

DROGEN ZUIVERINGSSLIB IN KASSEN EN IN EEN BAND-DROGER MET LAAGWAARDIGE RESTWARMTE



RAPPORT

2018
16



DROGEN ZUIVERINGSSLIB IN KASSEN EN IN EEN BANDDROGER
MET LAAGWAARDIGE RESTWARMTE

RAPPORT

2018

16

ISBN 978.90.5773.788.6



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEUR(S)
Joost van de Bulk (Tauw)
Amber Vergnes (Tauw)
Berend Reitsma (Tauw)
Remmie Neef (Brightwork)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Arjan Budding (Waterschap Vallei en Veluwe)
Bonnie Bult (Wetterskip Fryslân)
Otto Kluiving (Waterschap Hunze en Aa's)
Hans Kuipers (Waterschap Zuiderzeeland)
Coert Petri (Waterschap Rijn en IJssel)
Willy Poiesz (Waterschap Noorderzijlvest)
Inge van de Velde (Waterschap Drents Overijsselse Delta)
Frans Visser (Waterschap Vallei en Veluwe)
Cora Uijterlinde (STOWA)

FOTO'S OMSLAG
© Foto's Otto Lussenburg en Berend Reitsma

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-16
ISBN 978.90.5773.788.6

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

LAGE TEMPERATUURDROGING IS MARKTRIJP

Praktijktesten met zowel slibdroogkassen als met een banddroger tonen aan dat op basis van de primaire energiebalans beide systemen duurzamer zijn dan andere slibverwerkingsroutes. Hierin scoren kassen het beste. Qua kosten liggen beide systemen dicht bij elkaar. Welk systeem uiteindelijk gekozen wordt, is afhankelijk van de lokale condities. Met dit onderzoek is vastgesteld dat lage temperatuurdroging (LTD) zowel met kassen als banddrogers marktrijp is voor Nederland.

Dit onderzoek bouwt voort op studies van STOWA uit 2010 en 2013. De in 2010 gepubliceerde slibketenstudie II (STOWA 2010-33) concludeerde al dat de droging van ontwaterd zuiveringsslib met restwarmte een potentieel doelmatige en duurzame route is voor slibeindverwerking. Slibdroogkassen en banddrogers zijn technieken waarmee slib gedroogd kan worden bij lage temperaturen. In 2013 (STOWA 2013-38) werd uit een literatuurstudie al geconcludeerd dat lage temperatuur droging in een slibdroogkas een doelmatige en duurzame route is.

Joost Buntsma,
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Een mogelijke doelmatige en duurzame route voor slibverwerking die in het buitenland al veelvuldig wordt toegepast is lage temperatuur droging (LTD). Hiervoor wordt vaak warmte gebruikt waarvoor geen toepassing is, ofwel restwarmte. Technieken waarmee slib gedroogd kan worden bij lage temperaturen betreffen bijvoorbeeld kassendrogers en banddrogers. In 2013 werd al geconcludeerd dat Lage Temperatuur Droging (LTD) in een slibkas een doelmatige en duurzame route is (STOWA 2013 38). Wetterskip Fryslân, Noorderzijlvest, Hunze & Aa's, Drents Overijsselse Delta, Zuiderzeeland, Vallei en Veluwe, Rijn & IJssel hebben besloten samen met STOWA de proef op de som te nemen en de droogmethode in de praktijk te testen in Duitsland bij de slibdrooginstallatie van de Oldenburger Fleischmehlfabrik GmbH in Kampe (OFK). De praktijktesten zijn uitgevoerd gedurende 4 weken met 2 charges van elk 100 ton (grotendeels) niet vergist zuiveringsslib uit Heerenveen en 2 charges van elk 100 ton vergist zuiveringsslib uit Garmerwolde. Daarnaast heeft het Waterschap Vallei en Veluwe in 2016 een banddroger op de rwzi Ede geïnstalleerd om ervaring op te doen met lage temperatuurdroging. Dit is onderdeel van het LIFE+ project Omzet.Amersfoort. Deze banddroger heeft een capaciteit van circa 5% van de totale slibhoeveelheid van Waterschap Vallei en Veluwe.

De resultaten van de praktijkdroogtesten in kassen in Duitsland en de resultaten van de banddroger op de rwzi Ede worden beschreven in het onderhavige rapport. Daarmee is vastgesteld dat LTD droging zowel met kassen als met banddrogers klaar is om in Nederland te worden toegepast. Resultaat van het onderzoek is dat banddrogers gemiddeld een drogestofgehalte van circa 90 % halen. Slibdroogkassen komen uit op circa 70-75 % drogestof. Het warmteverbruik van banddrogers is circa 3,9 GJ/ton water (bij 80°C), de kassen zitten op 4-5 GJ/ton water (bij 85°C), met een mogelijke optimalisatie om rond de 4 GJ/ton water uit te komen. Het elektriciteitsverbruik van de geteste banddrogers is circa 0,12 MWh/ton water, voor kassen is dat circa 0,05-0,07 MWh/ton water. Een goede benutting van de verwerkingscapaciteit is belangrijk voor een goed rendement, dus een goede afstemming van beschikbare warmte en hoeveelheid slib is nodig. Een verrassende uitkomst van de kassendroogtest was het feit dat (gedeeltelijk) niet vergist slib beter droogt dan vergist slib. Wat hiervan de oorzaak is, is niet bekend. Mogelijk heeft het te maken met de grootte van de koekdelen, het uitgegiste slib van Garmerwolde was veel fijner van structuur dan het (deels) niet vergiste slib van Heerenveen.

Bij LTD wordt weinig tot geen slib afgebroken, hetgeen een positief effect heeft op de energiewaarde van het gedroogde slib. De stikstofbalans (ingaaand en uitgaand in het slibwater, in het retourwater en in de afgezogen lucht) bleek niet sluitend te krijgen, maar NH₃ in de afgezogen lucht wordt door de wasser en compostfilters goed verwijderd. Ten aanzien van geur is er nog onzekerheid, in de praktijk zullen hiervoor voldoende voorzieningen moeten komen. Door de compostfilters wordt de geurbeleving (hedonische waarde) verbeterd. Qua duurzaamheid scoren kassen het hoogste. Zowel banddrogers als kassen zijn beide duurzamer dan de in 2018 meest toegepaste slibeindverwerkingsroutes met monoverbranding en slibcompostering. Dit is gebaseerd op de primair energiebalans. In de praktijk moet de beschikbare energieinhoud van het gedroogde product wel benut kunnen worden, bijvoorbeeld door verbranding in een hoogrendement bio-energiecentrale (zowel opwekking elektriciteit als benutting warmte in een warmtenet). Banddrogers kunnen ten opzichte van kassen eenvoudiger een hoger drogestofgehalte halen en vergen minder ruimte.

Qua kosten liggen beide LTD systemen dicht bij elkaar, tussen de 41 en 58 euro per ton koek van 23 % drogestof (inclusief BTW en inclusief verbranding gedroogd slib à 30 EUR/ton granulaat) exclusief transport van ontwaterd en gedroogd slib (nog ca 5-10 euro extra afhankelijk van de locatie). Welk systeem gekozen wordt, is afhankelijk van de lokale condities. Banddrogers zijn beter inpasbaar op kleine oppervlakken en gebruiken warmte met een temperatuur tussen de 80 en 120°C. Als de temperatuur van de beschikbare warmte laag is (60 - 80°C) zijn alleen kassen een doelmatige keuze. Restwarmtestromen met deze temperaturen kosten anno 2018 weinig niets (circa 1 euro/GJ). Het is overigens ook mogelijk om een hybride systeem te kiezen (voordrogen met kassen en nadrogen met banddrogers).

De bevindingen uit de praktijktesten vormen een goede basis voor realisatie in de praktijk. Aanvullend praktijkonderzoek lijkt voorsnog niet nodig. Bij realisatie in de praktijk zijn er issues waarmee rekening gehouden moet worden. Voor een optimale benutting van de duurzaamheid van LTD droging is een optimale afzet van het gedroogde product gewenst. Een marktverkenning naar het verbranden van het gedroogde slib in bestaande afvalverbrandingsinstallaties (AVI's), cementovens of bio-energiecentrales (BEC's) is daarom van belang.

AFKORTINGENLIJST

AVI	Afvalverbrandingsinstallatie
ENCI	Eerste Nederlandse Cement Industrie
EVOA	Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen
HR-BEC	Hoog Rendement Bio-Energie Centrale
LTD	Lage Temperatuur Droging
OFK	Oldenburger Fleischmehlfabrik Gmbh
OBK	Oldenburger Biokraftwerk Gmbh
PAS	Programma Aanpak Stikstof
SCT	Swiss Combi Technology
TRL	Technology Readiness Level

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.

DROGEN ZUIVERINGSSLIB IN KASSEN EN IN EEN BANDDROGER MET LAAGWAARDIGE RESTWARMTE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	AFKORTINGENLIJST	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	ACHTERGRONDINFORMATIE SLIBEINDVERWERKING EN LAGE TEMPERATUUR DROGING	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Lage temperatuurdroging als voordelig en duurzaam alternatief	3
2.3	Beschikbare technieken lage temperatuur droging	5
3	UITGANGSPUNTEN PRAKTIJKPROEVEN LAGE TEMPERATUUR DROGING	7
3.1	Inleiding	7
3.2	Slibdroogkassen OBK in Kampe	7
3.2.1	Locatiekeuze	7
3.2.2	Beschrijving en kenmerken slibdroogkassen van OBK	8
3.2.3	Effect seizoenen, zonne-energie, temperatuur en luchtvochtigheid	9
3.2.4	Slibtransporten naar Duitsland	10
3.2.5	Werkwijze	11
3.3	Banddroger rwzi Ede	12
3.3.1	Locatiekeuze	12
3.3.2	Beschrijving en kenmerken banddroger	12
3.3.3	Onderzoeksvragen en werkwijze	14

4	RESULTATEN SLIBDROGING	15
4.1	Inleiding	15
4.2	Slibdroogkassen	15
4.2.1	Inleiding	15
4.2.2	Droogprestaties	15
4.2.3	Slibafbraak voor en na drogen	18
4.2.4	Specifieke droogprestaties	19
4.2.5	Seizoeneffecten: Invloed zon, temperatuur en relatieve vochtigheid	22
4.2.6	Werking compostfilters	22
4.2.7	Ammoniumbalans	23
4.2.8	Overige bevindingen en leemten in kennis	24
4.3	Banddroger rwzi Ede	25
4.3.1	Inleiding	25
4.3.2	Droogprestaties	25
4.3.3	Capaciteit	25
4.3.4	Regeling banddroger	26
4.3.5	Beschikbaarheid	27
4.3.6	Behaalde drogestofpercentages	28
4.3.7	Energieverbruik	29
4.3.8	Luchtbehandeling	33
4.4	Vergelijking resultaten slibdroogkas en banddroger	34
5	KENMERKEN EN RANDVOORWAARDEN VOOR PRAKTIJKINSTALLATIES IN NEDERLAND	37
5.1	Slibdroogkas	37
5.2	Banddroger	37
5.3	Algemeen	38
6	DUURZAAMHEID VAN LTD DROGING	39
7	QUICK SCAN VERWACHT KOSTENNIVEAU	42
8	DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	43
8.1	Discussie	43
8.2	Conclusies	44
Bijlage 1	Monitoringsplan droogproef OBK	46
Bijlage 2	Foto's werkbezoek	47
Bijlage 3	Monsternamepunten en analyses banddroger rwzi Ede	49
Bijlage 4	Geurrapport	51
Bijlage 5	Ammonium in slib	62
Bijlage 6	Meetresultaten van Thermo System	65
Bijlage 7	Ruwe meetresultaten kassen	71

1

INLEIDING

In 2013 verscheen het STOWA-rapport 2013 38 '(Voor)droging van zuiveringsslib in kassen met én zonder restwarmte'. Daarin werd de haalbaarheid van droging van zuiveringsslib met restwarmte en zonlicht in kassen hoog ingeschat. Zowel qua kosten als op duurzaamheid leverde deze wijze van slibverwerking voordelen op ten opzichte van de huidige wijze van slibverwerking. Met de toepassing van lage temperatuur restwarmte en zonlicht wordt op een duurzame wijze de energiewaarde in het slib verhoogd, waardoor het als brandstof kan worden toegepast en daarmee primaire energie kan worden vermeden. De conclusies waren gebaseerd op literatuur en met name Duitse praktijkervaringen.

Wetterskip Fryslân, Noorderzijlvest, Hunze & Aa's, Drents Overijsselse Delta, Zuiderzeeland, Vallei en Veluwe, Rijn & IJssel besloten samen met STOWA de proef op de som te nemen en de late temperatuur droogmethode in de praktijk te testen in Duitsland. Hierbij is gebruik gemaakt van de slibdrooginstallatie van de Oldenburger Fleischmehlfabrik GmbH in Kampe (OFK), een kadaververwerkend bedrijf. De slibdroogkassen van OFK maken gebruik van restwarmte van OFK van 85 graden Celsius. Deze bestaan sinds 2009 en is een apart bedrijf: Oldenburg Bio Kraftwerk (OBK). Het slib van rioolwaterzuiveringen uit de omgeving van OFK/OBK wordt in de kassen met hulp van restwarmte gedroogd tot 60-70 % ds. Na de droging wordt het slib afgevoerd naar een energiecentrale in Duitsland en gebruikt als brandstof. De praktijktesten zijn uitgevoerd gedurende 4 weken met 2 charges van elk 100 ton (grotendeels) niet vergist zuiveringsslib uit Heerenveen en 2 charges van elk 100 ton vergist zuiveringsslib uit Garmerwolde.

Daarnaast heeft het Waterschap Vallei en Veluwe in 2016 een banddroger op de rwzi Ede geïnstalleerd om ervaring op te doen met lage temperatuurdroging. Dit is onderdeel van het LIFE+ project Omzet. Amersfoort. Deze banddroger heeft een capaciteit van circa 5% van de totale slibhoeveelheid van Waterschap Vallei en Veluwe.

De resultaten van de praktijkdroogtesten in kassen in Duitsland en de resultaten van de banddroger op de rwzi Ede worden beschreven in het onderhavige rapport. Hoe goed droogt het Nederlandse slib, tot welk drogestofgehalte, hoeveel restwarmte en elektriciteit is daarvoor benodigd? Vindt er nog afbraak van drogestof plaats, wat is de geuremissie, hoeveel ammonium bevindt zich in het retourwater naar de rwzi? Zijn er nog verschillen tussen de slibben (vergist en niet vergist), hoe zit het met de kansen voor Nederland en hoe staat het met de duurzaamheid in vergelijking met andere slibverwerkingsroutes? In deze rapportage worden daar zoveel mogelijk antwoorden op gegeven.

Hoofdstuk 2 geeft achtergrondinformatie over de kassendroogtechniek en de banddroger. Hoofdstuk 3 bevat de uitgangspunten van de praktijkproeven met in hoofdstuk 4 de resultaten van de droogtesten. Hoofdstuk 5 geeft de kenmerken en randvoorwaarden die van invloed zijn bij de realisatie van een dergelijke installatie in Nederland. In hoofdstuk 6 wordt

een berekening gegeven van de duurzaamheid van deze techniek in vergelijking met andere slibverwerkingstechnieken. Hoofdstuk 7 geeft inzicht in de te verwachte kosten op basis van recente business cases in den lande. In hoofdstuk 8 tenslotte volgen de discussie, conclusies en aanbevelingen.

2

ACHTERGRONDINFORMATIE SLIBEINDVERWERKING EN LAGE TEMPERATUUR DROGING

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt beschreven wat de kansen zijn van lage temperatuurdroging en welke technieken daarbij beschikbaar zijn.

2.2 LAGE TEMPERATUURDROGING ALS VOORDELIG EN DUURZAAM ALTERNATIEF

De in 2010 gepubliceerde slibketenstudie II (STOWA 2010 33) concludeerde dat de droging van ontwaterd zuiveringsslib met restwarmte een potentieel doelmatige en duurzame route is voor slibeindverwerking.

In de samenvatting van Slibketenstudie II (uit 2010) staat het volgende:

Voor het drogen van mechanisch ontwaterd zuiveringsslib kan gebruik worden gemaakt van laagwaardige warmte (vanaf circa 80°C). Opgewarmde lucht kan door het slib worden geblazen, waarbij vocht wordt opgenomen. De vrijkomende droogdampen worden gekoeld (waarbij het vocht wordt gecondenseerd), weer opgewarmd en opnieuw door het slib geblazen. Het slib kan worden gedroogd tot circa 90 % ds. Veelal worden banddrogers toegepast. Het voornaamste voordeel van lage temperatuur droging is de mogelijkheid om laagwaardige warmte te benutten, die anders weggekoeld had moeten worden. Bovendien zijn de investeringskosten relatief laag, omdat er relatief lage temperaturen worden toegepast waarvoor geen hoogwaardige componenten nodig zijn. Daar staat tegenover dat de installatie altijd afhankelijk is van de levering van restwarmte, dat de omvang van de installatie relatief groot is en stikstof geloosd wordt via het condensaat. Door het gesloten ventilatiesysteem wordt de geuremissie van de installatie beperkt.

Lage temperatuur droging (LTD) laat zich onder voorwaarden aftekenen als een slibverwerkingstechniek met een lage investering en een lage bijdrage aan de productie van langcyclische CO₂. Deze voorwaarden houden in dat:

- De slibdroging bij een laagwaardige warmtebron moet worden uitgevoerd
- Er afzet moet zijn voor het gedroogde slib bij een BEC, kolencentrale en/of een cementoven



In deze slibketenstudie II wordt ook uitgelegd hoe je moet aankijken tegen de bijdrage aan primair energieverbruik (de duurzaamheid) van restwarmte, zie intermezzo.

Intermezzo:

De CO₂ uitstoot van de gebruikte warmte is te bepalen aan hand van de hoeveelheid elektriciteit die er mee opgewekt had kunnen worden in een turbine. In de Slibketenstudie II (STOWA 2010-33, pagina 102) is hier een formule voor opgesteld. De waardering van restwarmte (in primaire energie) is in deze formule het product van een factor maal de enthalpie van de benodigde warmte. Bij een temperatuur kleiner dan 40°C is de waarde nul. Bij een waarde groter dan 40°C is de factor gelijk aan het resultaat van de volgende functie (waarbij T = temperatuur in °C).

$$\text{Factor (maal benodigde warmte met temperatuur T)} = 1,35 * (T-40) / (T+273) + 0,05$$

Het gevolg van deze formule is dat het primaire energieverbruik van lage temperatuur restwarmte, per gebruikte MJ, lager uitvalt dan bij een hogere temperatuur. Bijvoorbeeld bij 80°C is deze factor 0,2. Bij 120°C is deze factor 0,32.

