

**Onderzoek potentie
landelijk verwaarden maaisel
Werkgroep Biomassa
Energie- & Grondstoffenfabriek**



Verantwoording

Titel	Onderzoek potentie landelijk verwaarden maaisel Werkgroep Biomassa Energie- & Grondstoffenfabriek
Opdrachtgever	Joost Schrande (Waterschap Zuiderzeeland) Annelies Balkema (Waterschap De Dommel)
Projectnummer	1858486
Documentidentificatie	1858486-R06
Auteur(s)	ing. D. van Lieshout, ing. Nick Voets, drs. ing. R. Verberne MBA
Aantal pagina's	31

Autorisatie drs. ing R. Verberne MBA

Datum 04 maart 2019

Ingenia Consultants & Engineers BV

Esp 118 | 5633 AA Eindhoven | Nederland

T + 31-(0)40-239 30 30 | E info@ingenia.nl | I www.ingenia.nl

Ingenia © 2019

Niets uit dit document mag zonder schriftelijke toestemming van Ingenia of de opdrachtgever geheel of gedeeltelijk vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm, digitale technieken of anderszins. Dit document is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Ingenia kan echter niet aansprakelijk worden gesteld voor enige directe, indirecte, toekomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken. Ingenia® is een wettelijk beschermd handelsmerk van Ingenia (Bureau Benelux des Marques dep.nr. 100.09.58)

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	6
1.1	Doel.....	6
1.2	Opzet onderzoek	6
2	Beschikbaarheid maaisel	7
2.1.1	Rijkswaterstaat	8
2.1.2	Waterschappen (STOWA).....	8
2.1.3	Staatsbosbeheer	9
2.2	Conclusie potentieel en beschikbaarheid	10
2.3	Overige bronnen van maaisel.....	10
3	Overzicht verwaardingsroutes.....	11
3.1	Bioraffinage	11
3.1.1	Eiwit.....	11
3.1.2	Lignocellulose.....	12
3.1.3	Vezel	13
3.1.4	Sap.....	13
3.2	Direct.....	14
3.2.1	Bouwmateriaal.....	14
3.3	Waterzuivering	14
3.4	Bodemverbeteraar.....	15
3.4.1	Bokashi.....	15
3.4.2	Composteren.....	15
3.4.3	Digestaat	16
3.5	Energie.....	16
3.5.1	Vergisting	16
3.5.2	Fermentatie	16
3.5.3	Torrefactie, pyrolyse, verbranden en vergassen	17
4	Matrixanalyse verwaardingsroutes.....	18

4.1	Criteria en weegfactoren	18
4.1.1	Weegfactoren	18
4.1.2	Criterium 1: Wat is de inzetbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maaisel (bijv. gras, riet, waterplanten, ...)?	19
4.1.3	Criterium 2: Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?	19
4.1.4	Criterium 3: Is de technologie flexibel of modulair uit te rollen?	19
4.1.5	Criterium 4: Draagt een project met deze technologie bij aan het thema "Samenwerken in directe regio"?	19
4.1.6	Criterium 5: Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?	19
4.1.7	Criterium 6: Was is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO ₂ equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)?	20
4.1.8	Criterium 7: Welke (natuurlijke) bronnen vervangt of spaart dit product of deze technologie?	20
4.1.9	Criterium 8: Op welk niveau in de waardepiramide bevindt zich dit product of de technologie?	21
4.1.10	Criterium 9: Zijn er voor dit product wettelijke of regelgevende beperkingen te verwachten?	21
4.1.11	Criterium 10: Is er op dit moment of korte termijn concrete vraag uit de markt voor dit product?	21
4.1.12	Criterium 11: Kunnen Overheden een rol nemen als Launching Customer om marktintroductie te versnellen?	22
4.2	Economisch toegevoegde waarde	22
5	Scenario-analyses.....	23
5.1	Scenario-analyse 11 criteria	23
5.2	Scenario-analyse Top 3 criteria	23
6	Conclusies.....	24
6.1	Discussie	24

Bijlagen

BIJLAGE A	Overzicht verwaardingsroutes	25
BIJLAGE B	Scenario analyse op basis van 11 criteria	26
BIJLAGE C	Scenario-analyse op basis van Top 3 criteria	27
BIJLAGE D	Berekende samenstelling componenten en energetische waarde maaisel.....	28
BIJLAGE E	Gehanteerde uitgangspunten bepaling van CO ₂ besparing en economische waardering	29
BIJLAGE F	Geraadpleegde literatuur.....	31

Figuren

Figuur 2-1 Diversiteit van het potentieel aan maaisels (tonnen nat).....	9
Figuur 3-1 Overzicht verwaardingsroutes (zie ook BIJLAGE A).....	11
Figuur 3-2 Eiwit-extractieproces.....	12
Figuur 3-3 Lignocellulose ontsluiting proces.....	12
Figuur 3-4 Vezel-extractie proces.....	13
Figuur 3-5 Zout-extractie proces.....	14
Figuur 3-6 Zuiveringsproces Aquafarm (bron: Aquafarm).....	15
Figuur 3-7 Voorbeeld van productie van Bokashi.....	15
Figuur 3-8 Vergistingsproces.....	16
Figuur 3-9 Fermentatieproces.....	17
Figuur 3-10 Thermische verwaarding.....	17
Figuur 4-1 Technology Readiness Levels (Europese Commissie).....	20
Figuur 4-2 Waarde-piramide biobased economy.....	21
Figuur 4-3 Technology push vs. Market pull.....	22
Figuur 5-1 Scenario-analyse op basis van 11 criteria.....	23
Figuur 5-2 Scenario-analyse Top 3 criteria.....	23

Tabellen

Tabel 2-1 Potentieel maaisel in ton nat/jaar. NB: de tussen () geplaatste waarden zijn ingeschat op basis van 25 en 50% beschikbaarheid van het potentieel.....	10
Tabel 4-1 Criteria en weegfactoren.....	18

1 Inleiding

In samenwerking met vertegenwoordigers van Staatsbosbeheer, Rijkswaterstaat, STOWA en de Waterschappen is de Werkgroep Biomassa opgericht binnen de Energie en Grondstoffen Fabriek (EFGF). De organisaties die zijn aangesloten bij deze werkgroep zijn in Nederland verantwoordelijk voor het beheer en onderhoud van natuur en landschappen. De Werkgroep Biomassa heeft als doel om door het realiseren van innovaties een bijdrage te leveren aan het verwaarden van biomassa dat vrijkomt bij het beheer. Eén van de biomassastromen die vrijkomt bij het terreinbeheer is maaisel. Maaisel, bestaande uit o.a. bermgras, natuurgras, dijkmaaisel en slootmaaisel, wordt momenteel overwegend gecomposteerd, gebruikt als veevoer of wordt toegepast als bodemverbeteraar. In Nederland zijn reeds initiatieven gestart om maaisel ook op andere manieren te verwaarden.

1.1 Doel

Doel van deze opdracht is om inzicht te krijgen in de alternatieven mogelijkheden ten aanzien van maaisel verwaarding en de potentie te onderzoeken om dergelijke routes landelijk in te zetten.

1.2 Opzet onderzoek

Aan de hand van bestaande rapporten en literatuur wordt geïnventariseerd hoeveel maaisel momenteel beschikbaar is voor verwerking (Hoofdstuk 2).

Er is aan de hand van diverse rapporten en een literatuurstudie een overzicht gemaakt van de thans bekende verwaardingsroutes voor maaisel (Hoofdstuk 3).

Aansluitend is een opzet gemaakt voor matrix-analyse van de verwaardingsroutes. Hiervoor werden 11 criteria toegepast samen met een schatting van de economisch toegevoegde waarde (Hoofdstuk 4).

Vervolgens zijn de criteria en economische toegevoegde waarde in de matrix verwerkt en zijn twee scenariosanalyses uitgevoerd (.

2 Beschikbaarheid maaisel

Het daadwerkelijk inventariseren van de hoeveelheid viel niet binnen de scope van deze opdracht. In Nederland wordt onderhoud en beheer aan natuur- en landschappen uitgevoerd door verschillende organisaties. Dit onderzoek focust zich uitsluitend op het maaisel dat vrijkomt bij Rijkswaterstaat, de Waterschappen en Staatbosbeheer. Er werd op basis van reeds beschikbare literatuur geïnterviewd hoeveel maaisel jaarlijks vrijkomt bij de desbetreffende organisaties.

De beschikbaarheid van maaisel van andere landschapsbeheerders werd in het kader van dit onderzoek niet beschouwd, dit betreft dan onder andere:

- gemeenten,
- Natuurmonumenten,
- provinciale landschapsbeheerders (zoals It Fryske Gea, Brabants Landschap, Geldersch Landschap, ...),
- waterleidingbedrijven
- particulieren

In diverse (recente) onderzoeken is met verschillende methodieken de hoeveelheid maaisel geïnterviewd. Bij de interpretatie van cijfers uit deze onderzoeken is het relevant om rekening te houden met de volgende aspecten:

1. Het vochtgehalte heeft significante impact op het aantal tonnen dat wordt gerapporteerd. De gerapporteerde cijfers kunnen droog of nat zijn. Dit kan een aanzienlijk verschil (een factor 2 tot 5) opleveren, mede gezien het feit dat het moment van maaien (seizoen, nat of droog weer) en het tijdsverschil tussen afvoer (direct of enkele weken tot maanden);
2. Het as- c.q. zandgehalte van het maaisel kan hoog of laag zijn. Dat hangt mede af van bodemsoort (klei, zand, ...), bodemgesteldheid (hard, zacht) en moment van maaien (seizoen: nat of droog weer).
3. De wijze van het verzamelen van gegevens kan op verschillende manier plaats hebben gevonden. Gebruikelijke methoden zijn:
 - a. Op basis van tonnen zoals aanbesteed;
 - b. Op basis van gecontracteerd areaal of gecontracteerde lengte van bermen of oevers, al dan niet met een maaibreedte en vervolgens op een opbrengst per m², hectare of kilometer;
 - c. Op basis van actuele afvoer in een specifiek jaar of seizoen
4. Onderlinge verschillen en wijzingen in het beheer van het areaal door de verschillende landschapseigenaren. Te denken valt aan:
 - a. ecologisch beheer (bijvoorbeeld het alleen maaien van de eerste meters van de berm of waterkant),
 - b. de frequentie van het maaien (een of twee maal per jaar),
 - c. projecten ter verbetering van de biodiversiteit
 - d. en/of het bestrijden van invasieve plantensoorten (exoten);
5. Verschillende interpretaties van definitie en reikwijdte van de term maaisel: uitsluitend bermgras, riet, heide, andere vegetatie.
6. Het verschil tussen daadwerkelijke **beschikbaarheid** en **potentieel**.

2.1.1 Rijkswaterstaat

Bij Rijkswaterstaat is de hoeveelheid vrijgekomen maaisel momenteel niet exact bekend. In 2014 is door de Wageningen Universiteit¹ aan de hand van de arealen (in totaal 120.000 ha.) van het direct en indirect territoriaal beheer én het oppervlaktesoort (en vegetatie) ingeschat wat het potentieel aan maaisel bij Rijkswaterstaat is. In deze analyse is onderscheid gemaakt tussen het eigen beheer en waterstaatkundig beheer. Het waterstaatkundig beheer betreft de uiterwaarden die onder beheer zijn van anderen maar waar RWS het waterstaatkundig beheer heeft. In totaal is de potentie naar schatting 792.000 ton maaisel (droge stof) per jaar vrij. Vertaald naar natte stof (gemiddeld 50%) betreft dat een potentieel van 1.584.000 ton.

