

ONDERZOEK NAAR DUURZAAM GEBRUIK VAN BERM- EN SLOOTMAAISEL ALS BODEMVERBETERAAR

Team 1831 – Creating a biobased business case: Combining roadside & agricultural management in Twente

Eindrapport verwerkingsmethoden

Freak Beuckens, Ron Boon, Esther Nissen, Coen Uijterlinde, Bouwiene Zwaan,
Jeroen Zwietering

Groene Metropool Twente
Contactpersoon Gerrit Meijerink

CONTACT PROJECTGEVER: GERRIT MEIJERINK <G.MEIJERINK@VECHTSTROMEN.NL>
TEAM SECRETARIS: FREARK BEUCKENS <FREARK.BEUCKENS@WUR.NL>

Dit rapport is gemaakt door studenten van Wageningen Universiteit als onderdeel van hun MSc-opleiding.

Het is géén officiële publicatie van Wageningen Universiteit of Wageningen UR. Wageningen Universiteit neemt middels dit rapport geen formele positie in, noch representeert het haar visie of mening in deze.

Copyright © 2017. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze publicatie mag worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt worden, in enige vorm of op enige wijze, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteurs.

Samenvatting

Maaisel afkomstig uit bermen en slootranden is een afvalstof. De beheerders zijn veel geld kwijt aan het afvoeren en verwerken van berm- en slootmaaisel. Tegelijkertijd hebben agrariërs behoefte aan organische stof in hun landbouwgronden. De gemeenten Hof van Twente, Twenterand, Wierden, het waterschap Vechtstromen en LTO Zuid Twente zijn een project gestart om de mogelijkheden te onderzoeken om berm- en slootmaaisel als bodemverbeteraar toe te passen in de regionale landbouw. Dit project is onderdeel van het uitvoeringprogramma Twentse Kracht! 2014 -2020 in de regio Twente.

In dit rapport onderzoeken we de haalbaarheid van enkele verwerkingsmethoden voor maaisel die een alternatief zouden kunnen zijn voor de huidige verwerking door composteerbedrijven. Na overleg met de opdrachtgever, hebben we de volgende meest kansrijk geachte verwerkingsmethoden uitgewerkt:

- Klepelen en laten liggen
- Bokashi
- Direct onderwerken
- Pelletiseren
- Verbranding
- Pyrolyse
- Natte co-vergisting
- Droge vergisting

Deze verwerkingsmethoden hebben we beoordeeld op de volgende criteria, die voor een deel van belang zijn binnen de Green Deal 'Circulair terreinbeheer':

- Schaalgrootte
- Circulair
- Lokaal
- Landbouw
- Juridisch
- Kosten en baten

Uit de analyse bleek dat berm- en slootmaaisel lastig te verwerken is om als grondstof te kunnen dienen voor andere toepassingen, omdat het eerst voorbereid moet worden en omdat er betere alternatieven beschikbaar zijn. Er blijken ook heel wat haken en ogen te zitten aan de toepassing als bodemverbeteraar in de landbouw. De toegevoegde waarde als bodemverbeteraar is niet altijd duidelijk, terwijl de risico's door verontreinigingen en invoer van onkruidzaden aanwezig zijn. Voor alle methoden geldt in meer of mindere mate dat het maaisel vrij moet zijn van zwerfval en grond. Verder is homogeniteit een belangrijke eis; de bruikbaarheid van maaisel voor verdere toepassing hangt af van de kwaliteit die per plaats, per tijdstip en per maaimethode kan verschillen. Tot slot zijn de van toepassing zijnde wet- en regelgeving beperkend voor hoe berm- en slootmaaisel verwerkt kan worden.

Op basis van de analyse doen we de volgende aanbevelingen:

- In kaart brengen van organische stofbehoeftes in landbouwgronden in Twente;
- Samenstelling en inhoudsstoffen monitoren in vrijgekomen maaisel;
- Verzamelstructuur van het maaisel monitoren;
- Locatie-specifieke opbrengst in kaart brengen;
- Flexibel maaibeleid, gericht op eisen van de verwerkingsmethode;
- Prestatiecontracten sluiten met aannemers voor verhogen kwaliteit van maaisel;
- Mogelijkheden onderzoeken voor pyrolyse-installatie;
- Bewustwordingscampagne om zwerfval verontreiniging te verminderen.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	4
2. Beoordelingscriteria.....	5
2.1. Schaalgrootte	5
2.2. Circulair	5
2.3. Lokaal	5
2.4. Landbouw	5
2.5. Juridisch.....	5
2.6. Kosten en baten	6
3. Belanghebbenden	7
4. Subsidieregeling.....	8
5. Reiniging	9
5.1. Bermbeleid	9
5.2. Maaibeleid.....	9
5.3. Na schonen.....	9
5.4. Aanbevelingen	10
6. Verwerkingsmethoden.....	11
6.1. Klepelen en laten liggen	11
6.2. Bokashi	14
6.3. Direct onderwerken	18
6.4. Pelletiseren	22
6.5. Verbranding.....	25
6.6. Pyrolyse	29
6.7. Natte co-vergisting	35
6.8. Droge vergisting	40
7. Conclusie en discussie.....	46
8. Aanbevelingen	49
9. Literatuurlijst.....	51
10. Appendices.....	57
10.1. Appendix 1.....	57
10.2. Appendix 2.....	59
10.3. Appendix 3.....	61

1. Inleiding

Langs veel wegen en sloten staan grasbermen. Deze bermen worden door de verantwoordelijke gemeenten en waterschappen bijgehouden en hier komt veel maaisel vanaf. Maaisel is een afvalproduct waaraan veel geld wordt besteed om het af te voeren en te verwerken. Tegelijkertijd is er in de landbouw vraag naar organische stof als bodemverbeteraar. Naar aanleiding van deze twee vraagstukken hebben de gemeenten Hof van Twente, Twenterand en Wierden, het waterschap Vechtstromen en LTO Zuid Twente het initiatief genomen om te onderzoeken of het vrijkomende maaisel op een alternatieve manier te gebruiken is als bodemverbeteraar in de landbouw.

Dit project valt binnen het uitvoeringsprogramma Twentse Kracht! 2014 - 2020 van Groene Metropool Twente en heeft als doel om vrijgekomen maaisel lokaal en duurzaam te verwerken volgens de principes van de circulaire economie. Hierbij wordt maaisel niet langer gezien als afvalstof maar als grondstof. Het project kan daarmee ondergebracht worden in de Green Deal 'Circulair terreinbeheer' (Biomassa Alliantie, 2017), waardoor pilots naar het gebruik van maaisel als bodemverbeteraar op allerlei gebieden ondersteund kunnen worden vanuit diverse overheden.

Via de Groene Kennispoort heeft ons team de opdracht gekregen om de haalbaarheid van verschillende verwerkingsmethoden van berm- en slootmaaisel te analyseren, zodat op basis hiervan keuzes gemaakt kunnen worden voor toekomstige pilots.

Het uitvoerende beleid van de deelnemende gemeenten en het waterschap in de regio Twente berust voornamelijk op het afvoeren van maaisel naar een composteerder. Er wordt vanuit gegaan dat de gemiddelde afzetprijs van compost € 15,- is. Dit is gebaseerd op prijzen genoemd door Aarnink & Ooms (z.j.) en Van Doorn Soest (z.j.). Deze manier van verwerken is niet verder toegelicht in dit rapport aangezien dit momenteel de meest gebruikte methode is.

Het doel van dit onderzoek is inzicht krijgen in de mogelijkheden van verschillende verwerkingsmethoden voor berm- en slootmaaisel. Het resultaat hiervan is te lezen in dit rapport. De opbouw van het rapport wordt hieronder toegelicht.

Om te beginnen is er een hoofdstuk met een uitleg van de beoordelingscriteria die gebruikt zijn om de verwerkingsmethoden uit te werken en te beoordelen. Deze criteria zijn als volgt: schaalgrootte, circulair, lokaal, landbouw, juridisch en kosten en baten. We leggen in dit hoofdstuk uit op welke manier elk criterium een rol speelt in de verwerking van maaisel.

Vervolgens wordt er kort ingegaan op de wensen en behoeftes vanuit de belanghebbende partners (gemeenten, waterschap en landbouwsector), waarna een beknopte toelichting volgt op de subsidiëring en het reinigen van maaisel. Aansluitend komt het hoofdstuk waarin de verwerkingsmethoden voor berm- en slootmaaisel dieper uitgewerkt worden. Deze methoden zijn gekozen in overleg met de opdrachtgevers en zullen op basis van elk van de criteria toegelicht worden. Tijdens de presentatie van 21 februari 2017 zijn deze methodes aangemerkt als de kansrijkste binnen het project. We geven aan wat de voor- en nadelen zijn op basis van de huidige kennis. Verder geven we aan waar het nog aan kennis ontbreekt en waar kansen en struikelblokken liggen voor de verwerkingsmethoden. Daarna is er een hoofdstuk conclusie en discussie en tot slot de aanbevelingen waarin we concrete stappen geven die als een opzet voor mogelijke denkrichtingen om toekomstige pilots te ontwikkelen dienen.

2. Beoordelingscriteria

De verwerkingsmethoden hebben we op de onderstaande beoordelingscriteria geanalyseerd. Deze criteria zijn in overleg met de gemeenten, het waterschap en LTO tot stand gekomen. De keuze voor deze selectie van criteria komt voort uit de visie die wordt geuit in het gebiedsprogramma 'Twentse kracht! 2014-2020' en factoren die van belang zijn binnen de Green Deal 'Circulair terreinbeheer'. We zullen alle criteria hier inhoudelijk uitleggen, om vervolgens de verwerkingsmethoden hierop te analyseren.

2.1. Schaalgrootte

Met schaalgrootte wordt de totale hoeveelheid berm- en slootmaaisel bedoeld die nodig is om een verwerkingsmethode zo rendabel mogelijk te maken. Als uitgangspunt wordt de huidige hoeveelheid vrijgekomen maaisel uit het te beschouwen systeem aangehouden. Uitgaande van de huidige hoeveelheid vrijgekomen maaisel is bepaald of de aangedragen verwerkingsmethoden haalbaar zijn. Voor sommige methoden is toepassing alleen haalbaar als het op grotere schaal wordt aangepakt. Dat zal in de analyse van de betreffende methode nader worden toegelicht.

2.2. Circulair

Voor het criteria circulair worden de principes van de circulaire economie aangehouden (Nederland). Hergebruik van grondstoffen is hier een belangrijk onderdeel van. In een circulaire economie worden grondstoffen zodanig gebruikt, dat ze een zo groot mogelijke waarde hebben voor de toepassing en zo weinig mogelijk schade voor het milieu geven. Maaisel is in beginsel een afvalstof, maar in een circulaire economie kan het dienen als grondstof voor uiteenlopende producten. De Green Deal 'Circulair terreinbeheer' is gestoeld op het idee dat maaisel als grondstof duurzamer verwerkt wordt dan wanneer het als afval behandeld wordt. In dit rapport kijken we vooral naar de toepasbaarheid als bodemverbeteraar in de landbouw en als grondstof voor hoogwaardigere producten.

2.3. Lokaal

Bij dit criterium wordt er gekeken in hoeverre het vrijgekomen maaisel lokaal, dus binnen het projectgebied, verwerkt kan worden en in hoeverre de eindproducten binnen de regio afgezet kunnen worden. Sommige verwerkingsmethoden of sommige processtappen kunnen alleen plaatsvinden buiten de regio. Dit criterium kan overlap vertonen met het criterium schaalgrootte, omdat de mogelijkheid tot het lokaal verwerken afhangt van de verwerkingsmethode en de schaal waarop de betreffende methode rendabel kan zijn.

2.4. Landbouw

Met het criterium landbouw wordt bedoeld: de toepasbaarheid van het eind- of tussenproduct van een verwerkingsmethode als bodemverbeteraar in de landbouw. Als dit doel niet haalbaar is, is er gekeken of een meer algemeen eind- of tussenproduct in de landbouw gebruikt kan worden.

2.5. Juridisch

Bij elke verwerkingsmethode wordt aangegeven wat de kansen zijn ten aanzien van de huidige wet- en regelgeving. Een methode scoort hoog als er weinig obstakels zijn of wanneer deze obstakels eenvoudig omzeild kunnen worden. Binnen het kader van pilots die passen in het concept van de Green Deal kunnen vrijstellingen aangevraagd worden van regelgeving om nieuwe technieken of methoden uit te proberen. Wet- en regelgeving is algemeen in kaart gebracht per verwerkingsmethode. Om te toetsen of een bepaalde verwerkingsmethode in het concept Green Deal past zal een aanvraag ingediend moeten worden bij de (Rijksoverheid, z.j.). Naast beperkingen kunnen er juridisch ook voordelen zijn, zoals de subsidie SDE (Stimulering Duurzame Energieproductie). Zowel de beperkingen als

de voordelen zijn zoveel mogelijk in kaart gebracht.

2.6. Kosten en baten

De kosten en baten worden binnen in dit verslag ruim geïnterpreteerd. De economische kosten en baten spelen hierin de belangrijkste rol. Het is namelijk van belang te weten of een verwerkingsmethode geld kan opbrengen of dat het continu financieel ondersteund zal moeten worden om het draaiende te kunnen houden.

Naast het economische aspect is er in tweede instantie gekeken naar de voor- en nadelen voor de biodiversiteit in de bermen en landbouwbodems. Hierdoor worden ook de natuuraspecten belicht. Als een methode ook maatschappelijke baten heeft zal dit worden benoemd. Evenals de gevolgen voor de beheerder en het maaibeleid. De kosten en baten zullen voor sommige verwerkingsmethoden goed afgewogen moeten worden. De methoden zullen namelijk niet altijd voor alle aspecten positief kunnen zijn.

3. Belanghebbenden

De belangrijkste belanghebbenden in dit project zijn Groene Metropool Twente (GMT) en Groene Kennispoort Twente (GKT). Enkele van de partners van de GMT zijn waterschap Vechtstromen, Gemeente Wierden, Gemeente Twenterand, Gemeente Hof van Twente, Landschap Overijssel en LTO Zuid-Twente (vertegenwoordiger van boeren en hun wensen). Zij willen onderzoeken of berm- en slootmaaisel op een alternatieve en financieel aantrekkelijke manier verwerkt kan worden, preferentieel als bodemverbeteraar in de landbouw. In dit hoofdstuk wordt van iedere organisatie (waterschap, gemeenten en LTO) aangegeven wat de wensen en behoeftes zijn ten aanzien van dit project.

Waterschap

Als beheerder van watergangen en -keringen is het waterschap veel geld kwijt aan het afvoeren en verwerken van vrijgekomen maaisel. Het maaisel wordt nu, als afvalstof, over grote afstanden vervoerd naar composteerders waar het tegen betaling verwerkt wordt. De wens is om deze kosten terug te brengen door maaisel af te zetten op lokale landbouwgrond en het niet langer te bestempelen als afvalstof, maar als grondstof voor de landbouw. Op deze manier vallen de vervoers- en verwerkingskosten grotendeels weg. Bovendien levert het een bijdrage aan de circulaire economie waarop de Green Deal 'Circulair Terreinbeheer' is gebaseerd. Project-pilots die binnen deze Green Deal passen biedt overheden (rijk en provincie) de mogelijkheid om hierin te ondersteunen met betrekking tot bijvoorbeeld wet- en regelgeving en subsidies. Onder bepaalde voorwaarden geldt een vrijstelling voor maaisel als afvalstof, maar voor een werkbare situatie is de huidige regelgeving beperkend.

Gemeenten

Voor de gemeenten binnen dit project gelden dezelfde motivaties als voor het waterschap: het terugdringen van de kosten van afvoer en verwerken van bermmaaisel en project-pilots opzetten die passen binnen de Green Deal 'Circulair terreinbeheer'. Om de hoeveelheid af te voeren maaisel te verminderen wordt er de laatste jaren al verschalingsbeheer toegepast. Verder kwam uit besprekingen naar voren dat de baten van een verwerkingsmethode niet beslist financieel hoeven te zijn als de maatschappelijke baten groter zijn.

LTO/agrariërs

Vooral veehouders en akkerbouwers zijn potentiële ontvangers van vrijgekomen of verwerkt maaisel. Over het algemeen wordt het belang van organische stof als structuurverbeteraar in de bodem erkend en staat men positief tegenover het gebruik van berm- en slootmaaisel om het organische stofgehalte op peil te houden. Hierbij moet er rekening gehouden worden met de kosten en baten van de toevoeging van berm- en slootmaaisel ten opzichte van andere beschikbare (organische) meststoffen. Aangezien een belangrijk aspect van het project is om maaisel te gebruiken als bodemverbeteraar in de lokale landbouw, worden er een aantal eisen aan gesteld. Ten eerste moet het product vrij zijn van afval en chemische verontreinigingen. Ten tweede mogen er geen kiemkrachtige onkruidzaden in aanwezig zijn. Ten derde zou er iets gedaan moeten worden aan de status van meststof: wanneer sommige producten als bodemverbeteraar worden toegepast, zijn het meststoffen en moeten ze dus worden meegenomen worden in de meststoffenboekhouding van het bedrijf. Als laatste moet het product zo goedkoop mogelijk worden aangeboden, aangezien het product moet concurreren met bijvoorbeeld compost en drijfmest.

Agrariërs zijn terughoudend tegenover gebruik van berm- en slootmaaisel in de landbouw, vooral vanwege de kans op verontreiniging. Het lage gehalte aan nutriënten in maaisel is gunstig voor de mestboekhouding. Dit biedt de mogelijkheid om veel organische stof aan te voeren. De meststoffen die nu worden gebruikt in de landbouw zijn hoogwaardiger als nutriëntenleverancier dan de vervangers met berm- en slootmaaisel waarschijnlijk zullen zijn.

4. Subsidieregeling

De Nederlandse overheid heeft als doel het terugdringen van de uitstoot van broeikasgassen en heeft hiertoe duurzaamheidsdoelstellingen opgesteld. De duurzaamheidsdoelstelling houdt in dat het aandeel duurzame energie 14% is in 2020. In het Energieakkoord is vastgelegd hoe deze doelstellingen gehaald dienen te worden. Eén van de maatregelen is het stimuleren van de productie van duurzaam opgewekte elektriciteit, warmte en gas, via het programma SDE (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, z.j.-c).

De volgende processen komen in aanmerking voor subsidie van het opwekken van energie uit biomassa: vergisting en co-vergisting van mest, allesvergisting en thermische conversie. De hoeveelheid te ontvangen subsidie hangt af van het gekozen proces en het vermogen van de installatie en zal per proces specifiek onderzocht moeten worden. Voor alle processen geldt dat de biomassa aan de duurzaamheidscriteria zal moeten voldoen, hiervoor zijn verschillende verificatie protocollen beschikbaar (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, z.j.-a).

5. Reiniging

5.1. Bermbeleid

Voor veel verwerkingsmethoden is het van belang dat het berm- en slootmaaisel geen zwerfvuil bevat. De aanwezigheid van grond in maaisel is vaak een beperking voor verdere verwerking. Maaisel vervuild met grond heeft nadelige effecten op het product wat er geproduceerd wordt en op de werking van installaties. Het verwijderen van zwerfvuil en grond is tijdrovend en duur. De meest effectieve en goedkoopste oplossing is dan ook het voorkomen van vuil en grond in maaisel uit bermen en slootranden. Door middel van borden, flyer acties en andere vormen van marketing kunnen weggebruikers erop gewezen worden dat een schone berm van belang is. Het gronddeel in het maaisel kan verminderd worden door aanpassing in het maaibeleid. Naast de milieubelasting worden de kosten voor reiniging immers indirect via de gemeenten en waterschappen op de burger verhaald.

Indien er grote hoeveelheden vuil geconcentreerd zijn in bermen en slootranden, kan op deze specifieke locaties handmatig het zwerfvuil worden verwijderd. Dit is echter erg arbeidsintensief en dus duur, een optie zou zijn de inzet van vrijwilligers.

5.2. Maaibeleid

Een veel voorkomende maaitechniek is klepelen in combinatie met een afzuiginstallatie, waarbij er relatief veel grond (en fauna) mee wordt gezogen. Het aandeel grond kan teruggebracht worden door hooilandbeheer toe te passen: gras wordt gemaaid met een cirkelmaaier of maaibalk en het maaisel blijft een paar dagen liggen om te drogen. Bij voorkeur wordt het gras tussendoor een keer gekeerd, waardoor grond en gerijpte zaden uit het maaisel kunnen vallen. Op deze manier kan er een schoner product worden aangeboden voor verdere verwerking. Bovendien wordt het droge stofgehalte verhoogd door het drogen, wat het maaisel ook aantrekkelijker maakt voor verdere verwerking. Verder kan voordroging de transportkosten met een factor vier verlagen (Naarts, 2009), dit zal echter afgewogen moeten worden tegen de meerkosten van de extra handelingen. Wanneer het maaisel moet worden ingekuuld, moet het eerst verkleind worden om een homogene kuil te krijgen en om het goed samen te kunnen drukken. Verkleinen na maaien met gangbare landbouwmachines is niet aan te raden vanwege verontreinigingen (stenen, metalen voorwerpen etc.) die de machines kunnen vernielen. In dat geval wordt het gebruik van een maaizuigcombinatie aanbevolen die iets hoger staat afgesteld, waardoor er minder grond (en fauna) wordt meegezogen. Hier staat een hogere stoppel tegenover. Dit kan nadelige gevolgen hebben voor de afvoer van regenwater. Eveneens moet er rekening gehouden worden met de vereiste stoppelhoogte binnen de bebouwde kom.

Bij het gebruik van een maaizuigcombinatie kan er gekozen worden voor een zogenaamde ecokop. Bij de ecologische maaier zweeft de maaikop vlak boven de grond, hetgeen wordt verzekerd door een zogenaamde looprol. Deze opzet in combinatie met een optimale luchttoevoer zorgt voor minder opname van grond (Rijkswaterstaat, 2013).

In alle gevallen zorgt maaien tijdens droge periodes voor de meest optimale kwaliteit van het maaisel.

5.3. Na schonen

Er is momenteel sprake van hoofdzakelijk twee soorten vervuiling in het maaisel. De eerste is zwerfvuil, de tweede is grond. Zwerfvuil kan na het maaien handmatig verwijderd worden door het maaisel over een lopende band te voeren. Bij zeer grote volumes aan maaisel kan het lonend zijn om gebruik te maken van automatische scheidingsinstallaties. Deze bestaan onder andere uit zeven, trilplaten en windshifters (Brinkmann, 2014). Door deze installaties juist in te stellen kan naast het zwerfvuil ook de grond fractie verwijderd worden. Vele uren manueel werk, hoge investeringen en operationele kosten van reinigingsinstallaties maken verdere verwerking van berm- en slootmaaisel duur. Het is daarom essentieel om zoveel mogelijk zwerfvuil in het maaisel te voorkomen. Daarnaast is het essentieel dat het grond aandeel in het maaisel zo laag mogelijk is.

Er zijn complete reinigingsinstallaties op de markt voor bermgras (Cretes, z.j.). Het maaisel kan door een shovel in grote hoeveelheden in een bufferbunker worden gestort. Vervolgens wordt het gedoseerd over een lopende band naar een wasbunker gevoerd. Aan de lopende band wordt het zwerfvuil handmatig verwijderd. In de wasbunker wordt de grond en andere kleine fracties gescheiden van het maaisel. Het maaisel kan vervolgens verkleind en ingekuild worden.

