

Torwash voor zuiveringsslib, eerste experimenten

J.R. Pels
D.F. Meyer
H. Kuipers

Augustus 2015
ECN-E--15-025



Verantwoording

Dit project (5.3705) is uitgevoerd door ECN in opdracht van Waterschap Zuiderzeeland.

Waterschap Zuiderzeeland is het waterschap van Flevoland en beheert vijf rioolwaterzuiveringsinstallaties.

In deze notitie worden de resultaten van een eerste serie TORWASH experimenten beschreven. Dit rapport is een publiek rapport. De inhoud zal in het Engels in een conference paper verschijnen.

“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

	Samenvatting	4
1	Inleiding	7
2	Procesomschrijving en experimenten	10
2.1	Experimenten	10
2.2	Grondstoffen en voorbehandeling	11
2.3	Multiclaaf en autoclaaf	11
2.4	Persen	12
2.5	Afbreekbaarheidstesten	13
2.6	Bepaling van optimale condities	13
2.7	Analyses	13
3	Resultaten	15
3.1	Vochtgehalte/droge stof gehalte	15
3.2	Massa- en energieopbrengst	16
3.3	Proximate analysis en ultimate analysis	17
3.4	Asvormende elementen	19
3.5	Spoorelementen	22
3.6	Zuurvormende elementen	24
3.7	Effluent afbreekbaarheid	25
3.8	Nutriëntenterugwinning	27
4	Conclusies	28
4.1	Conclusies uit het onderzoek	28
4.2	Aanbevelingen	29
	Bijlagen	
A.	Analyseresultaten	31

Samenvatting

In Nederland wordt jaarlijks circa 1,5 miljoen ton communaal zuiveringsslib geproduceerd. Zuiveringsslib blijft over na de zuivering van afvalwater. In Nederland wordt dit zuiveringsslib van rioolwaterzuiveringsinstallaties verbrand in daarvoor speciaal toegeruste installaties of via meestook in afvalverbrandingsinstallaties. Het is de verwachting dat verbranding van zuiveringsslib ook de komende decennia nog de voornaamste wijze van verwerking zal blijven. Het watergehalte van zuiveringsslib is hoog, circa 75 procent en daardoor zijn de kosten voor transport en verbranding als eindverwerking aanzienlijk. De jaarlijkse kosten voor transport en slibeindverwerking bij Waterschap Zuiderzeeland bedragen circa € 3 miljoen.

Technisch gezien is zuiveringsslib geen aantrekkelijke brandstof, omdat er bij de verbranding van zuiveringsslib bijna geen energie te winnen is. Het verlagen van het watergehalte kan voor aanzienlijke kostenbesparingen zorgen. Verder kan het de winning van energie uit zuiveringsslib mogelijk maken. Eén van de opties die daarbij onderzocht is, betreft TORWASH, een technologie die door ECN (Energieonderzoek Centrum Nederland) wordt ontwikkeld. TORWASH is een natte torrefactie-technologie, die natte, zoute biomassa opwerkt in een vaste biobrandstof. Deze brandstof is geschikt om kolen te vervangen als brandstof in energiecentrales.

In dit rapport worden resultaten gepresenteerd van een onderzoek naar de geschiktheid van TORWASH voor enerzijds het verminderen van het watergehalte in zuiveringsslib en anderzijds het verbeteren van de kwaliteit van zuiveringsslib als brandstof. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het Waterschap Zuiderzeeland (ZZL). Er zijn experimenten gedaan met niet vergist zuiveringsslib en vergist zuiveringsslib. Monsters daarvan zijn door ZZL aangeleverd en zonder verdere behandeling 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 soorten zuiveringsslib blijken een geschikte grondstof te zijn voor het TORWASH proces. Er is geen voorbehandeling nodig als het beschikbaar is als een verpompbare slurry. Na de TORWASH-stap kan het product mechanisch ontwaterd worden tot 50-65 wt% droge stof, wat betekent dat de hoeveelheid zuiveringsslib verminderd met circa 70%. De brandstofkwaliteit is sterk verbeterd. Chloor wordt efficiënt verwijderd tot onder 500 mg/kg (droge stof). Het uitgeperste product is een aantrekkelijke brandstof voor (mee)stoken in afvalcentrales. De uitgeperste producten bevatten 20-40% as, wat veel meer is dan hout of steenkool. Het hoge asgehalte beperkt meestoken in kolencentrales, maar het blijft mogelijk om de biobrandstof in wervelbedinstallaties of roosterovens te gebruiken. Het is dus wel een *geschikte* brandstof, maar voor sommige toepassingen een minder *aantrekkelijke* brandstof.

1

Inleiding

Het waterschap Zuiderzeeland is verantwoordelijk voor het waterbeheer in de provincie Flevoland. Het waterschap beheert in dit gebied alle dijken, watergangen, gemalen en rioolwaterzuiveringsinstallaties. Hiermee zorgt het waterschap voor veiligheid en voldoende en schoon water. Een van haar verantwoordelijkheden is het innemen en zuiveren van rioolwater. Dit gebeurt op een aantal rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI). De verwerking resulteert in schoon water wat in het oppervlaktewater geloosd mag worden en zuiveringsslib. Zuiveringsslib kan als een restproduct of grondstof worden gezien wat overblijft na de zuivering van rioolwater. Op een rioolwaterzuiveringsinstallatie wordt dit zuiveringsslib vaak vergist, waarna het wordt ingedikt en ontwaterd. De laatste jaren is een trend waarneembaar dat het ontwateren van dit zuiveringsslib bij de waterschappen slechter gaat. Met andere woorden, de waterfractie in het ontwaterde zuiveringsslib neemt toe en daarmee ook de kosten voor transport en eindverwerking. Ook bij waterschap Zuiderzeeland is dit het geval. Het vergroten van de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib is een belangrijk thema geworden bij de waterschappen in Nederland. Naast de kosten voor de transport en de eindverwerking van slib, is ook het klimaataspect belangrijker geworden voor de waterschappen. Met het Rijk zijn afspraken gemaakt over verschillende klimaataspecten, waaronder bijvoorbeeld energie. Het verlagen van de energievraag bij de waterschappen is eveneens een belangrijk thema. Het vergroten van de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib levert een belangrijke bijdrage aan de doelstelling om het energieverbruik te verlagen. Verschillende onderzoeken vinden momenteel plaats, waarbij het doel is om de ontwaterbaarheid van zuiveringsslib te vergroten.

ECN heeft een technologie ontwikkeld voor het opwerken van natte biomassasoorten (zoals gras, stro en riet) tot brandstof. Deze technologie heet TORWASH en kan mogelijk worden ingezet om de ontwaterbaarheid van het zuiveringsslib te vergroten en geschikter te maken als brandstof.

TORWASH combineert torrefactie (roosteren) van biomassa met het wassen en ontwateren 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, stro, agrarische residuen en zelfs waterplanten. Het direct

toepassen van deze materialen als biomassa-brandstof is moeilijk en leidt tot praktische problemen zoals:

- Hoge transportkosten, vanwege een lage bulkdichtheid en een hoog vochtgehalte.
- Corrosie, neerslag en vervuilingsproblemen bij verbranding, vanwege hoge zoutconcentraties (vooral kalium en chloor).
- Lage rendementen, vanwege hoge vochtgehaltes.
- Biologische degradatie tijdens opslag (seizoensgebonden oogst).
- Maal- en voedingsproblemen in energiecentrales.

Het TORWASH product is een vaste brandstof dat veelal equivalent is aan schone getorreficeerde houtpellets. TORWASH is een aanvullende technologie op droge torrefactie omdat het biomassa verwerkt met een hoog vochtgehalte en/of 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.
- Dierlijke mest.
- Waterplanten.

Een zoutverwijdering van 98% is gedemonstreerd. Pellets met een droge stof 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 zuiveringsslib. De interesse gaat primair uit naar het effect van TORWASHen op de mate waarin het slib ontwaterd kan worden. Tevens wordt aandacht besteed aan verbeteringen in de kwaliteit van het slib als brandstof in een afvalverbrandingsinstallatie. Hierbij wordt de brandstof beoordeeld op basis van samenstelling, calorische waarde, ontzouting en ontwatering. Verder is er interesse naar het effect van TORWASHen op de verdeling van de voedingsstoffen stikstof (N), fosfaat (P) en kalium (K) uit de biomassa met als doel mogelijke winning als grondstoffen voor kunstmest. Ook is er aandacht voor de afbreekbaarheid van de in de waterfractie aanwezige organische componenten welke ontstaan na het TORWASHen.