2.1.2 Waterschappen (STOWA)

In Nederland worden vindt het waterbeheer plaats door in totaal 21 Waterschappen. In 2017 is door STOWA² onder acht Waterschappen een enquête uitgevoerd ten aanzien van de hoeveelheid planten die jaarlijks door de desbetreffende Waterschappen gemaaid wordt.

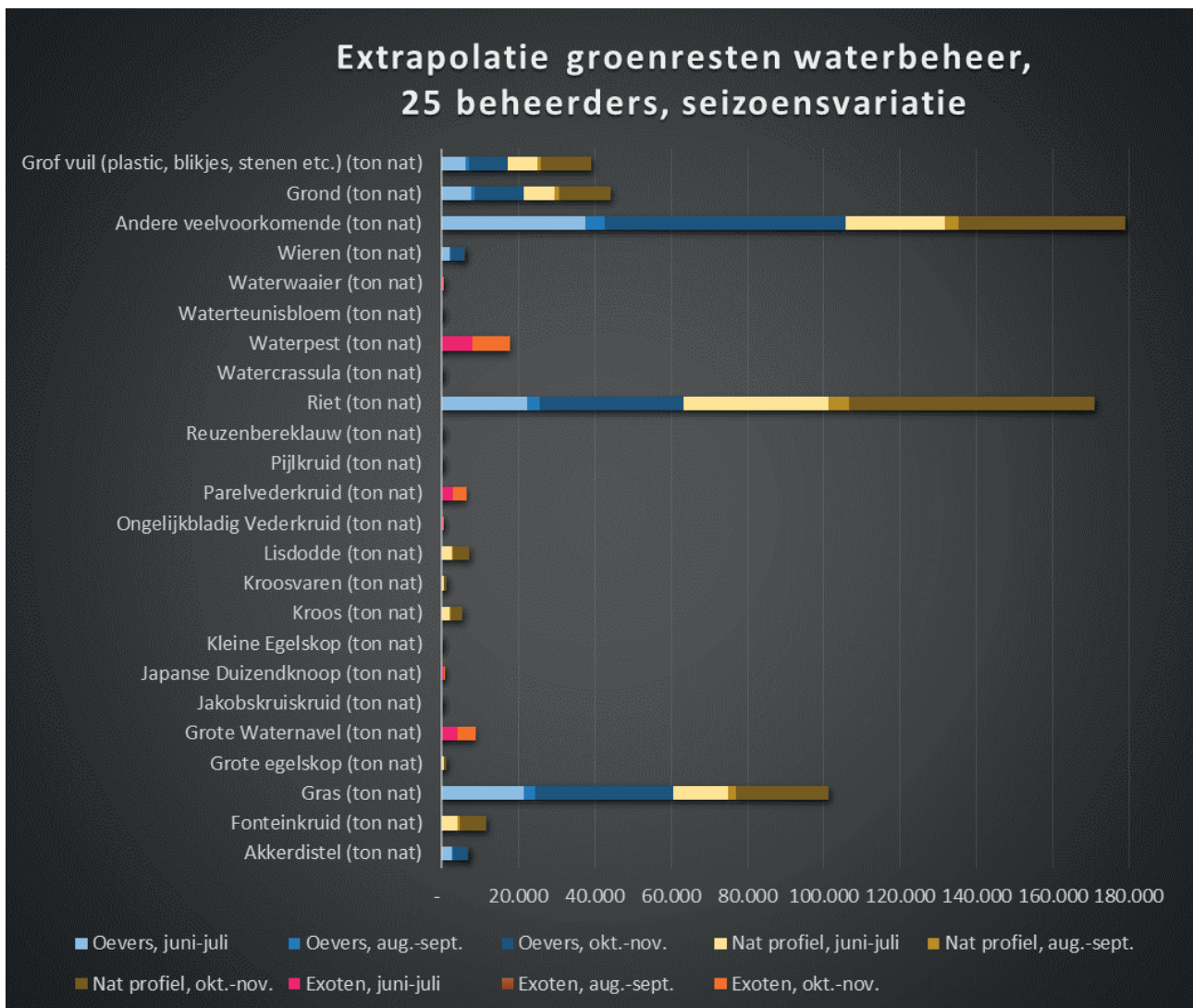
Middels extrapoleren (zie Figuur 2-1) is door STOWA vervolgens een indicatie gemaakt over de totale hoeveelheid bij alle Waterschappen in Nederland. Op basis van de beschikbaar gekomen gegevens wordt geschat dat jaarlijks minimaal 500.000 ton (nat) maaisel vrijkomt. Deze hoeveelheden geven volgens STOWA met zekerheid een (ruime) onderschatting van de daadwerkelijk aanwezige hoeveelheden.

De voornaamste soorten maaisels betreft:

- Riet : ca. 175.000 ton
- Andere veelvoorkomende¹ : ca. 180.000 ton
- Gras : ca. 100.000 ton

Door STOWA wordt geschat wordt dat 25%-50% van de maaisels wordt afgevoerd. De totale "markt" is daarmee minimaal 125.000-250.000 ton (nat) maaisel.

¹ Grasachtigen, zegge, biezen, brandnetel, zuringsoorten, distel, pitrus, grote berenklauw en lisdodde vallen onder de "andere veelvoorkomende planten". Brandnetel wordt daarbij het vaakst genoemd.



Figuur 2-1 Diversiteit van het potentieel aan maaisels (tonnen nat)

2.1.3 Staatsbosbeheer

Staatbosbeheer beheert in Nederland 265.000 ha bos, natuur en landschappen. In het Jaarverslag³ van Staatbosbeheer komt bij het onderhoud aan graslanden jaarlijks 200.000 ton ‘natuurgras’ vrij, waarbij Staatbosbeheer 4.000 ton natuurgras speciaal inzet voor (niet nader gedefinieerde) innovatieve projecten.

Het is naar mening van Ingenia niet mogelijk om op grond van de (recente) literatuuronderzoeken om met een hoge nauwkeurigheid of betrouwbaarheid vast te stellen wat de daadwerkelijke **beschikbaarheid** danwel het **potentieel** aan maaisel is.

2.2 Conclusie potentieel en beschikbaarheid

De gegevens voor dit onderzoek zijn tot stand gekomen uit de meest recente onderzoeken van Rijkswaterstaat (zie 2.1.1), STOWA (zie **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**) en Staatsbosbeheer (zie 2.1.3). In Tabel 2-1 is het **potentieel** aan maaisel weergegeven dat voor Rijkswaterstaat en de Waterschappen, terwijl voor Staatsbosbeheer de cijfers afkomstig zijn uit het jaarverslag en daarmee de **beschikbaarheid** betreft.

De in Tabel 2-1 gepresenteerde gegevens geven het **potentieel** aan maaisel weer en de cijfers van Rijkswaterstaat zijn genormaliseerd op tonnen nat materiaal (op basis van 50% droge stof). STOWA heeft aangegeven 25 à 50% van de hoeveelheid beschikbaar is voor de markt. Voor Rijkswaterstaat is de beschikbaarheid onbekend, echter in het kader van dit onderzoek is door Ingenia de veronderstelling gedaan dat het beschikbaarheidspercentage voor Rijkswaterstaat vergelijkbaar is als met dat van STOWA (d.w.z. 25 à 50%). Wellicht kan Staatsbosbeheer het beschikbare maaisel verdubbelen en is het potentieel hoger conform dezelfde beschikbaarheidspercentages van 25 en 50%.

Derhalve is voor het doel van dit rapport ingeschat dat het **potentieel** aan maaisel weliswaar ca. 2,9 miljoen ton is, maar er momenteel maar 25 of 50% dus 730.000 à 1,5 miljoen ton beschikbaar is voor de markt.

Tabel 2-1 Potentieel maaisel in ton nat/jaar. NB: de tussen () geplaatste waarden zijn ingeschat op basis van 25 en 50% beschikbaarheid van het potentieel.

Beheerder	Maaisel per type				100%	25%	50%
	Bermgras	Riet/ruigte	Andere kruidachtige vegetatie	Watervegetatie	Potentieel	Beschikbaar	Beschikbaar
Rijkswaterstaat	Eigen beheer	268.000 ton/jaar		140.000 ton/jaar	1.600.000 ton/jaar	(400.000) ton/jaar	(800.000) ton/jaar
	Waterstaatkundig beheer	1.026.000 ton/jaar		150.000 ton/jaar			
Waterschappen	100.000 ton/jaar	170.000 ton/jaar	230.000 ton/jaar		500.000 ton/jaar	(130.000) ton/jaar	(250.000) ton/jaar
Staatbosbeheer	Veevoer/bodemverbeteraar	196.000 ton/jaar			(800.000) ton/jaar	200.000 ton/jaar	(400.000) ton/jaar
	Innovatieve ontwikkelingen	4.000 ton/jaar					
TOTAAL					(2.900.000) ton/jaar	(730.000) ton/jaar	(1.450.000) ton/jaar

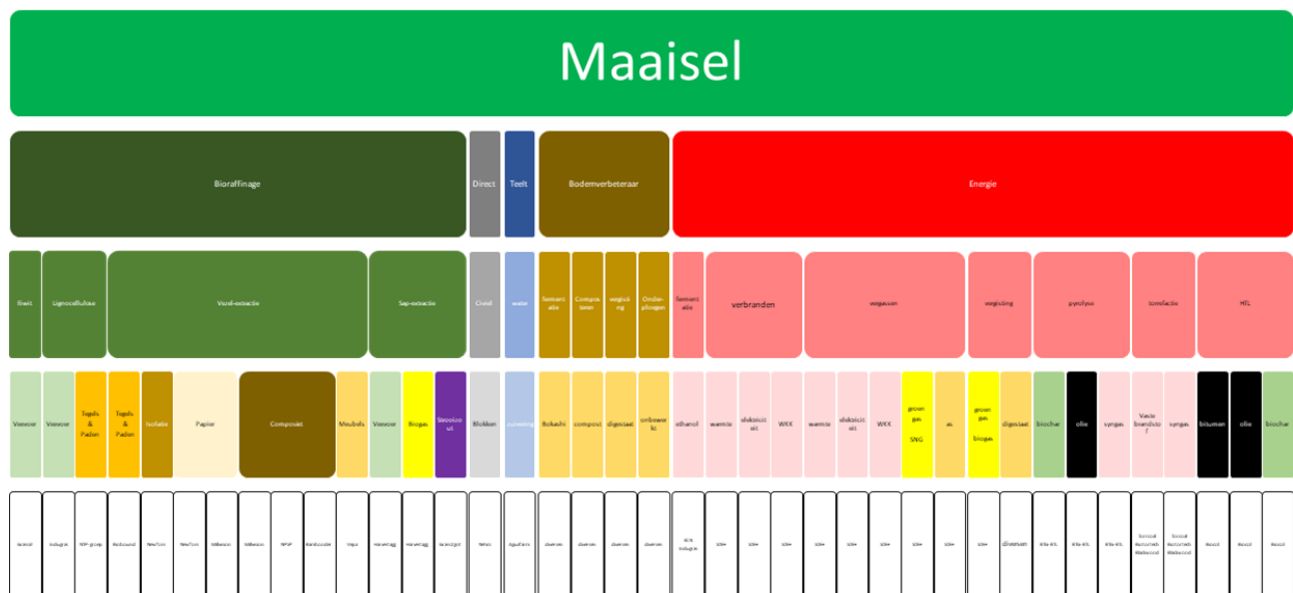
2.3 Overige bronnen van maaisel

Er is geen samenvattend overzicht van rapporten van andere landschapsbeheerders. Er zijn wel diverse onderzoeken in opdracht van een of meerdere individuele landschapsbeheerders.

