %), vergelijkbaar met perspulp en mais (o.a. veroorzaakt door koolhydraten). Vermoedelijk is het CO₂ gehalte ook verhoogd door aanwezigheid nitraat en sulfaat in de planten (nitraat wordt gedenitrificeerd met koolstofbron, er ontstaat stikstofgas en CO₂, sulfaat wordt gereduceerd met een koolstofbron (bv. acetaat) er ontstaat H₂S en CO₂). Een H₂S-gehalte van rond de 100 ppm is normaal voor biogas. Er worden deels hogere waarden gemeten.

Tabel 4. Overzicht resultaten vergistbaarheid (gasopbrengst, spec. biogasopbrengst, methaan, H₂S)

nr.	omschrijving	opmerking	nm ³ /ton nat	nm ³ biogas/ton ds	vol. %	ppm
			biogasproductie	spec. biogaspr.	CH ₄ -gehalte	H ₂ S
1	Doorgroeid f. vers 09-07-13	nat	49,8	418	53,1	143
2	Doorgroeid Broei 09-07-13	nat	41,4	309	50,2	147
3	Maaien 08-07, Spreiden 09-07	droog	224,2	373	50,8	129
4	Doorgroeid vers 10-07-13	nat	40,3	319	55,1	183
5	voorgedroogd 3e dag 11-07	droog	286,0	375	52,3	168
6	voorgedroogd 2e dag 11-07	droog	220,2	340	53,8	191
7	vers 11-07	nat	44,4	337	54,2	196
8	vers II 11-07	nat	49,4	371	53,6	226
9	voorgedroogd op plaat 15-07	droog	302,7	367	52,8	225
10	vers 11-07	nat	50,1	403	53,5	249
11	voorgedroogd 1e partij van 11-	droog	210,8	337	52,3	121
12	net voor persen 11-07	droog	297,7	362	51,9	119
13	pers verliesen 11-07	droog	248,6	337	52,6	108
14	voorgedroogd 2e partij van 11	droog	240,1	319	51,1	61
15	vers materiaal 12-07	nat	45,4	382	54,3	209
16	Big Bag 13-07	nat	38,2	286	51,4	231
17	Big Bag 15-07	nat	24,2	177	54,3	217
18	vers 15-07	nat	42,5	272	55,9	101
19	vers 18-07	nat	35,2	247	55,7	142
20	materiaal van 15e droog 16-07	droog	222,8	338	51,8	116
21	Big Bags 17-07	nat	26,3	210	57,9	136
22	Big Bags 19-07	nat	23,1	183	52,8	205
23	vers voor hakselen 23-07	nat	36,1	255	52,2	167
24	na hakselen 23-07	nat	35,4	236	52,8	142

specifieke biogasopbrengst en rendement

Het rendement op org. stof kan worden geschat met een biogas massa balans. Het is echter een schatting (de energieinhoud van organische stof is natuurlijk niet konstant, een kilo vet bevat grofweg 3 x zoveel CZV als een kilo suiker!). De meting van CZV is relatief onnauwkeurig bij vaste stof, het rendement wordt derhalve berekend op basis van org. stof en niet op een methaan/CZV-balans. Het CZV-gehalte is wel gemeten (in drievoud) en weergegeven.

Tabel 5. Overzicht resultaten vergistbaarheid (spec. biogasopbrengst en rendement)

nummer	omschrijving	opmerking	%		
			rendement op os	nm3/kg os	kg/ton
				spec. biogasprod.	CZV
1	Doorgroeid f. vers 09-07-13	nat	73,5	0,56	102
2	Doorgroeid Broei 09-07-13	nat	63,1	0,47	95,8
3	Maaien 08-07, Spreiden 09-07, persen ?	droog	66,6	0,50	506
4	Doorgroeid vers 10-07-13	nat	63,2	0,51	85,8
5	voorgedroogd 3e dag 11-07	droog	65,2	0,50	686
6	voorgedroogd 2e dag 11-07	droog	61,7	0,48	593
7	vers 11-07	nat	66,1	0,52	101
8	vers II 11-07	nat	66,8	0,52	103
9	voorgedroogd op plaat 15-07	droog	59,9	0,47	71,1
10	vers 11-07	nat	72,6	0,57	96,3
11	voorgedroogd 1e partij van 11-07 gebrocht 15-07	droog	61,3	0,47	554
12	net voor persen 11-07	droog	63,4	0,48	744
13	pers verliesen 11-07	droog	58,2	0,45	645
14	voorgedroogd 2e partij van 11-07 15-07	droog	59,8	0,46	578
15	vers materiaal 12-07	nat	69,8	0,55	98,1
16	Big Bag 13-07	nat	54,0	0,42	89,7
17	Big Bag 15-07	nat	42,9	0,34	81,8
18	vers 15-07	nat	61,1	0,49	98,3
19	vers 18-07	nat	61,8	0,49	96,1
20	materiaal van 15e droog 16-07	droog	65,2	0,49	583
21	Big Bags 17-07	nat	46,1	0,38	87,0
22	Big Bags 19-07	nat	42,5	0,33	91,8
23	vers voor hakselen 23-07	nat	59,0	0,45	92,0
24	na hakselen 23-07	nat	55,2	0,42	104

Het rendement ligt in de range 40 – 75 %. Een rendement van 100 % naar het biogas is niet mogelijk, daar er altijd bacterien groeien op de koolstof uit het substraat, deze hoeveelheid ligt afhankelijk van het substraat in de range 5 – 10 % . Voor dit materiaal moet van de hogere range worden uitgegaan.

Verder zal het materiaal ook niet afbreekbare componenten bevatten. Qua rendement is er geen tendens te ontdekken tussen nat en droog. Wel zijn er enkele natte monsters met een relatief laag rendement (monster 17, 21 en 22). Mogelijk hebben deze te lang gelegen. Vermoedelijk bevatten de planten lignine, wat leidt tot een lager rendement (anaeroob niet afbreekbaar). Cellulose en hemicellulose zijn in principe wel afbreekbaar.

Groen gas / energieopbrengst

Om de opbrengst te kunnen berekenen heeft Opure BV ook de opbrengsten uit groen gas of electriciteit uitgerekend. De aannames zijn 62 cent / m³ groen gas (92 % methaan) en 15 cent/kWh (oudere subsidieregelingen zoals MEP, waar de meeste installaties nog mee rekenen). Aangezien de subsidieregelingen vaker zijn aangepast en zullen worden aangepast moeten deze getallen als indicatie worden gezien. In geval van levering aan een vergister zal moeten worden gerekend met hun vergoedingssysteem.

Verder is aangenomen dat het rendement van een gemiddelde WKK bij 35 % ligt (leveranciers geven hogere getallen, in praktijk wordt dit weinig gehaald door onderbelasting, slecht inzicht in gasflow/gassamenstelling en te hoge vochtgehalten in het biogas).

De resultaten zijn in tabel 6 opgenomen. Het produceren van groen gas blijkt meer waarde te genereren dan het opwekken van stroom (let op, bij aanname groen gas is berekend dat methaangehalte 92 % is, daar aardgas ook niet hoger in methaan zit, in feite wordt bij levering groen gas gestuurd op een zelfde Wobbe-index van het groene gas als het aardgas). De waarde van de natte stromen is relatief gering, rond de 10 Euro tot maximaal 20 Euro per ton (bij groen gas). Aangezien het transport vaak al 5 – 10 Euro per ton kost, is het niet te verwachten dat de afnemer naast de transportkosten een positieve prijs voor het materiaal kan betalen (het uitrijden kost vaak ook al 5 Euro per ton, daarbij komt dan nog de afschrijving, bedrijfskosten en winst, de afnemer heeft een bepaalde marge nodig om het bedrijf financieel gezond te houden).

De droge stromen hebben een potentiële waarde van 55 – 110 Euro per ton, dus grofweg een factor 5 x zo veel. Natuurlijk moet nog wel gekeken worden naar de kosten voor het drogen of indikken van het materiaal per ton.

Tabel 6. Overzicht energieopbrengst.

nr.	omschrijving	opmerking	nm ³ /ton nat groen gas opbr.	kWh/ton nat energieopbr.	Euro/ton nat groen gas opbr.	Euro/ton nat energieopbr.
1	Doorgroeid f. vers 09-07-13	nat	28,8	90,0	17,8	13,5
2	Doorgroeid Broei 09-07-13	nat	22,6	70,8	14,0	10,6
3	Maaien 08-07, Spreiden 09-07, persen ?	droog	123,9	388	76,8	58,2
4	Doorgroeid vers 10-07-13	nat	24,1	75,6	15,0	11,3
5	voorgedroogd 3e dag 11-07	droog	162,7	509	101	76,4
6	voorgedroogd 2e dag 11-07	droog	128,7	403	79,8	60,4
7	vers 11-07	nat	26,2	82,0	16,2	12,3
8	vers II 11-07	nat	28,8	90,2	17,9	13,5
9	voorgedroogd op plaat 15-07	droog	173,8	544	108	81,6
10	vers 11-07	nat	29,1	91,2	18,1	13,7
11	voorgedroogd 1e partij van 11-07 gebrocht 1	droog	119,8	375	74,3	56,3
12	net voor persen 11-07	droog	167,9	526	104	78,9
13	pers verliesen 11-07	droog	142,2	445	88,2	66,8
14	voorgedroogd 2e partij van 11-07 15-07	droog	133,4	418	82,7	62,6
15	vers materiaal 12-07	nat	26,8	83,9	16,6	12,6
16	Big Bag 13-07	nat	21,3	66,8	13,2	10,0
17	Big Bag 15-07	nat	14,3	44,7	8,9	6,7
18	vers 15-07	nat	25,8	80,9	16,0	12,1
19	vers 18-07	nat	21,3	66,8	13,2	10,0
20	materiaal van 15e droog 16-07	droog	125,4	393	77,7	58,9
21	Big Bags 17-07	nat	16,6	51,8	10,3	7,8
22	Big Bags 19-07	nat	13,2	41,4	8,2	6,2
23	vers voor hakselen 23-07	nat	20,5	64,1	12,7	9,6
24	na hakselen 23-07	nat	20,3	63,5	12,6	9,5

4 CONCLUSIES

Opure BV onderzocht 24 monsters waterplanten (nat en gedroogd). De volgende conclusies komen naar voren:

-de natte stromen hebben een ds-gehalte in de range 10 – 15 %. Bij de droge stromen bevindt het ds-gehalte zich in de range 60 – 83 %.

-Het org. stofgehalte lag bij alle stromen in de range 50 – 79 %, wat een beetje tegenvalt. Mogelijk heeft dit te maken met zand van de wortels of verhoogde nutrientconcentraties.

-De stikstofgehaltenes van de natte monsters liggen in een normale range voor plantaardig organisch materiaal, 2,4 – 4 kg/ton nat. De droge monsters bevatten natuurlijk hogere gehaltenes, 14 – 23 kg/ton.

-De fosforgehaltenes liggen in de range van 0,35 – 4,0 kg/ton nat en uitgedrukt per kg ds 2,5 – 6 g P/kg ds.

-De natte stromen hebben een biogas-opbrengst is de range 23 tot 50 nm³/ton nat. De droge stromen hebben een opbrengst in de range van 200 – 300 nm³/ton nat.

-Het methaangehalte ligt in een relatief lage range (50 – 56 %) met gemiddeld 53 %, vergelijkbaar met bv. perspulp en mais.

-Het rendement op org. stof is wat over het algemeen wat laag, de range is 40 – 75 %, waarbij het gemiddelde 61 % bedraagt.

-Het H₂S gehalte ligt voor de meeste monsters in de normale range van ca. 100 ppm. Enkele monsters vertoonden een verhoogd gehalte van 200 – 250 ppm.

-De theoretische waarde van de natte stromen ligt tussen de 10 en 20 Euro. Dit dekt vermoedelijk alleen de transportkosten van het materiaal en de uitrijkosten van het digestaat. Het is derhalve niet te verwachten dat er veel afnemers voor zullen zijn die er voor kunnen betalen (er zal vermoedelijk geld bij moeten).

-De droge stromen leveren 55 tot 100 Euro per ton op. Het is natuurlijk de vraag wat de kosten voor het drogen per ton zijn, om een vergelijk met de natte stromen te kunnen maken.

**ONDERZOEK VERGISTBAARHEID
WATERPLANTEN, LAATSTE 3
MONSTERS**

WATERNET

ONDERZOEK VERGISTBAARHEID WATERPLANTEN

WATERNET

p.013089

Opure BV
Max Planckstraat 24A
NL-6716BE Ede
Tel. + 31 (0) 318 621200
Fax + 31 (0) 318 668440
info@Opure.nl
www.opure.nl

Datum: 14 februari 2014
Auteur: A. Duine
Projectnr: 013089
Rapportnr. 014041

1 AANLEIDING

Dhr. ter Heerdt heeft Opure BV opdracht gegeven nog 3 monsters van waterplanten te onderzoeken op vergistbaarheid. Daarnaast moesten enkele parameters van het materiaal worden bepaald (ds, os, tot. N, tot. P en CZV).

De volgende monsters werden aangeleverd.

Tabel 1. Overzicht van de aangeleverde monsters

nummer	omschrijving	opmerking
25	Droog Baal II D2009 13-11-13	droog
26	Droog Baal I D2009 13-11-13	droog
27	Nat Baal I 13-11-13	nat

2 METHODE

Op het laboratorium van Opure BV werd eerst het droge stof- en org. stofgehalte (in triplo!) bepaald waarna de te doseren hoeveelheden voor de vergistingstest werden berekend. Voor de droge stofbepaling werden speciale cupjes gebruikt. Op een weegschaal wordt het substraat ingewogen (ca. 100 g per cupje). Deze worden vervolgens 48 uur gedroogd bij 105 ° C. Na 48 uur wordt het droog gewicht teruggewogen en wordt het cupje gedurende 8 uur verast bij 550 °C. De te doseren hoeveelheid (de range ligt in praktijk bij ca. 1 - 30 g) hangt namelijk af van de verwachte biogasopbrengst, het doel is enerzijds zoveel mogelijk biogas tijdens de test op te wekken, zodat de test zo nauwkeurig mogelijk wordt, anderzijds moet worden opgepast, dat de bacterien niet te hoog belast worden en de reactor verzuurd. De berekende hoeveelheid werd met 200 g (met nauwkeurige weegschaal) speciaal voorbehandeld mesofiel entmateriaal (afkomstig van 3 verschillende vergisters) gemengd in een batchreaktor (zie afbeelding). Het entmateriaal wordt voorbehandeld (3 verschillende soorten, mengen, grof zeven en fijn zeven (200 µm) om het zo homogeen mogelijk te maken (anders ontstaan er verschillen tussen de reactoren in gasopbrengst!) en om de gasproductie van het entmateriaal zo laag mogelijk te houden. Dit is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de biogasproductie uit het te onderzoeken materiaal veel meer biogas maakt dan het entmateriaal (hoe meer biogas uit het te onderzoeken materiaal tov. het entmateriaal des te nauwkeuriger).

Voor elk substraat (behalve GFT en huishoudelijk afval) worden altijd 3 reactoren gebruikt (onderzoek in triplo). Tevens worden altijd drie referentiereactoren met alleen entmateriaal ingezet (om de biogasproductie van het entmateriaal te bepalen. Het substraat werd met een schaar in kortere stukken geknipt om ervoor te zorgen dat het goed in het entmateriaal kan worden vermengd. Het materiaal is dus niet vermoed (dit kan tot afwijkingen leiden). Na menging van het substraat met het entmateriaal in de proefreactoren wordt nog een magneetroerder toegevoegd, zodat op elk gewenst moment met een magneetroerder kan worden gemengd. Daarna worden de reactoren met stikstof geflushed (verdringing van zuurstof) en luchtdicht afgesloten. Tenslotte worden ze in een broedstoof bij 35 ° C geincubeerd. De reactoren worden niet continu gemengd, daar bij langere proefduur dit tot sliblagen aan de wand van de leidt (ze worden 1 keer per week voorzichtig opgemengd op een plaat met 10 magneetroerder plaatsen). In alle flessen wordt de biogasproductie gevolgd. Als de druk te hoog wordt, wordt biogas afgelaten (terwijl het methaan, kooldioxide en zwavelwaterstofgehalte wordt gemeten).