In dit rapport worden de resultaten beschreven van het TORWASHen van vergist en niet-vergist zuiveringsslib, afkomstig van de rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) van Dronten en Lelystad. RWZI Dronten is uitgerust met een voorbezinktank en slibgisting en zuivert het afvalwater van huishoudens en bedrijven uit Dronten en omgeving. De biologische belasting is circa 50.000 inwonerequivalenten. Op RWZI Dronten wordt het fosfaat biologische verwijderd met een aanvullende chemicaliën dosering. RWZI Lelystad heeft geen voorbezinktank en slibgisting en heeft een belasting van circa 110.000 inwonerequivalenten. Op RWZI Lelystad wordt P op een biologische wijze verwijderd zonder een aanvullende dosering van chemicaliën.

In hoofdstuk 2 worden het TORWASH-proces en de experimenten beschreven. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van de uitgevoerde experimenten weergegeven en

kort besproken. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies over het TORWASHen van zuiveringsslib.

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. TORWASH is primair bedoeld voor celluloserijke biomassa (gras, et cetera), maar een tweede variant is in ontwikkeling voor slurry en slib, waaronder digestaat en fermentatieresidu, maar ook aardappelstoomschillen en zuiveringsslib. De thermische behandeling heeft als doel de structuur van biomassa gedeeltelijk af te breken. De verandering in de structuur zorgt er voor dat het TORWASH-product 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 slecht te ontwateren is en/of dat te veel zouten en andere ongewenste minerale componenten (as) vasthoudt. Een te hoge temperatuur en/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. De juiste temperatuur en blootstelling kan via experimenten bepaald worden en verschilt per biomassasoort. Vooral nog vinden TORWASH experimenten plaats op labschaal in een autoclaaf met een grootte variërend tussen de 0,1 en 20 liter. Een pilotinstallatie met een capaciteit van 100 kg per uur (droge stof) zal in 2016 worden gerealiseerd.

2.1 Experimenten

Op basis van achtergrondkennis van ECN was bekend dat zuiveringsslib in principe verwerkbaar is in het TORWASH-proces en dat een hoog droge stof gehalte haalbaar was door middel van persen. Het onderzoek naar zuiveringsslib zoals hier gerapporteerd geeft daar nu een vervolg aan. Het onderzoek omvat:

- Een serie autoclaaf testen om materiaal en data te genereren voor opbrengsten en balansen.
- Uitgebreide analyses van grondstoffen, vaste producten en effluent.
- Balansen van de voornaamste elementen.
- Een eerste inschatting van de brandstofkwaliteit van de vaste fractie.
- Een eerste inschatting van de afbreekbaarheid van de componenten in de vloeistoffractie.

2.2 Grondstoffen en voorbehandeling

De experimenten zijn uitgevoerd met de door Zuiderzeeland geleverde monsters van niet uitgegist zuiveringsslib (van RWZI Lelystad) en uitgegist slib (van RWZI Dronten). Beide slibben zijn voor het indikken geconditioneerd met een polyelectrolyet.

Het zuiveringsslib is aangevoerd in een verpompbare vorm met circa 8% vaste stof ontstaan na mechanische indikking en onder toevoeging van een bindmiddel (polyelectrolyet). Bij ECN is aan dit materiaal verder geen voorbehandeling gedaan.

2.3 Multiclaaf en autoclaaf

De multiclaaf is een installatie waarin drie afsluitbare monsters van 100 ml verhit kunnen worden tot 250°C. De inhoud kan via een magneetroerder in beweging gebracht worden. Er is geen gelegenheid om druk te controleren of monsters te nemen. Een foto van twee multiclaaf opstellingen is weergegeven in **Figuur 1**.

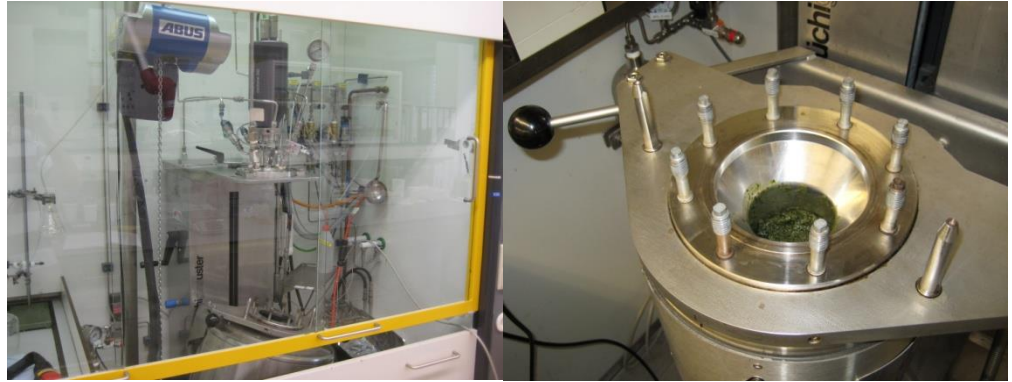
Voor de experimenten in de multiclaaf is telkens een batch van circa 65 gram zuiveringsslib gebruikt. De temperaturen varieerden van 160-200°C. Het materiaal is 30 minuten op de ingestelde temperatuur gehouden.



Figuur 1: Multiclaaf opstellingen en samples.

De autoclaaf is een afgesloten stalen reactorvat waarin materiaal opgewarmd kan worden onder hoge druk. De druk in de autoclaaf varieert tijdens TORWASH-experimenten normaal gesproken tussen de 15 en 25 bar, afhankelijk van de gekozen procesconditie en het materiaal. Een foto van de autoclaafopstelling is weergegeven in **Figuur 2**.

De experimenten in de autoclaaf zijn gedaan met batches van 14.7 kg niet uitgegist (secundair) zuiveringsslib en 12.7 kg uitgegist zuiveringsslib. De temperatuur waarop de experimenten zijn uitgevoerd was 180°C en de verblijftijd was 30 minuten.



Figuur 2: Autoclaaf opstelling.

2.4 Persen

De perstesten zijn gedaan in een hydraulisch pers. Foto's van de persmal, een zogenaamde Carver Die, met een diameter van 2¼ inch (58 mm) en de hydraulische pers zijn weergegeven in **Figuur 3**. Aan de bovenzijde en onderzijde wordt een nylon filter van 20 µm gebruikt.



Figuur 3: Persmal (Carver Die 2¼") en hydraulische pers.

2.5 Afbreekbaarheidstesten

Bij het TORWASH-proces komt een waterfractie vrij. Deze waterfractie bevat vele organische bestanddelen, waaronder stikstof en fosfaat. Dit afvalwater kan niet op het oppervlaktewater worden geloosd en zal moeten worden gezuiverd. Om een indicatie te krijgen van de biologische afbreekbaarheid van het effluent is een standaard anaerobe afbreekbaarheidstest uitgevoerd. Met deze test kan worden aangetoond of een deel van de aanwezige organische bestanddelen, gemeten als COD (Chemical Oxygen Demand), met behulp van bacteriën omgezet kunnen worden naar biogas. Het gaat hierbij om een eerste indruk. In een vervolgonderzoek kan ook de aerobe afbreekbaarheid, toxiciteit en nitrificatieremming worden onderzocht.

2.6 Bepaling van optimale condities

Eerst is een snelle screening gedaan in de multiclaaf met temperaturen tussen 160°C en 200°C. Zo wordt een inschatting verkregen wat de beste verwerkingscondities zijn. Voor beide soorten slib bleek dat rond 170°C een omslagpunt ligt. Daarom is voor 180°C gekozen om een hoge uitpersbaarheid te verkrijgen, terwijl toch de vergistbaarheid van het effluent zo min mogelijk wordt aangetast. Voor de tijdsduur is op grond van achtergrondkennis een half uur vastgesteld. Vervolgens zijn op deze condities voor elk soort zuiveringsslib testen uitgevoerd in de 20 liter autoclaaf. Daarmee wordt voldoende geTORWASht materiaal verkregen om analyses aan te doen en betrouwbare getallen te genereren voor opbrengst en uitpersbaarheid (zijnde het droge stof gehalte van uitgeperst geTORWASht materiaal).

2.7 Analyses

Droge stof gehalte: Het droge stof gehalte is bepaald door een koekje of een monster van tenminste 50 gram nat materiaal overnacht te drogen bij 105°C in een droogstoof bij atmosferische druk.

Massa- en energieopbrengst: De massa-opbrengst is gedefinieerd als de hoeveelheid droge stof die na TORWASH overblijft ten opzichte van de hoeveelheid droge stof die zich in het uitgangsmateriaal bevond. De energieopbrengst is gedefinieerd als de calorische waarde (bovenwaarde op basis van droge stof) van het product na TORWASH gedeeld door de calorische waarde (bovenwaarde op basis van droge stof) van de uitgangsstof.