3 Overzicht verwaardingsroutes

Aan de hand van beschikbare rapporten en literatuuronderzoek zijn de verwaardingsroutes voor maaisel in beeld gebracht (zie BIJLAGE A en Figuur 3-1). In dit overzicht is onderscheid gemaakt in 5 hoofdverwaardingsroutes:

1. Bioraffinage
2. Direct verwaarden
3. Teelt
4. Bodemverbeteraar
5. Energie



Figuur 3-1 Overzicht verwaardingsroutes (zie ook BIJLAGE A).

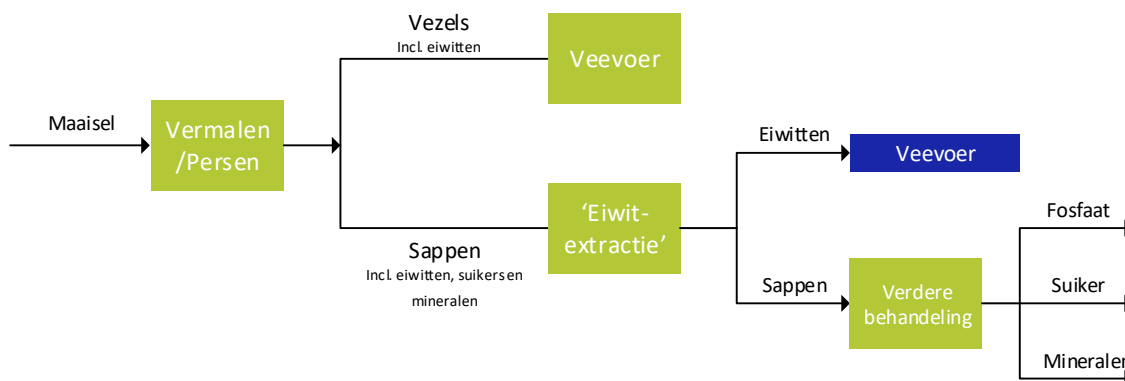
3.1 Bioraffinage

Binnen de bioraffinage is onderscheid gemaakt in vier routes:

1. Eiwit
2. Lignocellulose
3. Vezel
4. Sap

3.1.1 Eiwit

Grassa! heeft een technologie ontwikkeld waarbij hoogwaardig eiwit uit maaisel kan worden gewonnen. Het eiwit wordt door middel van bepaalde technieken gescheiden van de vezels en geschikt gemaakt als grondstof voor voornamelijk veevoer. Hierbij worden de sappen verwarmd en/of organisch zuur toegevoegd zodat het eiwit zijn vast vorm krijgt. Eiwitextractie bestaat uit grofweg de volgende stappen:



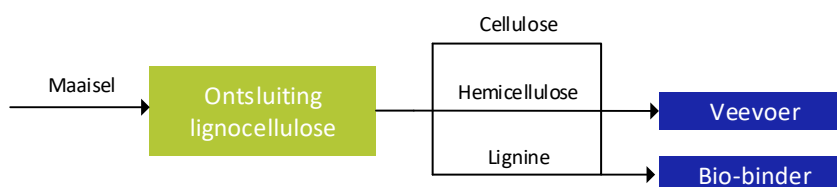
Figuur 3-2 Eiwit-extractieproces

Naast eiwitten worden ook andere componenten gewonnen uit het maaisel, waaronder vezels, suiker, mineralen en fosfaten. Deze bestanddelen kunnen vervolgens worden toegepast voor andere doeleinden, zoals bodemverbeteraar. Ten aanzien van deze verwerkingstechniek zijn niet alle maaisels geschikt voor directe inzet. Als gevolg van het hoge vochtgehalte in watervegetatie zal het voorafgaand het extractieproces gedroogd moeten worden. Grassa! is inmiddels ook bezig met de ontwikkeling van een mobiele raffinagemachine. Dit maakt het mogelijk om maaisel op verschillende locaties te kunnen verwaarden.

Harvestagg heeft een concept ontwikkeld waarbij de sappen uit maaisel worden verwerkt tot veevoer (eiwit- en koolhydraatrijk). De resterende perskoek (bevat o.a. vezels) dat vrijkomt bij dit proces kan vervolgens worden ingezet voor het opwekken van biogas middels vergisting. Zowel de sap-extractie als de vergisting zal hierbij op een locatie plaatsvinden.

3.1.2 Lignocellulose

Indugas is momenteel, in samenwerking met TNO, bezig met de ontwikkeling van een ontsluitingstechnologie. Door middel het verhitten van biomassa met super heated steam kan lignocellulose uit maaisel worden ontsloten om bruikbare componenten, zoals cellulose, hemicellulose en lignine vrij te maken.

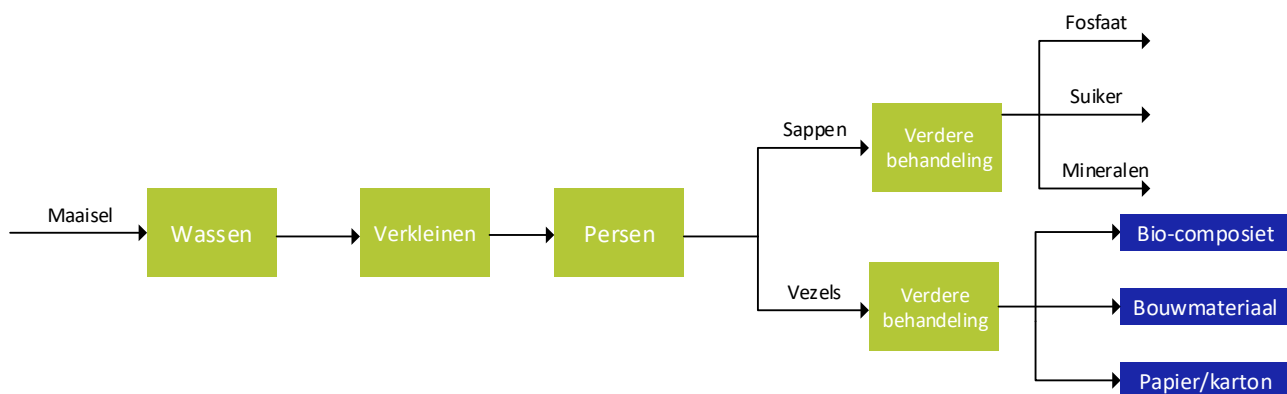


Figuur 3-3 Lignocellulose ontsluiting proces

Dergelijke componenten kunnen worden gebruikt worden als energierijke veevoertoepassing. De technologie is momenteel uitsluitend nog op labschaal uitgevoerd en is hierdoor nog niet commercieel beschikbaar.

3.1.3 Vezel

Evenals bij eiwit-extractieprocessen wordt het maaisel geperst waarbij vezels en sappen van elkaar worden gescheiden. De vezels die vrijkomen bij dit proces kunnen als grondstof dienen voor de verschillende doeleinden, waaronder papier, bio-composiet en bouw materiaal (o.a. isolatiemateriaal). Op het gebied van vezel-extractie zijn inmiddels verschillende bedrijven actief, waaronder Newfoss en Millvision. Bij Newfoss wordt door middel van microbiologische processen het maaisel gekraakt, waarbij naast vezels ook vloeibare stromen ontstaan die toepasbaar zijn als bodemverbeteraar. Inmiddels heeft Newfoss al zijn eerste commerciële installatie geopend waar jaarlijkse 40.000 ton biomassa wordt verwerkt tot papier en karton. Door het toepassen van voorbehandelingstechnieken maakt Newfoss het mogelijk om ook vervuilde watervegetatie te verwerken.



Figuur 3-4 Vezel-extractie proces

Naast papier kan ook composiet uit vezels worden gevormd ten behoeve van onder andere inrichtingsmateriaal. Millvision, NPSP en Bambooder (verwerkt uitsluitend bamboe) zijn bedrijven die zich focussen op deze verwerking. Het natuurlijke vezel wordt met een bindmiddel gemengd, waarna het met biologisch hars kan worden samengeperst tot bio-composiet. NPSP produceert momenteel al verschillende bio-composiet producten (Nabasco8010) dat zowel geschikt is voor binnen als voor buitentoepassingen.

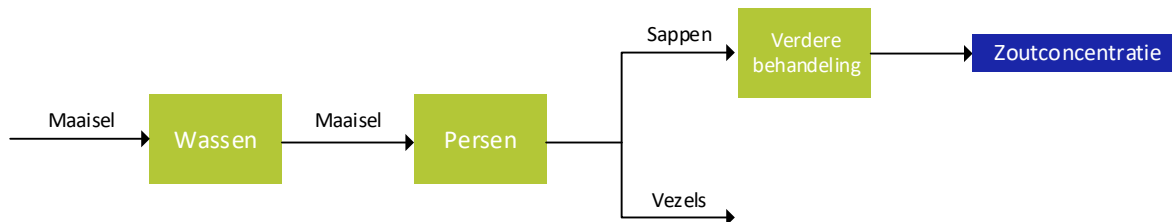
Maaisel kan gebruikt worden voor bouw materiaal. Biobound ontwikkeld betontegels die voor 50% uit gras bestaan. De grassoort dat hiervoor wordt gebruikt is Miscanthus dat groeit in de directe omgeving van Schiphol. De vezels in dit gras worden samengemengd met onder andere glasschuim en traditioneel beton. Naast betontegels is in Noord-Holland een fietspad aangelegd dat op een vergelijkbare manier door Biobound is geproduceerd. Het is onduidelijk of vezels van andere type maaisels dan gras ook toepasbaar zijn in dit type bouw materiaal.

3.1.4 Sap

Naast fosfaat, suiker en mineralen kan uit het sap van maaisel ook zout worden gewonnen. Grassa! en NewFoss extraheren naast vezel en eiwit ook sap uit het gras. Dit sap wordt vooralsnog ingezet in vergisting.

Grass2grit heeft een techniek ontwikkeld waarbij het zout van het sap kan worden gescheiden. Het zout kan hierdoor worden toegepast als biobased dooimiddel op wegen. Door middel van onder andere elektrolyse worden het zout gescheiden van de niet-geladen deeltjes. Uiteindelijk wordt het natuurlijke zout gemengd met vast zout (verhouding 20%

– 80%) waardoor het een overeenkomstige werking krijgt als bestaand strooizout. Momenteel worden verschillende proeven met het biobased dooimiddel uitgevoerd.



Figuur 3-5 Zout-extractie proces

Maaisel kan gebruikt worden voor bouw materiaal. NTP-groep heeft een technologie ontwikkeld waarbij asfalt geproduceerd wordt uit olifantsgras. In deze technologie wordt lignine uit het olifantsgras omgezet in bitumen. Het is onduidelijk hoe de lignine uit het olifantsgras wordt omgezet in bitumen. Het product is inmiddels uitgetest als bitumenvervanger in een fietspad in Zevenaar.