Wanneer warmte betrokken wordt van een locatie waar nog geen nuttige toepassing voor de warmte bestaat, wordt er gesproken over restwarmte. Hiervoor wordt als uitgangspunt gehanteerd dat deze warmte geen bijdrage levert aan het primaire energieverbruik.

Bij de beschouwingen over restwarmte en slibdroging zijn de volgende cruciale uitgangspunten/-randvoorwaarden van belang:

1. Warmte bestaat op verschillende temperatuurniveaus¹. Met warmte van hoge temperatuur (400-800°C) kan met een rendement van 35-40 % elektriciteit worden opgewekt, met warmte van lage temperatuur (60- 120°C) kan weinig elektriciteit (enkele procenten) worden opgewekt. Door slib te drogen bij lage temperatuur (LTD, 60-120°C, restwarmte), wordt slib opgewaardeerd tot “product” en kan worden verbrand bij hoge temperatuur (400-800°C) en wordt daarmee stroom en bruikbare warmte opgewekt, zoals bij verbranding van minerale bronnen (primaire energie). Er wordt hiermee dus een product gecreëerd waaruit energie kan worden opgewekt en dus primaire energie van minerale oorsprong kan worden vermeden.
2. Het drogen met restwarmte vindt in principe niet plaats op rwzi niveau², maar op regionaal (provincie) niveau, waarbij aansluiting wordt gezocht bij bestaande restwarmtebronnen zoals bedrijven, AVI's, BEC's, energiecentrales, grote industrie. Kernwaarde bij deze methode is de toepassing van synergie met derden.
3. Door dit drogen wordt het slib verwaard³. Door het gereduceerde volume kan het gedroogde slib ook buiten de provincie worden getransporteerd, naar een potentiële eindverwerker. Zelfs als innovatieve technieken zoals superkritisch vergassen of Torwash (waarbij in principe geen droging nodig is) na 5-10 jaar succesvol worden, is ten opzichte van deze technieken drogen nog steeds een doelmatig en duurzaam alternatief omdat de LTD installaties zich in 10-15 jaar terugverdienen.

1 <http://eduweb.eeni.tbm.tudelft.nl/TB142E/?energieconversie-warmte-elektriciteit>. Thermodynamica. Via het Carnot rendement kan worden afgeleid dat de hoogte van de temperatuur in de vuurhaard en de temperatuur van het koelwater bepalend is voor het rendement op arbeid (opwekken stroom) dat kan worden behaald.

2 De banddroger op rwzi Ede is voor waterschap Vallei en Veluwe voor een deel van het slib waar voldoende warmte voor beschikbaar is, vooral bedoeld als demo-installatie. Het waterschap onderzoekt in hoeverre het mogelijk is om individuele rwzi's als energie hub in te zetten, inclusief integratie met restwarmtenetten en lokale BEC's

3 Verwerken kost nog steeds geld, maar per ton minder (van circa EUR 60,- naar circa 30,-, doordat er minder water in zit). Het product heeft dus op zich nog geen waarde, maar het is wel opgewaardeerd tot een biobrandstof.

4. Voor de benutting van het gedroogde slib zijn diverse eindverwerkingsroutes in beeld, die nog verder moeten worden geconcretiseerd. Het is goed denkbaar dat hierin een fasering plaatsvindt, voordat de optimale route in beeld is⁴:
 - a. ENCI, in Maastricht gaat dicht maar in België en Duitsland zijn er nog diverse ENCI's die het gedroogde slib graag als brandstof en bron van de as willen hebben, kosten circa EUR 30 per ton granulaat⁵;
 - b. Coverbranden bij kolencentrales (circa EUR 30 per ton granulaat);
 - c. AVI's, zijn niet optimaal voor dit product en zijn relatief duur (afvaltarief EUR 50 per ton granulaat);
 - d. BEC voor B hout, zoals HVC Alkmaar (circa EUR 30 per ton granulaat); uitbreiding rookgasreiniging
 - e. Bodemverbeteraar in de landbouw in Noord-Frankrijk of Engeland (tarief nog niet bekend, maar wordt ingeschat op circa EUR 25-30 per ton gedroogd slib).
5. Fosfaat komt bij de hierboven genoemde verwerkingsroutes niet automatisch terug in de cyclus. Alleen de fosfaat die in de waterlijn wordt teruggewonnen via struviet blijft in de P kringloop. Streefbeeld moet daarom zijn om op termijn bij voldoende groot volume aan gedroogd slib een HR-BEC met rookgasreiniging (ofwel een monoverbranding nieuwe stijl) te realiseren, waarbij de as kan worden verwerkt door Ecophos in Duinkerken of andere verwerkers. De warmte wordt dan voor een groot deel benut in een lokaal warmtenet. Hierbij is voldoende schaalgrootte vereist (> 4 waterschappen) en zoveel mogelijk synergie met een afvalverwerker (elektriciteitsopwekking, warmtenetten, utilities, condensaatbehandeling, rookgasreiniging, logistiek, personeel, et cetera).

2.3 BESCHIKBARE TECHNIEKEN LAGE TEMPERATUUR DROGING

De volgende bewezen technieken (TRL 9) zijn beschikbaar voor LTD:

- Slibdroging met (rest)warmte in kassen;
- Slibdroging met banddroger op (rest)warmte;
- Slibdroging met warmtepomp aangedreven banddroger;

Slibdroging met (rest)warmte in kassen

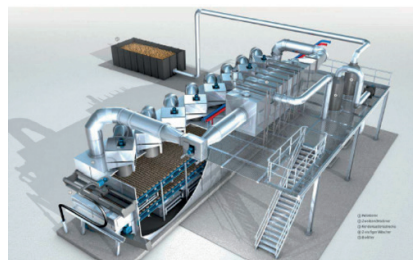
In het geval van slibdroging in kassen wordt ontwaterd slib met behulp van laagwaardige (rest)warmte (60 - 100°C) in een kas gedroogd tot 60-70 % droge stof. Voor deze wijze van slibdroging zijn voldoende oppervlak en de aanwezigheid van (rest)warmte vereist. Het resulterende slibgranulaat kan als een biobrandstof worden verbrand in een energiecentrale, afvalverbranding of in de cementindustrie. Het gedroogde slib produceert geen stof, maar is biologisch nog niet stabiel waardoor het niet lang opgeslagen kan worden (risico broei). Deze vorm van slibdroging wordt in het buitenland al veel toegepast. Waterschap Rijn en IJssel verkent de realisatie van een kassendroger op de rwzi Nieuwgraaf met benutting van restwarmte van de AVR en verbranding granulaat in de Topcrete installatie.



⁴ De vermelde tarieven zijn indicatieve poorttarieven.
⁵ Het is de vraag of Duitsland de Nederlandse slibstromen nog wil/mag ontvangen, als de eigen slibben wegens P-terugwinning monoverwerkt moeten worden. Kabinettsbeschluss zur AbfKlärV Drucksache 18/10884 18. Wahlperiode 18.01.2017

Slibdroging met banddroger op (rest)warmte

Slibdroging met een banddroger vereist hogere temperaturen dan slibdroging in kassen (80 - 120°C) maar heeft als voordeel dat er minder oppervlak nodig is. De banddroger is een gesloten machine die onder een overkapping of in een loods opgesteld kan worden. Het gedroogde slib heeft een droge stof gehalte >90 %, is niet meer biologisch actief en kan gebruikt worden als biobrandstof. Vanwege het hoge drogestofgehalte is er het risico op stofexplosie. Op de rwzi Ede staat momenteel een lage temperatuur banddroger (80°C) van de firma Eliquo waarmee een deel van het slib van de rwzi Ede gedroogd wordt.

*Slibdroging met warmtepomp aangedreven banddroger*

De warmtepomp aangedreven banddroger wordt geleverd door het Zwitserse bedrijf Watropur. De warmtepomp werkt op elektriciteit. In dit concept is het mogelijk om slib te drogen bij lage temperaturen (40°C) doordat de drooglucht in een gesloten systeem circuleert en verwarmd wordt door middel

Inlet >20 % dried solids



Outlet 90 % dried solids

van warmtepompen. De drooglucht van 40°C bevat hierdoor een extreem laag vochtgehalte waardoor droging bij deze lage temperatuur haalbaar is. De condensatie energie wordt teruggewonnen. Voordeel van deze wijze van slibdroging is dat er geen luchtbehandeling nodig is en er geen stank optreedt. Omdat er geen externe warmte nodig is kan de Watropur op elke locatie geplaatst worden (elektriciteit is nagenoeg overal beschikbaar). Wegens de lage temperaturen is er ook nauwelijks sprake van vervluchtiging van ammoniak naar het condensaat. Waterschap Noorderzijlvest overweegt op de rwzi Garmerwolde een Watropur installatie te plaatsen. Omdat elektriciteit wordt toegepast, is de score op duurzaamheid lager dan bij toepassen restwarmte (circa 0,4 MWh/m³ verdampt water).

3

UITGANGSPUNTEN PRAKTIJKPROEVEN LAGE TEMPERATUUR DROGING

3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van de praktijktesten beschreven. In paragraaf 3.2 worden de slibdroogkassen in Kampe (gemeente Friesoythe) beschreven, de locatiekeuze met beschrijving en kenmerken van de locatie. Ook wordt ingegaan op de transporten van slib naar Duitsland, de werkwijze en het bemonsteringsprotocol. In paragraaf 3.3 wordt de banddroger op de rwzi Ede beschreven, met de kenmerken, werkwijze en bemonsteringsprotocol.

3.2 SLIBDROOGKASSEN OBK IN KAMPE

3.2.1 LOCATIEKEUZE

In Nederland zijn er geen slibdroogkassen met restwarmte. De markt voor slibeindverwerking in Nederland is zo opgezet dat er geen drijfveer was voor het toepassen (voor)droging met LTD. In Duitsland en diverse andere Europese landen is dat wel het geval. In 2015 is onderzocht of het mogelijk was om bij Attero Wijster bestaande composteringshallen om te bouwen naar testdroog-hallen met restwarmte. Aangezien voor een tijdelijke situatie te veel geïnvesteerd moest worden, is deze testroute niet gerealiseerd.

Een full-scale drooginstallatie in Duitsland is geselecteerd als proeflocatie. De slibdrooginstallatie van de Oldenburger Fleischmehlfabrik GmbH (OFK) in Kampe⁶ bleek wegens de nabijheid en de schaalgrootte een geschikte locatie te zijn voor de praktijkproef. De slibdroogkassen in Kampe, Oldenburger Biokraftwerk GmbH (OBK) bestaan al sinds 2009 en hebben sinds die tijd bijna continu gedraaid (enkele optimalisaties aan de installatie buiten beschouwing gelaten). De restwarmte is afkomstig van de kadaververwerkende industrie direct naast de kassen. Het slib van rioolwaterzuiveringen in de omgeving wordt in kassen gedroogd met hulp van restwarmte, aangeleverd in de vorm van water van 85 graden Celsius. Na de droging wordt het slib gebruikt als brandstof in een energiecentrale in Duitsland. Jaarlijks wordt circa 40.000 ton ontwaterd slib (22,5 % ds) gedroogd tot 67,5 % ds in 6.000 m² kas (6 straten). In Bijlage 2 zijn foto's opgenomen van een werkbezoek aan OBK.

De schaalgrootte van de praktijkproef is gebaseerd op een droogoppervlak van circa 1.000 m² (exact 896 m²) in één van de droogstraten, waarbij per batch een slibhoeveelheid van 100 ton (tussen 20-25 % ds) slib wordt ingebracht. De cyclustijd van drogen is circa een kleine week⁷. Hierbij is intensief samengewerkt met procesoperators van OFK/OBK en met de leverancier Thermo System (<http://www.thermo-system.com/home/>).

⁶ <http://www.ofk-kampe.de/impressum.html>

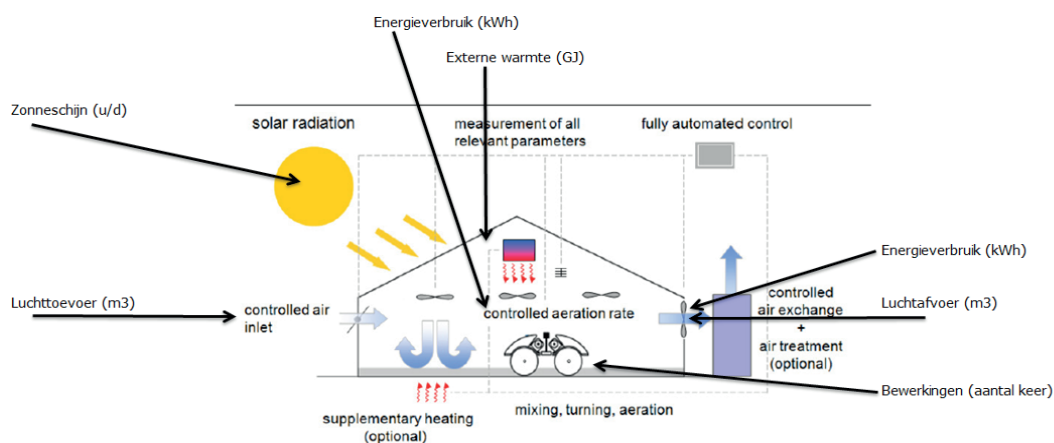
⁷ Test situatie: Vr/ma: aanvoer (in 2 dagen), di tot za: 4 dagen restwarmte (t/m 12:00 uur), za-middag-ma alleen zon, ma ochtend legen

Een nadeel van het drogen in Duitsland is de regelgeving om het slib over de grens te krijgen (EVOA's). Het maken van de aanvraag en verkrijgen van de vergunning is tijds- en arbeidsintensief, zie verder paragraaf 3.2.3.

3.2.2 BESCHRIJVING EN KENMERKEN SLIBDROOGKASSEN VAN OBK

In Figuur 3.1 is een schematische weergave van de kassendrooginstallatie en de te meten parameters opgenomen (bron Thermo System). De kassendrooginstallatie van OBK bestaat uit 6 afzonderlijke kassen (compartimenten) waarvan er één gebruikt wordt voor de praktijkproeven met Nederlands slib. De maximale capaciteit per compartiment van de kassen is circa 130 ton ontwaterd slib

FIGUUR 3.1 SCHEMATISCHE WEERGAVE SLIBDROOGKASPRINCIPE VAN THERMO SYSTEM (PLAATJE THERMO SYSTEM)



In Figuur 3.2 zijn de verschillende onderdelen van slibdroogkassen van OBK meer in detail weergegeven.

FIGUUR 3.2 ONDERDELEN KASSENDROGER OBK VAN THERMO SYSTEM (FOTO'S THERMO SYSTEM)



Slib ontvangst hal



Verspreiden van slib met shovel



Warmte input via warmtewisselaars



MoviVent recirculatie systeem



Omwoelen met elektrische mol



Laden van gedroogd slib

Ontwaterd slib wordt gelost in een slibbunker in de slibontvangsthal waarna een shovel het ontwaterde slib vanuit de ontvangsthal uitrijdt in een van de zes droogcompartiment. In de kassen rijdt een zogenaamde elektrische mol rond die zorgt voor periodieke omwoeling van het slib, zodat het gelijkmatig gedroogd wordt. De zijkanten en hoeken van de droogkas worden minder goed omgewoeld. Tegen het einde van de droogperiode rijdt er daarom eenmaal een kleine tractor door de kas die het slib aan de randen extra omwoelt en de deeltjesgrootte verkleint.

Boven in de droogcompartimenten wordt warmte ingebracht via warmtewisselaars die aangesloten zijn op een warmwatersysteem. De lucht in de kas wordt met ventilatoren door de warmtewisselaars geblazen. Andere ventilatoren blazen de hete lucht richting het slib. De ventilatoren in de kassen staan onder een variabele hoek, die steeds groter en kleiner wordt waardoor de warmte gelijkmatig door de kas verdeeld wordt⁸.

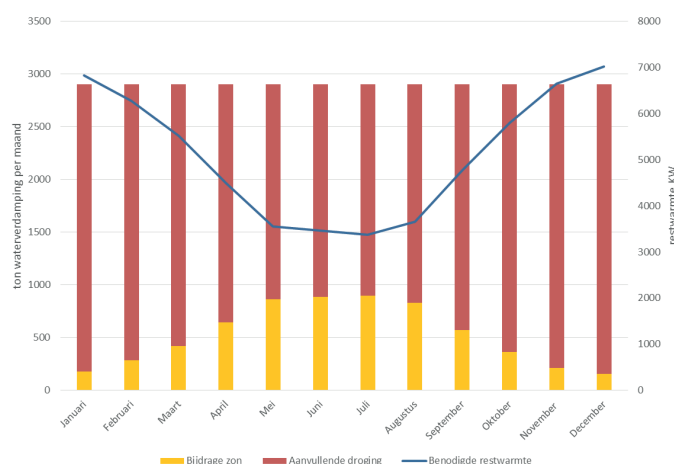
Na ongeveer een week wordt het gedroogde slib met een shovel uit het droogcompartiment verwijderd en in een vrachtwagen geladen en afgevoerd naar een centrale voor coverbranding.

Naast de kas staat een biofilter waarin de afgevoerde lucht wordt behandeld. Voordat de lucht het biofilter instroomt gaat het door een gaswasser waar een deel van het ammonium verwijderd wordt. Deze gaswasser wordt gevoed met effluent van de waterzuiveringsinstallatie van OFK. Dit effluent wordt ook gebruikt om de biofilters te besprenkelen. Na gebruik wordt dit water teruggevoerd naar de waterzuiveringsinstallatie van OFK.

3.2.3 EFFECT SEIZOENEN, ZONNE-ENERGIE, TEMPERATUUR EN LUCHTVOCHTIGHEID

In Figuur 3.3 is voor een fictieve casus van 50.000 ton slibkoek de waterverdamping in een slibdroogkas over de seizoenen weergegeven. De te verdampen hoeveelheid water blijft over het jaar stabiel maar de invloed van zonne-instraling is in de zomer fors hoger dan in de winter. Door de extra zon instraling en de hogere buitentemperatuur is in de zomer slechts de helft van de restwarmte nodig in vergelijking met de winter.

