

# LITERATUURSTUDIE WAARDE HALEN UIT GROENRESTEN IN HET WATERBEHEER



RAPPORT

2017  
04

LITERATUURSTUDIE WAARDE HALEN UIT  
GROENRESTEN IN HET WATERBEHEER

**RAPPORT**

2017

**04**

ISBN 978.90.5773.740.4



[stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl) [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer  
Postbus 2180  
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Wim van Doorn (Primair Air Consultancy)  
Aldert van der Kooij (Van der Kooij Clean Technologies)  
Jan van Dam (Wageningen UR-Food & Biobased Research)

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Mark Kerkhoff (Waterschap Aa en Maas)  
Bart Brugmans (Waterschap Aa en Maas)  
Anouska ten Have (Waterschap Rijn en ijsel)  
Jos Hoogveld (Waterschap Peel en Maasvallei)  
Peter Jansen  
Yede van der Kooij (Wetterskip Fryslân)  
Jan van der Leij (Cumela)  
Hans Merks (Waterschap Rivierenland)  
Vincent van Rheenen (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden)  
Joost Schrande (Waterschap Zuiderzeeland)  
Jos van der Stappen (Waterschap Aa en Maas)  
Harm Jan Thieuwes (Millvision)  
Cora Uijterlinde (STOWA)  
Alex Veltman (Waternet)  
Martijn Wagener (GRASSA!)  
Mark Wesselink (Waterschap Vallei en Veluwe)  
John Verbruggen (Verbruggen Paddenstoelen)  
George Zoutberg (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau  
STOWA STOWA 2017-04  
ISBN 978.90.5773.740.4

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

# TEN GELEIDE

**Bioraffinage biedt nieuwe perspectieven voor de verwerking van groenresten uit het waterbeheer tot waardevolle producten.**

De Nederlandse waterschappen hebben de ambitie om op duurzame wijze grondstoffen uit rioolwater terug te winnen en weer hoogwaardig in te zetten. Ze geven dit actief vorm door middel van de netwerkorganisatie De Energie- en Grondstoffenfabriek. In een recente studie is de potentie van vijf voor waterschappen belangrijke grondstoffen in beeld gebracht, inclusief de mogelijke afzetketens en potentiële business cases rondom deze grondstoffen. Eén van de genoemde top 5 grondstoffen van waterschappen betreft biomassa.

Deze literatuurstudie is een eerste stap in een groter traject waarin op laboratorium- en praktijk-pilotschaal testen uitgevoerd gaan worden om vast te stellen welke nuttige, waardevolle stoffen met bioraffinage gewonnen kunnen worden uit de beschikbare rest-groenstromen in het waterbeheer.

Op basis van de inventarisatie bij een beperkt aantal waterschappen is een grove inschatting gemaakt van de totale 'markthoeveelheid' maaisel dat vrijkomt bij het beheer van wateren en oevers. Die hoeveelheid wordt geschat op 125.000 tot 250.000 ton/jaar natgewicht. Op basis van het verwaardingspotentieel van de onderzochte planten is een eerste globale verkenning gemaakt van de business case. Hieruit komt naar voren dat de meervoudige verwaarding van maaaisels via bioraffinage (tot eiwitten, vezels, fosfaatmeststof en sap voor vergisting), in een aantal scenario's economisch gunstiger is dan composteren. Ondanks dat de bevindingen van dit literatuuronderzoek een indicatief karakter hebben, concluderen de betrokkenen dat het verwaardingspotentieel en de economische haalbaarheid groot genoeg zijn om een nadere uitwerking middels laboratorium- en praktijk proeven te rechtvaardigen.

Bioraffinage experimenten hebben in de eerste helft van 2017 een vervolg gekregen. De uitkomsten hiervan worden in 2018 verwacht.

Joost Buntsma  
Directeur STOWA

# SAMENVATTING

In opdracht van het Waterschap Aa en Maas, mede namens een projectgroep van acht andere deelnemende waterschappen, STOWA en deelnemende partners Grassal, Millvision en Verbruggen Paddenstoelen, is een project gestart om de mogelijkheden voor verwaarding van restgroen uit het waterbeheer te onderzoeken. Het project bestaat uit een verkennende literatuurstudie (spoor 1), gevolgd door proeven in het laboratorium (spoor 2) en in de praktijk (spoor 3).

Dit rapport beschrijft de resultaten van de verkennende literatuurstudie naar de mogelijkheden voor verwaarding via bioraffinage van vrijkomend maaisel en in het waterbeheer af te voeren waterplanten. Daartoe is een inventarisatie gemaakt van de vrijkomende hoeveelheden en samenstelling van maaisels bij de acht deelnemende waterschappen en is via een literatuurstudie informatie verzameld over de fysisch-chemische samenstelling van de meest voorkomende planten in de maaisels. Daarbij is een literatuurscan uitgevoerd van de wetenschappelijke literatuur naar wat bekend is over biomassa samenstelling van de meest voorkomende niet-inheemse waterplanten en de aanwezigheid van specifieke inhoudstoffen voor verwaarding. Op basis van deze informatie en inzicht in biobased conversie technieken, is een inschatting gemaakt van het potentieel voor verwaarding van deze groenresten door waterschappen. Mogelijke producten zijn eiwitten voor veevoeder of technische toepassingen, vezels voor papier/karton of diverse biocomposiet-toepassingen, en soms zijn specifieke inhoudstoffen aanwezig, zoals gelerende stoffen of antioxidantia.

Op basis van de inventarisatie onder acht Waterschappen en door extrapolatie naar alle 23 waterschappen in Nederland, wordt geschat dat minimaal ca. 500.000 ton/jaar (natgewicht) aan maaisels vrijkomt in het beheer van wateren en oevers. Dit is zeer waarschijnlijk een onderschatting van de feitelijke hoeveelheden, daar deze slechts beperkt bekend zijn bij de waterschappen. Geschat wordt dat 25%-50% van de maaisels wordt afgevoerd. De totale "markt" is daarmee minimaal 125.000-250.000 ton maaisel. De maaisels komen voornamelijk vrij in de maanden juni/juli (ca. 35%) en oktober/november (ca. 60%).

Op basis van het verwaardingspotentieel van de onderzochte planten is een eerste globale verkenning gemaakt van de business case. Daarbij is een beperkt aantal van de mogelijke combinaties van technieken en producten doorgerekend. Als referentie zijn de kosten van de huidige praktijk van afvoeren van maaisels en composteren gebruikt. Hieruit komt naar voren dat de meervoudige verwaarding van maaisels via bioraffinage (tot eiwitten, vezels, fosfaatmeststof en sap voor vergisting), in een aantal scenario's economisch gunstiger is dan composteren. De proceskosten zijn daarbij beduidend meer van invloed op de business case dan de productwaarde.

Ondanks dat de bevindingen van dit literatuuronderzoek een indicatief karakter hebben concluderen de onderzoekers dat het verwaardingspotentieel en economische haalbaarheid groot genoeg zijn om nadere uitwerking middels laboratorium- en praktijk proeven te rechtvaardigen.

Het rapport sluit af met een aantal aanbevelingen, om beter inzicht te krijgen in de hoeveelheden en samenstelling van de maaisels en voor nadere laboratorium- en praktijkproeven voor verdere ontwikkeling van de verwaarding van maaisels uit het waterbeheer.

# DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

*Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.*

# LITERATUURSTUDIE WAARDE HALEN UIT GROENRESTEN IN HET WATERBEHEER

## INHOUD

|          |                                                                   |           |
|----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
|          | TEN GELEIDE                                                       |           |
|          | SAMENVATTING                                                      |           |
|          | DE STOWA IN HET KORT                                              |           |
| <b>1</b> | <b>INLEIDING</b>                                                  | <b>1</b>  |
| 1.1      | Introductie                                                       | 1         |
| 1.2      | Achtergrond                                                       | 1         |
| 1.3      | Uitvoering onderzoek en leeswijzer                                | 3         |
| <b>2</b> | <b>DOELSTELLING EN AFBAKENING</b>                                 | <b>4</b>  |
| 2.1      | Doelstelling                                                      | 4         |
| 2.2      | Afbakening                                                        | 4         |
| 2.3      | Vraagstellingen                                                   | 6         |
| 2.4      | Werkwijze                                                         | 6         |
| <b>3</b> | <b>INTRODUCTIE MAAIBEHEER EN WETTELIJKE KADERS EN RICHTLIJNEN</b> | <b>7</b>  |
| 3.1      | Introductie maaibeheer                                            | 7         |
| 3.2      | Uitheimse en invasieve soorten                                    | 7         |
| 3.3      | Wettelijke kaders                                                 | 8         |
| 3.3.1    | Maaibeheer                                                        | 8         |
| 3.3.2    | Biobased grondstoffen, productie en producten                     | 9         |
| 3.4      | Richtlijnen maaien Rijkswaterstaat                                | 10        |
| <b>4</b> | <b>INVENTARISATIE GROENRESTEN IN WATERBEHEER</b>                  | <b>11</b> |
| 4.1      | Hoeveelheden maaisels van water- en oeverplanten                  | 11        |
| 4.1.1    | Hoeveelheden op basis van de enquête                              | 11        |
| 4.1.2    | Extrapolatie hoeveelheden Nederland                               | 13        |
| 4.1.3    | Seizoensvariatie                                                  | 14        |
| 4.2      | Fysisch-chemische samenstelling en bioraffinage potentieel        | 15        |
| 4.2.1    | Introductie plantsamenstelling en bioraffinage potentieel         | 15        |
| 4.2.2    | Eigenschappen van geselecteerde planten                           | 16        |



|           |                                                                   |           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5</b>  | <b>BIORAFFINAGE BUSINESS CASE OP HOOFDLIJNEN</b>                  | <b>20</b> |
| 5.1       | Verwaardingstechnieken                                            | 20        |
| 5.2       | Uitgangspunten                                                    | 22        |
| 5.3       | Toepassingen                                                      | 24        |
| 5.4       | Overzicht mogelijke business case scenario's                      | 25        |
| 5.5       | Globale financiële haalbaarheid business cases                    | 27        |
| 5.5.1     | Rekenmodel business case scenario's                               | 27        |
| 5.5.2     | Resultaten business case scenario's                               | 32        |
| <b>6</b>  | <b>OVERZICHT BIOBASED TOEPASSINGEN EN ONDERZOEKEN</b>             | <b>37</b> |
| 6.1       | Inleiding                                                         | 37        |
| 6.2       | Veevoeder                                                         | 37        |
| 6.3       | Biocomposieten                                                    | 37        |
| 6.4       | Vezels voor papier en/of karton                                   | 38        |
| 6.5       | Vezels als groeisubstraat paddenstoelen                           | 38        |
| 6.6       | Energie                                                           | 38        |
| <b>7</b>  | <b>SELECTIE VAN PLANTEN VOOR TESTFASE EN KRITISCHE PARAMETERS</b> | <b>39</b> |
| <b>8</b>  | <b>CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN</b>                                | <b>42</b> |
| 8.1       | Inventarisatie                                                    | 42        |
| 8.2       | Kwaliteit                                                         | 42        |
| 8.3       | Verwaardingspotentieel en business cases                          | 43        |
| 8.4       | Aanbevelingen voor laboratorium-pilot proeven (spoor 2)           | 44        |
| 8.5       | Aanbevelingen voor praktijk- pilot proeven (spoor 3)              | 44        |
|           | <b>LITERATUUR EN REFERENTIES</b>                                  | <b>47</b> |
| Bijlage A | Samenstelling Projectgroep                                        | 49        |
| Bijlage B | Woekerende waterplanten literatuurscan                            | 50        |
| Bijlage C | Suggesties voor inventarisatie maaisels                           | 66        |

# 1

## INLEIDING

### 1.1 INTRODUCTIE

Er is een verkennende literatuurstudie uitgevoerd naar de mogelijkheden om via bioraffinage technieken waardevolle stoffen te halen uit groenresten in het waterbeheer. Het Waterschap Aa en Maas treedt daarbij als penvoerder op voor een brede groep van deelnemende waterschappen en andere betrokken organisaties die een rol spelen in de keten van planten maaien, verwijdering/verwerking en gebruik. In bijlage A is een overzicht gegeven van de betrokken projectpartners in de projectgroep.

Deze literatuurstudie is een eerste stap in een groter project waarin op laboratorium en praktijk-pilot schaal testen uitgevoerd gaan worden om vast te stellen welke nuttige, waardevolle stoffen gewonnen kunnen worden uit de beschikbare rest-groenstromen in het waterbeheer. Op basis van de uitkomsten van deze proeven kan nader bepaald worden hoe de business case voor verwaarding eruit zou kunnen gaan zien. In de formulering van de business case zullen ook moeilijker in geld uit te drukken aspecten zoals effecten op broeikasgasemissies, sluiten van mineralenkringloop en bijdrage aan verduurzaming van het waterbeheer en innovatie meegenomen worden.

De nadruk van dit onderzoek ligt op het concretiseren van de toepassing van kleinschalige, mobiele bioraffinage, waarmee, eventueel in combinatie met andere verwaardingstechnieken een optimale verwaarding van beschikbare maaaisels tot meerdere producten kan plaatsvinden.

Het doel van dit project is om op praktijkschaal te testen in hoeverre eiwitten, vezels en specifieke inhoudstoffen te winnen zijn uit planten-maaaisels vanuit het waterbeheer. Het tweede doel is het voorbereiden van een rendabele structuur om maaaisels uit het waterbeheer in te zamelen en voor te bewerken ten behoeve van deze manier van verwerken.

Uiteraard is de haalbaarheid van verwaarding van restgroen alleen dan mogelijk als dat niet ten koste gaat van de realisatie van ecologische en waterkwaliteitsdoelstellingen en past binnen de vigerende wettelijke kaders.

### 1.2 ACHTERGROND

Vele organisaties, zoals Gemeenten, natuurverenigingen, waterschappen en Rijkswaterstaat hebben de taak aquatische natuurgebieden, watergangen, plassen, meren en rivieren en hun oevers te onderhouden. Dit onderhoud bestaat uit het periodiek (laten) maaien en het al dan niet (laten) afvoeren van het maaisel. Het maairegime hangt af van de doelstellingen van de beheerder, de wetgeving en daarmee ook het volume maaisel.

Het maaien vindt hoofdzakelijk plaats in de periode juni - oktober, voornamelijk na het broed-, bloei- en vakantie seizoen. Speciale aandacht verdienen de woekerende waterplanten, zoals het Fonteinkruid in de Randmeren en de Grote Waternavel in Noord-Brabant. Deze planten geven door hun groeisnelheid en afwezigheid van concurrentie een grote overlast voor het ecosysteem, waterbeheer, vaartuigen en waterrecreatie.

De laatste jaren is steeds meer aandacht voor het verwaarden van groenresten uit waterbeheer en reductie van kosten voor de verwerking. Dit betreft water- en oeverplanten bij Waterschappen en andere water-terreinbeheerders, ondermeer woekerende en/of uitheemse planten die zich explosief in Nederland vermeerderen.

EGF

Eén van de oplossingsrichtingen is om de planten te verwijderen en vervolgens te gaan verwaarden, via zogenaamde bioraffinage technieken. Op deze manier kunnen woekerende planten dienen als grondstof voor productie van eiwitten (diervoeder/technische toepassingen), vezels (diverse toepassingen), als bron van specifieke inhoudstoffen en van mineralen (specifiek mest substraat) en energie. Vooral eiwitten en vezels zijn waardevolle grondstoffen, die het de moeite waard maken het potentieel van waterplanten als grondstof te onderzoeken.

De waarde bestaat uit twee componenten:

- een financiële component: door toepassing van bioraffinage en andere verwaardigingstechnieken (op termijn) terugbrengen van de kosten van het maaibeheer,
- een maatschappelijke/natuur/duurzaamheidscomponent: een bijdrage leveren aan reductie van de uitstoot van broeikasgassen, en aan sluiting van de mineralenkringloop. Daarnaast bevordert het project innovatie, waarbij niet altijd direct de resultaten helder worden, maar op termijn wel een doorwerking plaatsvindt die nodig is om tot concrete innovaties te komen. Zo zijn er diverse toepassingen denkbaar binnen de innovatie-trajecten van de EnergieGrondstoffenFabriek (zie [www.efgf.nl](http://www.efgf.nl)). Deze component is minder goed in geld uit te drukken. Als uit waterplanten (kracht-)voer voor vee gemaakt zou kunnen worden, zou daarmee tevens een bijdrage geleverd worden aan vermindering van de import van soja, hetgeen positief doorwerkt op het tegengaan van tropische boskap, minder CO<sub>2</sub>-emissies vanwege transport, en verkleining van het mineralenoverschot in Nederland (sluiten kringlopen). Door in dit project een bioraffinage unit op kleine schaal te laten werken wordt ervaring opgedaan door de waterschappen en project partners, die van groot belang kan blijken te zijn voor andere en verdere innovaties binnen het thema “energie- en grondstoffenfabriek”.

Hiervoor is een project-idee samengesteld, om door middel van literatuuronderzoek, laboratorium- en praktijkproeven, en een bedrijfseconomische haalbaarheidsanalyse vast te stellen of deze benadering een technisch/financieel haalbare werkwijze vormt. Dit project bestaat uit 3 sporen, waarvan deze literatuurstudie spoor 1 vormt (zie figuur hieronder).

FIGUUR 1 OVERZICHT PROJECTOPZET "WAARDE HALEN UIT GROENRESTEN IN HET WATERBEHEER"



### 1.3 UITVOERING ONDERZOEK EN LEESWIJZER

Dit rapport is tot stand gekomen in een nauwe samenwerking tussen:

- Van der Kooij Clean Technologies (VDKCT), uitvoering inventarisatie hoeveelheden en samenstelling van maaisels in het waterbeheer, fysisch-chemische karakterisering van geselecteerde planten en eerste business case verkenning;
- WUR-FBR, scan van wetenschappelijke literatuur naar de mogelijkheden voor verwaarding via bioraffinage van vrijkomend maaisel en in het water beheer af te voeren waterplanten, met name gericht op specifieke inhoudstoffen (zonder economische analyse).
- Primair Air Consultancy (PAC), inventarisatie maaisels, context van deze verkenning, gegevensanalyse en redactie van het hoofdrapport.

Dit rapport beschrijft de doelstellingen en de opzet van het project, een samenvatting van de resultaten gericht op de verdere stappen die nodig zijn om tot verwaarding van maaisels uit het waterbeheer te komen.

Er is een separate deelrapportage opgesteld welke onderdeel is van dit project. Het betreft het rapport "Groenresten uit het waterbeheer. Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses" (Kooij, 2016). Dit document is beschikbaar in de Hydrotheek ([www.hydrotheek.nl](http://www.hydrotheek.nl)).

# 2

## DOELSTELLING EN AFBAKENING

### 2.1 DOELSTELLING

Het doel van het onderzoek is om vast te stellen welke water- en oeverplanten het grootste potentieel hebben voor verwaarding, op basis van:

- Voorkomen
- Fysisch-chemische samenstelling
- Beschikbaarheid op korte termijn van techniek voor maaien en verwerken
- Vraag naar en prijzen voor grondstoffen uit de maasiels

In de figuur op de volgende pagina staat schematisch het te doorlopen proces weergegeven in de vorm van een blokdiagram. We richten ons in het onderzoek vooral op de meervoudige verwaarding van de planten, door optimaal gebruik te maken van de verschillende inhoudscomponenten (vezels, eiwitten, specifieke inhoudstoffen, energie). Daarbij wordt uitgegaan van (bioraffinage-)technieken zoals die momenteel beschikbaar zijn als pilot- en full-scale technologie. Het uiteindelijke doel is de volledige keten op pilotschaal te beproeven en het technisch en financieel te beoordelen op grootschalige toepasbaarheid.

Het literatuuronderzoek heeft als doel dit voor te bereiden.

### 2.2 AFBAKENING

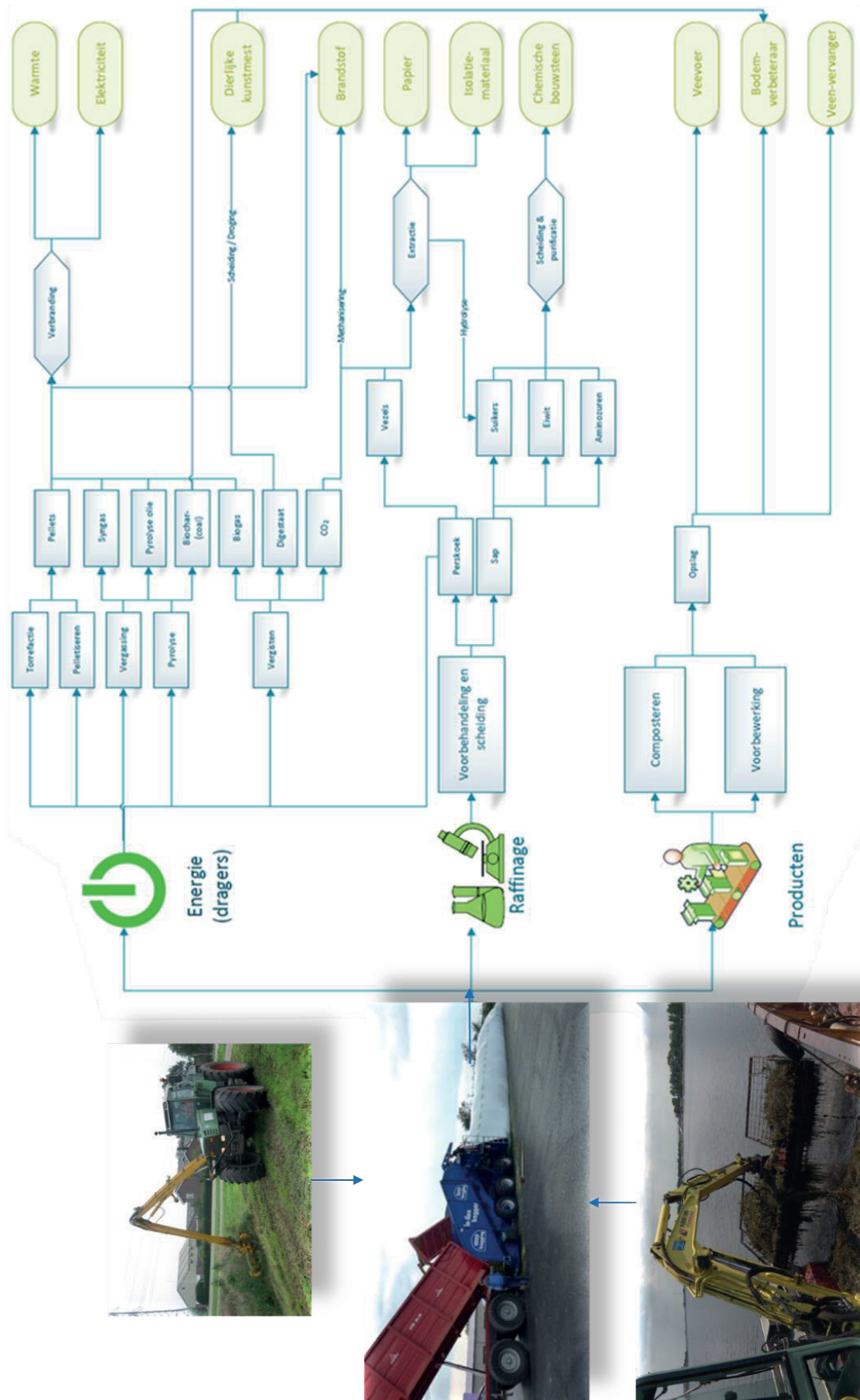
De focus van de literatuurstudie ligt op water- en oeverplanten in de werkgebieden van de deelnemende waterschappen. We richten ons daarbij op:

- Vegetaties die zorgen voor een hinderlijke overlast ("woekerende planten, plaagsoorten");
- De in de grootste hoeveelheden normaal voorkomende vegetaties op oevers en in het water die gemaaid worden;

Immers, binnen beschikbaar budget en tijd, dient de vraag beantwoord te worden welke planten in de werkgebieden van deelnemende waterschappen het grootste potentieel hebben voor een grondstoffen - business case, afzonderlijk of in combinatie met andere maaisels. De meest-belovende planten/combinaties zullen vervolgens nader onderzocht gaan worden in de testfase van het project.