Als uit steekproeven blijkt dat de gehalten zware metalen in het berm- en slootmaaisel niet aan de wettelijke normen voldoen, dient hier rekening mee gehouden te worden. Een mogelijke oplossing is het mengen van partijen met lage en hoge concentraties, om zo gemiddeld uit te komen onder de wettelijke norm. Indien de concentraties niet aan de wettelijke kaders voldoen moet het maaisel als afvalstof worden gezien en dus afgevoerd naar een afvalverwerker.

5.4. Aanbevelingen

Om de hoeveelheid grond in het maaisel te verlagen hebben wij de volgende voorstellen. Het afsluiten van prestatiecontracten met de loonwerker(s) is er één van. Er wordt uitbetaald op basis van de kwaliteit van het maaisel en niet op hoeveelheid, hierbij staat een hoge kwaliteit voor maaisel dat een laag aandeel grond bevat. Daarnaast moet met de loonwerker overlegd worden welke technieken worden toegepast om het aandeel grond in het maaisel te verminderen. Hiertoe zijn twee mogelijkheden aangedragen, namelijk het gebruik van een zogenaamde ecokop op de maai-zuigcombinatie, of het gebruik van een cirkelmaaier gevolgd door schudden van het maaisel en vervolgens mechanisch oprapen.

Zoals eerder opgemerkt is de goedkoopste manier van reinigen het voorkomen van zwerfvuil in bermen en slootranden. Hiertoe zal er overleg binnen de organisatie moeten plaatsvinden welke mogelijkheden er zijn met betrekking tot campagne voeren, eventueel kunnen externe marketing partijen of maatschappelijke organisaties betrokken worden. Men kan bijvoorbeeld denken aan een campagne om weggebruikers bewust te maken van de kosten van het verwijderen van zwerfvuil en dit uitdragen via lokale media en borden langs de wegen. Daarnaast zou er ook strenger gehandhaafd kunnen worden.

6. Verwerkingsmethoden

6.1. Klepelen en laten liggen

Klepelen is een manier van maaien, waarbij het gras kapot wordt geslagen en fijn materiaal overblijft. Dit wordt gedaan met een klepelmaaier. Het fijn geslagen maaisel wordt niet opgezogen, maar blijft simpelweg liggen. Na verloop van tijd gaat het maaisel verteren en wordt het gedeeltelijk door de bodem opgenomen. Hierdoor neemt de concentratie organische stof en de massa van de berm of slootkant toe. Het gedeeltelijk afgestorven organische materiaal gaat een dikke laag vormen waar geen zonlicht of kiemplanten meer doorheen komen. Competitieve planten zoals brandnetels kunnen de boventoon gaan voeren en uiteindelijk kan er een monocultuur ontstaan. Dit type planten verspreiden zich vaak naar naastgelegen landbouwgrond en zijn daar lastig te verdelen (Departement Leefmilieu Natuur & Energie België, 2015).

Bermen worden geacht regenwater af te voeren dat van de wegen afkomt. Als de bermen te hoog worden kunnen ze deze functie niet meer vervullen en zal water op de wegen blijven staan. Om dit op te lossen kan de berm worden verlaagd door het af te plaggen. Hierbij wordt de stikstof- en humusrijke toplaag machinaal verwijderd. Er zijn twee mogelijke plagmethoden, diep of ondiep. Als er diep wordt geplagd bestaat de nieuwe vegetatie hoogstwaarschijnlijk uit snelgroeiende soorten die zich via de wind verspreiden (Departement Leefmilieu Natuur & Energie België, 2015). Als er ondiep wordt geplagd komt er nieuwe vegetatie op uit een in de grond aanwezige zaadbank. Wanneer de methode klepelen wordt toegepast zal de berm iedere vijf tot tien jaar afgeplagd moeten worden. De afgeplagde grond kan gebruikt worden ten aanzien van onderhoud van wegen (Berg, 2006). Hierbij moet wel rekening worden gehouden met het besluit Bodemkwaliteit (Overheid.nl, 2017a).

Sinds een aantal jaar wordt deze methode niet meer toegepast door de betreffende gemeenten.



Figuur 1 Klepelmaaier; overgenomen uit Boer Anloo (2000)

Analyse

Schaalgrootte

Deze verwerkingsmethode heeft de kleinste schaalgrootte die mogelijk is. Omdat het maaisel blijft liggen is er geen optie om schaalvergroting toe te passen, behalve in de vorm van een groter te maaien gebied. In de gemeente Hof van Twente is gemiddeld over de jaren 2002-2004 630 ton grond aangevoerd van bermen (Berg, 2006).

Circulair

Het klepelen en laten liggen is geen onderdeel van de circulaire economie. Er worden geen grondstoffen hergebruikt. Het eens in de zoveel jaar afgeplagde materiaal kan eventueel worden gebruikt voor het onderhoud van wegen, indien er aan de voorgeschreven wet- en regelgeving wordt voldaan (Berg, 2006) (Overheid.nl, 2017a).

Lokaal

Aangezien de organische stof op dezelfde locatie blijft liggen, is dit de meest lokale verwerkingsmethode die gebruikt kan worden. Echter heeft het zo lokaal houden van de organische stof voornamelijk nadelen voor het beheer op langere termijn. Afgeplagde grond zal vervoerd moeten worden naar plaatsen waar onderhoud aan wegen uitgevoerd wordt (Berg, 2006). Wanneer dit onderhoud buiten de regio Twente valt doet dit afbreuk aan het lokale aspect.

Landbouw

De vegetatie wordt geklepeld en blijft liggen in de berm of op de slootkant, dit heeft dus geen toevoeging voor de landbouw. De uitspoeling van nutriënten in laterale richting naar de landbouwgronden is verwaarloosbaar (Westerschulte *et al.*, 2017). Het afgeplagde materiaal wordt niet gebruikt in de landbouw (Berg, 2006). Dit is omdat de grond vaak niet voldoet aan de Milieu hygiënische verklaring.

Wanneer het gras geklepeld is en later met een tweede machine opgezogen wordt kan het maaisel eventueel wel in de landbouw gebruikt worden. Om dubbel werk te voorkomen is een andere optie het gebruik maken van een maai-zuigcombinatie waarmee het maaisel meteen verzameld en afgevoerd wordt.

Juridisch

Bermen worden volgens de Wegenwet gezien als onderdeel van de weg. Degene die verantwoordelijk is voor het wegbeheer heeft ook de taak de bermen te onderhouden. Ook als de berm niet in eigendom is van de wegbeheerder heeft deze alsnog de taak om de berm te onderhouden (Overheid.nl, z.j.-b).

Twee hoofdfuncties van een weg zijn verkeers- en wegenbouwkundige functies. Een voorbeeld van een wegenbouwkundige functie is het bovengenoemde proces van afwatering. De wet bepaalt ook dat verkeersborden en dergelijke goed zichtbaar moeten zijn. Eveneens moet de berm niet het zicht van de weggebruiker belemmeren. De berm heeft naast deze twee hoofdfuncties ook een veiligheidsfunctie, bijvoorbeeld om uit te wijken voor ander verkeer, een noodstop te maken of voor ontsluitingsmogelijkheden (Overheid.nl, z.j.-b).

Kosten en baten

Op korte termijn is het laten liggen van berm- en slootmaaisel economisch gezien een heel aantrekkelijke optie. Het maaisel hoeft immers niet vervoerd en verwerkt te worden. Volgens GWWkosten is de prijs van klepelen in een berm zonder obstakels € 153,- per hectare (Vakmedianet, z.j.).

Deze methode heeft wel twee belangrijke consequenties. Ten eerste zal de toplaag op een gegeven moment moeten worden afgeplagd, wat veel geld kost. Het verlagen van bermen varieert van € 0,87 tot € 2,32 per vierkante meter (Vakmedianet, z.j.). Deze prijs is afhankelijk van drie aspecten, namelijk de breedte van de berm, het soort berm (buiten-,

tussen- of middenberm) en het al dan niet aanwezig zijn van obstakels. Een tweede nadeel van deze methode is dat er een kans blijft liggen. Door het maaisel af te voeren wordt de bodem verarmd en zal er op termijn minder gemaaid hoeven te worden. Dit scheelt in kosten.

Behalve een reductie in kosten heeft afvoeren van maaisel nog meer voordelen ten opzichte van afplaggen. Ten eerste wordt de berm steviger en ten tweede komt het ten goede van de biodiversiteit en het bodemleven in de berm (Meijerink, 2017). De invloed die deze methode heeft op het maaibeleid blijft beperkt, want er kan nog steeds zonder probleem één of twee keer per jaar gemaaid worden, echter is het ook goed mogelijk om het maaien te intensiveren of extensiveren.

Conclusie en discussie

Klepelen en laten liggen is op elke schaal toe te passen. Daarnaast wordt het gezien als een lokale verwerkingsmethode omdat het product blijft liggen waar het gemaaid is. Het wordt niet gezien als een circulaire methode omdat de producten niet actief gebruikt worden voor een toepassing binnen de kaders van een circulaire economie. Voor de aspecten landbouw en juridisch zijn er geen directe gevolgen.

Voor klepelen en laten liggen zijn er uit de beoordelingscriteria geen duidelijk ontbrekende onderdelen naar voren gekomen. Het grootste voordeel van deze methode is dat het op korte termijn economisch voordelig is, maar de nadelen van het verlagen van de berm en het niet kunnen toepassen in andere processen wegen waarschijnlijk zwaarder waardoor deze methode niet als beste optie naar voren komt.

Aanbevelingen

Aangezien dit een bekende verwerkingsmethode is zonder toevoegingen voor de lokale landbouw behoeft deze methode geen aanbevelingen.

6.2. Bokashi

Bokashi is het fermenteren van organische materialen ten behoeve van de bodemstructuur of bodemvruchtbaarheid. Sinds een aantal jaren zijn instanties in het hele land van start gegaan met dit alternatief voor composteren. Om het materiaal in de kuil te kunnen fermenteren is het noodzakelijk om het luchtdicht op te slaan. Dit is erg arbeidsintensief. Een voordeel van bokashi ten opzichte van composteren is dat het materiaal niet tussentijds omgescheept hoeft te worden.

Voor het proces in de bokashikuil zijn een aantal factoren cruciaal. De vochtigheidsgraad van het beginproduct moet rond de 50% liggen. Daarnaast moet de verhouding koolstof tegenover nitraat ongeveer 20:1 zijn. Voor het proces is het daarnaast ook een vereiste om kalk en kleimineralen toe te voegen (Provinos). Wet- en regelgeving speelt een belemmerende rol omdat het product geen toegestane meststof is en zodoende niet mag worden toegepast als bodemverbeteraar.



Figuur 2 Bokashikuil; overgenomen uit EM natuurlijk actief (2014)

Analyse

Schaalgrootte

Organisch materiaal, bijvoorbeeld berm- en slootmaaisel, wordt in een kuil gefermenteerd samen met andere restproducten. Dit vereist enkel een plek om het materiaal zuurstofloos op te kunnen slaan. Dit gebeurt in een reguliere kuil of in een slurfkuil (Agriton, 2017). Naast het maken van een dergelijke opslag zijn er geen processtappen, wat ervoor zorgt dat de schaalgrootte heel variabel is. Er zijn voorbeelden uit het verleden waarbij particulieren in Hengelo hun gft-afval fermenteerden in een bokashi-emmer (Provinos). Diezelfde gemeente heeft in een ander project vierhonderd ton bermgras in één keer ingekuild in een slurf.

Circulair

Bokashi is ook een voorbeeld als het gaat om circulariteit. Reststromen van maaisel kunnen gecombineerd worden met bijvoorbeeld drijfmest en gft, en als meststof voor gewassen gebruikt worden. Tot zover een korte maar zeer efficiënte kringloop dus. Het enige wat afbreuk doet aan de circulariteit zijn de producten die moeten worden toegevoegd (kalk en kleimineralen).

Lokaal

Het bokashi proces kan heel lokaal worden toegepast. Vervoer van het maaisel is alleen nodig om genoeg maaisel naar de bokashikuil te brengen. Een standaardmaat voor bokashi is 100 m³. Grotere bokashi hopen zijn zeker mogelijk, maar dan moet er wel genoeg aanvoer zijn. Op een schaal van 100 m³ is bokashi goed toepasbaar bij een boer op het erf. Als de boeren het bermmaaisel gratis in ontvangst kunnen nemen, is dit ook voor hen voordelig. Een arme berm produceert jaarlijks 2-3 ton droge stof per hectare en een nutriëntrijke berm 8-10 ton droge stof per hectare (Departement Leefmilieu Natuur & Energie België, 2015). Een gemiddelde kuil bevat 220 kg droge stof per m³ (Rommelink *et al.*, 2016). Uitgaande van een gemiddelde bermbreedte van 5 m, komt er dus 1-5 ton droge stof aan maaisel per kilometer vrij. Uitgaande van een droge stof percentage van 35% is er per kilometer een opslagcapaciteit van 29-65 m³ nodig. Een kleinschalige bokashikuil kan dus afhankelijk van de schraalheid van de berm, maaisel verwerken van 1,5-3 km berm.

Zeeschelpenkalk wordt voornamelijk uit de Noordzee gewonnen (Bio-Ron, z.j.). Als lokale vervanger zou een optie kunnen zijn om kalk uit de wateringszuiveringsinstallaties te halen. Het waterschap heeft zelf zuiveringsinstallaties waar kalk als bijproduct van het verwerkingsproces vrijkomt. Deze kalk kan direct gebruikt worden in bokashikuilen. Een andere optie is het gebruiken van schelpen en exoskeletten van garnalen en kreeften. Deze komen als afval vrij bij een visverwerker of restaurant. Een verdere optie voor het verkrijgen van kalk op lokale schaal zou de suikerindustrie kunnen zijn maar dit is lastig te realiseren aangezien er geen dergelijke bedrijven in de regio Twente gevestigd zijn. Tot slot zou het ook nog mogelijk zijn om kalk te halen uit botten. Botten bestaan uit collageen en kalk. Gelatine wordt gemaakt uit het collageen van botten. De kalk die overblijft zou dus gebruikt kunnen worden voor de bokashi methode maar de enige partij die in Nederland op grote schaal kadavers mag verwerken is Rendac B.V. in Son (Kenniscentrum InfoMil, 2017b).

Landbouw

Bokashi laat zich als product goed strooien over het veld. In tegenstelling tot composteren gaat er bij de productie van bokashi geen organische stof verloren. Proeven met bokashikuilen hebben in de afgelopen jaren aangetoond dat niet alle zaden en ziektekiemen afsterven tijdens het fermentatieproces (Tönjes, 2015). Het vermoeden is dat de fermentatieduur invloed uitoefent op de overlevingskansen van zaden en ziektes, dit is echter nog niet bewezen. Met deze methode zou het dus kunnen dat er een opslag van plantensoorten ontstaat op het veld wanneer bokashi uitgestrooid wordt.

Er is nog niet genoeg onderzoek gedaan om uitspraak te doen over de precieze effecten van bokashi op de bodem. De uitkomst tot nu toe is dat nutriënten en de organische stof die in het product aanwezig zijn waarschijnlijk positief zijn voor de opbrengst van het land (Janmaat, 2015). Hierbij wordt ervan uit gegaan dat de concentratie zware metalen in deze producten onder de maximale waarden vallen, als gespecificeerd in het Uitvoeringsbeleid Meststoffenwet voor co-materialen die onder artikel 10.1a vallen.

Juridisch

Er zijn een aantal juridische aspecten die belangrijk zijn om in de gaten te houden bij het gebruik van berm- en slootmaaisel en de productie van bokashi. Volgens de Vrijstellingsregeling Plantenresten mag maaisel op of in de grond gebracht worden op een afstand binnen één kilometer van de herkomst. Bokashi valt daarnaast niet onder de mestwet, wat voor- en nadelen heeft. Boeren zijn niet verplicht dit op te nemen in hun mestboekhouding, waardoor het interessant wordt omdat het nutriënten zijn die niet geregistreerd hoeven te worden. Aan de andere kant betekent dit echter wel dat het niet erkend is als meststof maar als afvalstof en dus niet verhandeld en toegepast mag worden als bodemverbeteraar. Uitzondering hierop is bokashi die door een agrariër op eigen terrein met eigen organisch materiaal wordt geproduceerd. Bokashi kan daarom tot nu toe dus niet verhandeld worden en zal altijd in samenwerking met een akker- of landbouwer geproduceerd moeten worden (BVOR, 2016).

Er zijn nog geen regels voor het uitrijden van bokashi. Het advies is dezelfde richtlijnen aan te houden als voor mest. Ook met het Besluit Omgevingswet moet rekening gehouden worden. Echter geldt deze wet volgens het Activiteitenbesluit alleen vanaf een capaciteit van 600 m³.

Kosten en baten

De kosten van bokashi komen voornamelijk van de toevoegmiddelen (€ 10,- per ton) en opslag (€ 10,- per ton) (Janmaat, 2015). Als het maaibeleid goed wordt afgestemd op de behoeftes van de boer, dan kunnen de opslagkosten verminderd of zelfs voorkomen worden. Het bokashiproces duurt ongeveer drie maanden, dus als er bijvoorbeeld in het najaar wordt gemaaid en dit naar een bokashikuil gaat kan het rond februari/maart uitgereden worden op het land. Wanneer ervan uitgegaan wordt dat het land van de boer tijdens deze drie maanden normaliter braak ligt of er groenbemesters op gezaaid zijn, wordt er dus geen hinder ondervonden van de bokashikuil. Het maken van bokashi heeft geen speciale vereisten als het gaat om de samenstelling van het gras, het kan zowel met oud als jong gras gebeuren. Het maaibeleid hoeft voor het maken van zo'n kuil dus ook niet aangepast te worden.

Wanneer we ervan uitgaan dat de kosten voor de opslag voorkomen kunnen worden dan blijven de kosten van toevoegmiddelen, werkuren voor in- en uitkuilen en de materiaalkosten over. Dit komt in totaal neer op € 23,- per ton (Janmaat, 2015). We zijn er voor deze kosten vanuit gegaan dat het maaisel voor de boer gratis te krijgen is (inclusief plaatsen op het land). Alle andere kosten zullen door de boer betaald moeten worden, tenzij het waterschap of de gemeente bereid is een deel te vergoeden.

Het voordeel van bokashi ten opzichte van composteren is dat de organische stof in bokashi behouden blijft, terwijl deze bij composteren verloren gaat. Compost wordt voor verschillende prijzen aangeboden. Het kan verkocht worden voor een prijs tussen de € 6,- (Aarnink & Ooms) en ongeveer € 26,- per ton (Transportbedrijf Bakker, z.j.). Afhankelijk van de gerekende prijs is de productie van bokashi al dan niet goedkoper. Het bijkomende voordeel van bokashi is dat het niet onder de mestwet valt, het kan dus als een interessante manier van verwerken aangeboden worden aan boeren met een ontvangstplicht. De ontvangstplicht staat uitgewerkt in Appendix 2.

Een nadeel van het bokashi proces is wel dat het behoorlijk slinkt in de duur van het proces. In verhouding tot composteren valt dit echter mee. In Tabel 6 in Appendix 1 staat een vergelijkende tabel van bokashi ten opzichte van composteren.

Conclusie en discussie

Bokashi is een potentieel interessante verwerkingsmethode. Het is gemakkelijk toe te passen in de landbouw. Het laat zich makkelijk strooien. De effecten van het toevoegen van bokashi aan de landbouw zijn nog deels onbekend. Als de effecten voor de landbouw ook over de lange termijn duidelijk zijn, kunnen er conclusies over getrokken worden. Een ander punt is dat het niet duidelijk is of alle zaden en ziektekiemen doodgaan in het proces van vergisting.

Bij de circulariteit en het lokale aspect moet gezegd worden dat er kalk en effectieve micro-organismen toegevoegd worden aan de kuil. Om de keten compleet circulair te maken zou er gekeken moeten worden of er bijvoorbeeld kalk gebruikt kan worden die vrijkomt bij het proces van waterzuivering. Het proces kan plaatsvinden op en in de buurt van een perceel, dus lokaal goed mogelijk.

Een bokashikuil is op veel verschillende schaalgroottes te realiseren. De kuilen kunnen variëren in grootte en ook valt het te combineren met gft of drijfmest dat van kleine tot grote schaal aangeleverd kan worden.

Een laatste discussie punt is dat bokashi juridisch gezien niet erkend is als meststof maar als afvalstof en het dus niet verhandelt en toegepast mag worden als bodemverbeteraar, tenzij het zelf geproduceerd wordt.

Aanbevelingen

Er zijn nog een aantal punten die verder uitgezocht moeten worden. Zo moeten er steekproeven gedaan worden naar de verontreiniging en het gehalte zware metalen in het aangevoerde maaisel. Juridisch gezien is het noodzakelijk om monsters te nemen van de uitgekuilde bokashi, zodat getest kan worden of het percentage zware metalen voldoet bij de toepassing op bouwland. De uitgekuilde bokashi kan eveneens getoetst worden op het aantal kiemrijpe onkruidzaden, schadelijke pathogenen en andere voor de landbouw ongewenste inhoudsstoffen.

Een ander punt gaat over de hoeveelheid gras die nodig is voor het maken van 100 m³ bokashi. In Figuur 12 staat een werkbeschrijving voor het maken van bokashi vanuit stro en drijfmest (inclusief hoeveelheden). Verder is in de gemeente Hengelo een proef uitgevoerd met bokashi van bladafval. De hoeveelheden maaisel die nodig zijn om 100 m³ bokashi te maken van berm- en of slootmaaisel zijn niet online bekend. Dit is iets dat goed zou kunnen worden uitgezocht in een pilot.

6.3. Direct onderwerken

Direct onderwerken betreft het direct verwerken van berm- en slootmaaisel op het aangrenzende landbouwperceel, de kleine kringloop. Dit is mogelijk onder de vrijstellingsregeling in de wet Milieubeheer. Hierbij is het mogelijk om natuurlijk maaisel, waaronder berm- en slootmaaisel, als afvalstof aan te merken met een bepaalde vrijstelling. Voorwaarde is wel dat het toegepast wordt in land- of bosbouw of voor de productie van energie. Ook moet het maaisel als 'niet-gevaarlijk' bestempeld kunnen worden en de maximale waarden van zware metalen moet lager zijn dan gesteld in de Meststoffenwet. Het maaisel mag alleen ondergewerkt worden op het perceel aangrenzend aan de berm of sloot of op een ander perceel van hetzelfde landbouwbedrijf binnen een kilometer van de plaats waar het vrijkomt. De boer krijgt het maaisel aangeleverd door de berm- of sloot beheerder en kan het op zijn eigen manier onderwerken op het betreffende perceel.



Figuur 3 Direct onderwerken; overgenomen uit Jansen Heeten (z.j.)