FIGUUR 3.3 VOORBEELD TONNEN WATERVERDAMPING PER MAAND (50.000 TON KOEK) ALS FUNCTIE VAN DE MAAND, INCLUSIEF DE BIJDRAGE VAN DE ZON, DE AANVULLENDE DROGING EN BENODIGDE RESTWARMTE



Een andere factor die een rol speelt bij slibdroging is de relatieve vochtigheid van de ingevoerde lucht. De relatieve vochtigheid varieert in Nederland maandgemiddeld tussen de 70% in de lente en 90% in de winter. Koude lucht bevat minder vocht dan warme lucht waardoor met restwarmte opgewarmde winterlucht in potentie meer vocht op kan nemen dan de opgewarmde zomerlucht⁹. In de winter is er dus qua volume minder lucht nodig dan in de zomer. De lucht moet echter wél verder worden opgewarmd. Netto moet er in de winter meer warmte

8 Voorverwarming ontvangsthal: 24 heaters, per kas (6 kassen), 4 toevoer heaters, 8 binnen heaters, 12 circulatie ventilatoren, 4 afvoer ventilatoren.

9 Bij een temperatuur van 15°C bevat lucht met een relatieve vochtigheid van 90% circa 10 gram waterdamp terwijl lucht van 30°C bij een relatieve vochtigheid van 90% meer dan 24 gram waterdamp bevat. De lucht van 15°C kan na verwarming met restwarmte dus $(24-10) = 14 \text{ gram/m}^3$ meer water opnemen.

in dan in de zomer. Inclusief de 30 % van de warmte die door de zon wordt ingebracht, is in de zomer slechts de helft van de restwarmte benodigd in vergelijking met de winter.

3.2.4 SLIBTRANSPORTEN NAAR DUITSLAND

De praktijktesten zijn uitgevoerd met 2 charges van elk 100 ton (grotendeels) niet vergist zuiveringsslib van slibontwatering rwzi Heerenveen (van het Wetterskip Fryslân) en 2 charges van elk 100 ton vergist zuiveringsslib vanuit de slibontwatering van de rwzi Garmerwolde (van het waterschap Noorderzijlvest). Deze locaties zijn gekozen omdat dit relatief goedkoop was door de beperkte transportafstand naar OBK/OFK (100-150 km) en beide waterschappen deel uitmaken van de begeleidingscommissie en vermeden variabele kosten hebben kunnen inbrengen.

Omdat bij OBK het slib niet in de algemene losruimte gebracht kon worden, maar specifiek op de plek bij het droogcompartiment, kon alleen met een wagen met “walking floor” lossysteem van de geselecteerde transporteur gewerkt worden, zie Figuur 3.3.

FIGUUR 3.4

LOSWAGEN MET “WALKING FLOOR”



Voor het transporteren en verwerken van Nederlands zuiveringsslib in Duitsland gelden Europese voorschriften, de Europese Verordening Overbrenging Afvalstoffen (EVOA). Voorafgaand aan de praktijkproef moesten daarom EVOA's voor het transport van slib van Heerenveen en het slib van Garmerwolde aangevraagd worden. Hierbij zijn veel partijen betrokken. Wegens deze complexiteit is besloten de aanvragen van de EVOA's en het regelen van de transporten via Swiss Combi Technology (SCT) te laten lopen. SCT kon dan zorgen voor de juiste stukken en de benodigde bankgaranties.

De wettelijke termijnen voor de EVOA's, het grote aantal “schijven” en het grote aantal betrokken partijen maakte het hele proces zeer tijdrovend en ook complex om te managen. Daarmee is de doorlooptijd zeker 1-1,5 jaar langer geweest dan oorspronkelijk verwacht.

Overzicht betrokken partijen:

- Wetterskip Fryslân met de slibontwatering (kamerfilterpers) rwzi Heerenveen. Dit ontwaterde slib kon direct in de transportwagen van de transporteur gestort worden;
- Slibdrooglocatie van SCT in Heerenveen. Inmiddels tijdens de aanvraag van de EVOA's kreeg het Wetterskip een nieuw contract bij SNB. Het slib van SNB moest worden overgedragen op SCT en de transporteur¹⁰;
- Waterschap Noorderzijlvest met de slibontwatering (kamerfilterpers) rwzi Garmerwolde. Dit ontwaterde slib moest eerst nog door SCT met een graafmachine worden overgeladen in de wagens van de transporteur (op de slibdrooglocatie van SCT);

¹⁰ De slibdroger van SCT op locatie Heerenveen wordt op dit moment door SNB gebruikt om slib van Waterschap Vechtstromen te drogen vóór afzet naar de ENCI in Maastricht.

- Nederlandse transporteurs uit de regio met een vergunning voor de Duitse grensovergang en walking floor transportwagens;
- De afnemende partij OFK/OBK om het slib te drogen;
- De eindverwerker voor de verbranding van het gedroogde slib in Duitsland. Tijdens het opstellen van de EVOA aanvraag, is de positie van OFK/OBK veranderd. OFK/OBK werd zelf verantwoordelijk voor de eindafzet. Bij de EVOA's moest echter ook de eindverwerking (verbranding) met acceptatie-eisen volledig in beeld worden gebracht;
- De Nederlandse Inspectie voor de Leefomgeving en Transport van het ministerie van I&M (toen nog) voor de exportvergunning;
- De Duitse niedersächsische Gesellschaft zur Endablagerung von Sonderabfall MbH voor de importvergunning;
- SCT met inschakelde adviseur voor het maken van de aanvragen van de EVOA's, met het aanleveren van benodigde info, het beantwoorden van vragen, de bankgarantie en het regelen van de sliboverslag, transport en aflevering bij OFK/OBK.

3.2.5 WERKWIJZE

De droogproeven zijn verdeeld over 4 weken. Elke week is er 1 batch van circa 100 ton ontwaterd slib aangevoerd en gedroogd. Het slib voor 1 proef wordt in 4 transporten van 25 ton aangeleverd. Het slib is in principe op de vrijdag voorafgaand aan de proef en op de startdag (maandag) afgeleverd. Het slib wordt in de kas verspreidt met een shovel, waarna de kas dicht gaat. De warmte van de OFK fabriek wordt van maandag middag tot en met zaterdag ochtend aangevoerd. Effectief betekent dit dat er 4,5 tot 5 dagen restwarmte aangevoerd wordt naar de slibdroogkas. Aan het einde van de droogweek (maandagochtend) wordt het slib uit de kas gehaald en afgevoerd naar een eindverwerker in Duitsland (coverbranding).

In de eerste en derde week is er slib van rwzi Garmerwolde aangevoerd de tweede en vierde week slib van rwzi Heerenveen. Beide slibben zijn ontwaterd, het slib van Heerenveen is grotendeels niet vergist, het slib van Garmerwolde is volledig vergist. De geurmetingen zijn uitgevoerd in de derde en de vierde week (ten behoeve van de adaptatie van de compostfilters).

Bij aankomst van de slibtransporten zijn per 25 ton vracht mengmonsters genomen (5 steekmonsters). Per mengmonster zijn drie monsters geanalyseerd, één daarvan door OBK zelf en twee (in duplo) door Al-West in Nederland. In de eerste, tweede en vierde week is daarnaast een tussentijds slibmonster genomen op de 5^e droogdag (vrijdag). Elke week is er ook van het uitgaande slib een mengmonster genomen. De slibmonsters zijn geanalyseerd op droge stof gehalte (%), gloeirest (%) en ammonium door middel van een schudproef (NEN 7349, Al-West). Daarnaast zijn er in de 3^e en 4^e week luchtmonsters genomen terwijl de installatie in bedrijf was, deze zijn geanalyseerd op ammoniumconcentratie, geur en hedonische waarde (Bijlage 4). Het effluent van de gaswasser is 2 maal bemonsterd. Daarnaast zijn verschillende parameters constant door OBK zelf online gemonitord, zoals de warmte en luchttoevoer, elektra verbruik, water temperatuur etc. De gemonitorde parameters zijn opgenomen in Bijlage 1.

3.3 BANDDROGER RWZI EDE

3.3.1 LOCATIEKEUZE

In het project Omzet.Amersfoort ligt de focus op het energieneutraal bedrijven van de rwzi en zelfs energie te leveren aan derden en daarnaast het terugwinnen van grondstoffen, specifiek fosfaat. Tevens is in de procesopzet droging van slib voorzien door middel van de inzet van restwarmte van de WKK's, met als voordelen minder transport (kostenbesparing) en een product te leveren (gedroogd slib) dat geschikt is voor verbranding (energieproductie). Het Waterschap Vallei en Veluwe (WS V&V) heeft voor de uitvoering van dit project een LIFE+ subsidie toegekend gekregen. Voor het drogen van het slib wordt een banddroger ingezet. Deze banddroger is opgesteld op de rwzi Ede omdat realisatie op de rwzi Amersfoort binnen de projecttermijn niet mogelijk bleek. De banddroger is weergegeven in Figuur 3.4. Met deze droger wordt zo'n 5% van de totale slibproductie van WS V&V gedroogd. De installatie heeft een capaciteit van circa $0,2 \text{ MW}_{\text{thermisch}}$ en is de warmte afkomstig van biogas bijstook. Het ontwerp is gebaseerd op een energieverbruik van $0,825 \text{ MWh}_{\text{thermisch}}$ per ton water (circa 3 GJ/ton water) te verdampen.

De banddroger die op de rwzi is geplaatst heeft een capaciteit van 1.000 ton drogestof per jaar.

Op de rwzi Ede wordt slib vergist en ontwaterd van de rwzi's Ede, Renkum, Bennekom en Veenendaal met een totaal van circa 4.700 ton drogestof per jaar. Het slib van de rwzi Bennekom wordt per leiding aangevoerd en bezinkt in de voorbezinktank (van de rwzi Ede).

FIGUUR 3.5

BANDDROGER RWZI EDE

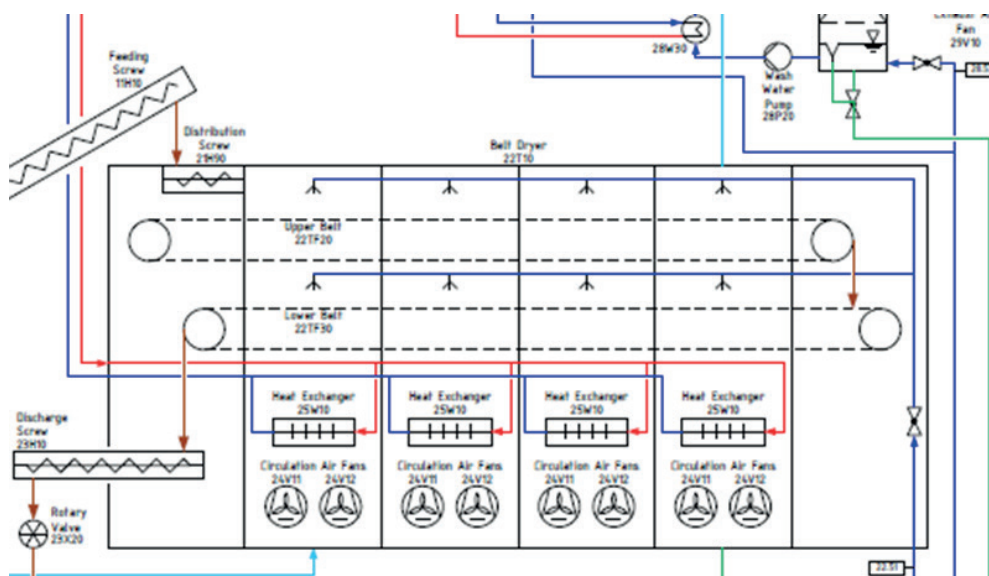


3.3.2 BESCHRIJVING EN KENMERKEN BANDDROGER

Bij deze banddroger wordt het slib continu over een band geleid, waarbij droge (niet met water verzadigde) warme lucht ingebracht wordt. De banddroger bevat twee boven elkaar geplaatste banden, waarbij het slib op de bovenste band wordt ingebracht en vervolgens op de band eronder valt en vanaf de tweede band de droger verlaat (zie Figuur 3.5).

FIGUUR 3.6

DOORSNEDE BANDDROGER



Er zijn droogresultaten mogelijk van 60 – 90 % droge stof. De lucht wordt verticaal door de banden geblazen zodat de lucht door het slib stroomt om de verdamping te maximaliseren. De temperatuur van de verwarmde lucht en de relatieve luchtvochtigheid bepalen hoeveel water kan worden verdampt en dus hoeveel lucht ingebracht moet worden. Daarnaast is het specifiek oppervlak van het opgebrachte slib (de toevoer in kg/uur) van belang, dit hangt onder meer af van de wijze waarop het slib op de band wordt gebracht. De uittredende warme lucht wordt door een (lucht)warmtewisselaar (recuperator) geleid om de koude buitenlucht voor te verwarmen.

Droging bij lage temperaturen is met banddrogers goed mogelijk, maar het vereist wel grote volumes warme lucht. Omdat bij slibdrogen een luchtbehandeling noodzakelijk is, zal deze bij lage temperaturen daarmee ook (veel) groter uitgevoerd moeten worden, evenals het apparaat zelf.

De mate van waterverzadiging van de ingebrachte lucht speelt ook een rol bij de verdampings-snelheid. Hoe heter en hoe droger de lucht, des te sneller de verdamping en dus des te kleiner de machine. De toevoer naar de banddroger is afhankelijk van het temperatuurverschil tussen lucht naar en uit de droger. Hoe groter het verschil hoe meer slib naar de banddroger gevoerd kan worden.

De uitgangspunten voor het ontwerp van de banddroger op de rwzi Ede zijn:

- Drogen van ontwaterd slib met 23-27% droge stof;
- Capaciteit 0,2 MW thermische energie;
- Het ontwaterd slib bevat 700-1.000 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ in de vloeistoffase;
- Warmtebron is biogas met een methaan concentratie van 56-61% (hiervoor is gekozen omdat geen restwarmte beschikbaar was in de nabijheid van de rwzi Ede);
- De concentratie aan H_2S in het biogas is 175-425 mg/l;
- Toevoer aan ontwaterd slib is circa 1.000 ton droge stof per jaar;
- 450 kg ontwaterd slib per uur;
- Drogen tot minimaal 90% drogestof;
- Het door biogas verwarmde water voor de luchtverwarming heeft een temperatuur van 70-95 °C;
- De geuremissie moet minder dan 5×10^6 GE/u zijn.

3.3.3 ONDERZOEKSVRAGEN EN WERKWIJZE

Ten aanzien van het onderzoek naar de werking en prestatie van de banddroger zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

- Wat is het maximaal haalbare droge stof gehalte van het gedroogde slib. Als doelstelling geldt 90% ds;
- Hoe ziet de energiebalans er uit, om te kunnen vaststellen hoeveel slib kan worden gedroogd met een beschikbare hoeveelheid restwarmte, uitgedrukt in MWh/ton verdampt water;
- Wat is de kwaliteit van het gedroogde product in verband met de afzet naar een eindverwerker;
- Wat is de luchtkwaliteit (geur) na behandeling in de gaswasser (scrubber).

Verder zal het onderzoek meer inzicht moeten opleveren aangaande bedrijfsvoeringaspecten zoals inspanningen voor bediening, onderhoud en storingsgevoeligheid.

De metingen en monsternamenpunten zijn opgenomen in Bijlage 3.

4

RESULTATEN SLIBDROGING

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de droging met de kassen (paragraaf 4.2) en de banddroger (paragraaf 4.3) weergegeven. In paragraaf 4.4 worden de resultaten met elkaar vergeleken.

De vragen die o.a. moeten worden beantwoord. Hoe goed droogt het Nederlandse slib, tot welk drogestofgehalte, hoeveel restwarmte en elektriciteit is daarvoor benodigd? Vindt er nog afbraak van drogestof plaats, wat is de geuremissie, hoeveel ammonium bevindt zich in het retourwater naar de rwzi? Zijn er nog verschillen tussen de slibben (vergist en niet vergist) ?

4.2 SLIBDROOGKASSEN

4.2.1 INLEIDING

De meetresultaten van OFK/Thermo System zijn weergegeven in Bijlage 6. De ruwe meetresultaten met de gemeten waarden die door Al-West zijn bepaald, zijn weergegeven in Bijlage 7. Het betreft alle meetdata, zowel drogestof, gloei-rest, NH_4 , pH, etc. De resultaten die beschreven worden in de volgende paragrafen, zijn grotendeels gebaseerd op de Al-West analyses. Alleen de gegevens van de weegbrug (tonnages) en de info over hoeveelheden thermische en elektrische energie zijn afkomstig uit het data-acquisitiesysteem van OBK/Thermo System.

4.2.2 DROOGPRESTATIES

In Tabel 4.1 zijn de metingen weergegeven voor de aan- en afvoer van ontwaterd en gedroogd slib met de bijbehorende droge-stofconcentraties en de hoeveelheid verdampt water. Ook is het drogestofgehalte na 5 dagen drogen gemeten. Ter vergelijking zijn ook de jaartotalen weergegeven voor de kassendrooginstallatie van OBK van 2016.