3.2 Direct

3.2.1 Bouw materiaal

Netics produceert uit baggerspecie (bestaande uit o.a. waterplanten) bouw materiaal voor bijvoorbeeld dijkversterkingen, havenconstructies en natuurvriendelijke oevers. Dit doen zij door geotextiele tubes op te vullen met baggerspecie. Dergelijke constructies zijn al op sommige plaatsen in Nederland in de praktijk toegepast onder beoogde omstandigheden. Naast deze toepassing is Netics ook bezig met het produceren van bouw blokken uit baggerspecie door middel van persen.

3.3 Waterzuivering

Waterplanten (en micro-organismen) kan worden toegepast voor het zuiveren van afvalwater. Aquafarm heeft een zoetwaterboerderij ontwikkeld waarbij de zuiverende werking van planten wordt benut om rioolwater te zuiveren. Het zuiveringsproces vindt gecascadeerd plaats waarbij door verschillende organismen afvalstoffen uit het afvalwater wordt onttrokken. Naast het zuiveren van water is Aquafarm momenteel ook bezig om waardevolle stoffen (o.a. fosfor) uit het proces terug te winnen.

Dit proces is uitsluitend gericht op de productie van waterplanten en daarmee niet op geogste waterplanten. Maaisel dat vrijkomt bij beheer en onderhoud kan hierdoor niet worden ingezet voor het zuiveren van afvalwater.



Figuur 3-6 Zuiveringsproces Aquafarm (bron: Aquafarm)

3.4 Bodemverbeteraar

3.4.1 Bokashi

Bokashi is een bodemverbeteraar en kan van nagenoeg elk type vers organisch materiaal gemaakt worden. Bij te droog ingangsmateriaal kunnen de bacteriën zich niet goed verdelen. Houtachtig materiaal moet daarom eerst worden gehakseld. De organische resten worden goed verdeeld in laagjes waaraan kleimineralen, zeeschelpenkalk en micro-organismen worden toegevoegd. De hoop wordt luchtdicht afgedekt (zoals bij inkuilten) en in 8 tot 10 weken zuurstofarm gefermenteerd.



Figuur 3-7 Voorbeeld van productie van Bokashi⁴

3.4.2 Composteren

Op het gebied van biomassaverwerking wordt maaisel momenteel voornamelijk ingezet als grondstof voor compostering. Compostering levert een stabiele organische stof op die ingezet kan worden als bodemverbeteraar. Het product dat hierbij ontstaat kan vervolgens worden geïmplementeerd bij landbouwkundige toepassingen. In tegenstelling tot stro, riet en takken is maaisel minder geschikt voor compostering door de aanwezigheid van grote hoeveelheden lignine en cellulose.

Ten aanzien van het omzetten van deze bestanddelen naar kwalitatief goede organische stof is nodige bijsturing van belang. Door het regelmatig toevoegen van water moet onder andere de temperatuur en het vochtgehalte in het maaisel bijgestuurd worden om het compostingsproces maximaal te laten verlopen.

3.4.3 Digestaat

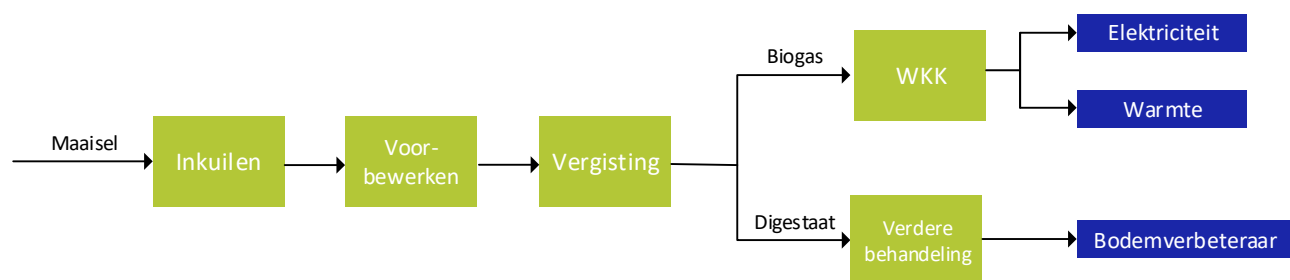
Digestaat is een nevenproduct van vergisting van biomassa. In het geval van de (co-)vergisting van mest komt het leeuwendeel van de mineralen (NPK) in het digestaat terecht.

3.5 Energie

3.5.1 Vergisting

In Nederland vindt vergisting van biomassastromen grootschalig plaats. Daarentegen zijn de meeste vergisters ontworpen op biomassastromen anders dan grassen en andere soorten maaisel. RVO heeft in 2014⁵ onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van grasvergisting. Hieruit kwam naar voren dat gft-vergistingsinstallaties en co-vergistingsinstallaties technisch en financieel in staat zijn om grassen deels mee te verwerken.

Uit de praktijkproeven is gebleken dat hierbij slechts 10 % van de totale input uit gras kan bestaan. Daarentegen zijn co-vergistingssystemen ontworpen op biomassastromen met een droge stofgehalte van maximaal 10% tot 15%. Vergistingsinstallaties die gras vergisten geven aan dat extra mechanische voorzieningen (o.a. verkleinen en ontsluiten) om deze reden toegepast moeten worden. Niettemin zijn momenteel al een aantal vergistingsinstallaties (Wabico) op commerciële schaal die grote hoeveelheden gras kunnen verwerken.

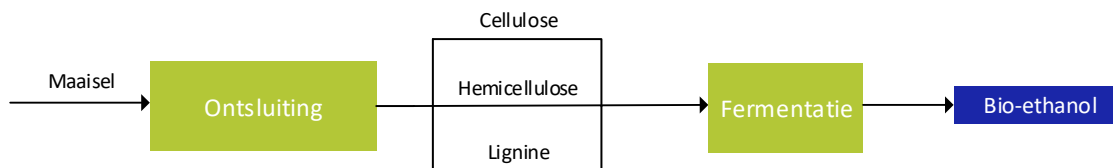


Figuur 3-8 Vergistingsproces

3.5.2 Fermentatie

Door middel van fermentatie van maaisel kan bio-ethanol geproduceerd worden. Suikers worden hierbij omgezet in ethanol. Op dit moment wordt fermentatie vooral toegepast op suikerhoudende gewassen zoals suikerriet, suikerbieten of zetmeelhoudende gewassen zoals maïs en tarwe. Maaisel bevat doorgaans een hoog gehalte aan cellulose dat het omzetproces lastig maakt. Het is om deze reden van belang dat er een voorbehandeling plaatsvindt waarbij de cellulose wordt ontsloten in fermenteerbare suikers.

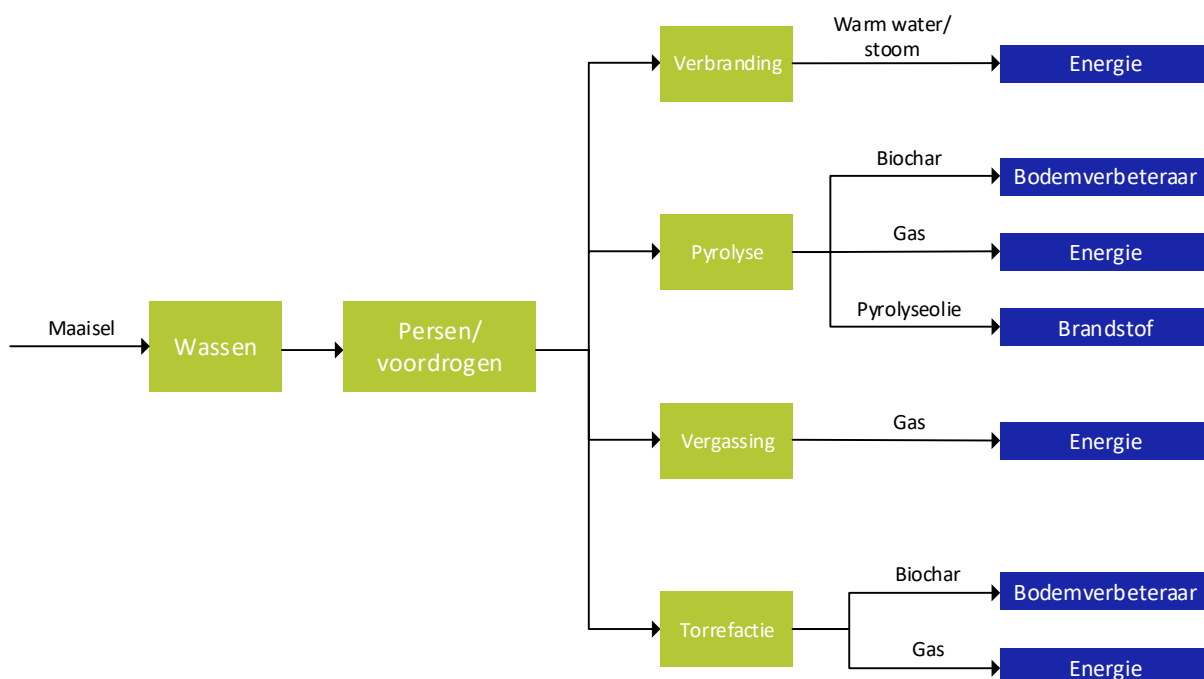
ECN heeft een technologie ontwikkeld waarmee het lignocellulose kan worden gescheiden in afzonderlijke componenten door middel van enzymatische hydrolyse. Indugras maakt dit mogelijk door gebruik te maken van het super heated steam-proces (zie 3.1.2)



Figuur 3-9 Fermentatieproces

3.5.3 Torrefactie, pyrolyse, verbranden en vergassen

Torrefactie, pyrolyse, verbranden en vergassen zijn thermische behandelingen waarbij biomassa wordt omgezet in energie, brandstoffen en/of andere producten. Conventionele installaties opereren hoofdzakelijk op houtachtige biomassa. Voor dergelijke toepassingen is maaisel ongeschikt als gevolg van het hoge vochtpercentage en de aanwezigheid van verontreinigingen, zoals zand en stenen. Om deze reden moet het allereerst gewassen en geperst worden om het zand en vocht te verwijderen.



Figuur 3-10 Thermische verwaarding

Een aantal bedrijven zijn op dit moment actief in het thermisch verwaarden van maaisel. Op het gebied van pyrolyse heeft BTG-BTL een installatie ontwikkeld dat, naast hout, SRF en argo-reststromen, ook maaisel invoert in het proces. BioTorCoal is momenteel op laboratoriumschaal bezig met het verwaarden van maaisel middels torrefactie.

ECN heeft een technologie ontwikkeld (TORWASH) waarmee ook natte biomassa geschikt kan worden gemaakt voor thermische verwaarding. Met behulp van deze technologie wordt een vaste brandstof geproduceerd die gelijk is aan schone getorreficeerde houtpellets. Het proces bestaat onder meer uit hakselen, persen en opwarmen onder hoge druk. Momenteel is deze technologie uitsluitend op laboratorium schaal uitgevoerd.