Analyse

Schaalgrootte

De hoeveelheid maaisel die op deze wijze verwerkt kan worden hangt af van het percentage te maaien oppervlak dat grenst aan een perceel met ontvangstplicht. Momenteel wordt maaisel van 34% van de watergangen van waterschap Vechtstromen afgezet op aangrenzende percelen. Daarnaast grenzen de meeste watergangen aan wegbermen, met de consequentie dat de gemeente zelf ontvangstplicht heeft aan de kant waar de wegberm en de watergang aan elkaar grenzen. De schaalgrootte is bij deze techniek minder van belang: de huidige hoeveelheid vrijgekomen maaisel kan in theorie makkelijk verwerkt worden binnen het beschikbare landbouwareaal. Het verhogen van het organische stofgehalte blijkt moeilijk realiseerbaar (TCB, 2016), dus het beleid ten aanzien van bermen, waterkeringen en slootkanten aanpassen op de behoeftes is vanuit landbouwkundig oogpunt niet aan de orde. In het geval dat de bermen verschaald worden, zal er in de loop van de tijd minder maaisel vrijkomen wat ondergewerkt moet worden.

Circulair

Vanuit de gedachte van de circulaire economie kan maaisel als grondstof beschouwd worden. Het kan worden gebruikt om de voedingstoestand en stabiliteit van de bodem te waarborgen. Doordat het in onbewerkte vorm en in geheel wordt verwerkt, zijn er ook geen afvalreststromen en past dit uitstekend bij de principes van de circulaire economie. Dit principe wordt ook benadrukt in de Green Deal 'Circulair terreinbeheer'.

Lokaal

Het direct onderwerken van maaisel in de kleine kringloop voldoet bij uitstek aan het criterium lokaal, omdat de verwerking binnen een kilometer van de plaats van vrijkomen moet plaatsvinden. Ook dit onderdeel komt als beoogd doel naar voren in de Green Deal 'Circulair terreinbeheer'. Voor vrijgekomen baggerspecie en maaisel uit watergangen voorziet de ontvangstplicht hier al in.

Landbouw

Het nut voor de landbouw valt of staat met de kwaliteit van het vrijgekomen maaisel, en dat hangt weer samen met de vegetatiesamenstelling en het moment van maaien. In de kleine kringloop komt relatief weinig maaisel vrij, waardoor het aandeel in de nutriëntenbalans op bedrijfsniveau erg klein is: rond 1% voor stikstof en fosfor (Spijker & Ehlert, 2004). In de praktijk zal op een veebedrijf het maaisel vooral gebruikt worden op maisakkers. In dat geval kan de bijdrage van stikstof en fosfor op bedrijfsniveau uitkomen rond 10% op de nutriëntenbalans (Spijker *et al.*, 2004). Als het gaat om de verhoging van de zogenaamde 'effectieve organische stof' is het toevoegen van berm- en slootmaaisel grondsoort afhankelijk en niet effectief (Ros *et al.*, 2012), maar het heeft ook geen nadelige gevolgen voor gewasgroei (Lotz & Spijker, 2001). Echter, bij regelmatige gift kunnen de waarden van nutriënten en organische stof wel verhoogd zijn. Het tijdstip van onderwerken is ook relevant, omdat vrijgekomen nutriënten kunnen uitspoelen wanneer de akker braak ligt.

De waarden voor zware metalen per gift zitten ruim onder de gestelde maximale doseringsnormen uit bijlage III van het 'Besluit gebruik meststoffen' en wordt niet als risico beschouwd, behalve als het materiaal niet homogeen wordt ondergewerkt (Ros *et al.*, 2012). Bermkruiden zijn over het algemeen niet schadelijk als akkeronkruid (De Boer *et al.* 1997 in en wanneer het maaisel 6-8 weken wordt ingekuuld, wordt het grootste deel van de zaden van de meest voorkomende akkeronkruiden gedood (Spijker & Ehlert, 2004). Met name slootmaaisel zou een risico in de akkerbouw kunnen vormen als er pathogenen zoals bruinrot in voorkomen.

Het belang van organische stof in de landbouw wordt algemeen erkend (Ros *et al.*, 2012;TCB, 2016), maar de vorm en kwaliteit ervan bepaald de functie die het kan vervullen in de bodem. Als het doel is om nutriëntenaanbod te verhogen is een lage C/N-ratio van het maaisel nodig; een hoog C/N-ratio verhoogt het vermogen om water vast te houden (vezelrijker). Hierbij komt weer het belang van het maaitijdstip en vegetatiesamenstelling naar voren. Vanuit de opdrachtgever kwam naar voren dat de landbouwkundige behoefte vooral speelt op het gebied van structuurverbetering en het vasthouden van vocht. In dat geval zal het aangevoerde materiaal vezelrijk moeten zijn en daarvoor is maaisel vroeg uit het jaar minder geschikt.

Juridisch

Bermmaaisel als afvalstof kan ingedeeld worden bij het grof groenafval (Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2016). Conform artikel 10.1a, onder f, Wet milieubeheer, is een afvalstof die beschouwd kan worden als niet-gevaarlijk land- of bosbouw materiaal dat wordt gebruikt in de landbouw vrijgesteld van de wet Milieubeheer. Een gevaarlijke afvalstof is een afvalstof die een of meer van de in bijlage III bij de kaderrichtlijn afvalstoffen genoemde gevaarlijke eigenschappen bezit. Om dus in aanmerking te komen voor de vrijstelling zal het berm- en slootmaaisel voor toepassing op landbouwbodem getest moeten worden aan de hieronder genoemde indicatoren. Deze indicatoren zijn: ontplofbaar, oxiderend, ontvlambaar, irriterend – huidirritatie en oogletsel, specifieke doelorgaantoxiciteit (STOT)/Aspiratie Toxiciteit, acute toxiciteit, kankerverwekkend, corrosief, infectieus, vergiftig voor de voortplanting, mutageen, afgifte van een acuut toxisch gas, sensibiliserend en ecotoxisch.

Onze inschatting is dat het maaisel aan geen van de bovenstaande indicatoren voldoet, zodanig als veilig kan worden gezien en dus vrijstelling geniet van de wet Milieubeheer.

De wet Milieubeheer bevat een verbod voor het zich ontdoen van afvalstoffen door deze al dan niet verpakt buiten een inrichting te storten, of anderszins op of in de bodem te brengen of te verbranden. Het storten van maaisel buiten inrichting mag (vrijstelling) als men zich

houdt aan de regels bepaald in de Vrijstellingsregeling plantenresten. In Appendix 2 zijn de belangrijkste punten van de Vrijstellingsregeling verder uitgewerkt.

De één-kilometer regeling is beperkend als de betreffende boer het wil gebruiken op een perceel verder weg. De wet Milieubeheer beperkt de mogelijkheden tot opslag. Zo mag er maximaal 600 m³ maaisel op één plek wordt opgeslagen en opslag mag niet langer dan negen maanden op dezelfde plek. De wettelijk toegestane opslag hoeveelheid binnen de één-kilometer zone wordt pas overschreden als er binnen deze zone meer dan negen kilometer aan bermen en slootgangen aanwezig is. Voor onderbouwing van de berekening zie onderdeel Lokaal onder verwerkingsmethode bokashi. Volgens artikel 5.23 van de Waterwet zijn grondeigenaar of gebruiker ontvangst plichtig. Dit houdt in dat de eigenaar wettelijk verplicht is maaisel vrijkomend van onderhoudswerkzaamheden van de waterwerken op zijn grond te ontvangen.

Kosten en baten

Als er geringe hoeveelheden berm- en slootmaaisel wordt opgebracht vóór het zaaiklaar maken van het bouwland hoeven er geen meerkosten gemaakt te worden. Indien de teelt onderwerpen verhinderd kan het materiaal tijdelijk worden opgeslagen op de kopakker en later worden verspreid. Opslaan op de kopakker kan een verlaging van gewasproductie opleveren omdat het opslagruimte inneemt. Bij het grootschalig uitrijden van verwerkt berm- en slootmaaisel is de inzet van een mestverspreider nodig, de kosten voor dit uitrijden komen overeen met de kosten voor het uitrijden van bokashi (Janmaat, 2015). Bij eventueel verhoogde onkruiddruk als gevolg van aangevoerde zaden, stijgen ook de kosten voor onkruidbestrijding.

De besparing voor de beheerder zal bestaan uit de verminderde kosten voor het vervoer naar en het laten verwerken door een verwerker. Als het maaisel direct op het aangrenzende landbouwperceel afgezet kan worden, levert dat een besparing op van € 10,- tot € 20,- per ton ten opzichte van composteren. In een kleine kringloop wordt transport van maaisel sterk beperkt, wat een verlaging in de beheerskosten oplevert en beheer daardoor minder zwaar op de begroting drukt. Doordat het maaisel direct wordt afgevoerd, zal er minder organische stof ophopen en hoeft in bermen geen bermverlaging te worden toegepast. Verder heeft regelmatig afvoeren van maaisel tot gevolg dat bermen verschrallen, waardoor de af te voeren hoeveelheid kan worden teruggebracht tot ongeveer 4 ton/ha per jaar op zandgronden (twee keer per jaar maaien en afvoeren, (Haterd *et al.*, 2009)).

Maatschappelijk

Het direct lokaal verwerken op landbouwgrond kan zorgen voor lokale ophoping van verontreinigende stoffen bij herhaalde gift, gift van verontreinigd maaisel of het niet homogeen verwerken op het perceel (Spijker *et al.*, 2004). Dit kan een risico vormen als het uitspoelt naar grond- of oppervlaktewater. Het direct afvoeren van maaisel kan uiteindelijk een verschraling van de berm of slootrand opleveren met de daaraan gekoppelde verhoging van de natuurwaarden. Hoe en in welke mate die natuurwaarden worden gerealiseerd, hangt af van de bodemtoestand en het onderhoudsbeleid dat wordt toegepast (Meerburg & Korevaar, 2009). Als het beheer op de juiste manier wordt toegepast en, daar waar nodig, aangepast, kunnen typische vegetaties en bijbehorende fauna zich ontwikkelen (Kalwij *et al.*, 2004; Meerburg & Korevaar, 2009).

Conclusie en discussie

Direct onderwerpen is een goedkope oplossing om maaisel lokaal te verwerken. De nutriënten blijven in de lokale kringloop en het maaisel is een voedingsstof voor het bodemleven. Bij het streven naar meer direct onderwerpen van het berm- en slootmaaisel is juridische verruiming nodig. Hiertoe kan beargumenteerd worden dat het streven naar de benutting van de energie-inhoud van het gras financieel zeer onaantrekkelijk is.

Om afzet in de landbouw te continueren en mogelijk uit te breiden is het essentieel om de gehalten aan zware metalen te monstern. Het bodemverbeterende effect van het

toevoegen van onbewerkt maaisel op zich zou onderdeel kunnen zijn van wetenschappelijk onderzoek. Afzet op een maximale afstand van één kilometer van de plaats waar het maaisel is vrijgekomen is te beperkend. Het maaitijdstip en de mogelijkheid tot onderwerken op aangrenzende percelen zouden goed op elkaar afgesteld moeten worden.

Aanbevelingen

De kwaliteit van maaisel blijkt sterk te kunnen verschillen in plaats en tijd wat betreft nutriënten, organische stof en zware metalen. Om te kunnen voldoen aan de eisen van de wet- en regelgeving en de effecten van het maaisel op de bodem en omgeving te kunnen vaststellen zullen steekproefsgewijs monsters van het maaisel genomen en geanalyseerd moeten worden. Een andere optie is steekproeven nemen uit zogenoemde verzamelhopen. Het exact weten van de inhoudsstoffen van het maaisel kan ook boeren zonder ontvangstplicht overtuigen om toch maaisel te accepteren. De totale besparing ten opzichte van het afvoeren naar verwerkers kan de bemonstering financieren.

Omdat de afstandsregel beperkend kan zijn, stellen wij voor dat er gelobbyd moet worden bij de provincies voor een ontheffing van de één-kilometer regel. Deze kan verruimd worden naar afzet binnen het gehele areaal in bezit van de eigenaar van het aangrenzende perceel. Hierdoor heeft de eigenaar van het perceel meer mogelijkheden tot maaisel afzet en kan de totale hoeveelheid aan te nemen maaisel vergroot worden.

Het maaibeleid moet afgestemd worden op de agrarische bedrijfsvoering. De reden hiervoor is dat het vrijgekomen maaisel niet op elk gewenst moment op een landbouwperceel verwerkt kan worden, of dat er in het groeiseizoen geen ruimte op het bedrijf is om het maaisel tijdelijk op te slaan. Boeren stellen de eis dat het maaisel wat zij ontvangen zaadvrij is. Dit kan bewerkstelligd worden door te maaien voordat de planten zaad hebben gezet. Dit kan inhouden dat er meerdere malen per jaar gemaaid moet worden, omdat planten verschillende bloeimomenten hebben.

Om een stabielere en homogener product te krijgen biedt de vrijstelling op basis van artikel 10.1a de mogelijkheid om maaisel uit aangrenzende bermen en watergangen te composteren op de kopakker van het perceel. Hierbij wordt de organische stoffractie gestabiliseerd. Bovendien gaat een deel van de stikstof verloren tijdens het proces, wordt de beschikbaarheid van fosfor kleiner en wordt het grootste gedeelte van de onkruidzaden gedood (Hendriks, 2005). Er moet echter wel ruimte op het bedrijf zijn om het in de buurt vrijgekomen maaisel tijdelijk op te slaan en te composteren.

6.4. Pelletiseren

Voordat berm- en sloopmaaisel op een efficiënte manier verbrand kan worden moet eerst de energie-inhoud verhoogd worden. Hiervoor dient de dichtheid verhoogd en het vochtgehalte verlaagd te worden. Het maaisel wordt via een transportband of vijzel naar een perskamer gevoerd. Het persmechanisme perst vervolgens het maaisel onder hoge druk door een matrijs. Afhankelijk van de gekozen matrijs, ontstaan geperste brokjes (pellets) met een diameter van 6 tot 10 mm en een lengte variërend van 6 tot 140 mm. De kwaliteit van de pellets berust op de kwaliteit van het maaisel en hangt af van de gebruikte machines en uiteindelijke toepassing (Meesters *et al.*, 2008). Momenteel wordt het overgrote deel van pellets afgezet als biobrandstof (Whittaker & Shield, 2017), het betreft hier echter wel houtpellets. Met pelletiseren van berm- en sloopmaaisel ontstaat er veel kwaliteitsverlies ten opzichte van houtpellets waardoor de ENplus norm niet gehaald kan worden. Deze norm wordt verder uitgelegd onder het kopje Juridisch. Dit probleem zou verholpen kunnen worden door een torrefactie stap toe te voegen, zie het hoofdstuk Pyrolyse. Daarnaast zijn het as-gehalte en de hoeveelheden stikstof en kalium te hoog, het as-smeltpunt is te laag en er komen agressieve rookgassen (voornamelijk chloorgas) vrij tijdens het verbrandingsproces wat ervoor zorgt dat de oven sneller aangetast wordt.



Figuur 4 Pelletiseren; overgenomen uit TICO (z.j.)

Analyse

Schaalgrootte

Pellets kunnen bij particulieren, bij boerenbedrijven en grote commerciële bedrijven geproduceerd worden. Op huishoudelijke, particuliere schaal zijn er pelletpersen verkrijgbaar. Deze kunnen enkele tientallen kilo's maaisel per uur verwerken tot pellets. Hier zit geen droogfunctie bij omdat deze hoeveelheid zonder veel moeite gedroogd kan worden in de zon.

Een relatief kleine pelletinstallatie, die enkele tientallen tonnen verwerkt, heeft al een drogingscompartiment omdat het maaisel van een groter oppervlakte komt. Met grote installaties zou gecentraliseerd duizenden tonnen pellets geproduceerd kunnen worden. Een voorbeeld van een bedrijf in deze sector dat graspellets in een pilot heeft geproduceerd is Jalo Biopellets B.V. (Meesters *et al.*, 2008). Echter zijn zij na de pilot gestopt met het verwerken van bermgras omdat het niet mogelijk was om graspellets te produceren met de kwaliteit die zij binnen hun bedrijf als vereiste hebben.

Circulair

Graspellets kunnen direct verkocht worden als biobrandstof. De CO₂ die vrijkomt bij verbranding is enige tijd daarvoor door het gras uit de lucht gehaald om te groeien. Bij lokale verwerking en afzet van maaispellets wordt transport geminimaliseerd en is de CO₂-uitstoot laag. Indien ook de asresten na verbranding lokaal afgezet worden, bijvoorbeeld als meststof in de landbouw of in de weg- en waterbouw ontstaat er een gesloten keten.

Echter, pellets kunnen ook als halffabricaat dienen voor verdere verwerking tot getorrificeerde brandstofpellets. In dat geval ontstaat een langere verwerkingsketen en zal het moeilijker zijn om een circulaire keten op te bouwen. Een bijkomend voordeel van deze vorm van biobrandstof is het niet concurreren met landbouwgrond.

Lokaal

Het vrijgekomen maaisel uit de regio kan binnen het projectgebied verwerkt worden tot pellets. Het idee om graspellets te verbranden in verbrandingsovens is ook uitvoerbaar op kleine schaal. Ook hoeven er voor de productie van graspellets geen andere producten toegevoegd hoeven te worden (Meesters *et al.*, 2008).

Tot slot zijn er ook mogelijkheden om een mobiele installatie te gebruiken. Deze kunnen op locatie graspellets produceren.

Landbouw

Er is momenteel geen direct verband met de landbouw of de bodemverbetering daarbinnen. Het is ongebruikelijk om pellets op het land te brengen en onder te werken. Echter als de kwaliteit en de samenstelling van het maaisel bekend is worden de mogelijkheden voor toepassing in de landbouw groter. Wanneer boeren weten wat ze opbrengen is er misschien meer interesse in het gebruik van pellets. Eventueel zou er bij bekendheid van inhoudsstoffen een deel verkocht kunnen worden als grasbrok.

Juridisch

Er is tot nu toe nog geen wet- en regelgeving gevonden die direct van invloed is op het pelletiseren van bermgras. Er is wel een Europese kwaliteitsnorm opgesteld, de ENplus norm. Dit is een verbeterde vorm van de ISO 17225-2 voor pellets die zijn bedoeld voor verbranding. Er zijn geen directe juridische gevolgen voor producenten wanneer zij pellets maken die niet aan de norm voldoen, anders dan problemen met het vinden van afnemers (EPC, 2015).

Kosten en baten

Financieel

In een globale inschatting die het bedrijf Jalo Biopellets B.V. in 2008 maakte (Meesters *et al.*, 2008) werd uitgegaan van verwerkingskosten van € 80,- per ton geproduceerde pellets. Wel verwachtten zij een ton pellets voor € 100,- te kunnen verkopen. Zij wilden net iets onder het poorttarief van de composteerder gaan zitten om zo de markt naar zich toe te trekken. Theoretisch gezien zouden ze ook de afleverkosten helemaal kunnen afschaffen. Dit hangt van de vraag naar biopellets af en zodoende hun vraag naar organische stof/gras. Momenteel voldoen pellets gemaakt van bermgras nog niet aan de ENplus norm waardoor de pellets geen € 100,- per ton waard zijn (Meesters *et al.*, 2008).

Maatschappelijk

Op maatschappelijk vlak is pelletiseren niet perse meer of minder aantrekkelijk dan bijvoorbeeld composteren. De productie van pellets lijkt geen nadelige gevolgen voor de omgeving te hebben en door de hoge dichtheid van de graspellets is er minder transport nodig. Het creëren van een nieuwe verwerkingsketen biedt kansen voor de lokale werkgelegenheid. Daar staat tegenover dat er minder inkomsten zullen zijn voor de composteerders.

Biodiversiteit

De biodiversiteit van bermen zal in de loop van de tijd verhogen, omdat het maaisel afgevoerd wordt. De bermen worden schraler en dit is positief voor het aantal soorten dat er voorkomt, maar ook hierbij geldt dat pelletiseren op zichzelf geen waarde toevoegt aan de biodiversiteit. Er is geen verschil ten opzichte van andere verwerkingsmethoden waarbij het maaisel ook verwijderd wordt.

Maaibeleid

Uiteindelijk moet het gehalte zand in biopellets zo laag mogelijk zijn. Wanneer er tijdens het maaien voorzichtiger wordt gewerkt en men gebruik maakt van een ecokop dan geeft dit al veel minder zand in het maaisel (Pivabo, z.j.). Voor het pelletiseren op zichzelf maakt het niet uit of er voorjaars- of najaarsmaaisel wordt gebruikt. Echter, wanneer pellets gemaakt worden met als doel te dienen als biobrandstof is het beter om laat in het jaar te maaien. Later in het jaar zijn de aandelen cellulose en droge stof hoger. Daarnaast zorgt later maaien voor een afname van de concentraties van kalium, chloor, stikstof en silica. Kalium en chloor zorgen voor corrosie, stikstof als gas is nadelig voor het milieu en silica zorgt voor as en slakkenvorming (Cherney & Verma, 2013).

Conclusie en discussie

Graspellets zijn een directe manier om de inhoud van bermgras te verbeteren. Over het algemeen is de bestemming voor graspellets de verbrandingsoven.

Verbrandingsprocessen zijn lastig compleet circulair te maken. Hier zou gekeken moeten worden naar mogelijkheden voor benutting van de CO₂ om de cirkel te kunnen sluiten, dit wordt verder uitgewerkt in het hoofdstuk Verbranding. Tot nu toe is er geen echte link met de landbouw gevonden. Graspellets gemaakt van bermgras voldoen nog niet aan de Europese norm om certificatie te verkrijgen, de ENplus norm, met het gevolg dat verwerkers deze pellets niet willen gebruiken voor verbranding. De techniek om de kwaliteit van de graspellets te verhogen zodat ze voldoen aan de ENplus norm is nog niet voorhanden. De ondermaatse kwaliteit van de graspellets heeft als consequentie dat er in verbrandingsovens veel as en slakkenvorming is. Omdat er geen vraag is, is de prijs van graspellets ook erg laag.

Aanbevelingen

Al met al is het proces van pelletiseren wel toe te passen maar geeft vrij veel problemen bij de verbranding. Er zijn twee mogelijkheden waarbij graspellets wel als een goede verwerkingsmethode uit de verf kunnen komen, namelijk enerzijds wanneer de kwaliteit van de pellets dusdanig omhoog gaat dat ze wel voldoen aan de norm. Daarvoor moet meer onderzoek gedaan worden om te bepalen hoe deze kwaliteit behaald kan worden. Anderzijds moet de techniek van de verbrandingsovens verbeteren om zonder problemen graspellets te verbranden. Ook hierbij is het van belang te onderzoeken waar de installaties tekort schieten voor graspellets. Bij nieuwe verbrandingsovens kan er al direct rekening worden gehouden met het verbranden van graspellets.

De optimale situatie is wanneer allebei deze aspecten nageleefd kunnen worden, maar waarschijnlijk is het ook al een goed begin wanneer aan een van beide eisen voldaan wordt. Ons lijkt dat het voordeliger is om de graspellets kwalitatief te verbeteren dan hele installaties aan te passen. Een eerste stap in het benodigde onderzoek is het in kaart brengen van de inhoudsstoffen die in berm- en slootmaaisel aanwezig zijn.

6.5. Verbranding

Om maaisel te kunnen verbranden voor het opwekken van energie moet het eerst gepelletiseerd worden. De toelichting hiervan is te vinden in het hoofdstuk hiervoor over deze techniek. De pellets, het eindproduct van deze verwerking, kunnen verbrand worden in kachels, geschikt voor grasverbranding. Bij een volledige verbranding komen drie producten vrij: warmte (energie), CO₂ en as. Deze eindproducten kunnen op meerdere manieren gebruikt worden.