TABEL 4.1 RESULTATEN SLIBDROGEN IN KASSEN (INCLUSIEF JAARTOTALEN OBK)

Batch	ds in	ds 5 dagen	ds uit	Slib in	ds in	Slib uit	Verdampt H_2O
	%	%	%	ton	ton	ton	ton
1 Garmerwolde	26	42	70	99	26	37	62
2 Heerenveen *	21	61	86	102	21	23	79
3 Garmerwolde	25	42	65	102	26	38	64
4 Heerenveen *	22	53	75	103	22	29	74
OBK 2016	23		68	40.000.000	9.000.000	14.121.000	25.879.000

* mengsel van slibben waardoor de eerste batch van Heerenveen mogelijk afweek van de tweede batch en daardoor een ander droogresultaat opleverde (variërend aandeel primair slib, spuislub en vergist slib)

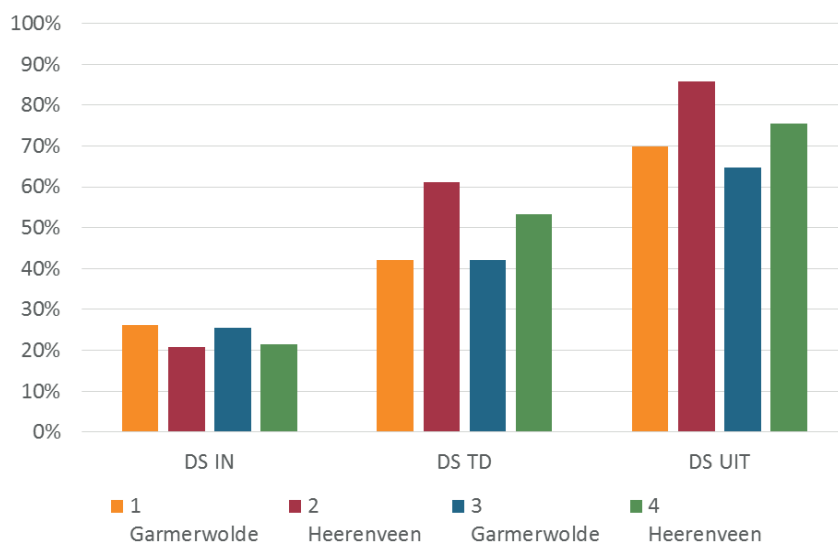
Wat opvalt, is dat het ingaande drogestofpercentage van gedeeltelijk onvergist slib uit Heerenveen lager is dan vergist slib uit Garmerwolde, maar het percentage drogestof van het gedroogde slib juist hoger. Het slib van Heerenveen lijkt dus beter te drogen¹¹.

De droogperiode startte op maandag, op vrijdag zijn er tussentijds (tijdens droging) monsters genomen om het verloop van het droogproces te bepalen. De maandag daarop is het gedroogde slib afgevoerd. Vanaf zaterdagmiddag wordt er geen restwarmte meer aangevoerd omdat de OFK fabriek dan stil ligt. Op maandagmiddag is er weer restwarmte beschikbaar. Dus voor een deel van het weekend wordt alleen gedroogd met zonnewarmte.

In Figuur 4.1 zijn de drogestofgehalten zoals opgenomen in Tabel 4.1 gevisualiseerd. In de figuur is te zien dat het drogestofgehalte van het slib gedurende het droogproces sterk toeneemt. Na 5 dagen (ds TD) ligt het droge-stofgehalte tussen de 42 % en 61 % en na 7 dagen bedraagt het droge-stofgehalte 65 % tot 86 %. Gemiddeld is op Nederlands slib een drogestofgehalte van circa 75 % gerealiseerd. Het jaargemiddelde drogestofgehalte van kassendroging OBK Kampe bedraagt 67,5 %. Dit kan worden verklaard doordat OBK batches van **130 ton slibkoek per week** droogt in één compartiment terwijl er tijdens deze test batches van 'slechts' **100 ton per week** gedroogd zijn. Dit heeft te maken met de laagdikte. Met het aanwezige oppervlak van 896 m² per compartiment en een slibdichtheid van 1,1 ton/m³ is bij de testen een laagdikte van 10 cm aanwezig geweest. In de praktijk is maximaal 13 cm mogelijk. In hetzelfde tijdsbestek van 7 dagen, is het haalbare ds percentage bij 13 cm laagdikte dus minder dan bij 10 cm.

FIGUUR 4.1

DROGESTOFCONCENTRATIES ONTWATERD SLIB (DS IN), TIJDENS DROGING (DS TD) EN GEDROOGD SLIB (DS UIT)

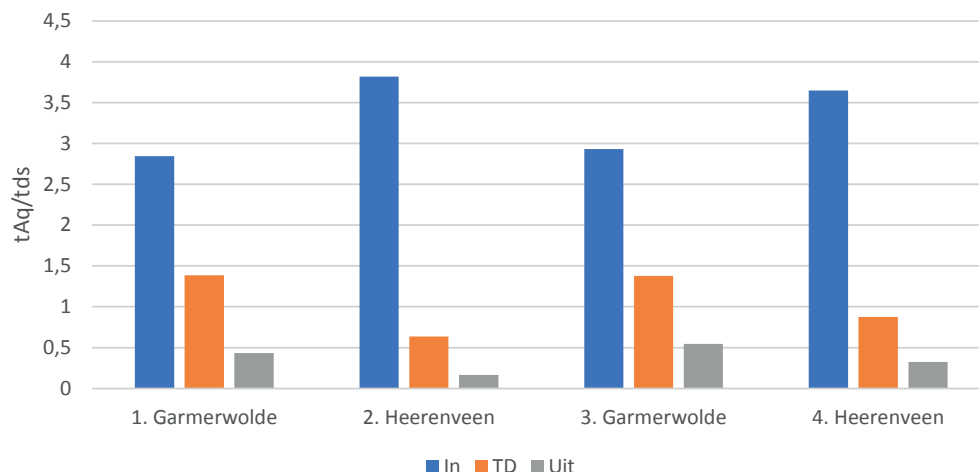


Om meer inzicht te geven in de volumereductie van het slib ten gevolge van verdamping is in Figuur 4.2 het watergehalte per ton drogestof ($= tAq/tds (1/(\%ds)-1)$) berekend voor de in Figuur 4.1 opgenomen drogestofgehalten. Te zien is dat de factor sterk afneemt gedurende het droogproces.

11 Volgens Thermo System zijn er geen aanwijzingen dat er (grote) verschillen tussen de droogsituaties zijn opgetreden.

FIGUUR 4.2

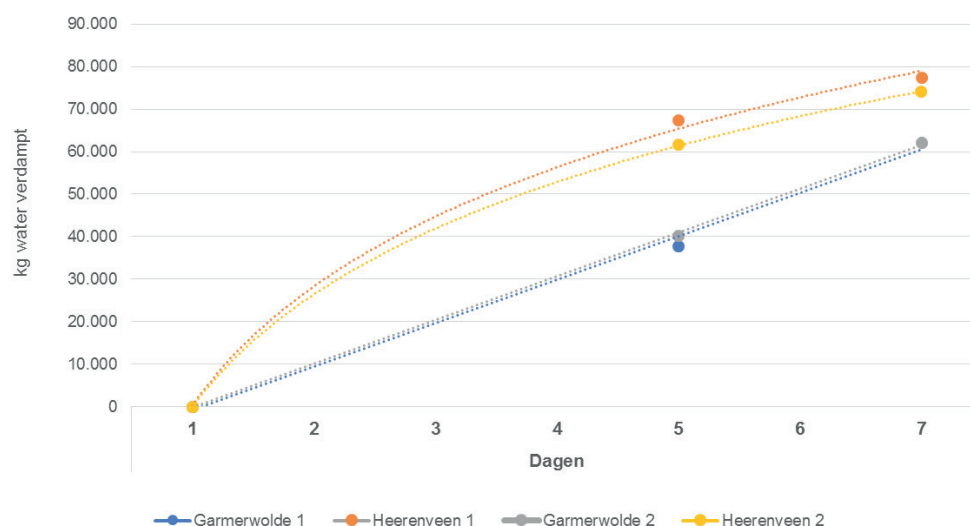
AANDEEL WATER TEN OPZICHTE VAN AANDEEL DROGESTOF (TAQ/TDS)



Een andere manier om te kijken naar het slibdroogproces is vanuit de hoeveelheid waterverdamming per dag. Aan de hand van de resultaten in Tabel 4.1 is in Figuur 4.3 de waterverdamming gedurende de droogperiode weergegeven.

FIGUUR 4.3

WATERVERDAMPING NA 5 DAGEN EN 7 DAGEN

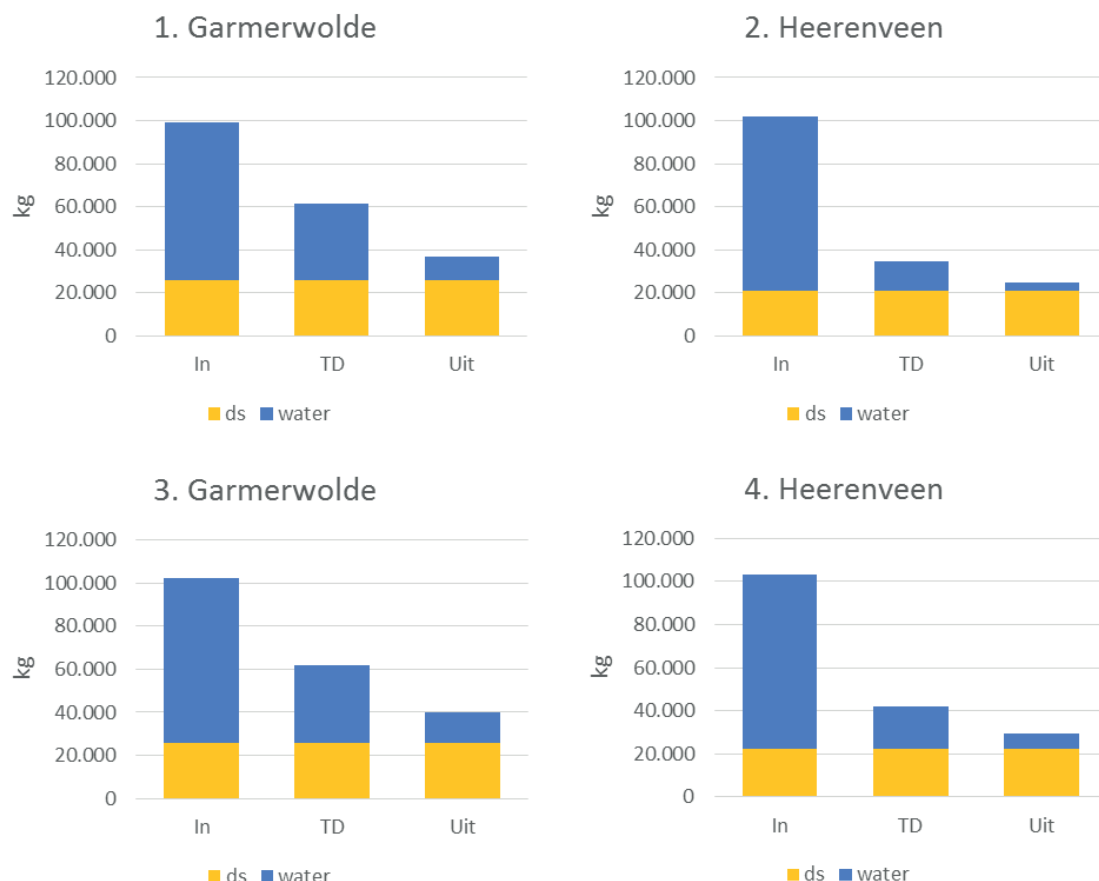


Wat opvalt in Figuur 4.3 is dat de waterverdamming van het slib van Garmerwolde volledig lineair verloopt, terwijl de waterverdamming van het slib van Heerenveen in het begin snel verloopt en vervolgens bij hogere drogestofgehalten afvlakt.

In Figuur 4.4 is voor de 4 slibbatches te zien hoe de hoeveelheid water (bij gelijk blijvend aandeel drogestof) afneemt. De blauwe kolom vertegenwoordigt het aandeel water in het slib en de gele kolom het aandeel drogestof. Te zien is dat het aandeel water tussen dag 1 en dag 5 sterk gereduceerd wordt. Wat opvalt is dat het aandeel water bij de batches van Heerenveen sneller daalt dan bij de batches uit Garmerwolde.

FIGUUR 4.4

AFNEMENDE HOEEVEELHEID WATER BIJ GELIJKBLIJVENDE DROGESTOF PER BATCH SLIB



Op basis van Figuur 4.4 is per slibbatch de reductie van het watervolume berekend. Het aandeel water is bij het slib van Garmerwolde met een factor 5,5 tot 6,5 verkleind, terwijl het aandeel water bij het Heerenveen slib met een factor 11 tot 25 gereduceerd is. In Bijlage 6 wordt deze berekening verder toegelicht. Hierbij moet ook worden meegenomen, dat het slib van Garmerwolde droger de cyclus ingaat. Dat verklaart echter niet het eindresultaat. Een verklaring zouden morfologische verschillen met een andere porositeit kunnen zijn. Het slib van Garmerwolde bestaat uit kleinere brokken en ligt “compact” op de vloer dan het slib van Heerenveen. Mogelijk is er daardoor minder overdracht aan de bovenliggende lucht mogelijk (diffusie limiterende omstandigheden).

4.2.3 SLIBAFBRAAK VOOR EN NA DROGEN

Een belangrijke vraag is of het slib tijdens drogen afbreekt of niet. In Bijlage 6 blijkt op basis van de metingen van Thermo System/OBK dat er een gat in de balans is van 10-20 %, beide kanten op. Dat lijkt meer te wijten aan een meeton nauwkeurigheid dan slibafbraak.

Dezelfde droge stofbalans is ook gemaakt met de laboratorium analyses (die in duplo zijn uitgevoerd), zie Tabel 4.2.

TABEL 4.2

DROGESTOFBALANS VOOR EN NA DROGEN

batch	gemeten % ds in	berekend ton ds in	gemeten % ds uit	berekend ton ds uit	gat in balans ton ds
1 Garmerwolde	26,1	25,8	69,9	25,8	-0,1
2 Heerenveen	20,8	21,2	85,9	19,8	1,4
3 Garmerwolde	25,4	26,0	64,7	24,4	1,6
4 Heerenveen	21,5	22,3	75,4	21,9	0,3

Uit de laboratorium meetwaarden en berekeningen blijkt een afwijking van 0 tot 5 %. Echter als we kijken naar het organisch drogestofgehalte, zie Tabel 4.3 dan is er nauwelijks een verschil zichtbaar. De eerste twee batches viel het aandeel ods na droging iets hoger uit (wat in principe niet mogelijk is) terwijl het aandeel ods na droging in de laatste twee batches iets lager uitviel. De hypothese is dat de beperkte variaties in ods gehalte veroorzaakt zijn door meet onnauwkeurigheden en dat er geen sprake is van slibafbraak gedurende het droogproces.

TABEL 4.3

ORGANISCH DROGESTOFGEHALTE VOOR EN NA DROGEN

Batch	ods in %	ods uit %
1 Garmerwolde	58,6	61,4
2 Heerenveen	63,7	64,7
3 Garmerwolde	59,9	59,8
4 Heerenveen	65,7	62,8

Intermezzo gloeirestbepaling. Voor de volledigheid is op deze plaats nog een kanttekening opgenomen. Het ods gehalte is bepaald via de gloeirestbepaling (gebruikelijk). Bij deze bepaling verdwijnt ammonium en kristalwater én worden ijzer en zwavel geoxideerd. Daarmee wordt het ods gehalte altijd iets te laag ingeschat. Het kan niet worden uitgesloten dat door slibdroging de oxidatie van zwavel en ijzer voor een deel al heeft plaatsgevonden. In dat geval is de “onderschatting” bij ontwaterd slib groter dan bij gedroogd slib. Ondanks het feit dat via de gloeirestbepaling geen verschil in ods tussen ontwaterd en gedroogd slib wordt gevonden, kan er dan toch een stukje slib biologisch zijn afgebroken. Een TOC bepaling zou hierover meer uitsluitsel kunnen geven. Vooralsnog wordt ingeschat dat dit effect klein is.

4.2.4 SPECIFIEKE DROOGPRESTATIES

De thermische energie voor het drogen in de kassen is afkomstig van OBK en gebaseerd op temperatuurmetingen in de toevoer van het warme water naar de slibdroogkassen. Dit betreft de totale aanvoer aan thermische energie en deze wordt verdeeld over de 6 droogstraten. Het totaal aan toegevoerde thermische energie is gedeeld door 6 om de warmtevraag per batch te bepalen. Mogelijk is dit een worst-case benadering en vindt er in de compartimenten waar 130 ton per week gedroogd wordt een grotere warmte overdracht/toevoer plaats. Als de ventilatoren op het gewenste kastemperatuurverloop geregeld worden, kan het zijn dat door aan/uitschakeling van de ventilatoren minder warmte naar de testkas toegevoerd wordt. Dit zou voor Garmerwolde een versterkende effect kunnen hebben, omdat het koekds gehalte hoger is dan de bulk in de kas. Er wordt minder elektra en warmte verbruikt, maar wel gemiddeld toebedeeld. Dit kan met de beschikbare gegevens echter niet worden vastgesteld (volgens Thermo System kan dit zelfs met alle sensor- en meetdata niet exact worden berekend).

Het totale thermische en elektrische energieverbruik van de slibdroogkassen in Tabel 4.4 is tevens uitgedrukt als specifiek verbruik in $MWh_{\text{thermisch}}$ en $MWh_{\text{elektrisch}}$ per ton verdampt water. Naast de gemeten waarden voor elke batch is ook het gemiddelde gegeven en het jaargemiddelde voor OBK. Het thermische energieverbruik van de eerste batch ($1,58 MWh_{\text{thermisch}}$ per ton water verdampt) lijkt een uitbijter naar boven te zijn, de tweede batch ($1,05 MWh_{\text{thermisch}}$ per ton water verdampt) lijkt een uitbijter naar beneden¹².