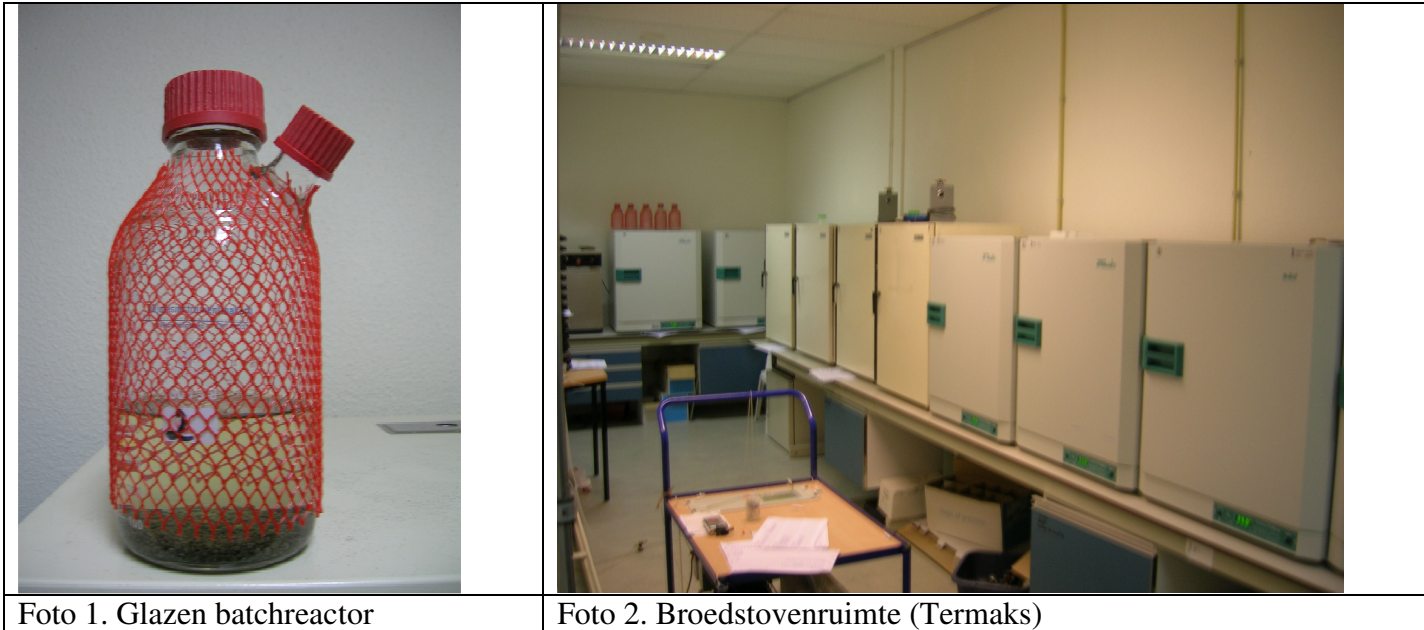


Foto 1. Glazen batchreactor

Foto 2. Broedstovenruimte (Termaks)

De biogasvorming van het substraat wordt als volgt berekend:

(Biogasproductie in de reactoren met substraat – biogasproductie in de referenties (als gemiddelde en gecorrigeerd voor de exact gedoseerde hoeveelheid digestaat)) temperatuurcorrectiefactor*

Deze hoeveelheid wordt gedeeld door de gedoseerde hoeveelheid substraat, wat vervolgens wordt omgerekend naar norm-m³ / ton substraat (norm m³ betekent dat het volume is teruggerekend naar 0 ° C, 1 atm).

De biogasproductie werd met behulp van een nauwkeurige drukverschilmeting bepaald. Indien de druk 0,5 bar boven de normale luchtdruk lag, werd tot 0,0 bar verschil afgelaten en de gassamenstelling van het afgelaten gas werd gemeten (CH₄, CO₂, H₂S). Deze procedure wordt herhaald tot de proef is afgelopen.

Aan het eind van de proef (als bijna geen biogas meer wordt geproduceerd) wordt voor de laatste keer methaan, kooldioxide en zwavelwaterstof gemeten. Hiermee wordt dan met in excel berekend hoeveel % methaan er in het totale biogas zit (de methaan en kooldioxidegehalten van elke keer dat er methaan/kooldioxide is gemeten worden omgerekend naar ml en opgeteld).

Opure BV heeft ook het CZV-gehalte van alle stromen in drievoud bepaald. Dit is een vrij bewerkelijke meting omdat het materiaal eerst vermoed moet worden en dan verdund om het CZV-gehalte te kunnen bepalen.

Verder werd het tot. N en tot. P gehalte door Analytico bepaald (in duplo).

3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

droge stof / org. stof

In tabel 2 zijn de droge stof- en organische stofgehalten weergegeven. Het gaat om 2 zeer droge monsters (25 en 26) en 1 vochtig monster (nr. 27). Van de droge monsters is het ds-gehalte rond de 65% met een org. stofgehalte van 76 %. Het nattere monster heeft 20 % ds en slechts 49 % org. stof.

Tabel 2. Overzicht samenstelling van de monsters (ds, os)

nummer	omschrijving	opmerking	%	
			droge stof	org. stof
25	Droog Baal II D2009 13-11-13	droog	61,7	76,0
26	Droog Baal I D2009 13-11-13	droog	68,0	76,3
27	Nat Baal I 13-11-13	nat	19,7	49,0

Stikstof en fosfor

In tabel 3 zijn de resultaten van de stikstofmeting weergegeven (per ton nat en per kg ds).

Het natte monster (nr. 27) heeft logischerwijs de laagste concentraties N (3,8 kg/ton) en P (0,5 kg/ton). Het droogste monster (nr. 26) heeft ook het hoogste N-gehalte (19 kg/ton) en P-gehalte (4,3 kg/ton). Per kg droge stof bevat dat monster ook het hoogste gehalte aan nutriënten. Het natte monster bevat een lager nutriëntengehalte per kg ds. Maar het asgehalte is ook flink hoger!

Tabel 3. Overzicht samenstelling van de monsters (N,P)

nummer	omschrijving	opmerking	kg/ton	kg/ton	g N/kg ds	g P/kg ds
			tot. N	tot. P	tot. N	tot. P
25	Droog Baal II D2009 13-11-13	droog	14	2,5	22,7	4,0
26	Droog Baal I D2009 13-11-13	droog	19	2,9	27,9	4,3
27	Nat Baal I 13-11-13	nat	3,84	0,5	19,5	2,6

Biogasopbrengst en – samenstelling

In tabel 4 zijn de biogasopbrengst en biogas samenstelling (methaan, waterstofsulfide) weergegeven. De biogasopbrengst is teruggerekend naar de zgn. norm- m^3 (0 °C, 1 atm.) zodat er mee kan worden gerekend (bv. energieopbrengst). Monster 25 en 26 hebben de hoogste biogasopbrengst van 240 nm^3 /ton met een methaangehalte van ca. 55 %. Monster 25 heeft de hoogste specifieke biogasopbrengst per kg droge stof (0,389 nm^3 biogas/kg drg. stof). Zoals verwacht heeft het natte monster de laagste opbrengst, maar ook de laagste specifieke biogasopbrengst (0,268 nm^3 biogas/kg ds), dit komt door het hoge asgehalte van 50 %!

Tabel 4. Overzicht resultaten vergistbaarheid (gasopbrengst, spec. biogasopbrengst, methaan, H₂S)

nummer	omschrijving	opmerking	nm ³ /ton nat	nm ³ biogas/ton ds	vol. %	ppm
			biogasproductie	spec. biogaspr.	CH ₄ -gehalte	H ₂ S
25	Droog Baal II D2009 13-11-13	droog	240	389	54,4	159
26	Droog Baal I D2009 13-11-13	droog	240	353	55,4	215
27	Nat Baal I 13-11-13	nat	52,9	268	59,8	137

specifieke biogasopbrengst per kg org. stof en rendement

Het rendement op org. stof kan worden geschat met een biogas massa balans. Het is echter een schatting (de energieinhoud van organische stof is natuurlijk niet konstant, een kilo vet bevat grofweg 3 x zoveel CZV als een kilo suiker!). De meting van CZV is relatief onnauwkeurig bij vaste stof, het rendement wordt derhalve berekend op basis van org. stof en niet op een methaan/CZV-balans. Het CZV-gehalte is wel gemeten (in drievoud) en weergegeven.

Het rendement op org. stof van monster 25 is 0,512 nm³/kg os. Bij monster 26 wordt de org. stof iets minder goed afgebroken (0,463 nm³/kg os). Het monster 27 levert per kg os de hoogste opbrengst (0,547 nm³/kg os).

Tabel 5. Overzicht resultaten vergistbaarheid (spec. biogasopbrengst en rendement)

nummer	omschrijving	opmerking	%	kg/ton	nm3/kg os
			rendement op os	CZV	spec. biogasprod.
25	Droog Baal II D2009 13-11-13	droog	65,8	588	512
26	Droog Baal I D2009 13-11-13	droog	59,0	562	463
27	Nat Baal I 13-11-13	nat	67,3	157	547

Groen gas / energieopbrengst

Om de opbrengst te kunnen berekenen heeft Opure BV ook de opbrengsten uit groen gas of electriciteit uitgerekend. De aannames zijn 62 cent / m³ groen gas (92 % methaan) en 15 cent/kWh (oudere subsidieregelingen zoals MEP, waar de meeste installaties nog mee rekenen). Aangezien de subsidieregelingen vaker zijn aangepast en zullen worden aangepast moeten deze getallen als indicatie worden gezien. In geval van levering aan een vergister zal moeten worden gerekend met hun vergoedingssysteem.

Verder is aangenomen dat het rendement van een gemiddelde WKK bij 35 % ligt (leveranciers geven hogere getallen, in praktijk wordt dit weinig gehaald door onderbelasting, slecht inzicht in gasflow/gassamenstelling en te hoge vochtgehalten in het biogas).

De resultaten zijn in tabel 6 weergegeven. De opbrengst van monster 25 en 26 is zoals verwacht het hoogst, bijna 90 Euro/ton als er groen gas wordt gemaakt en ongeveer 67 Euro/ton als er stroom wordt opgewekt (met 15 ct vergoeding/kWh). Het monster 27 levert 21 Euro/ton aan groen gasopbrengst en 16 Euro/ton als er electriciteit wordt opgewekt.

Tabel 6. Overzicht energieopbrengst.

nummer	omschrijving	opmerking	nm3/ton nat	kWh/ton nat	Euro/ton nat	Euro/ton nat
			groen gas opbr.	energieopbr.	groen gas opbr.	energieopbr.
25	Droog Baal II D2009 13-11-13	droog	142	444	87,9	66,6
26	Droog Baal I D2009 13-11-13	droog	143	447	88,6	67,1
27	Nat Baal I 13-11-13	nat	34,4	108	21,3	16,1

4 CONCLUSIES

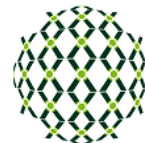
Opure BV onderzocht 3 monsters waterplanten (nat en gedroogd). De volgende conclusies komen naar voren:

- De monsters 25 en 26 waren behoorlijk droog en hadden een org. stofgehalte van 76 %.
- Het monster 27 was natter (20 % ds) en bevatte relatief veel as (50 %).
- Het stikstofgehalte van de droge monsters lag bij 14 en 19 kg N/ton. Het natte monster bevatte 3,8 kg N/ton. Dit is normaal voor plantaardig materiaal.
- Het fosforgehalte van het nattere monster was 0,5 kg P/ton en van de droge monsters 2,5 - 3,0 kg P/ton. Eveneens geen afwijkende waarden.
- De biogasopbrengst voor monster 25 en 26 is hoog, ca. 240 nm³/ton. Het natte monster levert 53 nm³/ton.
- De methaangehaltes in het biogas van monsters 25 en 26 zijn normaal (rond 55 %). Van het natte monster is het methaangehalte wat hoger (60 %).
- Het H₂S-gehalte is in monster 26 wat hoger dan normaal (rond 200 ppm). Monster 25 en 27 hebben een normaal gehalte.
- De opbrengst van het natte monsters ligt in de range 15 - 20 Euro/ton afhankelijk van de toepassing van het biogas.
- De droge monsters leveren 66 - 90 Euro/ton materiaal afhankelijk van de toepassing van het biogas.

Bijlage 2

Rapportageformulieren voederwaarde kuilvoerbalen BLGG AgroXpertus

Voederwaarde-onderzoek
Eendenkroos/waterplanten
1 nat Fontijnkruid 25/7



Postbus 170
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Dick Huijberts: 0652002131
T klantenservice: +31 (0)88 876 1010
E klantenservice@blgg.agroxpertus.nl
I blgg.agroxpertus.nl

Uw klantnummer: 2025787

Gebr den Hartog CV
Gein Z 26
1391 JE ABCOUDE

Gewijzigd

Onderzoek Onderzoek-/ordernummer: 556098/003204907 Oogstdatum: 25-07-2013 Kopiehouder: H. Dirksen, Management Support
Voorkoopstr 3, 4112 NM BEUSICHEM

Resultaat in gram/kg, tenzij anders vermeld.	Resultaat product droge stof		Streef- traject	Gemid- delde	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde
	DS	188			55	Ruw as	559	
pH	6,5				VCOS T&T (%)	64,0		72,0
Voederwaarde en analyse- resultaat	VEM	64	343		720	NH ₃ -fractie (%)	14	0
	VEVI	61	326		715	Ruw eiwit	102	290
	DVE	6	32		111	Ruw eiwit totaal	118	290
	OEB	0	1		94	Ruwe celstof	153	146
	VOS	53	282		578			
	FOSp	51	272		471			
	OEB 2 uur	2	11		76			
	FOSp 2 uur	16	84		164			
	Structuurwaarde		1,1		1,1			
	Verzadigingswrđ.		1,10		1,10			

Mineralen	Resultaat droge stof	Streef- traject	Gemid- delde	Resultaat droge stof	Streef- traject	Gemid- delde
Natrium				Mangaan (mg)		
Kalium				Zink (mg)		
Magnesium				IJzer (mg)		
Calcium				Koper (mg)		
Fosfor				Molybdeen (mg)		
Zwavel				Jodium (mg)		
Chloor				Kobalt (µg)		
Kat.AnionVerschil (meq)				Seleen (µg)		

Opmerking **DVE 1991:**
Voormalige DVE-waarden: 11 g DVE, 31 g OEB en 220 g FOS.

1 nat Fontijnkruid 25/7

Contact & info Contactpersoon monstername:
Dick Huiberts: 0652002131

Monster genomen door Henk Mul
Datum monstername 04-10-2013
Datum verslag 07-11-2013

OEB
FOS(p)
2 uur

Onbestendig Eiwit Balans
Fermenteerbare Organische Stof (pens)
Hoeveelheden OEB en FOS na een
verblijf van 2 uur in de pens.
Structuurwaarde/kg ds (CVB 1998)
Verzadigingseenheden/kg ds (CVB 2002)

Structuurwaarde
Verzadigingswrđ.

GEBRUIKTE AFKORTINGEN:

VOS Verteerbare Organische Stof
VEM Voeder Eenheid Melk
VEVI Voeder Eenheid Vleesvee Intensief
DVE Darm Verteerbaar Eiwit

GEWIJZIGD VERSLAG

Dit verslag vervangt alle eerdere onder hetzelfde nummer
toegezonden versies a.d.h.v. 'datum verslag'.

Methode

Bemonsteringsmethode
volgens standaard
BLGG AgroXpertus: PLA 2330

Droge stof Q Em: GEWAS.OVB
NH₃-fractie (%) Q Em: CFA1
Ruw eiwit
(bij silage ammoniakvrij) Q REW3: Gw NEN-ISO 5983-2
Ruw eiwit totaal Berekende waarde
Ruwe celstof Q RCS2: Gw NEN-EN-ISO 6865

Ruw as Q Em: VAS1
VCOS T&T (%) Q Em: VCTT
pH Q Em: PHW3

Em Eigen methode BLGG AgroXpertus
Gw; Cf Gelijkwaardig aan; Conform
Q Methode geaccrediteerd door RvA

Alle verrichtingen zijn binnen de gestelde houdbaarheidstermijn
tussen monstername en analyse uitgevoerd.