Figuur 5 Verbranden; overgenomen uit IM HOLZ S.R.O (z.j.)

Analyse

Schaalgrootte

De schaalgrootte waarop verbranding toe te passen is hangt af van de kachel die gebruikt wordt. Pelletkachels zijn te krijgen in allerlei afmetingen, voor zowel particuliere als industriële toepassing. Het is dus eenvoudig toe te passen op allerlei schaalgroottes.

Circulair

Bij het verbranden van graspellets komen meerdere producten vrij, waaronder warmte. Verbranding met als doel het opwekken van elektriciteit kan geïntegreerd plaats vinden met het maken van de brandstofpellets. De restwarmte kan dan gebruikt worden voor het voordrogen van het gras tot het gewenste vochtgehalte.

Bij de verbranding komt ook CO₂ vrij. In principe is het verbranden van graspellets al CO₂ neutraal, aangezien het gras dit in eerste instantie uit de atmosfeer heeft opgenomen. Echter, er komt ook CO₂ vrij bij transport van maaisel en pellets, evenals bij het produceren van de pellets. Dit in acht nemend en rekening houdend met het streven naar een circulaire keten, zal er uitgekeken moeten worden naar een duurzame toepassing van de vrijgekomen CO₂ na verbranding. Integratie van glastuinbouw of een algenkwekerij zijn goede voorbeelden voor toepassing van afgevangen CO₂. Door extra CO₂ toe te voegen in een kas groeien planten namelijk sneller (Kimball & Idso, 1983). Er zijn ook andere opties om CO₂ te gebruiken, bijvoorbeeld het te laten neerslaan als alternatief voor het vrijlaten in de atmosfeer (Kasteren, 2013).

Er komt steeds meer onderzoek naar manieren om CO₂ zinnig te gebruiken, bijvoorbeeld als basis voor (bio)chemicaliën, bouwmaterialen en brandstof (Kasteren, 2013). Andere mogelijkheden zijn om het te gebruiken in de voedingsindustrie, bijvoorbeeld als vervanger van koolzuur in frisdrank. Hiervoor moet het gas gezuiverd en verder verwerkt worden.

Nog een andere optie is om CO₂ te vangen in olivijn, dit is een mineraal dat CO₂ kan binden. Olivijn maakt de binding tussen magnesium en ijzer, vaak in gesteenten. Het is mogelijk om olivijn bij bedrijven te kopen, bijvoorbeeld bij GreenSand. Olivijn is op elk continent aanwezig,

aangezien het in vulkanische gesteenten aanwezig is (GreenSand, z.j.). De ontwikkeling van dit proces bevindt zich nog in een zeer premature fase maar lijkt mogelijk. Als CO₂ op een van deze manieren alternatief benut kan worden betekent dit dat het niet in de atmosfeer terecht komt, wat minder belastend is voor het milieu en daarmee positief voor het circulaire aspect (Kasteren, 2013).

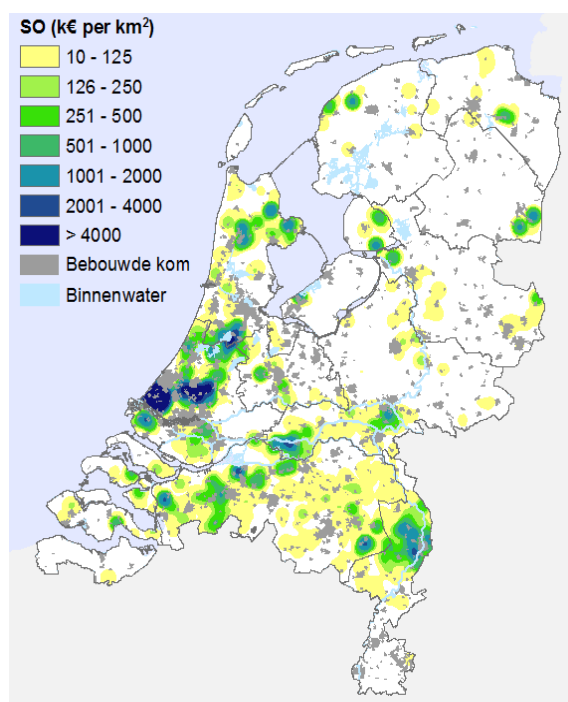
Tot slot komt er as vrij bij verbranding. Op het moment wordt vliegas verwerkt in cement en bodemas wordt gebruikt in de wegenbouw (Projectbureau A2Maastricht). As kan ook gemengd worden met mest om extra nutriënten toe te voegen. Dit mengsel kan dan worden uitgereden op het land of op een andere manier als bodemverbeteraar worden gebruikt, zoals mixen met compost.

Lokaal

Verbranding kan heel lokaal gebeuren doordat dit enkel afhangt van de aanschaf van een pelletkachel. Er wordt hierbij uiteraard vanuit gegaan dat de productie van pellets lokaal gebeurt. Voor de productie van pellets is het ook nodig om het gras te drogen. Een deel van de pellets kan gebruikt worden om de benodigde warmte hiervoor op te wekken. De rest van de pellets kunnen verbrand worden om energie op te wekken.

Als het verbranden en het pelletiseren wordt gesplitst moet er rekening worden gehouden met hogere kosten voor het drogen en pelletiseren van het gras. Ook als er kleinere, en dus lokale, installaties worden gebruikt moet het drogen en pelletiseren gesplitst worden. Zoals al eerder genoemd, een lokale partij die onderzoek heeft gedaan naar het produceren van graspellets met als doel verbranding is Jalo Biopellets B.V. Van dit bedrijf zouden pellets afgenomen kunnen worden. Een samenwerkingsverband met dit bedrijf voor de productie van biopellets uit bermgras is echter geen optie. Het bedrijf heeft een aantal jaren geleden de productie van biopellets uit dit soort gras getest. De uitkomst was dat de kwaliteits- en verbrandingseigenschappen van de pellets hard achteruit gaan bij het toevoegen van bermgras waardoor ze niet meer kunnen voldoen aan de ENplus kwaliteitseisen (EPC, 2015) die het bedrijf voor zichzelf gesteld heeft.

De regio Twente staat niet bekend om het grote aandeel in de glastuinbouw. Er zijn echter wel bedrijven gevestigd in de omgeving van gemeente Dinkelland waarmee eventueel samengewerkt kan worden voor de afzet van de pellets, zie Figuur 6. Hier zou een deel van de CO₂ direct gebruikt kunnen worden in de kas zelf.



Figuur 6 Dichtheid van glastuinbouw in Nederland; overgenomen uit Meulen (2014).

Landbouw

Er komt veel as vrij bij het verbranden van grasperlets. Voor de landbouw is dit het product dat de meeste waarde kan hebben, aangezien de as kan worden vermengd in mest of compost en zo voor de bodemverbetering kan worden gebruikt. Bij grasperlets komt ongeveer 9% as vrij, dit is relatief veel. Ter vergelijking, bij verbranding van houtperlets komt er slechts 0.5% as vrij (IndiEco B.V.).

De mineralen die het maaisel bevat voor de verbranding blijven grotendeels achter in de as, enkel stoffen als natrium, selenium en jodium verbranden voor een deel. De vlieg-as bevat veel nutriënten in hoge concentratie, zoals kalium, natrium, zink, calcium, magnesium en ijzer. Dit is natuurlijk wel afhankelijk van de concentraties van stoffen in het beginproduct, het maaisel.

Vlieg-as kan met speciale apparaten opgevangen worden (Basu *et al.*, 2009), overig as blijft op de bodem van de installatie liggen. De bodem-as heeft weinig extra toegevoegde waarde in de landbouw, aangezien de vlieg-as de meeste nutriënten bevat. Bodem-as kan wel goed als onderdeel van cement worden gebruikt (Pels *et al.*, 2004).

Juridisch

Juridisch gezien zijn er weinig beperkingen. Afhankelijk van de afmeting van de verbrandingskachel, geldt het activiteitenbesluit voor stookinstallaties (Kenniscentrum InfoMil, 2017c). Dit is van toepassing op stookinstallaties vanaf 15 megawatt.

Juridisch gezien zijn er ook mogelijkheden, zo kan er gekeken worden naar de mogelijkheden binnen het subsidiëringsprogramma SDE van de Nederlandse overheid, om in aanmerking te komen voor subsidie. Deze subsidie ondersteunt namelijk ook projecten waar energie wordt gewonnen uit biomassa (Kenniscentrum InfoMil, 2017c), mits wordt voldaan aan de gestelde criteria.

Kosten en baten

Het verbranden van biomassa levert energie op, maar het is niet de meest efficiënte energieproducent. Verder levert verbranden van grasperlets veel as op. Het is nog niet bekend of deze as daadwerkelijk bij kan dragen aan bodemverbetering. Het verbranden van grasperlets is CO₂ neutraal. Als de CO₂ ook nog nuttig gebruikt zou kunnen worden is dit voor het gehele systeem voordelig. Of dit mogelijk is, hangt af van de verbrandingsinstallatie waarvoor gekozen wordt.

De financiële winst van het verbranden van grasperlets is € 6,50 per GJ. De energiewaarde van perlets uit bermgras is ongeveer 14,5 GJ per ton. Als de winst vermenigvuldigd wordt met de energiewaarde komt hier uiteindelijk een winst uit van € 94,25 per ton grasperlets. Ter vergelijking, de energiewaarde van ENplus perlets is 17,5 GJ per ton (Meesters *et al.*, 2008).

Conclusie en discussie

Verbranden van berm- en slootmaaisel lijkt een goede optie als er lokale vraag is naar biobrandstoffen. Waardevol maken van alle bijproducten is het ideale scenario.

Om de energie te kunnen gebruiken en ook de bijproducten te kunnen benutten moet er goed nagedacht worden over de plaatsing van een kachel of verbrandingsoven. De mogelijke toegevoegde waarde van de CO₂ wordt bijvoorbeeld vaak over het hoofd gezien. In het ideale scenario wil je dit meteen na de verbranding kunnen gebruiken. Om dit te kunnen realiseren moet er dus een bedrijf in de buurt zijn dat de CO₂ kan gebruiken. Naast het direct benutten van de CO₂ kan het ook gebruikt worden in de levensmiddelenindustrie, hiervoor moet het echter wel gezuiverd worden. Het benutten van as is een minder groot probleem. Dit kan gebruikt worden in de wegen- of landbouw (Projectbureau A2Maastricht).

Helaas zijn momenteel de brandstofperlets nog niet van een zodanig hoge kwaliteit dat ze zonder consequenties verbrand kunnen worden. Dit maakt verbranden van maaisel op dit moment nog geen haalbare optie

Aanbevelingen

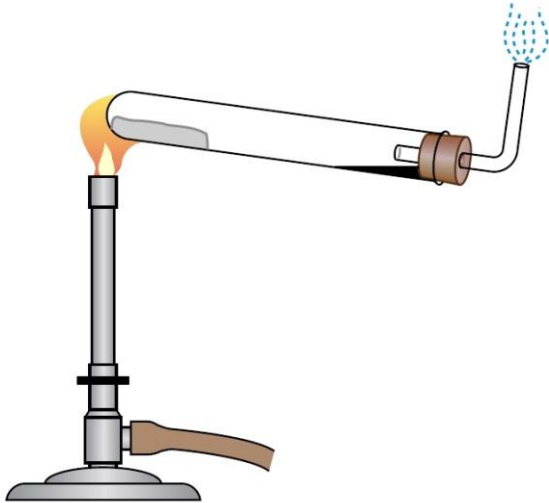
Voor de samenstelling van de as en de verbrandingswaarde is het belangrijk om de inhoudsstoffen van het maaisel te weten. Verder is het van belang te weten hoe schoon de uitstoot bij verbranden is. Is dit puur CO₂ of zitten er nog andere stoffen in het gas. Voor vrijwel alle gebruiken is het belangrijk dat het gas gezuiverd is. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van graspellets die aan de ENplus norm voldoen.

De enige mogelijkheid waarbij alle drie de restproducten worden kunnen gebruikt is in de glastuinbouw. De warmte zou de kas kunnen verhitten, terwijl de CO₂ binnen de kas kan worden gebruikt. Ook de as is bruikbaar als het wordt vermengd met mest of compost en in de kas als bodemverbeteraar toegepast. Op deze manier zouden alleen de pellets naar de glastuinbouw vervoerd moeten worden, alle producten kunnen daarna in het bedrijf worden gebruikt. Met een mobiele installatie (Biogas-e, 2015) zouden de pellets zelfs op het tuinbouwbedrijf kunnen worden gemaakt. Het enige nadeel is dat het gras nog gedroogd moet worden.

Daarnaast is het mogelijk om de pellets in een grote verbrandingsoven te verbranden voor energie. Het nadeel hieraan is dat er andere producten zijn waar meer energie bij vrijkomt, bijvoorbeeld houtpellets. Een ander nadeel van graspellets ten opzichte van houtpellets is dat bij het verbranden van graspellets meer as vrijkomt dan bij houtpellets en er vaak een onaangename geur ontstaat. Dit komt voornamelijk door chloor en zwavel die vrijkomen bij het verbranden van gras. Deze stoffen kunnen de huidige standaard kachels aantasten (Cherney & Verma, 2013). Dit maakt verbranden van graspellets in de bestaande elektriciteitscentrales onaantrekkelijk. Een mogelijkheid om deze problemen te voorkomen is door de graspellets eerst te torreficeren (hoofdstuk Pyrolyse). Op kleine schaal kan bij omschakeling van stookstelsel gekozen worden voor kachels speciaal ontworpen voor het verbranden van grasachtige materialen.

6.6. Pyrolyse

Pyrolyse is het krakingsproces van organisch materiaal. Het maaisel wordt ontleed door het te verhitten tot hoge temperaturen (200-900 °C), onder zuurstofarme condities. Afhankelijk van de temperatuur, druk en de duur van het krakingsproces ontstaan verscheidene producten. Er worden drie pyrolyse methoden onderscheiden: torrefactie, langzame pyrolyse en flash pyrolyse. De proceskarakteristieken per methode resulteren in verschillende eindproducten.



Figuur 7 Pyrolyse; overgenomen uit Naturfag (z.j.)

Torrefactie wordt toegepast om biomassa beter geschikt te maken voor verbranding in voornamelijk verbrandingsinstallaties ter vervanging van kolen.

Bij torrefactie worden maaiselpellets verhit tot een temperatuur van 200-300 °C en ontstaan er verkoolde pellets. Dit eindproduct heeft een hogere calorische waarde, heeft een lager vochtgehalte dan graspellets en is bovendien hydrofoob. Hierdoor is het beter geschikt om bijgestookt te worden in bijvoorbeeld kolengestookte energiecentrales. Meerdere bedrijven en onderzoeksinstituten doen onderzoek naar de mogelijkheden van torrefactie. Accurate gegevens zijn echter maar sporadisch voorhanden (uitsluitend voor houtverwerking) omdat het proces zich nog in de pilotfase bevindt. Een voorbeeld van een interessant project is het door Energy research Centre of the Netherlands (ECN) verrichte onderzoek naar het Torwash proces (Kleinschmidt, 2010). Bij dit proces kan laagwaardige biomassa, zoals berm- en slootmaaisel, omgezet worden in hoogwaardige brandstof, waarbij droging niet vereist is. Een voorbeeld van operationele torrefactie van niet-houtige biomassa is het Biolake samenwerkingsverband (Biolake, z.j.). Vijf agrarische ondernemers hebben in samenwerking met ATO een complete torrefactie lijn opgezet voor het verwerken van landbouw residuen (hooi, stro en riet).

Carbonisatie (langzame pyrolyse) is gericht op de productie van biochar, wat gebruikt kan worden als bodemverbeteraar. Bij carbonisatie wordt het maaisel voor enkele uren aan een temperatuur van 300-800 °C blootgesteld. Hierdoor ontstaat biochar (houtskool) en een productgas. Biochar wordt gebruikt door de potgrondindustrie en de landbouw als bodemverbeterend middel. Het productgas wordt intern aangewend om het maaisel op het gewenste vochtpercentage te brengen (55%).

Bij flash-pyrolyse is het uiteindelijke doel om een bijstookproduct te maken voor in verbrandingsinstallaties. Het maaisel wordt onder hoge druk verwarmt tot 500-600 °C voor een korte duur. Na condensatie van de vrijgekomen gassen ontstaan 75% bio-olie, 15% kool en gas. De geproduceerde bio-olie heeft een energie-inhoud van 15 GJ per ton en kan mee

gestookt worden in gasgestookte energiecentrales. Of verdere opwerking van de bio-olie tot bijvoorbeeld biodiesel in de toekomst mogelijk is moet nog onderzocht worden. Het proces is zelfvoorzienend in de energiebehoefte door verbranding van de kool, hierdoor ontstaat echter wel een asrest van 11,5% van de ingaande massa (Huizing & Hillebrand, 2005). Het vrijgekomen gas kan aangewend worden voor het drogen van het berm- en slootmaaisel, aangezien een vochtpercentage van minder dan 10% vereist is.

Voor alle procedures geldt in principe dat het inkomende materiaal vrijgemaakt moet worden van gronddeeltjes en gedroogd moet zijn.

Analyse

Schaalgrootte

De verwachting voor 2020 is dat de vraag naar berm- en slootmaaisel voor bijstook in energiecentrales zal stijgen (Koppejan *et al.*, 2009) en met name getorreficeerde biomassa is bij uitstek geschikt om bij te stoken. Op dit moment wordt in Nederland hoofdzakelijk houtig materiaal getorreficeerd, omdat het huidige torrefactie proces vooral hiervoor geschikt is. De Torwash-procedure, die is ontwikkeld om natte biomassa te torreficeren, is veelbelovend maar wordt nog niet op grote schaal toegepast. Bij flash-pyrolyse is het doel om een olieachtige substantie te produceren. Het is op zich mogelijk op kleine schaal het lokaal vrijgekomen maaisel te verwerken, maar er is wel een constante aanvoer van maaisel nodig om een verwerkingsinstallatie draaiende te houden. Hiervoor moet er dan ook opslagmogelijkheid zijn om in de winterperiode de installatie draaiende te houden. Productie op kleine schaal is financieel niet aantrekkelijk, dus het maaisel zal in dit geval naar een grote verwerker vervoerd moeten worden. In dat geval speelt schaalgrootte geen rol. De belangrijkste inkomstenbron zal de geproduceerde olie zijn en daarvoor zal de capaciteit hoger moeten zijn dan mogelijk is binnen de regio Twente. Voor carbonisatie zijn kleine installaties op de markt met een invoercapaciteit van ongeveer 4.000 ton droge stof per jaar. Zeven van deze installaties zijn dan nodig om het huidige aanbod van maaisel te kunnen verwerken.

Circulair

Het verbranden van de torrefactie en flash-pyrolyse producten kan gezien worden als circulair. Koolstof in de vorm van CO₂ wat is vastgelegd door berm- en slootvegetatie wordt teruggebracht in de atmosfeer door middel van verbranding. De vrijgekomen CO₂ wordt vervolgens weer opgenomen door onder andere berm- en slootvegetatie, zodat de cirkel gesloten is. Hierbij wordt maaisel als grondstof gezien waarbij de koolstof steeds opnieuw wordt gebruikt voor plantengroei en energieopwekking. Bij carbonisatie wordt biochar als hoofdproduct gevormd. De geproduceerde biochar kan als bodemverbeteraar toegepast worden in de lokale landbouw. De restproducten uit de voorbehandelingsfase (wassen en persen) en het pyrolyse proces (vooral as) van de genoemde methodes kunnen als grondstof dienen voor onder andere vergisting en de kunstmestindustrie.

Lokaal

Bij torrefactie moet het maaisel vervoerd worden naar een verwerkingsinstallatie elders in Nederland. Tenzij er in de regio Twente zulke installaties zich bevinden, is deze verwerkingstechniek niet lokaal te noemen.

Het proces van langzame pyrolyse waarmee biochar wordt geproduceerd kan uitgevoerd worden met een kleine installatie. Op deze manier kan het vrijgekomen maaisel ter plekke verwerkt worden.

Bij flash-pyrolyse is de uitvoer mogelijk op kleine schaal, en daarmee ook lokaal. Echter is dit niet aan te raden omdat er toch voldoende schaalgrootte moet zijn om het financieel aantrekkelijk te maken. Dus ook bij flash-pyrolyse zal het maaisel afgevoerd moeten worden naar een grote verwerkingsinstallatie.

Landbouw

De landbouwkundige waarde van pyrolyse ligt voornamelijk bij biochar als eindproduct van carbonisatie, niet bij torrefactie en flash-pyrolyse. Biochar wordt gezien als veelbelovende potentiële bodemverbeteraar, al is de directe positieve werking op gewasproductie nog onvoldoende aangetoond in Nederland (Balen *et al.*, 2016). Wel heeft het een positief effect op de zuurgraad in zure bodems, het bacterieel bodemleven en het aantal regenwormen, mits er niet te veel wordt toegepast (Verheijen *et al.*, 2010). Verder kan het uitspoeling van mineralen en bestrijdingsmiddelen verminderen (Verheijen *et al.*, 2010). Voor de rest is de invloed van biochar op andere bodemfactoren (vasthouden van vocht, nutriëntenhuishouding, bodemfauna enz.) grotendeels onzeker (Verheijen *et al.*, 2010). Van Balen *et al.* (2016) geven bovendien aan dat toepassing van biochar economisch gezien minder gunstig is dan de gangbare bemestingsmethoden. De werking van biochar hangt sterk af van de omstandigheden waaronder het gebruikt wordt en van de kwaliteit van het biomateriaal waarvan het gemaakt is (Reuler & Baltissen, 2016; Schils, 2012).

Juridisch

Om het berm- en slootmaaisel te verwerken of te verstoken moet voldaan worden aan de eisen gesteld in het Activiteitenbesluit ten aanzien van biomassa (Ministerie van Economische Zaken, 2011). Bij alle hierboven beschreven verwerkingsmethoden zijn vergunningen verplicht en moeten ze voldoen aan het emissie regime zoals gesteld in het Activiteitenbesluit (artikel 5.2). Bij installaties groter dan 50 MW zal men ook moeten voldoen aan het Besluit OmgevingsRecht (BOR). Verder wordt bij het verwerken van grasachtige gewassen aanbevolen om op basis van het zorgplichtbeginsel een eenmalige meting te verrichten op het CO-gehalte van de rookgassen.

Voor zowel de pyrolyse olie als kool is geen sprake meer van biomassa. En aangezien berm- en slootmaaisel aangemerkt is als afvalstof zullen de producten moeten voldoen aan de emissie eisen zoals gesteld in hoofdstuk 5 van het Activiteitenbesluit (Kenniscentrum InfoMil, 2017a).

Kosten en baten

Torrefactie

BioLake (Pronk, 2013) is een samenwerkingsverband van ATO en vijf agrarische ondernemers in Noord-Holland welk een onderzoeks- en demonstratiefabriek voor productie van getorrificeerde biopellets heeft ontwikkelt. Deze pilot opstelling is in staat om hooi, stro en riet om te zetten in brandstofpellets geschikt voor huishoudens en bedrijven. Een installatie die 70.000 ton biomassa per jaar verwerkt vereist een investering van circa vier miljoen euro. De operationele kosten worden geschat op vijf miljoen euro met een productie van 48.000 ton biopellets per jaar. Bij een grondstof aankoop prijs van € 25,- per ton is de berekende terugverdientijd drie à vier jaar. Deze € 25,- zou gebruikt kunnen worden om het bermmaaisel geschikt te maken voor torrefactie. Het gras vereist droging (passief door hooien of actief in een drooginstallatie) en dient vrij te zijn van zand en afval.