Daartoe is actief (via enquêtes) de benodigde informatie over de aanwezigheid van water- en oeverplanten bij de deelnemende waterschappen verzameld. Voor de werkgebieden van de overige waterschappen is geen actieve inventarisatie uitgevoerd, maar wel beschikbaar gekomen informatie (landelijke overzichten) gebruikt in de beeldvorming en extrapolatie naar heel Nederland.

Hetzelfde geldt voor de afbakening ten aanzien van de soorten maaisels: de actieve focus ligt op water- en oeverplanten, al dan niet inheems en al dan niet woekierend, en overige beschikbaar komende informatie zal worden gebruikt om het bredere perspectief van aanwezige biomassa te schetsen (bijv. bermmaaisel).



### 2.3 VRAAGSTELLINGEN

De vraagstellingen van de literatuurstudie waren als volgt:

- 1 Welke soorten water- en oeverplanten zijn aanwezig, in welke hoeveelheden, op welke locaties (enquête onder de deelnemende waterschappen) (Hoofdstuk 4)
- 2 Wat is het probleem dat de planten veroorzaken, welke maatregelen worden momenteel genomen om het voorkomen van de planten te beperken?
- 3 Wat is de fysisch-chemische samenstelling van deze planten (gehaltes aan droge stof, eiwit (samenstelling), lignine, cellulose, hemicellulose, mineralen, informatie over toxiciteit)? (hoofdstuk 4)
- 4 Wat zijn de wettelijke kaders? (hoofdstuk 3)
- 5 Wat is het globale toepasbaarheidspotentieel van de planten? (hoofdstuk 5)
- 6 Welke planten bieden in technische en financiële zin het grootste potentieel voor bioraffinage en zouden daarom in de pilot-testfase meegenomen dienen te worden? (hoofdstuk 7 en 8)
- 7 Hoe ziet de business case er op hoofdlijnen uit, inclusief de duurzaamheidsaspecten, en wat zijn de kritische parameters die in de testfase van dit project nader proefondervindelijk bepaald moeten gaan worden? (hoofdstukken 5, 7 en 8).

### 2.4 WERKWIJZE

De onderzoeksopzet van de literatuurstudie was als volgt:

- 1 Literatuur verzamelen en samenvatten  
Daarbij is via een literatuurscan op internet en op basis van bij de project partners aanwezige informatie, inclusief de Stowa-hydrotheek, een overzicht gemaakt van beschikbare informatie die van belang is voor dit project (zie lijst van referenties).
- 2 Inventarisatie aanwezigheid water- en oeverplanten via een enquête onder de projectpartners. De projectpartners hebben veelal intern verschillende informatiebronnen samengevoegd, aangevuld met expert judgements, om tot best beschikbare schattingen te komen van hoeveelheden en samenstelling van planten(mengsels). Daarnaast is tevens gebruik gemaakt van de Nationale Database Flora en Fauna.
- 3 Fysisch-chemische samenstelling van planten en hun bioraffinage potentieel  
Hierbij is gebruik gemaakt van beschikbare databases over samenstelling van plantmaterialen, afkomstig van Probos, Kenniscentrum Plantenstoffen, NOBANIS (European Network on Invasive Alien Species), Nederlands Expertise Centrum Exoten, Institute of Biology Leiden, Invexo en informatie van WUR-FBR. Deze scan is in het rapport "Bioraffinage en vezelverwaardiging. Literatuuronderzoek en businesscase analyses" (Van der Kooij, 2016) en de notitie "Waarde uit restgroen waterbeheer. Woekerende waterplanten literatuurscan" (bijlage B), samengevat.
- 4 Bioraffinage business case op hoofdlijnen  
Een business case is haalbaar als deze geld bespaart of oplevert ten opzichte van de huidige wijze van maaien, afvoeren en verwerken van planten(resten) uit het water- en oeverbeheer, rekening houdend met duurzaamheidsaspecten. De kosten van de te onderzoeken businesscases worden bepaald door:
  - a Voorkomen van de planten (volume, massa)
  - b Fysisch-chemische samenstelling (welke stoffen zitten erin)
  - c Beschikbaarheid op korte termijn van techniek voor maaien en verwerken (welke kosten moeten gemaakt worden)
  - d Vraag naar en prijzen voor grondstoffen uit de maaisels (welke opbrengsten kunnen verwacht worden)
- 5 Eerste selectie van meest belovende plant - business cases en kritische parameters
- 6 Aanbevelingen voor de testfase (spoor 2 en spoor 3) en business case formulering.

# 3

## INTRODUCTIE MAAIBEHEER EN WETTELIJKE KADERS EN RICHTLIJNEN

### 3.1 INTRODUCTIE MAAIBEHEER

Watergangen, zoals sloten, vaarten, singels, kleine vijvers en kleine kanalen, worden door- gaans gemaaiërd. Maaikorven is het maaien van de begroeiing in de bodem van een sloot, kanaal of watergang met behulp van een lange giek met daaraan een brede korf, de zoge- naamde maaikorf. De begroeiing uit het water wordt na het maaikorven verspreid over het land. Voor grotere wateren, waar de giek niet meer bij kan, worden speciale maaiboten ingezet, die het materiaal maaien en naar de kant brengen. Daar wordt het materiaal, na eerst enige tijd te hebben uitgelekt en ingedroogd, afgevoerd naar een composteringsbedrijf. Het materiaal is vaak volumineus om te laten liggen en ter plekke te composteren.

Vanwege ecologisch bermbeheer wordt vaak het maaisel afgevoerd. De oevers worden niet bemest. Hierdoor is het maaisel van nature eiwitarm en daardoor minder geschikt als veevoer. Bovendien is het maaisel vaak vervuild met plastic, blikjes, grond, etc. en wordt het gezien als afvalstof. De afvoer is een jaarlijks terugkerende kostenpost voor de beheerders.

### 3.2 UITHEEMSE EN INVASIEVE SOORTEN

In het algemeen zijn waterplanten van groot belang voor schoon en helder water: een stabiel helder water bevat doorgaans veel waterplanten en weinig algen (zie ook Haan et al, 2012). Echter als waterplanten gaan woekeren, leidt dat tot verstoring van het ecosysteem, naast over- last voor waterrecreatie, water- en dijkbeheer etc. Woekering is vaak het geval bij uitheemse plantensoorten, ook wel exoten genoemd.

Het aantal nieuwe soorten oever- en waterplanten dat zich in Nederland vestigt, neemt sterk toe. Vanaf 1990 is het aantal nieuwe soorten waterplanten verdubbeld van 20 naar ca. 40 soorten, voornamelijk afkomstig uit Noord- en Zuid-Amerika. De handel in planten door vijver- en tuincentra is een van de belangrijkste oorzaken voor introductie [1]. Invasieve oever- en waterplanten in particuliere tuinen aan de rand van openbare watersystemen vormen een steeds grotere bron van verspreiding. Om de verspreiding via de handel in te dammen is in 2010 het Convenant Waterplanten [2] ondertekend door het bedrijfsleven, het ministerie van Economische Zaken (EZ) en de waterschappen in Nederland (zie ook paragraaf 4.2). In het convenant is o.a. afgesproken dat bepaalde plantensoorten in Nederland niet worden geleverd aan consumenten en ook niet door de aangesloten bedrijven in eigen beheer worden gebruikt.

De belangrijkste probleemsoorten die in het convenant worden benoemd zijn:

- *Crassula helmsii*; Watercrassula
- *Hydrilla verticillata*; Hydrilla
- *Hydrocotyle ranunculoides*; Grote waternavel



- *Ludwigia grandiflora*; Waterteunisbloem
- *Ludwigia peploides*; Kleine waterteunisbloem
- *Myriophyllum aquaticum*; Parelvederkruid
- Toegevoegd in 2012: *Myriophyllum heterophyllum*; Ongelijkbladig vederkruid

Deze invasieve exotische oever- en waterplanten zorgen voor veel overlast omdat ze sterk woekeren en moeilijk te bestrijden zijn. De groeiplaatsen hebben vaak een ruderaal karakter en worden niet of extensief beheerd. Voor een overzicht van belangrijke probleemsoorten, de daarmee gepaard gaande risico's, de verspreiding over Nederland en de huidige aanpak wordt verwezen naar de literatuur[26][27][28].

Negatieve effecten en overlast kunnen betrekking hebben op:

- *ecologische effecten*:  
Voor een goede ecologie van het watersysteem is naast schoon water ook de inrichting van belang. Met de invoering van de Kaderrichtlijn Water (KRW) is het zwaartepunt verschoven van waterkwaliteit naar het verbeteren van de inrichting, zoals her-meandering, aanleg van natuurvriendelijke oevers en vistrappen. Invasieve exoten kunnen een negatief effect hebben op de ecologische (instandhoudings-)doelstellingen door verdringing van inheemse plantensoorten, veroorzaken van zuurstof tekort in het water, met als gevolg vissterfte en andere fauna, verstrikt waterwild en stank;
- *technische effecten*:  
door extremere neerslagintensiteiten en hogere neerslaghoeveelheden als gevolg van klimaatverandering, neemt de kans op wateroverlast toe. Invasieve exoten kunnen de waterafvoer belemmeren door dichtslibben van watergangen en blokkeren van kunstwerken. Hierdoor neemt de kans op wateroverlast toe;
- *financiële consequenties*:  
invasieve exotische oever- en waterplanten zijn over het algemeen moeilijk, en alleen tegen hoge kosten te bestrijden.

Welke specifieke problemen een soort kan veroorzaken hangt nauw samen met de standplaats en verschijningsvorm. We maken hier gebruik van vaker gebruikte indelingen [16][20], aangevuld met een categorie 'landgebonden' soorten (Tabel 1), namelijk:

- 1 Vrijdrijvende soorten: niet wortelend, opname nutriënten uit waterkolom. Voorbeeld: *Azolla filiculoides* (Grote kroosvaren).
- 2 Submerse soorten: onderwater groeiende soorten, alleen generatieve delen boven water, opname nutriënten uit waterkolom, soms ook sediment. Voorbeeld: *Cabomba caroliniana* (Waterwaaier).
- 3 Emerse soorten: voornamelijk boven water groeiende soorten met zeer lang wortelstelsel, wortelend in bodem en/of oever, nutriëntenopname uit sediment en waterkolom. Voorbeeld: *Hydrocotyle ranunculoides* (Grote waternavel).
- 4 Terrestrische soorten: 'land-gebonden' soorten, voorkomend op drogere terreinen in of nabij oevers en op dijktafsluitingen. Voorbeeld: *Fallopia japonica* (Japanse duizendknoop).

### 3.3 WETTELIJKE KADERS

#### 3.3.1 MAAIBEHEER

De Waterschappen zijn in het Waterbeheer gebonden aan een breed scala aan regels. De voor dit project meest relevante zijn hieronder kort benoemd.

De volgende wettelijke kaders hebben invloed op het maaibeheer en daarmee op het beschikbaar komen van groenresten voor verwaarding:

- EU - Kaderrichtlijn water  
In Nederland zijn alle rijkswateren en vele regionale wateren (totaal 724) aangewezen als KRW-oppervlaktewaterlichaam, waarvoor ecologische doelstellingen zijn geformuleerd. Deze betreffen doelen voor een goede ecologische toestand voor fytoplankton, waterplanten, macrofauna en vissen EU - Habitat en Vogel richtlijn.
- NL – Natuurbeschermingswet:  
indien een gebied is aangewezen als Natura2000-gebied, gelden gebiedspecifieke instandhoudingsdoelstellingen voor habitats en soorten. Voor het maaien In deze gebieden is een natuurbeschermingswetvergunning benodigd.
- Flora en Fauna wet:  
consequenties van de Flora en Faunawet voor het waterbeheer door waterschappen zijn door de Unie van Waterschappen gedefinieerd in een “Gedragscode Flora- en Faunawet voor waterschappen” (geldig 5 jaar, laatst goedgekeurd door ministerie ELI in 2012). De gedragscode biedt ruimte voor lokaal maatwerk, toegesneden op de lokale situatie en de soort waar het om gaat. Voorwaarde is dat onderbouwd kan worden dat geen afbreuk wordt gedaan aan het duurzaam voortbestaan van populaties beschermde soorten. Eventueel kan een ontheffing worden aangevraagd voor bepaalde activiteiten. Deze stelt in paragraaf 4.2.3 “schonen van waterlopen en oevers” ondermeer:
  - het verdient aanbeveling het schoonsel minimaal 48 uur naast de watergang te laten liggen, opdat amfibieën terug naar de watergang kunnen vluchten. Langs watergangen met een botanische doelstelling kan een keuze worden gemaakt voor versneld afvoeren van het maaisel;
  - bij het afzetten van maaisel op land worden beschermde terrestrische soorten zoveel mogelijk ontzien. Van de daarvoor genomen voorzorgsmaatregelen wordt algemeen of specifiek per geval nota gemaakt (bijvoorbeeld in beheer- en onderhoudsplannen). Dit betekent dat voor elke situatie specifiek aandacht nodig is voor het voorkomen van (zeldzame) soorten, en op basis daarvan dient gekeken te worden in hoeverre maaisels een bepaalde “ligtijd” nodig hebben. Dit kan op gespannen voet staan met vereisten vanuit bioraffinage - productopbrengst en kwaliteit, waar voor eiwitten een snelle verwerking na maaien wenselijk is.
- NL - Waterwet:  
geeft in Nederland uitvoering ondermeer aan de EU-Kaderrichtlijn Water.
- EU verordening Invasieve uitheemse soorten.
- Nederlandse verordening Invasieve uitheemse soorten.

### 3.3.2 BIOBASED GRONDSTOFFEN, PRODUCTIE EN PRODUCTEN

Daarnaast is er regelgeving die van toepassing is op de toepasbaarheid van maaisels en de via bioraffinage verkregen producten uit groenresten:

- afvalstoffenregelgeving
- Regeling diervoeders 2012 (VWA) (in geval van toepassing al diervoeder)

### 3.4 RICHTLIJNEN MAAIEN RIJKSWATERSTAAT

Naar aanleiding van overlast van waterplanten in de randmeren heeft Rijkswaterstaat een richtlijn opgesteld voor maaien van waterplanten, rekening houdend met ecologie.

Deze “ Handreiking waterplanten maaibeheer“ (Rijkswaterstaat 2012, en bijbehorend onderbouwend rapport door De Haan et al, 2012)) hebben als doel in geval hinder voor de waterrecreatie ontstaat zodanig te maaien dat geen negatieve effecten op het water-ecosysteem ontstaat. Kort samengevat worden de volgende maa-richtlijnen gegeven:

- 1 Maai maximaal 10% van het waterplantenareaal in het eigen gebruiksgebied. Uitzondering: voor woekerende exoten geldt maximaal 50%;
- 2 Maximaal 1 keer per jaar en na 1 juli maaien;
- 3 Vaker maaien als uitzondering:
  - 3a bij woekerende exoten
  - 3b na warm en zonnig voorjaar, onder voorwaarde dat broedende vogels niet worden verstoord
- 4 Maai op een diepte van minimaal 60 cm boven de waterbodem. Uitzondering: woekerende exoten: tot op de bodem
- 5 Maai geen beschermde planten
- 6 Meld vooraf het maaien bij Rijkswaterstaat en achteraf (in geval van rijkswater, RWS maakt elke 3 jaar een kaart van monitoringsgegevens).

Ondeskundig maaien kan leiden tot:

- 1 Vertroebeling van het water door beschadiging van de bodem en het opwoelen van bodemdeeltjes
- 2 Verslechtering van de waterkwaliteit door verrotting van plantenresten, overmatige vergroting van de voedselrijkdom (eutrofiering), en een verstoord evenwicht tussen voedingsstoffen in bodem en water (nutriëntenbalans)
- 3 Verslechtering van de waterkwaliteit op zwemwaterlocaties
- 4 Aantasting van natuurwaarden door vernietiging van waterplanten en verstoring van watervogels.

De periode april/mei is de meest kritische fase in balans tussen algen en waterplanten (helder en troebel water), en er dient voorkomen te worden dat waterplanten in deze periode gemaaid worden waardoor algen de overhand gaan krijgen in de maanden erna met kans op troebel water en verminderde water- en ecologische kwaliteit.

De in Natura2000 beschermde broedvogels broeden doorgaans in de periode maart t/m juni. Vandaar dat in de praktijk vanaf juli gemaaid wordt.

Enkele exotische waterplanten hebben een groeistrategie die hun kansen in het voorjaar aanzienlijk groter maken. Dit betreft wintergroene soorten, zoals smalle waterpest en, Ongelijkbladig vederkruid, maar ook het inheemse Grof hoornblad. Deze planten zijn gevoelig voor winterbegrazing door vogels, maar als dat niet teveel gebeurt zullen ze in het voorjaar met opwarming van het water snel gaan ontwikkelen, dat ze de waterkolom gaan vullen. Deze soorten kunnen dan ook al eerder gemaaid worden, en mogelijk later in de zomer nogmaals, omdat ze zich snel herstellen na maaien.

## 4

# INVENTARISATIE GROENRESTEN IN WATERBEHEER

## 4.1 HOEVEELHEDEN MAAISELS VAN WATER- EN OEVERPLANTEN

### 4.1.1 HOEVEELHEDEN OP BASIS VAN DE ENQUÊTE

De meest voorkomende invasieve/woekerende waterplanten, aangevuld met de soorten planten die in de grootste hoeveelheden voorkomen in de werkgebieden van de 8 deelnemende waterschappen zijn in onderstaande tabellen samengevat. Een uitgebreidere beschrijving van de resultaten van de inventarisatie is beschreven in het rapport "Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses" (Van der Kooij, 2016).

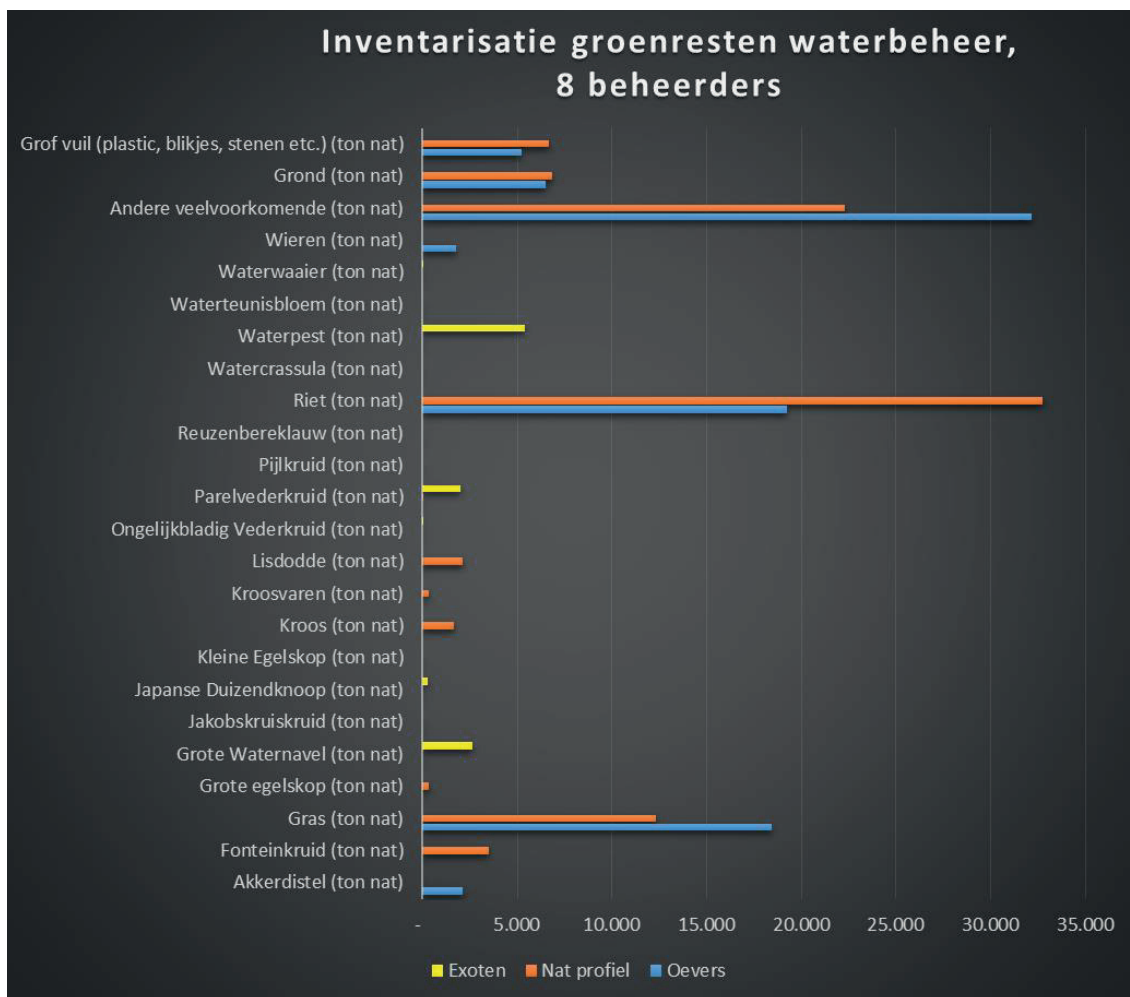
De samenvattende resultaten staan in tabel 4.1 en figuur 4.1. De figuren en tabellen geven aan hoeveel gemaaid is. De resultaten zijn afkomstig van de waterschappen Zuiderzeeland, Aa en Maas, Vallei en Veluwe, Waternet, Stichtse Rijnlanden, Fryslân en Noorderkwartier. Als 8e is informatie van de gebiedscoöperatie Gastvrije Randmeren gebruikt. Deze gebiedscoöperatie verzorgt namens de aanliggende gemeenten en Rijkswaterstaat het maaibeheer van de woekerende waterplanten in de Veluwerandmeren.