Voederwaarde-onderzoek
Eendenkroos/waterplanten
Droog 3 Fontijnkruid 9/7

BLGG AGROXPERTUS



Postbus 170
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Dick Huiberts: 0652002131
T klantenservice: +31 (0)88 876 1010
E klantenservice@blgg.agroxpertus.nl
I blgg.agroxpertus.nl

Uw klantnummer: 2025787

Gebr den Hartog CV
Gein Z 26
1391 JE ABCOUDE

Gewijzigd

Onderzoek Onderzoek-/ordernummer: 556097/003204906 Oogstdatum: 09-07-2013 Kopiehouder:
H. Dirksen, Management Support
Voorkoopstr 3, 4112 NM BEUSICHEM

Resultaat in gram/kg, tenzij anders vermeld.	Resultaat product droge stof		Streef- traject	Gemid- delde	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde
Voederwaarde en analyse- resultaat	DS	683		55	Ruw as	253		198
	pH	6,6			VCOS T&T (%)	71,6		72,0
	VEM	455	666		720	NH ₃ -fractie (%)	5	0
	VEVI	456	667		715	Ruw eiwit	174	290
	DVE	53	78		111	Ruw eiwit totaal	183	290
	OEB	20	29		94	Ruwe celstof	176	146
	VOS	366	535		578			
	FOSp	261	382		471			
	OEB 2 uur	20	30		76			
	FOSp 2 uur	75	110		164			
	Structuurwaarde		1,4		1,1			
	Verzadigingswrd.		1,10		1,10			

Mineralen	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde
Natrium		7,3			Mangaan (mg)	2107		
Kalium		28,0			Zink (mg)	44		
Magnesium		6,1			IJzer (mg)	1434		
Calcium		50,9			Koper (mg)	11,0		
Fosfor		4,3			Molybdeen (mg)	0,6		
Zwavel		6,5			Jodium (mg)	9,7		
Chloor					Kobalt (µg)	867		
Kat.AnionVerschil (meq)					Seleen (µg)	240		

Opmerking **DVE 1991:**
Voormalige DVE-waarden: 74 g DVE, 33 g OEB en 446 g FOS.

Pagina: 1
Totaal aantal pagina's: 2

556097, 07-11-2013



Dit rapport is vrijgegeven onder verantwoordelijkheid van dhr J.P. Dekker, directeur Operations.
Op al onze vormen van dienstverlening zijn onze Algemene Voorwaarden van toepassing.
Op verzoek worden deze en/of de specificaties van de analysemethoden toegezonden.
BLGG AgroXpertus stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens BLGG AgroXpertus verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.
BLGG AgroXpertus is ingeschreven in het RvA-register voor testlaboratoria zoals nader omschreven in de erkenning onder nr. L122 voor uitsluitend de monsternemings- en/of de analysemethoden.

Droog 3 Fontijnkruid 9/7

Contact & info Contactpersoon monstername:
Dick Huiberts: 0652002131

Monster genomen door Henk Mul
Datum monstername 04-10-2013
Datum verslag 07-11-2013

GEBRUIKTE AFKORTINGEN:

mg milligram
(1 mg = 1 duizendste gram)
µg microgram
(1 µg = 1 miljoenste gram)
VOS Verteerbare Organische Stof
VEM Voeder Eenheid Melk

VEVI
DVE
OEB
FOS(p)
2 uur

Voeder Eenheid Vleesvee Intensief
Darm Verteerbaar Eiwit
Onbestendig Eiwit Balans
Fermenteerbare Organische Stof (pens)
Hoeveelheden OEB en FOS na een
verblijf van 2 uur in de pens.
Structuurwaarde
Verzadigingswrld. Structuurwaarde/kg ds (CVB 1998)
Verzadigingseenheden/kg ds (CVB 2002)

GEWIJZIGD VERSLAG

Dit verslag vervangt alle eerdere onder hetzelfde nummer
toegezonden versies a.d.h.v. 'datum verslag'.

Methode Bemonsteringsmethode
volgens standaard
BLGG AgroXpertus:

PLA 2330

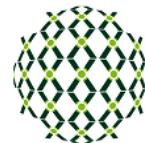
Droge stof Q Em: GEWAS.OVB
NH₃-fractie (%) Q Em: CFA1
Ruw eiwit (bij silage ammoniakvrij) Q REW3: Gw NEN-ISO 5983-2
Ruw eiwit totaal Berekende waarde
Ruwe celstof Q RCS2: Gw NEN-EN-ISO 6865
Ruw as Q Em: VAS1
VCOS T&T (%) Q Em: VCTT
pH Q Em: PHW3

Mineralen Q Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Molybdeen (mg) Q Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)
Jodium (mg) Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)
Kobalt (µg) Q Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)
Seleen (µg) Q Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)

Em Eigen methode BLGG AgroXpertus
Gw; Cf Gelijkwaardig aan; Conform
Q Methode geaccrediteerd door RvA

Alle verrichtingen zijn binnen de gestelde houdbaarheidstermijn
tussen monstername en analyse uitgevoerd.

Voederwaarde-onderzoek
Eendenkroos/waterplanten
Droog 2 Fontijnkruid 16/7



Postbus 170
NL - 6700 AD Wageningen

T monstername: Dick Huiberts: 0652002131
T klantenservice: +31 (0)88 876 1010
E klantenservice@blgg.agroxpertus.nl
I blgg.agroxpertus.nl

Uw klantnummer: 2025787

Gebr den Hartog CV
Gein Z 26
1391 JE ABCOUDE

Gewijzigd

Onderzoek Onderzoek-/ordernummer: 556099/003204907 Oogstdatum: 16-07-2013 Kopiehouder: H. Dirksen, Management Support
Voorkoopstr 3, 4112 NM BEUSICHEM

Resultaat in gram/kg, tenzij anders vermeld.	Resultaat product droge stof		Streef- traject	Gemid- delde	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde
	DS	594			55	Ruw as	282	
pH	6,3				VCOS T&T (%)	71,7		72,0
Voederwaarde en analyse- resultaat	VEM	377	635		720	NH ₃ -fractie (%)	5	0
	VEVI	376	633		715	Ruw eiwit	151	290
	DVE	40	68		111	Ruw eiwit totaal	160	290
	OEB	11	18		94	Ruwe celstof	213	146
	VOS	306	515		578			
	FOSp	213	359		471			
	OEB 2 uur	13	22		76			
	FOSp 2 uur	59	100		164			
	Structuurwaarde		1,7		1,1			
	Verzadigingswrđ.		1,07		1,10			

Mineralen	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde	Resultaat droge stof		Streef- traject	Gemid- delde
	Natrium	6,0				Mangaan (mg)	1276	
Kalium	26,7				Zink (mg)	34		
Magnesium	6,0				IJzer (mg)	886		
Calcium	61,9				Koper (mg)	9,3		
Fosfor	4,2				Molybdeen (mg)	0,8		
Zwavel	5,7				Jodium (mg)	8,6		
Chloor					Kobalt (µg)	554		
Kat.AnionVerschil (meq)					Seleen (µg)	174		

Opmerking **DVE 1991:**
Voormalige DVE-waarden: 64 g DVE, 22 g OEB en 435 g FOS.

Droog 2 Fontijnkruid 16/7

Contact & info Contactpersoon monstername:
Dick Huiberts: 0652002131

Monster genomen door Henk Mul
Datum monstername 04-10-2013
Datum verslag 07-11-2013

GEBRUIKTE AFKORTINGEN:

mg milligram
(1 mg = 1 duizendste gram)
µg microgram
(1 µg = 1 miljoenste gram)
VOS Verteerbare Organische Stof
VEM Voeder Eenheid Melk

VEVI Voeder Eenheid Vleesvee Intensief
DVE Darm Verteerbaar Eiwit
OEB Onbestendig Eiwit Balans
FOS(p) Fermenteerbare Organische Stof (pens)
2 uur Hoeveelheden OEB en FOS na een
verblijf van 2 uur in de pens.
Structuurwaarde Structuurwaarde/kg ds (CVB 1998)
Verzadigingswrd. Verzadigingseenheden/kg ds (CVB 2002)

GEWIJZIGD VERSLAG

Dit verslag vervangt alle eerdere onder hetzelfde nummer
toegezonden versies a.d.h.v. 'datum verslag'.

Methode Bemonsteringsmethode
volgens standaard
BLGG AgroXpertus: PLA 2330

Droge stof Q Em: GEWAS.OVB
NH₃-fractie (%) Q Em: CFA1
Ruw eiwit (bij silage ammoniakvrij) Q REW3: Gw NEN-ISO 5983-2
Ruw eiwit totaal Berekende waarde
Ruwe celstof Q RCS2: Gw NEN-EN-ISO 6865
Ruw as Q Em: VAS1
VCOS T&T (%) Q Em: VCTT
pH Q Em: PHW3

Mineralen Q Em: SPZ2:(Gw NEN 6966)
Molybdeen (mg) Q Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)
Jodium (mg) Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)
Kobalt (µg) Q Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)
Seleen (µg) Q Em: SPZ2:(Gw NEN 17294-2)

Em Eigen methode BLGG AgroXpertus
Gw; Cf Gelijkwaardig aan; Conform
Q Methode geaccrediteerd door RvA

Alle verrichtingen zijn binnen de gestelde houdbaarheidstermijn
tussen monstername en analyse uitgevoerd.

Bijlage 3

Analyserapport perssap en lekwater BigBags Waterproef

Analyserapport



Waternet, Onderzoek & Advies
Onderzoek en Advies
T.a.v. de heer G. ter Heerdt
Postbus 94107
1090 GC AMSTERDAM

Datum:
25-10-2013

Rapportnummer:
208237

Uw Kenmerk:
-

Project:
dooea001/515, Maaien in plassen

Monstername door:
Opdrachtgever

Uw projectcode:

Geachte heer ter Heerdt,

Hierbij zend ik u de resultaten van analyses die op uw verzoek werden uitgevoerd. Deze resultaten hebben alleen betrekking op de monsters, zoals die door u ter analyse werden aangeboden.

De werkzaamheden zijn, tenzij anders aangegeven, uitgevoerd overeenkomstig het document 'Analysemethoden en Tarieven Stichting Waterproef'. Belangrijk voor de interpretatie van de resultaten is het gegeven dat analyseresultaten altijd een meetonzekerheid bezitten. Gegevens over de analysemethoden en meetonzekerheden worden u op aanvraag toegezonden.

De met een Q gemerkte analyses zijn geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie.

Dit rapport mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

De resultaten op dit rapport zijn geautoriseerd namens de directeur van Stichting Waterproef R.W.G.M. Melis.

**Rapportnummer:**

208237

Pagina

2 / 3

Volgnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
391556	ox050026	Divers overige matrix pecolaat
391557	ox050026	Divers overige matrix pecolaat
391558	ox050026	Divers overige matrix pecolaat
391559	ox050026	Divers overige matrix pecolaat

Volgnummer	391556	391557	391558	391559
Monstercode klant	16BB-1	17BB-2	21BB-3	22BB-4
Monstertype	Overige	Overige	Overige	Overige
Bemonsteringstype	steekmonster	steekmonster	steekmonster	steekmonster
Monsternemer	GtH	GtH	GtH	GtH
Monsternamedatum	13-07-2013	15-07-2013	17-07-2013	19-07-2013
Monsternametijd	00:00	00:00	00:00	00:00
Acceptatiedatum	18-10-2013	18-10-2013	18-10-2013	18-10-2013

Fysisch- Chemische analyses

									Eenheid
Chemisch zuurstofverbruik	4600	a	9570	a	8340	a	5060	a	mg/l O2
Kjeldahl-stikstof in afvalwater	250	a	590	a	630	a	420	a	mg/l N
Totaal-fosfor in afvalwater	37	a	89	a	79	a	46	a	mg/l P

**Rapportnummer:**

208237

Pagina

3 / 3

Volnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
391560	ox050026	Divers overige matrix perssap

Volnummer	391560
Monstercode klant	Pers1
Monstertype	Overige
Bemonsteringstype	steekmonster
Monsternemer	GtH
Monsternamedatum	19-07-2013
Monsternametijd	00:00
Acceptatiedatum	18-10-2013

Fysisch- Chemische analyses				Eenheid
Chemisch zuurstofverbruik	15000	<i>a</i>		mg/l O2
Kjeldahl-stikstof in afvalwater	700	<i>a</i>		mg/l N
Totaal-fosfor in afvalwater	150	<i>a</i>		mg/l P

Opmerkingen

a Houdbaarheidstermijn is overschreden. Het resultaat is minder betrouwbaar.

Bijlage 4

Analysebericht vergistbaarheid waterpest en Cabomba, Opure

Analysebericht: Onderzoek vergistbaarheid waterplanten

projectnr: p.012122
 auteur: A. Duine
 opdrachtgever: Waternet
 contactpersoon: Marcel Zandvoort
 soort monsters: steekvast
 datum monsters: 29-8-2012
 datum rapportage: 19-10-2012
 rapportnummer: 012233

Analyse:		Steekmonster			
waterplanten (origineel)	eenheid	gemiddeld	1	2	3
CZV-gehalte	kg/ton	ng			
N-gehalte	kg/ton	2,99			
P-gehalte	kg/ton	0,37			
droge stofgehalte:	gew. %	9,8	9,5	9,7	10,1
organische stofgehalte:	% van ds	51,5	54,1	51,5	48,8
Analyse entmateriaal					
droge stofgehalte:	gew. %	3,4	3,4		
organische stofgehalte:	% van ds	40,6	40,6		
biogasproductie	nm ³ /ton dig	1,3	1,31	1,31	1,30
Vergistbaarheid: waterplanten (origineel)					
biogasvorming:	nm ³ /ton materiaal	25,1	24,9	25,0	25,5
biogaskwaliteit:	vol. % CH ₄	58,1	58,5	58,0	57,8
spec. biogasproductie	nm ³ /kg org. stof	0,499	0,495	0,496	0,506
afbraak org. stof:	% van os	60,9	60,5	61,2	61,1
niet vergistbaar (netto!)	kg ds/ton materiaal	67	64	66	71
H ₂ S	ppm	105	82	121	111

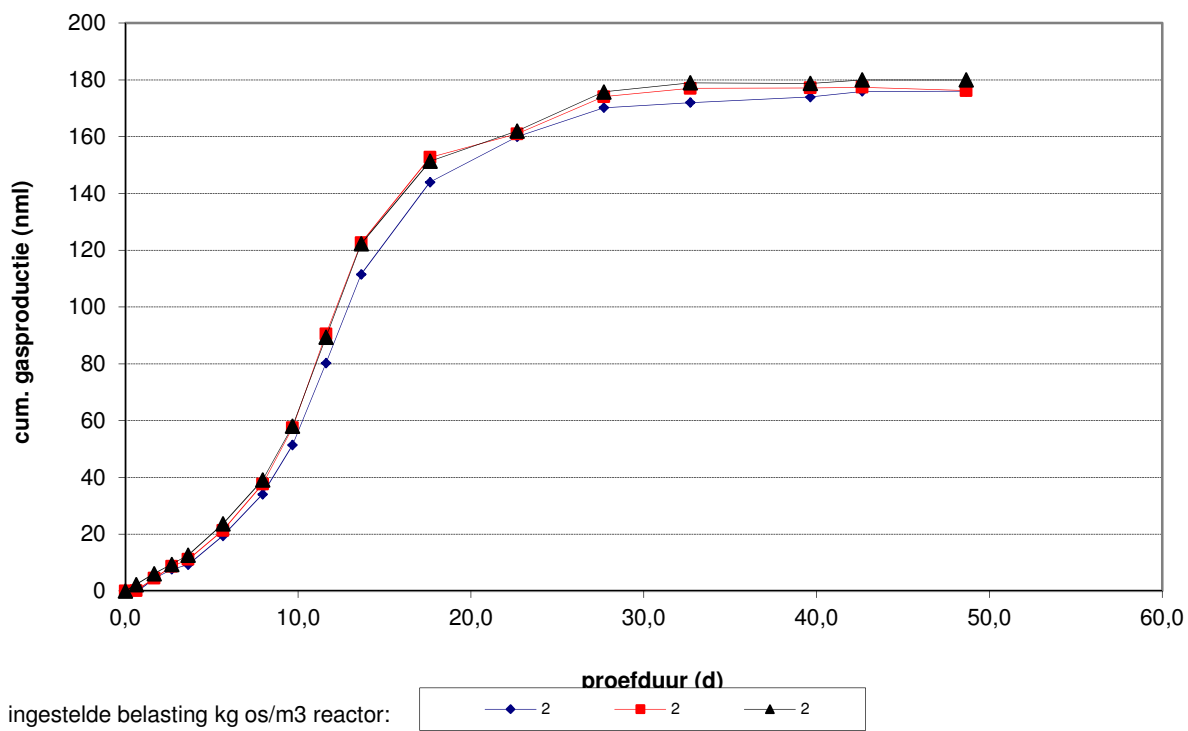
Opmerkingen:

Er werd een mesofiel entslib uit eigen voorraad gebruikt. Dit slib is gewend aan een mix van organische substraten.