4 Matrixanalyse verwaardingsroutes

In het kader van deze opdracht is een matrixanalyse uitgevoerd. De verwaardingsroute zijn samen met de criteria in een matrix geplaatst, waarbij de criteria op de verticale as zijn ondergebracht en de verwaardingsroutes op de horizontale as. Zowel de criteria als de weegfactoren werden samen met de Werkgroep Biomassa vastgesteld.

In de matrixanalyse is ook de economische toegevoegde waarde ingeschat.

4.1 Criteria en weegfactoren

De criteria en weegfactoren zijn samen met de Werkgroep Biomassa opgesteld. Dit is een iteratief proces geweest waarbij in verschillende voortgangsoverleggen de tussenresultaten met diverse leden zijn besproken en daarop zijn bijgesteld en verfijnd.

De definitieve weegfactoren en criteria zijn aangevuld envastgelegd tijdens een bijeenkomst op 16 november 2018 te Amersfoort, waarbij alle vertegenwoordigers namens de Waterschappen, Staatsbosbeheer en Rijkswaterstaat van de Werkgroep Biomassa aanwezig waren. Deze criteria en weegfactoren zijn weergegeven in Tabel 4-1 en worden toegelicht in paragrafen 4.1.1 tot en met 4.1.12.

Tabel 4-1 Criteria en weegfactoren.

Weegfactor	1	3	6	9
Wat is de inzetbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maaisel (bijv. gras, riet, waterplanten, ...)?	Uitsluitend 1 type	Meer dan 1 type	Alles	Alles
Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?	100 - 5.000	5.000 - 20.000	20.000 - 50.000	50.000 - 200.000
Is de technologie flexibel of modulair uit te rollen?	Nee	Met aanzienlijke randvoorwaarden	Met enige randvoorwaarden	Ja
Draagt een project met deze technologie bij aan het thema "Samenwerken in directe regio"?	Nee	Met aanzienlijke randvoorwaarden	Met enige randvoorwaarden	Ja
Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?	0-3	4-5	6-7	8-9
Was is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO2 equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)	< 0	0-50	50-100	>100
Welke (natuurlijke) bronnen vervangt of spaart dit product of deze technologie?	geen	Landbouwareaal	Bosareaal	Fossiel
Op welk niveau in de waarde piramide bevindt zich dit product of de technologie?	Energie	chemie & materialen	Food & Feed	Pharma & fine chemicals
Zijn er voor dit product wettelijke of regelgevende beperkingen te verwachten? Bijvoorbeeld voedselveiligheid, bouwbesluit, GMP+, ...	Aanzienlijk of groot aantal beperkingen	Aanzienlijk, maar overkomelijk	Enigszins, maar overkomelijk	Geen tot nihil
Is er op dit moment of korte termijn concrete vraag uit de markt voor dit product?	Nee, wellicht op langere termijn	Mogelijk op middellange termijn	Ja, met enige randvoorwaarden	Ja, direct
Kunnen Overheden een rol nemen als Launching Customer om marktintroductie te versnellen?	Nee, wellicht op langere termijn	Mogelijk op middellange termijn	Ja, met enige randvoorwaarden	Ja, direct

4.1.1 Weegfactoren

Er is gekozen om de weegfactoren te beperken tot vier, te weten 1, 3, 6 en 9. De motivatie voor deze opzet is gebaseerd op de volgende overwegingen:

1. Het criterium Technology Readiness Level (zie Figuur 4-1), werd door de werkgroep geïdentificeerd als een belangrijk criterium, aangezien dit criterium intrinsiek weergeeft of de technologie al voldoende volwassen is, danwel wat de ontwikkelingstermijn (nog) is. De TRL's variëren van 1 tot 9, waarmee aansluiting werd gezocht op deze systematiek en het TRL als waardering kon worden ingezet;

2. Het opdelen in vier stappen (1, 3, 6 en 9) biedt de mogelijkheid om de zwaarte van criteria op bepaalde aspecten te ten opzichte van elkaar te verhogen zorgt voor toenemende explicieteit. Bij een geleidelijke schaal (1, 2, 3, ..., 9) ontstaat er een nivelleringsrisico en minder explicieteit.
3. In de waarde-piramide voor de biobased economy (zie Figuur 4-2) worden vier niveaus onderscheiden, waarbij

4.1.2 Criterium 1: Wat is de inzetbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maaisel (bijv. gras, riet, waterplanten, ...)?

Hiermee wordt bedoeld of een verwaardingsroute breed inzetbaar is maaisel of juist beperkt inzetbaar is voor specifieke soorten maaisel.

4.1.3 Criterium 2: Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?

Sommige technieken of producten kennen een specifieke schaalgrootte die past bij of vereist is voor de techniek of de markt. Zo kan het produceren van duurzame producten zoals meubels of verkeersborden op jaarbasis wellicht al bij 100 tot 1.000 ton aan droge stof per jaar voldoende zijn om de marktvrage te verzadigen.

Het produceren van diervoeding of verwerking vergisting vergt aanzienlijk grotere hoeveelheden al dan niet als gevolg van economy of scale effecten bij investering of exploitatie.

4.1.4 Criterium 3: Is de technologie flexibel of modulair uit te rollen?

Indien schaalgrootte, bijvoorbeeld om geografische redenen, klein is kan uit eindelijk in een uitrol toch op landelijk niveau een groot toepassingsvolume behaald worden. Of is het noodzakelijk stromen te scheiden. Een voorbeeld zou bokashi kunnen zijn, dit kan lokaal en zeer decentraal geproduceerd worden uit zowel gras, slotmaaisel of waterplanten. Dit terwijl vergisting of compostering meer investering vergt en meer centraal verwerkt moet worden, maar wel geschikt is voor gras, slotmaaisel en waterplanten. Daarentegen zijn er voor toepassing in diervoeders wel duidelijke beperkingen of is er onderscheid te maken tussen gras, slotmaaisel en waterplanten.

4.1.5 Criterium 4: Draagt een project met deze technologie bij aan het thema "Samenwerken in directe regio"?

Voor sommige landschapsbeheerders, situaties of regio's is samenwerking met (zeer) regionale partners (bijvoorbeeld boeren) een strategische keuze, bijvoorbeeld in het kader van het behoud of verwerven van draagvlak of duurzaamheid.

4.1.6 Criterium 5: Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?

Diverse verwaardingsroutes bevinden zich in diverse stadia van ontwikkeling: van concept of idee fase tot lab of prototype fase tot standaard (bewezen) technologie. Ten einde de stand der techniek inzichtelijk en onderling vergelijkbaar te maken en een beeld te geven over de nog eventueel noodzakelijke ontwikkeling(stermijn), is met behulp van de Technology

Readiness Levels (TRL) de huidige status van de desbetreffende techniek aangegeven. Hiervoor zijn de TRL definities van de Europese Commissie gebruikt (zie Figuur 4-1).



Figuur 4-1 Technology Readiness Levels (Europese Commissie)

4.1.7 Criterium 6: Was is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO₂ equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)?

Voor de meeste verwaardingsroutes is de totale CO₂ footprint (nog) niet bekend of openbaar. Uiteraard is duurzaamheid en CO₂ besparing van de verschillende verwaardingsroutes wel een belangrijk aspect. Derhalve is in het kader van deze opdracht een inschatting gedaan, waarbij de volgende zaken op hoofdlijnen zijn ingeschat:

1. Transport(afstanden) op basis van schaalgrootte;
2. Energiekosten voor de voornaamste bewerkingsstappen (bijv. drogen, verkleinen, ...)
3. Energetische waarde van grondstoffen of producten

De gehanteerde uitgangspunten zijn weergegeven in BIJLAGE E.

Noot:

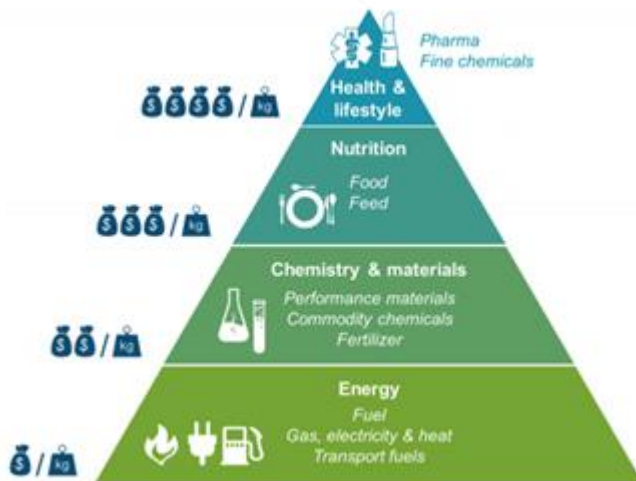
Binnen de doelstellingen van deze opdracht is niet beoogd volledig en compleet te zijn ten aanzien van de (nauwkeurige) bepaling van de CO₂ besparing, maar is gestreefd naar schatting. Voor het doel van dit onderzoek was het daarmee mogelijk is de verschillende verwaardingsroutes ten op zichte van elkaar (dus relatief) te rangschikken.

4.1.8 Criterium 7: Welke (natuurlijke) bronnen vervangt of spaart dit product of deze technologie?

Sommige verwaardingsroutes vervangen eigenlijk geen (natuurlijke) bronnen, terwijl andere verwaardingsroutes bijvoorbeeld landbouwareaal (bijv. teelt van gewassen) of bosareaal (incl. tropisch regenwoud) of fossiele bronnen vervangen.

4.1.9 Criterium 8: Op welk niveau in de waardepiramide bevindt zich dit product of de technologie?

De verwaardingsroute is ingepast op een van de 4 niveaus in de waarde-piramide van de biobased economy (zie Figuur 4-2).



Figuur 4-2 Waarde-piramide biobased economy

4.1.10 Criterium 9: Zijn er voor dit product wettelijke of regelgevende beperkingen te verwachten?

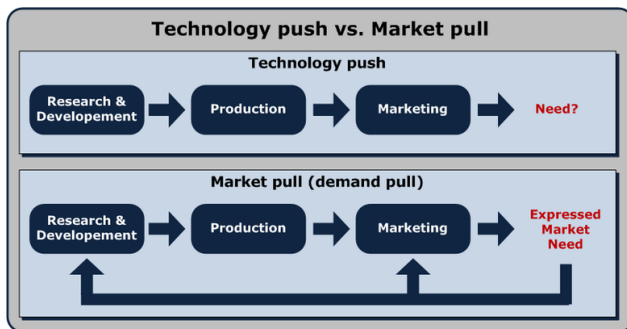
Voor sommige verwaardingsroutes geldt dat er mogelijk beperkingen of belemmering zijn die voortvloeien uit wet- en regelgeving, bijvoorbeeld

- Afvalstoffenstatus volgens de Kader Richtlijn Afvalstoffen (KRA) en het Landelijk Afvalplan (LAP);
- Voedselveiligheid, bijvoorbeeld GMP+ certificering voor diervoeders
- Meststoffenwet
- Bouwstoffenbesluit
- Normen voor bouwstoffen of andere producten
- ...

De mate van beperkingen of belemmeringen zijn binnen deze opdracht kwalitatief beoordeeld van aanzienlijk tot nihil.

4.1.11 Criterium 10: Is er op dit moment of korte termijn concrete vraag uit de markt voor dit product?

Voor bestaande producten is er over het algemeen, binnen bandbreedtes, een balans tussen vraag en aanbod. Voor nieuwe product-marktcombinaties is deze balans in de meeste gevallen niet. In de gevallen dat er binnen een verwaardingsroute met een nieuwe product of technologie meer of eerder een aanbod is dan een marktverraag (*technology push*) wordt dit door de werkgroep als minder aantrekkelijk beschouwd dan voor situaties waarbij er wel een concrete vraag (*market pull*).