TABEL 4.1 SAMENVATTING RESULTATEN VAN DE ENQUÊTE ONDER 8 WATERSCHAPPEN. WEERGEGEVEN ZIJN DE GEMAAIDE MASSA'S (TON NAT)

| Soort                                     | Oevers        | Nat profiel   | Exoten        | Totaal         |               |
|-------------------------------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|
| Akkerdistel                               | 2.088         | -             | -             | 2.088          | 1,1%          |
| Fonteinkruid                              | -             | 3.521         | -             | 3.521          | 1,9%          |
| Gras                                      | 18.430        | 12.333        | -             | 30.763         | 16,7%         |
| Grote egelskop                            | -             | 340           | -             | 340            | 0,2%          |
| Grote Waternavel                          | -             | -             | 2.646         | 2.646          | 1,4%          |
| Jakobskruid                               | -             | -             | -             | -              | 0,0%          |
| Japanse Duizendknoop                      | -             | -             | 244           | 244            | 0,1%          |
| Kleine Egelskop                           | -             | -             | -             | -              | 0,0%          |
| Kroos                                     | -             | 1.630         | -             | 1.630          | 0,9%          |
| Kroosvaren                                | -             | 340           | -             | 340            | 0,2%          |
| Lisdodde                                  | -             | 2.138         | -             | 2.138          | 1,2%          |
| Ongelijkbladig Vederkruid                 | -             | -             | 50            | 50             | 0,0%          |
| Parelvederkruid                           | -             | 0             | 2.000         | 2.000          | 1,1%          |
| Pijlkruid                                 | -             | -             | -             | -              | 0,0%          |
| Reuzenbereklaauw                          | -             | -             | -             | -              | 0,0%          |
| Riet                                      | 19.251        | 32.753        | -             | 52.004         | 28,1%         |
| Watercrassula                             | -             | -             | -             | -              | 0,0%          |
| Waterpest                                 | -             | -             | 5.400         | 5.400          | 2,9%          |
| Warterunisbloem                           | -             | -             | -             | -              | 0,0%          |
| Waterwaaier                               | -             | -             | 50            | 50             | 0,03%         |
| Wieren                                    | 1.783         | -             | -             | 1.783          | 1,0%          |
| Andere veelvoorkomende                    | 32.176        | 22.314        | -             | 54.490         | 29,5%         |
| Grond                                     | 6.526         | 6.870         | -             | 13.396         | 7,3%          |
| Grof vuil (plastic, blikjes, stenen etc.) | 5.208         | 6.666         | -             | 11.874         | 6,4%          |
| <b>Totaal</b>                             | <b>85.462</b> | <b>88.904</b> | <b>10.390</b> | <b>184.756</b> | <b>100,0%</b> |

FIGUUR 4.1

SAMENVATTING RESULTATEN VAN DE ENQUÊTE ONDER 8 WATERSCHAPPEN (TON, NAT)



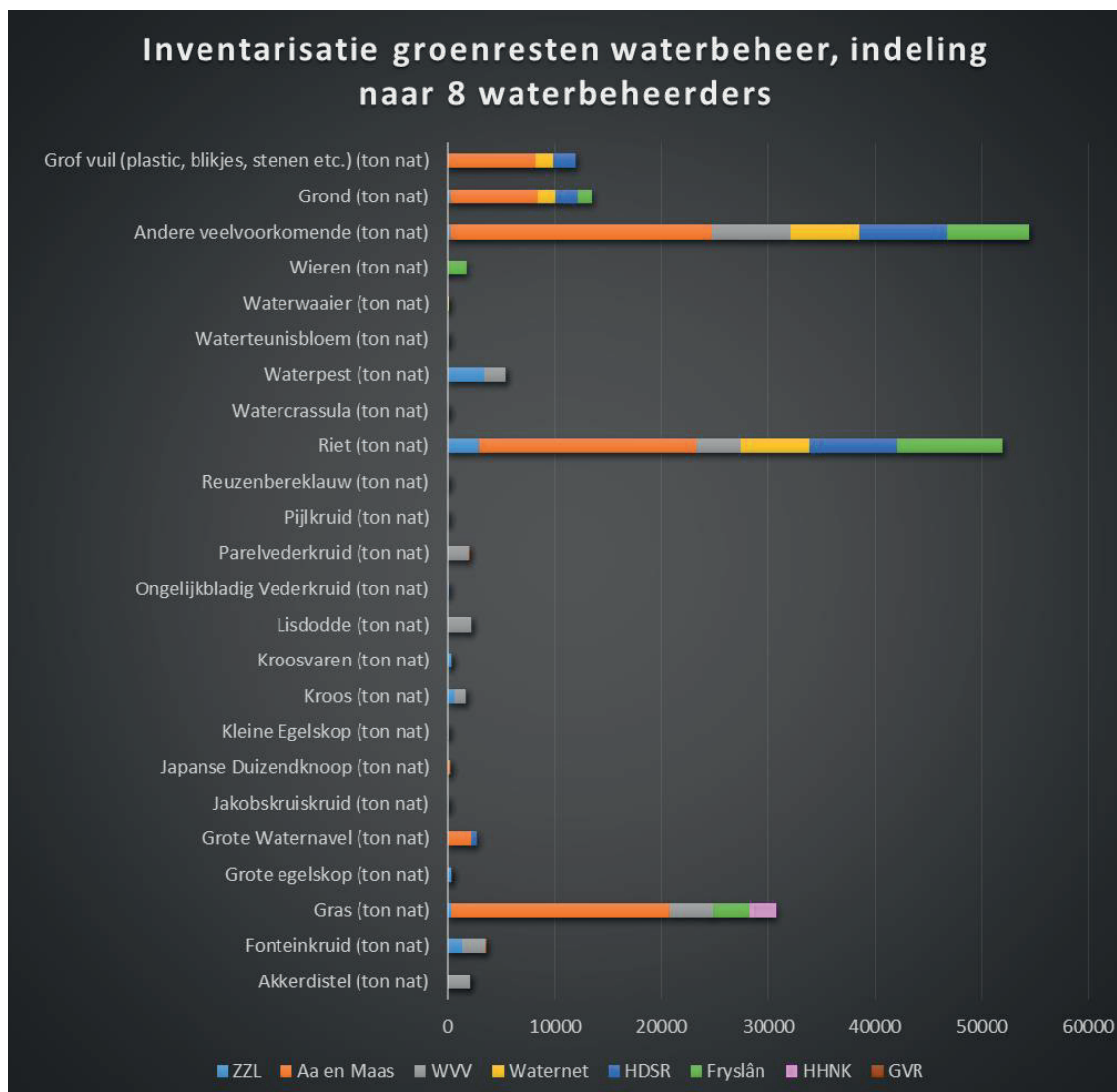
De resultaten zijn verwerkt in een spreadsheet. De invulling verschilde nogal per waterschap. Sommige enquêtes waren vrij nauwkeurig ingevuld, met detaillering van maaiperioden, herkomst (oevers, nat profiel, exoten), soorten planten en massa's. Anderen konden bijna niets opgeven.

De opgaves van Wetterskip Fryslân waren dermate laag dat in afstemming met dit waterschap deze met een factor 100 zijn vermenigvuldigd. Als enige heeft het Wetterskip te maken met wieren, die aanspoelen op de vloedlijn van de Waddenzeekust. Deze worden regelmatig weggehaald.

Op basis van de enquête resultaten maait Waterschap Aa en Maas het meest. Waarschijnlijk wordt dat voor een belangrijk deel veroorzaakt door het feit dat dit waterschap intensiever dan de andere waterschappen de hoeveelheden maaisels registreert. Van alle gemaaide biomassa is ca. 45% afkomstig van Aa en Maas, gevolgd door WVV, Waternet en Fryslân (elk ca. 10-15%). Zie figuur 4.2. In het algemeen hebben de onderzoekers de indruk dat de verkregen resultaten een (sterke) onderschatting van de feitelijk aanwezige hoeveelheden maaisels weer-geven.

Opvallend is ook het vrij grote aandeel aan grond en grof vuil (samen ca. 14%) dat meekomt met de maaisels. Met deze vervuiling dient rekening gehouden te worden in de voorbereiding van materialen voordat het geschikt is voor bioraffinage of andere bewerkingstechnieken.

FIGUUR 4.2 HOEVEELHEDEN MAAISELS, INDELING NAAR WATERSCHAP (TON, NAT)



Tenzij anders is overeengekomen, vervallen de maaisels aan de aannemer. Geschat wordt dat 25%-50% van de maaisels wordt afgevoerd, meestal naar een composteerder, soms naar boeren. De rest blijft liggen. Exoten worden volledig afgevoerd. In stedelijk gebied en in geval van exoten worden de maaisels afgevoerd naar een composteringsbedrijf. In het landelijk gebied blijven de maaisels achter op de oever.

Riet, (lies)gras, brandnetel en waterpest zijn de meest gemaaid planten. Grasachtigen, zegge, biezen, brandnetel, zuringsoorten, distel, pitrus, grote berenklauw en lisdodde vallen onder de “andere veelvoorkomende planten”. Brandnetel wordt daarbij het vaakst genoemd.

#### 4.1.2 EXTRAPOLATIE HOEVEELHEDEN NEDERLAND

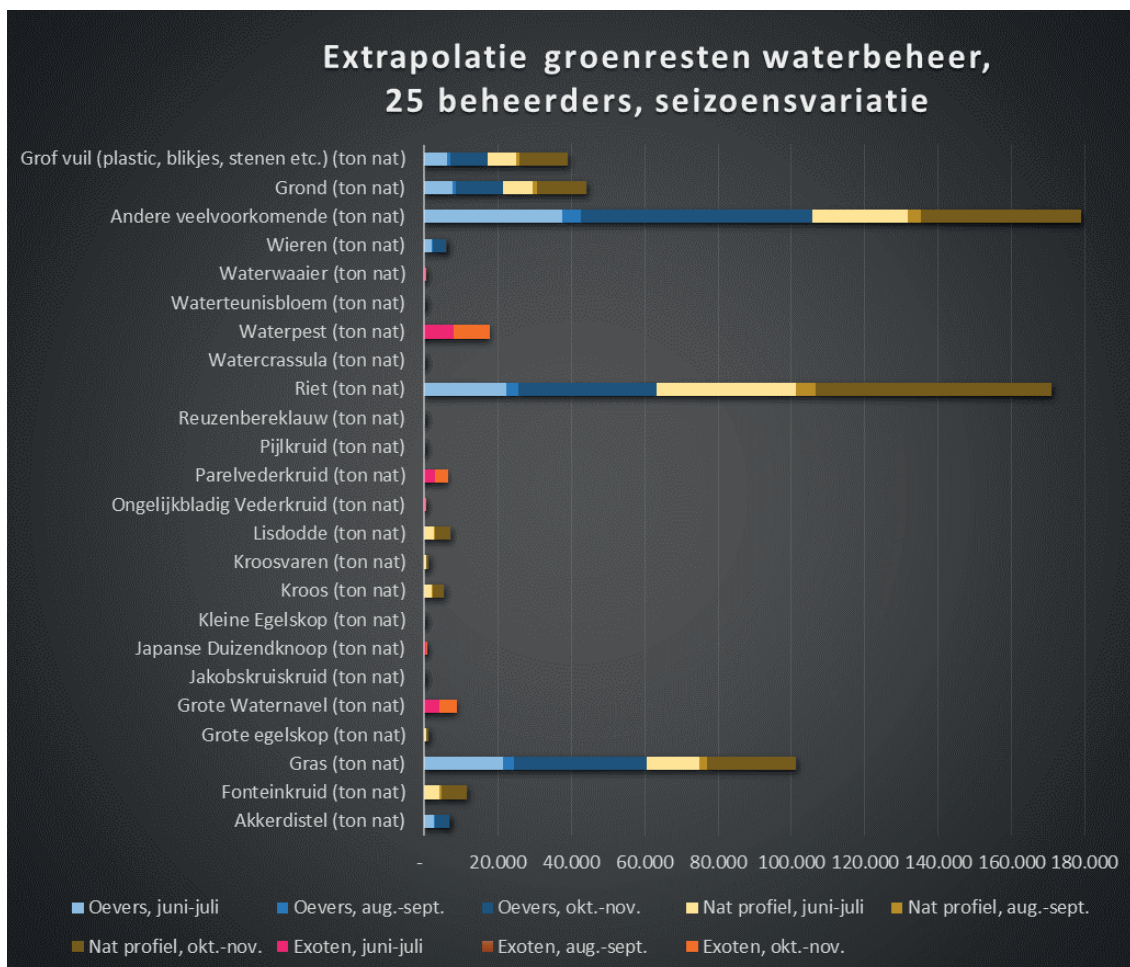
Nederland heeft 23 waterschappen. Door de enquêteresultaten te extrapoleren naar 23 waterschappen, ontstaat een grote indicatie van de hoeveelheid planten die jaarlijks gemaaid worden. Immers, de gebieden van waterschappen verschillen sterk van elkaar, waardoor lineaire extrapolatie tot vertekending zal leiden van het totaal beeld.

Totaal is dit ruim 500.000 ton natte biomassa, zie figuur 4.3. Geschat wordt dat 25%-50% van de maaisels wordt afgevoerd. De totale “markt” is daarmee minimaal 125.000-250.000 ton maaisel.



FIGUUR 4.3

EXTRAPOLATIE TONNEN NATTE MAAISELS NAAR DE SCHAAL VAN NEDERLAND (INDICATIEF)



Deze massa is een onderschatting van het maaiwerk dat voor het waterbeheer gedaan wordt:

- 1 Eén waterschap kon geen opgave doen van wat gemaaid is. In de extrapolatie is hiervoor gecorrigeerd.
- 2 De opgaves betreffen het maaiwerk van de waterschappen zelf. Bij wet is geregeld dat het maaiwerk van de kleine watergangen voor rekening is van de eigenaren. Die “particuliere” massa ontbreekt. Over het algemeen blijft deze op het land achter.

Maaisels van wegbermen zijn buiten de scope van deze studie, aangezien deze niet onder waterbeheer vallen. Ter vergelijking: In Nederland komt jaarlijks ca. 600.000 ton/jaar bermmaaisel beschikbaar, en in deze studie kwantificeren we ca. 500.000 ton/jaar aan sloot/oever/watermaaisel. Bermmaaisel bestaat veelal uit grassen en kruiden en is veel schraler en vervuiler dan maaisels uit en langs watergangen.

#### 4.1.3 SEIZOENSVARIATIE

Het maaiwerk vindt voornamelijk in de periode juni t/m november plaats. Ongeveer de helft van de geënquêteerden heeft opgegeven wanneer de maaiperiodes zijn en hoeveel per periode gemaaid wordt. Met de extrapolatie uit figuur 4.3 is een overzicht gemaakt van de gemaaid massa's planten in de periode juni-november.

Tabel 4.3 geeft een samenvatting van het overzicht van de hoeveelheden planten die 2-maandelijks worden gemaaid. Hieruit blijkt dat bijna 60% gemaaid wordt in oktober-november.

TABEL 4.3

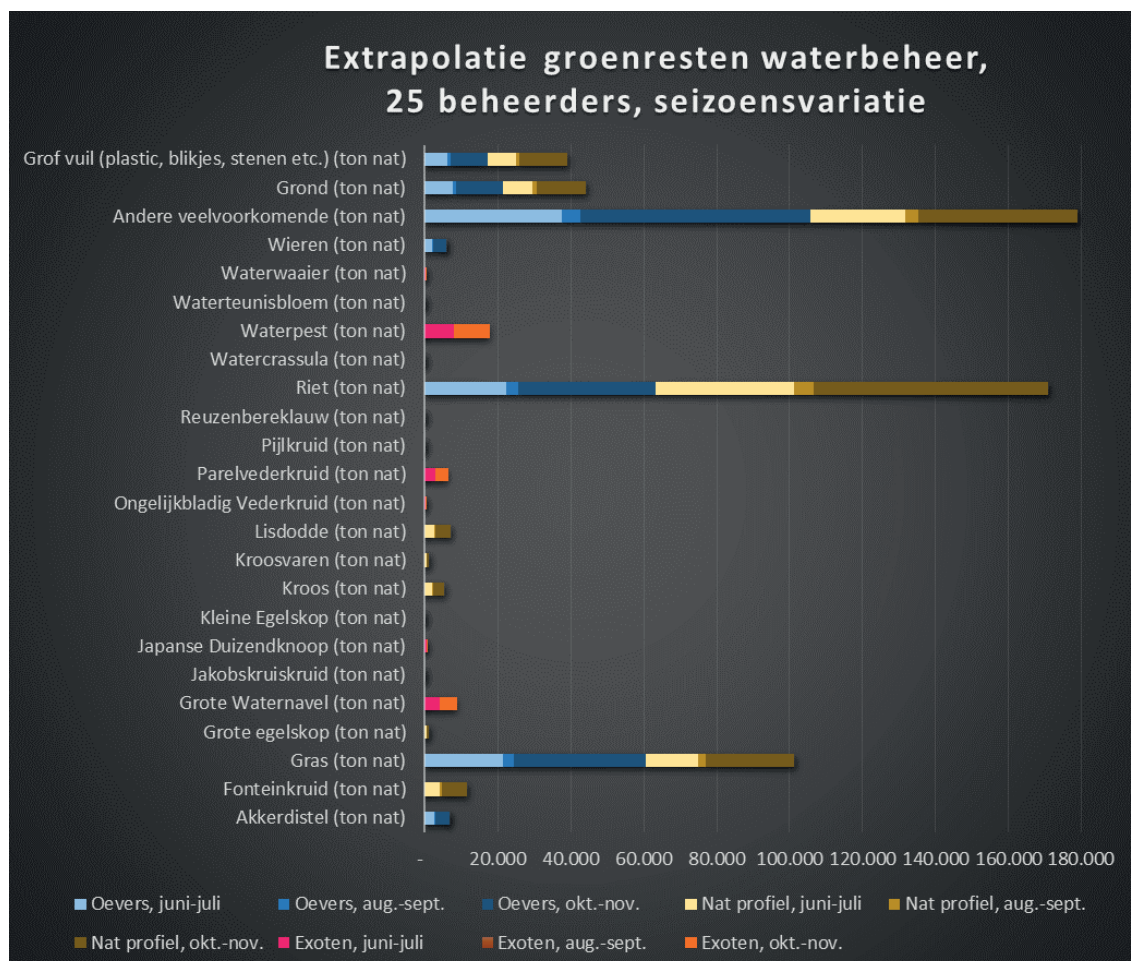
MAAIWERK OVER HET MAAISEIZOEN

|               | Juni-juli  | Aug.-sept. | Okt.-nov.  |
|---------------|------------|------------|------------|
| Oevers        | 16%        | 2%         | 28%        |
| Nat profiel   | 17%        | 2%         | 29%        |
| Exoten        | 3%         | 0%         | 3%         |
| <b>Totaal</b> | <b>36%</b> | <b>5%</b>  | <b>59%</b> |

Een gedetailleerd overzicht is in figuur 4.4 weergegeven. Per plantensoort is indicatief opgegeven wanneer en hoeveel ton gemaaid wordt. De meeste watergangen worden in het najaar gemaaid, als onderdeel van de schouwplicht. De planten zijn vaak al aan het afsterven afgestorven en in wisselende stadia van ontbinding.

FIGUUR 4.4

HOEEVELHEDEN MAAISELS OVER HET SEIZOEN VERDEELD (TON, NAT)



## 4.2 FYSISCH-CHEMISCHE SAMENSTELLING EN BIORAFFINAGE POTENTIEEL

### 4.2.1 INTRODUCTIE PLANTSAMENSTELLING EN BIORAFFINAGE POTENTIEEL

De samenstelling van de planten worden op hun bioraffinage potentieel beoordeeld op basis van onderstaande lijst van aspecten:

- 1 Droge stof gehalte
- 2 Eiwit gehalte
- 3 Hemicellulose gehalte
- 4 Cellulose gehalte



- 5 Lignine gehalte
- 6 Suikers
- 7 Specifieke inhoudstoffen: zoals pectine, etherische oliën en vetten, medicinale componenten, geur- en smaakstoffen, mineralen (N, P, K, Si, Cl, S)
- 8 Toxische stoffen

Tijdens de inventarisatie bleek dat niet al bovenstaande gegevens beschikbaar kwamen (zie ook rapport Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016).

#### 4.2.2 EIGENSCHAPPEN VAN GESELECTEERDE PLANTEN

Op basis van de in de vorige paragraaf gepresenteerde eigenschappen, is op basis van openbare literatuur en bij WUR-FBR beschikbare informatie, onderstaand overzicht opgesteld van oever- en waterplanten en hun samenstelling.

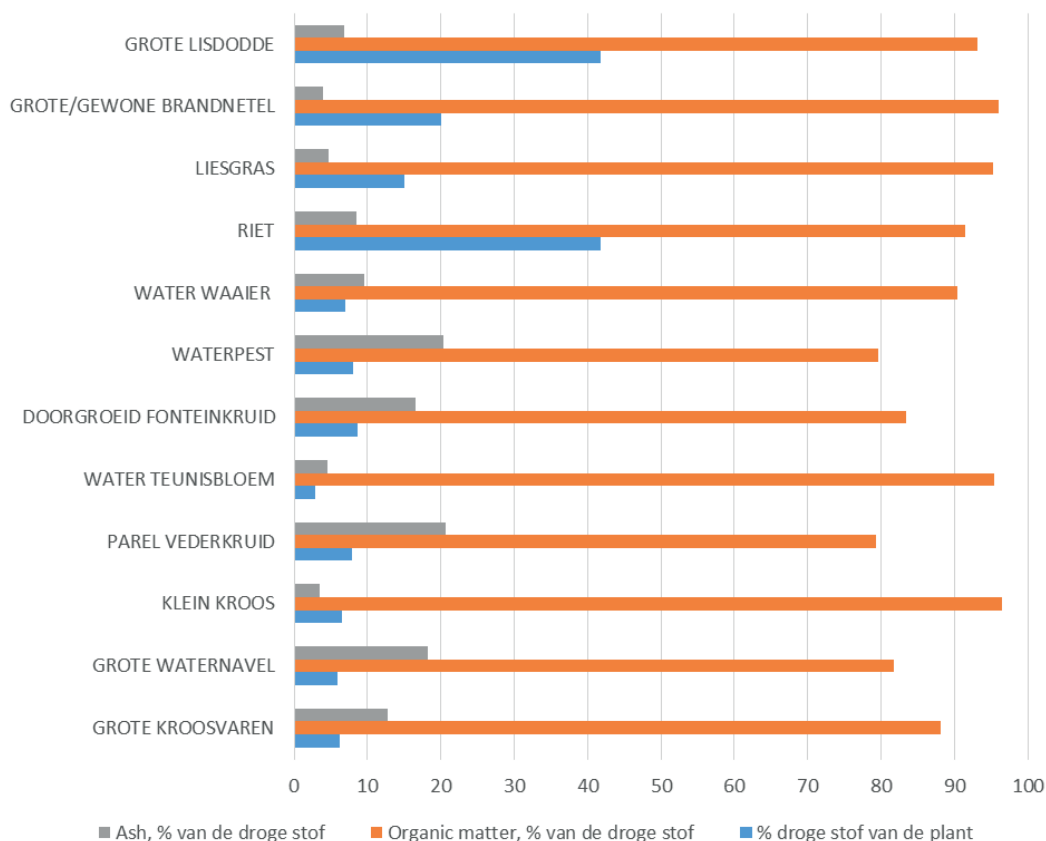
Van de volgende planten is de samenstelling geïnventariseerd en in een database geplaatst (VDKCT, maart 2016):

- 1 Brandnetel (grote en gewone)
- 2 Doorgroeid Fonteinkruid
- 3 Grote kroosvaren
- 4 Grote waternavel
- 5 Klein kroos
- 6 Liesgras
- 7 Lisdodde
- 8 Parelvederkruid
- 9 Riet
- 10 Waterpest
- 11 Waterteunisbloem
- 12 Waterwaaier

Totaal zijn ruim 50 publicaties geraadpleegd en in een separaat rapport Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016) verwerkt. De belangrijkste eigenschappen van deze planten zijn in de figuren 4.5 t/m 4.7 weergegeven. Dit zijn gemiddelde gehalten. Spreidingen zijn ook geïnventariseerd. Deze kunnen oplopen tot ca. 30% van het gemiddelde.

Vrijwel alle planten beginnen in maart-april met de groei. De eiwit- en cellulosegehalten nemen dan toe, tot een maximum rond mei-juni. Daarna nemen vooral voor de landplanten de eiwitgehalten af en de ligninegehalten toe. Voor de waterplanten is dit minder goed waarneembaar.

FIGUUR 4.5 DROGE STOF, ORGANISCHE STOF EN ASREST



Figuur 4.5 geeft de droge stof, organische stof en asrest weer. De waterplanten bevatten veel meer water (5-8%) dan de landplanten (15-40%). Hierdoor hebben de waterplanten meer dan 90% water in zich. Dit is van invloed op de verdere verwerking en de logistiek.

De beschouwde waterplanten hebben vrijwel dezelfde organische stof gehalten.