TABEL 4.4

ENERGIEVERBRUIK KASSENDROGING

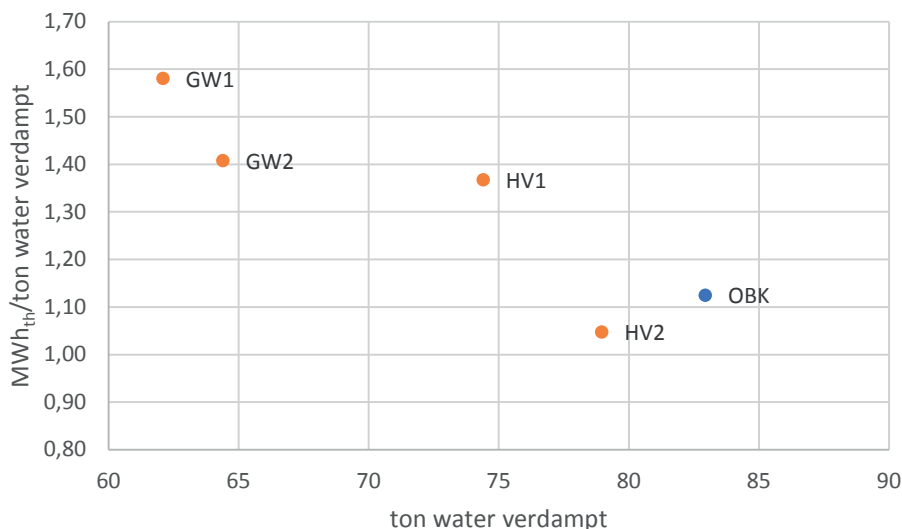
Batch	Verdampt H ₂ O ton	Thermische energie		Elektrische energie	
		MWh_{th}	$MWh_{\text{th}}/\text{ton H}_2\text{O}$	MWh_e	$MWh_e/\text{ton H}_2\text{O}$
1 Garmerwolde (100 ton slibkoek)	62	98	1,58	4,7	0,076
2 Heerenveen (100 ton slibkoek)	79	83	1,05	4,9	0,062
3 Garmerwolde (100 ton slibkoek)	64	91	1,41	4,8	0,074
4 Heerenveen (100 ton slibkoek)	74	102	1,37	4,8	0,065
Gemiddelde 4 batches			1,35		0,069
OBK (jaartotaal)	25.879.000	29.100.000	1,12	1.241.000	0,048

In Bijlage 6 zijn de meetresultaten van Thermo System opgenomen. Deze liggen heel dicht bij de resultaten in dit hoofdstuk. Thermo System heeft nog vermeld, dat in het elektriciteitsverbruik ook nog een warmtepomp en de compostfilters zijn opgenomen. Exclusief deze post zou er nog $0,02 MWh/\text{ton H}_2\text{O}$ van de gemeten waarde van de elektrische energie afgetrokken moeten worden.

In Figuur 4.5 is het specifieke warmteverbruik per kg water verdampt uitgezet tegen de absolute hoeveelheid verdampt water. De gele stippen betreffen de 4 batches van 100 ton Nederlands slib terwijl de rode stip het specifieke warmteverbruik van OBK betreft (jaartotaal). OBK droogt 130 ton slibkoek per batch.

FIGUUR 4.5

RELATIE WATERVERDAMPING PER WEEK EN SPECIFIEK THERMISCH ENERGIEVERBRUIK BATCHES NEDERLANDS SLIB EN OBK JAARGEMIDDELD



12 Het kan niet worden uitgesloten, dat er voor de uitbijters enige invloed is van logistieke verschillen van aanvoer uit Nederland, zie bijlage 6. Het laden en lossen en het transport kostte in het begin meer tijd en aandacht dan verwacht. De eerste vrachten van 25 ton zijn aangevoerd op vrijdag 13 nov, zaterdag 14 nov en maandag 16 nov. De eerste twee vrachten zijn al in het compartiment gebracht. De vrachten van de tweede batch zijn aangevoerd op donderdag 19 nov, vrijdag 20 nov en maandag 23 nov. De andere twee batches zijn op vrijdag en maandag aangeleverd. De slibben van de 2^e, 3^e en 4^e batch zijn opgeslagen op een berg in de tussenruimte. Het echte droogproces begint maandagmiddag. De slibben zijn in die tussentijd niet van warmte voorzien.

Uit de in deze paragraaf opgenomen resultaten zijn de volgende opvallende zaken af te leiden:

1. Gedeeltelijk onvergist slib van Heerenveen droogt beter dan vergist slib van Garmerwolde;
2. Dit wordt niet veroorzaakt door een hoger droge-stofgehalte in het begin, het start drogestofgehalte van het Heerenveen slib is zelfs lager dan het slib van Garmerwolde;
3. De droogcurve van het Garmerwolde slib is een rechte lijn, van het Heerenveen slib meer een logaritme, waarbij vooral in de eerste periode de slibdroging sneller gaat, waarbij vervolgens afvlakking optreedt;
4. De droge-stofgehalten van het gedroogde Nederlands slib zijn over het algemeen hoger dan gemiddeld voor OBK; dit is niet verwonderlijk omdat OBK in een week 130 ton slibkoek per compartiment droogt terwijl er in het geval van het Nederlandse slib 100 ton slibkoek gedroogd is;
5. Het specifieke warmteverbruik (Figuur 4.5) en specifieke elektriciteitsverbruik (Bijlage 6) blijkt af te nemen bij een grotere hoeveelheid verdampt water. Bij meer water loopt de verdamping dus efficiënter.

Punt 4 en 5 kunnen waarschijnlijk verklaard worden doordat er meer warmte in het droogcompartiment wordt ingebracht dan nodig. Namelijk het volledige overschot aan thermische energie van OFK wordt naar de kassendroger gebracht. De afstemming op de warmtebehoefte via de regeling van de ventilatoren is dus beperkt. Bovendien blijkt in de praktijk dat OBK gemiddeld 130 ton slibkoek per week per compartiment droogt, terwijl tijdens de praktijktest met Nederlands slib 100 ton slibkoek per compartiment gedroogd is. Op basis van de jaargegevens van OBK komt dit uit op een gemiddelde sliblaagdikte van 13-15 cm in de droogcompartimenten en voor de praktijkproeven lag dit rond de 10 cm. Dit zal een verklaring zijn voor punt 4 dat we bij de meeste batches hoger uitkomen dan OFK/OBK zelf en voor punt 5, dat het nattere slib van Heerenveen het beter doet qua specifieke warmte benutting, omdat de aanwezige warmte “meer kan doen”.

Dit geeft aan dat in de praktijk de belasting van dit systeem goed moet worden afgestemd op de hoeveelheid te verdampen water en dus ook de hoeveelheid slib dat in de droogstraat wordt gebracht. Dit is ook wel logisch. Het is energetisch gezien onvoordelig om minder slib in te brengen omdat dan in feite meer energie wordt ingebracht dan nodig is. Deze kan dan niet automatisch benut worden om het slib droger te maken. Zeker als voor de restwarmte moet worden betaald, zal de bedrijfsvoering hierop afgestemd moeten worden, tenzij via een regeling de warmtetoevoer kan worden afgestemd op de hoeveelheid slib (anders moet je het regelen via de hoeveelheid slib)¹³.

Hieruit zouden we (voorzichtig) kunnen concluderen dat bij een goede afstemming van hoeveelheid slib en warmte het specifieke energieverbruik (bij 85°C) eerder in de buurt zal liggen van de door OBK zelf gemiddeld bepaalde waarde van 1,1 MWh/ton H₂O voor warmte (dat is dus circa 4 GJ/ton H₂O) dan de door onszelf berekende gemiddelde waarde van 1,35 MWh/ton H₂O (circa 5 GJ/ton H₂O).

De constatering 1,2 en 3 waarbij gedeeltelijk onvergist slib van Heerenveen aanzienlijk beter lijkt te drogen, is nog geen eenduidige verklaring voor. Dat in de eerste dagen er meer gebeurt door een betere benutting van de warmte (er valt ook meer te verdampen) verklaart nog niet dat het eind drogestofgehalte significant hoger is dan bij het slib van Garmerwolde. Een verklaring zouden morfologische verschillen met een andere porositeit

13 Bij OBK is het doel zoveel mogelijk warmte af te zetten. Daarom is er geen fijnafstemming tussen slibaanbod en warmtetoevoer. Bij een slibdrooginstallatie op een andere locatie is maatwerk mogelijk (en nodig).

kunnen zijn. Het slib van Garmerwolde bestaat uit kleinere brokken en ligt “compacter” op de vloer dan het slib van Heerenveen. Mogelijk is er daardoor minder overdracht aan de bovenliggende lucht mogelijk (diffusie limiterende omstandigheden). Omdat de lucht van bovenaf op het slib wordt geblazen, is een dergelijke kas wellicht gevoeliger voor deze verschillen dan een systeem waarbij de lucht door het slib heen wordt geblazen, zoals bij een banddroger.

4.2.5 SEIZOENEFFECTEN: INVLOED ZON, TEMPERATUUR EN RELATIEVE VOCHTIGHEID

Naast restwarmte levert ook de zon een bijdrage aan de droging van het slib, zie ook paragraaf 3.2.3. Uit de beschikbare gegevens in Bijlage 6 en Tabel 4.5 blijkt dat de bijdrage van zonnepwarmte tijdens deze praktijkproeven zeer gering is geweest met gemiddelde van 5,6%.

De invloed van zonnepwarmte is echter sterk afhankelijk van het seizoen. Gemiddeld over een jaar bedraagt de bijdrage van zonnepwarmte circa 15% (info Thermo System).

TABEL 4.5

AANDEEL ZONNEWARMTE

Batch	Testperiode	Restwarmte MW	Zon MW	Aandeel zon
Garmerwolde 1	16 –10 tot 23-10	0,63	0,045	7,1%
Heerenveen 1	23 –10 tot 30-10	0,53	0,036	6,8%
Garmerwolde 2	30–10 tot 6-11	0,58	0,030	5,2%
Heerenveen 2	6 –11 tot 13-11	0,65	0,022	3,4%
Gemiddelde				5,6%

4.2.6 WERKING COMPOSTFILTERS

Er is een uitgebreid geuronderzoek uitgevoerd bij batch 3 en 4, dus zowel het slib van Garmerwolde (geurarm) als van Heerenveen (geurrijk). Het volledige geurrapport is opgenomen in Bijlage 4. In deze paragraaf worden de belangrijkste conclusies besproken. Uit Tabel 4.6 en Tabel 4.7 komt naar voren, dat de verwijdering van de geureenheden door het biofilter laag is. In de metingen van batch 3 zijn er meer geureenheden aan de uitgaande zijde van het biofilter gemeten dan aan de ingaande zijde. Dit zou te maken kunnen hebben met het feit dat het biofiltermateriaal bijna aan vervanging toe is (bleek later uit info OBK). Het biofilter heeft wel een positief effect op de geurbeleving (o.b.v. hedonische waarde).

Dat vergist slib van Garmerwolde een fors lagere geuremissie heeft dan gedeeltelijk onvergist slib van Heerenveen was bekend vanuit beheer aan de waterschappen en blijkt ook uit de metingen.

TABEL 4.6

LUCHT EMISSIEMETINGEN RESULTATEN BATCH 3 (SLIB GARMERWOLDE)

Component	Eenheid	Woensdag week 3	Donderdag week 3
Geur ingaande zijde	ouE/m ³	1.400 – 1.800	3.200 – 3.900
Geur uitgaande zijde	ouE/m ³	2.300 – 2.900	3.400 – 4.000
Hedonische waarde ingaande zijde H = -1	ouE/m ³	0,9 – 1,9	1,2 – 1,5
Hedonische waarde uitgaande zijde H = -1	ouE/m ³	2,1 – 3,3	2,6 – 4,3
Ammoniak ingaande zijde	mg/Nm ³	5 - 10	8 – 9
Ammoniak uitgaande zijde	mg/Nm ³	<1	<1

Het lijkt erop dat de compostfilters suboptimaal functioneren. Het valt ook niet uit te sluiten dat er beïnvloeding is geweest van de naburige compartimenten. Helaas is het haalbare rendement dus niet bekend. Het biofilter heeft een positief effect op de geurbeleving (op basis van

hedonische waarde). De concentraties aan geureenheden waarbij de geur als “licht onaangenaam” wordt beschouwd ($H=1$) nemen licht toe, dus de geur wordt minder onaangenaam.

TABEL 4.7 LUCHT EMISSIEMETINGEN RESULTATEN BATCH 4 (HEERENVEEN)

Component	Eenheid	Dinsdag week 4	Donderdag week 4
Geur ingaande zijde	ouE/m ³	26.000 – 54.000	10.000
Geur uitgaande zijde	ouE/m ³	12.000 – 22.000	5.800 – 11.000
Hedonische waarde ingaande zijde $H = -1$	ouE/m ³	1,1 – 1,5	1,9 – 2,5
Hedonische waarde uitgaande zijde $H = -1$	ouE/m ³	2,3 – 2,4	2,9 – 3,1
Ammoniak ingaande zijde	mg/Nm ³	68 – 92	57 – 61
Ammoniak uitgaande zijde	mg/Nm ³	1	1

Daarnaast zorgt de combinatie gaswasser (alleen water, zonder chemicaliën) en biofilter voor een goede ammoniakverwijdering. In batch 3 was de ammoniakconcentratie vóór de gaswasser en het biofilter 8-10 mg/Nm³ en na het biofilter <1 mg/Nm³. In batch 4 was de ammoniakconcentratie vóór de gaswasser en het biofilter 57-92 mg/Nm³ en na het biofilter 1 mg/Nm³.

Uit deze metingen komt naar voren dat de NH₃ concentratie na het biofilter (<1 mg/Nm³) bedraagt waardoor de wekelijkse stikstofuitstoot via de ventilatielucht bij een ventilatie van 60.000 m³/h (per compartiment) onder de 10 kg N/week ligt. Dat is gunstig voor de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) in het gebied waar de slibdroging plaatsvindt.

4.2.7 AMMONIUMBALANS

Er is getracht een ammoniumbalans op te stellen over de batch testen door het ammoniumgehalte te bepalen in het aanhangende water van het ingaande slib en gedroogde slib (Bijlage 5). Uit de analyseresultaten komt geen eenduidig beeld naar voren. De berekende ammoniumvrucht in het uitgaande slib was drie van de vier metingen hoger dan de ingaande vrucht. Dat is niet logisch omdat een deel van de ammonium vrij komt als ammoniak. Mogelijk is dit veroorzaakt door grote verschillen per monster (meer homogenisatie nodig ?).

De ammoniak wordt vervolgens in de gaswasser en/of het biofilter afgevangen.

Verder is de hoeveelheid NH₄-N in het retourwater (o.a. waswater van de gaswasser) bepaald, zie Tabel 4.8.

TABEL 4.8 ANALYSES RETOURWATER GASWASSER

Datum	N-Kj (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	CZV (mg/l)
2 nov 2017	104	96	170
9 nov 2017	284	260	270

Het wekelijkse debiet aan retourwater bedraagt circa 23 m³/week (schatting OFK). Er zijn twee metingen van het waswater uitgevoerd: 96 en 260 mg/l NH₄-N. Dat is ongeveer tussen de 2 en 6 kg/week. Uitgaande van de N vrachten in het aanhangende water van 80-200 kg/week gaat er ongeveer 2 tot 3 % van de ingaande stikstof vrucht weg via het retourwater.

In paragraaf 4.2.6 zijn ook meetresultaten weergegeven van NH₄-N in de afgezogen lucht. In de lucht van slib van Garmerwolde is vóór gaswasser en biofilter tussen 5 en 10 mg/Nm³ gemeten, bij het slib van Heerenveen 57-92 mg/Nm³. Het blijkt echter niet mogelijk om deze

hoeveelheden in overeenstemming te brengen met de stikstofvrachten in Bijlage 5. Met 60.000 Nm³/h is de uurvracht van Garmerwolde en Heerenveen respectievelijk 0,5 kg N/h tot 5 kg N/h. Dit lijken significante vrachten te zijn. Omdat de geurmetingen steekmonsters betreffen kunnen er echter geen exacte weekvrachten bepaald worden. In het geval van Heerenveen is een emissie van enkele honderden kilo's NH₄-N per week aannemelijk (bijvoorbeeld 500 kg/week). Dit komt niet overeen met de stikstofbalans in bijlage 5 waar in drie van de vier gevallen een hogere vracht ammonium in het uitgaande slib gemeten wordt.

Er zijn een aantal mogelijke verklaringen die apart of samen een rol kunnen hebben gespeeld:

- Lagere luchtinbrengdebieten tijdens de metingen. Hiervoor zijn echter geen aanwijzingen;
- Verschillend uitlooggedrag van ontwaterd en gedroogd slib. De schudproeven volgens NEN 7349 zijn bedoeld voor bodemonsters. Het kan niet worden uitgesloten dat de uitloging in ontwaterd slib moeilijker gaat dan in gedroogd slib, waardoor het ontbrekende gat in de balans zou kunnen worden verklaard. In bijlage 5 zijn ook de pH's uit de eluaten weergegeven. Deze geven geen nieuwe inzichten;
- Een significante afbraak van slib, zoals bij de slibcompostering is niet waarschijnlijk. Bij slibcompostering neemt het asrestgehalte af van 65 % naar 50 % (inclusief de toeslagstof hout), terwijl we hier gemiddeld gelijk blijven (voor 62,0 %, na 62,3 %). De eventuele afwijking wegens systematische fouten in de gloeirestbepaling (zie intermezzo op pagina 28) kan zo'n grote emissie van ammoniak niet verklaren. Aangezien slib doorgaans 6 % stikstof bevat, zouden de emissies van 500 kg N per week voor Heerenveen overeenkomen met een afbraak van 8 ton ods op een totaal van 25 ton ds. Dat klopt niet met tabel 4.3;
- Omzetting van organisch gebonden stikstof vanuit het slib naar ammonium, door morfologische veranderingen in het slib.

In ieder geval zijn de NH₄-N waarden uit het biofilter en na wassing en het biofilter < 1 mg/Nm³. Dat is 0,06 kg N/h. Op weekbasis is dit 0,06*24*7 = 10 kg N/week. Vooralsnog lijken de stikstofemissies daarom geen issue te zijn. Na behandeling van de ventilatielucht in een wasser en een compostfilter resteert een zeer beperkte ammoniak emissie via de ventilatielucht. Dat is gunstig voor de PAS-regelgeving.

4.2.8 OVERIGE BEVINDINGEN EN LEEMTEN IN KENNIS

De invloed van zonnewarmte was tijdens de praktijkproeven met circa 5,6% beperkt. In de zomer zal bij een gelijke hoeveelheid restwarmte een betere droging gerealiseerd worden omdat de zon dan een bijdrage tot wel 30% aan thermische energie kan leveren. Ook de hogere temperatuur (ondanks het hogere vochtgehalte van de lucht) heeft een positief effect op het functioneren van de kassen in de zomer.

Er is nog geen zekere verklaring voorhanden waarom het slib van Heerenveen (gedeeltelijk onvergist) beter droogt dan het slib van Garmerwolde (vergist slib). Een verklaring zouden morfologische verschillen met een andere porositeit kunnen zijn. Het slib van Garmerwolde bestaat uit kleinere brokken en ligt "compacter" op de vloer dan het slib van Heerenveen. Mogelijk is er daardoor minder overdracht aan de bovenliggende lucht mogelijk (diffusie limiterende omstandigheden).

De geurmissie is significant, helaas is niet bekend hoe effectief de compostfilters (kunnen) zijn in de geurbehandeling omdat ze tijdens de test niet goed hebben gewerkt. De hedonische waarde wordt beter.