De analyses aan de vaste stoffen en elementanalyses van de effluenten zijn uitgevoerd volgens de RVA accreditatie van ECN. Vochtgehalte, EN 14774; vluchtig materiaal, EN 15148; asgehalte, EN 14775, calorische waarde, ISO 1982 of EN 14918. De ultimate analysis is gedaan in een CHN-analyser (EN 15104). Chloor, broom en fluor zijn bepaald

middels Ion-Chromatografie (EN 15289). De overige elementen middels ICP-AES (NEN 6966). Vaste stoffen zijn in oplossing gebracht middels een bomontsluiting.

Afbreekbaarheidsanalyses: Door een extern laboratorium is de anaerobe afbreekbaarheid bepaald van het TORWASH-effluent. Het effluent wordt samen met anaeroob korrelslib in een incubatiefles op 35°C gehouden. Om optimale omstandigheden te creëren voor een goede biologische omzetting, worden nutriënten en een bufferoplossing toegevoegd. Voorafgaand aan de test wordt de incubatiefles met stikstofgas anaeroob gemaakt. In de tijd wordt de druk in de fles continue geregisterd. De toename aan druk in de fles is een maat voor de hoeveelheid geproduceerd biogas en dus een maat voor de biologische afbreekbaarheid. Ter controle is een blanco gebruikt.

3

Resultaten

Uit de screening bij verschillende condities bleek, dat een procestemperatuur van 180°C en een verblijftijd van 30 minuten het beste resultaat geeft, zowel voor niet uitgegist slib als voor uitgegist slib. De testen in de 20 liter autoclaaf zijn derhalve ook bij deze procescondities uitgevoerd. De gerapporteerde resultaten in dit hoofdstuk hebben betrekking op deze beide experimenten.

De resultaten van de screening betreffen bepaling van het droge stof gehalte, de massaopbrengst aan TORWASH-product en de mate van ontwateren. De resultaten daarvan tonen een vergelijkbaar beeld en er is mogelijk een breder gebied waarin gewerkt kan worden. Er is niet bepaald wat de verdeling is van nutriënten en andere elementen als functie van de TORWASH-temperatuur. Dit is iets om in een vervolgonderzoek mee te nemen, zodat de procescondities verder geoptimaliseerd kunnen worden.

3.1 Vochtgehalte/droge stof gehalte

Het droge stof gehalte van de batches niet uitgegist zuiveringsslib en uitgegist zuiveringsslib die in de autoclaaf testen gebruikt zijn, waren respectievelijk 5.2% w/w en 7.7% w/w. Een verschil met de aangeleverde monsters kan bestaan vanwege het snel uitzakken van het slib.

Na de TORWASH-behandeling is het materiaal eerst onderworpen aan een vacuümfiltratie bij omgevingstemperatuur. In **Tabel 1** is dit aangegeven in de kolom 'Filtercake'. Dit geeft een indruk van de mate van ontwaterbaarheid onder milde omstandigheden (minder dan 1 atmosfeer drukverschil). In de Carver Die wordt een koekje geperst. Het droge stof gehalte daarvan geeft aan hoe goed het materiaal ontwaterbaar is onder hogere druk (65 bar mechanische druk).

Het droge stof gehalte van de slurry in de autoclaaf, direct na TORWASH, is lastig te bepalen omdat het zeer snel uitzakt. Berekeningen geven aan: circa 2% droge stof na TORWASH van niet uitgegist zuiveringsslib en 5% in geval van uitgegist zuiveringsslib.

Tabel 1: Droge stof gehalte van zuiveringsslib voor en na TORWASH

	slib	filtercake	koekje
	voor TORWASH	na TORWASH	na TORWASH
niet uitgegist	5,2%	24,2%	66,9%
uitgegist	7,7%	20,7%	51,7%

De resultaten geven aan dat na een TORWASH-behandeling niet uitgegist slib beter te ontwateren is dan uitgegist slib. De waarde van 67% droge stof voor niet uitgegist slib is gelijk aan getallen die voor meer grondstoffen gevonden wordt, onder andere bermgras. De waarde van 52% voor uitgegist slib is relatief laag voor geTORWASHt materiaal. Mogelijk dat een iets hogere temperatuur nodig is. De multiclaaf testen bij 180°C gaven geen verschil tussen beide soorten slib, namelijk een droge stof gehalte van circa 75%, maar dit ging om zeer kleine hoeveelheden. Een goede uitpersbaarheid na TORWASH hangt ook samen met de aanwezigheid van vezels en ander hard materiaal. GeTORWASHte cellulose vormt een bros netwerk wat onder druk instort maar nog wel kleine kanaaltjes open laat waardoor uitgeperste vloeistof afgevoerd kan worden.

In een serie testen met geTORWASHt niet uitgegist slib in de Carver Die is gevonden, dat reeds bij 10 bar mechanische druk een droge stof gehalte van 62% gehaald kan worden. Mogelijk kan dit al bij veel minder druk worden bereikt, wat in een vervolgonderzoek kan worden onderzocht.

3.2 Massa- en energieopbrengst

De massaopbrengst van TORWASH is de hoeveelheid massa droge stof die na TORWASHen, uitpersen en drogen overblijft, gedeeld door de massa droge stof die in de grondstof zat.

In het geval van niet uitgegist zuiveringsslib is de massaopbrengst 43%. De input van de autoclaaf was 0,764 kg vaste stof; de output 0,330 kg. Dit getal is een laag getal voor TORWASH en het betekent dat er veel vaste stof ontleedt is en in oplossing is gegaan. Voor uitgegist zuiveringsslib is de massaopbrengst 63%. Dit getal is in lijn met de getallen die gevonden worden voor TORWASH van vezelrijke biomassa. Voor gras en riet liggen de massaopbrengsten doorgaans tussen 55% en 75%. Het grote verschil tussen de twee soorten zuiveringsslib wordt voornamelijk veroorzaakt door verschillen in asgehalte. Wanneer de massaopbrengst uitgerekend wordt voor alleen de organische stof (op asvrije basis) is het verschil veel kleiner. Verder kan verondersteld worden, dat er in uitgegist slib naar verhouding meer harde – tijdens vergisting slecht verteerbare – vezels zitten, die ook tijdens TORWASH minder makkelijk in oplossing gaan.

Tabel 2: Massa- en energieopbrengsten van TORWASH van zuiveringsslib.

	massaopbrengst	massaopbrengst	energieopbrengst
	totale massa	asvrije basis	
niet uitgest	43%	41%	50%
uitgest	63%	46%	60%

De energieopbrengst wordt verkregen door beide massa's met hun calorische waarde te vermenigvuldigen alvorens deze op elkaar te delen. Als calorische waarde wordt gerekend met de bovenwaarde op basis van droge stof. Deze bovenwaarde (Engels: higher heating value) geeft aan hoeveel verbrandingsenergie er maximaal in een brandstof zit.

De energieopbrengst voor niet uitgest zuiveringsslib is 50%. Dit is iets hoger dan de massaopbrengst van 43%. Het is een gebruikelijk resultaat voor TORWASH dat de energieopbrengst ongeveer tien procentpunten hoger is dan de massaopbrengst. Er heeft een energieverdichting plaatsgevonden (op basis van massa).

Voor uitgest zuiveringsslib is de energieopbrengst 60%, wat iets lager is dan de massaopbrengst. Dit is een ongebruikelijk resultaat, wat samenhangt met het bijzonder hoge asgehalte van uitgest slib. Wanneer op asvrije basis gerekend wordt, dan is de energieopbrengst hetzelfde, maar de massaopbrengst slechts 46% (en geen 63%). Dan volgt ook uitgest slib het verwachte patroon, namelijk dat de energieopbrengst ongeveer tien procentpunten hoger is dan de massaopbrengst.

In geval van niet uitgest slib is het asgehalte niet van grote invloed: op asvrije basis is de massaopbrengst van het TORWASHen van niet uitgest slib 41% (in plaats van 43%).

Tabel 3: Calorische waarde in MJ/kg (bovenwaarde op droge basis)

	slib	slib	koekje	koekje
	totale massa	asvrije basis	totale massa	asvrije basis
niet uitgest	19	23	22	28
uitgest	17	24	16	28

3.3 Proximate analysis en ultimate analysis

De monsters die verkregen zijn uit de 20 liter autoclaaf testen met secundair slib en uitgest slib 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 het asgehalte bepaald (bij 550°C en bij 815°C). In de ultimate analyses worden de samenstelling van een monster onderverdeeld in de componenten C, H, N en S op droge basis. De resultaten van de analyses zijn gegeven in **Tabel 4**.