Figuur 4-3 Technology push vs. Market pull

4.1.12 Criterium 11: Kunnen Overheden een rol nemen als Launching Customer om marktintroductie te versnellen?

Een verbijzondering van de markt vraag (Criterium 10) ontstaat indien de overheid of publieke instellingen (Waterschappen, Rijkswaterstaat, Staatsbosbeheer), als launching customer de markt vraag zouden kunnen stimuleren, bijvoorbeeld middels aanbestedingen. Een voorbeeld daarvan zou kunnen zijn het inkopen van papier op basis van gras.

4.2 Economisch toegevoegde waarde

Van de diverse verwerkingsroutes is (nog) onvoldoende bekend over de economische haalbaarheid. Van veel verwaardingsroutes zijn er geen (openbare) bronnen die hierover inzicht verschaffen. De informatie varieert van beperkt tot nihil. Voor zover deze informatie er wel is, is deze dusdanig beperkt dat deze praktisch ongeschikt om een duidelijk oordeel over de economisch haalbaarheid vast te stellen.

Ten einde de verwaardingsroutes toch relatief te kunnen vergelijken, is gekozen om de economische toegevoegde waarde te bepalen. Dat is per verwaardingsroute als volgt gebeurd:

1. Er is een inschatting gemaakt van de opbrengst van de diverse producten uit een verwaardingsroute (bijvoorbeeld het aantal tonnen vezel, eiwit en sap dat uit gras kan worden geperst);
2. De marktwaarde voor de half- of eindfabricaten is ingeschat (bijvoorbeeld: vezel, eiwit, sap, ...)
3. De verwerkingskosten per ton gras (maaieren, verkleinen, drogen, persen, ...) zijn ingeschat.

Dor de opbrengsten (1) te vermenigvuldigen met de marktwaarde (2) en daar de verwerkingskosten (3) af te trekken kan een indicatie worden verkregen van de economisch toegevoegde waarde per ton.

Noot:

Binnen de doelstellingen van deze opdracht is niet beoogd volledig en compleet te zijn ten aanzien van de (nauwkeurige) bepaling van de economische toegevoegde waarde. Daartoe is te weinig (openbare) informatie bekend. Er is gestreefd naar schatting. Voor het doel van dit onderzoek was het daarmee mogelijk is de verschillende verwaardingsroutes ten op zichte van elkaar (dus relatief) te rangschikken.

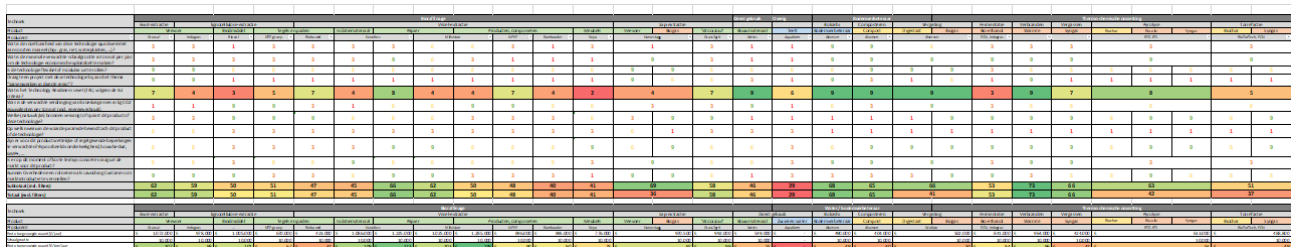
5 Scenario-analyses

Er zijn twee scenario-analyses uitgevoerd, één waarbij alle 11 criteria werden meegenomen en één waarbij alleen de door de Werkgroep benoemde Top 3 (belangrijkste) criteria werden meegenomen. Doel van deze benadering was te toetsen of deze benadering zou leiden tot een (significant) andere conclusie.

5.1 Scenario-analyse 11 criteria

Bij deze scenario-analyse werden alle 11 de criteria meegenomen in de analyse (zie Figuur 5-1 en BIJLAGE B). De conclusie uit deze analyse is dat:

- Raffinage tot vezels voor papier en/of eiwit voor veevoer het hoogst scoren zowel op de 11 criteria als de economisch toegevoegde waarde;
- Bodemverbeteraar (o.a. bokashi, compost, ...) scoren hoog op de meeste criteria, maar economisch minder dan vezel;
- Omzetting naar energie (o.a. biogas, verbranding, ...) scoren hoog op de meeste criteria en economisch beter dan bodemverbeteraar.



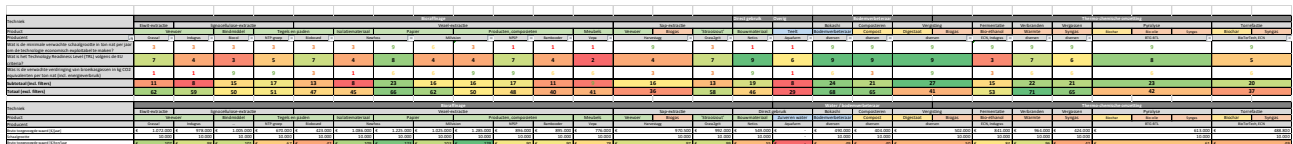
Figuur 5-1 Scenario-analyse op basis van 11 criteria

5.2 Scenario-analyse Top 3 criteria

Tijdens het laatste overleg met de werkgroep op 28 februari 2019 werd door de werkgroep vastgesteld dat naast de economisch toegevoegde waarde, de drie belangrijkste criteria, de gemene deler, voor zowel de Waterschappen, Staatsbosbeheer als Rijkswater staat de volgende zijn:

- Criterium 2: Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?
- Criterium 5: Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?
- Criterium 6: Was is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO2 equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)?

Uit deze scenario-analyse (zie Figuur 5-2 en BIJLAGE C) volgt dat er nauwelijks een verschil is dan ten opzichte van de analyse met 11 criteria.



Figuur 5-2 Scenario-analyse Top 3 criteria

6 Conclusies

Aan de hand van dit onderzoek en de scenario analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken voor zowel alle 11 criteria als de Top 3 criteria:

1. Raffinage tot vezels voor papier het hoogst scoren zowel op de criteria als de economisch toegevoegde waarde;
2. Bodemverbeteraar (o.a. m.n. bokashi, compost, ...) scoren hoog op de meeste criteria, maar economisch minder dan vezel;
3. Omzetting naar energie (o.a. biogas, verbranding, pyrolyse, ...) scoren hoog op de meeste criteria en economisch beter dan bodemverbeteraar.

6.1 Discussie

Bij de interpretatie van de conclusies dient te worden opgemerkt dat voor *Criterion 6: Was is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO₂ equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)?* de resultaten uit de verwaardingsmatrix worden gedreven door de hoge waardering van

- Enerzijds de omzetting naar energie waarbij de CO₂ verdringing gebaseerd is op het verdringen van lang-cyclische CO₂ uit fossiele brandstoffen (bijv. kolen, gas) door kort-cyclische CO₂ uit biomassa of
- Het vastleggen van Papier en (kortcyclische) CO₂ in producten met een lange levensduur (papier, bokashi, ...).

Voor *Criterion 5: Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?* geldt dat voor bijvoorbeeld vergisting deze techniek bewezen is, terwijl andere technieken minder een lager TRL niveau hebben. Indien over een aantal jaar de TRL's van andere, door uitontwikkeling van thans minder scorende technieken, zijn verhoogd, dan heeft dit uiteraard invloed op de score.

Bij het samenstellen van de conclusie in dit rapport zijn de zwaarte van de wegingsfactoren en de selectie van wegingsfactoren vastgesteld door de Werkgroep Biomassa. Indien de zwaarte van de wegingsfactoren anders wordt gekozen kan dat invloed hebben op de resultaten.

BIJLAGE A Overzicht verwaardingsroutes

Maaisel

Bioraffinage

Direct

Teelt

Bodemverbeteraar

Energie

Eiwit

Lignocellulose

Vezel-extractie

Sap-extractie

Civiel

water

fermentatie

Composteren

vergisting

Onderploegen

fermentatie

verbranden

vergassen

vergisting

pyrolyse

torrefactie

HTL

Veevoer

Veevoer

Tegels & Paden

Tegels & Paden

Isolatie

Papier

Composiet

Meubels

Veevoer

Biogas

Strooizout

Blokken

zuivering

Bokashi

compost

digestaat

onbewerkt

ethanol

warmte

elektriciteit

WKK

warmte

elektriciteit

WKK

groen gas SNG

as

groen gas biogas

digestaat

biochar

olie

syngas

Vaste brandstof

syngas

bitumen

olie

biochar

Grassal

Indugras

NTP-groep

Biobound

Newfoss

Newfoss

Milvision

Milvision

NPSP

Bambooder

Vepa

Harvestagg

Harvestagg

Grass2grit

Netics

Aguafarm

diversen

diversen

diversen

diversen

ECN Indugras

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

SDE+

diversen

BTG-BTL

BTG-BTL

BTG-BTL

Torroal Biotortech Blackwood

Torroal Biotortech Blackwood

Biocol

Biocol

Biocol

BIJLAGE B Scenario analyse op basis van 11 criteria

Resultaten op basis van geselecteerde filters

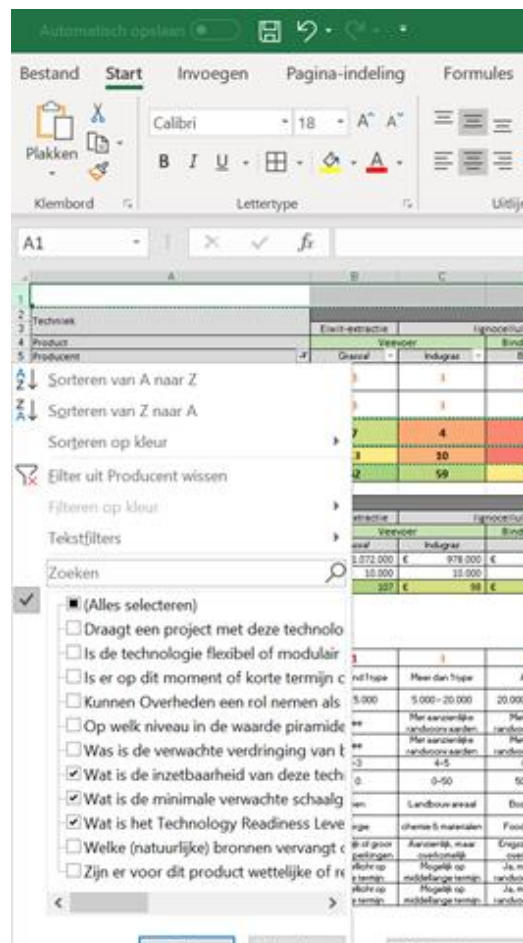
Het beeld verandert nauwelijks indien de volgende voorkeursfilters worden gebruikt

- Wat is de inzetbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maaisel (bijv. gras, riet, waterplanten, ...)?
- Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?
- Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?