Het is niet mogelijk gebleken een sluitende ammoniumbalans op te stellen over de batches gedroogd slib. Als biologische afbraak een rol speelt, zal deze bijdrage (zeer) klein zijn. Ondanks dat lijkt er toch flink wat NH_3 in de afgezogen lucht vrij te komen. Er zijn enkele hypothesen, maar een sluitende verklaring ontbreekt vooralsnog. Na de wasser en compost-filters zit er bijna geen ammoniak meer in de lucht. Dat is gunstig voor de PAS-regelgeving.

4.3 BANDDROGER RWZI EDE

4.3.1 INLEIDING

In de beginperiode van de monitoring verliep de overdracht van de meetgegevens van de installatie naar Z-info van het waterschap niet vlekkeloos. Vanaf 1 april 2017 is er sprake van betrouwbare gegevens. De resultaten die in dit hoofdstuk worden gepresenteerd en besproken betreffen de periode 1 april 2017 t/m 6 december 2017.

4.3.2 DROOGPRESTATIES

In onderstaande Tabel 4.9 zijn de resultaten voor een aantal metingen en analyses samengevat weergegeven.

TABEL 4.9 RESULTATEN METINGEN EN ANALYSES

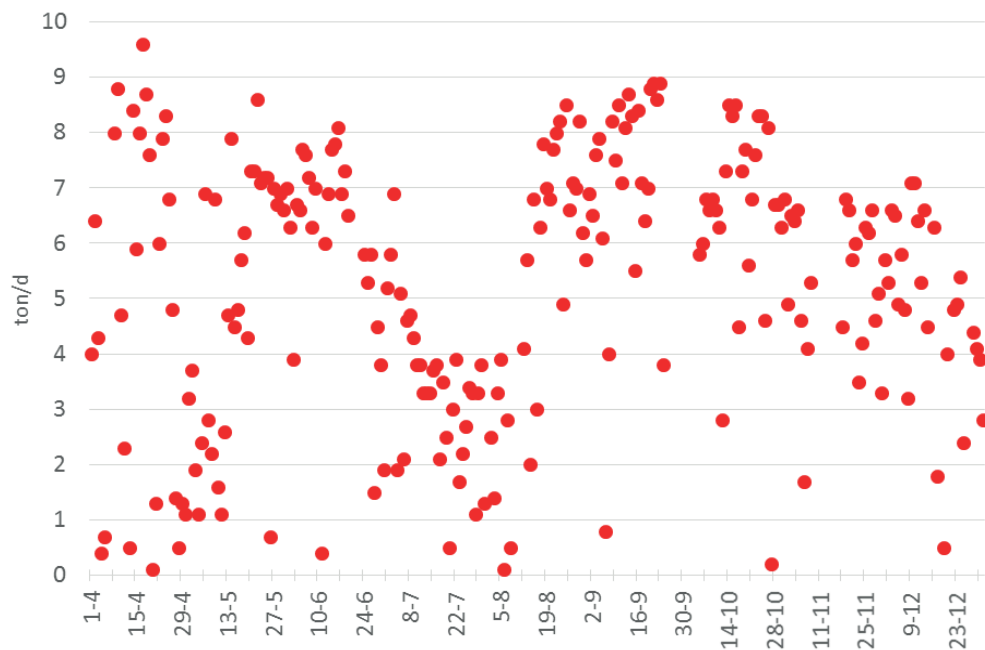
Parameter	Eenheid	Gemiddeld	Minimaal	Maximaal	Ontwerp
Ontwaterd slib	ton/d	5,3	0,1	12,4	
	kg/h (bedrijfstijd)	298	56	767	450
	% ds	23%	14%	27%	23-27%
In bedrijf	uren per dag	20	1	24	
Gedroogd slib	ton/d	1,4	0,0	3,2	
	% ds	90%	72%	97%	90%
Verdampt water	ton/d	3,88	0,046	8,27	
Water IN	°C	68,7	17,1	84,0	
Water UIT	°C	44,5	16,4	61,7	
Lucht IN	°C	15,3	0	25,2	
Lucht UIT	°C	33,1	13,1	43,8	
Lucht IN	%	NB	NB	NB	
Lucht UIT	%	NB	NB	NB	
Luchtafvoer (uitlaat gaswasser)	m ³ /d	83.000			
Elektriciteit droger	MWh/d	0,39	0,052	0,59	
Elektriciteit droger	MWh/ton H ₂ O verdampt	0,12	0,05	0,75	
Elektriciteit droger	MWh/ton ds	0,34	0,14	0,86	0,27
Biogasverbruik	m ³ /d	608	17	1.080	
Thermische energie	MWh/d	3,88	0,11	6,90	
Thermische energie	MWh/ton H ₂ O verdampt	1,07	0,36	1,64	0,83
Thermische energie	MWh/ton ds	3,44	2,62	6,12	2,50
Zwavelzuurverbruik	l/d	28	0	121	

4.3.3 CAPACITEIT

De ontwerpcapaciteit van de banddroger is om 450 kg ontwaterd slib (23-27% ds) per uur te drogen naar 90% drogestof. In Figuur 4.7 is te zien hoeveel slibkoek er per dag is verwerkt. Het gemiddelde ligt op 5,3 ton/d en dat komt neer op 298 kg/u (69% van de ontwerpwaarde).

FIGUUR 4.6

VERWERKT ONTWATERD SLIB IN TON/DAG



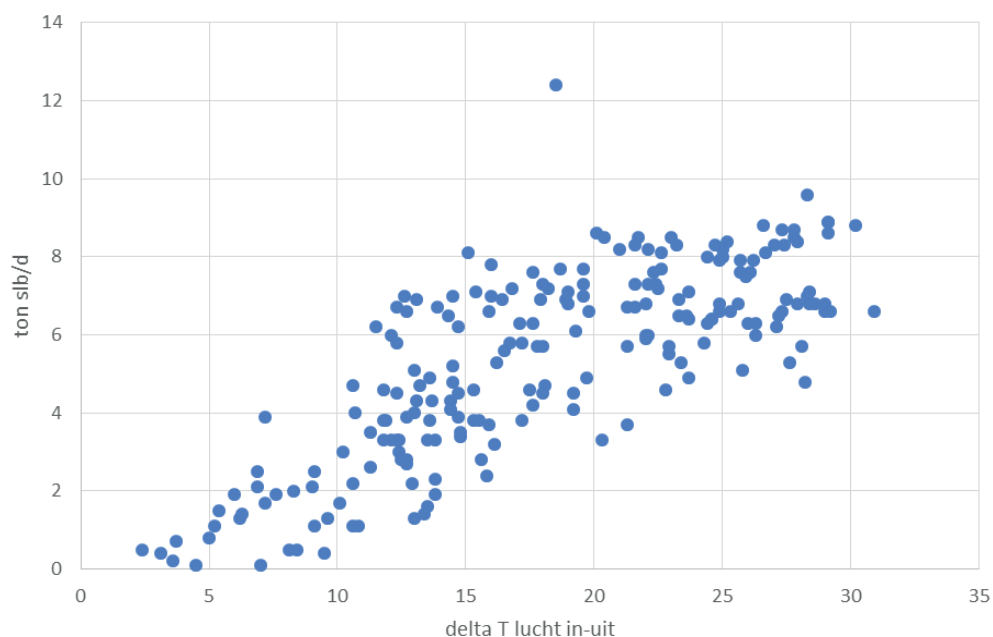
De variatie in de hoeveelheid aan verwerkt slib heeft deels te maken met de verwerkingscapaciteit van de droger. Daarnaast is de droger afhankelijk van de aanvoer van de ontwateringscentrifuges. Een andere factor is het vervuilen van de water-lucht warmtewisselaars die van belang zijn voor de regeling van toevoer naar de banddroger. Hierdoor is de warmteoverdracht minder en zal minder slib worden toegevoerd.

4.3.4 REGELING BANDDROGER

Zoals beschreven in paragraaf 3.3.2 wordt de toevoer aan slib naar de banddroger primair bepaald door het verschil in temperatuur van de lucht in en uit de banddroger. In Figuur 4.8 is hiervan de relatie te zien.

FIGUUR 4.7

TOEVOER SLIB NAAR BANDDROGER EN VERSCHIL IN LUCHTTEMPERATUUR IN EN UIT DE DROGER



In Figuur 4.8 is te zien dat er een grote variatie is in de hoeveelheid slib die in de droger is gebracht bij een gelijk temperatuurverschil (tot een factor 5).

Deze variatie is onder meer veroorzaakt doordat er vervuiling optrad van de warmtewisselaars (aankoeken van stofdeeltjes in de lucht) waardoor de warmteoverdracht minder werd en daarmee de toevoer naar de banddroger afnam.

4.3.5 BESCHIKBAARHEID

De banddroger is gemiddeld zo'n 20 uur per dag in bedrijf geweest, wisselend van 1 tot 24 uur. Hierbij zijn de dagen dat de banddroger minder dan 1 uur in bedrijf was buiten beschouwing gelaten. Dat het niet altijd 24 uur is, heeft niet alleen te maken met de beschikbaarheid van de droger, maar met het aanbod van ontwaterd slib vanuit de centrifuges. Deze is niet 'gegarandeerd' voor 24 uur per dag.

In het logboek zijn 68 meldingen opgenomen die te maken hebben met het functioneren van de droger en bijbehorende installaties. Hiervan is 44% gerelateerd aan de droger zelf en de andere aan het functioneren van de centrifuge en ketel voor het leveren van de warmte. Daarnaast is de droger voor 11 dagen in preventief onderhoud geweest in april, mei, juni en augustus. De meeste meldingen hebben te maken met foutmeldingen uit het systeem (sensoren, pompen, communicatie).

De volgende situaties zijn voorbeelden dat de droger niet beschikbaar was:

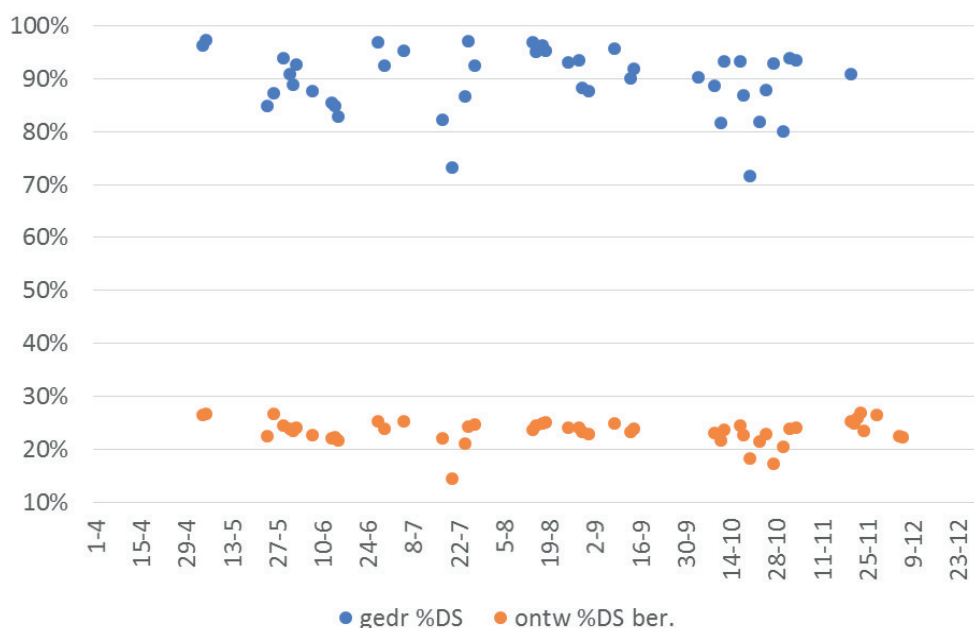
- De warmtewisselaar zijn gevoelig voor vervuiling door stof en haren;
- De sprinklerinstallatie kwam in bedrijf zonder dat er sprake was van stofbrand. Dit als gevolg van vervuilde sensoren. Dit heeft direct tot gevolg gehad dat de droger eerst volledig opgewarmd moest worden om al het bluswater wat niet afgelaten kon worden te verdampen, om daarna weer verder door te drogen totdat het slib weer de gewenste 90 % ds bereikte;
- Problemen in de biogas toevoer in de vorm van vocht in leidingen en ketel;
- Storingen die betrekking hebben op de centrifuges waardoor de droger afgeschakeld werd.

4.3.6 BEHAALDE DROGESTOFFERCENTAGES

In Figuur 4.9 zijn de drogestofpercentages van het ontwaterde slib naar de slibdroger en van het gedroogde slib weergegeven.

FIGUUR 4.8

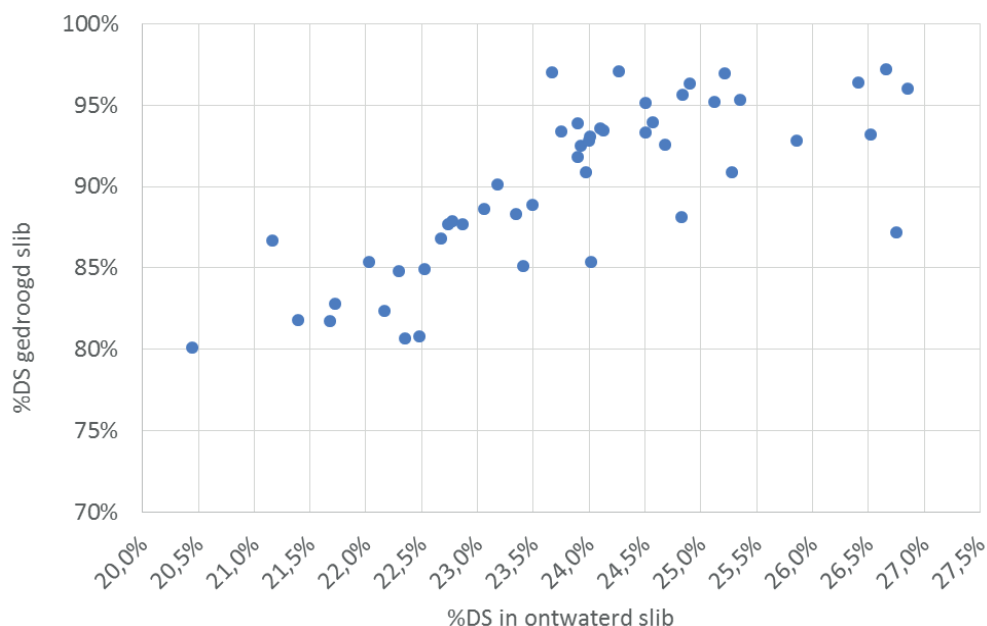
ONTWATERD EN GEDROOGD SLIB, PERCENTAGES DROGE STOF IN STEEKMONSTERS



De vraag is of het percentage drogestof van het ontwaterde slib van invloed is op het droogresultaat. In Figuur 4.10 is deze relatie weergegeven. Er is sprake van een matige correlatie ($R = 0,53$), maar dit is wel een indicatie dat het drogestofgehalte van het ontwaterde slib een invloed heeft op het drogestofgehalte van het gedroogde slib. Het lijkt erop dat er een grens ligt bij circa 23,5% drogestof of hoger in het ontwaterde slib om minimaal 90% drogestof in het gedroogde slib te verkrijgen. Vanaf 23,5% drogestof in het ontwaterd slib is 87% van de metingen in het gedroogde slib hoger dan 90% drogestof. Terwijl voor ontwaterd slib met minder dan 23,5% drogestof blijkt dat 9% van de metingen hoger is dan 90% drogestof in het gedroogde slib. Uiteraard geldt deze relatie voor de praktijksituaties tijdens het monitoren van deze banddroger. In principe zal ook 90% drogestof in het gedroogde slib haalbaar zijn bij drogestofpercentages lager dan 24% door de bandsnelheid te verlagen en dus een langere droogtijd aan te houden. Hierop moet dan wel de regeling of het ontwerp van de installatie worden aangepast.

FIGUUR 4.9

RELATIE % DROGESTOF IN TOEVOER EN IN PRODUCTIE GEDROOGD SLIB



Hierbij wordt opgemerkt dat het voor de banddroger in Ede gaat om vergist slib. Mogelijk dat deze relatie anders ligt voor niet anaeroob gestabiliseerd slib of voor aeroob gestabiliseerd slib.

4.3.7 ENERGIEVERBRUIK

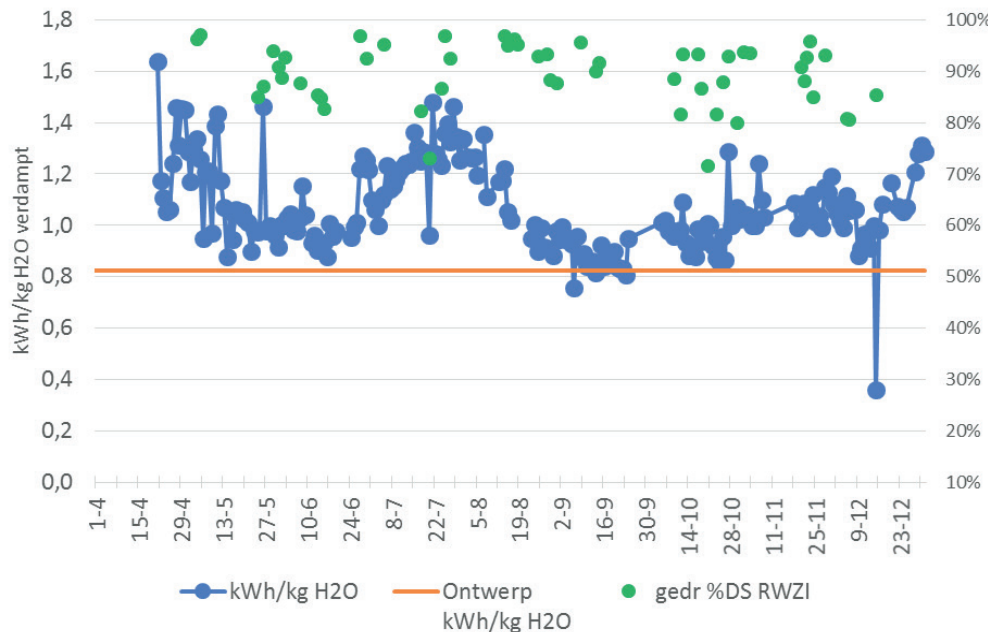
THERMISCHE ENERGIE

Als energiebron wordt biogas verstoekt om water te verhitten dat vervolgens door warmtewisselaars gaat om de lucht op te warmen waarmee het ontwaterde slib op de band wordt gedroogd. Het warme water is 90-95°C en koelt in de warmtewisselaar af naar 75-80°C. Het warmwatercircuit wordt continu rondgepompt met een debiet van 9,5-13,5 m³/u. De temperatuur van de aangezogen buitenlucht varieerde tussen 0 en 25°C en de voor de uittredende lucht was dat 13 – 45°C. Het biogasverbruik is aangehouden om de thermische energie te berekenen en daarbij is uitgegaan van een stookwaarde voor biogas van 0,023 GJ/m³ biogas en 3,6 MJ/kWh.