Tabel 4: Proximate en ultimate analysis van zuiveringsslib en -koekjes geperst van geTORWASHT zuiveringsslib. Vocht is bepaald bij 105°C *as received* (a.r.); de andere grootheden zijn op droge basis (d.b.).

	vocht	as bij 550°C	as bij 815°C	vluchtig materiaal	bovenwaarde
	%	%	%	%	MJ/kg
niet uitgegist slib ruw	94,8	15,8	15,6	69	19
uitgegist slib ruw	92,3	29,4	28,3	59	17
perskoek niet uitgegist slib	33,1	20,7	19,8	64	22
perskoek uitgegist slib	48,3	43,5	41,8	47	16
dunningshout	8,2	2,6	2,1	79	19
steenkool mix	3,1	-	12,3	32	24

	C	H	N	S	
	%	%	%	%	
niet uitgegist slib ruw	42,2	6,2	6,9	0,8	
uitgegist slib ruw	36,3	5,4	5,2	1,2	
perskoek niet uitgegist slib	48,9	6,3	4,1	0,7	
perskoek uitgegist slib	33,9	4,7	2,8	1,2	
dunningshout	48,2	6,5	0,5	0,04	
steenkool mix	71,9	4,5	1,4	0,85	

Uit de resultaten van de analyse komt naar voren dat het verse materiaal erg nat is met een vochtgehalte van meer dan 90%. De geTORWASHTe en geperste koekjes hebben een vochtgehalte van 33-50%. Dit vochtgehalte is een acceptabel resultaat voor mechanisch ontwateren. Ten opzichte van het ruwe materiaal is 90-95% van het aanwezige water afgevoerd door uitpersen. Het is goed mogelijk de perskoeken met een dergelijk vochtgehalte te verstoken in een afvalverbrandingsinstallatie met een roosteroven of een wervelbed.

De asgehaltes van beide soorten slib zijn hoog vergeleken met steenkool en nemen toe tijdens TORWASH omdat er naar verhouding meer brandbaar (organisch) materiaal in oplossing gaat dan asvormende (anorganische) componenten. De asgehaltes van geTORWASHT product liggen op 20-45% (w/w, droog). Ter vergelijking: het asgehalte van sub-bitumineuze kolen en chips van dunningshout liggen beide royaal onder 10% (w/w, droog). Het asgehalte van een reguliere steenkoolmix is circa 12% (w/w, droog). Door het hoge asgehalte is geTORWASHT zuiveringsslib niet echt een aantrekkelijke brandstof voor meestoken in kolencentrales. De asvormende componenten zijn echter na TORWASH voornamelijk zand/klei/kalk, omdat elementen als kalium en chloor selectief oplossen en uitspoelen. De assen zijn eerder een inerte ballast, dan dat ze problemen tijdens de verbranding zullen veroorzaken. Daardoor kunnen ze toch worden ingezet bij co-firing, echter bij lagere meestookpercentages. Het is eveneens een mogelijkheid om ze te verbranden in een wervelbed of in roosterovens, zoals een AVI (Afvalverbrandingsinstallatie).

De verbrandingswaardes (op droge basis) van zowel voor als na TORWASH zijn vergelijkbaar met de verbrandingswaarde van snoeihout (dunningshout) en liggen iets lager dan steenkool. De waarden zijn relatief laag vanwege de relatief hoge hoeveelheid as die aanwezig is in de monsters. De invloed van het asgehalte is vooral voor uitgegist zuiveringsslib van belang. Een dominante rol speelt echter het vochtgehalte. Wanneer de netto calorische waarde wordt berekend, dan is er een groot verschil voor en na

TORWASH. Ruw zuiveringsslib bevat zoveel water dat er zelfs sprake is van een negatieve waarde (circa -1 MJ/kg). Door de ontwatering na TORWASH wordt de situatie aanzienlijk verbeterd. De perskoek van geTORWASHt niet uitgegist zuiveringsslib heeft een netto calorische waarde van 14 MJ/kg. De perskoek van geTORWASHt uitgegist slib bevat meer water, maar heeft altijd nog een netto calorische waarde van 7 MJ/kg.

De percentages vluchtig materiaal, koolstof en waterstof zijn acceptabel en geven geen aanleiding tot eventuele beperkingen.

In ruw slib is het stikstofgehalte erg hoog: 5-7%. Het stikstofgehalte halveert bijna tijdens het TORWASH-proces, maar is daarmee nog steeds royaal hoger dan het stikstofgehalte van dunningshout en steenkolen.

De zwavelgehaltenes van ruw en geTORWASHt slib zijn hoog en worden door TORWASHen verhoogd. In beide soorten zuiveringsslib zit ongeveer net zoveel zwavel als in de referentiekolen; in geTORWASHt zuiveringsslib iets meer. Of dit hoge zwavelgehalte tot uitdrukking komt in een hoge emissie van SO_2 –en dus een zwaardere belasting van de ROI (rookgasontzwavelingsinstallatie)– hangt af van de samenstelling van de brandstofmix die uiteindelijk wordt gebruikt. Zuiveringsslib heeft (voor en na TORWASH) ook een hoog Ca-gehalte en dat kan leiden tot een aanzienlijke interne zwavelvangst: omzetting tot CaSO_4 . Verbrandingstesten moeten hier uitsluitel over geven.

Op grond van de proximate en ultimate analyses kan geconcludeerd worden dat geTORWASHt zuiveringsslib in principe geschikt is om als brandstof te dienen, met inachtneming van de beperkingen die op grond van het hoge asgehalte, het hoge stikstofgehalte en mogelijk het hoge zwavelgehalte genoemd zijn.

Een vergelijking met normen voor houtpellets is niet erg zinvol omdat de samenstelling sterk daarvan afwijkt. Asgehalte, stikstofgehalte, zwavelgehalte en zo ongeveer alle zware metalen gaan ver over de normen.

3.4 Asvormende elementen

In Tabel 5 zijn de concentraties van verschillende as-vormende elementen gegeven voor verschillende monsters. Uit de resultaten van de elementenanalyse (ICP-AES) kan geconcludeerd worden dat calcium en silicium dominant zijn, maar dat er ook grote hoeveelheden aluminium en ijzer aanwezig zijn, zowel in de grondstof als in het product. Tijdens TORWASH nemen de gehalten toe, hetgeen wil zeggen dat ze grotendeels achterblijven in de vaste stof.

Dankzij deze hoge concentratie calcium kan men verwachten dat de as een hoge smelttemperatuur heeft. Hierdoor is er weinig risico op ketelvervuiling wanneer deze stroom zou worden gebruikt voor energieopwekking. De combinatie van silicium en calcium kan bij grote hoeveelheden leiden tot de vorming van plakkerige assen tijdens

verbranding, met als gevolg verslakking aan de verdamperwand en vervuiling van de koudere warmtewisselaars in bijvoorbeeld kolencentrales.

Alkali metalen kalium en natrium nemen sterk af door de TORWASH behandeling. De uiteindelijke concentratie aan alkali metalen ligt net iets boven de concentratie in snoeihout.

Tabel 5: Gehaltes van asvormende elementen van zuiveringsslib en koekjes geperst van geTORWASH't zuiveringsslib. Alle getallen zijn op droge basis (d.b.).