Techniek	Bioraffinatie													Direct gebruik		Overig		Bodemverbeteraar										Thermo-chemische omzetting								
	Elwit-extractie		Lignocellulose-extractie				Vezel-extractie					Sap-extractie				Bouwmateriaal		Teelt		Bodemverbeteraar		Compost		Digestaat		Biogas		Fermentatie		Verbranden		Vergassen		Pyrolyse		Torrefactie
Product	Grassal	Indugras	Bindmiddel	Tegels en paden	Isolatiemateriaal	Papier	Producten, composieten	Meubels	Veevoer	Biogas	'Stroolooi'	Bouwmateriaal	Teelt	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Bio-olie	Syngas	Biochar	Biochar	Syngas	BTG-BTL	BioTorTech, ECN	Biochar	Syngas						
Wat is de inzetbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maaisel (bijv. gras, riet, waterplanten, ...)?	3	3	1	3	3	3	3	6	6	3	1	3	1	1	9	9	6	3	3	3		3									3					
Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?	3	3	3	3	3	9	6	3	1	1	9	3	1	1	9	9	9	9	9	9	9	9	9							9						
Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?	7	4	3	5	7	4	8	4	4	7	4	2	8	4	7	9	6	9	9	9	3	7	6					8	5							
Subtotaal (incl. filters)	13	10	7	11	13	10	20	16	13	11	3	3	14	13	11	8	27	27	24	15	19	18	20	17					17							

Bediening matrix

Geselecteerde filters aanvinken



Weegfactoren wijzigen van bijvoorbeeld 1, 3, 6, 9 naar andere waarden:

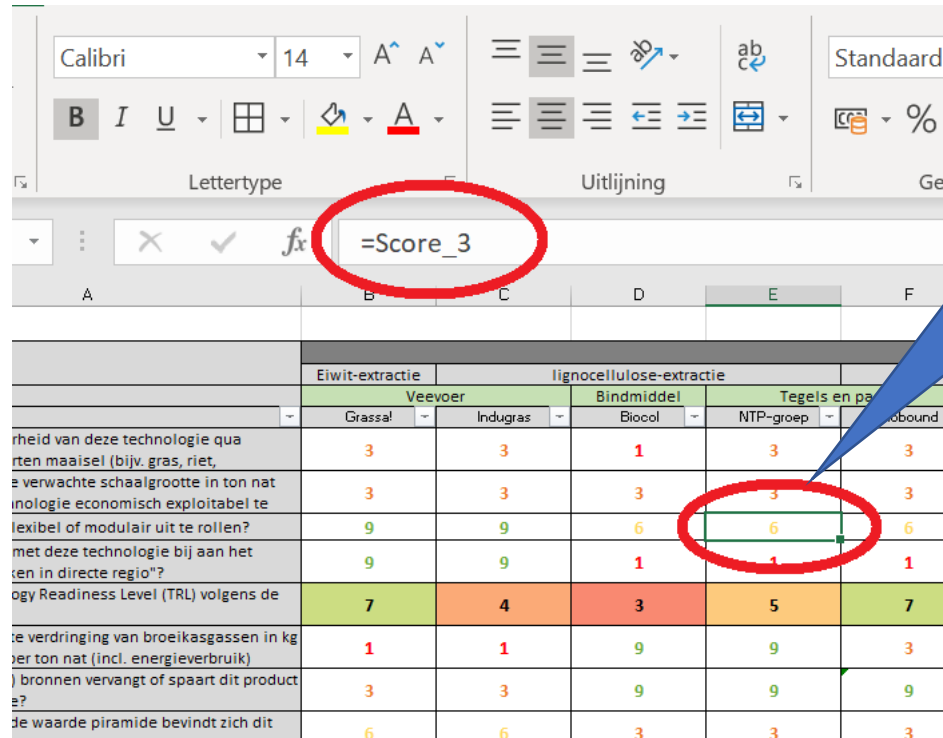
Wijzig alleen deze getallen

Toelichting criteria en waarderingsfactoren

Weegfactor	1	3	6	9
Wat is de inzetbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maaisel (bijv. gras, riet, waterplanten, ...)?	Uitsluitend 1 type	Meer dan 1 type	Alles	Alles
Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?	100 - 5.000	5.000 - 20.000	20.000 - 50.000	50.000 - 200.000
Is de technologie flexibel of modulair uit te rollen?	Nee	Met aanzienlijke randvoorwaarden	Met enige randvoorwaarden	Ja
Draagt een project met deze technologie bij aan het thema "Samenwerken in directe regio"?	Nee	Met aanzienlijke randvoorwaarden	Met enige randvoorwaarden	Ja
Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?	0-3	4-5	6-7	8-9
Was is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO2 equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)?	< 0	0-50	50-100	>100
Welke (natuurlijke) bronnen vervangt of spaart dit product of deze technologie?	geen	Landbouwareaal	Bosareaal	Fossiel
Op welk niveau in de waarde piramide bevindt zich dit product of de technologie?	Energie	chemie & materialen	Food & Feed	Pharma & fine chemicals
Zijn er voor dit product wettelijke of regelgevende beperkingen te verwachten? Bijvoorbeeld voedselveiligheid, bouwbesluit, GMP+, ...	Aanzienlijk of groot aantal beperkingen	Aanzienlijk, maar overkomelijk	Enigszins, maar overkomelijk	Geen tot nihil
Is er op dit moment of korte termijn concrete vraag uit de markt voor dit product?	Nee, wellicht op langere termijn	Mogelijk op middellange termijn	Ja, met enige randvoorwaarden	Ja, direct
Kunnen Overheden een rol nemen als Launching Customer om marktintroductie te versnellen?	Nee, wellicht op langere termijn	Mogelijk op middellange termijn	Ja, met enige randvoorwaarden	Ja, direct

Bediening matrix

Filters selecteren



The screenshot shows an Excel spreadsheet with a matrix. The formula bar at the top displays '=Score_3'. The matrix has columns for 'Eiwit-extractie', 'Veevoer', 'Bindmiddel', and 'Tegels en pa'. The rows represent various criteria. A red circle highlights the value '3' in the cell corresponding to the criterion 'De verwachte schaalgrootte in ton nat' and the 'Tegels en pa' column.

	Eiwit-extractie	Veevoer	Bindmiddel	Tegels en pa
	Grassal	Indugras	Biocol	NTP-groep
De rheid van deze technologie qua rten maaisel (bijv. gras, riet,	3	3	1	3
De verwachte schaalgrootte in ton nat	3	3	3	3
De technologie economisch exploitabel te	9	9	6	6
De technologie flexibel of modulair uit te rollen?	9	9	1	1
De technologie met deze technologie bij aan het ren in directe regio"?	7	4	3	5
De technologie Readiness Level (TRL) volgens de	1	1	9	9
De technologie verdringing van broeikasgassen in kg per ton nat (incl. energieverbruik)	3	3	9	9
De technologie (n) bronnen vervangt of spaart dit product e?	6	6	3	3

Wijzig inhoud cel. Keuze uit:

- =Score_1
- =Score_2
- =Score_3
- =Score_4

BIJLAGE C Scenario-analyse op basis van Top 3 criteria

Techniek	Bioraffinage														Direct gebruik		Overig		Bodemverbeteraar				Thermo-chemische omzetting																
	Eiwit-extractie		Lignocellulose-extractie		Tegels en paden		Isolatiemateriaal		Papier		Vezel-extractie		Producten, composieten		Meubels		Sap-extractie		"Stroolzou"		Bouwmateriaal		Teelt		Bokashi		Compostieren		Vergisting		Fermentatie		Verbranden		Vergassen		Thermo-chemische omzetting		Torrefactie
Product	Grasol	Veevoer	Indugas	Blindmiddel	NTP-groep	Bebouwd	Newsiss	9	6	3	9	4	4	7	1	1	9	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas				
Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?	3	3	3	3	3	3	3	9	6	3	9	4	4	7	1	1	9	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas				
Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?	7	4	3	3	5	7	4	8	4	4	7	4	4	7	4	2	4	9	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas			
Wat is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO2 equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)	1	1	9	9	3	1	6	6	9	9	6	6	9	9	6	6	3	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas				
Subtotaal (incl. filters)	11	8	15	17	13	8	23	16	16	17	11	9	16	13	19	8	24	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas				
Totaal (excl. filters)	62	59	50	51	47	45	66	62	50	48	40	41	36	58	46	36	68	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas				

Techniek	Bioraffinage														Direct gebruik		Overig		Bodemverbeteraar				Thermo-chemische omzetting														
	Eiwit-extractie		Lignocellulose-extractie		Tegels en paden		Isolatiemateriaal		Papier		Vezel-extractie		Producten, composieten		Meubels		Sap-extractie		"Stroolzou"		Bouwmateriaal		Teelt		Bokashi		Compostieren		Vergisting		Fermentatie		Verbranden		Vergassen		Thermo-chemische omzetting
Product	Grasol	Veevoer	Indugas	Blindmiddel	NTP-groep	Bebouwd	Newsiss	9	6	3	9	4	4	7	1	1	9	Harvestag	Biogas	GrasZgrit	Netics	Aquaflam	Bodemverbeteraar	Compost	Digestaat	Biogas	Eth, Indugas	Bio-ethanol	Warmte	Syngas	Biochar	Pyrolyse	Syngas	Biochar	Syngas		
Bruto toegevoegde waard (€/jaar)	€ 1.072.000	€ 10.000	€ 978.000	€ 1.005.000	€ 670.000	€ 423.000	€ 1.086.000	€ 1.225.000	€ 1.025.000	€ 1.285.000	€ 896.000	€ 895.000	€ 776.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 970.500	€ 992.000	€ 549.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 490.000	€ 404.000	€ 502.000	€ 841.000	€ 964.000	€ 424.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 10.000	€ 488.800		
Schaalgrootte	10.000	10.000	978.000	1.005.000	670.000	423.000	1.086.000	1.225.000	1.025.000	1.285.000	896.000	895.000	776.000	10.000	10.000	10.000	970.500	992.000	549.000	10.000	10.000	10.000	490.000	404.000	502.000	841.000	964.000	424.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	488.800		
Bruto toegevoegde waard (€/ton)jaar	€ 107	€ 98	€ 101	€ 67	€ 42	€ 109	€ 123	€ 103	€ 129	€ 90	€ 90	€ 78	€ 97	€ 99	€ 55	€ 68	€ 97	€ 99	€ 55	€ 10	€ 10	€ 10	€ 49	€ 40	€ 50	€ 84	€ 96	€ 42	€ 10	€ 10	€ 10	€ 10	€ 10	€ 49			

Toelichting criteria en waarderingsfactoren

Weegfactor	1	3	6	9
Wat is de toetsbaarheid van deze technologie qua diversiteit aan soorten maatsel (bijv. gras, riet, waterplanten...)?	Uitsluitend 1 type	Meer dan 1 type	Alles	Alles
Wat is de minimale verwachte schaalgrootte in ton nat per jaar om de technologie economisch exploitabel te maken?	100 - 5.000	5.000 - 20.000	20.000 - 50.000	50.000 - 200.000
Is de technologie flexibel of modulaar uit te rollen?	Nee	Met aanzienlijke randvoorwaarden	Met enige randvoorwaarden	Ja
Dringt een project met deze technologie bij aan het thema "Samenwerken in directe regio's"?	Nee	Met aanzienlijke randvoorwaarden	Met enige randvoorwaarden	Ja
Wat is het Technology Readiness Level (TRL) volgens de EU criteria?	0-3	4-5	6-7	8-9
Wat is de verwachte verdringing van broeikasgassen in kg CO2 equivalenten per ton nat (incl. energieverbruik)?	< 0	0-50	50-100	>100
Welke (natuurlijke) bronnen vervangt of spaart dit product of deze technologie?	geen	Landbouwafval	Bosafval	Fosfaat
Op welk niveau in de waarde piramide bevindt zich dit product of de technologie?	Energie	chemie & materialen	Food & Feed	Pharma & fine chemicals
Zijn er voor dit product wetelijke of regelgevende beperkingen te verwachten? Bijvoorbeeld voedselveiligheid, bouwbesluit, GMP, ...	Aanzienlijk of groot aantal beperkingen	Aanzienlijk, maar overkomelijk	Enigzins, maar overkomelijk	Geen tot nihil
Is er op dit moment of korte termijn concrete vraag uit de markt voor dit product?	Nee, wellicht op langere termijn	Mogelijk op middellange termijn	Ja, met enige randvoorwaarden	Ja, direct
Kunnen Overheden een rol nemen als Launching Customer om marktintroductie te versnellen?	Nee, wellicht op langere termijn	Mogelijk op middellange termijn	Ja, met enige randvoorwaarden	Ja, direct

Instructie

Hier (in de velden B32 C32 D32 E32) kunnen de weegfactoren in waarde worden aangepast.