Voor de theoretische verdamping van water wordt een waarde van 2,256 GJ/ton aangehouden, maar voor de verdamping van water uit zuiveringsslib wordt over het algemeen een waarde van 3,2 GJ/ton of 0,89 MWh_{th}/ton aangehouden. In het ontwerp van de installatie is uitgegaan van 0,825 MWh_{th}/ton H₂O verdampt.

De gemiddelde verdamping bedroeg 220 kg/u en dat vergt 0,212 MW (ontwerpwaarde 0,2 MW) aan thermische energie. Dit als primaire energie en er is geen rekening gehouden met rendementen voor verbranding van biogas en water-lucht warmtewisselaar. Het gewogen gemiddelde over de meetdagen komt uit op 1,07 MWh_{th}/ton H₂O verdampt. In Figuur 4.11 is de ontwerpwaarde voor de verdamping aangegeven en de berekende waarde per dag gebaseerd op thermisch energieverbruik en kilogram water verdampt. Tevens is in Figuur 4.11 het percentage droge stof in het gedroogde slib weergegeven.

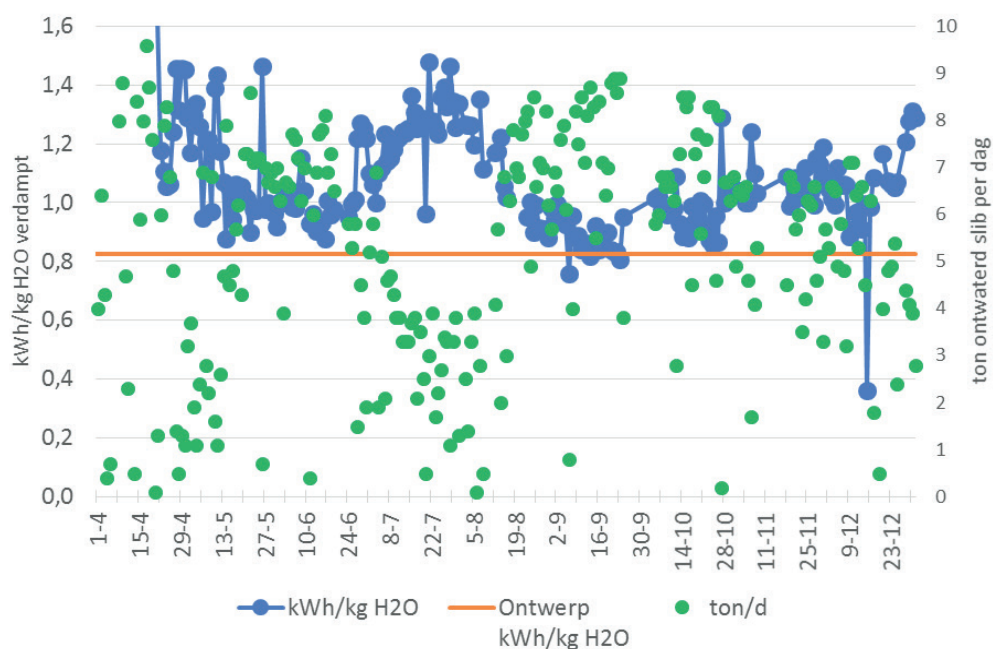
FIGUUR 4.10

SPECIFIEK THERMISCH ENERGIEVERBRUIK IN MWH/TON H₂O VERDAMPT (DAGGEGEVENS)

Het droge stofgehalte in het gedroogde slib varieert tussen de 72% en 97%.

In Figuur 4.12 is wederom het specifiek thermisch energieverbruik weergegeven met de toevoer aan ontwaterd slib in kilogram per uur. Wat opvalt is dat in de perioden mei t/m juni en vanaf september de toevoer naar de banddroger hoger is dan in de periode juli t/m augustus en in het begin (april) sterk varieert. Het lijkt er dan ook op, dat bij een hogere belasting aan slib (en dus te verdampen hoeveelheid water) de banddroger efficiënter is, dus droogt met een lager specifiek thermisch energieverbruik. Hieruit kan worden afgeleid, dat in situaties dat er 'weinig' slib wordt aangevoerd er veel warmte wordt aangevoerd, meer dan nodig is voor de hoeveelheid water dat moet worden verdampt. De hoeveelheid biogas wordt bepaald door de ingestelde temperatuur voor het verwarmen van het water in de ketel. De ketel kan daarnaast in deellast draaien.

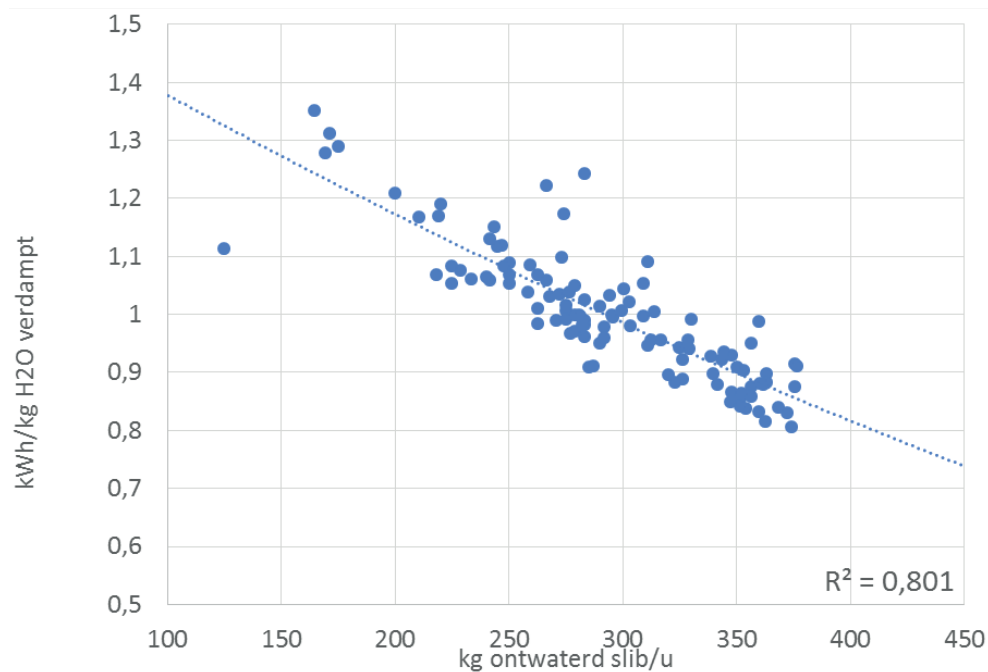
FIGUUR 4.11

SPECIFIEK THERMISCH ENERGIEVERBRUIK IN MWH/TON H₂O VERDAMPT EN TOEVOER ONTWATERD SLIB IN KG/U

In de volgende Figuur 4.13 is de relatie tussen thermisch energieverbruik en de belasting aan ontwaterd slib in kg per uur weergegeven. Hierbij wordt opgemerkt dat twee hoge waarden (> 570 kg/u) voor de belasting aan ontwaterd slib zijn weggelaten omdat de metingen voor die dagen discutabel zijn met name door de bedrijfstijd van de banddroger.

FIGUUR 4.12

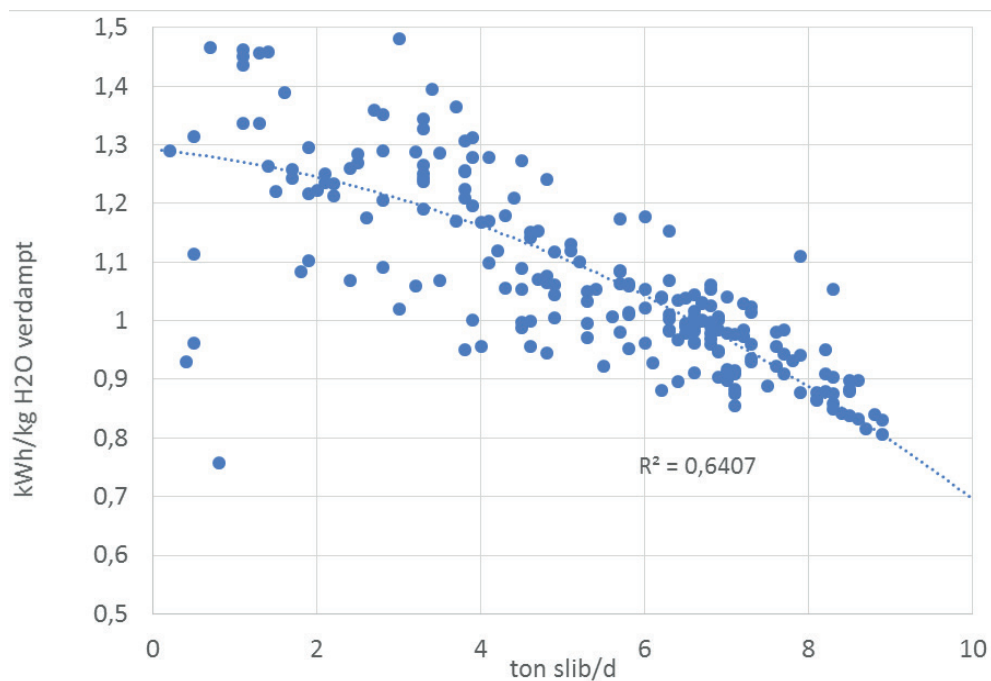
RELATIE SPECIFIEK THERMISCH ENERGIEVERBRUIK EN BELASTING BANDDROGER



Figuur 4.14 ondersteunt de constatering dat de hoeveelheid ontwaterd slib naar de droger in relatie staat tot het specifiek thermisch energieverbruik.

FIGUUR 4.13

RELATIE SPECIFIEK THERMISCH ENERGIEVERBRUIK EN WATER VERDAMPT

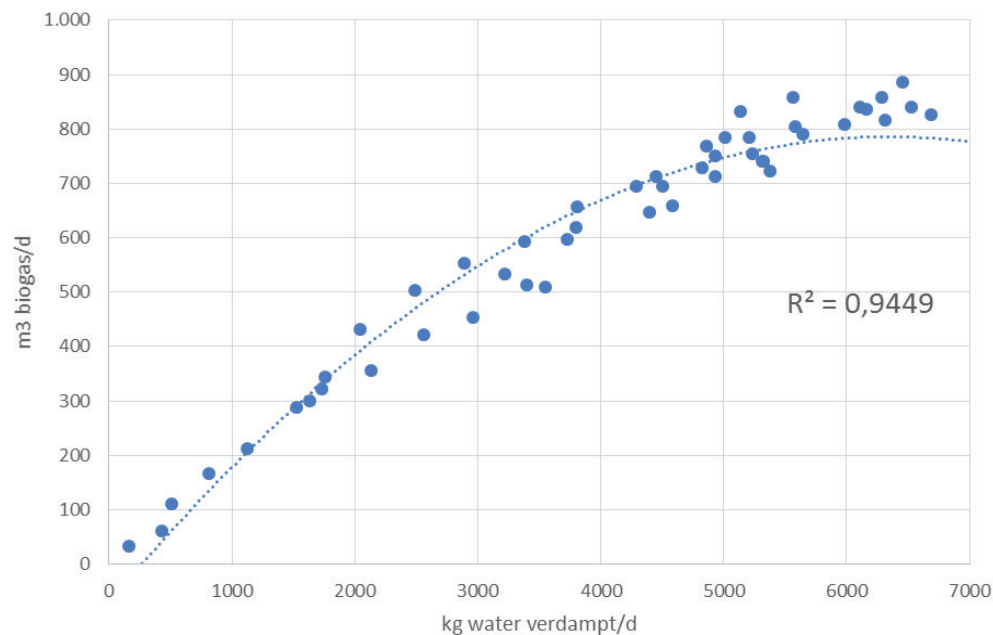


Uit Figuur 4.13 en Figuur 4.14 kan worden afgeleid dat de ontwerpwaarde voor het specifiek thermisch energieverbruik van 0,825 MWh_{th}/ton water verdampt haalbaar lijkt bij een slibtoevoer van tussen de 8 en 9 ton per dag en dat is bij een gemiddelde bedrijfstijd van 20 uur per dag meer dan 350 kg/u.

Met Figuur 4.15 wordt aangetoond dat er, zoals mag worden verondersteld, een verband is tussen hoeveelheid water verdampt en het verbruik aan biogas.

FIGUUR 4.14

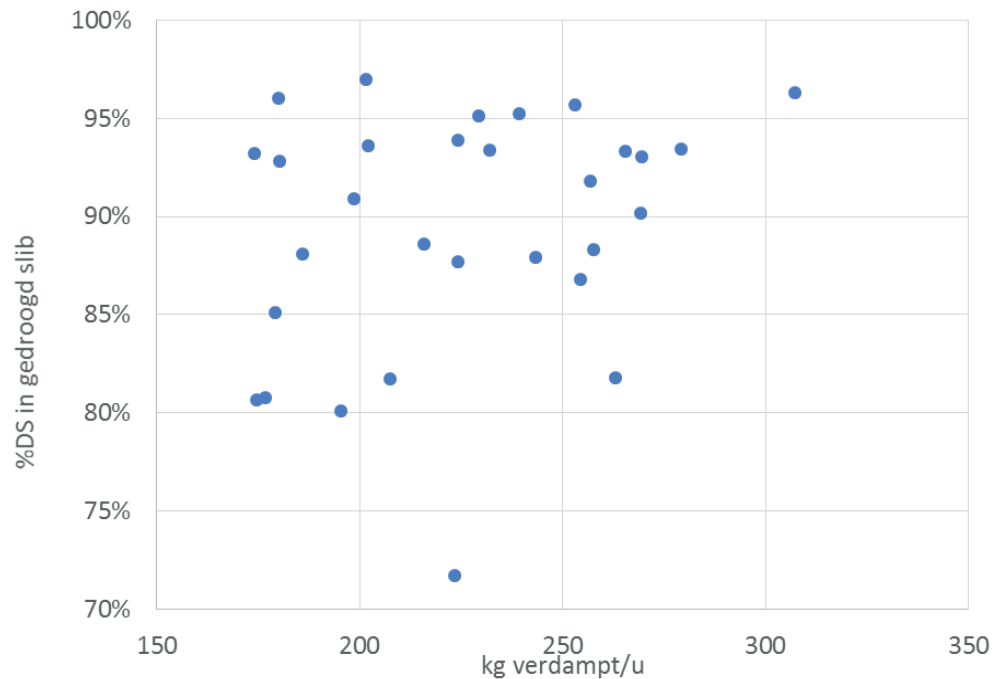
BIOGASVERBRUIK IN RELATIE TOT KG WATER VERDAMPT PER DAG



Betekent dit dan ook dat hoe meer water er verdampt wordt des te hoger de drogestofconcentratie in het gedroogde slib is? Uit Figuur 4.16 blijkt dat deze relatie niet kan worden aangetoond.

FIGUUR 4.15

HET PERCENTAGE DROGESTOF IN HET GEDROOGDE SLIB IN RELATIE TOT DE HOEVEELHEID WATER VERDAMPT

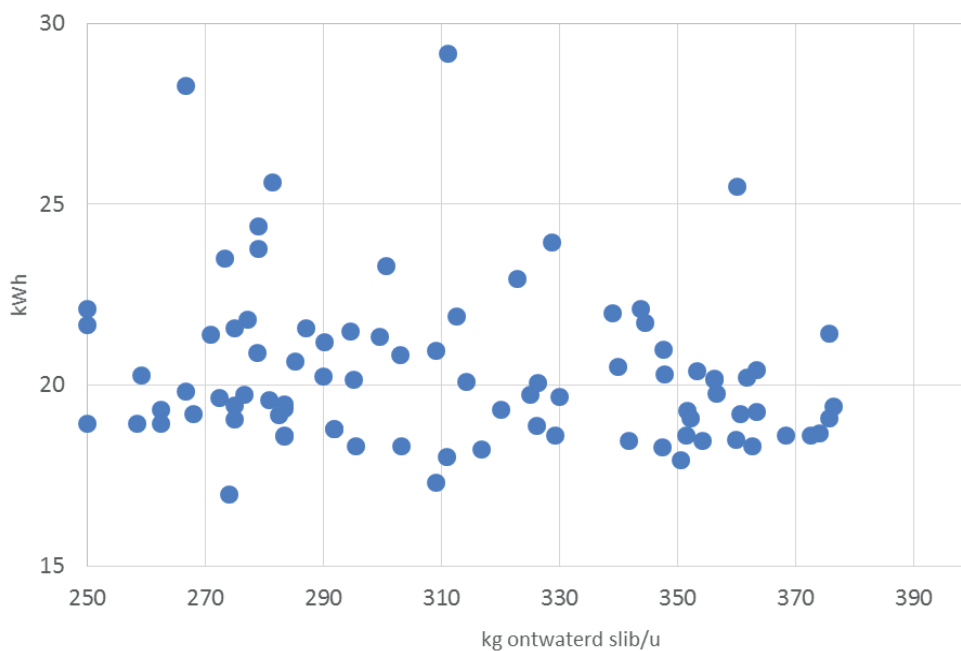


ELEKTRISCHE ENERGIE

In het ontwerp is uitgegaan van een elektrisch verbruik van 24 kWh bij een capaciteit van 450 kg ontwaterd slib (23-37 % DS) per uur gedroogd naar minimaal 90 % droge stof. Dat komt neer op een specifiek elektra verbruik van 0,07 MWh/ton water verdampt. Ofwel 0,209 MWh per ton droge stof. In de praktijk komt het gemiddelde verbruik uit op 21,4 kWh en 298 kg ontwaterd slib gedroogd naar gemiddeld 89,5 % drogestof. Dit geeft een specifiek elektra verbruik van 0,1 MWh/ton water verdampt (0,205 MWh/ton ds). Het voorgaande betreft een berekening op basis van het gemiddelde energieverbruik en kg ontwaterd slib over de meetperiode. Als het gemiddelde wordt genomen over de dagwaarden (het gewogen gemiddelde) komt het specifieke elektriciteitsverbruik uit op 0,121 MWh/ton water verdampt en dat is 0,336 MWh/ton drogestof.