	Al	Si	Ca	Mg	Fe	Na	K	P
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
niet uitgegist slib ruw	4.406	13.663	11.709	6.816	2.967	2.419	10.598	27.560
uitgegist slib ruw	22.033	22.141	30.518	6.594	15.528	1.927	6.589	37.614
perskoek niet uitgegist slib	9.952	19.836	22.229	6.958	5.623	792	2.559	21.984
perskoek uitgegist slib	34.686	32.413	47.500	9.835	23.303	1.141	4.110	56.168
dunningshout	367	840	4.780	627		179	2.479	520
steenkool mix	14.605	23.148	4.385	1.111	5.919	750	1.438	469

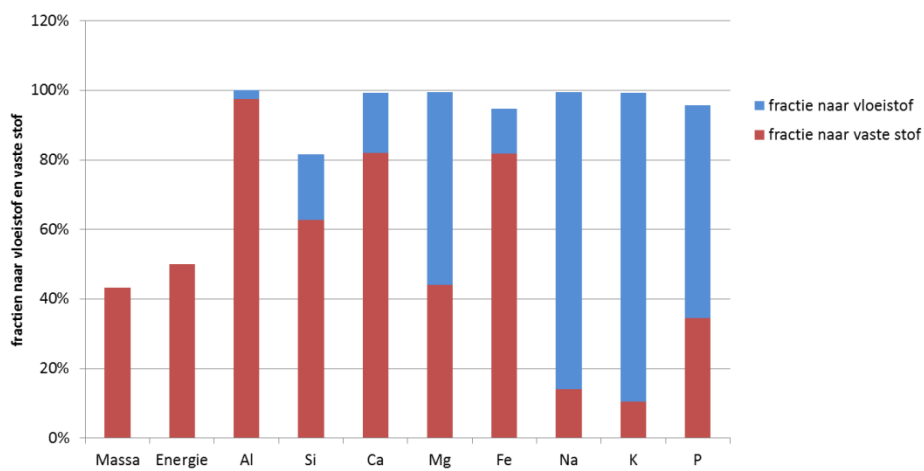
Wanneer een elementbalans wordt opgesteld, dan kan de verdeling worden bepaald: dat wil zeggen welke fractie van elk element uit de grondstof naar de vaste stof of de vloeistof gaat. Dit is in **Figuur 4** aangegeven voor niet uitgegist zuiveringsslib. De twee staven aan de linkerkant geven aan hoeveel massa en hoeveel energie er naar de vaste stof zijn gegaan. Nu wordt duidelijk dat voor niet uitgegist zuiveringsslib het grootste gedeelte van Al, Ca, en Fe naar de vaste stof gaan. Mg iets minder en Si ogenschijnlijk ook, maar daar ontbreekt een stukje in de massabalans. Waarschijnlijk is de hoeveelheid Si die naar de vaste stof gaat groter. Na en K lossen voor 85-90% op in de vloeistof. Van P blijft iets als 35% in de vaste stof achter.

Dezelfde grafiek is in **Figuur 5** weergegeven voor uitgegist zuiveringsslib. Hier is duidelijk dat Al, Si, Ca, Mg en Fe, maar ook P vrijwel volledig in de vaste stof achterblijven. Kennelijk is er tijdens de vergisting een omzetting geweest, waardoor ze vast blijven of worden, of is het oplosbare deel reeds uitgespoeld. Voor P staat vast dat deze als zout gebonden is, als gevolg van het doseren van Al en Fe op de RWZI Dronten ten behoeve van de P-verwijdering. Tijdens het gistingproces ontstaat struviet, ook wel magnesiumammoniumfosfaat genoemd. Dit is een mogelijke verklaring voor het feit dat Mg bijna volledig in de vaste stof achter blijft. Op RWZI Lelystad wordt P op een biologische wijze gebonden en wordt er geen Al of Fe gedoseerd. Onder anaerobe omstandigheden wordt het biologisch vastgelegde fosfor door de bacteriën weer afgestaan, waarna het vrij in oplossing komt. De verschillende configuraties van beide RWZI's hebben invloed op de samenstelling van het slib en mogelijk ook op het effect van TORWASH ten aanzien de fractieverdeling van de element over de verschillen fasen.

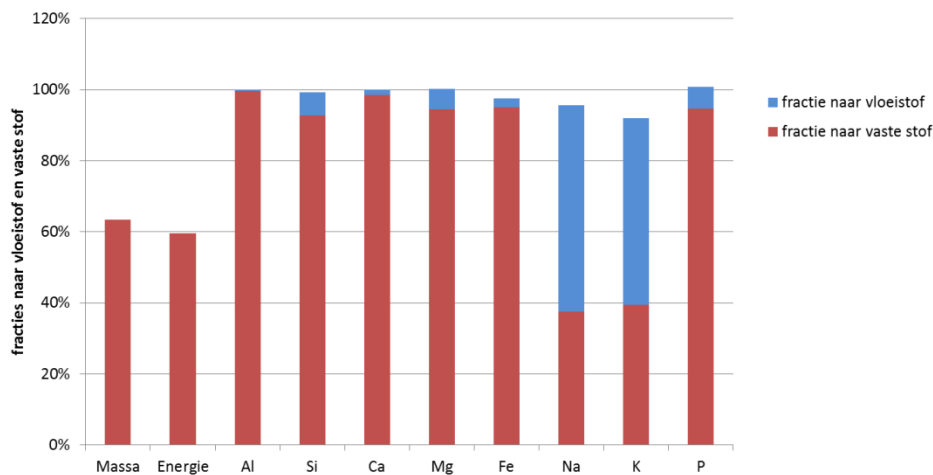
Opvallend is dat bij uitgegist zuiveringsslib bijna 40% van Na en K in de vaste stof achterblijft. Dit is veel hoger dan de 10% die normaliter wordt gevonden (ook bij niet uitgegist zuiveringsslib) en die overeenkomt met volledige oplosbaarheid en uitspoeling met water. Kennelijk is er een aanzienlijke hoeveelheid Na en K die aan de vaste stof is gebonden: dit zouden kleideeltjes kunnen zijn. Wanneer dit inderdaad het geval zou

zijn, dan kunnen deze tijdens verbranding weinig kwaad omdat ook dan Na en K gebonden blijven en geen gasvormig KCl of NaCl vormen. Deze laatstgenoemde zouten zijn verantwoordelijk voor chloorcorrosie in de ketel.

Beide vormen van zuiveringsslib bevatten relatief hoge concentraties fosfor. In niet uitgegist zuiveringsslib neemt het gehalte fosfor af, maar in uitgegist zuiveringsslib neemt het toe. Dit verschil is ook de grafieken in **Figuur 4** en **Figuur 5** terug te vinden. In niet uitgegist slib blijft circa 35% van de fosfor in de vaste fase, terwijl in uitgegist slib 95% in de vaste fase blijft. Dit is het gevolg van chemische vastlegging van fosfaat. In elk geval kan fosfor een probleem vormen in een verbrandingsomgeving vanwege vergiftiging van de deNO_x katalysator (bij Selective Catalytic Reduction - SCR), maar dit hangt af van de mate waarin fosfor in het rookgas vrijkomt of gebonden blijft aan inerte vaste stof.



Figuur 4: Verdeling van asvormende elementen als gevolg van TORWASH van niet uitgegist zuiveringsslib.



Figuur 5: Verdeling van asvormende elementen als gevolg van TORWASH van uitgegist zuiveringsslib.

3.5 Sporelementen

In Tabel 6 zijn de gemeten concentraties voor sporelementen weergegeven. Met uitzondering van vanadium zijn alle sporenelement, waaronder veel zware metalen in relatief hoge concentratie aanwezig. Dit mag voor zuiveringsslib geen verrassing zijn. Deze elementen kunnen voor emissie- en corrosieproblemen zorgen in een verbrandingsinstallatie. Ook kan het aanleiding zijn tot uitloogproblemen bij de assen die overblijven.

In veel gevallen, zowel voor niet uitgegist als uitgegist zuiveringsslib, zorgt TORWASHen voor een verhoging van de concentratie. Dit geeft aan dat zware metalen achterblijven in de vaste stof en minder oplossen dan organische stof en alkalimetalen.

Tabel 6: Sporelementen in zuiveringsslib en koekjes geperst van geTORWASHt zuiveringsslib. Alle getallen zijn op droge basis (d.b.).

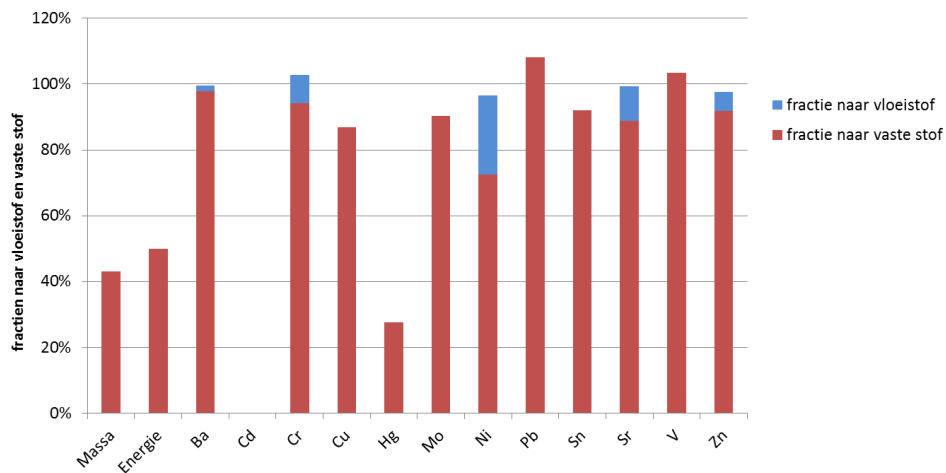
	Cd	Cr	Cu	Hg	Mo	Ni
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
niet uitgegist slib ruw	< 0,5	18,0	153	1,24	5,6	13,0
uitgegist slib ruw	0,7	40,9	275	0,42	29,9	31,0
perskoek niet uitgegist slib	1,1	39,3	308	0,79	11,7	21,8
perskoek uitgegist slib	1,2	61,7	457	0,58	40,9	39,8
dunningshout	0,2	4,8	3			1,9
steenkool mix	0,1	17,0	10	0,11	1,8	12,0