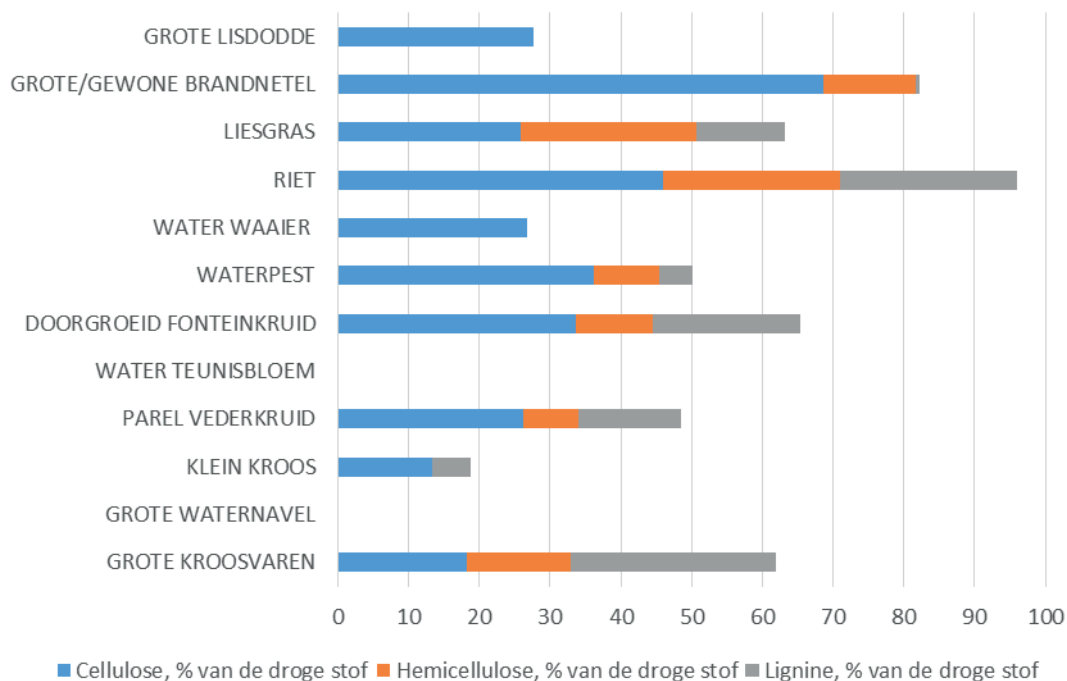
Brandnetel, Liesgras, Waterteunisbloem en Klein kroos hebben de laagste asresten van de droge stof. Dit houdt in dat deze planten weinig mineralen en silicaat hebben in verhouding tot de andere planten.

Ook is naar de lignocellulose gehalten gekeken, van belang onder meer voor mogelijkheden als veevoer of voor toepassing in de papier- en karton industrie of als biocomposiet. Lignocellulose geeft plantencellen structuur en is opgebouwd uit cellulose, hemicellulose en lignine. De cellulose is de basis. De hemicellulose en lignine zorgen er voor dat het bij elkaar blijft. De cellulose en hemicellulose zijn opgebouwd uit koolhydraten, de lignine bestaat uit fenolische delen. Hemicellulose, cellulose en lignine zijn onverteerbare voor niet-herkauwers. Alleen hemicellulose en cellulose zijn gedeeltelijk verteerbaar voor herkauwers.

Zoals te zien is in figuur 4.6, hebben riet en de brandnetel de hoogste lignocellulose-gehalten. De brandnetel springt er uit door de hoge cellulosegehalten, van gemiddeld bijna 70% en vrijwel geen lignine. Vanwege deze samenstelling werd brandnetel vroeger ook gebruikt voor de productie van vezels. Riet, grote waterpest en doorgroeid fonteinkruid volgen daarop, met 35-45% cellulose.

Riet heeft echter het nadeel hoge silicaatgehalten te hebben, wat de plant moeilijk bewerkbaar maakt. Riet werd vroeger als jong gewas gebruikt als veevoer.

FIGUUR 4.6 LIGNOCELLULOSE-GEHALTEN



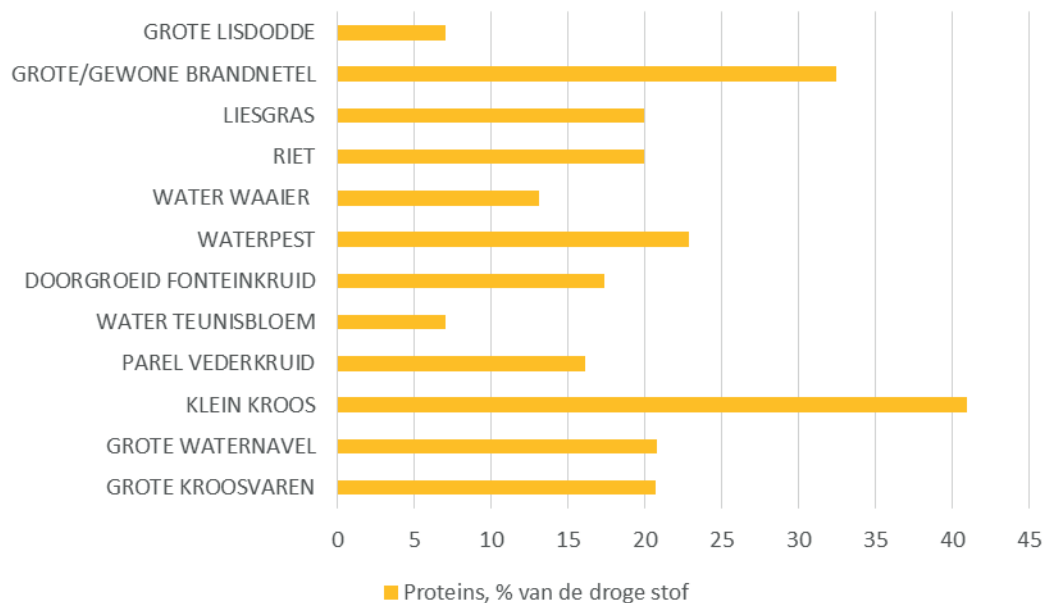
Uit figuur 5.7 blijkt dat Klein kroos (42%) en de brandnetel (33%) over de hoogste eiwitgehalten beschikken. Klein kroos wordt de laatste jaren commercieel geteeld om als veevoer te dienen. Liesgras, riet, waterpest, grote waternavel en grote kroosvaren volgen daarop, met ca 20% eiwit. De diverse waterplanten blijken eiwitgehalten hebben die vergelijkbaar zijn met die van gras (ca. 20%), uitgedrukt als % van de droge stof (waterplanten bevatten wel minder droge stof dan gras).

Wanneer gekeken wordt naar de inhoudsstoffen, dan zijn de brandnetel, klein kroos, riet en doorgroeid fonteinkruid zeer geschikte planten voor raffinage. Vanwege de hardheid (silicaat) is riet alleen geschikt als het net opkomt, in april.

In het rapport Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016) zijn per plant gedetailleerde beschrijvingen opgenomen en nadere analyses gedaan op de samenstelling, zoals lignocellulose- en eiwit-samenstelling, maar ook koolhydraten (suikers).

FIGUUR 4.7

## EIWIT-GEHALTEN



Bij preciezere beschouwing van de verzamelde data over de hoeveelheid lignocellulose (belangrijk voor de vezeltoepassingen) en de hoeveelheid eiwit (voor eventuele voedertoepassingen) blijkt dat deze niet altijd consistent zijn: soms is de som meer dan 100% van droge stof. Dat komt waarschijnlijk omdat de data uit verschillende onderzoekspublicaties afkomstig zijn, waarbij eiwitgehaltes meestal bepaald worden aan vrij jong materiaal, terwijl de lignocellulose veelal bepaald wordt aan oud materiaal. Daarmee dient rekening gehouden te worden in de proeven zoals die in de sporen 2 en 3 van dit project uitgevoerd gaan worden.

# 5

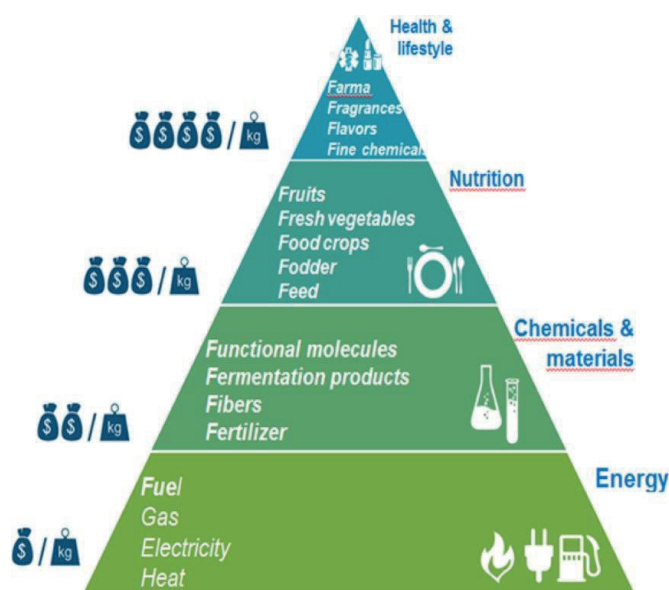
## BIORAFFINAGE BUSINESS CASE OP HOOFDLIJNEN

### 5.1 VERWAARDINGSTECHNIEKEN

Verwaarding van biomassa, in dit geval maaisels vanuit het waterbeheer, kan via diverse typen processen gerealiseerd worden. Bioraffinage is één van de mogelijkheden. Bioraffinage biedt de mogelijkheid tot meervoudige verwaarding (meerdere producten) volgens de waarde pyramide (zie figuur 5.1). In dit project wordt uitgegaan van verwaarding tot zo hoogwaardig mogelijke combinatie producten (zie de waarde pyramide). Daarbij is als uitgangspunt gekozen om uit te gaan van kleinschalige, mobiele bioraffinage, aangevuld met vervolgproucessen om deelstromen verder tot producten op te werken.

FIGUUR 5.1

BIOBASED WAARDE-PYRAMIDE (REF. VAN DOORN, 2014)



Via bioraffinage kunnen direct één of meerdere producten worden geproduceerd, of bioraffinage kan dienen als een voorbewerkingstap voor andere processen (bijvoorbeeld eiwit afscheiding zodat eiwit arme vezels beter tot papier kunnen worden verwerkt).

In Nederland is momenteel een aantal bioraffinage processen/installaties aanwezig, variërend in schaal grootte, mate van ontwikkeling en grondstof/producten pakket. Kort samengevat, en niet uitputtend, zijn dat de volgende initiatieven (alfabetisch):

**1 ABC Kroos:**

een bedrijf opgericht dat vanuit de gecontroleerde teelt van ondermeer Kroos en Brandnetel hoogwaardige eiwit- en vezelproducten produceert, op pilotschaal. Bijzonder bij dit bioraffinageproces is dat de eiwitten in hun oorspronkelijke staat gewonnen kunnen worden (geen denaturatie).

**2 Grassa! BV:**

heeft technologie ontwikkeld om hoogwaardige producten (in eerste instantie vezels en eiwit) uit gras te produceren met behulp van een mobiele installatie. Gras wordt zodanig gekneusd en vermalen dat het aanwezige grassap kan worden uitgeperst en grasvezel overblijft. In het sap zit een groot deel van het graseiwit opgelost. Hierdoor zal via de persing ca 40-50% van de eiwitten verwijderd kunnen worden. Dit eiwit wordt gewonnen door verwarming en/of toevoeging van organisch zuur aan het sap. Hierdoor stremmen de eiwitten waardoor het eiwit een vaste vorm krijgt en zo kan worden afgescheiden. Het eiwit kan worden gebruikt in diervoeding. De nog eiwithoudende vezel is geschikt als veevoer, maar kan ook gebruikt worden voor bijvoorbeeld papier en karton. Door kalktoevoeging wordt calciumfosfaat afgescheiden.

**3 HarvestaGG:**

wil binnen tien jaar uitgroeien naar een productie van circa 300.000 ton veevoer, 250 á 350 miljoen m<sup>3</sup> groen gas dat kan worden omgezet in 140.000 ton bio-LNG en een miljoen ton turfvervanger/compost. De te cascaderen biomassa bestaat hoofdzakelijk uit grasmengels. Daarnaast zullen ook natuurgras, gewasresten en gewasbijproducten benut worden. HarvestaGG beschikt zelf niet over land om gewassen te telen. Daarvoor zoekt ze telers in de omgeving van de Green Goods Farm. Het is denkbaar dat de decentraal vrijkomende maaisels van waterschappen naar zo'n centrale bioraffinaderij gebracht zouden worden om verwerkt te worden. Dit brengt wel op voorhand meer transportkosten/CO<sub>2</sub>-emissie met zich mee.

**4 Indugras:**

is een initiatief om een kleinschalige grasraffinage op te zetten in de Regio rond Putten. In het pilotproject INDUGRAS ontwikkelen Clean Energy For Me, Rozendaals Duurzame Energie BV en TNO een proces om waardevolle industriële grondstoffen te produceren uit natuurgras, gras uit natuurgebieden. In INDUGRAS wordt dit natuurgras op innovatieve wijze ingekuuld om het te conserveren voor jaarrond verwerking en, belangrijker nog, om door de natuurlijke microbiële activiteit tijdens het inkuilproces melkzuur te produceren. Dit melkzuur is een waardevolle platform grondstof voor onder andere polymelkzuur bioplastics. Het inkuilproces zorgt er ook voor dat naast het melkzuur de grasvezels zodanig ontsloten worden dat ze voor papier- en bouwmaterialen industrieën goed bruikbaar zijn. Reststromen worden co-vergist tot biogas in de vergistingsinstallaties die het INDUGRAS consortium al operationeel heeft. Door deze cascade wordt uit een laagwaardige grondstof hoogwaardige producten verkregen. Het project verkeert nog in het beginstadium.

**5 NewFoss:**

richt zich juist op het winnen van vezels en suikers. NewFoss beschikt over gepatenteerde technologie om biomassa bacteriologisch om te zetten in vaste en vloeibare grondstoffen voor; groene energieproductie, vezel voor de papier- en spaanplaatindustrie en vloeibare brand- meststoffen. NewFoss heeft een installatie ontwikkeld om jaarlijks 40.000 ton plantaardige restmaterialen bij groenverwerkers/composteerbedrijven te ontsluiten. De installatie kan een groot aantal plantaardige reststromen behandelen, zoals uien, tomatenplanten, gras,

riet, slootmaaisel, gechipte bieten en bietenblad. Voordeel van deze techniek-product combinatie is dat materiaal niet vers verwerkt hoeft te worden en ook ingekuild materiaal verwerkt kan worden. NewFoss verwerkt nu natuurgras van Staatsbosbeheer tot vezels, die verwerkt worden in eierdoosjes in de papierfabriek van Huhtamaki in Friesland.

In dit project is gekozen op het bioraffinage proces van Grassa! als basis te nemen omdat:

- 1 Grassa! het concept biedt van mobiele kleinschalige bioraffinage, hetgeen goed aansluit op de decentraal vrijkomende maaisel stromen (weinig transportkosten/CO<sub>2</sub>-emissie),
- 2 vanuit het Demonstratieproject “Kleinschalige bioraffinage in de Peel” (Doorn, 2014) succesvol ervaring is opgedaan met het Grassa! bioraffinage proces voor gras en Grote Waternavel. Tevens is daarbij gebleken dat de installatie andere groenstromen kan verwerken, zoals komkommerloof/vruchten en natuurlijk gras. Dit zou het toekomstperspectief bieden om de installatie ook buiten het maaiseizoen bij andere groenmateriaal leveranciers in het waterschapswerkgebied in te zetten.

In aanvulling op dit proces worden op labschaal ook andere bioraffinage processen onderzocht voor procesoptimalisatie (lab-schaal), en worden aanvullend processen meegenomen om tot optimale verwaarding te komen (pilot-praktijk-schaal).

Op deze wijze wordt zowel op praktijkschaal ervaring opgedaan, inclusief de bijbehorende logistiek, alswel naar modificaties of alternatieve verwerkingsprocessen gekeken.

## 5.2 UITGANGSPUNTEN

Dit project heeft betrekking op de duurzame valorisatie van maaisels uit het waterbeheer. De technische en financiële haalbaarheid wordt bepaald aan de hand van een onderzoeksprogramma gebaseerd op kansrijke business cases. Het onderzoeksprogramma dient drie parameters verder te kwantificeren die belangrijk zijn voor de technisch/economische haalbaarheid van de business cases.

Dit gebeurt door de analyse van beschikbare en geschikte maaisels, op pilot-/praktijkschaal beschikbare verwerkingsmethoden en de markt voor de verkregen producten en resten.

Onderdeel van de cases is ook de organisatie, zoals de vorm van samenwerken tussen opdrachtgever – loonwerker – en verwerker, mogelijk kan een nieuwe organisatievorm ook helpen de business case rond te krijgen. Verder speelt ook de juridische kant een rol: hoe mogen afvalmaterialen uit het waterbeheer weer ingezet worden als grondstof als veevoeder? Uiteindelijk is de businesscase geslaagd als deze leidt tot een verlaging van de maatschappelijke kosten voor het waterbeheer.

In het rapport Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016) is een uitgebreide beschrijving gegeven van de opzet en analyse van de business cases. De haalbaarheid van de businesscases is doorgerekend met massabalansen en financiële balansen, voor de situatie dat de technologie als volwassen kan worden beschouwd. Deze zijn vergeleken met de huidige manier van maaien en verwerken. In hoofdlijnen wordt vergeleken:

Huidige werkwijze:

- Maaien → afvoeren of laten liggen → composteren

Alternatieve werkwijze:

- Maaien (aangepast regime) → afvoeren → voorbewerking/tussenopslag → raffinage



Per businesscase is gekeken naar:

- De investeringen
- De kosten voor de exploitatie
- De opbrengsten uit de exploitatie

Voor de business-cases is gebruik gemaakt van eenheidsprijzen. Deze zijn deels al bekend uit eerdere projecten en worden aangevuld met data van de waterschappen en de CUMELA.

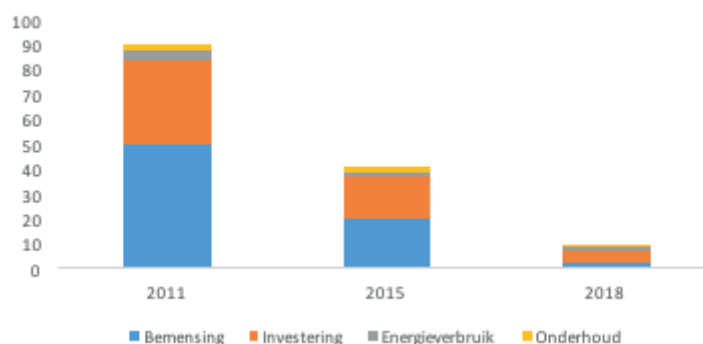
De kosten voor bewerking en raffinage zijn verkregen uit opgaven van de deelnemende technologie-partners in het project: Grassa! en Millvision. Schattingen van de product-waarde zijn gebaseerd op beschikbare data uit de literatuur en markt. De opbrengsten worden, markt-conform, sterk bepaald door de kwaliteit van eiwit en vezels. Daarom zijn meerdere business case scenario's doorgerekend met grondstof/proces combinaties voor zowel laagwaardiger als hoogwaardiger producten. Het rapport Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016) bevat de gedetailleerde informatie over gehanteerde kentallen.

Daarnaast is het van belang bij beschouwing van de business cases niet alleen naar de technische en financiële aspecten op de korte termijn te kijken. Tevens dient in de beoordeling van de business case gekeken te worden naar:

#### 1 Innovatie potentie:

de ontwikkeling van bioraffinage technieken verkeert nog in een pril stadium. Daarom dient over een wat langer tijdsbestek van innovatie en ontwikkeling bekeken te worden hoe de techniek zich kan gaan ontwikkelen. Grassa! heeft bijvoorbeeld het volgende ontwikkelingsperspectief voor ogen van haar bioraffinage units. In dit project zou de in versie 3.0 ingezet gaan worden (2015), de volgende generatie 4.0 is al weer gunstiger in termen van investerings en operationele kosten (2018) (Wagener, 2016).

**FIGUUR 5.2** ONTWIKKELING VAN BIORAFFINAGEKOSTEN GRASSA!-INSTALLATIES, VERSIES 2011, 2015 EN 2018 (PROGNOSE) (REF. GRASSA! SCHRIFTELIJKE MEDEDELING 2016)



#### 2 Verduurzaming:

bioraffinage draagt bij aan de doelstelling van verduurzaming van het waterbeheer, zoals ook in de Energie en Grondstoffenfabriek is verwoord en uitgewerkt. Mogelijk dat een gekozen bioraffinage unit voor de verwerking van maaaisels van dit project ook ingezet kan worden om andere stromen die in het waterbeheer of in het werkgebied van een waterschap vrijkomen bij derden verwerkt kunnen gaan worden. Voorbeeld is het raffineren van overtollig gras van veehouders (zie ook Van Doorn et al, 2014).

### 5.3 TOEPASSINGEN

Op hoofdlijnen zijn de volgende aspecten van belang voor diverse toepassingen:

#### DIERVOEDER:

Voor de business case toepassing eiwit in diervoeder, zijn de volgende aspecten van belang:

- Prijs/kwaliteit verhouding:
  - de markt voor diervoeder-eiwit is een zeer dynamische markt met wisselende grondstofprijzen. De kostprijs staat daarbij altijd onder druk. Er dient duidelijkheid te komen of de kwaliteit eiwit vergelijkbaar is met bijvoorbeeld vismeel, raapschroot of soja, wat betreft eiwit gehalte, samenstelling van het eiwit en stabiliteit.
- Prijs en prijs zekerheid:
  - er dient een indicatie verkregen te worden in dit project over de potentiële prijs van het via bioraffinage geproduceerde eiwit, en de periode van prijsstabiliteit.
- Essentiële kwaliteit kenmerken eiwit:
  - hoge eiwitverteerbaarheid (nutritive value)
  - afwezigheid van anti-nutritionele factoren en zware metalen
  - Good manufacturing practice (GMP) / Secure Feed certified
  - droog stapelbaar product (min. 95% droge stof)
- Gegarandeerde constante stroom:
  - er dient een minimale hoeveelheid eiwit gegarandeerd te kunnen worden die via een constante stroom met constante samenstelling geleverd kan worden.
- Eiwitrijke vezels:
  - De vezels dienen prijs-concurrentie met andere vezelbronnen aan te kunnen.

Daarnaast is het ook denkbaar zonder bioraffinage water- en oeverplant maaisels tot (laagwaardig) diervoeder planten te verwerken, bijvoorbeeld door inkuiling. Daartoe lopen proeven vanuit Waterschap Aa en Maas met Grote Waternavel.

#### EIWIT VOOR TECHNISCHE TOEPASSINGEN:

Eiwitten kunnen ook goed voor technische toepassingen zoals emulgator, schuimvormer, bindmiddel in coatingsystemen, als lijm of oppervlakte actieve stof (Mulder et al, 2013).

Daarbij is het van belang om een scheidingstechniek toe te passen waarbij de functionele eigenschappen van de eiwitmoleculen zoveel mogelijk behouden blijven, zoals microfiltratie.

#### VEZELS VOOR PAPIER/KARTON:

Toegevoegde waarde van het papier/karton ten opzichte van bestaande producten, bijvoorbeeld de uitstraling, kwaliteit. Deze kan ook bestaan uit demonstratiewaarde, bijvoorbeeld als een waterschap eigen rapporten/publieksuitgaven drukt op papier gemaakt van maaisel uit de eigen regio.

#### VEZELS VOOR BIOCOMPOSITIET:

Door Waternet wordt al enige jaren gewerkt aan de ontwikkeling van biocomposieten voor inrichtingsmaterialen (o.a. buitenmeubilair) in haar werkgebied. Diverse toepassingen zijn inmiddels gerealiseerd en vanaf 2016 wordt gekeken naar opschaling van pilotschaal tot volwaardige productie.

Ook door Millvision wordt gewerkt aan biocomposiet vanuit waterplanten, waarbij thermoplasten als meest kansrijk worden gezien op basis van de samenstelling van waterplanten. Daarnaast worden andere biocomposiet-materialen zoals plaatmateriaal en steigermateriaal gemaakt uit vezelachtig materiaal.