Het drogestofgehalte is laag, 9,8 %. Het org. stofgehalte is ook laag, gemiddeld 51 %.

Daarom is de biogasopbrengst niet hoog, 25,1 nm³/ton nat. Het methaangehalte is gemiddeld 58 %.

De biogaskwaliteit is goed



figuur 1. verloop gasproductie met waterplanten



Foto van het onbewerkte materiaal

Analysebericht: Onderzoek vergistbaarheid waterplanten, verkleind

projectnr: p.012122
 auteur: A. Duine
 opdrachtgever: Waternet
 contactpersoon: Marcel Zandvoort
 soort monsters: steekvast
 datum monsters: 29-8-2012
 datum rapportage: 19-10-2012
 rapportnummer: 012234

Analyse:		Steekmonster			
waterplanten, verkleind	eenheid	gemiddeld	1	2	3
CZV-gehalte	kg/ton	ng			
N-gehalte	kg/ton	ng			
P-gehalte	kg/ton	ng			
droge stofgehalte:	gew. %	9,3	9,3	9,4	9,3
organische stofgehalte:	% van ds	53,0	52,7	52,8	53,5
Analyse entmateriaal					
droge stofgehalte:	gew. %	3,4	3,4		
organische stofgehalte:	% van ds	40,6	40,6		
biogasproductie	nm ³ /ton dig	1,3	1,31	1,31	1,30
Vergistbaarheid: waterplanten, verkleind					
biogasvorming:	nm ³ /ton materiaal	22,5	22,2	22,3	23,1
biogaskwaliteit:	vol. % CH ₄	57,7	57,6	57,6	58,0
spec. biogasproductie	nm ³ /kg org. stof	0,457	0,451	0,452	0,468
afbraak org. stof:	% van os	55,4	55,3	55,2	55,8
niet vergistbaar (netto!)	kg ds/ton materiaal	66	66	66	65
H ₂ S	ppm	118	123	122	109

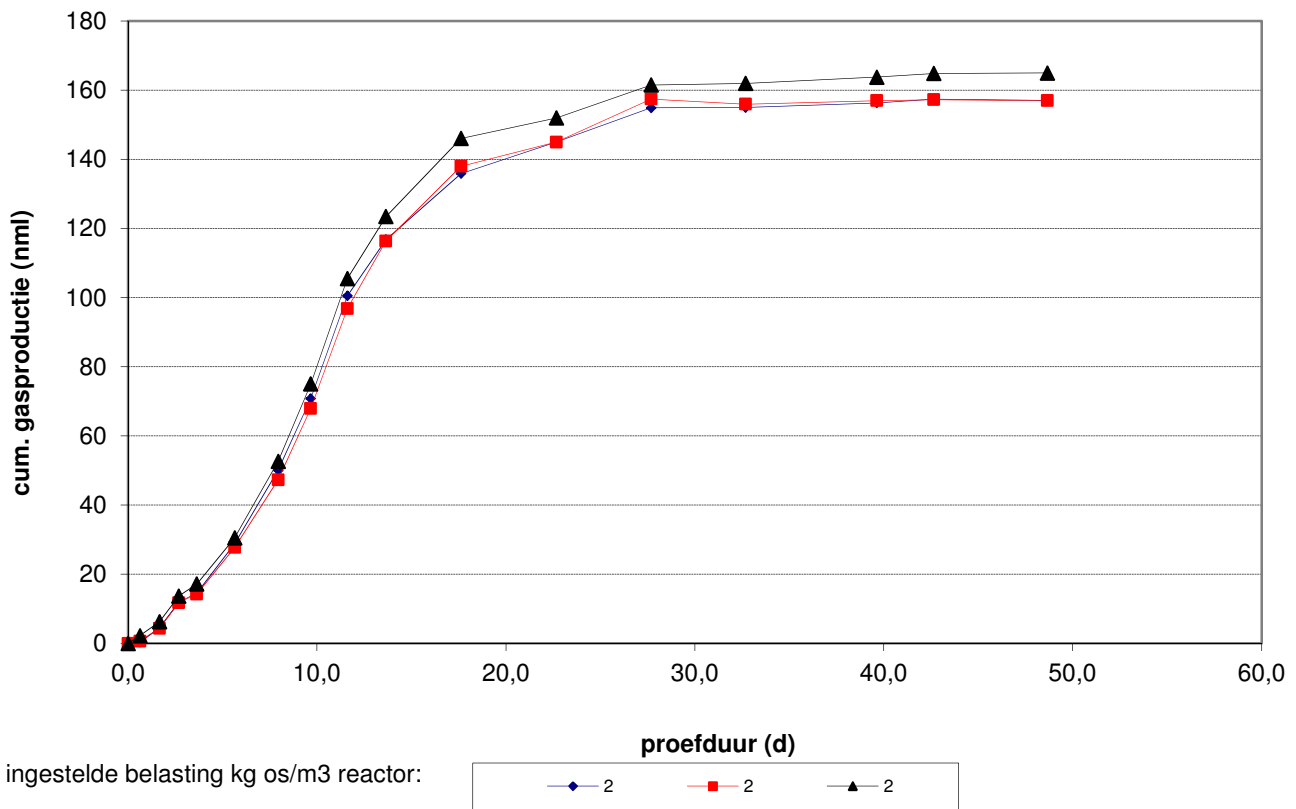
Opmerkingen:

Er werd een mesofiel entslib uit eigen voorraad gebruikt. Dit slib is gewend aan een mix van organische substraten.

Het drogestofgehalte is laag, 9,3 %. Het org. stofgehalte is ook laag, gemiddeld 53 %.

Daarom is de biogasopbrengst niet hoog, 22,6 nm³/ton nat. Het methaangehalte is gemiddeld 58 %.

De biogaskwaliteit is goed.



figuur 1. verloop gasproductie met waterplanten, verkleind



Foto: materiaal verkleind

Bijlage 5

Rapportage aanvullende kuilproeven, Zegveld (van Houwelingen 2013)

beknopt verslag

Conserveren van waterplanten met verschillende additieven

December 2013
K.M. van Houwelingen

Inhoudsopgave

Inhoudsopgave	2
1 Inleiding	3
1.1 Achtergronden inkuilen	3
1.1.1 Conserveringsproces	3
1.1.2 Beoordeling conservering	3
1.1.3 Additieven	3
2 Materiaal en methode	4
2.1 Proefopzet	4
2.2 Uitvoering	5
2.2.1 Laboratoriumschaal	5
2.2.2 Praktijkschaal	6
2.3 Waarnemingen	7
2.3.1 Proefsilos	7
2.3.2 Praktijkproef	8
2.4 Statistische analyse	8
3 Resultaten	9
3.1 Oogst	9
3.2 Proefschaal	10
3.2.1 Uitgangsmateriaal	10
3.2.2 Inkuilen	11
3.2.3 Conservering	12
3.3 Praktijkschaal	14
3.3.1 Uitgangsmateriaal	14
4 Conclusies	16
5 Aanbevelingen	16
6 Literatuur	17
7 Bijlagen	18

1 Inleiding

1.1 Achtergronden inkuilen

1.1.1 Conserveringsproces

In de veehouderij is het gebruikelijk om (ruw)voeders te conserveren door ze in te kuilen. Het inkuilproces is gebaseerd op verzuring van het product door melkzuurbacteriën. Voor een geslaagd inkuilproces is het van belang dat deze zich volop kunnen ontwikkelen. Melkzuurbacteriën zijn anaerobe bacteriën, dus lucht is daarbij ongewenst. Melkzuurbacteriën gebruiken suikers om te groeien en een voldoende hoge concentratie is daarom belangrijk. Voordrogen verhoogt de concentratie in het product. In de praktijk worden optimale leefomstandigheden voor de melkzuurbacterie verkregen door ruwvoerders voor te drogen, de kuil goed aan te rijden en daarna snel luchtdicht te verpakken. De melkzuurbacteriën gaan vervolgens groeien, waarbij ze de aanwezige suikers gebruiken als voedingsstof. Door de bacteriegroei verzuurt de kuil, als gevolg van melkzuurvorming. Dit veroorzaakt een dalende pH en remt de groei van ongewenste organismen, zoals boterzuur- en rottingsbacteriën. Deze kunnen andere fermentatieproducten produceren zoals azijnzuur, boterzuur, propionzuur, ethanol en ammoniak. De vorming van deze overige fermentatieproducten gaat gepaard met meer energieverliezen dan de vorming van melkzuur. Naarmate het gehalte aan deze overig fermentatieproducten hoger is, is het gehalte aan melkzuur lager en slaagt de conservering minder goed of kan zelfs mislukken.

Wanneer de omgeving voldoende verzuurt door melkzuurvorming, neemt ook de activiteit van melkzuurbacteriën af. Op een gegeven moment ontstaat een evenwichtssituatie waarbij de pH constant blijft en bacteriën in de kuil niet meer actief zijn. De kuil is dan stabiel. In het algemeen duurt dit conserveringsproces 3 tot 6 weken. (CVB, 1999)

1.1.2 Beoordeling conservering

De belangrijkste criteria voor de beoordeling van de conservering in de praktijk zijn de NH_3 -fractie en pH. Daarnaast geven ook het boterzuurgehalte en het aantal sporen van boterzuurbacteriën inzicht in het verloop van de conservering. Laatst genoemde gehalte wordt in dit onderzoek niet bepaald.

De ammoniakfractie (NH_3) is een goede maatstaf voor de beoordeling van de conservering. Het geeft aan welk deel van het stikstof in ruw eiwit is omgezet in ammonium-stikstof. Dus hoe hoger de NH_3 -fractie, hoe slechter de conservering is verlopen. In tabel 1 staat hoe de hoogte van de NH_3 -fractie zich verhoudt tot de kwaliteit van de kuil.

Tabel 1 Relatie ammoniakfractie (NH_3) en kuilkwaliteit

<u>NH_3-fractie</u>	<u>Kuilkwaliteit</u>
<5	zeer goed
5 t/m 8	goed
9 t/m 15	matig
16 t/m 20	slecht
>20	zeer slecht

In de praktijk wordt naast de ammoniakfractie de pH gebruikt als maatstaf voor de beoordeling van de conservering van kuilen. De pH van een stabiele kuil is afhankelijk van het droge stofgehalte. Naarmate het droge stofgehalte hoger is, is de kuil sneller stabiel, omdat de bacteriën bij een hogere pH worden geremd.

1.1.3 Additieven

Het inkuilproces kan worden beïnvloed door toepassing van een additief. Er zijn diverse additieven die volgens verschillende principes werken:

- Verlagen van de pH. Door toevoeging van een zuur verlaagt de pH en hoeven melkzuurbacteriën minder zuur te vormen om een voldoende lage pH te bereiken voor een stabiele kuil.

- Verhogen suikergehalte. Door suikers toe te voegen is meer voeding beschikbaar voor melkzuurbacteriën om voldoende melkzuur te vormen.
- Gewenste bacteriepopulatie aanvullen. Er zijn vele soorten inoculanten op de markt. Doel is om de natuurlijke populatie aan melkzuurbacteriën aan te vullen met goede melkzuurbacteriën. Soms voegt men ook enzymen toe om suikers vrij te maken uit onoplosbare koolhydraten.
- Verhogen osmotische druk. Door zouten toe te voegen verhoogt de osmotische druk, waardoor de bacteriegroei wordt geremd.

2 Materiaal en methode

2.1 Proefopzet

Het onderzoek wordt zowel op laboratorium als op praktijkschaal uitgevoerd. Op praktijkschaal wordt een deel van de laboratoriumbehandelingen aangelegd. In tabel 1 zijn de behandelingen per schaalniveau verder uitgewerkt.

Tabel 1. Details behandelingen onderzoek conservering waterplanten per schaalniveau

<u>Schaalniveau</u>	<u>produkttype</u>	<u>additieven</u>
Laboratoriumschaal	vers product	geen
	voorgedroogd	geen
	voorgedroogd	melasse
	voorgedroogd	Sill All
Praktijkschaal	vers product	geen
	voorgedroogd	geen
	

Motivatie keuze additieven

1. Blanco: negatieve controle (geen additieven)
2. Melasse: verhogen suikergehalte
3. Ecosyl: melkzuurbacteriemengsel --> gewenste bacteriepopulatie aanvullen

Materiaal

- Er wordt gebruik gemaakt van vers materiaal en van (door de zon) voorgedroogd materiaal
- Voor het onderzoek op laboratoriumschaal worden zogenaamde proefsilo's gebruikt. In het totaal 8 stuks (2 herhalingen per behandeling)
- Plastic zakken voor proefsilo's
- Aanvoer van vers materiaal middels een big bag
- Toevoegmiddelen

2.2 Uitvoering

2.2.1 Laboratoriumschaal

Inkuilen

Middels een big bag wordt voldoende vers materiaal naar Zegveld getransporteerd. (Zie afbeelding 1)
Een gedeelte wordt uitgespreid op een stuk net gemaaid grasland en wordt gedurende enkele (zomerse) dagen voorgedroogd tot een ds% van 30-35%



Afbeelding 1: aangevoerde waterplanten in een big bag.

Voor het conserveren op laboratoriumschaal worden zogenaamde proefsilo's gebruikt met een inhoud van ca. 15 liter.

Het mengen van de waterplanten met de additieven gebeurt door kleine hoeveelheden in de juiste verhouding in een plastic ton te deponeren en deze handmatig te mengen. Daartoe dienen vooraf de hoeveelheden waterplanten en additieven te worden afgewogen. De proefsilo's worden handmatig gevuld met de mengsels. Het vullen gebeurt laagsgewijs, na elke laag van ca. 10cm. wordt het mengsel stevig aangedrukt met de vuist. Tijdens het vullen van de proefsilo's wordt per proefsilo een monster genomen voor het bepalen van het ds-gehalte. De plastic zak wordt na het vullen dichtgevouwen. Vervolgens wordt de silo nauwkeurig gewogen. Om een kuilhoogte van ca. 1,5 m na te bootsen wordt vervolgens het mengsel belast met een gewicht van 15 kg (straatstenen/stoeptegels). Nadat het gewicht is geplaatst wordt de perssappfles **luchtdicht** aangesloten op het ventiel met slang. Deze perssappflessen worden gedeeltelijk gevuld met (kraan-)water, zodat de uiteinde van het slangetje onder water komt te zitten, hierdoor ontstaat een waterslot en wordt er voorkomen dat er lucht in de proefsilo's kan treden. Om de hoeveelheid perssap vast te kunnen stellen worden de perssappflessen (excl. en incl. het water), gewogen.

In tabel 2 staan de toevoegmiddelen en de geplande hoeveelheden voor de proefsilo-proef.

Tabel 2 Behandelingen proefsilo-proef

Object	Behandeling		waterplanten	additieven	
			(kg)	Melasse (kg)	ecosyl (gr.)
A	vers	blanco	8		
B	voorgedroogd	blanco	6	0	
C	voorgedroogd	melasse	6	0.45	
D	voorgedroogd	Ecosyl	6		4

Uitkuilen

Na een conserveringsperiode van min. 8 weken worden de proefsilos en perssappflessen nauwkeurig gewogen met dezelfde weegschaal als bij inkuilen. Daarna worden de proefsilos leeggemaakt en bemonsterd. Per proefsilos wordt een monster genomen voor het bepalen van het ds-gehalte en een monster voor voederwaardebepalingen. Deze wordt óf direct opgestuurd naar het laboratorium of bewaard in een diepvries.

Monsternamen en analyses

Conservering

Na uitkuilen worden monsters geanalyseerd op kenmerken die de mate van de conservering typeren, namelijk pH, NH₃.

Verteerbaarheid en voederwaarde

Na uitkuilen worden per behandeling monsters geanalyseerd op verteerbaarheid (Tilly & Terry) en voederwaardegehalten (nat chemisch).

Perssap

Voor het bepalen van de nutriëntenverliezen die gepaard gaan met het vrijkomen van perssap wordt in het onderzoek op met de proefsilos de hoeveelheid perssap bepaald. Indien er bij het uitkuilen blijkt dat er lekvocht is vrijgekomen dan wordt dit gewogen en bemonsterd. Mocht in de tussentijd één of meerdere perssappflessen dreigen te overstromen dan worden deze (gedeeltelijk) geleegd, hierbij wordt de afgetapte hoeveelheid geregistreerd en bemonsterd (monster bewaren in diepvries).

2.2.2 Praktijkschaal

Op bedrijf van Gebr. Den Hartog zijn onder praktijkomstandigheden ervaringen opgedaan aangaande het inkuilen en conserveren van de waterplanten.