In veld "A5 Producten" kan gefilterd worden op de mee te wegen criteria

In Rij 5 kan per verwaardingsroute kan gefilterd worden op mee te wegen waardering

BIJLAGE D Berekende samenstelling componenten en energetische waarde maaisel

Samenstelling		Bermgras	Riet	Watervegetatie	Overig ²	Gemiddeld ⁹
Vuil (% van tot. massa) ³		+ 5%	+ 5%	+ 15%	+ 5%	+ 7%
Water gehalte (excl. vuil) ⁴		60%	58%	93%	59%	66%
As (excl. Los zand/klei) ⁴		2%	3%	1%	3%	2%
Organische stof (excl. As) ⁴		38%	39%	6%	38%	32%
Droge stof ⁴		40%	42%	7%	41%	34%
Sap ⁶		70% d.s.	60% d.s.	70% d.s.	70% d.s.	67% d.s.
Vezels ⁷		30% d.s.	40% d.s.	30% d.s.	30% d.s.	33% d.s.
Eiwitten ⁴		20% d.s.	20% d.s.	15% d.s.	20% d.s.	19% d.s.
Mineralen ⁷		0,2% d.s.	0,1% d.s.	0,5% d.s.	0,3% d.s.	0,3% d.s.
Zout ⁸		0,1% d.s.	0,1% d.s.	0,1% d.s.	0,1% d.s.	0,1% d.s.
Lignocellulose ⁴	Cellulose	25% d.s.	45% d.s.	25% d.s.	32% d.s.	32% d.s.
	Hemicellulose	26% d.s.	26% d.s.	10% d.s.	21% d.s.	21% d.s.
	Lignine	12% d.s.	24% d.s.	20% d.s.	19% d.s.	19% d.s.
Stookwaarde ⁵	a.r.	5,8 MJ/kg	6,0 MJ/kg	-1,0 MJ/kg	5,9 MJ/kg	4,5 MJ/kg
	50% d.s.	7,8 MJ/kg	7,5 MJ/kg	6,9 MJ/kg	7,7 MJ/kg	7,5 MJ/kg
	90% d.s.	15,8 MJ/kg	15,3 MJ/kg	14,2 MJ/kg	15,6 MJ/kg	15,3 MJ/kg

- 1 Droge stofgehaltes en vocht gehalten zijn exclusief vuil
- 2 Overige vegetatie is bepaald aan de hand van het gemiddelde van de andere vegetaties.
- 3 Bestaande uit zand en steen. Bepaald op basis van inschatting en literatuur (STOWA, 2017)
- 4 Bron: (STOWA, 2017)
- 5 Berekend a.d.h.v. organisch stofgehalte
- 6 Bepaald op basis van inschatting (droge stofgehalte – vezelgehalte) en literatuur (STOWA, 2017)
- 7 Bepaald op basis van inschatting en literatuur (STOWA, 2017)
- 8 Op basis van verwachte gehalte aan zout in maaisel
- 9 Gemiddelde gehalten zijn bepaald o.b.v. de verhouding van de beschikbaarheid van de maaiselstromen.

BIJLAGE E Gehanteerde uitgangspunten bepaling van CO₂ besparing en economische waardering

Data	Unit	Factor	
Oppervlakte Nederland	km ²	41.543	
Beschikbaar maaisel	ton/jaar (a.r.)	1.600.000	
	ton/km ² (a.r.)	39	
LHV	Natural gas	MJ/m ³	31,65
	Bermgras (ar)	MJ/kg	5,42
	Bermgras (dry)	MJ/kg	17,22
	Bio-ethanol/pyrolyseolie	MJ/L	21,2
	Char	MJ/kg	20
	Steenkool	MJ/kg	30
	Stookolie	MJ/L	40
	Benzine	MJ/L	33

CO ₂ -eq emissions	Unit	Factor	
Transport	Diesel	kg CO ₂ eq/litre	3,23
	consump. truck (loaded)	litre/km	0,49
	Gewicht lading	ton	20
Energie productie	Elektriciteit (biomasa)	kg CO ₂ eq/kWh	0,08
		kg CO ₂ eq/ GJ	20,8
	Warmte (biomassa)	kg CO ₂ eq/GJ	25,0
	Char	kg CO ₂ eq/ton	550
	Pyrolyseolie	kg CO ₂ eq/GJ	58,49
	Bio-ethanol	kg CO ₂ eq/litre	1,24
Compost	CH ₄ en N ₂ O	kg CO ₂ eq/GJ	58
		kg CO ₂ eq/ton maaisel	52,5
Warmte (STEG-centrale)		kg CO ₂ eq/ GJ	35,97
Elektriciteit (grijs)		kg CO ₂ eq/kWh	0,65
		kg CO ₂ eq/ GJ	180
		kg CO ₂ eq/kg	2,339
Steenkool		kg CO ₂ eq/ GJ	78
		kg CO ₂ eq/litre	3,185
Stookolie		kg CO ₂ eq/ GJ	80
		kg CO ₂ eq/litre	2,88
Benzine		kg CO ₂ eq/ GJ	87
		kg CO ₂ eq/ton bitumen	3.381
Bitumen		kg CO ₂ eq/ton staal	480
Staal		kg CO ₂ eq/ton beton	109
Beton		kg CO ₂ eq/ton mineraal	2.500
Kunstmest		kg CO ₂ eq/ton glasvezel	1.330
Glasvezel composiet		kg CO ₂ eq/ton soja	129
Soja (50% eiwit)		kg CO ₂ eq/ton zout	79,134
Zout			

Kosten			
Natural gas			0,25 €/m ³
Elektriciteit			0,10 €/kWh
Transportkosten			0,15 €/ton/km
Afzet compost			25 €/ton (a.r.) incl. vuil
Gerichter maaien			50 €/ton (a.r.) incl. vuil
Inkuilen			10 €/ton (a.r.) incl. vuil
Opslag			8 €/ton (a.r.) incl. vuil
Wassen			10 €/ton (a.r.) incl. vuil
Afvoeren afval/vuil			7,5 €/ton vuil
Verkleinen			5 €/ton (a.r.)
Drogen naar ca. 90% d.s.	Bermgras	200 °C	12 €/ton (a.r.)
	Riet	200 °C	12 €/ton (a.r.)
	Water vegetatie	200 °C	20 €/ton (a.r.)
	Overig	200 °C	12 €/ton (a.r.)
Persen naar ca. 50% d.s.			61 €/ton (50% d.s.)
Opwerken	Vezel		
		€ 500 ton vezel d.s.	
	Extractie sap / eiwit / mineralen / zout		107 €/ton (50% d.s.)
Vergisting		€ 3.000 ton eiwit d.s.	
	Ontsluiting		150 €/ton (50% d.s.)
			11 €/ton (a.r.)
Fermentatie	Investeringskosten	994 €/kW output	
	Vaste O&M kosten	57 €/kW output	12 €/ton (50% d.s.)
Verbranden	Investeringskosten	580 €/kW output	
	Vaste O&M kosten	62 €/kW output	32 €/ton (90% d.s.)
Vergassen	Investeringskosten	580 €/kW output	
	Vaste O&M kosten	62 €/kW output	98 €/ton (90% d.s.)
Pyrolyse	Investeringskosten	5.248 €/kW output	
	Vaste O&M kosten	262 €/kW output	135 €/ton (90% d.s.)
Torrefactie			135 €/ton (90% d.s.)

Baten		
Eiwitten	1.000 €/ton	
Vezels	750 €/ton	
Laagwaardig	150 €/ton	
Sappen	77 €/ton	
Mineralen (bodembeteraar)	300 €/ton	
Suikerpolymeren (lignine, cellulose, hemicellulose)	3.400 €/ton	
Zout	200 €/ton	
Char	15 €/ton	
Warmte	3 €/GJ	
Elektriciteit	6 €/GJ	0,022 €/kWh
Brandstoffen	8 €/GJ	
SDE+		
(Alles)vergisting	18 €/GJ	0,065 €/kWh
Verbranden	17 €/GJ	0,060 €/kWh
Vergassing	4 €/GJ	0,015 €/kWh
Torrefactie/pyrolyse/fermentatie	4 €/GJ	0,015 €/kWh

Energieverbruik	Verbruik (kWh/ton nat)
Eiwit/sap/zout-extractie	50 kWh/ton
Vezel-extractie	25 kWh/ton
Ontsluiting	100 kWh/ton

Product	Opbrengst (GJ/ton nat)	
Thermische verwerking		
Rendement elek.	40%	
warmte	60%	
Eigen verbruik	10%	
<hr/>		
Vergisting (50°C)	170 m ³ /ton	
Biogas	19 MJ/m ³	
Gas (warmte)	54% th	1,7 GJ/ton
Gas (elek.)	36% e	1,2 GJ/ton
HTL (300°C)		
Fermentatie (70°C)		
Bio-ethanol	35% th	5 GJ/ton
		484,5 GJ/ton
Verbranden (800°C)		
Warmte	90% th	14 GJ/ton
Vergassen (800°C)		
Gas (warmte)	39% th	6 GJ/ton
Gas (elek.)	26% e	4 GJ/ton
Pyrolyse (500°C)		
Pyrolyseolie	55% th	9 GJ/ton
Gas (warmte)	15% th	2 GJ/ton
Gas (elek.)	10% e	2 GJ/ton
Char	10% th	2 GJ/ton
		0,1 ton/ton input
Torrefactie (300°C)		
Gas (warmte)	12% th	2 GJ/ton
Gas (elek.)	8% e	1 GJ/ton
Char	70% th	11 GJ/ton
		0,5 ton/ton input

BIJLAGE F Geraadpleegde literatuur

¹ *Biomassapotentie Rijkswaterstaat, WUR (2014)*

² *Waarde Halen uit Groenresten in het Waterbeheer, STOWA (2017)*

³ *Jaarverslag, Staatsbosbeheer (2017)*

⁴ Bron: EM Natuurlijk

⁵ *Een studie naar kansen voor grasvergisting, RVO (2014)*