De vervoerskosten voor de beheerder zullen niet veel veranderen in verhouding met het huidige vervoer naar een verwerker. Als het lokaal verwerkt kan worden, zoals bij carbonisatie, vallen de vervoerskosten (€ 10,- tot € 20,- per ton maaisel) grotendeels weg. Het lokaal carboniseren kost energie.

Carbonisatie

Een haalbaarheidsstudie van langzame pyrolyse van bermgras gebruikmakend van een PYREG pyrolyse installatie (PYREG, z.j.) toont aan dat kostendekkend verwerken mogelijk is (Bulk & Reitsma, 2015).

Als eerste wordt het zand verwijderd (zeven of wassen) en vervolgens wordt het gras geperst. Het pers sap kan vergist worden in een bestaande co-vergister, verwerkingskosten worden echter niet opgegeven. De grasvezels worden na gedroogd met de restwarmte van het proces tot het droge stofgehalte van 50% is bereikt. Deze voorbewerkingen kosten circa € 35,- per ton maaisel. Vervolgens kunnen de grasvezels gevoed worden aan de pyrolyse

installatie en de vloeibare fractie kan vergist worden. De installatie is in staat 4.000 ton berm- en slootmaaisel per jaar te verwerken en kost € 350.000,- per module. Door de kleine schaal van de modules is deze makkelijk op te schalen (meerdere modules naast elkaar). Jaarlijks wordt zo'n 600 ton biochar per module geproduceerd en dit levert afhankelijk van de prijs van biochar € 240.000,- tot € 450.000,- op. Dit is gebaseerd op een biochar prijs van € 400,- tot € 750,- per ton (van den Bulk & Reitsma, 2015). Als alle proceskosten en -baten worden meegenomen is het resultaat per ton maaisel € 2,25 (€ 750,- per ton biochar) en € -50,25 (€ 400,- per ton biochar). Hieruit kan echter niet geconcludeerd worden dat investeren in deze installaties de kosten voor het verwerken van berm- en slootmaaisel verlaagt noch verhoogt. De vraag- en marktprijzen van biochar in Nederland zijn niet exact bekend, literatuur toont aan dat de prijzen in omringende landen sterk kunnen variëren.

Jirka en Tomlison (2013) heeft onderzoek gedaan naar biochar prijzen gehanteerd door producenten in verschillende landen wereldwijd. Hieruit komt naar voren dat de prijzen per land sterk verschillen en dat export van biochar naar lucratieve markten aantrekkelijk is. In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de prijzen, gecorrigeerd voor de euro/dollar koers in 2013.

Tabel 1 Biochar prijzen in euro's per ton (naar Jirka en Tomlison, 2013).

Land	Prijs[€/ton]
Oostenrijk	510
Duitsland	1340
Zwitserland	500
Spanje	1375
Groot-Brittannië	3800
Ierland	2560

Flash pyrolyse

Huizing en Hillebrand (2005) hebben een haalbaarheidsstudie uitgevoerd van een flash pyrolyse proces waarbij 12.000 ton droog (vochtpercentage 7%) bermmaaisel wordt verwerkt. Gebruikmakend van een economisch model zijn drie scenario's uitgewerkt: "meest waarschijnlijk", "optimistisch" en "pessimistisch". In deze scenario's verschillen de variabelen met betrekking tot prijzen van grondstoffen, het technisch en bedrijfseconomisch functioneren van de pilot technologie.

De totale investering bedraagt € 2.200.000,- voor een verwerkingsinstallatie die in staat is 28.000 ton vers maaisel om te zetten in 7.000 bio-olie en 1.350 ton as. Er is uitgegaan van een korte afschrijvingstermijn van vijf jaar, de looptijd van de pilot. Hierdoor zijn de kosten voor afschrijving hoog en wordt er uitsluitend in het positieve scenario winst gemaakt in het eerste jaar. Het nettoresultaat na vijf jaar is positief voor het meest waarschijnlijke scenario (€ 100.000,-) en het optimistische scenario (€ 1.600.000,-). Het pessimistische scenario resulteert echter in een fors verlies van € 3.760.000,-. Om het pessimistische scenario te voorkomen kunnen de afschrijvingskosten over meerdere jaren worden uitgesmeerd, daarnaast kunnen rentekosten gedrukt worden door inbreng van eigen vermogen. Het is verder van belang dat het maaisel gratis geleverd zal worden (exclusief transport) en zo droog mogelijk is, om droogkosten te besparen. Effectiviteit van de pilot installatie dan wel de kosten voor het afvoeren van het as blijven onzeker.

Een tweede financiële haalbaarheidsstudie is uitgevoerd door Berg en Meuleman (2003). Er is hier uitgegaan van een installatie die 40.000 ton vers berm- en slootmaaisel per jaar kan verwerken tot 5.300 ton bio-olie en 2.000 ton as. De bio-olie wordt verkocht aan de

energiecentrale voor € 5,- per GJ en de as moet worden afgevoerd tegen een tarief van € 100,- per ton. De totale investering bestaat uit de aanschaf van de pyrolyse installatie (€ 2.700.000,-) en een drooginstallatie (€ 700.000,-) en bedraagt dus 3,4 miljoen euro. Als de rookgassen niet voldoen aan de uitstootnormen van stikstofoxiden zal een wasinstallatie vereist zijn (€ 125.000,-). In de studie is uitgegaan van extra transportkosten (à € 200.000,-), echter wordt het berm- en slootmaaisel momenteel ook over lange afstand vervoerd naar composteerders. Deze kosten zijn door ons dus niet meegenomen in het nettoresultaat, evenals een poorttarief van € 35,- per ton berm- en slootmaaisel. De installatie zal jaarrond in bedrijf zijn, daarom zal het bermgras opgeslagen moeten worden. De kosten voor het inkuilen van 40.000 ton maaisel wordt geschat op € 185.000,-. Er is verder vanuit gegaan dat de installatie uit eigen vermogen betaald wordt, rente- en afschrijvingskosten zijn dus niet meegenomen.

Het nettoresultaat is € -10,- per ton vers berm- en slootmaaisel, exclusief transportkosten. Er kan dus niet met zekerheid gesteld worden dat deze manier van verwerken goedkoper is dan afvoeren naar een composteerder.

Voor alle pyrolyse processen moet het maaisel tot op een bepaald niveau schoon en droog zijn. Dit is voor een groot gedeelte afhankelijk van het oogstproces (manier van oogsten en tijdstip) en dient misschien aangepast te worden, wat kosten met zich mee kan brengen. In Tabel 2 zijn de verschillende kosten voor de pyrolyse-procedures samengevat.

Tabel 2 Kosten in euro's per ton maaisel voor verschillende aspecten voor verschillende pyrolyse-procedures. In de proceskosten zijn de opbrengsten uit productverkoop verwerkt.

Procedure	Proces	Transport	Poorttarief	Voorbehandeling	Opslag
Torrefactie	-17	10 - 20	?	25	0
Carbonisatie	-2 – 50	0	0	35	0
Flash-pyrolyse	-11 – 27	10 - 20	35	0	5

Maatschappelijk

Het opwekken van energie uit lokale biomassa draagt bij aan de verduurzaming van het energiebeleid. Afhankelijk van hoe het maaibeeld aangepast wordt (ten aanzien van de input kwaliteit van maaisel) kan deze verwerkingsmethode bijdragen aan een visueel aantrekkelijker landschap met kruidenrijke bermen en slootranden. Ontwikkeling van lokale hernieuwbare energieprojecten heeft een positieve uitwerking op de werkgelegenheid in de regio.

Zoals eerder aangegeven hangt de verhoging van de biodiversiteit af van het maaibeeld. Als er op een traditionele manier wordt gehooit om de kwaliteit van het maaisel als input voor pyrolyse te verhogen, biedt dat kansen voor biodiversiteit. Het in eerste instantie laten liggen van het maaisel geeft zaden van kruiden de kans om af te rijpen en op de grond te vallen. Als er iets hoger dan gebruikelijk wordt gemaaid met een maaibalk of trommelmaaier verkleint het de sterfte van insecten en ander kleine dieren in de vegetatie (Staro Natuur en Buitengebied, 2010). Verder is het beheer minder tijd- en plaatsgebonden waardoor er meer mogelijkheden zijn om met het beheer rekening te houden met de natuur door bijvoorbeeld op sommige plaatsen iets later te maaien omdat bepaalde kruiden nog niet zijn uitgebloeid.

Conclusie en discussie

Er wordt momenteel veel onderzoek gedaan naar verschillende vormen van pyrolyse, hun potentieel en technisch, economische haalbaarheid. De mogelijkheden vandaag de dag om op lokale schaal maaisel door middel van een pyrolyse proces te verwerken zijn beperkt. Veel installaties hebben behoefte aan grote hoeveelheden biomassa, hetgeen veel transport vereist. Ook is bij veel processen geen sprake van het vormen van een nuttig eindproduct voor de landbouw. Om de effectiviteit van een installatie te waarborgen zal jaarrond maaisel

voorradij moeten zijn, hetgeen opslag van het maaisel inhoudt. Het maaisel wordt bij voorkeur in droge perioden gesneden als het rijk is aan ruwe celstof en een hoog droge stofgehalte heeft.

Van de pyrolyse vormen besproken in dit rapport, voldoet alleen carbonisatie aan alle gestelde criteria. Er zijn installaties in de markt die op kleine schaal zijn toe te passen tegen relatief lage investeringen. Het proces is schaalbaar en het eindproduct, de biochar, kan een nuttige bodemverbeteraar voor de landbouw zijn. Het opzetten van een nieuwe biochar productieketen biedt tevens mogelijkheden voor de werkgelegenheid in de regio.

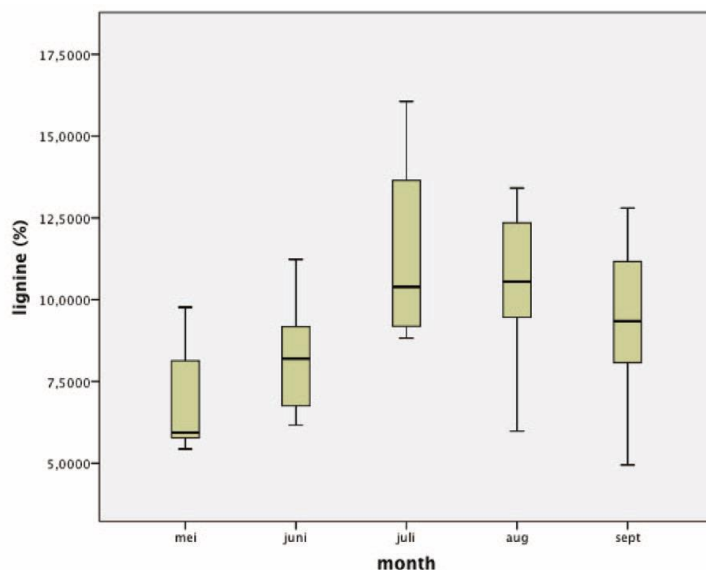
Aanbevelingen

Torrefactie van berm- en slootmaaisel (natte biomassa) is op dit moment nog problematisch in bestaande installaties. Natte biomassa bevat veel vocht en moet eerst gedroogd worden voordat het geschikt is voor verbranding. Het drogen van natte biomassa kost veel energie. Bovendien bevat berm- en slootmaaisel veel zouten die nadelig kunnen zijn voor de werking van thermische installaties. Er wordt echter veel onderzoek gedaan naar opwerkingstechnieken (Torwash) voor natte biomassa, zodat het geschikt wordt voor torrefactie en de eerste resultaten zijn veelbelovend.

Een goede optie is contact opnemen met PYREG en informeren naar mogelijkheden voor het lokaal verwerken van berm- en slootmaaisel.

Berm- en slootmaaisel is erg heterogeen in kwaliteit, maar met een gericht maaibeleid kan hierin gestuurd worden: hooien is een goede methode om het droge stofgehalte te verhogen. De kwaliteit van biochar hangt volledig samen met de kwaliteit van het materiaal waaruit het geproduceerd is (Fryda & Visser, 2015). Door het maaisel te analyseren op inhoudsstoffen kan er ook een uitspraak worden gedaan over de kwaliteit van de biochar die ervan wordt gemaakt. Als de inhoudsstoffen bekend zijn, kan er een betere inschatting van de werking en risico's van het gebruik van biochar in de landbouw gemaakt worden. Met name in de glastuinbouw wordt biochar gezien als geschikt substraat (Velden, 2016), maar de bruikbaarheid is ook hier afhankelijk van de grondstof en productiemethode (Blok, 2017).

Pyrolyse vereist vezelrijk maaisel (met een hoger ligninegehalte) en dat wordt verkregen door later in het seizoen te maaien (zie Figuur 8). Eerder is al aangegeven dat hooien een goede manier is om tegemoet te komen aan de eisen die worden gesteld aan pyrolyse. Dit vereist een andere werkmethode op plekken waar het uitgevoerd kan worden, zoals brede bermen, waterkeringen of randen van watergangen met een niet al te steile helling.



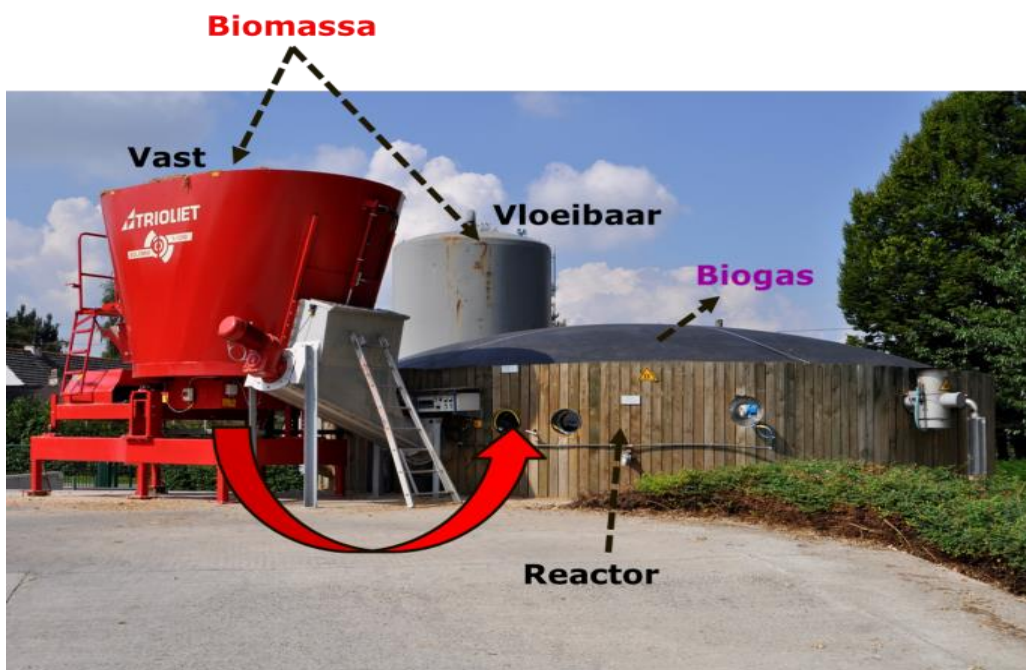
Figuur 8 Verschillen in ligninegehaltes in Belgische wegbermen in maaisel afkomstig van verschillende maaimomenten; overgenomen uit Verbeke et al. (2013).

6.7. Natte co-vergisting

Natte co-vergisting is een vorm van mestverwerking. Hierbij wordt vloeibare mest vergist met een ander organisch materiaal. Het toevoegen van dit materiaal verhoogt de biogasproductie. Het gebruik van een vloeibaar product verklaart meteen de naamgeving natte co-vergisting, waarbij een continue stroom vloeibaar product wordt vergist met een vochtgehalte van ongeveer 80% (Orgaworld, z.j.). Als eindproduct van het vergistingsproces ontstaat biogas en digestaat. Dit biogas kan omgezet worden in groengas of in elektriciteit en warmte door middel van een warmtekrachtkoppelingsinstallatie(WKK). Groengas heeft dezelfde eigenschappen als aardgas, en mag dus ook direct geïnjecteerd worden in het aardgasnetwerk.

Het digestaat bestaat voor minstens 50% uit mest, wordt aangemerkt als dierlijke mest en mag dus aangewend worden als meststof. Daarnaast zijn ook andere vormen van verwerking van het digestaat denkbaar, zoals composteren. Door het digestaat te composteren wordt een droger, stabielere eindproduct verkregen. Daarnaast worden de ziektekiemen die na de vergisting nog levend zijn in het composteringsproces ook gedood (Hoeksma, 2013). Het percentage minerale stikstof in digestaat is ongeveer 10% hoger dan in drijfmest (Geel & Dijk, 2013).

In 2012 waren er in Nederland 100 co-vergistingsinstallaties in bedrijf (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2013). Deze vergisters verwerken reststromen uit de agrifood-sector. De kosten van deze reststromen zijn de afgelopen jaren echter hard gestegen, waardoor de inzet van deze reststromen in vergisters onrendabel is geworden (Brinkmann, 2014). Met de verruiming van bijlage Aa van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet is geprobeerd dit probleem te verhelpen. Sinds deze verruiming is het toegestaan bermgras te gebruiken als substraat voor vergisting.



Figuur 9 Natte co-vergisting; overgenomen uit Enerpedia (2016)

Analyse

Schaalgrootte

Het vergisten van mest kan op verschillende schaalgroottes gebeuren, zowel op boerderijschaal als op industriële schaal. De optimale schaal van een vergister is afhankelijk van tal van factoren. Hierbij kan gedacht worden aan de prijs en aanwezigheid van co-vergistingsmaterialen en de vergunningscapaciteit. Er zal per vergistingsinitiatief een haalbaarheidsstudie uitgevoerd dienen te worden. Uit een enquête van (Peene *et al.*, 2011) onder eigenaren van 79 vergistingsinstallaties is gebleken dat: 45% van de installaties tussen de 10.000 en 25.000 ton per jaar verwerken en 24% van de installaties verwerkt tussen de 25.000 en 36.000 ton per jaar. Deze twee categorieën bestrijken daarmee de grootste groep.

Wanneer gekeken wordt naar de kosten en baten ten opzichte van de schaalgrootte is de productie van energie met een kleinere vergister iets duurder per kWh (Meijer *et al.*, 2008). Hierbij moet wel gezegd worden dat vergisting met de huidige energieprijzen niet rendabel is (Meijer *et al.*, 2008). Het succes van een vergister staat of valt daarom tot nu toe met de SDE-subsidie die van toepassing is.

Circulair

Het proces van co-vergisting werkt op basis van het samenvoegen van meerdere grondstoffen waarbij een hoofdgrondstof wordt gekozen en co-vergistingsmaterialen worden toegevoegd. Mest wordt vaak gebruikt als hoofdgrondstof. Populaire co-vergistingsmaterialen zijn bijvoorbeeld snijmaïs, kuilgras, afgekeurde levensmiddelen of glycerine (Commissie Deskundigen, 2015). Voor de circulariteit van deze verwerkingsmethode is de herkomst van de co-grondstoffen van belang. Het ideale scenario is het gebruik van lokaal maaisel in combinatie met drijfmest van lokale boeren.

Biogas productie is mogelijk op kleine schaal. De kleinste categorie als genoemd in Peene *et al.* (2011) heeft een gemiddelde verwerkingscapaciteit van 9200 ton en wekt naast elektriciteit ook warmte op. Door een WKK te plaatsen in of bij een faciliteit welke warmte benodigd, wordt de warmte nuttig ingezet en heeft deze een economische waarde. Het digestaat mag onder bepaalde voorwaarden gebruikt worden als meststof (Geel & Dijk, 2013). Indien lokale afzet mogelijk is, is dit een zeer circulaire manier van verwerken. Bij het vergisten van eigen mest in combinatie met bermmaaisel uit de ontvangstplicht mag digestaat teruggevoerd worden naar eigen land.

Een andere mogelijkheid voor het verwerken van biogas is het opstarten van een zogenaamde biogashub (Vos & Zwart, 2013). Hier wordt biogas geproduceerd en opgewerkt tot LNG. LNG staat voor Liquefied Natural Gas en is dus vloeibaar gemaakt gas. Het lijkt op Compressed Natural Gas (CNG), wat feitelijk aardgas is dat onder 200bar druk gezet wordt. LNG heeft een hele lage temperatuur (-162 °C bij normale druk) en heeft een hoge dichtheid, hierdoor is het efficiënter om op te slaan en te transporteren dan aardgas. Momenteel wordt LNG voornamelijk gewonnen door aardgas vloeibaar te maken (Lom, 1974). Het is ook mogelijk om LNG uit biogas te halen. Hiervoor moet eerst biogas geproduceerd worden wat daarna tot Groengas kan worden verwerkt. Groengas is een biogas met een hogere methaanconcentratie en ontdaan van verontreinigen. De laatste stap om het tot LNG te krijgen is om het tot -162 °C te koelen. LNG heeft wel veel mogelijkheden, het kan een vervanger zijn van diesel, stookolie en kerosine, kan door het lage volume zeer efficiënt getransporteerd worden en omdat aardgas verreweg de schoonste fossiele brandstof is, is het ook minder belastend voor het milieu (Rijpert *et al.*, 2016).

Lokaal

Zoals eerder gezegd, kan natte co-vergisting toegepast worden op verschillende schaalgroottes, zowel op boerderijschaal als op industriële schaal waarbij produceren op grote schaal relatief gezien goedkoper is. Toch wordt er vaak voor gekozen om vergisters van boerderijschaal te plaatsen. Het voordeel hiervan is dat de beginproducten op de

boerderij al aanwezig zijn. De beginproducten voor natte co-vergisting kunnen bijvoorbeeld mest en bermgras zijn. Bermgras kan dan zeer lokaal worden verwerkt worden. Kwantificering en opzet voor een co-vergister op boerderijschaal wordt in Figuur 10 gegeven (Reductie Overige Broeikasgassen (ROB), 2004).

Uitvoering van het project in de periode 2000 – 2002 heeft geleid tot een mest- en bermgras vergistingsinstallatie met de volgende kentallen en capaciteiten:

• Varkensdrijfmest	22.000 ton/jaar	70 ton/dag
• Bermgras	3.000 ton/jaar	10 ton/dag
• Vergistersinhoud	2.100 m ³	
• Opslagcapaciteit mest	2.500 m ³	
• Procestemperatuur	50 °C (thermofiel)	
• Mestverwarming	warmtewisselaar	10 ton/uur
• Gasmotor	600 kWe,	max. 5.000.000 kWh/jaar
• Biogasproductie	1.000.000 m ³ /jaar	2.500 – 3.000 m ³ /dag
• kWh productie	1.600.000 kWh/jaar	4.000 – 5.000 kWh/dag
• Zwavelreiniging	biologisch door toevoeging van lucht	
• Ventilatielucht reiniging	zure water (H ₂ SO ₄)	2.800 m ³ /uur
• Mestvezelscheider	vijzelpers	10 ton/uur
• Eindverwerking	membraaninstallatie (ultra filtratie, omkeer osmose)	

Figuur 10 Vergisting met varkensmest

In dit voorbeeld is drijfmest afkomstig van een vleesvarkenshouderij, co-vergist met bermgras. De benodigde hoeveelheid drijfmest is 22.000 ton per jaar. Deze hoeveelheid is gelijk aan de mestproductie van ongeveer 19.000 vleesvarkens in een jaar tijd (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2014). De gemiddelde hoeveelheid vleesvarkens op één boerenbedrijf is ongeveer 2800 dieren (Meulen, 2016) (CBS, 2016). Van dit gemiddelde uitgegaan, zouden er dus zeven bedrijven uit de regio Twente samen moeten werken om de bovenstaande co-vergister te laten draaien. Het digestaat dat als eindproduct uit de vergister komt kan goed worden gebruikt als meststof op bouwland. Vleesvarkenshouders staan erom bekend weinig eigen grond te hebben. Bij een te kort aan plaatsingsruimte, zal samenwerking met lokale akkersbouwers gezocht moeten worden om het digestaat af te zetten.