2.3 Waarnemingen

2.3.1 Proefsilos

Uitgangsmateriaal

Van het verse materiaal is een monster genomen. Dit monster is onderzocht op o.a. droge stof (ds), ruw eiwit (re), ruwe celstof (rc), ruw as (ras), ruw vet (rvet), suiker (NI), vertering coëfficiënt organische stof (vc-os) en een aantal mineralen en sporelementen. De verschillende gehalten zijn bepaald volgens de klassieke natchemische methoden. De in-vitro verteerbaarheid van de organische stof is bepaald volgens de methode van Tilley & Terry (T&T).

Op basis van de chemische samenstelling en de vc-os is met de formule voor vers gras de VoederEenheid Melk (VEM), de DarmVerteerbaarheid (DVE) en de Onbestendig EiwitBalans (OEB) berekend volgens de voorschriften van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 1999).

Inkuilen

Voor het vullen van de minisilo's is het leeg gewicht vastgelegd. Tijdens het vullen van de silo's is per silo een monster van ca. 500 gram genomen. Deze monsters zijn gedroogd bij 103 °C voor bepaling ds%. Direct na het vullen van de silo's (voordat de gewichten werden aangebracht) is het gewicht van de silo plus de waterplanten (evt. inclusief de additieven) vastgelegd. Hierna is de fles met een kleine hoeveelheid water aangesloten. (Zie afbeelding 2). Per behandeling zijn 2 proefsilos gevuld.



Afbeelding 2: opstelling proefsilos

Uitkuilen

Na een fermentatieperiode van ruim 10 weken zijn de silos met waterplanten weer gewogen nadat de gewichten waren verwijderd. Daarna heeft men de silos geopend en per silo twee monsters genomen. Eén monster werd gedroogd bij 103 °C voor bepaling van het droge stofgehalte. Het andere monster is opgestuurd naar BLGG te Wageningen voor bepaling van de gehalten aan ds, re, rc, ras, rvet, suiker, vc-os (T&T). Er was ook bepaling op pH en ammoniak (NH₃) aangevraagd, helaas is door een vergissing van het laboratorium deze bepaling niet uitgevoerd.

Daarnaast is één monster per behandeling ook geanalyseerd op het celwandenpakket (NDF, ADF, ADL) en één monster per behandeling op mineralen en sporelementen.

Op basis van de chemische samenstelling en de vc-os werd met behulp de formule voor graskuil VEM, DVE en OEB berekend volgens de voorschriften van het Centraal Veevoederbureau (CVB, 1999).

Perssap

Per proefsilos is een fles aangebracht om het eventuele perssap op te vangen. Bij de behandelingen met het verse materiaal kwam direct perssap vrij, deze is ongeveer één week na het inkuilen teruggewogen. Bij de andere behandelingen is er (vrijwel) geen perssap vrijgekomen, het was dan ook niet nodig om dit tussentijds af te tappen.

Na de conserveringsperiode is het gewicht van de fles met water plus eventuele perssap opnieuw gemeten. Uit het verschil werd de hoeveelheid vrijgekomen perssap berekend.

2.3.2 *Praktijkproef*

.....

2.4 Statistische analyse

De conserveringsresultaten uit het onderzoek op proefschaal zijn niet verder statistisch geanalyseerd.

3 Resultaten

3.1 Oogst

Op 18 juli zijn de waterplanten geoogst. De waterplanten bestonden voornamelijk uit doorgroeid fonteinkruid. (Zie afbeelding 3). Na de oogst zijn de verse planten middels een big-bag naar Zegveld getransporteerd, waar een gedeelte is uitgespreid om verder voor te drogen.



Afbeelding 3: doorgroeid fonteinkruid

3.2 Proefschaal

3.2.1 Uitgangsmateriaal

In onderstaande tabel is de analysegegevens van het verse materiaal weergegeven, ter vergelijking is ook de streefwaarde weergegeven zoals deze geldt voor ruwvoerders voor de veehouderij.

Tabel 3: analysegegevens verse waterplanten

	verse waterplanten	streeftraject
Monstername		
DS	167	300-500
Vem	387	880-940
VEVI	379	900-980
Dve+	-5	60-80
Oeb+	21	40-80
Vos	298	680-720
Fosp+	214	525-600
OEB+ 2 uur	13	40-95
FOSp+ 2 uur	49	225-300
StrWrd	1	2.6-3.0
verzadigingswaarde	1.1	0.95-1.1
Ruw as	549	90-120
Vcos T&T	66	76-80
Re	95	160-190
Ruw celstof	144	230-280
Suiker	16	40-100
NDF	240	420-500
ADF	x	240-290
ADL	45	20-30
Na	3.8	2.0-3.0
K	16.3	25-35
Mg	6.7	2.0-3.5
Ca	68.7	4.5-6.5
P	2.1	3.0-4.5
S	5.2	2.0-4.0
Mn	517	40-125
Zn	19	25-50
Fe	485	100-500
Cu	6.2	12.0-15.0
Mo	0.2	1.0-2.5
J	3.3	0.5-2.5
Co	373	100-500
Se	125	90-250

x: niet bepaald

Het valt op dat, in vergelijking met de streefwaarde, het gehalte aan ruw as zeer hoog is, daarnaast is een verlaagde gehalte aan ruw eiwit (re) te zien. Dit resulteerde in een slechtere verteerbaarheid van de organische stof en een lagere voederwaarde (VEM, DVE en OEB).

Daarnaast is de gehalte aan Ca en Mn duidelijk hoger dan de streefwaarde. Dit is waarschijnlijk te verklaren aan een aantal planteigenschappen. Doorgroeid fonteinkruid is een zgn. hardwaterplant, deze hebben de eigenschap om CO₂ en kalk om te zetten in Calciumcarbonaat wat als korsten aan de plant

blijft kleven. (Weeda, E. J., 2011). Bij de voeding aan (melk-)vee zal een hoge opname van Ca kunnen leiden tot een verlaagde resorptie van o.a. Ca, Mg, P, Cu. Bij drachtig vee ontstaat daardoor de risico dat een koe na het afkalven, als de Ca-behoefte opeens veel groter wordt, te weinig Ca (en Mg) kan opnemen in het bloed. Hierdoor zal de koe melkziekte kunnen krijgen.

Een overmaat aan mangaan wordt goed verdragen vanwege de gemakkelijke uitscheiding via darmsappen. Wel kan het de benutting van andere mineralen remmen, onder anderen van het element ijzer. (Gios Nele, 2006)

3.2.2 Inkuilen

Tijdens het vullen en het legen (inkuilen cq uitkuilen) is het gewicht van het ingekuilde materiaal vastgesteld en is er een monster genomen voor bepaling van de percentage droge stof (ds%). In onderstaand tabel zijn deze gewichten per proefsilo weergegeven een is de berekende verlies aan droge stof weergegeven.

Tabel 4: gewichten en ds% bij in- en bij uit-kuilen en de berekende verlies aan droge stof.

Proefsilo	object	Inhoud(kg) bij inkuilen	ds% bij inkuilen	kg ds bij inkuilen	inhoud(kg) bij uitkuilen	ds% bij uitkuilen	kg ds bij uitkuilen	kg ds verlies	ds-verlies (%)
1	A	8.06	14.6%	1.18	5.46	19.5%	1.06	0.12	9.8%
2	A	7.12	14.6%	1.04	4.6	20.7%	0.95	0.09	8.5%
3	B	5.38	30.1%	1.62	5.32	30.1%	1.60	0.02	1.3%
4	B	5.28	30.1%	1.59	5.22	30.4%	1.59	0.00	0.2%
5	C	5.54	33.1%	1.83	5.42	32.8%	1.78	0.06	3.1%
6	C	5.90	33.1%	1.95	5.74	32.8%	1.88	0.07	3.5%
7	D	5.32	30.2%	1.61	5.14	31.0%	1.59	0.01	0.8%
8	D	5.40	30.2%	1.63	5.42	29.9%	1.62	0.01	0.7%

Door conservering treden door verschillende omzettingen verliezen aan droge stof op. Dit verlies wordt uitgedrukt in droge stofverlies, dat wordt berekend als verschil in hoeveelheid uitgangsmateriaal en ingekuilde materiaal op basis van droge stof. Bij object A, het niet-voorgedroogde materiaal zonder additieven, is ca. 9% ds-verlies opgetreden, bij object C, voorgedroogd met toevoeging van melasse, is een ds-verlies van ruim 3% opgetreden.

Ook is de hoeveelheid perssop vastgesteld. Bij twee proefsilo's is tussentijds een hoeveelheid perssop afgetapt en gewogen, bij het uitkuilen is van elke proefsilo de hoeveelheid perssop vastgesteld. Deze gegevens, incl. de berekende percentage t.o.v. het startgewicht, zijn in tabel 5 weergegeven.

Tabel 5: opgevangen hoeveelheden perssop

proefsilo	object	inhoud(kg) bij inkuilen	perssop (kg) 24-7-2013	perssop (kg) 7-10-2013	perssop totaal	% perssop
1	A	8.06	1.52	0.80	2.32	28.8%
2	A	7.12	1.72	0.58	2.30	32.3%
3	B	5.38	-	-	-	0.0%
4	B	5.28	-	-	-	0.0%
5	C	5.54	-	0.06	0.06	1.1%
6	C	5.90	-	0.08	0.08	1.4%
7	D	5.32	-	-	-	0.0%
8	D	5.40	-	0.02	0.02	0.4%

Het blijkt dat van object A, het niet-voorgedroogde materiaal zonder additieven, ca. 30% van de starthoeveelheid als perssop verloren gaat. Van object C, voorgedroogd met toevoeging van melasse, is

een kleine hoeveelheid perssap vrijgekomen. Van de objecten B en D is (vrijwel) geen perssap vrijgekomen.

3.2.3 Conservering

Bij het uitkuilen is er per proefsilo een monster genomen voor nader onderzoek in het laboratorium, deze monsters zijn naar BLGG in Wageningen gestuurd. In onderstaande tabel is de analyse per behandeling weergegeven, de analyse van de afzonderlijke monsters staan in bijlage 1.

Tabel 6: gemiddelde analysegegevens per 4 behandelingen na het inkuilen

Object	A	B	C	D	
Behandeling	vers ingekuild	voorgedroogd zonder additief	voorgedroogd met melasse	voorgedroogd met ecosyl	streeftraject
DS	197	293.5	297.5	279.5	300-500
pH	x	x	x	x	4.0-4.8
Vem	356.5	389	456	429.5	880-940
VEVI	355.5	380.5	455.5	426	900-980
Dve+	7.5	20	24	24	60-80
Oeb+	-1.5	4	2	3.5	40-80
Vos	280.5	313	362.5	343	680-720
Fosp+	213	237.5	246.5	249.5	525-600
OEB+ 2 uur	8	11.5	11	12.5	40-95
FOSp+ 2 uur	39.5	46	47	48	225-300
StrWrd	0.85	1.1	1.15	1.05	2.6-3.0
verzadigingswaarde	1.1	1.1	1.1	1.1	0.95-1.1
Ruw as	603	538	486.5	507.5	90-120
Vcos T&T	70.7	67.8	70.65	69.6	76-80
NH3	x	x	x	x	<9
Re	80	99.5	98	102	160-190
Ruw celstof	125	150.5	151.5	147	230-280
Suiker	2	2	3	2	40-100
NDF	200	260	259	264	420-500
ADF	274	305	276	283	240-290
ADL	27	38	37	48	20-30
Na	3.6	5.1	4.4	5.2	2.0-3.0
K	13.4	18.9	20.6	19.8	25-35
Mg	6.1	6.8	7.8	6.9	2.0-3.5
Ca	73.4	85.8	80.5	83	4.5-6.5
P	2	2.2	2.3	2.1	3.0-4.5
S	4.4	5.8	7.2	6	2.0-4.0
Mn	458	477	443	508	40-125
Zn	24	21	32	21	25-50
Fe	600	519	462	547	100-500
Cu	6.6	6.7	0.2	7.4	12.0-15.0
Mo	0.2	0.2	0.2	0.3	1.0-2.5
J	5.8	7	6.8	7.7	0.5-2.5
Co	341	426	403	476	100-500
Se	133	137	155	150	90-250

x niet bepaald

Een belangrijk criterium om de mate van conserveren te beoordelen zijn de parameters pH en NH₃, helaas zijn juist deze parameters door een vergissing van het laboratorium niet onderzocht. Wel is geconstateerd dat het ingekuilde materiaal fris rook, (behoudens object A). Gezien ook de verteringscoëfficiënt (VC-os) en de voederwaarde kunnen we bij de objecten C en D, (voorgedroogd met een additief) wel spreken van een geslaagde inkuilproces. Het is opvallend dat hier de voederwaarde (VEM) zelfs beduidend hoger ligt dan in het uitgangsmateriaal.

3.3 Praktijkschaal

3.3.1 Uitgangsmateriaal

Op het bedrijf van Gebr. den Hartog zijn een drietal monsters genomen voor voederwaardebepaling, er is zowel van het verse materiaal een gedeelte niet verder voorgedroogd en direct ingekuild (in een ronde baal met plastic) als een gedeelte van het materiaal voorgedroogd op het veld. Na conservering is er één monster genomen van het niet-voorgedroogde materiaal (monster 1) en 2 monsters van het wel wel-voorgedroogde materiaal (monster 2 en 3). Zie onderstaand tabel.

Tabel 7: gemiddelde analysegegevens van 3 partijen (na conservering) op praktijkbedrijf

	Monster 1. nat fonteinkruid (niet voorgedroogd)	Monster 2. droog fonteinkruid (wel voorgedroogd)	Monster 3. droog fonteinkruid (wel voorgedroogd)	streeftraject
Monstername				
DS	188	594	683	300-500
pH	6.5	6.3	6.6	4.0-4.8
Vem	343	635	666	880-940
VEVI	326	633	667	900-980
Dve+	32	68	78	60-80
Oeb+	1	18	29	40-80
Vos	282	515	535	680-720
Fosp+	272	359	382	525-600
OEB+ 2 uur	11	22	30	40-95
FOSp+ 2 uur	94	100	110	225-300
StrWrd	1.1	1.7	1.4	2.6-3.0
verzadigingswaarde	1.1	1.07	1.1	0.95-1.1
Ruw as	559	282	253	90-120
Vcos T&T	64	71.7	71.6	76-80
NH3	14	5	5	<9
Re	102	151	174	160-190
re totaal	118	160	183	170-210
Ruw celstof	153	213	176	230-280
Suiker	x	x	x	40-100
Na	x	6	7.3	2.0-3.0
K	x	26.7	28	25-35
Mg	x	6	6.1	2.0-3.5
Ca	x	61.9	50.9	4.5-6.5
P	x	4.2	4.3	3.0-4.5
S	x	5.7	6.5	2.0-4.0
Mn	x	1276	2107	40-125
Zn	x	34	44	25-50
Fe	x	886	1434	100-500
Cu	x	9.3	11	12.0-15.0
Mo	x	0.8	0.6	1.0-2.5
J	x	8.6	9.7	0.5-2.5
Co	x	554	867	100-500
Se	x	174	240	90-250

x: niet bepaald

De gehalte aan droge stof van partij 2 en 3 is duidelijk hoger dan de droge stof van de geconserveerde partijen die bij de proefschaal gebruikt zijn.

Opvallend is de duidelijk verlaagde niveau van het ruw as van partijen 2 en 3 t.o.v. partij 1 én t.o.v. het materiaal wat bij de proefsilo's gebruikt is. Door het verder indrogen zijn blijkbaar (een gedeelte van) de aanhangende kalkkorsten losgekomen van de planten en is dit als inkuilverlies op het land achtergebleven. Door het verlaagde gehalte aan ruw as, is de verteringscoëfficiënt en de voederwaarde duidelijk hoger geworden.

Ondanks de vrij hoge waarde van de pH is de NH₃-fractie van de 2 droge partijen voldoende laag om een goede conservering te waarborgen. Waarschijnlijk heeft de hoge Ca-concentratie een verlaging van de pH voorkomen.