**SPECIFIEKE INHOUDSTOFFEN/EIGENSCHAPPEN:**

Hierbij kan gedacht worden aan de volgende inhoudstoffen/eigenschappen:

- Allergo-chemische stoffen die toegepast kunnen worden als biologisch gewasbeschermingsmiddel/herbicide;
- Gellerende stoffen (bijv. polysacchariden);
- Anti-bacteriële stoffen.

**5.4 OVERZICHT MOGELIJKE BUSINESS CASE SCENARIO'S**

In onderstaande tabel 5.1 zijn verschillende mogelijke business case scenario's beschreven. Dit overzicht is niet uitputtend, maar biedt een basis voor de verdere ontwikkeling van het project.

De volgende bioraffinage routes worden vooralsnog onderscheiden:

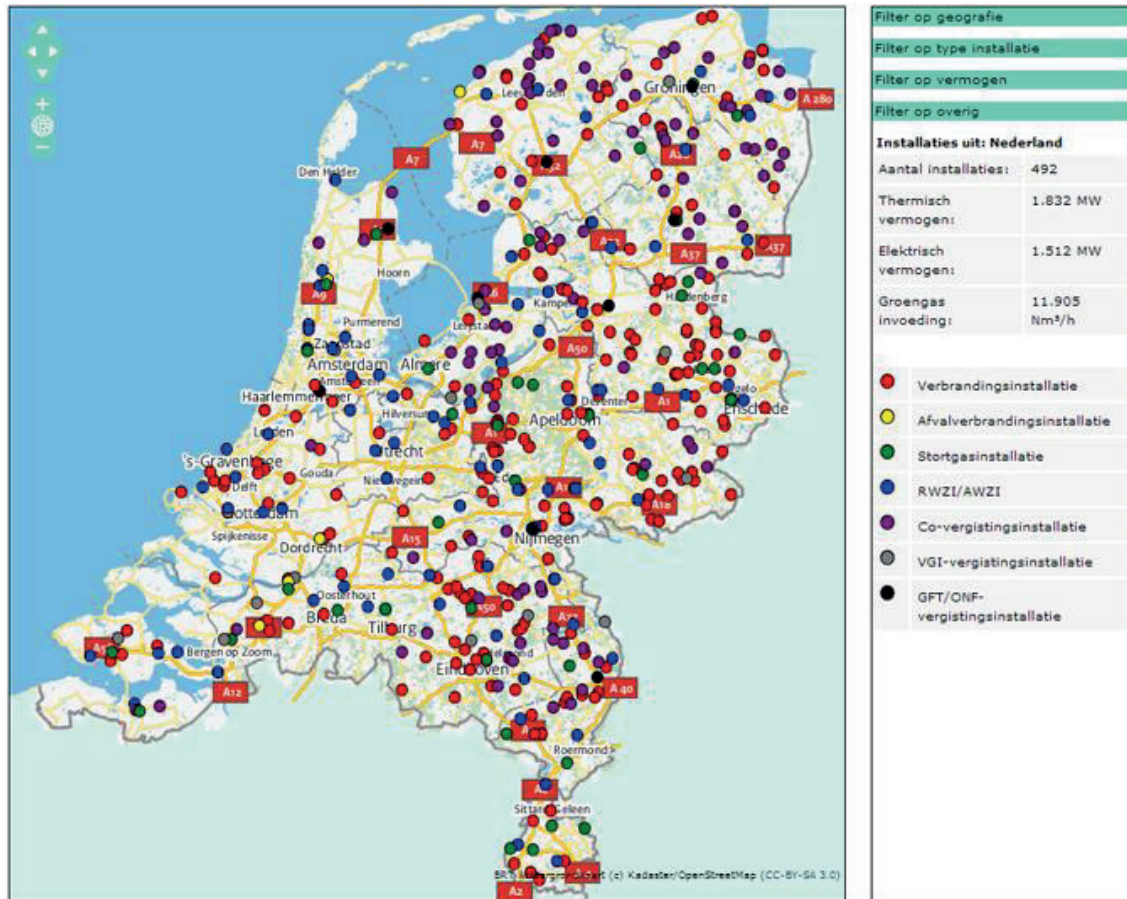
1 Via lokale bioraffinage (Grassal!):

Met een mobiele kleinschalige bioraffinage unit zoals beschikbaar via de Grassal technologie, kan meervoudige verwaarding van de maaisels plaatsvinden. In een eerste stap wordt het maaisel verkleind en geperst tot een vezelkoek en een sap. Afhankelijk van de samenstelling van de vezelkoek kan deze gebruikt worden als veevoer (ruwvoer)(scenario 1a), als grondstof voor papier/of karton productie (scenario 1b), als grondstof voor als groeisubstraat voor paddenstoelen (scenario 1c) of als biocomposiet (scenario 1d). Het eiwit kan door verwarming of door aanzuring uit het eiwit afgescheiden worden, en afhankelijk van het eiwitgehalte en eiwit samenstelling (aanwezigheid essentiële aminozuren) als hoogwaardig (meng)veevoer worden verkocht. Het aanwezige fosfaat in de sapstroom kan worden neergeslagen en als meststof gebruikt. De resterende sapstroom bevat ondermeer suikers, waardoor het sap geschikt is om aan een vergister toegevoegd te worden als suikerbron. Daarnaast kan het zijn dat er inhoudstoffen in het sap aanwezig zijn, die een specifieke toepassingsmogelijkheid hebben, zoals geleermiddel of onderdeel van bio-coatings. Dergelijke specifieke inhoudstoffen zullen in spoor 2 voor sommige planten nader worden verkend.

In het project "Biobased Infra Zeeland" onderzoeken de samenwerkende partijen Rijkswaterstaat, Waterschap Scheldestromen, Provincie Zeeland en Zeeland Seaports de mogelijkheden om concreet bij te dragen aan de Biobased Economy (BBE). Daarbij is recentelijk de haalbaarheid verkend van dergelijke meervoudige verwaarding van (natuur)gras via Grassal-bioraffinage bij een RWZI met vergister in Zeeland. Deze studie liet zien dat een dergelijke meervoudige verwaarding naar alle waarschijnlijkheid een haalbare business case is (Roelse en Van Hedel, 2015).

Onderstaande figuur 5.3 laat zien dat op veel locaties verspreid over Nederland vergistingsinstallaties aanwezig zijn, zodat in principe steeds op korte afstand van de plek waar lokale bioraffinage plaatsvindt het suikerhoudende restsap zou kunnen worden afgezet.

FIGUUR 5.3 OVERZICHT VERGISTINGSINSTALLATIES IN NEDERLAND (REF. RV0)



## 2 Vezel-ontsluiting voor papier/karton:

Voor papier of karton is het ook mogelijk zonder voorafgaande bioraffinage op locatie, maaisel op locatie eerst wat in te laten drogen en vervolgens naar een centrale papier/karton productie installatie brengen (in dit geval bij Millvision). Daar kunnen dan vervolgens de benodigde bewerkingen uitgevoerd worden om een vezel kwaliteit te krijgen die bijgemengd kan worden in papier of karton productie. Opwerking van cellulose/vezels uit groenresten vraagt een aanzienlijke bewerking om tot vezels te komen met zodanige eigenschappen (toegevoegde waarde) die de relatief hoge raffinage kosten economisch rechtvaardigen.

TABEL 5.1 OVERZICHT MOGELIJKE BIOBASED BUSINESS CASES

|          | Eiwit                                                                                   | Vezel                           | Meststof | Energie                            | Groeisubstraat<br>paddenstoelen | Specifieke<br>toepassing/<br>inhoudstoffen |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>1</b> | <b>Lokale eiwit-gerichte Grassa! bioraffinage</b>                                       |                                 |          |                                    |                                 |                                            |
| 1a       | Laag en hoog-waardig                                                                    | Veevoeder-ruwvoer               | fosfaat  | Biogas uit suiker-houdend rest-sap |                                 | Nb                                         |
| 1c       | Laag en hoog-waardig                                                                    | Papier/karton                   | fosfaat  | Biogas uit suiker-houdend rest-sap |                                 | Nb                                         |
| 1d       | Laag en hoog-waardig                                                                    | Groeisubstraat<br>paddenstoelen | fosfaat  | Biogas uit suiker-houdend rest-sap | Groeisubstraat<br>paddenstoelen | Nb                                         |
| 1d       | Laag en hoog-waardig                                                                    | Biocomposiet                    | fosfaat  | Biogas uit suiker-houdend rest-sap |                                 | Nb                                         |
| <b>2</b> | <b>Millvision vezelverwaardiging</b>                                                    |                                 |          |                                    |                                 |                                            |
| 2a       | Laag en hoog-waardig                                                                    | Papier                          |          |                                    |                                 | Nb                                         |
| 2b       | Laagwaardig                                                                             | Karton                          |          |                                    |                                 | Nb                                         |
| 2c       |                                                                                         | Biocomposiet                    |          |                                    |                                 | Nb                                         |
| <b>3</b> | <b>Voorbewerking tot groeisubstraat</b>                                                 |                                 |          |                                    |                                 |                                            |
| 3a       | Na eiwit-verwijdering                                                                   | groeisubstraat                  |          |                                    | Groeisubstraat<br>paddenstoelen | Nb                                         |
| 3b       | Zonder eiwit-verwijdering                                                               |                                 |          |                                    | Groeisubstraat<br>paddenstoelen | Nb                                         |
| <b>4</b> | <b>Riet/Lisdodde direct naar vezelplaatindustrie</b>                                    |                                 |          |                                    |                                 |                                            |
| <b>5</b> | <b>Als Grassa! met eiwit voor technische toepassingen (WUR-FBR Laboratorium testen)</b> |                                 |          |                                    |                                 |                                            |

Nb = nader te bepalen, afhankelijk van plant-samenstelling

## 5.5 GLOBALE FINANCIËLE HAALBAARHEID BUSINESS CASES

### 5.5.1 REKENMODEL BUSINESS CASE SCENARIO'S

Een aantal van de in tabel 5.1 genoemde mogelijke meervoudige verwaardingsroutes in nader doorgerekend op basis van de nu beschikbare technische en financiële kentallen, om zo een eerste indicatie te krijgen van de business case. Hierin is geen rekening gehouden met de bijdragen aan verduurzaming van het waterbeheer, die ook een waarde hebben.

Het betreft een globale eerste inschatting op basis van de beschikbare hoeveelheden maaisels voor heel Nederland. Hierbij is geen detaillering aangebracht naar raffinage van specifieke groenresten, lokale logistiek, specifieke producten e.d., die de business case kunnen verbeteren. Dergelijke verfijningen maken deel uit van de sporen 2 en 3.

Daarbij is ervan uitgegaan dat de maaisels het volgende proces doorlopen:

#### RAFFINAGE IN GRASSA!-UNIT:

Als eerste wordt de biomassa verwerkt in de installatie van Grassa. De maaisels worden dan eerst gewassen, om grond kwijt te raken. Vervolgens worden de schone maaisels gehakseld, gerefined en geperst. Het perssap bevat water, eiwitten, mineralen en suikers. De eiwitten worden thermisch of chemisch gecoaguleerd en vervolgens afgescheiden. Afhankelijk van de grondstof zal een meer of minder hoogwaardig eiwit verkregen worden. Het resterende sap bevat mineralen en suikers. De fosfaten daarin worden via neerslag met calciumhydroxide verwijderd.

**VEZEL VERWERKING NAAR PAPIER/KARTON:**

De vaste cellulose/vezelfractie wordt vervolgens via papierprocessen (Millvision) verwerkt tot cellulosevezels voor de papier- en kartonindustrie.

Riet en lisdodde maaisels zijn niet goed te verwerken via Grassa. Deze maaisels zouden daarom beter direct via het proces van MillVision verwerkt kunnen worden tot vezels voor de papier- en kartonindustrie of vezels voor composieten.

Vroeger konden riet en lisdodde niet tot vezels voor de papierindustrie verwerkt worden. Volgens MillVision moet dat in de tegenwoordige papierindustrie wel mogelijk zijn. De huidige installaties voor snijden en pulpen bestaan uit dermate gehard staal, dat het mogelijk maakt de harde silicaatrijke vezels van dergelijke gewassen in papier te verwerken. Van deze maaisels zijn dan geen opbrengsten uit eiwitten, fosfaat en sap.

Voor het maken van vezels voor papierpulp en composieten wordt 90% van de aangeboden droge stof gebruikt. Daar eiwitten vaak schuim veroorzaken in het pulpproces, zou het voorafgaande Grassa-proces voordelen kunnen bieden. In het vervolgonderzoek van dit project (fase 3) zal onder meer gekeken worden naar de lengte van de vezels van waterplanten in relatie tot papiermogelijkheden en de invloed van eiwit op het productieproces. Deze bepalen ook in aanzienlijke mate de productiekosten.

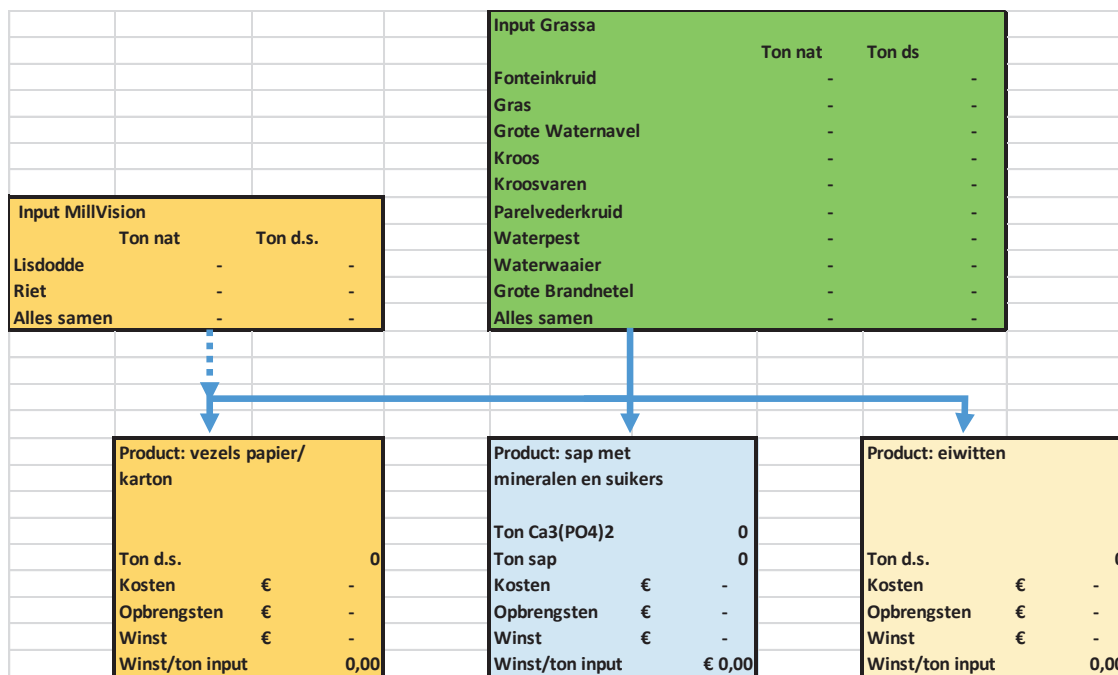
Verder wordt onderscheid gemaakt tussen laagwaardige en hoogwaardige vezels. Laagwaardige vezels bevatten nog veel lignine, omdat ze alleen een thermomechanische bewerking hebben ondergaan. Hoogwaardige vezels bevatten nog maar weinig lignine, omdat ook een chemische bewerking is toegepast. Om die redenen is het rendement van proces om laagwaardige vezels te maken hoger, zijn de proceskosten lager en de marktwaarde van de vezels lager dan bij hoogwaardige vezels. De vezels voor composieten liggen hier qua rendement en prijzen ongeveer tussenin.

**ALTERNATIEVE VEZELVERWERKINGEN**

- Riet en lisdodde zijn te hard-vezelig (en bevatten te weinig eiwit) om (zinvol) in de Grassa-bioraffinage unit te kunnen worden verwerkt. Riet en lisdodde zijn echter goed direct te gebruiken in de vezelplaat industrie. Om die reden is een alternatief doorgerekend waarin riet en lisdodde niet meer via MillVision, wordt verwerkt, maar wordt afgevoerd naar de spaanplaatindustrie.
- De vaste plantenresten uit het Grassa-proces zijn ook te gebruiken als veevoer of substraat in de paddenstoelenteelt. Hier is ook naar gekeken.

In figuur 5.4 is het rekenmodel voor het verkrijgen van een eerste inschatting van de economische haalbaarheid schematisch weergegeven.

FIGUUR 5.4 STRUCTUUR REKENMODEL BUSINESS CASES



De productstromen die dan ontstaan uit de input (maaisels), zijn:

- 1 Via Grassa-bioraffinage:
  - a Eiwitten, die worden geleverd aan de veevoederindustrie
  - b Calciumfosfaat, dat wordt geleverd als kunstmest
  - c Sap met suikers en achtergebleven mineralen, dat wordt geleverd aan een mest(co)vergister
- 2 Via Millvision:
  - d Vezels voor papier en karton uit de groenresten van het Grassaproces en direct vanuit de vezelrijke maaisels van Riet/Lisdodde.
- 3 Alternatieven: vezelplaat, veevoeder, substraat paddenstoelenteelt.

Omdat zowel gegevens over massa's als over de samenstelling nodig zijn, zijn de planten, waar één van die twee ontbreekt, achterwege gelaten in de analyse. Tabel 5.2 geeft een overzicht welke gegevens van massa en samenstelling gebruikt zijn.

De (grote) brandnetel wordt veel genoemd in de categorie 'andere veelvoorkomende planten'. Geschat is dat de brandnetel voor 20% deel uit maakt van het maaisel van het droge en het natte profiel. Daarom zijn de massa's die onder de 'grote brandnetel' genoemd worden, 20% van de massa's die onder de 'andere veelvoorkomende planten' genoemd worden.

Tabel 5.2 geeft een overzicht welke input van hoeveelheden gebruikt is. Deze input is gecombineerd met de data van de samenstelling van eiwitten, vezels en fosfor.

In deze business case uitwerking is dit ruim 360.000 ton natte biomassa (bijna 100.000 ton droge stof) (een deel van de categorie 'andere veelvoorkomende planten' is hier buiten beschouwing gelaten omdat daarvan vooralsnog geen samenstellingsgegevens bekend zijn (buiten scope studie), de totale geschatte hoeveelheid maaisel bedraagt 500.000 ton/jaar)).



TABEL 5.2 OVERZICHT GEGEVENS VAN PLANTEN EN GEGEVENS VOOR MASSA EN SAMENSTELLING

| Soort            | Homogeniteit      | Input              |                         |                    |                    | Droge stof, % | Ton droge stof in NL | ton water      |
|------------------|-------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|---------------|----------------------|----------------|
|                  |                   | Oevers NL, ton nat | Nat profiel NL, ton nat | Exoten NL, ton nat | Totaal NL, ton nat |               |                      |                |
| Fonteinkruid     | Homogeen          | -                  | 11.570                  | -                  | 11.570             | 9             | 1.001                | 10.569         |
| (Lies)Gras       | Heterogeen        | 60.557             | 40.521                  | -                  | 101.078            | 15            | 15.162               | 85.916         |
| Grote Waternavel | Homogeen          | -                  | -                       | 8.694              | 8.694              | 6             | 513                  | 8.181          |
| Kroos            | Homogeen          | -                  | 5.356                   | -                  | 5.356              | 7             | 348                  | 5.008          |
| Kroosvaren       | Homogeen          | -                  | 1.117                   | -                  | 1.117              | 6             | 70                   | 1.048          |
| Lisdodde         | Heterogeen        | -                  | 7.023                   | -                  | 7.023              | 42            | 2.936                | 4.088          |
| Parelvederkruid  | Homogeen          | -                  | 1                       | 6.571              | 6.572              | 8             | 519                  | 6.053          |
| Riet             | Homogeen          | 63.254             | 107.615                 | -                  | 170.869            | 42            | 71.423               | 99.446         |
| Waterpest        | Homogeen          | -                  | -                       | 17.743             | 17.743             | 8             | 1.425                | 16.318         |
| Waterwaaier      | Homogeen          | -                  | -                       | 164                | 164                | 7             | 12                   | 153            |
| Grote Brandnetel | Heterogeen        | 21.144             | 14.663                  | -                  | 35.808             | 20            | 1.790                | 34.017         |
| <b>Totaal</b>    | <b>Heterogeen</b> | <b>144.955</b>     | <b>187.867</b>          | <b>33.173</b>      | <b>365.994</b>     | <b>26</b>     | <b>95.198</b>        | <b>270.796</b> |

Met de percentages droge stof, vezels, fosfor en eiwit is vervolgens berekend hoeveel ton van deze materialen in de planten aanwezig zijn. Dit is het beschikbaar potentieel. Tabel 5.3 vat dit samen.

Hieruit blijkt dat riet veruit de meeste vezels en eiwit produceert en waterwaaier het minst. Dit is natuurlijk verklaarbaar uit de massaverschillen.

TABEL 5.3 MASSAPOTENTIEEL VEZELS, EIWIT, EN FOSFAAT (ALS P) (TON DROGE STOF)

| Soort            | Ton eiwit    | Ton fosfor | Ton vezel     |
|------------------|--------------|------------|---------------|
| Fonteinkruid     | 188          | 3,7        | 830           |
| (Lies)Gras       | 3.032        | 24,0       | 12.532        |
| Grote Waternavel | 107          | 3,8        | 420           |
| Kroos            | 143          | 2,6        | 260           |
| Kroosvaren       | 15           | 0,4        | 57            |
| Lisdodde         | -            | -          | 2.642         |
| Parelvederkruid  | 84           | 3,0        | 434           |
| Riet             | -            | -          | 64.281        |
| Waterpest        | 326          | 4,2        | 1.161         |
| Waterwaaier      | 2            | 0,1        | 10            |
| Grote Brandnetel | 582          | 2,8        | 1.399         |
| <b>Totaal</b>    | <b>4.478</b> | <b>45</b>  | <b>84.026</b> |

Er is nagegaan in hoeverre het financieel rendabel is om de beschouwde planten te gaan raffineren. Daarvoor is gebruik gemaakt van kentallen die afkomstig zijn van MillVision, Grassa! en WUR-FBR.

Uitgezocht moet nog worden of de eiwitten geschikt zijn voor gebruik als veevoeder. Omdat ze afkomstig zijn uit “ongecontroleerde” teelt, zullen daar extra eisen aan gesteld worden om te worden toegelaten op de markt. Deze eisen moeten uit de veevoederindustrie komen. De business case berekeningen zijn uitgevoerd voor een lage eiwit product prijs van 400 euro/ton en van 1.000 euro/ton voor een hoogwaardig eiwit.

De verwijdering van fosfor verloopt via de gebruik van calciumhydroxide waardoor calciumfosfaat ontstaat, dat wordt verkocht als kunstmest. Daarvoor is de prijs van fosfaat-kunstmest gebruikt.

Voor de afzet van het resterende sap met suikers en resterende mineralen, is uitgegaan van een levering à € 2/m<sup>3</sup> aan een mest(co)vergister. Zie tabel 5.4.

De raffinagekosten voor eiwit zijn gebaseerd op opgaven van Grassa! BV (Wagener, 2016).