Landbouw

Uit natte co-vergisting komen meerdere producten, waaronder biogas en digestaat. Het biogas kan gebruikt worden om energie op te wekken. Het digestaat kan worden gebruikt als meststof. De globale eigenschappen van digestaat zijn vergelijkbaar aan die van drijfmest. Het voordeel van het gebruik van digestaat is dat het een groter aantal minerale nutriënten bevat. Belangrijke nadelen zijn dat in digestaat sommige zaden hun kiemkracht kunnen behouden. Daarnaast blijft een groot deel van de in de mest aanwezige mineralen behouden in het digestaat. Dit hoeft geen nadeel te zijn, dit wordt het alleen wel op het moment dat er zich hoge concentraties zware metalen in het digestaat bevinden (Geel & Dijk, 2013). Dit kan leiden tot accumulatie van zware metalen in de grond (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2013).

Juridisch

Voor natte co-vergisting is een lijst vastgesteld met producten die gebruikt mogen worden, zoals vastgelegd in bijlage Aa, onderdeel 4 van de uitvoeringsregeling Meststoffenwet. Hierin staat onder andere dat het maaisel vrij moet zijn van hout, houtresten en zwerfvuil. Dit

betekent dat het maaisel intensief gereinigd zal moeten worden voordat het gebruikt kan worden. Daarnaast zijn er regels die bepalen of het digestaat gebruikt mag worden als meststof in de landbouw. Het digestaat mag ingezet worden als meststof indien meer dan 50% dierlijke mest wordt mee vergist. Voor het digestaat gelden daarnaast ook maximale waarden voor de concentratie van zware metalen, als te zien in Tabel 7.

Kosten en baten

De markt voor vergisting wordt sterk gedreven door subsidies en overheidsbeleid. De subsidie SDE speelt hier de grootste rol in. In de praktijk zijn veel vergisters zonder deze subsidie niet rendabel. Dit is goed te onderbouwen aangezien de subsidie jaarlijks dusdanig wordt vastgesteld dat deze voor de initiatiefnemers hoog genoeg is om tot een rendabele business case te komen (Vos & Zwart, 2013).

Als er gekeken wordt naar het aantal vollasturen wat gedraaid is door verschillende vergistingsinstallaties kan geconcludeerd worden dat het overgrote deel niet op volle capaciteit draait. Dit kan een aantal redenen hebben waaronder storingen en onderhoud, een verminderde biologische werking in de vergister, dure grondstofprijzen waardoor het financieel niet aantrekkelijk is de volle capaciteit te benutten, of simpelweg het feit dat maar een deel van de vollasturen worden vergoed door de subsidieregeling (Peene *et al.*, 2011).

Over de financiën van co-vergisting zijn vooral negatieve berichten te vinden. Zo staat een interview in het Financieel Dagblad met een voormalig eigenaar van een co-vergister: “In een jaar dat er helemaal niets fout gaat, kun je € 1.000,- verdienen. Maar dan moet je er wel 1,6 miljoen in investeren” (Grol, 2016). De voordelen van kleinschalige vergisters liggen vooral in het feit dat zelfproductie van energie goedkoper is dan energie afnemen van een leverancier (Vos & Zwart, 2013).

Vergisten op grote schaal wordt gezien als efficiënter (Meijer *et al.*, 2008). Vergisting met kleine, lokale vergisters is, zoals onder het kopje lokaal beschreven, ook mogelijk. In dit genoemde voorbeeld is het echter nog steeds nodig dat een aantal bedrijven samenwerken om een vergister te laten draaien. Zoals onder het kopje lokaal uitgewerkt kan er 3.000 ton bermgras verwerkt worden met die vergister. Dat zou inhouden dat er ongeveer 10 vergisters van dit formaat nodig zijn om de gehele hoeveelheid van 28.000 ton bermgras per jaar te verwerken. Daarnaast moet gekeken worden naar de opslag van het bermgras. Gemiddeld wordt het bermgras één, soms twee keer per jaar gemaaid. Om het hele jaar door de vergister te kunnen laten draaien zal het bermgras opgeslagen moeten worden. Hiertoe kan het ingekuuld worden op het erf waar de vergister staat.

Conclusie en discussie

Natte co-vergisting is een methode waarmee reststoffen omgezet kunnen worden in duurzame energie. Het is daarmee een goede techniek om reststoffen tot waarde te kunnen maken. Het is circulair te maken door het digestaat te gebruiken als meststof en het biogas te gebruiken om energie en warmte op te wekken. Om het volledig circulair te kunnen maken is het van belang de CO₂ ook te benutten. Naast het verbranden van het biogas om energie op te wekken kan het biogas ook opgewerkt worden naar Groengas. Dit gas kan direct geïnjecteerd worden in het aardgasnetwerk.

Natte co-vergisting kan toegepast worden op allerlei schaalgroottes, van boerderijschaal tot industrieel. Wanneer uitgegaan wordt van een co-vergisting met mest en bermmaaisel is het goed lokaal toe te passen. Lokaal vrijgekomen bermmaaisel kan dan gecombineerd worden met drijfmest van lokale veehouders.

Het voordeel voor de landbouw is discutabel. Het digestaat kan gebruikt worden als meststof in de landbouw, het kan echter wel nog ziektekiemen bevatten omdat deze niet allemaal gedood worden tijdens het vergistingsproces (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2013).

De productie van biogas is optimaal op het moment dat de gebruikte producten een hoge energetische waarde hebben. De energetische waarde van berm- en slootmaaisel is een punt van aandacht en hangt af van oogsttijdstip en samenstelling van het maaisel. Voor natte co-vergisting is het beter een intensief maaibeleid te hanteren. Hiermee wordt energierijker gras verkregen. Het gebruik van klepelmaaiers is hierbij een goede optie, fijn gehakseld gras is namelijk beter voor het vergistingsproces.

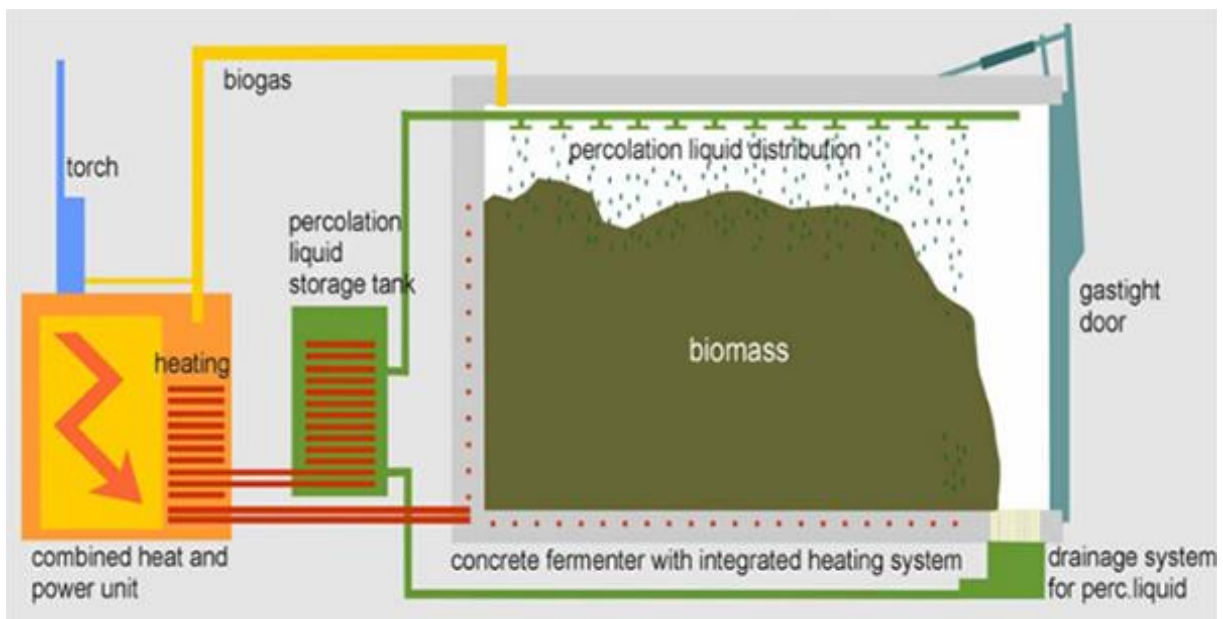
Financieel gezien is co-vergisting geen goede verwerkingsmethode. De hoogte van de SDE-subsidie die van toepassing is bepaald of het rendabel is of niet (Vos & Zwart, 2013). Het opwerken van biogas tot LNG lijkt een betere toekomst te hebben dan uitgaan van digestaat en biogas als eindproduct.

Aanbevelingen

De optimale schaalgrootte zal bepaald moeten worden. Hiertoe kan een haalbaarheidsstudie worden uitgevoerd, waarbij naast economische ook juridische aspecten worden meegewogen. Uit de literatuur komen veel tegenspraken naar voren en veel negatieve aspecten van natte co-vergisting. Het is dus belangrijk om grondig uit te zoeken wat de werkelijke locatie specifieke consequenties zijn voor het plaatsen van een co-vergister. Er zou ook gekeken kunnen worden naar de voorwaarden waaronder bestaande co-vergistingsinstallaties, berm- en slootmaaisel als vervanger van andere co-vergistingsproducten willen aanvoeren. Er hoeft dan niet geïnvesteerd te worden in de installaties zelf. Er zullen kosten gemoeid zijn met vervoer en het op kwaliteit brengen van het maaisel. Hierbij kan gedacht worden aan verwijderen van zwerfvuil en het verkleinen van het maaisel.

6.8. Droge vergisting

Vergisting is een verwerkmethode waarbij micro-organismen onder zuurstofloze omstandigheden koolhydraten omzetten in onder andere biogas. Berm- en sloopmaaisel wordt geklepeld, verzameld en vervolgens ingekuild om het gras te bewaren en zo jaarrond de vergistingsinstallatie te kunnen voeden. Het geheel wordt luchtdicht afgesloten zodat anaerobe micro-organismen aan de slag kunnen. Uit een proef van Velghe *et al.* (2014) is gebleken dat vergisting met 100% bermgras 70 m³ biogas per ton maaisel op kan leveren. Dit kan hoger uitvallen aangezien er tijdens deze proef niet correct ingekuild is. Het methaangehalte van het biogas is 54%. Het biogas wordt afgevangen en ter plekke door middel van een warmtekrachtkoppeling omgezet in elektriciteit. Als het biogas ook nog geschoond wordt kan het worden geïnjecteerd in het aardgasnet. Na het proces blijft er digestaat over wat wordt na-gecomposteerd en vervolgens in de landbouw kan worden gebruikt. Er wordt van verschillende kanten geclaimd dat het digestaat gemakkelijker te composteren is dan vers materiaal (Berg & Meuleman, 2003). Het compost verkregen uit digestaat van 100% bermgras heeft een hogere kwaliteit dan compost verkregen uit vergisting met 100% gft of vergisting met een mengsel van beide (Velghe *et al.*, 2014). Het vergisten van 100% bermgras heeft de voorkeur met het oog op regelgeving en het achterwege kunnen laten van een kostbare hygiëniserings stap. Hygiëniserings is vereist indien men voedselresten met eventuele aanwezige ziektekiemen mee vergist (Velghe *et al.*, 2014). Een van de grootste voordelen van droge vergisting is dat een vervuild beginproduct geen probleem is. Het maaisel hoeft dus niet uitvoerig gereinigd te worden voordat het de vergister in kan. Het compost wordt uiteindelijk gezeefd om het vuil te verwijderen.



Figuur 11 Overzicht proces droge vergisting; overgenomen uit wtert (2017)

Analyse

Schaalgrootte

In Dörpen, Duitsland staat een vergistingsinstallatie waar bermgras in combinatie met gft wordt vergist (Zwart & Boer, 2015). De vergistingsinstallatie heeft een capaciteit van 15.000 ton per jaar. De vergisting vindt plaats in zes anaerobe compartimenten. Door deze opsplitsing is de schaalgrootte variabel en zou er dus een compartiment gebruikt kunnen worden met een capaciteit van 2.500 ton per jaar.

Circulair

Tijdens het vergisten van berm- en slootmaaisel ontstaat er biogas. Dit biogas kan gebruikt worden voor energiedoeleinden en is een alternatief voor fossiele brandstoffen. Vergisten levert meer energie dan dat er met maaien, transport en operationeel houden van de installatie verbruikt wordt (Zwart & Boer, 2015). Naast biogas ontstaat er digestaat. Dit moet in veel gevallen eerst verwerkt worden tot compost. Daarna kan het verwerkt worden in de landbouw. Afgezien van de stoffen die in het bio-filter terecht komen en de bij verbranding ontstane CO₂ is droge vergisting een volledig circulair systeem.

Lokaal

Voor droge vergisting is een vergistingsinstallatie nodig. 80% van de massa van het bermgras dat wordt gevoed aan de vergister komt er als digestaat weer uit. Als het bermmaaisel wordt vergist op het bedrijf met de ontvangstplicht, mag het digestaat op het eigen land worden uitgestrooid (vrijstellingsregeling plantenresten). Zo niet dan moet het digestaat gecomposteerd worden. Composteren gebeurt bij voorkeur op dezelfde locatie om vervoerskosten te drukken. Op regionale schaal wordt bij een composteerder biomassa afgezet.

Landbouw

De geproduceerde compost wordt aangemerkt als overige organische meststof en kan dus teruggevoerd worden naar de landbouw als leverancier van nutriënten voor het gewas. Daarnaast bevat de compost een hoog aandeel organische stof, hetgeen een positieve uitwerking heeft op zowel de bodemstructuur als het bodemleven. Compost als product van vergisting met 100% bermgras is van betere kwaliteit dan compost van vergisting met een aandeel gft. Het chloriden-, nutriënten- en chemische verontreiniging gehalte is lager dan gft compost (Velghe *et al.*, 2014).

Invloed op maaibeleid

Voor vergisting geldt: hoe kleiner de deeltjes hoe hoger de biogasopbrengst (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015). Als hier tijdens het maaien al rekening mee wordt gehouden hoeft dat minder op de installatie gedaan te worden. Zo kan bijvoorbeeld een hakselaar of kneuzer gebruikt worden. Het verzamelen van afval en grond tijdens het maaien moet zoveel als mogelijk vermeden worden aangezien het de effectiviteit van de installatie verlaagt. Hierbij moet gedacht worden aan het ontwijken van molshopen en voorkomen dat grond wordt meegenomen door verkeerd ingestelde maaihogte of afzuiging (Staro Natuur en Buitengebied, 2010). Als er met een schijvenmaaier wordt gemaaid dan moet het materiaal na het maaien worden gehakseld om het de juiste grootte te geven. Dit is financieel minder aantrekkelijk dan maaien met een klepelmaaier omdat met deze methode het gras al direct in heel kleine stukje wordt geslagen. Aan andere kant kan door het gebruik van een cirkelmaaier gemakkelijker maaisel worden ingezameld en afgevoerd en wordt er minder grond meegenomen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015).

Voorjaarsgras heeft een hoger biogaspotentieel dan najaarsgras, waardoor meermaals maaien in het voorjaar de voorkeur heeft voor het biogasvolume (Velghe *et al.*, 2014). Omdat het gras in pieken vrijkomt en de vergistingsinstallatie niet alles in een keer aan kan moet het gras eerst worden opgeslagen. De beste manier om dit te doen is door in te kuilen. Inkuilen kan gezien als een voorbereidingsstap voor het vergistingsproces. Het gras wordt afgesloten

door een stuk landbouwplastic. Door middel van micro-organismen daalt de pH waardoor het gras voor langere tijd houdbaar blijft. Voor inkuilen is het belangrijk dat het gras niet te nat is, maaien bij droog weer heeft dus de voorkeur. Het maaisel moet niet te lang in de berm blijven liggen. De organische stoffen breken dan al af, met als gevolg een lagere biogasopbrengst (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2015).

Juridisch

Bermmaaisel is vrijgesteld van de afvalstoffenwetgeving als het wordt ingezet voor duurzame energieproductie, hierdoor zijn regels ten aanzien van vervoer en registratie van afvalstoffen niet van toepassing (Brinkmann, 2014). Het maaisel moet wel vrij zijn van afval en voldoen aan de maximale waarden van zware metalen en microverontreinigingen, zoals gesteld in bijlage 2 van het Meststoffenbesluit (Overheid.nl, z.j.-a).

Er moet voldaan worden aan de minimumstandaard voor verwerking van gescheiden ingezameld groenafval (berm- en slootmaaisel), zoals gesteld in het Landelijk Afvalbeheerplan (Brinkmann, 2014). Deze minimumstandaard is als volgt: “vergisten met gebruik van het gevormde biogas als brandstof gevolgd door aerobe droging/na-rijping met het oog op materiaalhergebruik van het digestaat”.

Er dient rekening gehouden te worden met de Wet Ruimtelijke Ordening (WRO). Hieronder valt onder andere het bestemmingsplan, waardoor gemeenten en provincies kunnen besluiten om op bepaalde locaties wel of niet een vergistingsinstallatie toe te staan.

Er zal rekening gehouden moeten worden met hoofdstuk 8 van de Wet Milieubeheer, de Wet Algemene Bepalingen Omgevingsrecht (WABO). Hierin staan de regels waaraan de vergistingsinstallatie aan moet voldoen, om in aanraking te komen voor de verplichte omgevingsvergunning.

Indien er naast berm- en slootmaaisel ook GFT wordt vergist, is er sprake van meldingsplicht (Overheid.nl, 2017b) van ontvangst en afgifte bij het Landelijk Meldpunt Afvalstoffen (LMA).

Digestaat valt onder overige organische meststoffen aangezien uitsluitend plantaardig materiaal wordt verwerkt. Het digestaat mag verhandeld worden als compost, indien het voldoet aan de definitie van compost in het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2017c). Het mag het hele jaar toegepast worden op uitsluitend landbouwgrond, bij gelijke verspreiding. De in de digestaat aanwezige stikstof en fosfaat telt mee voor de mestboekhouding en er gelden dus ook maximale toepassingsnormen (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, z.j.-b). Er moet echter ook bij het digestaat worden voldaan aan de maximale waarden voor zware metalen en microverontreinigingen, zoals gesteld in Bijlage Aa van het Meststoffenbesluit: Categorie IV, G1.

Kosten en baten

Van den Berg (2003) heeft een financiële analyse uitgevoerd voor het droog vergisten van bermgras. Hierbij is uitgegaan van een installatie bestaande uit 4 vergisters die in totaal 12.000 ton bermmaaisel per jaar kunnen verwerken. Er wordt ruim 1,2 miljoen kubieke meter biogas opgewekt, welke via een warmtekrachtkoppeling wordt omgezet in 2.950 MWh elektriciteit en 2.300 MWh aan warmte. Het maaisel afgevoerd wordt om te dienen als substraat voor droge vergisting waardoor de berm zal verschrallen. Dit heeft als effect dat de biodiversiteit in de bermen toeneemt. Vergisten heeft als voordeel ten opzichte van composteren dat een deel van de energie in het bermgras wordt geherwaardeerd. Het geproduceerde biogas is een vervanger voor fossiel gas, waardoor de uitstoot van broeikasgassen relatief gezien kleiner is.

In Tabel 3 is een overzicht weergegeven van de investeringen, kosten en baten van een droge vergistingsinstallatie inclusief WKK. Voor het na-composteren van het digestaat is uitgegaan van een kostenpost van € 35,- per ton maaisel. De overblijvende compost kan afgezet worden aan bedrijven of particulieren. De prijs van compost varieert afhankelijk van de kwaliteit van € 6,- (Aarnink & Ooms, z.j.) tot € 25,50 (Van Doorn Soest, z.j.) per ton, er is uitgegaan van een gemiddelde afzetprijs van € 15,- per ton zoals vermeld in het hoofdstuk Belanghebbenden.

Er wordt subsidie verstrekt voor het opwekken van duurzame elektriciteit en warmte. Voor de elektriciteitsprijs is uitgegaan van € 0,09/kWh en voor warmte € 0,043/kWh. Er moet opgemerkt worden dat er bij deze berekeningen geen rekening is gehouden met rente op geleend kapitaal of afschrijving van de installatie.

Tabel 3 Investerings, kosten en baten van een droge vergistingsinstallatie met WKK

Investerings	
Vergistingsinstallatie	€ 959.000,00
WKK-eenheid	€ 236.000,00
Inkuil terrein	€ 109.000,00
Totaal	€ 1.304.000,00
Kosten	
Inkuilen	€ 80.000,00
Onderhoud installaties	€ 52.000,00
Loonkosten	€ 45.000,00
Na-composteren	€ 361.200,00
Totaal	€ 538.200,00
Baten1	
Elektriciteit	€ 265.230,00
Warmte	€ 99.588,00
Compost	€ 154.800,00
Totaal	€ 519.618,00
Opbrengst	€ -18.582,00
Opbrengst per ton maaisel	€ -1,55

Uit Tabel 3 wordt geconcludeerd dat het droog vergisten van bermmaaisel niet kostendekkend is. Er is geen rekening gehouden met de kosten voor het maaien en transport. Echter, wanneer dit lokaal gebeurt is het verwerken van maaisel door droge vergisting waarschijnlijk goedkoper dan het afvoeren naar een composteerder (circa € 25,- per ton maaisel).

Naast stimulering van productie van duurzame elektriciteit en warmte, wordt er ruime subsidie verstrekt voor het opwekken van groengas. Groengas is biogas dat is ontdaan van

verontreinigingen, bijvoorbeeld CO₂, en is op druk van het aardgasnet gebracht. Groengas heeft het voordeel dat het volledige energiepotentieel in het gas behouden blijft tot de eindgebruiker. In tegenstelling tot verbranding in een WKK waar het merendeel (60%) wordt omgezet in warmte, welke niet altijd te benutten is.

De vereiste investeringen voor het opwerken van biogas tot groengas bestaan uit de aanschaf van een wasinstallatie en een compressor. Een opwerkinstallatie die 1.2 miljoen kuub gas per jaar kan verwerken kost bijna twee miljoen euro (Kampman *et al.*, 2010). Voor de compressor is uitgegaan van een capaciteit van 500 m³ per uur (300 dagen productie per jaar, 8 uur per dag). De verwerkingskosten per m³ biogas zijn € 0,10 en de opbrengsten bedragen € 0,065/kWh groengas.