4 Conclusies

- Het inkuielen van de verse waterplanten (14.6%ds) resulteerde in vrij veel perssapverliezen (ca. 30% van het begingewicht), voordrogen tot een droge stofgehalte van 30.1% ds resulteerde in vrijwel geen perssapverliezen.
- De voederwaarde (VEM, DVE en OEB) van de verse waterplanten is, in vergelijking met de streefwaarde van ruwvoer, aan de lage kant. Dit is grotendeels te verklaren uit het zeer hoge ruw as-gehalte, daarnaast is een verlaagd gehalte aan ruw eiwit te zien.
- De gehalte aan Ca en Mn is duidelijk hoger dan de streefwaarde voor ruwvoerders. De hoge gehalte van Ca is (waarschijnlijk) te verklaren aan een aantal planteigenschappen. Doorgroeid fonteinkruid is een zgn. hardwaterplant, deze hebben de eigenschap om CO₂ en kalk om te zetten in Calciumcarbonaat wat als korsten aan de plant blijft kleven.
- Door het voordrogen van de waterplanten wordt het as-gehalte duidelijk lager (verliezen die op het veld achter blijven) en daardoor stijgt de voederwaarde.
- Ondanks de missende waarden van pH en NH₃ bij de ingekuilde monsters kan geconcludeerd worden dat de 2 voorgedroogde partijen (30.1%ds) met een additief (melasse of ecosyl) redelijk tot goed geconserveerd zijn.
- Inkuielen met een additief (melasse of ecosyl) verhoogt de voederwaarde t.o.v. inkuielen zonder een toevoegmiddel.
- Op basis van de aanwezige gegevens van 2 ingekuilde partijen op een praktijkbedrijf in de regio (resp. 59 en 68%ds) kan geconcludeerd worden dat er geen reden is om aan te nemen dat de conservering onvoldoende is. Ondanks de hoge pH is de NH₃-fractie voldoende laag.

5 Aanbevelingen

- Bij de voeding aan (melk-)vee zal een hoge opname van Ca kunnen leiden tot een verlaagde resorptie van o.a. Ca, Mg, P, Cu. Bij drachtig vee ontstaat daardoor de risico dat een koe na het afkalven, als de Ca-behoefte opeens veel groter wordt, te weinig Ca (en Mg) kan opnemen in het bloed. Hierdoor zal de koe melkziekte kunnen krijgen. Bij het voeren van beperkte hoeveelheden zal het risico op ziekte van het vee minimaal zijn. Het dient wel aanbeveling om bij het vervoederen van grote hoeveelheden van de waterplanten (al dan niet ingekuild) een risico-analyse t.a.v. de diergezondheid uit te voeren.
- Nader onderzoek naar het effect van voordrogen op het as-gehalte en naar het effect hiervan op de voederwaarde is gewenst.
- Om een betere beoordeling van de conservering te kunnen maken dienen er meerdere monsters van het ingekuilde materiaal met een uiteenlopend ds% geanalyseerd worden op NH₃ en pH, uitgebreid met bepaling van boterzuur, azijnzuur en melkzuur.

6 Literatuur

- CVB, 1999. Handleiding voederwaardeberekeningen ruwvoerders. Centraal veevoederbureau, Lelystad, Nederland.
- Weeda, E. J. Waterplanten als maat voor de biologische kwaliteit van oppervlaktewateren. Biotoets met 15 plantensoorten in de Noardlike Fryske Wâlden. Wageningen: Alterra; 2011.
- Website van NMI over mineralen en spore-elementen: <http://meststoffen.nmi-agro.nl/spoor/spoor.htm#>
- Gios Nele, 2006. Belang van mineralen en vitaminen in de melkveevoeding

7 Bijlagen

Tabel 8: gemiddelde analysegegevens per 4 behandelingen na het inkuilen

Object	A	A	B	B	C	C	D	D
Behandeling	vers ingekuild	vers ingekuild	voor-gedroogd zonder additief	voor-gedroogd zonder additief	voor-gedroogd met melasse	voor-gedroogd met melasse	voor-gedroogd met ecosyl	voor-gedroogd met ecosyl
DS	202	192	292	295	317	278	306	253
pH	x	x	x	x	x	x	x	x
Vem	353	360	387	391	474	438	453	406
VEVI	352	359	378	383	479	432	452	400
Dve+	1	14	17	23	26	22	23	25
Oeb+	4	-7	9	-1	8	-4	7	0
Vos	277	284	311	315	372	353	361	325
Fosp+	168	258	206	269	230	263	227	272
OEB+ 2 uur	8	8	12	11	13	9	13	12
FOSp+ 2 uur	33	46	42	50	46	48	45	51
StrWrd	0.8	0.9	1	1.2	0.9	1.4	1.1	1
verzadigingswaarde	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Ruw as	607	599	535	541	486	487	489	526
Vcos								
Vcos T&T	70.6	70.8	66.9	68.7	72.4	68.9	70.7	68.5
NH3	x	x	x	x	x	x	x	x
Re	76	84	100	99	105	91	102	102
Ruw celstof	123	127	141	160	128	175	154	140
Suiker	2	2	2	2	4	2	2	2
NDF	200		260		259		264	
ADF	274		305		276		283	
ADL	27		38		37		48	
Na		3.6		5.1		4.4		5.2
K		13.4		18.9		20.6		19.8
Mg		6.1		6.8		7.8		6.9
Ca		73.4		85.8		80.5		83
P		2		2.2		2.3		2.1
S		4.4		5.8		7.2		6
Mn		458		477		443		508
Zn		24		21		32		21
Fe		600		519		462		547
Cu		6.6		6.7		0.2		7.4
Mo		0.2		0.2		0.2		0.3
J		5.8		7		6.8		7.7
Co		341		426		403		476
Se		133		137		155		150

X: niet bepaald

Bijlage 6

Rapportage TORWASH, ECN (Bleijendaal *et al.* 2012)

Waterpest en Cabomba TORWASH experimenten

L.P.J. Bleijendaal
R. Sumbharaju
J.R. Pels
R.R. van der Laan
M.K. Cieplik
M. Bosma

September 2014
ECN-E--14-041



Verantwoording

Dit project (5.1955) is uitgevoerd door ECN in opdracht van Waternet.

Waternet is het enige waterbedrijf in Nederland dat zich richt op de hele watercyclus. Van het schoonmaken van afvalwater, het zuiveren en leveren van drinkwater tot het schoon en op peil houden van het oppervlaktewater in de regio Amstel, de Vecht en in het Gooi.

In deze notitie worden de resultaten van TORWASH experimenten beschreven, uitgevoerd in opdracht van Waternet. We willen hierbij Waternet en met name Mark Nijman en Marcel Zandvoort bedanken voor de opdracht.

Dit rapport is eerder als vertrouwelijk rapport in oktober 2012 aan Waternet ter beschikking gesteld. Het huidige rapport is de publieke versie, waarbij de gelegenheid is genomen enige correcties aan te brengen.

“Hoewel de informatie in dit rapport afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in het rapport en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders.”



Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
2	Procesomschrijving en experimenten	7
2.1	Experimenten	8
2.2	Hakselen	8
2.3	Persen	9
2.4	Autoclaaf	9
3	Resultaten	11
3.1	Dichtheid	11
3.2	Vochtgehalte	12
3.3	Massaopbrengst en verzuring	13
3.4	Proximate analysis, ultimate analysis en verbrandingswaarde	15
3.5	As vormende elementen	16
3.6	Spoorelementen	16
3.7	Zuurvormende elementen	17
3.8	Fosfor en stikstof	18
4	Conclusies	20

Samenvatting

In Nederland worden woekerende waterplanten geoogste om de waterwegen open te houden. Het is de verwachting dat door verbeteringen in de waterkwaliteit de groei van deze planten nog verder zal toenemen. Waternet, het bedrijf dat verantwoordelijk is voor de waterwegen in en rond Amsterdam en zich richt op de hele watercyclus, wil de geoogste waterplanten nuttig en duurzaam gebruiken. Eén van de opties, die daarbij onderzocht is betreft TORWASH, een technologie die door ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland) ontwikkeld wordt. TORWASH is een natte torrefactie technologie, die natte, zoute biomassa omzet in een vaste bio-brandstof die geschikt is als brandstof voor energiecentrales.

In dit rapport worden onderzoeksresultaten gepresenteerd die zijn verkregen met Waterpest (*Elodea nuttallii*) en Cabomba (*Cabomba caroliniana*). De monsters zijn geoogst aan het einde van de zomer van 2012 en direct naar ECN gebracht om daar te worden verwerkt. Het materiaal is gehakseld en de slurries die daaruit resulteerden zijn onderworpen aan TORWASH testen in een autoclaaf. Het natte product is gefilterd en mechanisch ontwaterd. Na een set verkennende proeven zijn de optimale condities vastgesteld om de experimenten op te schalen en uit te voeren in de 20 liter autoclaaf. Van deze grotere tests zijn massabalansen opgesteld en is de distributie van relevante elementen bepaald, zoals kalium, chloor, stikstof en fosfor. Het uitgeperste materiaal is tevens onderzocht op brandstofkwaliteit.

Beide waterplanten blijken een geschikte grondstof te zijn voor het TORWASH proces. Het hakselen tot een slurry met 90% water resulteert in een vermindering van het volume met een factor 4. Dit alleen al kan leiden tot aanzienlijke besparingen op de logistieke kosten voor het afvoeren van de waterplanten. Na het hakselen is de slurry direct geschikt om te TORWASHen. Er is geen toevoeging van water nodig. Na de TORWASH stap kan het product mechanisch ontwaterd worden tot 70% droge stof. De massaopbrengst (aan droge stof) ligt rond 50%, wat een normale waarde is voor TORWASH. Alkali en chloor worden efficiënt verwijderd tot een niveau wat vergelijkbaar is met dat van houtchips zonder bast. Het uitgeperste product is geschikt voor meestoken in kolencentrales, maar het chloorgehalte is nog net een fractie boven de IWPB standaard voor I2 industriële houtpellets. Het is de verwachting, dat een eenvoudige nawas-stap dit kan verhelpen. De uitgeperste producten bevatten 20-40% as, wat veel meer is dan hout of steenkool. Veel van deze as is echter silica omdat bepaalde elementen selectief worden uitgewassen. Het hoge asgehalte beperkt meestoken in kolencentrales, maar het blijft mogelijk om de bio-brandstof in wervelbedinstallaties of roosterovens te gebruiken. Het is dus wel een *geschikte* brandstof, maar voor sommige toepassingen een minder *aantrekkelijke* brandstof.

1

Inleiding

Waternet is het enige waterbedrijf in Nederland dat zich richt op de hele watercyclus. Van het schoonmaken van afvalwater, het zuiveren en leveren van drinkwater tot het schoon en op peil houden van het oppervlaktewater in de regio Amstel, de Vecht en in het Gooi. Waternet wordt, net als andere waterschappen, geconfronteerd met een steeds groter wordende groei van waterplanten in waterwegen en plassen. Deze waterplanten, voor een groot gedeelte Waterpest en Cabomba, zijn invasieve soorten en bezorgen overlast voor bijvoorbeeld de watersport. Als verantwoordelijke voor deze wateren zoekt Waternet naar een duurzame oplossing voor dit probleem.

ECN heeft technologie ontwikkeld voor het opwerken van natte biomassa soorten (zoals gras, stro en riet) tot brandstof. Deze technologie heet TORWASH en kan mogelijk ingezet worden voor de verwerking van waterplanten.

TORWASH combineert torrefactie (roosteren) van biomassa met het wassen en drogen van biomassa. TORWASH zet biomassa die niet geschikt is voor thermische conversie routes om in een bruikbare vaste brandstof. Voorbeelden van dergelijke biomassastromen zijn gras, agrarische residuen, hooi en stro. Het direct toepassen van deze materialen als biomassa brandstof is moeilijk en leidt tot praktische problemen zoals:

- Hoge transport kosten vanwege een lage bulkdichtheid en een hoog vochtgehalte
- Corrosie, neerslag en vervuilingproblemen bij verbranding vanwege hoge zout concentraties (vooral kalium en chloor)
- Lage rendementen vanwege een hoog vochtgehalte
- Biologische degradatie tijdens opslag (seizoensgebonden oogst)
- Maal- en voedingsproblemen

Het TORWASH product is een vaste brandstof dat equivalent is aan schone getorreficeerde houtpellets. TORWASH is een aanvullende technologie op droge torrefactie omdat het biomassa verwerkt met een hoog vochtgehalte en een hoog zoutgehalte. In afgelopen jaren is het TORWASH proces succesvol toegepast op laboratoriumschaal voor de volgende materialen:

- Natte agrarische residuen en natte afvalstromen van de voedingsindustrie
- Gras, stro en hooi
- Digestaat en fermentatieresiduen

Een zoutverwijdering van 98% is gedemonstreerd. Pellets met een droogmateriaal gehalte van 60-70% zijn gerealiseerd via mechanische ontwatering zonder de toevoeging van een bindmiddel. Na verdere droging laten de pellets een goed maalgedrag zien. Pellets die via het TORWASH proces gefabriceerd worden, hebben een calorische waarde rond de 20 MJ/kg (HHV, droge basis) wat iets hoger is dan conventionele houtpellets.

De doelstelling van de studie is het onderzoeken en analyseren of het TORWASH proces voordelen biedt in de verwerking van de Waterpest en Cabomba. De interesse gaat uit naar het effect van TORWASHen op de dichtheid en verwerkbaarheid van de waterplanten. TORWASHen biedt wellicht de mogelijkheid om waterplanten in te zetten als brandstof. De brandstofkwaliteit wordt beoordeeld op basis van samenstelling, calorische waarde, ontzouting en ontwatering. Verder is er interesse naar het effect van TORWASHen op het terugwinnen van de voedingsstoffen stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K) uit de biomassa. De N-P-K balansen worden bepaald op basis van overall gehalten.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het TORWASHen van Waterpest en Cabomba. In hoofdstuk 2 worden het TORWASH proces en de experimenten beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de uitgevoerde experimenten gegeven. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies over het TORWASHen van Waterpest en Cabomba.

2

Procesomschrijving en experimenten

TORWASH is een hydrothermaal behandelingsproces waarin biomassa wordt behandeld in vloeibaar water bij temperaturen tussen de 150°C en 250°C. De verhoogde temperatuur heeft als doel de structuur van biomassa gedeeltelijk af te breken. De verandering in de structuur zorgt er voor dat het TORWASH product beter te malen is en beter mechanisch te ontwateren is. Tevens worden verschillende minerale componenten uitgewassen uit de biomassastructuur wat resulteert in een hoogwaardiger product voor bijvoorbeeld het toepassen van de biomassa in energiecentrales. De mate waarin de structuur degradeert en mineralen opgelost worden, is afhankelijk van de procestemperatuur en de duur van blootstelling. Een te lage temperatuur of een te korte blootstelling kan resulteren in een product dat teveel veerkracht behoudt, slecht te ontwateren is en/of te veel zouten en andere ongewenste minerale componenten (as) vasthoudt. Een te hoge temperatuur of te lange blootstelling kan resulteren in een product dat alle structuur verliest en verandert in een viskeuze suspensie die eveneens slecht te ontwateren is. In dit geval kunnen de opgeloste zouten niet gescheiden worden van de vaste biomassa. Een verhoogde temperatuur bevordert tevens het oplossen van de biomassa in de vorm van suikers waardoor er productverlies optreedt. De juiste temperatuur en blootstelling kan via experimenten bepaald moeten worden en verschilt per biomassasoort. Vooral nog vinden TORWASH experimenten plaats op lab-schaal in een autoclaaf met een grootte variërend tussen de 0,5 en 20 liter.

2.1 Experimenten

Op basis van praktische ervaring en achtergrondkennis van ECN is bepaald of Waterpest en Cabomba verwerkbaar zijn in het TORWASH proces. Het onderzoek omvat:

- een serie autoclaaf testen
- een eerste inschatting van de brandstofkwaliteit van de vaste fractie
- een elementbalans op stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K).

Eerst is een snelle screening gedaan op temperatuur en tijd in een 0,5 liter autoclaaf, waarmee een inschatting verkregen wordt wat de beste verwerkingscondities zijn. Vervolgens zijn op deze condities testen uitgevoerd in de 20 liter autoclaaf, zodat er voldoende geTORWASHt materiaal werd verkregen om analyses aan te doen.

De experimenten zijn uitgevoerd met de door Waternet geleverde Waterpest en Cabomba.

De volgende analyses zijn uitgevoerd:

1. Dichtheid
 - a. Vers materiaal
 - b. Vers gehakseld materiaal
 - c. Geperst TORWASH product (190°C) (20 liter)
2. Droge stof gehalte
 - a. Vers materiaal (ongeperst en geperst)
 - b. Gehakseld materiaal (ongeperst en geperst)
 - c. Geperst TORWASH product (180°C – 210°C) (0,5 liter)
3. Massaopbrengst en verzuring
 - a. Geperst TORWASH product (180°C – 210°C) (0,5 liter)
4. Proximate en ultimate analyses
 - a. Vers materiaal
 - b. Geperst TORWASH product (190°C) (20 liter)
5. As analyses
 - a. Vers materiaal
 - b. Geperst TORWASH product (190°C) (20 liter)

2.2 Hakselen

Om de biomassa uniform en geschikt te maken voor het TORWASH proces is een deel van de structurele degradatie gerealiseerd door de biomassa voorafgaand aan de test te verkleinen via een hakselaar/extruder. Hoewel hakselen en extruderen op macroniveau de structuur verandert blijft de microstructuur intact. De vers geleverde waterplanten zijn gehakseld met standaard keukenapparatuur. Een foto van de gebruikte apparatuur is opgenomen in Figuur 1.

