

# Waterpest en Cabomba TORWASH experimenten

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

September 2014  
ECN-E--14-041



## Verantwoording

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

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

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

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

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



# Inhoudsopgave

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



# Samenvatting

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

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

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



# 1

## Inleiding

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

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

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

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

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

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

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

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

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



# 2

## Procesomschrijving en experimenten

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

### 2.1 Experimenten

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

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

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

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

De volgende analyses zijn uitgevoerd:

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

## 2.2 Hakselen

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

**Figuur 1:** Hakselaar



## 2.3 Persen

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

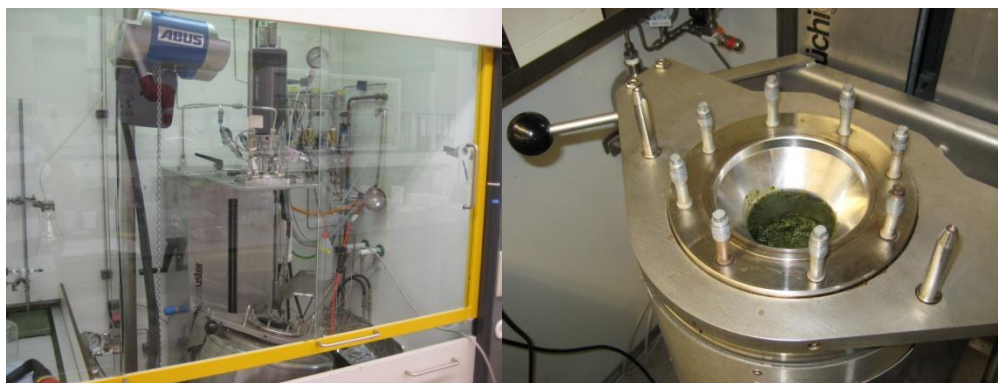
**Figuur 2:** Persmal en pers



## 2.4 Autoclaaf

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

**Figuur 3:** De autoclaaf



# 3

## Resultaten

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

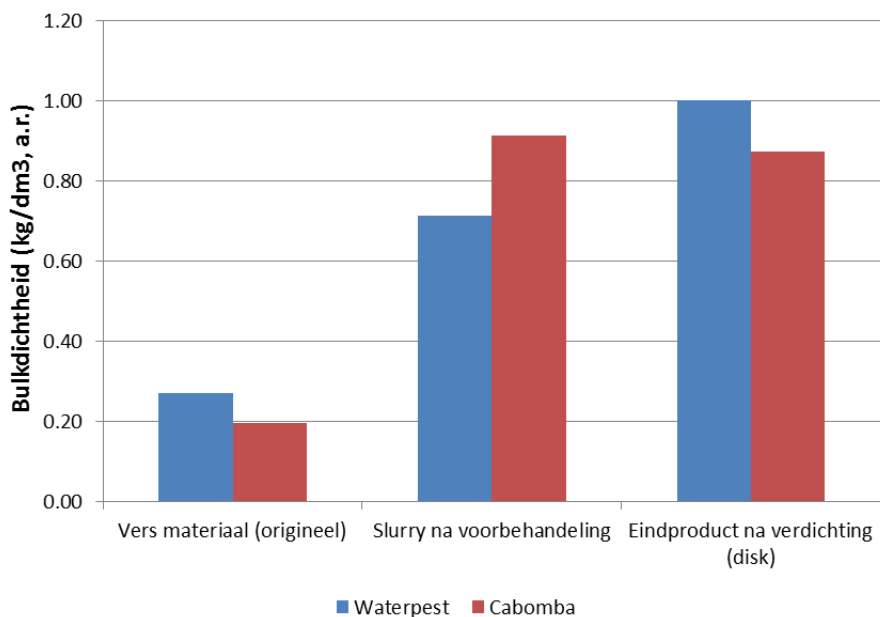
### 3.1 Dichtheid

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

In Figuur 4 zijn verschillende bulkdichtheden gegeven. Het verse materiaal heeft een dichtheid die rond de 200 kg/m<sup>3</sup> ligt. Door het materiaal te hakselen kan de dichtheid vergroot worden naar circa 800 kg/m<sup>3</sup>. Het verse materiaal en het gehakselde materiaal hebben vergelijkbare vochtgehaltes van ongeveer 90%. Na het TORWASHen bij 190°C en het persen van een pellet ligt de dichtheid van Waterpest iets hoger dan de dichtheid van gehakseld materiaal. Dit in tegenstelling tot Cabomba wat na persen een iets lagere dichtheid heeft. De geperste pellet van TORWASH materiaal heeft echter een veel lager vochtgehalte van rond de 25-30%.