Een overzicht van de investeringen, kosten en baten van een groengas project zijn weergegeven in .

Tabel 4.

Tabel 4 Investering, kosten en baten van een droge vergistingsinstallatie met groengas productie

Investeringskosten	
Vergistingsinstallatie	€ 959.000,00
WKK-eenheid	€ 236.000,00
Inkuil terrein	€ 109.000,00
Compressor	€ 30.000,00
Opwerkinstallatie	€ 1.948,55
Totaal	€ 3.282.554,36
Kosten	
Inkuilen	€ 80.000,00
Onderhoud installaties	€ 52.000,00
Loonkosten	€ 45.000,00
Na-composteren	€ 361.200,00
Opwerking	€ 120.000,00
Totaal	€ 658.200,00
Baten	
Groengas(CNG)	€ 608.400,00
Compost	€ 154.800,00
Totaal	€ 763.200,00
Opbrengst	€ 105.000,00
Opbrengst per ton maaisel	€ 8,75

Uit Tabel 4 valt te concluderen dat de opbrengst van het produceren van groengas uit bermgras positief is. Echter de investeringskosten zijn hoog door de gaswasinstallatie, waardoor de terugverdientermin (+30 jaar) waarschijnlijk boven de levensduur van de installatie ligt.

Subsidie

Droge vergisting van bermgras komt in aanmerking voor subsidie aangezien het is opgenomen in de NTA8003 classificatie van biomassa (Energieonderzoek Centrum Nederland, z.j.) en de gasproductie groter is dan 25 Nm³.

De te ontvangen subsidie staat genoteerd in de tabel biomassa hernieuwbaar gas SDE+ 2017 (Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2017b) en bedraagt maximaal € 0.042/KWh, in het geval van gasproductie.

Men komt ook in aanmerking voor subsidie als het geproduceerde gas met een warmtekrachtkoppeling wordt omgezet in warmte en elektriciteit. De maximale subsidie in 2017 voor op deze wijze opgewekte stroom en warmte via bedraagt € 0,043/KWh

(Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland, 2017a).

Voor warmte wordt alleen subsidie verleent als deze als 'nuttig' wordt aangemerkt en dus voldoet aan de GVO-regeling (De Minister van Economische Zaken, 2014).

Conclusie en discussie

Droge vergisting is mogelijk op lokale schaal en kan de afvoerkosten voor berm- en slootmaaisel op die manier verlagen. Optimalisatie van locatie en transport kunnen droge vergisting financieel aantrekkelijk maken.

De vergistingsinstallatie bestaat uit compartimenten. Hierdoor is de capaciteit gemakkelijk op te schalen. Afgezien van transport en de stoffen die in het biofilter terecht komen is droge co-vergisting een circulair proces. Voorwaarde hiervoor is wel dat bij het gebruik van een WKK de restwarmte benut kan worden. Als het bermgras wordt vergist bij het bedrijf met de ontvangstplicht dan mag het digestaat over eigen land worden uitgereden. Zo niet dan moet het digestaat gecomposteerd worden, hetgeen op regionale schaal goed mogelijk is.

De compost verkregen uit 100% bermgras is van hoge kwaliteit en heeft een hoger gehalte organische stof dan gft-compost. Er zitten minder nutriënten in die voor 50% meegenomen moeten worden in de mestboekhouding. Deze compost is zeer bruikbaar in de landbouw.

Voor het vergistingsproces is het van belang dat het gras zo klein als mogelijk is en er zo min als mogelijk grond in zit. Voorjaarsgras heeft een hoger biogaspotentieel dan najaarsgras. Voor het inkuilen van het gras moet het niet te nat zijn. Dit zijn allen punten waar met het maaien op gelet moet worden.

Het uitsluitend mee vergisten van groenafval, zonder huishoudelijk afval, voorkomt het dure hygiëniseren. Het produceren van groengas uit berm- en slootmaaisel kan potentieel geld opleveren maar de investering in de installatie is dusdanig hoog dat de terugverdientijd onacceptabel lang is.

Aanbevelingen

Een uitgebreide studie naar een specifiek ontwerp van de vergistingsketen in de regio. Op regionale schaal zou samenwerking tussen gemeenten, waterschappen en andere biogas producenten kunnen leiden tot een zogenoemde biogashub. Hier wordt het biogas van meerdere productielocaties, via pijpleidingen, naar een centrale opwerkingsinstallatie gevoerd. Het gevormde groengas wordt vervolgens tegen een hogere vergoeding aan het aardgasnet geleverd, waarbij de kosten voor de opwerking gedeeld worden door de biogasproducenten naargelang geleverd volume. Hoe groter de centrale verwerking, meer groengas per uur, des te lager de investeringskosten per m³ verwerkt biogas (Kampman *et al.*, 2010). Het inzetten van vloeibaar groengas biedt enorme mogelijkheden tot het vergroenen van de transportsector en creëert eveneens nieuwe werkgelegenheid. Meermaals per jaar maaien heeft de voorkeur aangezien het biogaspotentieel van het maaisel dan hoger is.

De compost die uit het proces komt zal gemonsterd moeten worden op de aanwezigheid van zware metalen en microverontreinigingen, alvorens het toegepast kan worden in de landbouw.

7. Conclusie en discussie

Berm- en slootmaaisel blijkt een lastig te verwerken grondstof te zijn. De bruikbaarheid is in sterke mate afhankelijk van de kwaliteit en samenstelling van het maaisel alsmede de manier waarop het geoogst wordt. Om als grondstof voor verdere toepassing te dienen moet het eerst voorbereid worden en dat maakt het een minder geschikt alternatief voor andere producten (houtige biomassa bijvoorbeeld).

De toegevoegde waarde als bodemverbeteraar bij directe toepassing en toepassing van afgeleide producten (biochar) is niet altijd duidelijk, terwijl de risico's door verontreinigingen en invoer van onkruidzaden aanwezig zijn. Voor alle methoden geldt in meer of mindere mate dat het maaisel vrij moet zijn van zwerfvuil en grond. Verder is homogeniteit een belangrijke eis; de bruikbaarheid van maaisel voor verdere toepassing hangt af van de kwaliteit die per plaats, per tijdstip en per maaimethode kan verschillen.

De van toepassing zijnde wet- en regelgeving werkt beperkend voor hoe berm- en slootmaaisel verwerkt kan worden. Echter, als de samenstelling en inhoudsstoffen bekend zijn, kan dat een argument zijn om de wet en regelgeving in bepaalde gevallen los te laten. Helemaal als aangetoond kan worden waar er in de regio landbouwkundige behoefte is aan toevoeging van organische stof.

Hieronder volgen de belangrijkste conclusies per verwerkingsmethode. Daarna volgen in Tabel 5 alle verwerkingsmethoden inclusief een plus/min aanduiding per beoordelingscriterium.

Klepelen en laten liggen

Klepelen en laten liggen wordt niet meer toegepast door de betreffende gemeenten. Het is de meest lokale manier van handelen en het meest arbeidsextensief. Op korte termijn is het financieel voordelig, op lange termijn niet. Op de langer termijn verhoogt de berm door de biomassa die erop blijft liggen. Hierdoor moeten bermen afgegraven worden. Dit is veel duurder en omslachtiger dan het collecteren van het gras. Het werkt niet mee aan het vershralingbeleid en zodoende komt het de biodiversiteit van de bodem ook niet ten goede.

Bokashi

Bokashi is een kansrijke methode voor het toevoegen van organische stof aan de landbouw. Het is makkelijk op veel verschillende schaalgroottes te realiseren. Dit alles kan plaatsvinden op en in de buurt van een perceel, waarmee het ook aan het lokale aspect voldoet. Bokashi laat zich makkelijk strooien en het lijkt een positieve invloed te hebben op de opbrengst van het land. Het is moeilijk te voorspellen wat het effect op de landbouw van het product van bokashi zal zijn. Dit komt omdat het lange termijneffect nog niet echt getest is. Daarnaast bestaat de vraag of alle zaden en ziektekiemen wel doodgaan in het vergistingsproces. Hierdoor is de juridische status van het bokashi product nog onduidelijk. De productiekosten van bokashi liggen rond de € 23,- per ton. Vergeleken met de huidige compostprijs betekent dit dat bokashi goedkoper is. Dit zou eventueel nog lager kunnen omdat er kansen zijn om het benodigde kalk uit andere bronnen te verkrijgen.

Direct onderwerken

Direct onderwerken is een goedkope oplossing. Het maaisel moet zo zwerfvuil vrij zijn als mogelijk en het maabeleid moet zo ingericht worden dat er een minimale hoeveelheid onkruidzaden in het maaisel aanwezig is. De landbouwkundige voordelen zijn nog onduidelijk. Grote beperking is het niet kunnen verwerken van al het vrijgekomen maaisel via direct onder werken. Door de belemmerende wetgeving met betrekking tot de afstandsbeperking van de locatie waar het maaisel vrijkomt en wordt ondergewerkt (maximaal 1 km). Er is het risico dat chemische verontreinigingen zich opstapelen bij herhaald gebruik van bermgras. Voorbehandelen door middel van composteren is een minimale vereiste om onkruidzaden te doden.

Pelletiseren

Graspellets zijn een directe manier om de energie-inhoud van bermgras te verbeteren. Over het algemeen is de bestemming voor graspellets de verbrandingsoven. Het produceren van pellets uit bermgras is discutabel. Het pelletiseren op zichzelf is geen probleem maar de pellets voldoen nog niet aan de *ENplus* (Europese kwaliteitsnorm) criteria. Dat betekent dat de graspellets niet geschikt zijn om verbrand te kunnen worden. Het verbranden van graspellets zou in de toekomst kunnen als de techniek om de *ENplus* kwaliteit van graspellets gerealiseerd kan worden of dat de verbrandingsinstallaties graspellets van een lagere kwaliteit kunnen verbranden. Bermgraspellets hebben dan ook momenteel nog geen afzetmarkt.

Verbranden

Verbranden lijkt een simpele manier om lokaal uit bermmaaisel energie te wekken. Het heeft echter geen kwalitatief hoge toepassingen in vergelijking tot andere verwerkingsmethoden en kan ook niet worden toegepast in de landbouw. De methode zou circulair gemaakt kunnen worden door de CO₂ die vrijkomt bij een glastuinbouwbedrijf af te zetten. De as die vrijkomt bij deze verwerking kan gebruikt worden voor de weg- en waterbouw of landbouw. Helaas zijn momenteel de brandstofpellets nog niet van een zodanig hoge kwaliteit dat ze zonder consequenties verbrand kunnen worden. Dit maakt verbranden van bermgras op dit moment nog geen haalbare optie

Pyrolyse

Flaspyrolyse en torrefactie installaties bestaan op een zo grote schaal dat in het projectgebied bij lange na niet aan de vraag naar bermgras voldaan kan worden. Productie van biochar via carbonisatie van berm- en slootmaaisel is lokaal en op kleine schaal te realiseren. Deze verwerkingsmethode levert een stabiel eindproduct met een hoge concentratie aan organische stof. Het lange termijneffect van het herhaaldelijk toevoegen van biochar op bodemstructuur en gewas opbrengst zijn onduidelijk. De vraag en marktprijzen van biochar in Nederland zijn niet exact bekend, literatuur toont aan dat de prijzen in omringende landen sterk kunnen variëren. Hierdoor is de financiële haalbaarheid hoogst onzeker.

Natte co-vergisting

Natte co-vergisting is lokaal te realiseren en ook circulair te maken. Het digestaat is te gebruiken als meststof en het biogas wordt gebruikt om energie op te wekken of wordt opgewerkt en direct geïnjecteerd in het aardgasnetwerk. Wanneer uitgegaan wordt van co-vergisting met mest en bermmaaisel is het goed lokaal toe te passen. Lokaal vrijgekomen bermmaaisel kan dan gecombineerd worden met mest van lokale boeren. Het voordeel voor de landbouw is discutabel. Het digestaat kan gebruikt worden als meststof in de landbouw, het kan echter wel nog ziektekiemen bevatten omdat deze niet allemaal gedood worden tijdens het vergistingsproces. De methode is nooit echt rendabel geweest, dit hangt compleet af van de hoogte van de subsidies.

Droge vergisting

Droge vergisting is op kleine en lokale schaal mogelijk, mits er samenwerking wordt gezocht met andere biogas producenten. Hoge investeringskosten en lage winstmarges maken investeren onaantrekkelijk voor de productie van elektriciteit en warmte. De opwerking van biogas tot groengas kan echter van bermmaaisel een opbrengstenpost maken in plaats van een kostenpost, indien aangesloten op een biogashub. Het inzetten van vloeibaar groengas biedt enorme mogelijkheden tot het vergroenen van de transportsector en creëert eveneens nieuwe werkgelegenheid. Het gecomposteerde digestaat is een bruikbare organische meststof voor de landbouw.

Tabel 5 Beoordeling per verwerkingsmethode

Methode	Circulair	Lokaal	Kosten en baten	Organische stof voor landbouw
Klepelen en laten liggen	-	+	-	-
Pelletiseren	+	+	-	-
Verbranden	+/-	+	+	-
Pyrolyse-carboniseren	+	+	+/-	+
Direct onderwerken	+	+	+/-	+/-
Natte co-vergister	+	+	-	+
Bokashi	+/-	+	+	+/-
Droge vergisting	+	+/-	+/-	+

8. Aanbevelingen

- Samenstelling van het maaisel bepalen; *verhouding tussen kruiden, gras- en houtachtige planten heeft invloed op de kwaliteit van het maaisel. Een inventarisatie van het aandeel schadelijke onkruiden en onkruidzaden is belangrijk als het direct wordt toegepast in de landbouw.*
- Inhoudsstoffen in het maaisel bepalen; *met name het gehalte aan nutriënten, spoorelementen, zware metalen en microverontreinigingen is van belang.*
- Mogelijkheid tot direct onderwerken wordt beperkt door de één-kilometer afstandsregel in de vrijstellingsregeling planten resten; *er kan gelobbyd worden bij de provincies voor een ontheffing van de kilometer regel. Deze kan verruimd worden naar afzet binnen het gehele areaal in bezit van de eigenaar van het aangrenzende perceel. Hierbij kan het argument aangedragen worden dat er zo niet gesleept wordt met nutriënten en andere inhoudsstoffen, als de gehalten bekend zijn. Om accumulatie te voorkomen zal de maximaal toegestane gift bepaald moeten worden.*
- Inventariseren van landbouwkundige behoefte aan organische stof; *in kaart brengen van percelen in de regio waar behoefte is aan extra effectieve organische stof.*
- Permanente kleinschalige opslag binnen de 1 km-zone; *aanleg van betonplaten geschikt voor inkuilen op laagwaardig bouwland.*
- Tijdstip van maaien afstemmen op toepassing in landbouw; *opslag kan vermeden worden indien maaitijdstip samenvalt met bewerktingsactiviteiten op het bouwland.*
- Locatie specifiek in kaart brengen van de opbrengst; *door middel van gps-tracking op trekkers in combinatie met een opbrengst meetinrichting.*
- Het exact in beeld brengen van de verzamelstructuur van het maaisel; *waar en wanneer wordt gemaaid en waar wordt het tijdelijk opgeslagen? Zo kan het maaiplan, inzamelen en afvoer geoptimaliseerd worden.*
- Specifiek aanpassen van maaimethode voor de gekozen manier van verwerken; *voorkomen van inmenging met grond en rekening houden met de rijpheid van het maaisel voor specifieke verwerkingsmethoden.*
- Maaisel vrijhouden van onkruidzaden; *voor zaadzetting van de berm- en slootvegetatie maaien en opslaan.*
- Het afsluiten van prestatiecontracten met de loonwerker(s); *uitbetalen op basis van de kwaliteit van het maaisel en niet op hoeveelheid. Hierbij staat een hoge kwaliteit voor maaisel dat een laag aandeel grond heeft. Hiertoe wordt gebruik van een ecokop geadviseerd of een hogere afstelling van de maaibak. Schudden en mechanisch oprapen brengt aanzienlijke extra kosten met zich mee.*
- Het maaisel dient geschoond te worden van zwerfvuil; *de kosten voor het reinigen kunnen verlaagd worden door het bewust maken van de weggebruikers. Men kan bijvoorbeeld denken aan een campagne om weggebruikers bewust te maken van de kosten van het verwijderen van zwerfvuil en dit uitdragen via lokale media en borden langs de wegen.*

- Contact opnemen met PYREG; *verkennen van de mogelijkheden voor persen van het maaisel. Het scheiden en carboniseren van de vezels. Onderzoek naar de mogelijke toepassingen van het perssap.*

9. Literatuurlijst

- Aarnink & Ooms. (z.j.). Retrieved from <http://www.aarninkenooms.nl/mest/meststoffen/compost/>
- Agriton. (2017). Gemeente: Bladresten en keukenafval als voeding voor de stadstuin - Hengelo draagt al lang geen geitenwollensokken meer.
- Balen, D. v., Topper, C., Geel, W. v., Berg, W. v. d., Haas, M. d., Bussink, W., & Schoutsen, M. (2016). *Effecten bodem- en structuurverbeteraars*. Retrieved from
- Basu, M., Pande, M., Bhadoria, P., & Mahapatra, S. (2009). Potential fly-ash utilization in agriculture: a global review. *Progress in Natural Science*, 19(10), 1173-1186.
- Berg, D. v. d., & Meuleman, B. (2003). Verkennend onderzoek naar mogelijkheden voor de inzet van bermgras in Overijssel voor duurzame energie-opwekking. *Biomass Technology Group BV, Universiteit van Twente, Enschede*.
- Berg, S. v. d. (2006). Actief bodembeheer bermen in de gemeente Hof van Twente. 87.
- Bio-Ron. (z.j.). Zeeschelpenkalk uit de Noordzee. Retrieved from <http://www.bio-ron.com/producten/bodembeheer-weidebeheer/zeeschelpenkalk-99008.html>
- Biogas-e. (2015). COMBINE-workshop "Haal meer uit gras". Retrieved from <http://www.biogas-e.be/node/434>
- Biolake. (z.j.). Biolake - What is torrefaction?
- Biomassa Alliantie. (2017). Infographic circulair terreinbeheer. Retrieved from <https://biomassa-alliantie.nl/2017/02/23/infographic-circulair-terreinbeheer/>
- Blok, i. C. C. (2017). Biochar als substraat. Retrieved from <http://www.wur.nl/nl/nieuws/Biochar-als-substraat.htm>
- Boer Anloo, V. O. F. (2000). Klepelen. In K. 008 (Ed.).
- Brinkmann, A. (2014). *Een studie naar kansen voor grasvergisting*. Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO).
- Bulk, J. v. d., & Reitsma, B. (2015). Verkenning pyrolyse/carbonisatie zuiveringsslib en andere biomassa stromen. *Stowa rapport (2015-37)*.
- BVOR. (2016). Bermgras en slootmaaisel – afvalstof, meststof of grondstof? . Retrieved from <http://bvor.nl/wp-content/uploads/Factsheet-Regelgeving-maaisels.pdf>
- CBS. (2016). Meer varken en koeien per boerderij. Retrieved from
- Cherney, J. H., & Verma, V. K. (2013). Grass pellet Quality Index: A tool to evaluate suitability of grass pellets for small scale combustion systems. *Applied energy*, 103, 679-684.
- Commissie Deskundigen, M. (2015). *Nut en risico's van covergisting : synthesesrapport*. Wageningen: Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu.
- Cretes. (z.j.). Complete wasstraat voor bermgras. Retrieved from http://www.cretes.be/nl/detail_88.aspx#ad-image-

De Minister van Economische Zaken. (2014). *Regeling van de Minister van Economische Zaken van 9 december 2014, nr. WJZ/14198645, houdende regels omtrent garanties van oorsprong voor energie uit hernieuwbare energiebronnen en HR-WKK-elektriciteit (Regeling garanties van oorsprong voor energie uit hernieuwbare energiebronnen en HR-WKK-elektriciteit)*. Retrieved from <https://zoek.officielebekendmakingen.nl/stcrt-2014-35704.html>.

Departement Leefmilieu Natuur & Energie België. (2015). Leidraad natuurtechniek Ecologisch bermbeheer.

EM natuurlijk actief. (2014).

Energieonderzoek Centrum Nederland. (z.j.). NTA 8003 Classification. Retrieved from <https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/NTA-8003>

Enerpedia. (2016). Pocketvergisting. Retrieved from <http://www.enerpedia.be/nl/energiethema/pocketvergisting-7/>

EPC. (2015). *ENplus Quality Certification Scheme For Wood Pellets*. Brussels, Belgium: European Pellet Council.

Fryda, L., & Visser, R. (2015). Biochar for Soil Improvement: Evaluation of Biochar from Gasification and Slow Pyrolysis. *Agriculture*, 5(4), 1076-1115.

Geel, W. v., & Dijk, W. v. (2013). *Toepassing van digestaat in de landbouw: bemestende waarde en de risico's-Deskstudie in het kader van Energierijk*. Retrieved from

GreenSand. (z.j.). Wat is greenSand? Retrieved from <http://www.greensand.nl/>

Grol, C. (2016). Energie uit mest is mooi idee maar in praktijk zeer moeilijk rendabel te krijgen. *Financieel Dagblad*.

Haterd, R. v. d., Van den Hengel, B., & Keizer, P. (2009). Lange termijn effecten van maaibeheer in wegbermen. *De Levende Natuur*, 110(2), 88-94.

Hendriks, R. (2005). *Composteren; Praktische aspecten van compostering*. Retrieved from

Hoeksma, P. (2013). *Verwerking van digestaat uit co-vergisting*. Retrieved from

Huizing, H., & Hillebrand, J. (2005). *Grasol-Een haalbaarheidsstudie* (9050592651). Retrieved from

IM HOLZ S.R.O. (z.j.). Burning Wood Pellets.

IndiEco B.V. (z.j.). Brandstof - Prijslijst houtpellets. Retrieved from <http://www.indieco.nl/brandstof.php>

Janmaat, L. (2015). *Verwerken van maaisel voor landbouwkundig gebruik; Waarde van compost, bokashi en bermgraskuil als meststof*. Retrieved from

Jansen Heeten. (z.j.). Landbewerking en slootonderhoud. In Walkantfrezen (Ed.).

Jirka, S., & Tomlison, T. (2013). State of the Biochar Industry. A survey of Commercial Activity in the Biochar Field, International Biochar Initiative.