Figuur 1: Hakselaar



2.3 Persen

De perskoeken van vers, gehakseld en geTORWASHT materiaal zijn gemaakt in een hydraulisch pers. Een foto van de persmal en pers is weergegeven in Figuur 2.

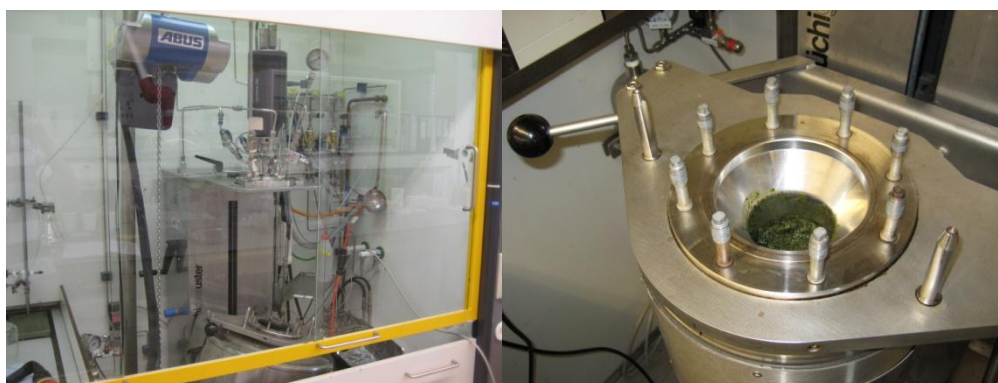
Figuur 2: Persmal en pers



2.4 Autoclaaf

De autoclaaf is een afgesloten stalen reactorvat waarin product opgewarmd kan worden onder hoge druk. De druk in de autoclaaf tijdens de TORWASH experimenten varieert normaal gesproken tussen de 15 en 25 bar, afhankelijk van de gekozen procesconditie. Een foto van de autoclaaf opstelling is weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3: De autoclaaf



3

Resultaten

Uit de metingen van het droge stof gehalte, de massaopbrengst aan TORWASH pellets (en de snelheid van ontwateren) bleek dat in het geval van zowel Waterpest als Cabomba dat een procestemperatuur van 190°C en een verblijftijd van 30 minuten het beste resultaat geeft. De experimenten in de 20 liter autoclaaf zijn derhalve ook bij deze procescondities uitgevoerd.

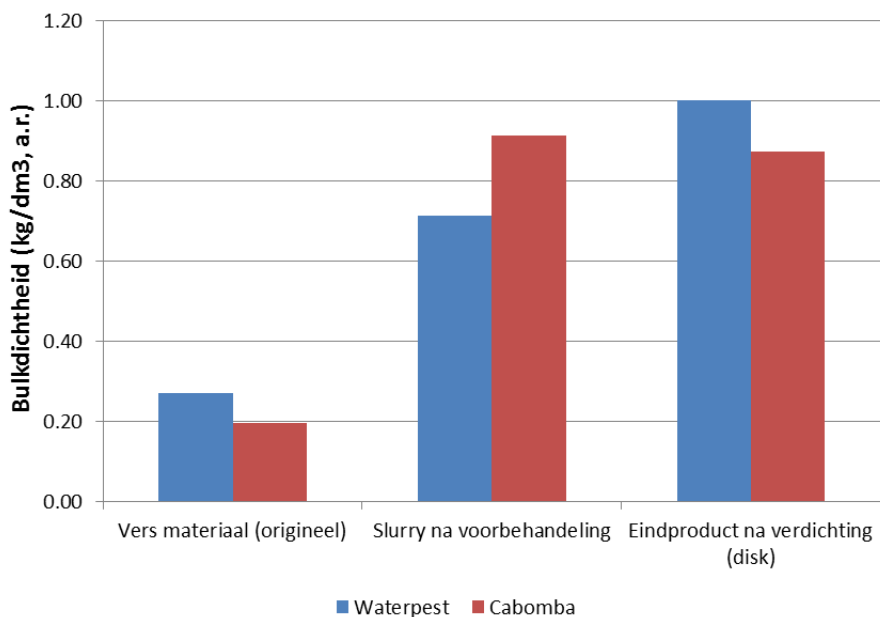
3.1 Dichtheid

Het persen van biomassa verhoogt de dichtheid doordat de loze ruimte tussen de biomassadeeltjes wordt gereduceerd. De mate waarin de dichtheid wordt verhoogd is afhankelijk van factoren zoals de veerkracht van de biomassa, de grootte van de biomassadeeltjes, de druk en tijdsduur van het persen. In het TORWASH proces wordt de structuur van het biomassa gedegradieerd waardoor de biomassa meestal beter te persen is omdat het veerkracht verliest.

In Figuur 4 zijn verschillende bulkdichtheden gegeven. Het verse materiaal heeft een dichtheid die rond de 200 kg/m³ ligt. Door het materiaal te hakselen kan de dichtheid vergroot worden naar circa 800 kg/m³. Het verse materiaal en het gehakselde materiaal hebben vergelijkbare vochtgehaltes van ongeveer 90%. Na het TORWASHen bij 190°C en het persen van een pellet ligt de dichtheid van Waterpest iets hoger dan de dichtheid van gehakseld materiaal. Dit in tegenstelling tot Cabomba wat na persen een iets lagere dichtheid heeft. De geperste pellet van TORWASH materiaal heeft echter een veel lager vochtgehalte van rond de 25-30%.

De verdichtingsfactor voor Waterpest van origineel naar TORWASH pellet is ongeveer 3,7x. Voor Cabomba is de verdichtingsfactor ongeveer 4,5x. Als deze resultaten gecombineerd worden met het gehalte vaste stof (volgende paragraaf), dan kan de dichtheid uitgedrukt worden in hoeveelheid vaste stof per volume eenheid. De toename is dan een factor 25 voor Waterpest en een factor 40 voor Cabomba.

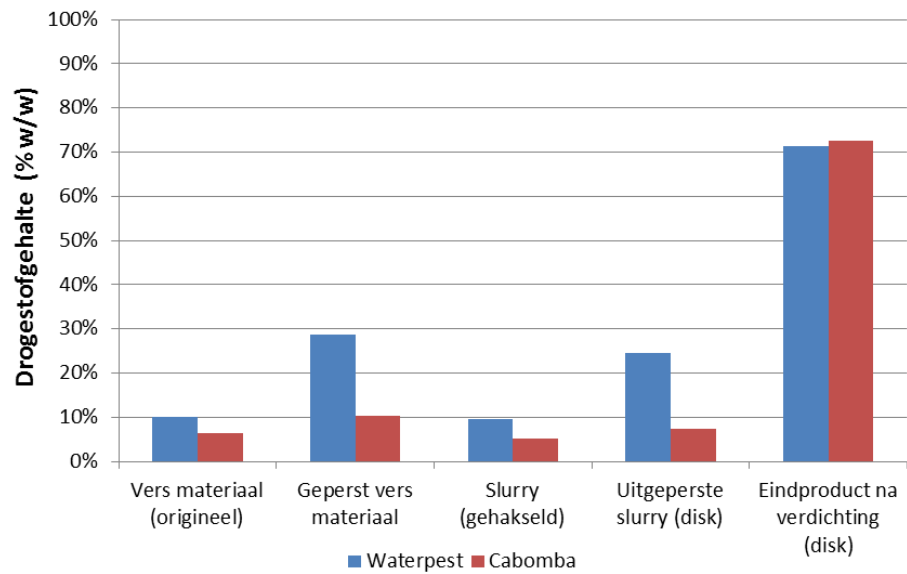
Figuur 4: Dichtheden van vers, gehakseld en geTORWASHT materiaal



3.2 Vochtgehalte

Het gehalte droge stof van biomassa kan worden verhoogd door vaste stof en vloeistof te scheiden. Het TORWASH proces is ontworpen met de bedoeling om zoveel mogelijk water mechanisch te verwijderen. Mechanisch ontwateren van biomassa is een relatief energie efficiënte methode om een droog materiaal te verkrijgen. Net als bij de dichtheid verhoging van biomassa is het ontwateren van biomassa afhankelijk van de veerkracht van biomassa, de grootte van de biomassadeeltjes, de druk en tijdsduur van het persen. In het TORWASH proces wordt de structuur van het biomassa gedegradieerd waardoor het biomassa meestal beter te ontwateren is omdat het veerkracht verliest. Als de structuur echter te ver is gedegradieerd veranderen sommige biomassa in een gel-achtige, viskeuze vloeistof waar vloeistof moeilijk uit te persen is. In Figuur 5 zijn de gemeten droge-stof-gehaltenes gegeven. Uit de resultaten blijkt dat het hakselen van vers materiaal – dus zonder TORWASH – een negatief effect heeft op het droge-stof-gehalte dat behaald kan worden bij het persen. Het TORWASH proces bij 190°C heeft een zeer positief effect op gehalte droge stof wat uiteindelijk wordt bereikt.

Figuur 5: Drogestofgehaltenes bij verschillende bewerkingen

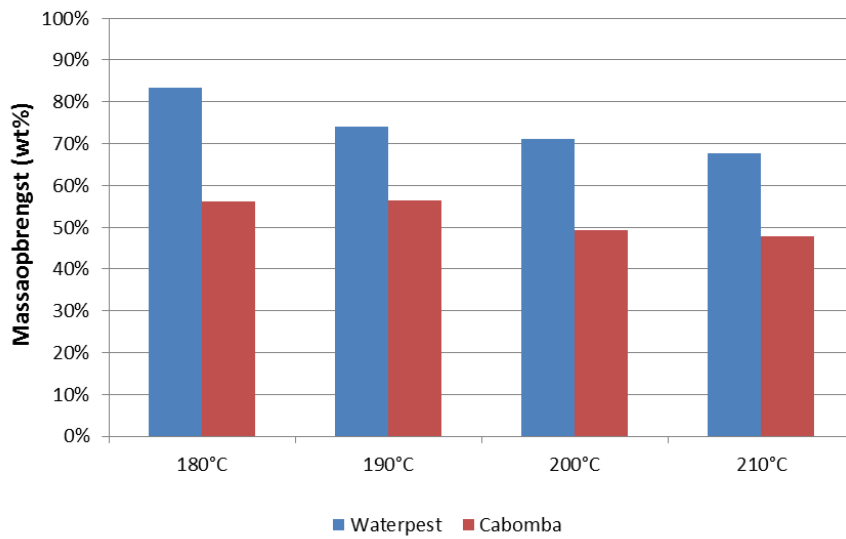


3.3 Massaopbrengst en verzuring

In Figuur 6 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** is de massaopbrengst van het eTORWASHte materiaal gegeven bij verschillende TORWASH temperaturen, voortkomende uit de experimenten in de 0,5 liter autoclaaf. Een stijging in de temperatuur veroorzaakt een daling in de massaopbrengst. Het dalen van de massaopbrengst is het gevolg van het oplossen van zowel organische als minerale componenten van de biomassa (Waterpest/Cabomba) in het proceswater.

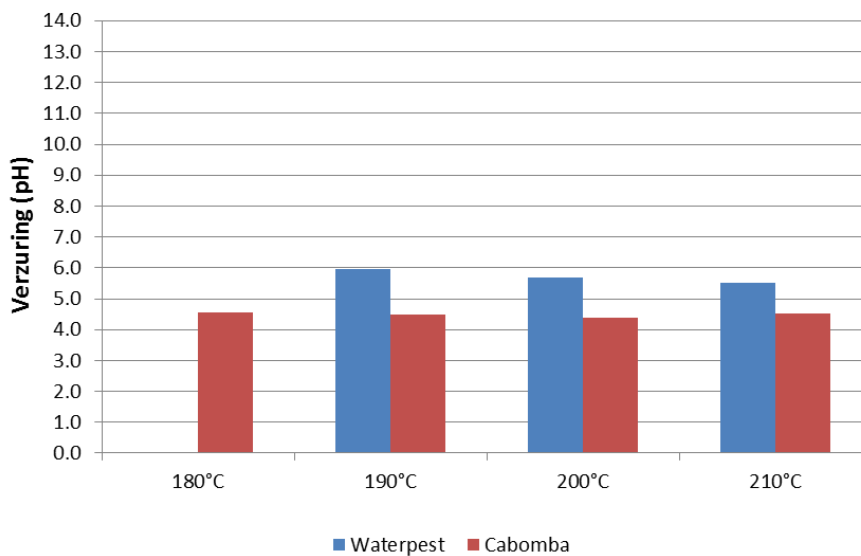
Tijdens de experimenten in de 20 liter autoclaaf op 190°C zijn nauwkeuriger bepalingen gedaan. Hierbij is vastgesteld dat voor Waterpest 61% van de vaste stof in de originele massa wordt teruggewonnen als vaste stof in de brandstof en voor Cabomba 47%. Dit zijn normale getallen voor TORWASH. Voor gras en riet zijn in andere onderzoeken opbrengstgetallen van 52 en 65% gevonden. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat de opbrengsten aan vaste stof bij testen op 190°C in de 20 liter autoclaaf lager zijn dan in de 0,5 liter autoclaaf vanwege langere opwarm- en afkoeltijden. Voor het bepalen van de optimale condities is met dit gegeven al rekening gehouden.

Figuur 6: Massaopbrengst (incl. as) bij verschillende TORWASH temperaturen in de 0,5l autoclaaf



Tijdens TORWASH verzuurt het proceswater. De verzuring ontstaat door organische zuren die vrijkomen als afbraakproducten bij de verhitting van het biomassa: suikers kunnen worden omgezet in carboxylzuren. In Figuur 7 zijn de zuurgraden gegeven bij verschillende TORWASH temperaturen.

Figuur 7: Verzuring bij verschillende TORWASH temperaturen in de 0,5l autoclaaf



3.4 Proximate analysis, ultimate analysis en beoordeling als bio-brandstof

De monsters die verkregen zijn uit de 20 liter autoclaaf testen met Waterpest en Cabomba zijn gebruikt voor de proximate analyses en ultimate analyses en de bepaling van de verbrandingswaarde (HHV). In de proximate analysis wordt het vochtgehalte, de hoeveelheid vluchtig materiaal (VM) en de asrest bepaald (bij 550°C en bij 815°C). In de ultimate analysis worden de samenstelling van een monster onderverdeeld in de componenten C, H, O en N op droge basis. De resultaten van de analyses zijn gegeven in Tabel 1.

Tabel 1: Proximate en ultimate analyse met monster gebruikt in de 20 liter autoclaaf. Vocht is bepaald bij 105°C *as received* (a.r.); de andere grootheden zijn op droge basis (d.b.)

	vocht % a.r.	as (550°C) % d.b.	as (815°C) % d.b.	VM % d.b.	HHV MJ/kg
Cabomba vers	94	17	16	64.7	15.6
Cabomba product	28.7	22	21	59.6	17.7
Waterpest vers	89	40	27	54.1	10.9
Waterpest product	27	47	33	42.5	11.3
Dunningshout (chips)	8.2	2.6	2.1	79.0	19.2
Sub-bitumineuze kool	10.0	6.6	6.2	42.0	26.4

	C % d.b.	H % d.b.	N % d.b.	O % d.b.	S % d.b.
Cabomba vers	39.2	5.25	2.9	37.8	0.30
Cabomba product	42.6	4.85	2.2	29.3	0.30
Waterpest vers	31.2	3.85	2.3	36.2	0.26
Waterpest product	32.5	3.35	1.8	31.3	0.19
Dunningshout (chips)	48.2	6.5	0.5	43.7	0.04
Sub-bitumineuze kool	67.9	5.0	1.0	23.9	0.33

Uit de resultaten van de analyse komt opnieuw naar voren dat het verse materiaal erg nat is met een vochtgehalte van ongeveer 90%. De geTORWAShte en gesterpellets hebben een vochtgehalte van 25-30%. Dit vochtgehalte is een zeer acceptabel resultaat voor mechanisch ontwateren. De asgehalten van Waterpest en Cabomba nemen licht toe omdat er naar verhouding meer brandbaar (organisch) materiaal in oplossing gaat dan asvormende (anorganische) componenten. De asgehalten van geTORWASHT product zijn hoog: 22 en 47%. Ter vergelijking: het asgehalte van sub-bitumineuze kolen en chips van dunningshout liggen beide royaal onder 10%. Door dit hoge asgehalte zijn het niet echt aantrekkelijke brandstoffen. De assen zijn echter na TORWASH voornamelijk zand/silica omdat elementen als kalium en chloor selectief oplossen en uitspoelen. De assen zijn eerder een inerte ballast, dan dat ze problemen zullen veroorzaken. Daardoor kunnen ze toch worden ingezet bij co-firing, echter met een lager meestookpercentage. Een andere mogelijkheid is toepassing in wervelbedverbranding, waar juist zand toegevoegd wordt als bedmateriaal. De bio-brandstof is ook geschikt voor toepassing in roosterovens.