	Pb	Sn	Sr	V	Zn	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
niet uitgegist slib ruw	9,5	15	54	5,6	284	
uitgegist slib ruw	37,6	29	183	10,1	990	
perskoek niet uitgegist slib	23,8	32	110	13,4	604	
perskoek uitgegist slib	58,8	44	275	17,3	1.570	
dunningshout	< d.l.	0	19	0,3	28	
steenkool mix	6,7	1,4		24,0	19	

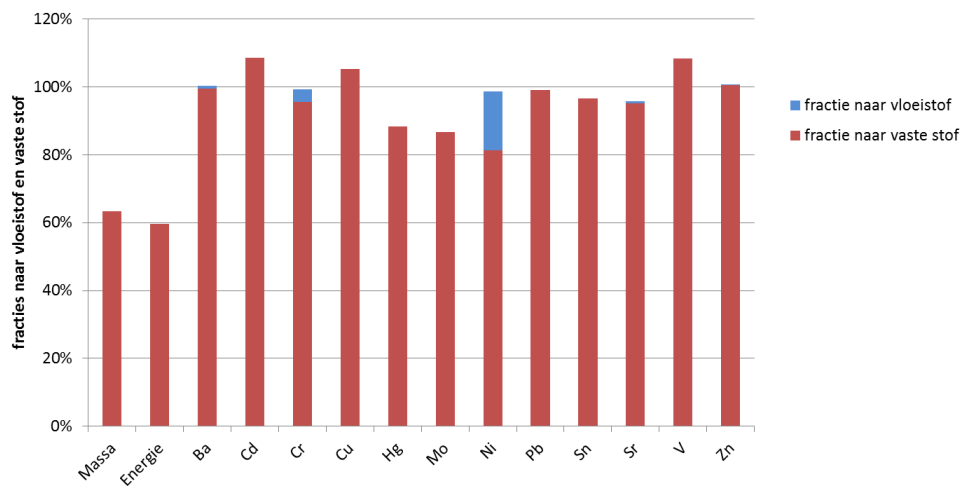
As en Se zijn onder de detectielimiet van 6,8 mg/kg (droge basis). Co en W zijn niet opgenomen in de tabel, omdat door gebruik van een wolframcarbide schijven trilmolen de gehalten Co en/of W kunstmatig verhoogd kunnen zijn.

In alle gevallen van zuiveringsslib, voor en na TORWASH, liggen de gehalten sporenelementen hoger dan die van dunningshout en steenkool. In dit opzicht is zuiveringsslib en ook geTORWASHt zuiveringsslib een minder aantrekkelijke brandstof. Pas in verbrandingsproeven zal blijken hoeveel van deze elementen in de vliegash, de bodemas en het rookgas terecht komen en welke consequenties dat heeft voor de rookgasemissies en de askwaliteit. Uitloging van de assen en de vluchtigheid van Cd, Hg, Pb en Zn in verbrandingsinstallaties zijn aandachtspunten. Voor geTORWASHt zuiveringsslib geldt dit in versterkte mate. Het vergroot de waarschijnlijkheid dat geTORWASHt zuiveringsslib naar de afvalverbrandingsinstallaties (AVI) zal gaan en niet naar biomassa-energiecentrales (BEC).

De verhoging van de gehalten sporenelementen na TORWASH komt ook tot uiting in de grafieken in **Figuur 6** en **Figuur 7**. Hier is duidelijk te zien, dat de genoemde sporenelementen bij voorkeur in de vaste fase blijven. In veel gevallen liggen de elementconcentraties in het effluent onder de detectielimiet (ontbrekende blauwe segmenten in de staven). Voor verwerking van het effluent is dit overigens gunstig.



Figuur 6: Verdeling van sporenelementen als gevolg van TORWASH van niet uitgegist zuiveringsslib.



Figuur 7: Verdeling van sporenelementen als gevolg van TORWASH van uitgegist zuiveringsslib.

In bovenstaande figuren is ook duidelijk te zien dat het totaal van de fracties naar vloeistof en vaste stof afwijkt van 100%. Dit is het gevolg van de onzekerheid in de gemeten gehalten.

3.6 Zuurvormende elementen

In **Tabel 7** zijn de gemeten concentraties van de zuurvormende elementen weergegeven. De zwavelconcentraties zijn hoog ten opzichte van snoeihout maar vergelijkbaar met de concentratie in referentiekolen. Door TORWASHen verhoogt de zwavelconcentratie iets, wat aangeeft dat het een voorkeur heeft om in de vaste fase te blijven. Zie ook paragraaf 3.3.

De concentratie van chloor is hoog in de uitgangsmaterialen, maar wordt effectief verwijderd door het TORWASH-proces. Ongeveer 95% wordt verwijderd en dat komt overeen met een geschatte waarde als alle chloor opgelost is als water en 95% van het water wordt afgevoerd. Voor chloor heeft TORWASH dus precies gedaan wat de bedoeling was. De concentratie chloor in het eindproduct is vergelijkbaar met de concentratie in snoeihout en steenkool. De getallen zijn ook vergelijkbaar met het 300 ppm criterium voor houtpellets, zoals geformuleerd door de IWPB (Initiative Wood Pellets Buyers) voor klasse I2 industriële pellets¹). Het chloorgehalte zou nog verder teruggebracht kunnen worden door middel van nawassen, maar of dit zinvol is hangt van de toepassing af. Wanneer geTORWASht zuiveringsslib in AVI terechtkomt is verder wassen niet erg zinvol.

De verhouding zwavel/chloor is relatief hoog (S/Cl) in het product en biedt bij de gemeten concentratie bescherming tegen chloorcorrosie. Het hangt er een beetje van af in hoeverre zwavel door Ca en andere elementen wordt gebonden. Verbrandingstesten moeten hier uitsluitsel over geven.

Er is in zuiveringsslib een aanzienlijke hoeveelheid fluor aanwezig, die –in tegenstelling tot chloor– tijdens TORWASHen bijna niet in oplossing gaat. Het is niet bekend in welke hoedanigheid fluor aanwezig is en of het tijdens verbranding vrijkomt.

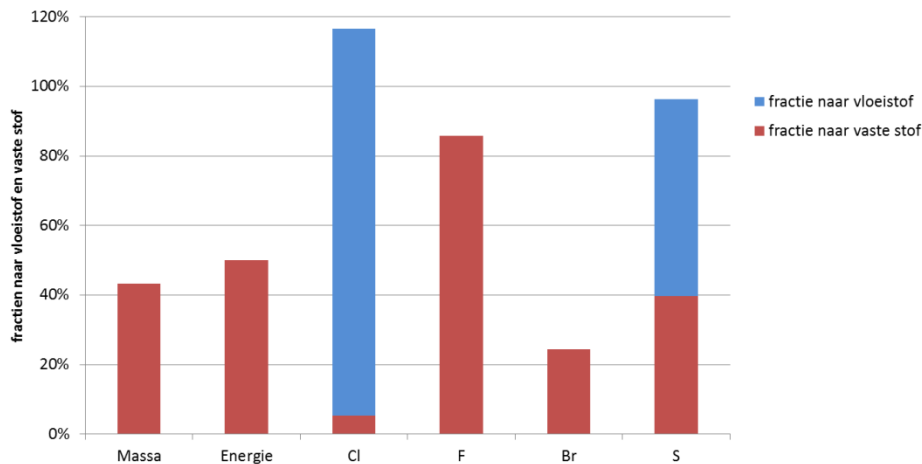
Broom is aanwezig in relatief lage concentraties en zal waarschijnlijk geen problemen veroorzaken. Een groot deel lost op tijdens TORWASH, maar minder dan in geval van chloor. De niveaus zijn hoger dan die van de referentiekolen en het snoeihout: de detectielimiet ligt op 10 mg/kg (droge basis).

Tabel 7: Gehaltes van zuurvormende elementen in zuiveringsslib en koekjes geperst van geTORWASht zuiveringsslib. Alle getallen zijn op droge basis (d.b.).