TABEL 5.4

GEBRUIKTE RENDEMENTEN EN FINANCIËLE KENTALLEN VOOR RAFFINAGE VAN VEZELS EN EIWITTEN

|                                                       | In analyse | Eiwitten en<br>zuivere vezels | Eiwitten<br>en minder<br>zuivere vezels | Vezels voor<br>composieten |
|-------------------------------------------------------|------------|-------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|
| Raffinagekosten vezels, €/ton droge ingaande biomassa | 100        | 850                           | 100                                     | 400                        |
| Raffinagekosten eiwit, €/ton natte ingaande biomassa  | 15         |                               |                                         |                            |
| Kosten fosfaatproductie, €/ton P                      | 50         |                               |                                         |                            |
| Rendement raffinage vezels                            | 90%        | 80%                           | 90%                                     | 90%                        |
| Rendement raffinage eiwitten                          | 40%        |                               |                                         |                            |
| Rendement persen water                                | 50%        |                               |                                         |                            |
| Rendement P-verwijdering                              | 50%        |                               |                                         |                            |
| Waarde vezels uit Grassa, €/ton ds                    | 5          |                               |                                         |                            |
| Waarde vezels uit MillVision, €/ton ds                | 150        | 750                           | 150                                     | 400                        |
| Waarde eiwitten uit Grassa, €/ton ds                  | 400        | 1.000                         | 400                                     |                            |
| Waarde perswater met mineralen uit Grassa, €/ton      | 2          |                               |                                         |                            |
| Waarde calciumfosfaat uit Grassa, €/ton ds            | 500        |                               |                                         |                            |

De kosten voor de processing van biomassa tot laagwaardige vezels bedragen circa € 100 ds ingaande biomassa. De vezels worden dan alleen thermomechanisch behandeld, waarbij ca 90% van deze vezels worden gewonnen. In dat geval zit er nog lignine in de vezels. De vezels krijgen dan een waarde van ca € 150/ton ds, vergelijkbaar met de waarde van oud papier. In geval van gebruik als “groen” papier, ligt de marktwaarde op ongeveer het dubbele.

Voor hoogwaardige vezels is naast thermomechanische behandeling ook een behandeling met chemicaliën nodig. De kosten bedragen dan € 800 - € 900/ton ds ingaande biomassa. De vezels hebben dan een waarde van € 600 - € 900/ton ds en zijn dan geschikt voor gebruik in hoogwaardige papier. Voor gebruik van vezels in composieten liggen de raffinagekosten en de waarden er tussen in (ref. mondelinge mededeling Leon Joore, MillVision).

Met de data uit de tabellen 5.2 t/m 5.4 is een aantal analyses uitgevoerd. Verschillende scenario's zijn bekeken en uitgewerkt in de volgende sub-paragrafen.

In alle gevallen zijn de maai- en logistieke kosten achterwege gelaten. Dit zijn kosten die ook gemaakt moeten worden als het materiaal naar een composteerder gebracht zou moeten worden. Als benchmark zijn de kosten voor compostering genomen, zijnde € 20/ton natte biomassa. Als de opbrengsten minus kosten van bioraffinage lager zijn dan € -20/ton natte biomassa, is het uit economisch oogpunt niet rendabel om de maaisels te raffineren.

Om deze benchmark te kunnen gebruiken, zijn alle kosten en opbrengsten teruggerekend naar het resultaat per ton maaisel. Omdat steeds ruim 360.000 nat maaisel beschikbaar is in deze analyse, hebben de resultaten betrekking op dit tonnage.

### 5.5.2 RESULTATEN BUSINESS CASE SCENARIO'S

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is een viertal business cases doorgerekend, om meer inzicht te krijgen in de globale economische haalbaarheid en de gevoeligheid voor diverse parameters. De uitkomsten en belangrijkste bevindingen zijn hieronder in figuren weergegeven en samengevat. Voor gedetailleerde informatie wordt verwezen naar het rapport Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016).

De volgende scenario's zijn doorgerekend:

#### SCENARIO 1:

bioraffinage (Grassal) van de gemengde maaisels (behalve Riet/Lisdodde) tot eiwit (lagere kwaliteit), vezels (Millvision - lagere kwaliteit), fosfaatmeststof en sap voor vergisting. Riet en Lisdodde worden zonder Grassal-bioraffinage tot laagwaardige vezel verwerkt.

#### SCENARIO 2:

bioraffinage (Grassal) van de gemengde maaisels (behalve Riet/Lisdodde) tot eiwit (hogere kwaliteit), vezels (aanvullende bewerking tot hoge kwaliteit), fosfaatmeststof en sap voor vergisting. Riet en Lisdodde worden zonder Grassal-bioraffinage direct tot hoogwaardige vezel verwerkt.

#### SCENARIO 3:

bioraffinage van de gemengde maaisels (behalve Riet/Lisdodde) tot eiwit (hogere kwaliteit), vezels (aanvullende bewerking tot hoge kwaliteit), fosfaatmeststof en sap voor vergisting. Riet en Lisdodde worden niet tot papier vezel verwerkt maar direct als grondstof naar vezelplaatindustrie of schimmelteelt afgezet ("0-waarde"/"0-kosten").

#### SCENARIO 4:

bioraffinage van de gemengde maaisels (behalve Riet/Lisdodde) tot eiwit (hogere kwaliteit), vezels (aanvullende bewerking tot hoge kwaliteit), fosfaatmeststof en sap voor vergisting. Riet en Lisdodde worden niet tot papier vezel verwerkt maar direct als grondstof naar vezelplaatindustrie of schimmelteelt afgezet ("0-waarde"/"0-kosten").

Specifieke kosten voor verwerking tot schimmel-groeisubstraat evenals kostenbesparingen (productopbrengst, en nu wordt grondstof vaak uit buitenland gehaald tegen relatief hoge transportkosten) zijn nog niet meegenomen in deze scenario's omdat economische kentallen nog ontbreken.

De figuren 5.5 t/m 5.8 geven de uitkomsten schematisch weer.







**FIGUUR 5.8** SCENARIO 4: LAGERE KWALITEIT EIWIJ, ALLE VEZELS VOOR BIOCOMPOSIT

**Input MillVision**

|               | Ton nat        | Ton d.s.      |
|---------------|----------------|---------------|
| Lisdodde      | 7.023          | 2.936         |
| Riet          | 170.869        | 71.423        |
| <b>Totaal</b> | <b>177.893</b> | <b>74.359</b> |

**Input Grassa**

|                  | Ton nat        | Ton ds        |
|------------------|----------------|---------------|
| Fonteinkruid     | 11.570         | 1.001         |
| (Lies)Gras       | 101.078        | 15.162        |
| Grote Waternavel | 8.694          | 513           |
| Kroos            | 5.356          | 348           |
| Kroosvaren       | 1.117          | 70            |
| Pareldederkruid  | 6.572          | 519           |
| Waterpest        | 17.743         | 1.425         |
| Waterwaaier      | 164            | 12            |
| Grote Brandnetel | 35.808         | 1.790         |
| <b>Totaal</b>    | <b>188.102</b> | <b>20.839</b> |

**Product: vezels**

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Ton d.s.            | 75.623       |
| Kosten              | € 37.344.888 |
| Opbrengsten         | € 30.249.359 |
| Resultaat           | € -7.190.544 |
| Resultaat/ton input | -19,65       |

**Product: sap met mineralen en suikers**

|                     |           |
|---------------------|-----------|
| Ton Ca3(PO4)2       | 111       |
| Ton sap             | 83.631    |
| Kosten              | € 5.571   |
| Opbrengsten         | € 222.977 |
| Resultaat           | € 217.405 |
| Resultaat/ton input | € 0,59    |

**Product: eiwitten**

|                     |              |
|---------------------|--------------|
| Ton d.s.            | 1791         |
| Kosten              | € 5.489.917  |
| Opbrengsten         | € 716.520    |
| Resultaat           | € -4.773.397 |
| Resultaat/ton input | -12,78       |

**Resumé**

|                                           |                  |
|-------------------------------------------|------------------|
| Totaal resultaat/ton natte biomassa input | € -31,84 per ton |
| Kosten composteren                        | € -20,00 per ton |
| Verschil                                  | € -11,84 per ton |

In dit scenario is uitgegaan van productie van laagwaardige eiwitten via Grassa!-procedé. Zowel de vezels vanuit het Grassa! procedé als alle riet/lisdodde worden via een Millvision proces opgewerkt tot vezels voor biocomposiet.

De negatieve opbrengst voor laagwaardig eiwit en kleine positieve opbrengst van fosfaatmest/vergistingssap zijn identiek aan scenario 1.

Uit figuur 5.8 wordt duidelijk dat deze benadering leidt tot productie kosten voor biocomposiet die vergelijkbaar zijn met de huidige kosten voor composteren. In combinatie met de eiwit/fosfaatmest en vergistingssap leidt dit overall tot een negatieve business case, maar wel gunstiger dan de huidige werkwijze van compostering.



# 6

## OVERZICHT BIOBASED TOEPASSINGEN EN ONDERZOEKEN

### 6.1 INLEIDING

Om de beschikbare onderzoekscapaciteit van dit project zo optimaal mogelijk in te zetten, is in beeld gebracht welke toepassingen van water- en oeverplant maaaisels reeds plaatsvinden en welke project naar nieuwe toepassingen momenteel gaande zijn of binnenkort gaan starten. Onderstaand overzicht is niet uitputtend, maar bevat waarschijnlijk wel de belangrijkste biobased toepassingen en projecten, om voor dit project gericht keuzes te kunnen maken en te voorkomen dat doublures plaatsvinden.

### 6.2 VEEVOEDER

#### 1 Inkuilen waterplanten tot veevoeder

Het Waterschap Aa en Maas heeft de afgelopen jaren diverse proeven laten uitvoeren naar de mogelijkheid om Grote Waternavel als veevoeder te gebruiken. Verwacht wordt dat de waternavel in de komende jaren slechts beheersbaar gehouden kan worden en niet significant kan worden terug gedrongen. De waternavel wordt vooralsnog gecomposteerd. Via diverse inkuilingsproeven is in 2015 onderzocht of waternavel geschikt kan worden gemaakt als veevoer. Daaruit blijkt dat de geconserveerde waternavel kan worden gevoerd aan jongvee. De resultaten van de analyse zijn van een dusdanige waarde dat de waternavel ingepast zou kunnen worden in het dieet. Om de kwaliteit van het eindproduct gunstig te beïnvloeden is schoner oogsten aan te bevelen. Dit lijkt echter (voorlopig) niet mogelijk.

#### 2 Kroos voor eiwitten

Huurman et al (2015) meldt in een onderzoek naar gebruik van waterige biomassa stromen dat kroos, net als algen, wordt ingezet om effluent van RWZI's te nazuiveren ("polishing"). Het kroos, dat een hoog eiwit gehalte bevat, kan vervolgens opgewerkt worden tot veevoeder-eiwitbron. Mogelijk dat deze ontwikkeling een combinatie mogelijkheid kan gaan bieden in de toekomst, om de bioraffinage unit die water- en oeverplantmaaisels verwerkt tevens kroos te laten raffineren. Hierdoor kan de machine meer draai-uren per jaar maken en daardoor economisch rendabeler worden.

ABC Kroos is bezig met gecontroleerde teelt van kroos gevolgd door bioraffinage, waarbij het eiwit onveranderd gewonnen kan worden.

### 6.3 BIOCOMPOSITIEN

#### 1 Biocomposiet uit kruidachtigen

Waternet werkt reeds diverse jaren samen met partners (o.a. ISPT) aan de ontwikkeling van biocomposiet plaatmateriaal voor buitenmeubilair, en verwacht in 2016 op kleine produc-

tieschaal materiaal te gaan produceren. Daarbij worden maaisels van kruidachtige planten verwerkt (Haarbosch, 2014, ter Heerdt, 2014, Nijman, 2016).

## 2 Biocomposiet uit riet

WUR, DSM en Compakboard zijn recentelijk gestart met een project om uit overjarig riet uit gebieden van Natuurmonumenten hoogwaardig plaatmateriaal en meubelmateriaal maken, met behulp van biohars.

### 6.4 VEZELS VOOR PAPIER EN/OF KARTON

Millvision heeft de afgelopen jaren diverse eerste testen uitgevoerd met water- en oeverplanten voor papier productie, zoals Fonteinkruid, Grote Waternavel en Waterhyacinth.

### 6.5 VEZELS ALS GROEISUBSTRAAT PADDENSTOELEN

Vezels van water- oeverplanten zijn waarschijnlijk goed bruikbaar als substraat voor paddenstoelen. Nader onderzoek (spoor 3) dient uit te wijzen welk groen-materiaal met welke voorbewerking het meest geschikt is. Belangrijk daarbij is dat het materiaal uit Ecologische Verbinding Zones afkomstig is, om het mogelijk te maken SKAL gecertificeerd te worden.

### 6.6 ENERGIE

#### BIOGAS

Het restsap van bioraffinage bevat ondermeer suikers en andere goed vergistbare componenten, en zou daarom goed gebruikt kunnen worden in een vergistingsproces. Een recente haalbaarheidstudie bij Biobased Zeeland wijst uit dat toepassing van het suikerhoudende sap afkomstig van natuur/bermgras na raffinage via Grassal-procedé, in combinatie met andere producten tot een haalbare business case leidt.

#### BRANDSTOFPELLETS

Waternet heeft ECN onderzoek laten doen naar het produceren van brandstofpellets uit Waterwaaier en waterpest, via het zogenaamde TORWASH procedé. TORWASH combineert torrefactie (roosteren) van biomassa met het wassen en drogen van biomassa. TORWASH zet biomassa die niet geschikt is voor thermische conversie routes om in een bruikbare vaste brandstof. Voorbeelden van dergelijke biomassastromen zijn gras, agrarische residuen, hooi en stro. Het direct toepassen van deze materialen als biomassa brandstof is moeilijk en leidt tot praktische problemen zoals:

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

Het TORWASH product is een vaste brandstof dat equivalent is aan schone getorreficeerde houtpellets. Conclusie is dat deze waterplanten via dit procedé tot brandstofpellets verwerkt kunnen worden, die in een beperkt aantal type verbrandingsinstallaties inzetbaar zijn (Bleijendaal et al, 2014).

## 7

# SELECTIE VAN PLANTEN VOOR TESTFASE EN KRITISCHE PARAMETERS

Selectie van maaaisels voor verwaarding heeft als volgt plaatsgevonden:

## 1. HOEVEELHEDEN MAAISEL

Er dient een voldoende grote hoeveelheid materiaal potentieel aanwezig te zijn om het zinvol te maken de verwaarding te gaan onderzoeken. Hiervoor is indicatief een hoeveelheid van ca. 10.000 ton beschouwd. Dit is geen hard criterium, daar het inzicht in de hoeveelheden maaisel per plant nu nog beperkt is, de business case afhangt van de verwaarding en proceskosten, vermengen met andere planten etc..

Op basis van hoeveelheden komen de volgende planten als meest belovend naar voren (al of niet in combinatie met elkaar, of in combinatie met kleinere hoeveelheden van andere planten):

Oeverplanten:

- Riet
- (Lies-)gras
- Brandnetel

Nat profiel:

- Fonteinkruid
- Lisdodde
- Kroos

Exotische waterplanten:

- Grote waternavel
- Waterpest
- Parelvederkruid

## 2. POTENTIEEL OP BASIS VAN SAMENSTELLING

Voor elk van de bovenstaande 9 planten is vervolgens op hoofdlijnen gekeken naar hun voorkomen en samenstelling in relatie tot verwaarding. Dit is gedaan op basis van het literatuuronderzoek (Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en businesscase analyses (Kooij, 2016)) en nadere analyse door WUR-FBR (zie bijlage B).

Oeverplanten:

- Riet:
  - hoog vezelgehalte, relatief laag eiwitgehalte;
  - vanwege hoog vezelgehalte potentieel geschikt voor toepassing in papier/karton;
  - geschikt voor biocomposiet: in een recentelijk gestart onderzoek door een consortium

van WUR en DSM (biobased hars) wordt nader onderzocht hoe overjarig riet kan worden verwerkt tot plaatmateriaal voor meubel/interieurbouw.

- (Lies-)gras:
  - hoog cellulose/vezelgehalte in eerder onderzoek geschikt gebleken voor productie van papier/karton.
- Brandnetel:
  - geschikt voor veevoeder vanwege hoog eiwitgehalte, hoogwaardig eiwit (meer dan soja);
  - jonge brandnetel ook geschikt voor menselijke consumptie;
  - geschikt voor papier vezel.

Nat profiel:

- Fonteinkruid:
  - vezels geschikt voor papier/karton;
  - diverse poly- en monosacchariden aanwezig met effecten op bacterie groei;
  - eventueel later perspectief voor nuttige toepassing;
  - in eerder verkennend onderzoek wordt opgemerkt dat Fonteinkruid mogelijk moeilijk te raffineren is, en het eiwit weinig geschikt is voor veevoeder: dit dient nagegaan te worden in het vervolg van dit onderzoek.
- Lisdodde:
  - vezels geschikt voor constructieplaat, papier;
  - lijm;
  - voedingsgewas.
- Kroos:
  - hoog eiwit gehalte met essentiële aminozuren;
  - potentieel aan winbare antioxidanten aanwezig;
  - carotenoïden (veevoeder).

Exotische waterplanten:

- Grote waternavel:
  - Eiwit:
 

Inkuil-diervoeder proeven laten potentieel zien voor jongvee en varkens (Waterschap Aa en Maas).

Tijdens demo-week bioraffinage in De Peel bleek uit Grassa! test een mooi eiwit uit Waternavel te raffineren te zijn (Van Doorn, 2014).
  - Vezel:
 

wordt al gebruikt voor papier/karton (Millvision),
  - Specifieke inhoudstoffen:
 

polysaccharide als gelerend/verdikkingsmiddel. Ook zijn triterpenen/glycosiden als wortelgroei-vertrager aanwezig.
- Waterpest:
  - voedings-supplement (vitamine B12, nutriënten, antioxidanten) (zie bijlage B)
  - eiwitten.

- Parelvederkruid:
  - eiwitten en vezels, en mogelijk later specifieke toepassingen vanuit de eigenschap om phytoplankton groei te remmen.

Onderstaande tabel geeft samenvattend weer waar het verwaardingspotentieel ligt voor de negen geselecteerde planten.

**TABEL 7.1** OVERZICHT POTENTIELE VERWAARDINGSMOGELIJKHEDEN GESELECTEERDE WATER- EN OEVERPLANTEN

| Plant                  | Eiwit | Vezel | Meststof | Energie | Groei-substraat padden-<br>stoelen | Specifieke toepassing/<br>inhoudstoffen |
|------------------------|-------|-------|----------|---------|------------------------------------|-----------------------------------------|
| Oeverplanten           |       |       |          |         |                                    |                                         |
| Riet                   |       | +     | +        | +       | +                                  |                                         |
| Liesgras               | +     | +     | +        | +       | +                                  |                                         |
| Brandnetel             | +     | +     | +        | +       | +                                  | +/-                                     |
| Nat profiel            |       |       |          |         |                                    |                                         |
| Fonteinkruid           | +     | +     | +        | +       | +                                  | +                                       |
| Lisdodde               |       | +     | +        | +       | +                                  |                                         |
| Kroos                  | +     |       | +        | +       | +                                  | +                                       |
| Exotische waterplanten |       |       |          |         |                                    |                                         |
| Grote Waternavel       | +     | +     | +        | +       | +                                  | +                                       |
| Waterpest              | +     | +     | +        | +       | +                                  | +                                       |
| Parelvederkruid        | +     | +     | +        | +       | +                                  |                                         |

# 8

## CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 8.1 INVENTARISATIE

#### CONCLUSIES

Bij de inventarisatie van aanwezige en gemaaide water- en overplanten, bleek dat zowel de hoeveelheden als samenstelling van de maaisels slechts in beperkte mate bekend zijn bij waterschappen.

Op basis van de beschikbaar gekomen gegevens wordt geschat dat jaarlijks minimaal 500.000 ton (nat) maaisel vrijkomt. Deze hoeveelheden geven met zekerheid een (ruime) onderschatting van de daadwerkelijk aanwezige hoeveelheden. Geschat wordt dat 25%-50% van de maaisels wordt afgevoerd. De totale “markt” is daarmee minimaal 125.000-250.000 ton maaisel.

#### AANBEVELING

Ten behoeve van de nadere uitwerking van de business cases in dit project (sporen 2 en 3) en in geval ervoor gekozen wordt in de toekomst routinematig bioraffinage toe te gaan passen in het waterbeheer, verdient het aanbeveling om op systematische manier de aanwezigheid van maaisels te gaan monitoren. Dat zou kunnen door vanaf groeiseizoen 2016 de volgende monitoringsactiviteiten uit te gaan voeren:

- 1 Volgens de methodiek ontwikkeld in opdracht van Waternet, waarbij representatieve plant-monsters genomen voor de diverse aanwezige gebied- en vegetatietypen. Daarbij zouden nog diverse verfijningen in de methode kunnen worden aangebracht (zie suggesties in bijlage C).
- 2 Exoten:  
er is momenteel een App in gebruik waarmee de aanwezigheid van exoten wordt bijgehouden, onder meer door waterschapmedewerkers. Deze zou uitgebreid kunnen worden door niet alleen de aanwezigheid van een bepaalde exotische plantensoort te benoemen, maar tevens het percentage begroeiing van de betreffende water/oever te beschrijven. Met deze gegevens kan dan in het GIS-systeem van alle watergangen de hoeveelheid berekend worden.

### 8.2 KWALITEIT

Indien bioraffinage producten voor veevoeding (of humane voeding) gebruikt zouden gaan worden, zoals eiwit producten, dan dient nader inzicht verkregen te worden in de relatie tussen water- en bodemkwaliteit en aanwezigheid van mogelijk schadelijke stoffen in het product, zoals zware metalen en bestrijdingsmiddelen. Het verdient aanbeveling om in spoor 2 alvast aandacht te schenken aan de relatie tussen milieukwaliteit en kwaliteit van het bioraffinage product. Daartoe zou onder meer beschreven dienen te worden welke water- en bodemkwaliteit monitoring nu reeds plaatsvindt door de waterschappen en de eisen die vanuit diervoeding regelgeving gesteld worden aan de traceerbaarheid en kwaliteit van producten.

### 8.3 VERWAARDINGSPOTENTIEEL EN BUSINESS CASES

In het kader van deze literatuurstudie is een business case op hoofdlijnen geformuleerd voor meervoudige verwaarding van restgroen via een bioraffinage unit. Daaruit komt naar voren:

- er is voldoende restgroen bij de waterschappen in Nederland aanwezig om business cases mogelijk te maken. De beschikbaarheid en tijdsperiode waarin maaisels beschikbaar komen dient verder te worden uitgewerkt (zie ook par. 8.1 en bijlage C);
- in deze studie is een eerste globale verkenning van de economische haalbaarheid uitgevoerd van verwaarding, via conservatieve benaderingen op basis van algemene kentallen, zonder specifiek te kijken naar geselecteerde planten/maaisels of specifieke inhoudstoffen.
- Door in de sporen 2 en 3 specifiek te gaan inzoomen op bepaalde maaisels, stoffen en processen dient dit beeld geverifieerd en genuanceerd te worden.
- de globale economische analyse van bioraffinage tot gecombineerde productie van eiwitten, laagwaardige verwaarding van de vezels voor papier, fosfaat-meststof en gebruik van restsap als substraat in vergisters, is economisch gunstiger dan de huidige praktijk van composteren.
- De proceskosten zijn sterk bepalend voor de business case. Gezien het vroege ontwikkelingsstadium van de Grassa! technologie wordt verwacht dat in de nabije toekomst de proceskosten aanzienlijk gereduceerd kunnen worden, zodat de business case snel gunstiger wordt.
- Daarbij dient aangetekend te worden dat het nog niet vaststaat of de eiwitten afzetbaar zijn als veevoeder vanwege de herkomst uit ongecontroleerde teelt. Alternatieve afzet zou een technische toepassing kunnen zijn.
- verwaarding van vezelrijk plantmateriaal (zoals riet en lisdodde) en van de vaste fractie uit het Grassa! raffinage proces tot hoogwaardige vezels/papier lijkt vooralsnog economisch geen haalbare route.