De verbrandingswaarde van Cabomba is vergelijkbaar met de verbrandingswaarde van snoeihout (thinning wood). De verbrandingswaarde van Waterpest ligt een stuk lager. Deze waarden zijn zo laag vanwege de relatief hoge hoeveelheid as die aanwezig is in de monsters.

In zowel Waterpest als Cabomba is het stikstofgehalte 2%. Het stikstofgehalte neemt met ongeveer 20% af bij het TORWASH proces en is daarmee iets hoger vergeleken met hout chips. Het stikstofgehalte is wel binnen de gangbare limieten voor steenkolen.

Op grond van de proximate en ultimate analyses kan geconcludeerd worden dat geTORWASHte waterpest en cabomba geschikt zijn om als brandstof te dienen, met in achtneming van de beperkingen, die op grond van het hoge asgehalte genoemd zijn.

3.5 As vormende elementen

In Tabel 2 zijn de concentraties van verschillende as-vormende elementen gegeven voor verschillende monsters. Uit de resultaten van de elementen analyse (ICP-AES) kan geconcludeerd worden dat calcium dominant is in de as van Waterpest en dat deze niet afneemt tijdens het TORWASH proces. Dankzij deze hoge concentratie calcium kan men verwachten dat de as een hoog smeltemperatuur heeft. Hierdoor is er weinig risico op ketelvervuiling wanneer deze stroom zou worden gebruikt voor energieopwekking.

In Cabomba is silicium het dominante element, maar er is ook een aanzienlijke concentratie calcium. De combinatie van silicium en calcium kan leiden tot de vorming van plakkerige assen tijdens verbranding, met als gevolg verslakking aan de verdamperswand en vervuiling van de koudere warmtewisselaars in bijvoorbeeld kolencentrales. Wanneer het hoge siliciumgehalte veroorzaakt wordt door aanhangend zand wat meekomt bij het oogsten van Cabomba, kan dit wellicht verminderd worden door een betere scheiding.

Alkali metalen kalium en natrium worden voor 90% verwijderd in het TORWASH proces. De uiteindelijke concentratie aan alkali metalen is vergelijkbaar met de concentratie in snoeihout, en mag beschouwd worden als een veilig niveau.

Tabel 2: Analyse van de as-vormende elementen; alle getallen op droge basis (d.b.)

	Al	Ca	K	Mg	Mn
	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.
Cabomba vers	2318	9536	17877	2605	2711
Cabomba product	4974	22227	2575	2016	2957
Waterpest vers	1217	141776	18438	2120	1124
Waterpest product	2551	183875	2255	1916	1361
Dunningshout (chips)	267	4780	2479	627	72
Sub-bitumineuze kool	4883	8737	228	1715	12

	Na	P	Si	Ti
	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.
Cabomba vers	31234	3013	19766	55
Cabomba product	1738	261	60961	189
Waterpest vers	7842	4199	11417	30
Waterpest product	921	6025	17329	61
Dunningshout (chips)	179	520	840	9
Sub-bitumineuze kool	716	320	5744	382

3.6 Sporelementen

In Tabel 3 zijn de gemeten concentraties voor sporenelementen weergegeven. De relatief hoge waarden voor zink zijn typerend voor snelgroeiende aquatische planten, en kunnen in sommige gevallen voor emissie- en corrosieproblemen zorgen in een verbrandingsinstallatie. De hoge strontiumgehalten (vooral in Waterpest) zijn inherent aan de eerdergenoemde hoge concentraties van calcium in de geteste planten, omdat deze twee elementen in plantfysiologie dezelfde functie hebben en elkaar kunnen vervangen. Voor beide elementen (Zn en Sr) kan geconcludeerd worden dat de gehalten niet afnemen na TORWASHen en op een niveau blijven dat significant hoger is dan in houtachtige biomassastromen en in kolen.

Tabel 3: Analyseresultaten van spoorelementen; alle getallen op droge basis (d.b.); <d.l. = onder de detectielimiet

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni
	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.
Cabomba vers	5.5	0.2	3.3	8.0	32.7	3.0
Cabomba product	1.4	0.5	27.4	14.5	71.1	5.4
Waterpest vers	4.6	0.1	4.7	4.6	9.6	2.1
Waterpest product	1.4	0.2	9.6	8.2	17.1	3.7
Dunningshout (chips)	0.1	0.2	<d.l.	4.8	3.4	1.9
Sub-bitumineuze kool	0.1	b.d.l.	1.6	5.8	10.3	5.2

	Pb	Se	Sn	Sr	V	Zn
	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.
Cabomba vers	20.3	1.8	0.9	33.8	5.8	386.3
Cabomba product	61.4	3.7	2.3	64.8	13.6	530.9
Waterpest vers	12.8	1.4	0.9	365.5	3.8	36.9
Waterpest product	22.5	2.5	0.9	451.5	7.2	78.4
Dunningshout (chips)	<d.l.	<d.l.	0.1	19.0	0.3	27.7
Sub-bitumineuze kool	4.7	0.7	0.2	169.0	11.9	9.2

3.7 Zuurvormende elementen

In Tabel 4 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn de gemeten concentraties van de zuurvormende elementen weergegeven. De zwavelconcentratie is verhoogd ten opzichte van snoeihout maar vergelijkbaar met de concentratie in zwavelarme referentiekolen. De concentratie van chloor is hoog in de uitgangsmaterialen, maar wordt effectief verwijderd door het TORWASH proces. De concentratie chloor in het eindproduct is vergelijkbaar met de concentratie in snoeihout, echter te hoog in vergelijking met het 300 ppm criterium voor houtpellets, zoals geformuleerd door de IWPB (Initiative Wood Pellets Buyers) voor klasse I2 industriële pellets¹). Het chloorgehalte is niet veel te hoog en daarom is het de verwachting, dat door middel van nawassen het chloorgehalte verder kan worden verlaagd en eenvoudig onder 300 ppm kan komen. De verhouding zwavel/ chloor is relatief hoog (S/Cl) in het product en biedt bij de gemeten concentratie bescherming tegen chloor corrosie.

Broom en fluor zijn aanwezig met relatieve lage concentraties; de detectielimiet is 10 mg/kg (d.b.). De niveaus zijn vergelijkbaar met die van de referentie kolen en de snoeihout. Het TORWASH proces heeft vrijwel geen invloed op de concentraties van deze twee halogenen.

¹ De criteria voor de verschillende klassen industriële houtpellets, die door de IWPB zijn vastgesteld staan op de website van Laborelec: http://www.laborelec.be/ENG/wp-content/uploads/2012/05/120427-IWPB-Industrial_pellets_specifications_KJ_YR-2.pdf

Tabel 4: Analyseresultaten van zuurvormende elementen; alle getallen op droge basis (d.b.); <d.l. = onder de detectielimiet

	Br	Cl	F	S	P
	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.	mg/kg d.b.
Cabomba vers	27.5	16050.5	<d.l.	2964.5	3013
Cabomba product	<d.l.	545	17	3005	261
Waterpest vers	18	6201	13	2637	4198.5
Waterpest product	16	418	12	1913	6025
Dunningshout (chips)	<d.l.	295	<d.l.	386	520
Sub-bitumineuze kool	<d.l.	29	69	3260	320

3.8 Fosfor en stikstof

Zowel Waterpest als Cabomba bevatten vergelijkbare beginconcentraties van fosfor (zie Tabel 2) maar het gedrag in het TORWASH proces is sterk verschillend voor beide planten. Voor Waterpest vindt er een verrijking plaats van 20% in het vaste materiaal, terwijl in het Cabomba een verarming van 90% plaatsvindt. Hiermee kan geconcludeerd worden dat TORWASH van Waterpest wel de mogelijkheid biedt om fosfor aan het ecosysteem te onttrekken en toch het proceswater te recycleren naar de plaats van oogsten, terwijl dit bij Cabomba niet het geval is. De relatief hoge concentratie fosfor in de geTORWASHde Waterpest kan wel een probleem vormen in een verbrandingsomgeving vanwege vergiftiging van de deNOx katalysator (bij Selective Catalytic Reduction - SCR).

In zowel Waterpest als Cabomba gaat het gehalte stikstof (zie Tabel 1) omlaag. Er vindt een lichte verarming aan stikstof plaats in de vaste stof: er wordt naar verhouding meer stikstof opgelost en afgevoerd dan van de totale vaste stof. Toch blijft er een aanzienlijke hoeveelheid stikstof in de vaste stof: 36% voor Cabomba, 48% voor waterpest.

4

Conclusies

ECN heeft onderzocht en geanalyseerd of het TORWASH proces kan worden toegepast voor de verwerking van de Waterpest en Cabomba tot vaste bio-brandstof. Hierbij is gekeken naar het effect van TORWASHen op de dichtheid en verwerkbaarheid van de waterplanten. Verder zijn er analyses gedaan gericht op de brandstofkwaliteit. Het effect van TORWASHen op de voedingsstoffen stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K) is eveneens bepaald. Een opsomming van de meetresultaten is hieronder gegeven.

- Dichtheid: de verdichtingsfactor als gevolg van de voorbereiding van vers Waterpest naar een slurry is ongeveer 3,7x. Voor Cabomba is de verdichtingsfactor ongeveer 4,5x. Na TORWASH en mechanisch ontwateren wordt een verdichting van behaald van respectievelijk 25x en 40x (op basis van vaste stof).
- Vochtgehalte: het vochtgehalte van het originele materiaal is circa 90%. Het vochtgehalte kan via het TORWASH proces mechanisch ontwateren worden verlaagd naar 25% – 30%
- Massaopbrengst: op basis van vaste stof wordt voor 47% (Cabomba) en 61% (Waterpest) aan opbrengst vastgesteld, wat vergelijkbaar is met opbrengsten van gras en riet.
- Chemische samenstelling en verbrandingswaarde: Waterpest en Cabomba hebben een hoog asgehalte van respectievelijk ~30% en ~20%. In vergelijking met steenkool (<10%) en houtchips (2,5%) zijn de hoeveelheden as hoog. De hoge as-concentratie is mogelijk gedeeltelijk toe te wijzen aan zand dat met het monster meegekomen is. De verbrandingswaarde van Cabomba is vergelijkbaar met de verbrandingswaarde van snoeihout. De verbrandingswaarde van Waterpest ligt een stuk lager. Deze verbrandingswaarden worden o.a. beïnvloed door de relatief hoge hoeveelheid as in de monsters.
- As samenstelling: Waterpest heeft een hoog calcium gehalte wat leidt tot een hoog smeltpunt voor de assen. Als gevolg daarvan zijn as-problemen bij verbranding niet waarschijnlijk. Cabomba bevat veel silicium in combinatie met calcium, waardoor het risico bestaat dat de assen bij relatief lage temperatuur kunnen smelten in een verbrandingsomgeving. Alkali metalen worden effectief verwijderd in het TORWASH proces. Chloor wordt eveneens effectief verwijderd maar het niveau is nog net iets boven het criterium voor klasse I2 industriële houtpellets van de IWPB. De aanwezigheid van zwavel in het TORWASH product zal tegenwicht bieden tegen eventuele chloor gerelateerde corrosie problemen

- Fosfor en stikstof: het gedrag van fosfor verschilt sterk in beide waterplanten. Waterpest houdt fosfor vast in het TORWASH proces terwijl Cabomba fosfor los laat. In beide waterplanten wordt na TORWASH een lichte verarming aan stikstof geconstateerd.

De conclusie is dat Waterpest en Cabomba verwerkt kunnen worden in het TORWASH proces, wat resulteert in het omzetten van natte en zout-bevattende grondstoffen naar een vaste brandstof. Het TORWASHen van waterplanten maakt het mogelijk om Waterpest en Cabomba mechanisch te drogen naar een vochtgehalte van ongeveer 25%. Alkalimetalen worden effectief uitgewassen in het TORWASH proces. Het geTORWASHte materiaal heeft echter een hoog asgehalte, waardoor er geen sprake is van een *aantrekkelijke* brandstof. GeTORWASHte Waterpest zou kunnen worden ingezet als bijstook brandstof. Bij geTORWASHte Cabomba bestaat het risico dat er plakkerige assen ontstaan bij verbranding. In het TORWASH proces houdt Waterpest fosfor vast terwijl Cabomba fosfor los laat. Stikstof wordt in beide waterplanten vastgehouden.

Naast de bevindingen tijdens de TORWASH experimenten is geconstateerd dat hakselen van waterplanten in een slurry resulteert, die waarschijnlijk makkelijker te verpompen en te vervoeren is dan het verse materiaal. De verhoging in dichtheid tussen verse waterplanten en gehakselde waterplanten is een factor 3 à 4 (zie figuur 4). In figuur 13 zijn foto's gegeven van vers en gehakseld materiaal.

Figuur 8: Vers en gehakselde waterpest



ECN

Westerduinweg 3
1755 LE Petten

Postbus 1
1755 LG Petten

T 088 515 4949

F 088 515 8338

info@ecn.nl

www.ecn.nl

Bijlage 7

Analyserapport perssap waterpest en Cabomba, Waterproef

Analyserapport



Waternet, Onderzoek & Advies
Onderzoek en Projecten, B6
T.a.v. de heer M. Nijman
Postbus 94107
1090 GC AMSTERDAM

Datum:
25-09-2012

Rapportnummer:
185571

Uw Kenmerk:

Project:
dooea001/406, Pilot deel 1 Torwash

Monstername door:
Opdrachtgever

Uw projectcode:
67759-1

Geachte heer Nijman,

Hierbij zend ik u de resultaten van analyses die op uw verzoek werden uitgevoerd. Deze resultaten hebben alleen betrekking op de monsters, zoals die door u ter analyse werden aangeboden.

De werkzaamheden zijn, tenzij anders aangegeven, uitgevoerd overeenkomstig het document 'Analysemethoden en Tarieven Stichting Waterproef'. Belangrijk voor de interpretatie van de resultaten is het gegeven dat analyseresultaten altijd een meetonzekerheid bezitten. Gegevens over de analysemethoden en meetonzekerheden worden u op aanvraag toegezonden.

De met een Q gemerkte analyses zijn geaccrediteerd door de Raad voor Accreditatie.

Dit rapport mag niet anders dan in zijn geheel worden gereproduceerd.

De resultaten op dit rapport zijn geautoriseerd namens de directeur van Stichting Waterproef dr. R.G.J. van Leuken.

**Rapportnummer:**

185571

Pagina

2 / 2

Volgnummer	Puntcode	Monsteromschrijving
359525	oh080005	Afvalwater Waterpest
359526	oh080005	Afvalwater Cabomba

Volgnummer	359525	359526
Monstertype	Overige	Overige
Bemonsteringstype	steekmonster	steekmonster
Monsternemer	ECN	ECN
Monsternamedatum	13-09-2012	05-09-2012
Monsternametijd	00:00	00:00
Acceptatiedatum	17-09-2012	17-09-2012

Fysisch- Chemische analyses

			Eenheid
Chemisch zuurstofverbruik	29600	19400	mg/l O2
Chloride ionchromatografisch	1200	1200	mg/l Cl
Kjeldahl-stikstof in afvalwater	1400	890	mg/l N
Totaal-fosfor in afvalwater	73	150	mg/l P
Sulfaat ionchromatografisch	500	210	mg/l SO4
Indamprest van vaste matrix	2,9	2,1	% ng
Gloeirest van de indamprest	32	31	% van dg
Organisch stof gehalte	68,5 ^a	68,8 ^a	%
Onopgeloste bestanddelen	210	630	mg/l
Gloeirest onopgeloste bestanddelen	25	8	% van dg

Opmerkingen

^a Resultaat is zonder lutum en ijzer correctie.