- Kalwij, J., Sykora, K., & Keizer, P. (2004). Worden rijkswegebbermen goed beheerd? Een botanische evaluatie. *De Levende Natuur*, 105(3), 104-108.
- Kampman, B., Croezen, H., Verbraak, G., & Brouwer, F. (2010). Rijden en varen op gas. kosten en milieueffecten van aardgas en groen gas in transport: Report.
- Kasteren, J. v. (2013). CO2 als grondstof. *Chemiemagazine*.
- Kenniscentrum InfoMil. (2017a). *Biomassa in het Activiteitenbesluit*. Rijkswaterstaat, Ministerie van Infrastructuur en Milieu Retrieved from <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/stookinstallaties/biomassa-0/welk-regime-welke/>.
- Kenniscentrum InfoMil. (2017b). *Regelgeving voor kadavers*. Retrieved from <http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/gezondheid/kadavers/>.
- Kenniscentrum InfoMil. (2017c). *Stookinstallaties*. Retrieved from <http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/stookinstallaties/>.
- Kimball, B. A., & Idso, S. B. (1983). Increasing atmospheric CO2: effects on crop yield, water use and climate. *Agricultural Water Management*, 7(1), 55-72. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774\(83\)90075-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-3774(83)90075-6)
- Kleinschmidt, C. (2010). Statusoverzicht en impactanalyse van torrefactie in Nederland. Arnhem: KEMA/Agentschap NL, 48.
- Koppejan, J., Elbersen, W., Meeusen, M., & Bindraban, P. (2009). *Beschikbaarheid van Nederlandse biomassa voor elektriciteit en warmte in 2020. Rapportage in opdracht van SenterNovem. Projectnr. 200809*. Retrieved from Utrecht: <http://edepot.wur.nl/51989>
- Lom, W. L. (1974). Liquefied natural gas.
- Lotz, L. A. P., & Spijker, J. H. (2001). *Onderzoek naar de mogelijkheden voor toepassing van bermmaaisel op landbouwgronden Lotz 2001*. Retrieved from Wageningen:
- Meerburg, B. G., & Korevaar, H. (2009). *Ecologisch beheer van de publieke ruimte: mogelijkheden voor natuurtechnisch dijk-, slootkant-en wegbermbeheer, toegespitst op de Hoeksche Waard*. Retrieved from
- Meesters, K., Koppejan, J., & Elbersen, H. (2008). *Duurzaamheidsanalyse pellet keten: rapport voor Service Unit Innovatie van LNV*. Retrieved from
- Meijer, G., Teeselink, H. K., Stroomeer, J., Ongenae, R., & Kottner, M. (2008). *Strategische verkenning covergisting van mest*. Retrieved from
- Meijerink, G. (2017).
- Meulen, H. v. d. (2014). Westland nog altijd belangrijkste concentratiegebied. Retrieved from <http://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2232§orID=2240&themaID=2285>
- Meulen, H. v. d. (2016). Bedrijven, dieren en omvang - Varkenshouderij. Retrieved from <http://www.agrimatie.nl/SectorResultaat.aspx?subpubID=2290§orID=2255>
- Ministerie van Economische Zaken, L. e. I. (2011). *Torrefactie*. Den Haag: RVO.

Ministerie van Infrastructuur en Milieu. (2016). *Landelijk afvalbeheerplan 2017-2029*. Den Haag.

Naarts. (2009). Geïntegreerde verwerkingsmogelijkheden (inclusief energetische valorisatie) van bermmaaisel.

Naturfag, N. (z.j.). Forsøk: Pyrolyse. In *Pyrolyse* (Ed.).

Nederland, N. (z.j., 13-04-2016). Retrieved from <http://mvonederland.nl/dossier/wat-de-circulaire-economie-0>

Orgaworld. (z.j.). Alleen bij Orgaworld... Retrieved from <http://orgaworld.nl/waar-we-goed-zijn/hoogwaardige-en-duurzame-verwerking/droge-vergisting>

Overheid.nl. (2017a). Besluit bodemkwaliteit.

Overheid.nl. (2017b). Besluit omgevingsrecht.

Overheid.nl. (z.j.-a). Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet. Retrieved from <http://wetten.overheid.nl/BWBR0019031/2016-01-01>

Overheid.nl. (z.j.-b). Wegenwet. *Wet- en regelgeving*. Retrieved from <http://wetten.overheid.nl/BWBR0001948/2016-03-15>

Peene, A., Velghe, F., & Wierinck, I. (2011). Evaluatie van de vergisters in Nederland. *OWS en AgentschapNL*.

Pels, J., Kiel, J., & Veringa, H. (2004). *Askwaliteit en toepassingsmogelijkheden bij verbranding van schone biomassa (BIOAS)*. Retrieved from

Pivabo. (z.j.). Herder ecologische maaier. Retrieved from <http://www.pivabo.be/nl/product/merk/69/categorie/83/producttype/32/product/158>

Projectbureau A2Maastricht. (z.j.). Retrieved from <http://www.a2maastricht.nl/nl/vraag-en-antwoord/vraag-en-antwoord-toepassing-aec-bodemassen.aspx#afvalenergiecentrale>

Pronk, J. (2013). *Biobrandstoffen uit agrarisch restmateriaal*. Retrieved from

Provinos. (z.j.). Bokashi - Wat is het en wat zijn de mogelijkheden? Retrieved from <https://www.provinos.nl/em-in-de-praktijk/bokashi>

PYREG. (z.j.). Innovative recycling of biomass. Retrieved from <http://www.pyreg.de/technology-en/biomass-en.html>

Reductie Overige Broeikasgassen (ROB). (2004). Grootschalige mestvergisting De Scharlebelt.

Rommelink, G., van Dooren, H. J., Curth-van Middelkoop, J., Ouweltjes, W., & Wemmenhove, H. (2016). *Handboek melkveehouderij*. Retrieved from

Reuler, H. v., & Baltissen, A. H. M. C. (2016). *Bodemverbeteraars met focus op biochar*. Retrieved from <http://edepot.wur.nl/392486>

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2013). *Statusdocument bio-energie 2012*. Retrieved from Utrecht:

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2014). *Mestbeleid 2014-2017 Tabellen*. Retrieved from <https://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/01/62c4d927-90a1-4492-91d4-3120bf48599c.pdf>.

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2015). *Gras benutten als substraat voor vergisting*. (RVO-270-1501/BR-DUZA). Utrecht: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland Retrieved from https://www.rvo.nl/sites/default/files/RVO-Publ-Grasvergisting-webdoc-mei15_1_def.pdf.

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2017a). Biomassa en hernieuwbare warmte en wkk SDE+ 2017. Retrieved from http://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/02/Tabel%20Biomassa%20hernieuwbare%20warmte%20en%20wkk%20SDE%202017_0.pdf

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (2017b). Biomassa hernieuwbaar gas SDE+ 2017. Retrieved from <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/02/Tabel%20Biomassa%20hernieuwbaar%20gas%20SDE%202017.pdf>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2017c). Digestaat gebruiken als meststof.

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (z.j.-a). Duurzaamheidseisen vaste biomassa SDE+. Retrieved from <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/sde/biomassa/duurzaamheidseisen>

Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (z.j.-b). Overige organische meststoffen gebruiken. Retrieved from <http://www.rvo.nl/onderwerpen/agrarisch-ondernemen/mest-en-grond/mest/mest-uitrijden-en-gebruiken/overige-organische-meststoffen>

Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland. (z.j.-c). Stimulering Duurzame Energieproductie (SDE+). Retrieved from <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/stimulering-duurzame-energieproductie-sde>

Rijksoverheid. (z.j.). Green Deal aanpak. Retrieved from <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/inhoud/green-deal>

Rijkswaterstaat. (2013). *Leidraad beheer groenvoorzieningen*. Rijkswaterstaat.

Rijpert, K., Plateringen-Roetman, M. v., & Groenhuijsen, H. (2016). LNG: dé transitiebrandstof op weg naar een duurzame toekomst - LNG in de transportsector. Retrieved from https://www.rabobank.nl/images/pdf-b-cijfers-en-trends-transport-update-lng_29817376.pdf?ra_resize=yes&ra_width=800&ra_height=600&ra_toolbar=yes&ra_locationbar=yes

Ros, G. H., Termorshuizen, A. J., & Dijk, T. A. v. (2012). *Risico's van diffuse verspreiding van groenafvalstromen*. Retrieved from Wageningen:

Schils, R. L. M. (2012). *30 vragen en antwoorden over bodemvruchtbaarheid*. Retrieved from Wageningen: <http://edepot.wur.nl/211205>

Spijker, J. H., & Ehlert, P. A. I. (2004). *Mogelijkheden voor het onderwerken van maaisel op landbouwgronden in een kleine en een grote kringloop*. Retrieved from

Spijker, J. H., Ehlert, P. A. I., Jong, J. J. d., Neimeijer, C. M., Scheepens, P. C., & Vries, E. A. d. (2004). *Geschiktheid van Bermmaaisel als meststof; Een verslag van acht praktijkproeven*. Retrieved from Wageningen: <http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/21053>

Staro Natuur en Buitengebied. (2010). Fauna is niet te missen: Rapport.

TCB. (2016). *Advies Toestand en dynamiek van organische stof in Nederlandse landbouwbodems websiteversie*. Retrieved from Den Haag:

TICO. (z.j.). Advantages of grass pellets.

Tönjes, J. (2015). Bokashi sluit kringloop beter op akkerbouwbedrijf. *Stal & Akker*.

Transportbedrijf Bakker. (z.j.). Compost. Retrieved from <http://www.transportbedrijfbakker.nl/onze-producten/compost/>

Vakmedianet. (z.j.). GWW kosten. *Verlagen berm*. Retrieved from http://www.gwwkosten.nl/Groenvoorzieningen/Groenvoorzieningen/Verlagen_berm/kostengegevens-kostenkengetallen/2925576-2015RAW.htm

van den Bulk, J., & Reitsma, B. (2015). *Verkenning pyrolyse/carbonisatie zuiveringsslib en andere biomassa stromen*. Amersfoort: Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

Van Doorn Soest. (z.j.). Retrieved from <http://www.vandoornsoest.nl/vds/compost-en-bemesting/producten/800/product-522301.html>

Velden, P. v. (2016). Verrassende materialen zetten onderzoekers op duurzaam spoor : zoektocht nieuwe potgrondmengsels en weerbaarheid. *Onder glas*, 13(8), 16-17.

Velghe, F., Magielse, P., Moorkens, I., & Meester, S. D. (2014). *Bermg(r)as; droge anaerobe vergisting van bermgras, in combinatie met gft+*. Retrieved from

Verbeke, W., Gybels, R., Meers, E., Devacht, C., Annaert, W., Ryckaert, B., . . . De Vocht, A. (2013). Graskracht: eindrapport.

Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. C., Velde, M. v. d., & Diafas, I. (2010). *Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions*. Retrieved from

Vos, J., & Zwart, K. B. (2013). *Mest(co)vergisting en biogas/groengas productie in Overijssel; Ervaringsproblemen, kansen & verbeterstrategieën*. Retrieved from http://www.overijssel.nl/publish/pages/89130/btg_alterra_studie_mestvergisting_eindversie_integraal_juli_2013.pdf

Westerschulte, M., Federolf, C. P., Trautz, D., Broll, G., & Ols, H. W. (2017). Nitrogen dynamics following slurry injection in maize: soil mineral nitrogen. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1). doi:10.1007/s10705-016-9799-5

Whittaker, C., & Shield, I. (2017). Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 1-11. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.119>

wtert. (2017). Anaerobic Digestion Systems. Retrieved from <http://www.wtert.eu/default.asp?Menu=13&ShowDok=17>

Zwart, K. B., & Boer, D. d. (2015). *Droge vergisting van berm- en natuurgas*. Retrieved from Wageningen: <http://edepot.wur.nl/350624>

10. Appendices

10.1. Appendix 1

Tabel 6 Vergelijking Bokashi en composteren

Karakteristieken van proces	Composteerproces	Maken van Bokashi
Aanwezigheid zuurstof	+	-
Procestemperatuur	55-65 °C	35-35 °C
Noodzakelijke toevoegingen	Geen	Kalk, klei en 'microferm
Procesvoering	Verkleinen, opzetten van composthoop, vervolgens regelmatig omzetten en uiteindelijk afzeven.	Opzetten van kuil volgens 'lasagne principe', vervolgens geen bewerkingen nodig.
Biologisch omzetting tijdens het proces	Vergaande biologische afbraak waarbij een stabiel, humusrijk product ontstaat.	Alleen fermentatie, waardoor het product Bokashi een 'halffabricaat' is (afbraak gaat verder wanneer Bokashi in contact met lucht komt)

Reststoffen, B. V. O. (2017). "Bokashi: de hype ontrafeld, 10 vragen en antwoorden."

Handleiding voor het maken van Bokashi met drijfmest, stro.

Benodigdheden voor c.a. 5 ton te maken eindproduct.

- 1) 4 ton drijfmest met een ds % van ca 10 %.
- 2) 1 ton tarwe stro met een ds % van ca 90 %.
- 3) 10 liter microferm.
- 4) 60 kg zeeschelpenkalkmeel en 60 kg kleimineralen

Goede Bokashi heeft een droge stof gehalte van minimaal 25 en maximaal 50 % droge stof.
De C/N verhouding 1:20 (1 stikstof / 20 delen koolstof)

Samenstelling Bokashi per 5 ton te maken eindproduct.

Eventueel de EM-A verdunnen met water in een oplossing van ca 1: 100 voor een betere verdeling door de hoop.

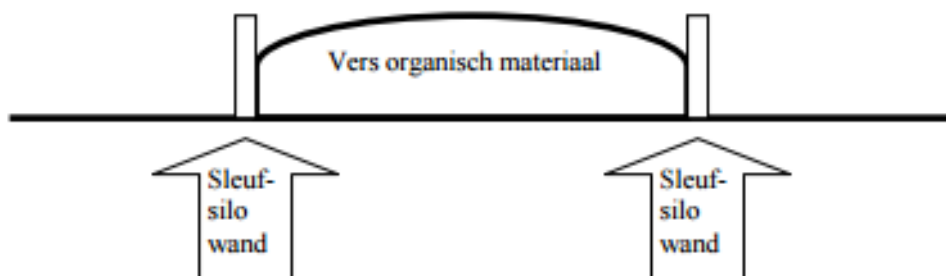
- 1) Breng eerst een ruime laag gesneden stro aan op de bodem.
- 2) Verdeel een deel van de benodigde hoeveelheid EM-A over het stro.
- 3) Verdeel een deel van de zeeschelpenkalk en kleimineralen over het stro.
- 4) Verspreid vervolgens een laag drijfmest over het stro.
- 5) Verdeel een deel van de benodigde hoeveelheid EM-A over de mest.
- 6) Breng vervolgens weer een laag stro aan.
- 7) Verdeel een deel van de benodigde hoeveelheid EM-A over het stro.
- 8) Verdeel weer een deel van de zeeschelpenkalkmeel en kleimineralen.
- 9) Vervolgens weer drijfmest aan brengen.
- 10) Etc, etc, etc

Breng zoveel drijfmest aan dat de mest er niet uit gaat lopen. Vooral de eerste laag drijfmest de gelegenheid geven om door het stro te worden opgezogen. Het is beter vele dunne laagjes te maken dan enkele dikke lagen.

Dek de gemaakte hoop vervolgens luchtdicht af en laat deze minimaal zeven weken luchtdicht zitten. Hoe langer de hoop zit hoe beter het resultaat.

Breng voldoende drijfmest aan, maar zorg ervoor dat de mest er niet uit gaat lopen. Vooral de eerste laag drijfmest de gelegenheid geven om door het stro te worden opgezogen.

Dek de gemaakte hoop vervolgens luchtdicht af en laat deze minimaal zes weken luchtdicht zitten. Hoe langer de hoop zit hoe beter het resultaat.



Figuur 12 Handleiding voor het maken van Bokashi met drijfmest en stro.

10.2. Appendix 2

Belangrijkste punten uit de Vrijstellingsregeling plantenresten:

Organisch materiaal van plantaardige herkomst dat vrijkomt bij het maaien van grazige kruidenvegetaties, groeiend op wegbermen, langs of in watergangen en op waterkeringen mag geplaatst worden op een aangrenzend perceel. Voor de eigenaar van het aangrenzend perceel geldt ontvangstplicht voor specie en maaisel volgens artikel 5.23 tweede lid, Waterwet. Het aangrenzend perceel grenst direct of maximaal 100 meter aan de plaats waar het bermmaaisel vrijkomt.

In gevallen waarin het aangrenzende perceel niet geschikt is mag het bermmaaisel op of in de bodem worden gebracht van een ander perceel van het bedrijf waartoe het aangrenzend perceel behoort. Hier geldt wel de beperkende afstandsregel van maximaal één kilometer van de plaats waar het bermmaaisel is vrijgekomen.

Deze afstand beperkingen zijn in realiteit onpraktisch door het verschil in maaitijdstip en het moment van bewerken van bouwland evenals het niet kunnen onder werken op permanent grasland.

Vanuit het waterschap is de vraag gesteld of het mogelijk is om aan te sluiten bij het Besluit bodemkwaliteit (BBK) voor het verspreiden van baggerspecie en de maximale perceelsafstand van tien kilometer in te voeren. Het BBK heeft betrekking op bouwstoffen en baggerspecie, bermmaaisel voldoet echter niet aan de definities voor de begrippen bouwstof noch baggerspecie en kan dus niet aansluiten bij dit Besluit.

Verder heeft Spijker *et al.* (2004) onderzocht of het bermmaaisel kan worden vergeleken met baggerslib, compost (alternatieve meststof/bodemverbeteraar) of zwarte grond. Voor alle drie is dit niet het geval, aangezien de hoeveelheden zware metalen de normen onderschrijden. Het maaisel moet verder schoon en onverdacht zijn en de hoeveelheid uitgereden maaisel moet evenwichtig zijn in verhouding tot het oppervlak van het ontvangend perceel. Deze hoeveelheid wordt bovendien gelijkmatig verspreid en draagt niet significant bij aan de verspreiding van nutriënten en zware metalen.

(Spijker & Ehlert, 2004) heeft onderzoek gedaan naar de bijdrage van stikstof en fosfaat bij het onderwerken van berm- en slootmaaisel, onder verschillende omstandigheden. Onder de slechts mogelijke uitgangspositie is de bijdrage van stikstof en fosfaat 0,7% van de totale jaarlijks toegestane gift per hectare. Hierbij is uitgegaan van een hoogproductieve berm, rijk aan nutriënten, van 1200 bij 5 meter met een grasopbrengst van 4,2 ton droge stof. Het werkingspercentage van de nutriënten is gesteld op 100%, terwijl monsternamen hebben aangetoond dat de werking percentages voor bermmaaisel 10-15% en voor slootmaaisel 25-40% bedragen. Er moet echter wel opgemerkt worden dat deze geringe hoeveelheid maaisel is uitgereden op 36 hectare bouwland. Wordt het maaisel op een kleiner perceel uitgereden zijn de bijdragen van stikstof en fosfaat hoger.

Aangezien vooral bermmaaisel het nodige afval kan bevatten is het nodig dit te verwijderen, alvorens dit ondergewerkt mag worden. De hoeveelheid zware metalen blijft onder het maximum toegestane gehalte aan zware metalen (tabel 1, bijlage 2 van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet). Wel zijn de gehalten aan cadmium en zink in bermgras aan de hoge kant (Spijker *et al.*, 2004).

Er wordt in de literatuur meerdere malen gesproken over de Mestwet. Maaisel is ten eerste niet opgenomen in de lijst met erkende meststoffen. Ten tweede bevat het maaisel niet de minimale hoeveelheden van een of meerdere erkende meststoffen (bijvoorbeeld stikstof en fosfaat) om door te gaan voor mest. Echter zou maaisel op de lange termijn een verbeterend effect op de bodem kunnen hebben, waardoor het als meststof aangerekend zou kunnen worden. Wordt het maaisel gecomposteerd en vervolgens op het perceel verwerkt, dan is de Meststoffenwet wel van toepassing.

Verder is gevraagd of de Activiteitenregeling Milieubeheer van toepassing is. Dit is niet het geval aangezien deze regeling betrekking heeft op agrarische bedrijfsstoffen. Hieronder vallen: dierlijke meststoffen die niet verpompbaar zijn, kuilvoer, bijvoedermiddelen die niet verpompbaar zijn, gebruikt substraatmateriaal van plantaardige oorsprong en restmateriaal afkomstig van de teelt van gewassen, voor zover geen sprake is van inerte goederen. Bermmaaisel kan niet in een van deze categorieën geplaatst worden en dus heeft deze regelgeving geen betrekking op bermmaaisel. Volgens paragraaf 3.5.7 van het Activiteitenbesluit Milieubeheer mag maaisel op een bedrijf tot 600 m³ zonder vergunning gecomposteerd worden. Als er korter dan negen maanden op een plek wordt gecomposteerd, hoeven er geen extra bodem beschermende maatregelen genomen te worden (Activiteitenregeling, artikel 3.95).

10.3. Appendix 3

Bijlage II behorende bij het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet

Tabel 7 Maximale waarden voor zware metalen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel

Zware metalen	Maximale waarden in mg kg ⁻¹ van het desbetreffende waardegevende bestanddeel				
	Fosfaat	Stikstof	Kali	Neutraliserende waarde	Organische stof
Cd (Cadmium)	31,3	25	16,7	6,3	0,8
Cr (Chroom)	1875	1500	1000	375	50
Cu (Koper)	1875	1500	1000	375	50
Hg (Kwik)	18,8	15	10	3,8	0,5
Ni (Nikkel)	750	600	400	150	20
Pb (Lood)	2500	2000	1333	500	67
Zn (Zink)	7500	6000	4000	1500	200
As (Arseen)	375	300	200	75	10

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kilogram fosfaat, 100 kg stikstof, 150 kilogram kali, 400 kilogram neutraliserende waarde of 3.000 kilogram organische stof het éérst wordt bereikt.

Tabel 8 Maximale waarden voor organische microverontreinigingen in meststoffen per kilogram van het desbetreffende waardegevende bestanddeel

Organische micro-verontreinigingen	Maximale waarden in mg kg ⁻¹ van het desbetreffende waardegevende bestanddeel				
	Fosfaat	Stikstof	Kali	Neutraliserende waarde	Organische stof
Σ PCDD/PCDF	0,019	0,015	0,010	0,0038	0,00051
α-HCH	310	248	165	62	8,3
β-HCH	12	9,6	6,4	2,4	0,32
γ-HCH (lindaan)	1,2	0,96	0,64	0,24	0,032
HCB	31	31,2	20,8	7,8	1,0
Aldrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Dieldrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Σ aldrin/dieldrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Endrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
Isodrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
S endrin/isodrin	7	5,6	3,7	1,4	0,2
S DDT + DDD + DDE	23	18,4	12,3	4,6	0,6
PCB-28	18,5	14,8	9,9	3,7	0,48
PCB-52	18,5	14,8	9,9	3,7	0,48
PCB-101	75	60	40	15	2
PCB-118	75	60	40	15	2
PCB-138	75	60	40	15	2
PCB-153	75	60	40	15	2
PCB-180	75	60	40	15	2
Σ 6-PCB (excl. PCB-	375	300	200	75	10

118)					
Naftaleen	600	480	320	120	16
Fenanthreen	750	600	400	150	20
Antraceen	600	480	320	120	16
Fluoranteen	185	148	98	37	4,9
Benzo(a)antraceen	230	184	123	46	6,1
Chryseen	230	184	123	46	6,1
Benzo(k)fluoranteen	270	216	144	54	7,2
Benzo(a)pyreen	290	232	155	58	7,7
Benzo(g,h,i)peryleen	210	168	112	42	5,6
Indeno(1,2,3-c,d)pyreen	235	188	125	47	6,3
Σ 10-PAK	11500	9200	6133	2300	307
Minerale olie	935000	748000	498668	187000	24933

Voor de toepassing van deze tabel zijn de maximale waarden van toepassing die behoren bij dat waardegevende bestanddeel waarvan bij het toedienen van een toenemende hoeveelheid van de meststof, de hoeveelheden van 80 kilogram fosfaat, 100 kg stikstof, 150 kilogram kali, 400 kilogram neutraliserende waarde of 3.000 kilogram organische stof het éérst wordt bereikt.