In de nadere uitwerking van business cases (spoor 2 en 3) dient specifiek aandacht geschonken te worden aan:

- kwantificering van de volgende parameters om de business case nauwkeuriger en zekerder vast te kunnen stellen:
  - eiwit gehalten en samenstelling en rendement eiwit winning;
  - veevoeder waarde en afzetbaarheid;
  - (kosten van) kwaliteitsborging in relatie tot traceerbaarheid en kwaliteitsborging vanuit diervoeder regelgeving (juridische aspecten, gebruik maken van Greendeal).
- Voor eiwitwinning dient het maaisel zo vers mogelijk verwerkt te worden. De Flora en Faunawet vereist dat maaisels enige tijd op de kant moeten blijven liggen voor verdere behandeling om dieren de gelegenheid te geven een veilige plek te zoeken. Er dient nader onderzocht te worden hoe dit in de praktijk voldoende gewaarborgd kan worden.
- Kosten van raffinage processen tot papier/karton in relatie tot de toegevoegde waarde van de geproduceerde vezels;
- de maatschappelijke waarde van verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot/energiebesparing, bijdrage aan verbetering waterkwaliteit, sluiten van mineralenkringlopen en stimulering van lokale economie.

#### 8.4 AANBEVELINGEN VOOR LABORATORIUM-PILOT PROEVEN (SPOOR 2)

Voor de exacte invulling van de proeven in spoor 2 ten behoeve van identificatie en onderbouwing van business cases, is tevens afstemming nodig met de proeven die zullen worden uitgevoerd in spoor 3 door project partners. Dit zal in een overleg tussen alle onderzoekende partners/uitvoerders in het project worden vastgesteld.

Aanbevolen wordt om de volgende planten te onderzoeken in het onderzoek: Grote Waternavel, Fonteinkruid, Waterpest, Brandnetel, Riet of Lisdodde.

Onderstaande aspecten zullen in ieder geval worden meegenomen in de ontwikkeling en uitvoering van spoor 2:

- Samenstelling, winbaarheid en potentiële geschiktheid van eiwitten:
- voor de geselecteerde planten op basis van aanwezigheid van eiwit, zal onderzocht worden wat de precieze eiwit samenstelling is, de winbaarheid en potentiële geschiktheid als veevoeder. Dit zal zowel gebeuren op basis van de afzonderlijke planten als wel op basis van een representatief maaimengsel waarin deze planten als dominante plant voorkomen, daar in de praktijk nooit sprake zal zijn van een 100% homogene maaisel samenstelling. De uitkomsten van dit onderzoeksdeel zullen worden gebruikt voor bepaling welke maaisels in spoor 3 door Grassa! zullen worden verwerkt tot eiwit product.
- Daarnaast zal in spoor 2 gekeken worden welke technische toepassingen van aanwezige eiwitten mogelijk zijn, al dan niet na aangepaste methode van eiwit afscheiding om de functionele structuur van het eiwit zoveel mogelijk te behouden.
- Testen van het mogelijke verschil in eiwit gehalte en kwaliteit bij verwerking binnen 4 uur en na 24 uur na oogsten;
- Aanwezigheid van specifieke inhoudstoffen:
- uit de literatuurstudie is een aantal specifieke inhoudstoffen geïdentificeerd (geleermiddelen, biologische groeivertragers, antioxidanten), die in spoor 2 nader bekeken zullen worden op hun aanwezigheid, winbaarheid en verwaardbaarheid;
- Relatie water/bodem kwaliteit en kwaliteit plantmateriaal:
- met name in geval producten (zoals eiwit) voor dierlijke en/of humane consumptie gewonnen zouden worden, is de waarborging van kwaliteit essentieel. Deze wordt onder meer beïnvloed door de water/bodem kwaliteit. Daarom zal de relatie tussen water/bodemkwaliteit en product kwaliteit worden onderzocht, met als doel uiteindelijk beter (in-)zicht te krijgen in een praktisch/juridisch haalbare kwaliteitsborgingmethodiek.

#### 8.5 AANBEVELINGEN VOOR PRAKTIJK- PILOT PROEVEN (SPOOR 3)

De invulling van Spoor 3, zal in samenhang met spoor 2 nader worden uitgewerkt tussen onderzoekers en project partners Grassa!, Millvision, Verbruggen en Cumela.

Daarbij zullen onderstaande aspecten worden meegenomen:

##### MEERVOUDIGE VERWAARDING VIA GRASSA!-RAFFINAGE:

- Logistiek:  
de keuze waar de Grassa! Bioraffinage installatie kan worden opgesteld om de geselecteerde planten/maaisels lokaal te gaan raffineren tijdens spoor 3 dient nader te worden uitgewerkt. Waar kan de installatie praktisch worden opgesteld, hoe kunnen reststromen (producten) kunnen worden verwerkt/afgezet in de omgeving. Bijvoorbeeld de afzetbaarheid van restsap als grondstof voor vergister is een aandachtspunt.



- Voorbewerking:  
voor de Grassa!-raffinage unit is het essentieel dat het ingangsmateriaal geen harde/scherpe materialen meer bevat, zoals stenen en zand. Grassa! zal daartoe in overleg gaan met loonwerkers/waterschappen over de wijze waarop dit praktisch gerealiseerd kan gaan worden (groeiseizoen 2016).
- Eiwit winning, samenstelling en kwaliteit:  
in spoor 2 zal door de WUR voor de meest kansrijke planten uit deze literatuurstudie nader worden bepaald welke planten de beste verwaardbaarheid hebben voor eiwit raffinage. Deze planten/maaisels zullen in de praktijk door Grassa! worden verwerkt, naar verwachting najaar 2016 en voorjaar/zomer 2017).
- Relatie tussen Grassa! en andere verwaardingsroutes:
- de door Grassa! geproduceerde vezels kunnen worden getest als:
  - substraat voor de paddenstoelenteelt (Verbruggen),
  - als eiwit-arme cellulose-vezel voor papier/karton (Millvision).
  - specifieke inhoudstoffen (WUR-spoor 2) uit het restsap.

#### **SUBSTRAAT VOOR PADDENSTOELENTELT (VERBRUGGEN):**

- Groeiseizoen 2016:
- proeven op lab schaal door de WUR (groep Johan Baars) met vezels van diverse planten en met verschillende voorbewerkingen (bijv. inkuilen, verzuren, "lasagna-kuil", drogen/per-sen) om beste combinatie van plant en voorbewerking vast te stellen. Omvang: ca. 10 kg vezelmateriaal /proef
- April – Augustus 2017:
- full scale testen op bedrijf Verbruggen.
- Omvang: 4-5 ton/cel.

#### **VEZELS VOOR PAPIER EN BIOCOMPOSIT (MILLVISION):**

- Vergelijkende proef vezels met eiwitten en vezels waarbij eiwitten via Grassa!-procedé grotendeels zijn verwijderd, om het effect op (verminderde) schuimvorming in papier fabricage vast te stellen;
- Vergelijkende proeven met diverse waterplant-vezelmateriaal die als vezelkoek uit Grassa! Installatie zijn gekomen op hun specifieke papier eigenschappen.
- Biocomposieten proef waterplanten, thermoplastische biocomposieten en/of polymeren voor coatings (micro-cellulose);
- Voor riet en Lisdodde: onderzoeken van de toepasbaarheid zonder tussenkomst van bioraffinage voor biocomposit toepassing.

#### **LOGISTIEK (CUMELA):**

- Kleinschalige, mobiele bioraffinage brengt een aantal nieuwe logistieke aspecten met zich mee die sterke invloed hebben op de praktische toepasbaarheid en de uiteindelijke financiële haalbaarheid van deze benadering. Gebruik makend van de bij Cumela aanwezige praktijkervaring zullen de praktijkproeven van spoor 3 nauwkeurig worden gemonitord. Met deze resultaten kan na afloop een veel nauwkeurigere raming van logistieke kosten gemaakt worden in de uitwerking business cases.

#### **PERSPECTIEF VAN KLEINSCHALIGE BIORAFFINAGE VOOR WATERSCHAPPEN:**

Bij de verdere uitwerking van de toepasbaarheid van bioraffinage is het van belang ook de bredere toepasbaarheid binnen de activiteiten van de waterschappen in beeld te houden, zoals die onder meer via de Energie en Grondstoffen Fabriek worden ontwikkeld en uitge-

voerd. Een voorbeeld is de link met het verwaarden van aanwezige stoffen in afvalwater (project “Aquafarm”). Daarnaast kunnen ook verbindingen met andere verduurzamings-initiatieven vruchtbaar zijn, zoals paludicultuur, landbouw op natte bodem.

# LITERATUUR EN REFERENTIES

- Annevelinck, B. en P. Harmsen, Bioraffinage: naar een optimale verwaarding van biomassa, 2010
- Bleijendaal, L.P.J. et al., Waterpest en Cabomba TORWASH experimenten, September 2014
- Bos-Brouwers, H. (WUR-FBR) et al. Integrated valorisation of biomass resources, Dec 2012
- Doorn, W.J., van, et al, Meer waarde halen uit gras en gewas, eindrapport demonstratieproject kleinschalige bioraffinage De Peel, dec. 2014
- Dijk, C. van en M. Riemens, Concept-afwegingskader beheersing invasieve oever en waterplanten, Stowa rapport 2014-14, 2014.
- Duine, A. Onderzoek vergistbaarheid waterplanten, Waternet p.013089, oktober 2013
- Engelen, E. en A. Mastenbroek, Visiedocument valorisatie eiwit houdende reststromen, Platform Agro-Papier-Chemie, oktober 2013
- Geest, G. van en R. Noordhuis, Sturen op watervegetaties, Deltares, 2014.
- Haan, M. de et al, Onderbouwing handreiking waterplanten maaibeheer, RWS, april 2012.
- Haarbosch N, W. Böttger, Fase 0 – Haalbaarheid composiet van zeefgoed en van waterplanten, *Sampling, september 2014*
- Heerdt, G. van, et al, Waterplanten maaien, conserveren en verwerken, Waternet, november 2014.
- Hermen P, et al, Bioraffinage Innovatie Cluster Regio Gelderland (BIC-Gelderland): Valorisatie lignocellulose-rijke biomassa. Fase 1: Technische haalbaarheidsstudie, Augustus, 2014
- Houwelingen, K.M. van, Conserveren van waterplanten met verschillende additieven, dec. 2013
- Huurman, S. et al, Aquatische biomassa, het verwaarden van waterige reststromen op lokaal niveau, ACCRES, 2015.
- Invexo, Een efficiënte aanpak van invasieve exoten in en rond de waterloop, Eindrapport van de Invexo-casus “Grote waternavel en andere invasieve (water)planten”, maart 2013
- Kooij, L.A. en L.Q. van Doremalen. Haalbaarheid bioraffinage van tuinbouwresten in Zuid-Holland tot suikers. Royal HaskoningDHV, in opdracht van het Kenniscentrum Plantenstoffen en Biobase Westland. September 2014.
- Kooij, L.A. en L.Q. van Doremalen. Zo groen als gras. Rendabele Bermgras inzamelstructuur. Royal HaskoningDHV, in opdracht van de Provincie Utrecht. ARBOR- Interreg IVB - Europees fonds voor Regionale Ontwikkeling. November 2013
- Kooij, L.A. van der, Bioraffinage en vezelverwaarding. Literatuuronderzoek en business-case analyses. Van der Kooij. Van der Kooij CleanTechnologies, 2016”.
- Mulder W, et al, Biobased economy: de potentie van eiwitten voor technische toepassingen, WUR-FBR, 2013
- Nettenergy, pyrolyse van waterplanten, datum?
- Nijman, M., mondelinge mededeling, 2016.
- Rijkswaterstaat, Handreiking waterplanten maaibeheer, april 2012
- Rings, A.F. en W.H. Tuit, Groenresten in het waterbeheer, rapport Stowa 200-09, 2000
- Roelse, B. en R. van Hedel, Economische haalbaarheid van grasraffinage op RWZI's, juni 2015
- Heerdt, G. ter. Waterplanten maaien, conserveren en verwerken, Waternet, november 2014
- Unie van Waterschappen, Gedragscode Flora- en Faunawet voor waterschappen, goedgekeurd door ministerie Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, februari 2012.

- Wagener, M., diverse email correspondentie Grassa! oktober 2015 – maart 2016.
- Waternet, Inventarisatietool waterplanten
- Waterschap Vallei en Veluwe, Nota plaagsoorten, 2013
- Veenweide Innovatie Centrum proef met kroos [via HDSR].

## BIJLAGE A

## SAMENSTELLING PROJECTGROEP

| Naam                 | instantie                                  |
|----------------------|--------------------------------------------|
| Mark Kerkhoff        | Waterschap Aa en Maas                      |
| Roel Knoben          | Waterschap Aa en Maas/RHDHV                |
| Wim van Doorn        | Primair Airconsult                         |
| Bart Brugmans        | Waterschap Aa en Maas                      |
| Else Langbroek       | Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden   |
| George Zoutberg      | Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier |
| Alex Veltman         | Waternet                                   |
| Yede van der Kooij   | Wetterskip Fryslân                         |
| Anouska ten Have     | Waterschap Rijn en IJssel                  |
| Harm Beekhuis        | Waterschap Vallei en Veluwe                |
| Joost Schrander      | Waterschap Zuiderzeeland                   |
| Jos Hoogveld         | Waterschap Limburg                         |
| Ad Kemps             | Coppens                                    |
| Jan van der Leij     | Cumela                                     |
| Leon Joore           | Millvision                                 |
| John Verbruggen      | Oesterzwam                                 |
| Martijn Wagener      | Grassa                                     |
| Aldert van der Kooij | Van der Kooij Clean Technologies           |
| Hans Merks           | Waterschap Rivierenland                    |
| Peter Jansen         | Waternet                                   |
| Gulden Yilmaz        | WUR                                        |
| Jan van Dam          | WUR                                        |
| Johan Baars          | WUR                                        |
| Cora Uijterlinde     | STOWA                                      |

**BIJLAGE B**

# NOTITIE “WAARDE UIT RESTGROEN WATERBEHEER”



# Waarde uit restgroen waterbeheer

Woekerende waterplanten literatuur scan

DATUM

9 februari 2016

AUTEUR

Dr Jan E.G. van Dam

VERSIE

01

Wageningen UR (Wageningen University and various research institutes) is specialised in the domain of healthy food and living environment.

Wageningen UR Food & Biobased Research is the research institute for innovation in the areas of healthy food, sustainable fresh (food) chains and biobased products.



## **Waarde uit restgroen waterbeheer**

Woekerende waterplanten literatuur scan

DATUM

9 februari 2016

AUTEUR

Dr Jan E.G. van Dam

VERSIE

01

Wageningen UR (Wageningen University and various research institutes) is specialised in the domain of healthy food and living environment.

Wageningen UR Food & Biobased Research is the research institute for innovation in the areas of healthy food, sustainable fresh (food) chains and biobased products.



## Inhoudsopgave

|     |                                                              |    |
|-----|--------------------------------------------------------------|----|
| 1   | Woekerende waterplanten (Invasive aquatic plants):           | 5  |
| 2   | Inleiding                                                    | 6  |
| 3   | Chemische samenstelling                                      | 7  |
| 3.1 | Functionele samenstelling                                    | 8  |
| 3.2 | waterzuivering                                               | 9  |
| 3.3 | bioenergie                                                   | 9  |
| 4   | literatuur m.b.t. specifieke waterplanten                    | 10 |
| 4.1 | Grote Waternavel <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> Araliaceae | 10 |
| 4.2 | Parelvederkruid <i>Myriophyllum aquaticum</i> Haloragaceae   | 10 |
| 4.3 | Waterteunisbloem <i>Ludwigia peploides</i> , Onagraceae      | 10 |
| 4.4 | Fonteinkruid <i>Potamogeton sp</i> Potamogetonaceae          | 11 |
| 4.5 | Waterpest soorten <i>Elodea sp</i> Hydrocharitaceae          | 11 |
| 4.6 | Smal kroos <i>Landoltia punctata</i> Lemnaceae               | 11 |
| 4.7 | Waterwaaier <i>Cabomba caroliniana</i> Cabombaceae           | 12 |
| 4.8 | Grote kroosvaren <i>Azolla filiculoides</i> Salviniaceae     | 12 |
| 4.9 | Watercrassula <i>Crassula helmsii</i> Crassulaceae           | 12 |
| 5   | References                                                   | 13 |



## 1 **Woekerende waterplanten (Invasive aquatic plants):**

Om een toegevoegde waarde te kunnen halen uit biomassa, die wordt verkregen uit beheer van waterwegen is het van belang daarover nadere informatie te verzamelen, waarmee een verwerkingsproces en product ontwikkeling kan worden ontwikkeld. Over de specifiek veel voorkomende plantensoorten is het van belang meer kennis te hebben over hun karakteristiek eigenschappen. De volgende vragen werden opgesteld:

- Wat is hun groei- en bloeiseizoen?
- Over welke volumes (lengtes watergangen, tonnen, m<sup>3</sup>) praten we?
- Wat is het probleem dat de planten veroorzaken?
- In welke combinatie met andere planten komt de plant voor?
- **Wat is de fysisch-chemische samenstelling van deze planten (gehaltes aan droge stof, eiwit (samenstelling), lignine, cellulose, hemicellulose, mineralen, informatie over toxiciteit)?**
- Hoe fluctueren deze samenstellingen gedurende het groeiseizoen, waardoor het beste “oogstmoment” gezonden kan worden?

Dit rapport richt zich met name op de vraag wat er bekend is over de samenstelling van een specifieke groep woekerende waterplanten, die niet inheems zijn voor Nederlandse waterwegen.

## 2 Inleiding

Naar aanleiding van de bovenstaande vragen vanuit het project “Waarde halen uit restgroen waterbeheer” werd een literatuurstudie uitgevoerd naar de wetenschappelijke publicaties over de verschillende soorten woekerende waterplanten. Hiervoor werd met name gezocht naar achtergrond over de samenstelling van de biomassa en mogelijke methoden voor oogst en verwerking of toepassingen. Onder de geïdentificeerde woekerende soorten, die niet inheems zijn voor Nederlandse ecosystemen, vormen verschillende soorten waterplanten een bedreiging (HIPS, Highly invasive plant species). De volgende soorten werden aan nader onderzoek onderworpen (Tabel 1):

Tabel 1

|    | NL naam          | Botanische naam                  | type       | Engelse naam       |  |
|----|------------------|----------------------------------|------------|--------------------|--|
| 1  | grote waternavel | <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> | floating   | Floating pennywort |  |
| 2  | parelvederkruid  | <i>Myriophyllum aquaticum</i>    | emergent   | Parrot's feather   |  |
| 3  | waterteunisbloem | <i>Ludwigia sp</i>               | emergent   | Waterprimrose      |  |
| 4  | fontein kruid    | <i>Potamogeton sp</i>            | submerged  | Pondweed           |  |
| 5a | waterpest        | <i>Elodea sp</i>                 | submerged  | Waterweed          |  |
| 5b | Hydrilla         | <i>Hydrilla verticillata</i>     | submerged  | Watertyme          |  |
| 6  | smalkroos        | <i>Landoltia punctata</i>        | floating   | Dotted duckweed    |  |
| 7  | waterwaaier      | <i>Cabomba caroliniana</i>       | submerged  | Fanwort            |  |
| 8  | kroosvaren       | <i>Azolla filiculoides</i>       | floating   | Waterfern          |  |
| 9  | Watercrassula    | <i>Crassula helmsii</i>          | amphibious | Swamp stone crop   |  |

Het overgrote deel van de wetenschappelijke literatuur over deze soorten, die zich expansief hebben kunnen verbreiden in uiteenlopende ecologische omgevingen, richt zich op de bestrijding en beheersbaarheid ervan. Daarnaast zijn de groeisnelheden in relatie tot nutriënten beschikbaar en andere omgevingsfactoren bepaald [Hussner et al 20009]. Een ander deel van de gevonden referenties onderzoekt de opties voor waterzuivering met behulp van deze waterplanten, bioremediatie van industrieel afvalwater (pesticiden / organische gifstoffen en zware metalen. Met name in stilstaand of traag stromend water kunnen exotische waterplanten en maar ook algen (phytoplankton, wieren, kranswier) problemen veroorzaken. De invloed van de aanwezige nutriënten in het water zijn van grote invloed op de groeisnelheden [Durborow, 2014]. De hogere waterplanten (macrophyten; met wortel, stengel en blad) kunnen of drijvende waterplanten zijn (zoals krabbescheer, kikkerbeet, waternavel, kroos, etc.) of onderwaterplanten (zoals fonteynkruid, waterpest), of ook bovenkomende moerasplanten (zoals waterlepelkje, waterteunisbloem) , die deels onder en deels boven water kunnen groeien.

### 3 Chemische samenstelling

Over systematisch of gedetailleerd onderzoek naar de samenstelling van deze waterplanten is slechts beperkt gepubliceerd. Van de meeste soorten uit tabel 1 is geen gedetailleerde analyse van de samenstelling gevonden. Er is een vergelijkend rapport opgesteld voor uiteenlopende plantensoorten van verschillende families (Tabel 2), waaronder enkele waterplanten zoals parelvederkruid [2], fontein kruid [4] en waterpest [5] [Rabemanolontsoa and Saka, 2013]. Deze studie geeft naast de globale samenstelling met onderscheid van het gehalte aan cellulose, hemicellulose en lignine met ook het aandeel eiwit, zetmeel en as. Daarnaast wordt ook meer gedetailleerde analyses gegeven van de suiker samenstellingen (Tabel 3), waarmee een indruk wordt verkregen van de eigenschappen van de pectine en hemicellulose fractie. In vergelijking met veel andere landplanten is het aandeel uronzuren of xylose (pentosan) in deze soorten bijvoorbeeld erg laag. De aanwezigheid van hoge percentages as in sommige waterplanten heeft een negatief effect op de verbrandingswaarde (MJ/kg).

Table 2. Chemische samenstelling (% dm) van waterplanten soorten [zie Rabemanolontsoa and Saka, 2013]

|    | Cellulose | Hemi-cellulose | Klason lignin | ASL | protein | extractives | starch | ash  | MJ/kg |
|----|-----------|----------------|---------------|-----|---------|-------------|--------|------|-------|
| 1  |           |                |               |     |         |             |        |      |       |
| 2  | 26.3      | 19.4           | 14.6          | 2.9 | 16.2    | 5.3         | 0.2    | 11.2 | 18.28 |
| 3  |           |                |               |     |         |             |        |      |       |
| 4  | 34.7      | 8.8            | 13.1          | 1.8 | 22.9    | 4.0         | 2.0    | 10.5 | 18.65 |
| 5a | 43.6      | 9.3            | 6.1           | 1.5 | 13.7    | 5.2         | 2.3    | 15.8 | 15.58 |
| b  | 26.2      | 18.1           | 5.4           | 1.7 | 22.6    | 2.6         | 1.6    | 20.1 | 16.44 |
| c  | 22.7      | 14.1           | 6.4           | 1.5 | 22.8    | 6.7         | 1.8    | 22.3 | 16.22 |
| 6  |           | 6              |               |     |         |             | 32     |      |       |
| 7  | 15        |                | 9             |     |         |             |        |      |       |
| 8  |           |                | -             |     | 25      |             |        | 12   |       |
| 9  |           |                |               |     |         |             |        |      |       |

Table 3. Globale koolhydraat samenstelling (% dm) van waterplanten soorten [zie Rabemanolontsoa and Saka, 2013] en neutrale suikers in celwanden [Harris et al., 1997]\*

|    | Glc  | Man  | Gal  | Rha | Fru | Xyl  | Ara  | Uronic |
|----|------|------|------|-----|-----|------|------|--------|
| 1  |      |      |      |     |     |      |      |        |
| 2  | 28.9 | 4.1  | 2.4  | 1.3 | 2.2 | 3.2  | 3.7  | 1.6    |
| 3  |      |      |      |     |     |      |      |        |
| 4  | 34.3 | 0.6  | 0.5  | 0.8 | 0.3 | 5.8  | 2.6  | 1.9    |
| *  | 15.4 | 5.5  | 24.6 | 9.3 |     | 32.3 | 10.8 | 34.1   |
| 5a | 26.7 | 1.9  | 5.9  | 1.6 | 0.1 | 5.1  | 1.6  | 2.4    |
| *  | 15.4 | 11.0 | 21.0 | 9.3 |     | 29.8 | 11.1 | 40.0   |
| b  | 24.1 | 0.1  | 4.4  | 1.2 | 0.1 | 2.9  | 2.4  | 1.1    |
| c  | 42.2 | 3.1  | 2.6  | 0.8 | 0.0 | 2.5  | 1.4  | 2.6    |
| 6  |      |      |      |     |     |      |      |        |
| 7  |      |      |      |     |     |      |      |        |
| 8  |      |      |      |     |     |      |      |        |
| 9  |      |      |      |     |     |      |      |        |

Het wordt uit deze studies niet duidelijk hoe groot de variatie is in de samenstellingen of hoog groot de biomassa opbrengsten zijn gedurende de verschillende groeistadia. Het is bekend dat deze aanzienlijk kunnen variëren, afhankelijk van de ontwikkelingsfase van de plant (met effecten van oogstmoment, verwerkingsmethode, etc.). Nadere detail structuuropheldering van deze verschillende polysacchariden werd niet gerapporteerd.