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

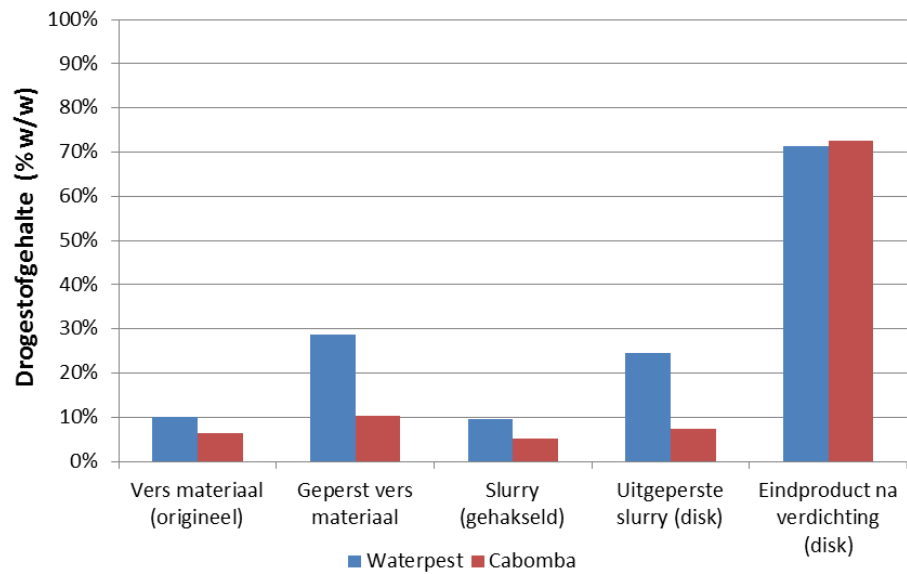
Figuur 4: Dichtheden van vers, gehakseld en geTORWASHT materiaal