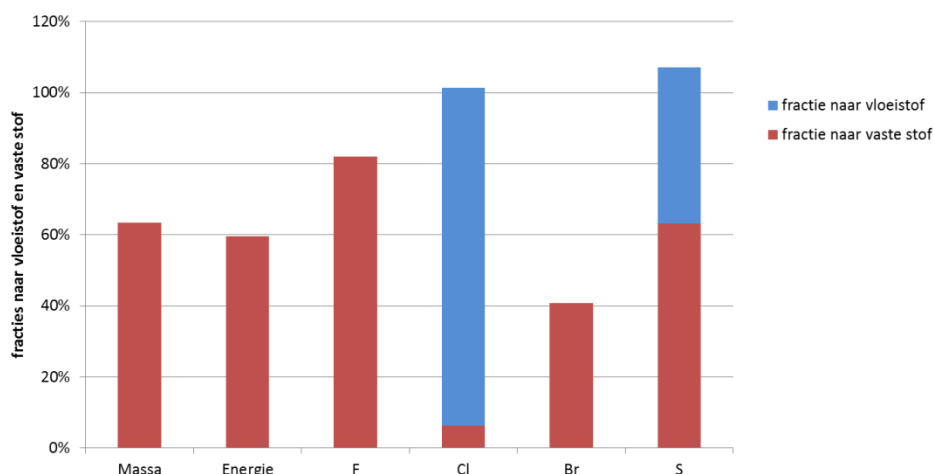
	F	Cl	Br	S
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
niet uitgegist slib ruw	75	2.106	37	7.950
uitgegist slib ruw	233	4.320	28	12.044
perskoek niet uitgegis slib	149	263	21	7.313
perskoek uitgegist slib	302	435	18	12.034
dunningshout	< d.l.	295	< d.l.	386
steenkool mix	120	260	< d.l.	8.500

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

De grafieken in **Figuur 8** en **Figuur 9** geven bovenstaande conclusies weer. Chloor gaat voor 90% naar de vloeistoffase. De overgebleven 10% is opgelost in het vocht wat niet uit de vaste stof geperst kon worden. Broom lost ook grotendeels op en fluor blijft grotendeels in de vaste fase. Zwavel gaat proportioneel met de totale massa.



Figuur 8: Verdeling van zuurvormende elementen als gevolg van TORWASH van niet uitgegist zuiveringsslib.



Figuur 9: Verdeling van zuurvormende elementen als gevolg van TORWASH van uitgegist zuiveringsslib.

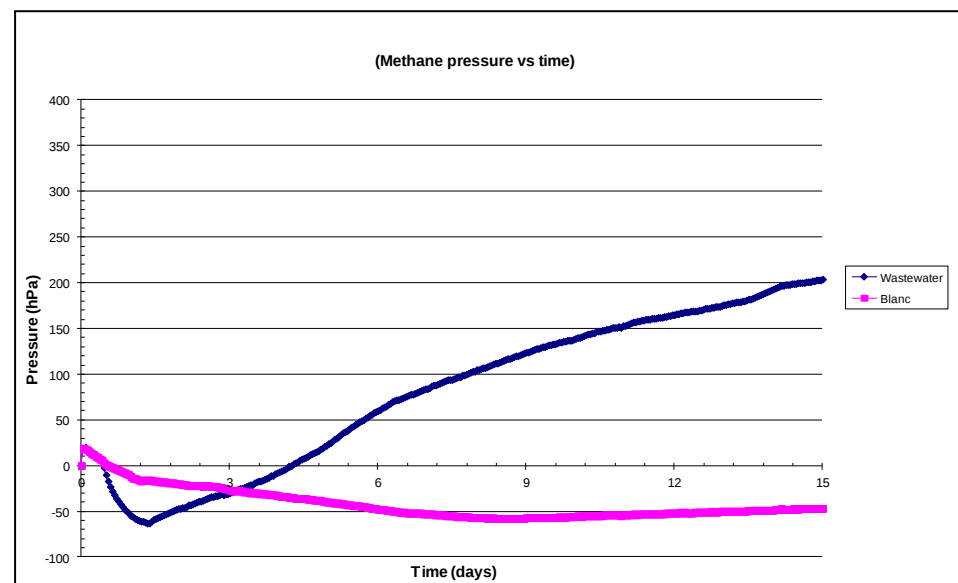
3.7 Effluent afbreekbaarheid

In een afbreekbaarheidstest is onderzocht in hoeverre bacteriën in staat zijn het organische materiaal in TORWASH effluent af te breken, uitgedrukt als chemisch zuurstofgebruik (COD). Hiervoor is het effluent gebruik van het geTORWASHte uitgegist slib. In **Tabel 8** zijn de belangrijkste resultaten weergegeven. Het TORWASH

effluent is matig biologisch afbreekbaar: 44% van het organische materiaal als COD kan worden omgezet naar methaan.

Tabel 8: Chemisch zuurstofgebruik (COD) en pH van TORWASH effluent voor en na de afbreekbaarheidstest (uitgegist slib).

Omschrijving	COD	pH
Ruw TORWASH effluent	32.175 mg/l	7,3
TORWASH effluent voor test	3.873 mg/l	7,4
TORWASH effluent na test	2.301 mg/l	7,2
Methaanproductie	720 mg CH ₄ -COD	-
Biologische afbreekbaarheid	44%	



Figuur 10: Methaan productie tijdens de afbreekbaarheidstest van TORWASH effluent.

In **Figuur 10** is de biogasproductie weergegeven als toename in druk. Op de eerste dag neemt de druk af (adaptatie), waarna deze weer toeneemt tot circa 200 hPa na 15 dagen. Het anaerobe korrelslib heeft mogelijk meer tijd nodig zich te adapteren aan het TORWASH-effluent. De matige afbreekbaarheid kan ook aanleiding zijn om de TORWASH-temperatuur te verlagen, zodat het opgeloste organisch materiaal minder degradatie ondergaat en beter afbreekbaar is. Dit zou in een vervolgonderzoek met continue experimenten kunnen worden aangetoond. Tevens is het van belang te weten wat de aerobe afbreekbaarheid is, evenals de toxiciteit van TORWASH-effluent.

3.8 Nutriëntenterugwinning

De drie voornaamste meststoffen, N, K en P zijn in de voorgaande paragrafen al behandeld met het oog op de brandstofkwaliteit. Er is echter ook een mogelijkheid om deze elementen terug te winnen. In **Tabel 9** is weergegeven welke deel van elk van deze elementen in de vaste stof terecht komt.

Tabel 9: Fractie N, P en K in zuiveringsslib die na TORWASH in de vaste stof of terecht komt.

	niet uitgesteeld zuiveringsslib	uitgesteeld zuiveringsslib
N	26%	34%
P	34%	95%
K	10%	39%

In het geval van niet uitgesteeld zuiveringsslib gaat alleen K duidelijk voor het grootste deel in oplossing. Terugwinning van K is dus mogelijk uit het effluent. N en P verdelen zich ongeveer zoals de totale massa.

In het geval van uitgesteeld zuiveringsslib verdelen N en K zich ongeveer zoals de totale massa, maar blijft P duidelijk achter in de vaste stof en zal dus gewonnen kunnen worden uit de assen van verbranding van de vaste stof.

De implementatie van nutriëntenterugwinning uit zuiveringsslib omvat meer dan alleen de verdeling over vaste stof en effluent, want er zijn meer waterstromen die vrijkomen. TORWASH biedt een mogelijkheid om hierin te sturen. De terugwinning van nutriënten kan deel uit maken van de optimalisatie van TORWASH.

4

Conclusies

De resultaten van de verkennende TORWASH-testen geven aan, dat zuiveringsslib na TORWASH bijzonder goed ontwaterbaar is. Dit levert een aanzienlijke kostenbesparing op ten aanzien van het transport en de slibeindverwerking. Er is voldoende reden om een vervolg na te streven.

4.1 Conclusies uit het onderzoek

Door TORWASH toe te passen op zuiveringsslib is het mogelijk een koek te persen met een droge stof gehalte van boven de 67% in geval van niet uitgegist zuiveringsslib. Dit betekent dat meer dan 95% van het vocht in het slib wordt uitgeperst en afgevoerd als vocht. Bij uitgegist zuiveringsslib kan 52% droge stof gehaald worden en wordt 90% van het vocht afgevoerd.

Zowel niet uitgegist (secundair) slib als uitgegist slib zijn geschikt. De optimale behandelingstemperatuur is vastgesteld op 180°C, maar in een verdere optimalisatie kan dit nog verschuiven. De massaopbrengsten aan vaste stof van niet uitgegist en uitgegist slib zijn respectievelijk 43% en 69%; de energieopbrengsten naar de vaste stof zijn respectievelijk 50% en 60%.