De aanwezigheid van polysacchariden in de celwanden naast cellulose in niet verhoude monocotyle (eenzaadlobbige) planten wordt als pectine aangemerkt. Opvallend daarbij is het hoge xylose gehalte in de neutrale polysacchariden fractie van de celwanden van Fonteinkruid (Tabel 3. - 4 - *Potamogeton crispus*) en 5a- *Egeria densa* [Harris et al., 1997][Smith & Harris, 1999].

### 3.1 Functionele samenstelling

Onderzoek naar samenstelling van sommige waterplanten is verricht als grondstof voor anaerobe fermentaties voor de productie van biogas. Het gehalte aan lignine werd gerelateerd aan de methaan vorming. Lagere lignine gehalten geven een hogere biogas opbrengst. Ook heeft een thermochemische (NaOH) voorbehandeling van waterplanten het effect van een hogere biogas opbrengst [Koyama et al., 2014, 2015]. Daarnaast werd aangetoond dat lignine in kroosvarens ontbreekt en dat de aanwezige fenolen meer lijken op tannine [Nierop et al., 2011]

Naast de effecten van de waterplanten op ontwikkeling van (kweek)vissen is ook onderzoek verricht naar de geschiktheid ervan als bron voor diervoeder. Het hoge gehalte aan mineralen naast een hoog eiwit gehalte lijkt interessant, maar de verteerbaarheid ervan is relatief laag [Leterme et al. 2009]. Het hoge gehalte aan kalium bijvoorbeeld in kroosvarens betekent dat slechts een kleine fractie ervan kan worden bijgemengd in varkensvoer.

De invloed van de verschillende waterplanten op groei van micro-organismen (eutrofiëring) en ook verdringing van andere organismen in het ecosysteem is onderwerp van veel studies [Hilt et al., 2006]. Naast afscheiden van fenolen door bijvoorbeeld vederkruid, die een allelopatische remming van micro-organismen kunnen bewerken [Cheng et al 2008] zouden ook wateroplosbare polysacchariden als groei bevorderende component een belangrijke rol spelen [Fuchedzhi et al., 2008].

### **3.2 waterzuivering**

Veel onderzoek naar deze waterplanten concentreert zich specifiek op waterzuivering en de verwijdering en binding van toxische componenten uit het oppervlakte water. Zware metalen (Cu, Cr, As, Zn, Fe, Cd, etc.) kunnen zich hechten aan de celwand, voornamelijk via de geladen polysaccharide structuren (zoals pectines) [Krzeslowska, 2011]. Dit zou een methode kunnen zijn om gecontamineerd water te zuiveren, indien het wordt gecombineerd met detoxificatie van de geoogste biomassa en terugwinning van metaalzouten. Andere toxische componenten in industrieel afvalwater, zoals verf- en looistoffen, of springstoffen (TNT), pesticiden, etc. zouden m.b.v. waterplanten kunnen worden verwijderd. Ook nutriënt remediatie ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ) kan worden bewerkstelligd in combinatie met anaerobe afbraak van de waterplanten en biogas productie [Kobayashi et al 2015].

### **3.3 bioenergie**

Onderzoek naar de samenstelling van verschillende soorten kroos als potentiële biomassa-bron voor de productie van energie via verschillende routes [Verma & Suthar, 2015; Cui & Cheng, 2014]. De aanwezigheid van hogere concentraties silica in diverse waterplanten [Schoelynck et al., 2010, 2015] en dit hoge asgehalte heeft een negatief effect op de energiewaarde en mogelijkheden voor inzet voor opwekking van thermische energie [Yurokova & Kochev, 1993].

De proximate analyse (asgehalte, ruwe vezel, ruw eiwit en bruto energie waarde) van verschillende waterplanten werd bepaald gedurende het groeiseizoen [Muztar et al., 1978]. Vederkruid en fonteinkruid werden in drie opeenvolgende maanden gemeten (juli- sept). Opvallend is het gehalte aan as dat bij vederkruid later in het seizoen afneemt t.o.v. het eiwit gehalte. In fonteinkruid is dat eerder omgekeerd. Deze wisselende waarden beïnvloeden daarmee ook de verbrandingswaarde. Biochemische processen als anaerobe fermentatie, of thermische processen (verbranding, bijsmaak, pyrolyse), en thermochemische oxidatieve en hydrothermische processen leveren met uiteenlopende efficiëntie verschillende energiedragers (Bio-ethanol, ABE,  $\text{H}_2$ , Bio-olie, biogas, syngas). Als biomassa grondstof zou hiervoor ook eventueel de kroossoorten kunnen worden ingezet. Kroossoorten hebben een relatief hoog eiwit en lipide gehalte en relatief laag vezel gehalte (geen lignine). De vorming en ophoping van zetmeel (tot 38% fermenteerbare suikers in smalkroos) maakt het mogelijk geschikt als fermentatie grondstof voor bioethanol, of butanol productie [Chen et al 2012].

## 4 literatuur m.b.t. specifieke waterplanten

Hieronder volgt een overzicht van de verschillende onderzochte waterplanten, waarbij referenties met opmerkelijke waarneming van soortspecifieke eigenschappen zijn vermeld.

### 4.1 Grote Waternavel *Hydrocotyle ranunculoides* Araliaceae [5.17]

Floating pennywort

Origin: N. America

- “Swirl of water” has been traditionally used as condiment for its mucilaginous polysaccharide as thickening agent [Picó and Nuez, 2000].
- Presence of Polyoxygenated oleanane triterpenes and glycosides was demonstrated [Della Greca et al., 1993, 1994; Corsaro et al 1995]. These triterpenoid glycosides may exhibit root inhibitory effects [Chavasiri et al., 2005].
- Control options [Newman et al 2009]; [Duenas, 2009]

### 4.2 Parelvederkruid *Myriophyllum aquaticum* Haloragaceae [5.4]

Parrot’s feather

Origin: S. America

- Allelopathic inhibitory effect on phytoplankton [Cheng et al 2008]
- Pesticide (Herbicide) uptake / role of aquatic plants in bioremediation / phytoremediation of pesticides, explosives and ammunition (TNT) / heavy metals [Tront, 2004]; [Perelo, 2010] [Rai, 2009] [Hussain et al 2009]
- Biomass production effects of nutrients and salinity [Wen and Recknagel 2002]

Ongelijkbladig vederkruid *Myriophyllum heterophyllum*;

Aarvederkruid: *Myriophyllum spicatum*,  
Watermilfoil

- management of invasive species [Menninger 2011]; Heavy metal pollution bioremediation , dyes and phenolic pollutants [Stojanovic et al., 2012]; [Li et al., 2014];
- monthly variation of biomass accumulation in Egypt and potential economic uses [Ziada et al., 2008]

### 4.3 Waterteunisbloem *Ludwigia peploides*, Onagraceae [5.5]

Water primrose

Origin: America

- Capable of producing at a growth rate of 50 g dm<sup>-2</sup>/day at an average density of 650 g dm/m<sup>2</sup> (200-4500 g dm/m<sup>2</sup>) [Rejmankova 1992] [Lambert et al., 2010].



*L. grandiflora***4.4 Fonteinkruid *Potamogeton sp* Potamogetonaceae [7.3]**

Clasping-leaved pondweed *P. perfoliatus*, Origin:

- Silica uptake [Schoelynck et al., 2010];
- Different polysaccharides with different monosaccharides compositions derived from pondweed were shown to have significant effects on bacterial growth [Fuchedzhi et al., 2008].

Curley-leaved pondweed *P. crispus*,

- biomass potential [Yurukova and Kochev, 1993]; feed potential [Muztar et al., 1978];
- cell wall composition [Smith and Harris 1999];
- ferulic acid [Harris et al., 1997],
- extraction of carotenoids (anti-oxidantia / immunomodulatory anti-cancer) [Bolotova 2015]

**4.5 Waterpest soorten *Elodea sp* Hydrocharitaceae [7.2]**

Waterweed , brede waterpest *E. canadensis* Origin: N America

- Silicon [Schoelynck and Struyf, 2015]

**5c** *E. nuttallii*; (smalle) Origin: N. America

- Digestibility and composition [Koyama et al, 2014, 2015];[Kobayashi et al 2014] / anaerobic digestion

**5a** *Egeria densa*,

Brazilian Elodea Origin: Brazil

**5b** *Hydrilla verticillata*;

Hydrilla Watertyme Origin: Ctr Africa

- Is advertised as health food supplement (vitamin B12, nutrients, antioxidants)

**4.6 Smal kroos *Landoltia punctata* Lemnaceae [9.4]**

Dotted duckweed = *Spirodella punctata*, Origin:

- Fermentation substrate for the production of biofuels / fermentation substrate bioethanol, higher alcohols [Chen et al., 2012]; [Cui and Cheng 2015]; [Verma and Suthar, 2015]
- Waste water treatment

|            |                    |                                   |                    |              |
|------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|
| <b>4.7</b> | <b>Waterwaaier</b> | <b><i>Cabomba caroliniana</i></b> | <b>Cabombaceae</b> | <b>[1.6]</b> |
|------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|

Fanwort

Origin: N. America

*C. aquatica*;

- Pesticides removal

|            |                         |                                   |                     |               |
|------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|
| <b>4.8</b> | <b>Grote kroosvaren</b> | <b><i>Azolla filiculoides</i></b> | <b>Salviniaceae</b> | <b>[13.5]</b> |
|------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------------|---------------|

Waterfern

Origin: Tropical Americas

- Waste water treatment / metal removal; biosorptive uptake of dyes (Methylene blue)
- Biomass properties [Costa et al 1999];
- Nutritional value [Leterme et al., 2009];
- Polyphenols in Azolla [Nierop et al 2011];
- Flavones in Azolla [Teixeira et al., 2001]

|            |                      |                                |                     |              |
|------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|--------------|
| <b>4.9</b> | <b>Watercrassula</b> | <b><i>Crassula helmsii</i></b> | <b>Crassulaceae</b> | <b>[5.1]</b> |
|------------|----------------------|--------------------------------|---------------------|--------------|

Swamp stone crop

Naaldkruid

Origin: Australia

- Copper tolerant, hyperaccumulator copper (Phytomining) [Küpper et al., 2009]
- Organisms for photosynthetic production of ethanol [J.W. Lee 2011]

## 5 References

- Bolotova, Ya V. "Aquatic plants of the Far East of Russia: a review on their use in medicine, pharmacological activity." *Bangladesh Journal of Medical Science* 14.1 (2015): 9-13.
- Carranco, M. E., et al. "Chemical composition, leaf protein extraction and amino acid profile of seven aquatic plants." *Cuban Journal of Agricultural Science* 36.3 (2002): 237-248.
- Chavasiri, Warinthorn, et al. "Allelochemicals from *Hydrocotyle umbellata* Linn." *WORLD CONGRESS ON ALLELOPATHY*. Vol. 4. 2005.
- Chen, Qian, et al. "Improving production of bioethanol from Duckweed (*Landoltia punctata*) by pectinase pretreatment." *Energies* 5.8 (2012): 3019-3032.
- Cheng, Wu, et al. "Allelopathic inhibitory effect of *Myriophyllum aquaticum* (Vell.) Verdc. on *Microcystis aeruginosa* and its physiological mechanism." *Acta Ecologica Sinica* 28.6 (2008): 2595-2603.
- Clarke, Sarah, and Jonathan R. Newman. "Assessment of alien invasive aquatic weeds in the UK." *13th Australian Weeds Conference: weeds" threats now and forever*. 2002.
- Cui, W., and J. J. Cheng. "Growing duckweed for biofuel production: a review." *Plant Biology* 17.s1 (2015): 16-23.
- Della Greca, Marina, et al. "Polyoxygenated oleanane triterpenes from *Hydrocotyle ranunculoides*." *Phytochemistry* 35.1 (1993): 201-204.
- Della Greca, Marina, et al. "Oleanane glycosides from *Hydrocotyle ranunculoides*." *Phytochemistry* 36.6 (1994): 1479-1483.
- Corsaro, Maria M., et al. "Ranuncoside VII-A New Oleanane Glycoside From *Hydrocotyle ranunculoides*." *Natural Product Letters* 6.2 (1995): 95-102.
- Costa, M. Lourdes, M. Conceição Santos, and Francisco Carrapiço. "Biomass characterization of *Azolla filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater." *Biology, Ecology and Management of Aquatic Plants*. Springer Netherlands, 1999. 323-327.
- Delbart, Emmanuel, Grégory Mahy, and Arnaud Monty. "Efficacité des méthodes de lutte contre le développement de cinq espèces de plantes invasives amphibies: *Crassula helmsii*, *Hydrocotyle ranunculoides*, *Ludwigia grandiflora*, *Ludwigia peploides* et *Myriophyllum aquaticum* (synthèse bibliographique)." *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement* 17.1 (2013): 87-102.
- Dhir, Bhupinder. *Phytoremediation: Role of Aquatic Plants in Environmental Clean-up*. Springer, 2013.
- Duenas, Manuel A. "Aquatic Weed Research at Centre for Ecology & Hydrology (CEH)." (2009).
- Durbin, Robert M. "Management of Aquatic Weeds." *Recent Advances in Weed Management*. Springer New York, 2014. 281-314.
- Fuchedzhi, O. A., et al. "Role of the clasping-leaved pondweed (*Potamogeton perfoliatus*) polysaccharides in formation of its bacterial environment." *Microbiology* 77.1 (2008): 84-89.
- Hagen, Tony A., Cecil Massie, and Nicolas Hagen. "ETHANOL PRODUCTION, USE, AND WASTE RECOVERY USING AQUATIC PLANTS." U.S. Patent No. 20,150,240,195. 27 Aug. 2015.

- Harris, Philip J., et al. "Monosaccharide compositions of unlignified cell walls of monocotyledons in relation to the occurrence of wall-bound ferulic acid." *Biochemical Systematics and Ecology* 25.2 (1997): 167-179.
- Hilt, Sabine, et al. "Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes—a guideline and state of the art in Germany." *Limnologica-Ecology and Management of Inland Waters* 36.3 (2006): 155-171.
- Hussain, Sarfraz, et al. "Bioremediation and phytoremediation of pesticides: recent advances." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39.10 (2009): 843-907.
- Hussner, A. "Growth and photosynthesis of four invasive aquatic plant species in Europe." *Weed Research* 49.5 (2009): 506-515.
- Kobayashi, Takuro, et al. "Characterization of anaerobic degradability and kinetics of harvested submerged aquatic weeds used for nutrient phytoremediation." *Energies* 8.1 (2014): 304-318.
- Koyama, Mitsuhiko, et al. "Anaerobic digestion of submerged macrophytes: Chemical composition and anaerobic digestibility." *Ecological Engineering* 69 (2014): 304-309.
- Koyama, Mitsuhiko, et al. "Enhancing anaerobic digestibility of lignin-rich submerged macrophyte using thermochemical pre-treatment." *Biochemical Engineering Journal* 99 (2015): 124-130.
- Krzyszowska, Magdalena. "The cell wall in plant cell response to trace metals: polysaccharide remodeling and its role in defense strategy." *Acta Physiologiae Plantarum* 33.1 (2011): 35-51.
- Küpper, Hendrik, et al. "Complexation and toxicity of copper in higher plants. I. Characterization of copper accumulation, speciation, and toxicity in *Crassula helmsii* as a new copper accumulator." *Plant Physiology* 151.2 (2009): 702-714.
- Lambert, E., et al. "Relationships between the biomass production of invasive *Ludwigia* species and physical properties of habitats in France." *Hydrobiologia* 656.1 (2010): 173-186.
- Lee, James Weifu. "Designer organisms for photosynthetic production of ethanol from carbon dioxide and water." U.S. Patent No. 7,973,214. 5 Jul. 2011.
- Leterme, Pascal, et al. "Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs." *Animal feed science and technology* 149.1 (2009): 135-148.
- Li, Guoxin, et al. "Effects of pH on isotherm modeling and cation competition for Cd (II) and Cu (II) biosorption on *Myriophyllum spicatum* from aqueous solutions." *Environmental Earth Sciences* 72.11 (2014): 4237-4247.
- Matthews, J., et al. "Knowledge document for risk analysis of the non-native Fanwort (*Cabomba caroliniana*) in the Netherlands." *Reports Environmental Science* 443 (2013).
- Matthews, J., et al. "Knowledge document for risk analysis of the non-native Brazilian waterweed (*Egeria densa*) in the Netherlands." (2014).
- Menninger, Holly. "A Review of the Science and Management of Eurasian Watermilfoil: Recommendations for Future Action in New York State." (2011).
- Muztar, A. Jabbar, S. J. Slinger, and J. H. Burton. "Chemical composition of aquatic macrophytes I. Investigation of organic constituents and nutritional potential." *Canadian Journal of Plant Science* 58.3 (1978): 829-841.
- Newman, Jonathan R., Richard Shaw, and Manuel A. Duenas. "*Hydrocotyle ranunculoides* Lf—Origins and Control Options." (2009): 42-42.

- Nierop, Klaas GJ, et al. "The omnipresent water fern *Azolla caroliniana* does not contain lignin." *Organic Geochemistry* 42.7 (2011): 846-850.
- Perelo, Louisa Wessels. "Review: in situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments." *Journal of hazardous materials* 177.1 (2010): 81-89.
- Picó, Belén, and Fernando Nuez. "Minor crops of Mesoamerica in early sources (II). Herbs used as condiments." *Genetic Resources and Crop Evolution* 47.5 (2000): 541-552.
- Rabemanolontsoa, Harifara, and Shiro Saka. "Comparative study on chemical composition of various biomass species." *RSC Advances* 3.12 (2013): 3946-3956.
- Rai, Prabhat Kumar. "Heavy metal phytoremediation from aquatic ecosystems with special reference to macrophytes." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 39.9 (2009): 697-753.
- Rejmánková, Eliška. "Ecology of creeping macrophytes with special reference to *Ludwigia peploides* (HBK) Raven." *Aquatic Botany* 43.3 (1992): 283-299.
- Schoelynck, Jonas, et al. "Silica uptake in aquatic and wetland macrophytes: a strategic choice between silica, lignin and cellulose?." *New Phytologist* 186.2 (2010): 385-391.
- Schoelynck, Jonas, and Eric Struyf. "Silicon in aquatic vegetation." *Functional Ecology* (2015).
- Smith, Bronwen G., and Philip J. Harris. "The polysaccharide composition of Poales cell walls: Poaceae cell walls are not unique." *Biochemical Systematics and Ecology* 27.1 (1999): 33-53.
- Stojanovic, M. et al. "Biomass waste material as potential adsorbent for sequestering pollutants." *Zastita Materialja* 53, 231 (2012)
- Teixeira, Generosa, Francisco Carrapiço, and Elsa Teixeira Gomes. "C-glycosylflavones in the genus *Azolla*." *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* 135.2 (2001): 233-237.
- Tront, Jacqueline Marie. "Plant activity and organic contaminant processing by aquatic plants." (2004).
- Verma, Rashmi, and Surindra Suthar. "Utility of Duckweeds as Source of Biomass Energy: a Review." *BioEnergy Research* 8.4 (2015): 1589-1597.
- Wen, Li, and Friedrich Recknagel. "In situ removal of dissolved phosphorus in irrigation drainage water by planted floats: preliminary results from growth chamber experiment." *Agriculture, ecosystems & environment* 90.1 (2002): 9-15.
- Wolverton, B. C., and Rebecca C. McDonald. "Energy from vascular plant wastewater treatment systems." *Economic Botany* 35.2 (1981): 224-232.
- Yurukova, LILYANA D., and K. K. Kochev. "Energy content and storage in the biomass of hydrophytes in Bulgaria." *ARCHIV FUR HYDROBIOLOGIE* 127 (1993): 485-485.
- Ziada, ME Abu, et al. "Economic potentialities of some aquatic plants growing in north east Nile delta, Egypt." *Journal of Applied Sciences* 8.8 (2008): 1395-1405.

## BIJLAGE C

# SUGGESTIES VOOR INVENTARISATIE

## MAAISELS

Betrouwbare data over hoeveelheden en samenstelling van maaaisels van waterschappen zijn van groot belang om het business potentieel van verwaarding van water- en oeverplanten te kunnen bepalen. Uit dit onderzoek komt dat deze gegevens slechts beperkt bekend zijn bij waterschappen, omdat ze niet worden geregistreerd en/of gemonitored voor dit doel.

In opdracht van Waternet is in 2014 een tool ontwikkeld, die die een goed startpunt biedt voor zo'n inventarisatiemethode. Daarbij wordt een onderverdeling in 3 groepen aangehouden: Onderwaterplanten (bijv. Cabomba en waterpest), Oeverplanten (bijv. riet en lisdodde), en Kruidachtigen (bijv. natuurgras). De volgende verfijningen worden aanbevolen door de ontwikkelaar van de tool (Ecofys) om de tool te verfijnen:

- De vrachten en opdrachten aan aannemers worden bijgehouden door opzichters (die de vrachtbonnen beheren en de kwaliteit van het werk controleren). Het is echter vaak niet mogelijk om te achterhalen uit welk gebied een bepaalde lading (of combinatie van ladingen) afkomstig is, aangezien de aannemers dit meestal niet op hun vrachtbonnen vermelden. Daarom de aanbeveling om voortaan de eis op te nemen in het bestek, om te rapporteren over de herkomst en soort biomassa die wordt vervoerd. Bij iedere vracht zal de volgende informatie moeten worden gerapporteerd:
  - Locatie van herkomst en maaimethode;
  - De samenstelling van de biomassa stroom (in % natte stof oeverplanten/onderwaterplanten/gras- en kruidachtigen) in het veld beschrijven;
  - Aantal gewogen tonnen (nat).
- Elk waterschap in overleg met ecologen bepaalt welke plantensoorten gemaaid worden, onderverdeeld naar enkele karakteristieke watergebieden, zoals bijvoorbeeld type polder.
- De soorten planten en hoeveelheden verschillen van jaar tot jaar en per seizoen. Daarom is het zinvol in de inventarisatie meerdere gegevens per seizoen en per locatie te verzamelen.
- Extrapoleren naar het hele Waterschapsgebied kan als rekening gehouden wordt met:
  - soort polder (bodem), rekenen met werkelijke waarde en niet met gemiddelde;
  - gemiddelde per polder/watergebied (bodemsoort) berekenen;
  - gemiddelde per seizoen berekenen;
  - gemiddelde per maaifrequentie berekenen;
  - extrapoleren via lengte [km] of via oppervlak [m<sup>2</sup>].