## 3.2 Vochtgehalte

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

**Figuur 5:** Drogestofgehaltes bij verschillende bewerkingen

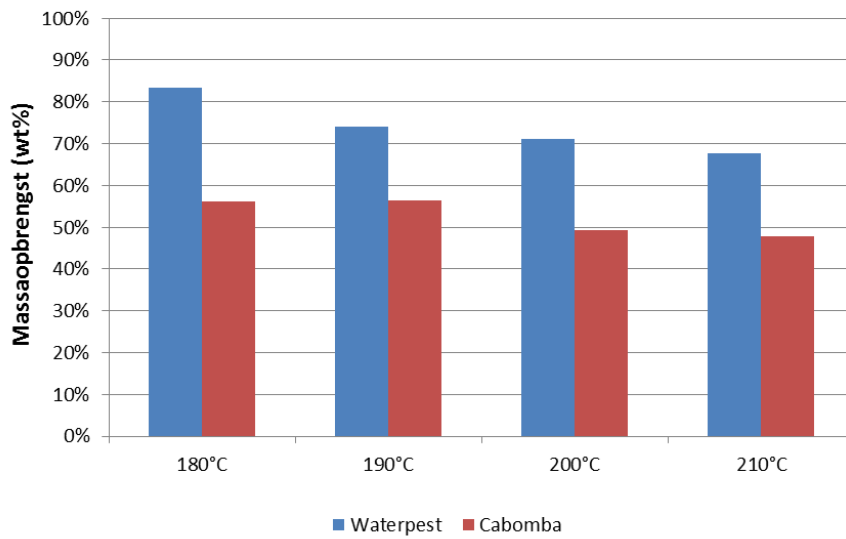


### 3.3 Massaopbrengst en verzuring

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

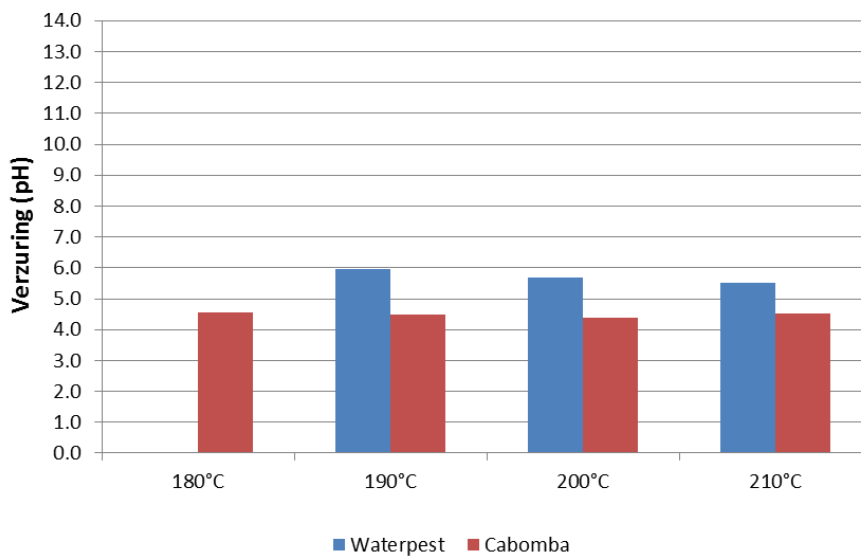
Tijdens de experimenten in de 20 liter autoclaaf op 190°C zijn nauwkeuriger bepalingen gedaan. Hierbij is vastgesteld dat voor Waterpest 61% van de vaste stof in de originele massa wordt teruggewonnen als vaste stof in de brandstof en voor Cabomba 47%. Dit zijn normale getallen voor TORWASH. Voor gras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

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



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

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



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

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

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

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

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

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



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

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

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

### 3.5 As vormende elementen

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

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

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

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

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

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

### 3.6 Sporelementen

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

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

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

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

### 3.7 Zuurvormende elementen

In Tabel 4 **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.** zijn de gemeten concentraties van de zuurvormende elementen weergegeven. De zwavelconcentratie is verhoogd ten opzichte van snoeihout maar vergelijkbaar met de concentratie in zwavelarme referentiekolen. De concentratie van chloor is hoog in de uitgangsmaterialen, maar wordt effectief verwijderd door het TORWASH proces. De concentratie chloor in het eindproduct is vergelijkbaar met de concentratie in snoeihout, echter te hoog in vergelijking met het 300 ppm criterium voor houtpellets, zoals geformuleerd door de IWPB (Initiative Wood Pellets Buyers) voor klasse I2 industriële pellets<sup>1</sup>). Het chloorgehalte is niet veel te hoog en daarom is het de verwachting, dat door middel van nawassen het chloorgehalte verder kan worden verlaagd en eenvoudig onder 300 ppm kan komen. De verhouding zwavel/ chloor is relatief hoog (S/Cl) in het product en biedt bij de gemeten concentratie bescherming tegen chloor corrosie.

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

<sup>1</sup> De criteria voor de verschillende klassen industriële houtpellets, die door de IWPB zijn vastgesteld staan op de website van Laborelec: [http://www.laborelec.be/ENG/wp-content/uploads/2012/05/120427-IWPB-Industrial\\_pellets\\_specifications\\_KJ\\_YR-2.pdf](http://www.laborelec.be/ENG/wp-content/uploads/2012/05/120427-IWPB-Industrial_pellets_specifications_KJ_YR-2.pdf)

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

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

### 3.8 Fosfor en stikstof

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

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

# 4

## Conclusies

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

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

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

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

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

**Figuur 8:** Vers en gehakselde waterpest



**ECN**

Westerduinweg 3  
1755 LE Petten

Postbus 1  
1755 LG Petten

T 088 515 4949

F 088 515 8338

[info@ecn.nl](mailto:info@ecn.nl)

[www.ecn.nl](http://www.ecn.nl)