Het product van het TORWASHen van zuiveringsslib is geschikt als brandstof, maar het heeft een hoog as- en stikstofgehalte, waardoor het minder aantrekkelijk is voor meestoken met steenkool of biomassa voor elektriciteitsproductie. Verbranding in een eigen installatie of meestoken in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) is wel goed mogelijk. Ook de concentratie van zware metalen in de brandstof wijzen in de richting van een toepassing in afvalverbranding.

Het is met name de verregaande ontwatering die TORWASH van zuiveringsslib aantrekkelijk maakt. Ten eerste worden de hoeveelheden af te voeren slib veel kleiner en daarmee de kosten voor verwerking lager. Een eerste schatting geeft aan dat de omvang van de te verwerken hoeveelheid slib met meer dan 60% afneemt. Ten tweede

schiet de (netto) verbrandingswaarde omhoog van -1 MJ/kg naar +7 of +14 MJ/kg. Daarmee wordt het voor een verbrandingsinstallatie aantrekkelijker om deze in te nemen en te verwerken.

Overige conclusies:

- Chloor gaat volledig in oplossing en 95% wordt afgevoerd. Daardoor is er bij verbranding minder risico op corrosie.
- Alkalimetalen worden voor 90% afgevoerd bij TORWASH van niet uitgegist zuiveringsslib. Dit vermindert risico op corrosie, slakvorming en vervuiling bij verbranding. Bij uitgegist zuiveringsslib wordt 60% afgevoerd, maar het is goed mogelijk dat de resterende K en Na zo sterk aan de as gebonden zijn, dat deze ook bij verbranding niet vrij zal komen.
- Fosfor gaat bij niet uitgegist zuiveringsslib voor 65% in oplossing, maar bij uitgegist slib slechts voor 5% als gevolg van chemische vastlegging. Samen met de oplosbaarheid van K levert dit de mogelijkheid om te sturen waar nutriënten heen gaan. Terugwinning uit effluent of uit assen.
- In een eerste afbreekbaarheidstest bleek het uitgeperste effluent matig vergistbaar (44%).

4.2 Aanbevelingen

TORWASH is een interessante nieuwe technologie voor de waterschappen om kosten te besparen. Het verdient dan ook de aanbeveling verder onderzoek te doen naar het toepassen van TORWASH op grotere schaal. Aanbevolen wordt een volgstudie uit te voeren met een breder consortium.

Een vervolgstudie zou zich deels moeten richten op het aantonen van de werking van TORWASH op grotere schaal. Hiertoe zouden drie lijnen gevolgd moeten worden:

1. Opscaling en procesimplementatie bij RWZI's.
2. Afbreekbaarheid van het effluent.
3. Aanvullende autoclaaf testen voor verdere optimalisatie.

In alle gevallen zal onwaterbaarheid van het geTORWASHte zuiveringsslib een belangrijke rol spelen, evenals brandstofeigenschappen en de kwaliteit van het effluent bij verdere optimalisatie van het TORWASH-concept.

In het vervolgonderzoek dienen de volgende aspecten verder te worden onderzocht:

- Omzetten van resultaten in een processchema dat aansluit bij RWZI's.
- Berekening van de vermindering in omvang van de te verwerken hoeveelheden zuiveringsslib, de kosten en de gevolgen daarvan.
- Vaststellen of het voordelig is om te streven naar een hoge of juist een lage massa- en energieopbrengst in de vaste stof, dan wel in het effluent.
- TORWASHen van zuiveringsslibben van andere RWZI's.
- Keuze voor een continu of batchproces.
- Onderzoeken van gedrag van slib zonder polyelectrolyet.

- De minimale druk die nodig is voor mechanische ontwatering. Er zijn aanwijzingen dat deze veel lager kan zijn dan de 65 bar die nu toegepast is.
- Ontwateringstechnieken die in de praktijk kunnen worden toegepast.
- Zuivering van het TORWASH-effluent door een bestaande RWZI eventueel met aanvullende/andere technologieën.
- Vergistbaarheid van TORWASH-effluent.
- Verbetering van de afbreekbaarheid en daarmee de methaanopbrengst bij vergisting van het effluent, door veranderen van de TORWASH-temperatuur.
- Verdeling van bepaalde elementen over de vaste en vloeibare fase, afhankelijk van de wensen ten aanzien van de kwaliteit van brandstof en effluent.
- Optimalisatie van de nutriëntenterugwinning.

Bijlage A. Analyse resultaten

Onderstaande tabel geeft de analyseresultaten. De vaste stoffen zijn gedroogd aangeleverd (105°C). De getallen voor de vaste stoffen zijn op basis van droge stof. Bij de calorische waarde is niet gecorrigeerd voor stikstof- en zwavelgehalte. De vaste stoffen zijn gemalen in een schijven trilmolen van wolframcarbide. De gehalten Co en W kunnen hierdoor verhoogd zijn.

Tabel 10: Analyseresultaten.

		uitgegist slib, ruw	niet uitgegist slib, ruw	filterkoek (uitgegist slib)	filterkoek (niet uitgegist slib)	effluent (uitgegist slib)	effluent (niet uitgegist slib)
AS(550)	%	29,4	15,8	43,5	20,7		
AS(815)	%	28,3	15,6	41,8	19,8		
Vluchtig	%	58,9	68,8	46,5	64,4		
Bovenwaarde	MJ/kg	17	19	16	22		
C	%	36,3	42,2	33,9	48,9	1,33	1,15
H	%	5,4	6,2	4,7	6,3		
N	%	5,2	6,9	2,8	4,1	0,38	0,31
Br	mg/kg	28	37	18	21	< 10	< 10
Cl	mg/kg	4.320	2.106	435	263	378,00	126,00
F	mg/kg	233	75	302	149		
Al	mg/kg	22.033	4.406	34.686	9.952	5,00	6,00
As	mg/kg	< 6,8	< 6,8	< 6,8	< 6,8	< 0,25	< 0,25
B	mg/kg	28,7	23,2	12,2	10,0	2,00	1,00
Ba	mg/kg	269	116	423	263	0,17	0,10
Ca	mg/kg	30.518	11.709	47.500	22.229	42,10	109,00
Cd	mg/kg	0,7	< 0,5	1,2	1,1	< 0,007	< 0,007
Co	mg/kg	28,0	28,6	19,1	12,0	0,09	0,06
Cr	mg/kg	40,9	18,0	61,7	39,3	0,14	0,08
Cu	mg/kg	275	153	457	308	< 0,16	< 0,16
Fe	mg/kg	15.528	2.967	23.303	5.623	36,90	20,60
K	mg/kg	6.589	10.598	4.110	2.559	319,00	506,00
Li	mg/kg	4,4	2,4	6,5	3,6	< 0,07	< 0,07
Mg	mg/kg	6.594	6.816	9.835	6.958	34,80	203,00
Mn	mg/kg	361	92	561	193	0,09	0,48
Mo	mg/kg	29,9	5,6	40,9	11,7	< 0,06	< 0,06
Na	mg/kg	1.927	2.419	1.141	792	103,00	111,00
Ni	mg/kg	31,0	13,0	39,8	21,8	0,50	0,17

		uitgegist slib, ruw	niet uitgegist slib, ruw	filterkoek (uitgegist slib)	filterkoek (niet uitgegist slib)	effluent (uitgegist slib)	effluent (niet uitgegist slib)
P	mg/kg	37.614	27.560	56.68	21.984	215,00	908,00
Pb	mg/kg	37,6	9,5	58,8	23,8	< 0,25	< 0,25
S	mg/kg	12.044	7.950	12.034	7.313	486,00	242,00
Sb	mg/kg	< 17	< 17	< 17	< 17	< 0,54	< 0,54
Se	mg/kg	< 6,8	< 6,8	< 6,8	< 6,8	< 0,28	< 0,28
Si	mg/kg	22.141	13.663	32.413	19.836	133,00	139,00
Sn	mg/kg	29	15	44	32	< 0,1	< 0,1
Sr	mg/kg	183	54	275	110	0,12	0,31
Ti	mg/kg	980	524	1.652	1.303	< 0,04	< 0,04
V	mg/kg	10,1	5,6	17,3	13,4	< 0,04	< 0,04
W	mg/kg	50,4	90,5	123,0	67,2	< 0,29	< 0,29
Zn	mg/kg	990	284	1.570	604	0,14	0,88
Hg	mg/kg	0,42	1,24	0,58	0,79	< 0,000026	< 0,000026