Uit Figuur 4.17 blijkt dat het elektrisch energieverbruik varieert tussen de 17 en 24 kWh maar dit niet bepaald wordt door de belasting slib (in kg/u). Dat houdt in dat een hoge belasting aan slib (is ontwerpwaarde) in feite efficiënter is dan een laag belaste banddroger (lager dan ontwerpwaarde). De variatie kan deels ook veroorzaakt worden door 2 elektrische verwarmingstoestellen (5 kW elk) om condensvorming in de biogasleiding te voorkomen en de ruimteverwarming.

FIGUUR 4.16 ELEKTRISCH ENERGIEVERBRUIK IN RELATIE MET TOEVOER ONTWAERD SLIB PER UUR



4.3.8 LUCHTBEHANDELING

De lucht die de banddroger verlaat wordt behandeld in een gaswasser waar zwavelzuur (H_2SO_4) wordt gedoseerd om ammoniak te verwijderen. Deze dosering bedroeg gemiddeld zo'n 28 l/d. De concentratie aan $\text{NH}_4\text{-N}$ in het waswater was gemiddeld 257 mg/l (in de range 35-421 mg/l). Vervolgens gaat de behandelde lucht naar een biofilter.

4.4 VERGELIJKING RESULTATEN SLIBDROOGKAS EN BANDDROGER

In het onderhavige onderzoek wordt zoveel mogelijk antwoord gegeven op de volgende vragen:

1. Hoe goed droogt het Nederlandse slib?
2. Zijn er verschillen tussen vergist en niet vergist slib?
3. Tot welk drogestofgehalte kan gedroogd worden?
4. Hoeveel restwarmte en elektriciteit is daarvoor benodigd?
5. Vindt er afbraak van drogestof plaats?
6. Wat is de geuremissie?
7. Hoeveel ammonium bevindt zich in het retourwater naar de rwzi?

Naast de bovenstaande vragen is ook de beschikbaarheid van de droger een belangrijk aandachtspunt. De slibdroogkas heeft gedurende het onderzoek volcontinue gedraaid terwijl de banddroger regelmatig buiten bedrijf is geweest vanwege storingen aan sensors of verstopping van de warmtewisselaars.

Voor een banddroger ligt het droogresultaat vaak boven de 90 % drogestof terwijl voor een slibdroogkas 60-70 % drogestof optimaal is (dat is een keuze). In een kas kan ook wel tot > 90 % gedroogd worden, maar (volgens Thermo System) is dat minder effectief in ruimtegebruik en warmte benutting (zowel investeringen als jaarlijkse kosten). Bovendien zijn er dan meer stofproblemen. Wat de doelstelling is, wordt (mede) bepaald door de volgende stap in de slib-eindverwerking. Geeft de eindverwerker de voorkeur aan iets minder droog slib? Of moet het slib zo droog mogelijk zijn? Een droger slib maakt een hogere verbrandingstemperatuur mogelijk. Dat kan dus ook bepalen welk systeem (of een hybride) gekozen wordt¹⁴.

Daarnaast is natuurlijk de beschikbare ruimte van invloed en het temperatuurniveau. Kan een kas worden toegepast vanaf 60°C, een banddroger begint bij 80°C, maar liever nog iets hoger 100-120° C.

De vergelijking van de banddroger met slibdroogkasten op energieverbruik in Tabel 4.10 is uitgedrukt in $MWh_{\text{thermisch}}$ per ton H_2O verdampt en $MWh_{\text{elektrisch}}$ per ton H_2O verdampt. Hierbij wordt (nogmaals) opgemerkt dat het thermisch energieverbruik voor de banddroger is bepaald op basis van het verstoken van biogas waarmee het water wordt opgewarmd en vervolgens de lucht en daarbij is uitgegaan van een stookwaarde voor biogas van 0,023 GJ/m³ biogas en 3,6 MJ/kWh (biogas met 65% CH_4). Het thermisch energieverbruik voor de slibdroogkas is gebaseerd op de temperaturen in het warmwatercircuit. Ten aanzien van de kassensdroging moet nog worden vermeld dat er meer energie is ingebracht dan nodig, met andere woorden het gemiddelde van OBK zelf lijkt een realistische waarde bij het temperatuurniveau van 85°C. Dat zit dan ook dicht bij de specifieke warmtevraag van de banddroger. Ten aanzien van elektriciteit moet bij de slibdroogkas nog circa 0,02 MWh/ton H_2O in mindering worden gebracht doordat de elektriciteitsvraag inclusief warmtepomp is gemeten. Deze warmtepomp maakt geen onderdeel uit van het droogproces.

14 Verbrandingswaarde per tds daalt met 0,68 MWh/taq = 2,45 GJ/taq: 60/70/90 % ds = 0,67/0,43/0,11 tds/taq = 1,64/1,05/0,27 GJ/tds verlaagde verbrandingswaarde = minder hoge vuurhaard temperatuur mogelijk.

TABEL 4.10

VERGELIJKING OP ENERGIEVERBRUIK

Droger	Droog-resultaat	Warmte Per ton H ₂ O		Elektriciteit
		%ds	MWh _{th}	MWh _e /ton H ₂ O
Banddroger Ede	89,6	1,07	3,9	0,120
Slibdroogkas 4 Batches	74,0	1,35 (1,05-1,58)	4,9	0,069
Slibdroogkas OBK jaar gemiddeld	67,5	1,12	4,0	0,048

Uit Tabel 4.10 kan worden afgeleid dat met de banddroger het slib verdergaand gedroogd is dan met de kas. De 4 batches zitten wel hoger in drogestof dan gebruikelijk bij OBK en dat komt omdat het droogcompartiment niet tot maximum is gevuld. Daarmee hangt ook samen dat het specifieke warmteverbruik bij de 4 droogbatches hoger is dan gebruikelijk en ook hoger dan bij toepassing van de banddroger. Het basisniveau van de banddroger en de slibdroogkas ligt echter dicht bij elkaar, alleen komt de banddroger tot een hoger drogestofgehalte. Elektrisch vraagt een banddroger circa tweemaal zoveel stroom.

Om het energieverhaal goed te kunnen vergelijken is in Tabel 4.11 een berekening weergegeven van het thermisch en elektrisch energieverbruik van de banddroger en de slibdroogkassen omgerekend naar primaire energie, uitgaande van de capaciteit van de banddroger in Ede. Als uitgangspunt voor de berekening van de thermische energie geldt de in paragraaf 2.1 opgenomen formule waarmee de primaire energie berekend wordt aan de hand van de temperatuur van de beschikbare warmte.

De primaire energie die vrijkomt bij de verbranding van het gedroogde slib is berekend aan de hand van de volgende formule.

$$H_{\text{slib}} = (\text{ODS} * H_{\text{organisch}}) * \text{DS} - H_{\text{verdamping water}} * (1 - \text{DS})$$

Met:

H_{slib} = stookwaarde in GJ per ton slib materiaal;

$H_{\text{organisch}}$ = 21,318 GJ/ton ODS (organische drogestof);

ODS = organisch gehalte in de drogestof in (%);

DS = drogestof gehalte van het slibmateriaal in (%);

$H_{\text{verdamping water}}$ = 2,258 GJ/ton (verdampingswarmte van water).

In Tabel 4.11 is te zien dat er bij beide systemen een flinke hoeveelheid primaire energie overblijft. De kas met optimale afstemming slib/warmte heeft hierin het grootste saldo.

TABEL 4.11

VERGELIJKING PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK BANDDROGER EN SLIBDROOGKAS

Kenmerken slibverwerking		Banddroger Ede	Slibdoogkas 4 batches NL slib	Slibdroogkas OBK jaarrond
Slib input	ton ds/j	463	463	463
	% ds	23,4%	23,4%	23,4%
	ton koek/j	1.979	1.979	1.979
Slib gedroogd	% ds	90%	74%	68%
Ton water verdampt	ton/j	1.464	1.353	1.293
Asrest slib	% van ds	35%	35%	35%
Granulaat	ton koek/j	514	626	686
Elektriciteit	MWh/m ³ H ₂ O verdampt	0,12	0,069	0,048
Warmte input	GJ/ton H ₂ O verdampt	3,85	4,86	4,03
Warmte input	Temperatuur (°C)	80	85	85
Energieverbruik elektriciteit	MWh/j	176	93	62
Energieverbruik warmte	GJ/j	5.587	6.575	5.212
Omrekenfactoren naar primaire energie				
Primaire energie elektriciteit	GJ/kWh	0,009	0,009	0,009
Primaire energie (rest)warmte	factor	0,20	0,22	0,22
Primaire energie slibgranulaat	GJ/ton	12,2	9,7	8,6
Primaire energie				
Elektriciteitsverbruik	GJ/j	1.581	840	558
Warmte verbruik	GJ/j	1.145	1.445	1.145
Opbrengst verbranding slibgranulaat	GJ/j	-6.299	-6.048	-5.912
Saldo vermeden primaire energie	GJ/j	-3.573	-3.764	-4.209

5

KENMERKEN EN RANDVOORWAARDEN VOOR PRAKTIJKINSTALLATIES IN NEDERLAND

5.1 SLIBDROOGKAS

Uit de praktijkproef is naar voren gekomen, dat een belangrijke randvoorwaarde is dat het systeem op de juiste wijze wordt bedreven. Het betreft het te behalen drogestofgehalte in het gedroogde slib en de restwarmte die beschikbaar is. De installatie van OBK droogt het slib tot gemiddeld 67,5 % ds met een specifiek thermisch energieverbruik van 1,12 MWh/ton water verdampt. Voor de praktijkproeven is het slib tot gemiddeld 74 % ds gedroogd met 1,35 MWh/ton water. Er is een hoger % ds bereikt, maar is meer thermisch energie gebruikt. Het ontwaterde slib dat OBK droogt is met gemiddeld 22,5 % ds lager dan met de praktijkproeven 23,5 % ds. Uit Figuur 4.5 blijkt dat OBK meer water verdampt en dus de beschikbare restwarmte efficiënter benut.

Het ontwerp van een slibdroogkas moet dan ook uitgaan van de hoeveelheid water die kan/moet worden verdampt en vervolgens kan hieruit worden afgeleid hoeveel ton slib er gedroogd kan worden. Als er in de praktijk minder slib wordt aangevoerd, zal het systeem aan efficiëntie inboeten en meer energie verbruiken. Als voor de restwarmte moet worden betaald is dit onvoordelig. Dit betekent dat de sliblogistiek en slibdroging goed op elkaar afgestemd moet zijn om te zorgen voor steeds de juiste aanvoer (uitgedrukt als laagdikte) in de droogstraten.

Een goede omwoeling van het slib is essentieel voor het vrijmaken van het water in het slib voor verdamping.

5.2 BANDDROGER

Voor het optimaal functioneren van de banddroger moet rekening gehouden worden met:

- Het percentage drogestof in het ontwaterde slib. Als het streven is om in het gedroogde slib een droge stof percentage van 90 % of meer te behalen, moet het ontwaterde slib minimaal 24 % droge stof bevatten. Met de opmerking dat deze relatie lijkt te bestaan voor vergist slib. Dit kan voor onvergist slib anders liggen;
- Voorkom onderbelasting van de banddroger. Belast de banddroger volgens ontwerp. Bij lagere belastingen (zoals nu door vervuiling van de warmtewisselaars) is de banddroger inefficiënter en ontstaat het risico dat er relatief te veel warmte moet worden ingebracht. Het is dus belangrijk dat de warmtewisselaars schoon blijven om voldoende doorzet te garanderen;
- Dit houdt dus ook in dat de toevoer vanuit de slibontwatering zo constant mogelijk dient te zijn. Variatie, en dus minder slib toevoer, leidt tot een inefficiënter droogproces;
- Dit geldt ook voor het verbruik aan elektrische energie. De benodigde inbreng verschilt bij lage dan wel hoge belasting weinig;

- Bedrijfsvoering van de ontwatering moet er op gericht zijn om een zo constant mogelijke toevoer naar de droger mogelijk te maken;
- Het eerste slib na opstarten van de centrifuge kan niet worden gedroogd, omdat dit te nat is. Indien al het slib moet worden gedroogd moet hier een oplossing voor worden gezocht.

5.3 ALGEMEEN

Belangrijke randvoorwaarden voor een slibdroogkas betreffen de beschikbaarheid van voldoende oppervlakte. Voor banddrogers is veel minder oppervlak vereist. Een banddroger inclusief gebouw en randvoorzieningen vereist slechts enkele honderden vierkante meters (afhankelijk van de schaalgrootte). Voor beide concepten is de aanwezigheid van goedkope laagwaardige (rest) warmte belangrijk voor de business case.

Gedroogd slib uit slibdroogkassen is biologisch niet stabiel waardoor het niet lang opgeslagen kan worden (risico op broei). Slib wat door een banddroger gedroogd is heeft een hoog drogestofgehalte (>90 % ds) waardoor langdurige opslag mogelijk is, maar er is daarbij wel weer risico op stof explosies.

Een gaswasser en biofilter zijn in beide gevallen een randvoorwaarde om te voldoen aan de emissie eisen voor geur en stikstof. Bij kassen is geen chemische gaswasser nodig.

De huidige eindverwerkers (SNB en GMB) zijn niet in staat om gedroogd slib te verwerken. Nieuwe slibverwerkingscontracten met derden zijn daarvoor noodzakelijk. Gedroogd slib kan bijvoorbeeld verwerkt worden in bestaande verbrandingsinstallaties zoals AVI's, BEC's of cementovens. Hiervoor kan het nodig zijn de rookgasbehandeling van deze verbrandingsinstallaties aan te passen. Op de langere termijn kan eventueel een HR-BEC gerealiseerd worden specifiek voor de verbranding van gedroogd slib¹⁵.

15 Qua schaalgrootte wordt in Nederland uitgegaan van minimaal 4 waterschappen voor de Economy of Scale. In Duitsland is men qua schaalgrootte ook vertrouwd met relatief kleine verbranders (30.000 ton ds). Wat dat voor de business cases in Nederland betekent, is op dit moment nog niet bekend.

6

DUURZAAMHEID VAN LAGE TEMPERATUUR DROGING

In Tabel 6.1 en Figuur 6.1 is een overzicht gegeven van vier routes van slibeindverwerking voor een imaginaire hoeveelheid van 100.000 ton slib. Hierin zijn opgenomen de slibcompositerings-route van GMB, de monoverbrandingsroute van SNB en drogen met LTD. Bij LTD kijken we naar de resultaten die in dit rapport zijn beschreven voor banddrogers en kassendroging, met de gemiddelden van kassen van OBK als best practice er naast. Voor de routes van GMB en LTD wordt vervolgens na droging uitgegaan van (co)verbranding bij derden.

Resultaat van de berekeningen zijn een saldo aan vermeden primaire energie. Dat is de primaire energie die nodig is om het slib te drogen en de opbrengst aan primaire energie die vrijkomt bij (co)verbranding. Dat is het beste om de routes te vergelijken. Of in de praktijk alle energie kan worden teruggewonnen, hangt af van het rendement van (het type) verbranding. Uiteindelijk zullen we voor de hoogste rendementen toe moeten naar een HR Biomassa Energie Centrale (BEC).

Ook nu weer is voor het primaire energieverbruik van restwarmte uitgegaan van de formule uit paragraaf 2.1. Restwarmte telt slechts voor een klein deel mee in de hoeveelheid benodigde primaire energie (bij 85°C circa 22 %).

In Tabel 6.1 valt op, dat de LTD routes in de basis fors meer primaire energie kunnen vermijden dan de bestaande routes van GMB en SNB. Bij de SNB route draagt de CO₂ levering aan Omya essentieel bij aan vermeden primaire energie (dat is een lokale synergie winst) waardoor de SNB route inclusief CO₂ levering nagenoeg gelijk scoort aan de banddroger. Het is wel zo dat ook op andere locaties CO₂ terugwinning mogelijk is c.q. wordt voorbereid (<https://www.ltoglaskracht nederland.nl/nieuws/avr-gaat-co2-leveren-aan-tuinders/>)

De verbrandingswaarde van het slib wordt door SNB gebruikt om het ingaande slib te drogen. De warmte die bij de verbranding van het slib ontstaat en nuttig wordt gebruikt om ingaand slib te drogen is niet in de vergelijking meegenomen omdat na het verwerkingsproces geen warmte resteert. De zonnepanelen die recent door SNB geplaatst zijn en jaarlijks 2,1 miljoen kWh leveren zijn niet in de vergelijking meegenomen omdat dit los staat van het conceptuele slibverwerkingsproces (ook al is het een goede duurzame maatregel).

Bij de SNB route zal te zijner tijd (2019?) via het Ecophos proces een fosfaatmeststof worden geproduceerd. Dat is een belangrijk voordeel van deze route. Bij de LTD routes wordt voorts nog geen P uit de as teruggewonnen. Dit zal moeten plaatsvinden in de waterlijn of te zijner tijd bij een centrale monoverbranding “Nieuwe Stijl” in een HR BEC.

Stel dat de gedroogde slibben niet worden (co)verbrand maar worden afgezet in de landbouw in Frankrijk of Groot-Brittannië, dan kan er geen positieve energiewaarde aan worden toegekend, maar wel een hoge duurzaamheidsscore, omdat niet alleen nutriënten weer in de bodem terechtkomen, maar ook de organische stof (waaraan een groot tekort is). Hoe dit qua duurzaamheid moet worden gewaardeerd (kwantitatief of via Value Case), moet nog worden bepaald¹⁶. Het energie en hulpstoffenverbruik van het Ecophos proces moet hier dan ook bij worden betrokken.

TABEL 6.1 BALANS PRIMAIRE ENERGIE VERSCHILLENDE ROUTES SLIBEINDVERWERKING

		GMB	SNB	Banddroger + Coverbranding	Kassendroging 4 batches Coverbranding	Kassendroging OBK jaarrond Coverbranding
Kenmerken slibverwerking						
Slib input	ton ds	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Slib input	% ds	25%	25%	25%	25%	25%
Slib input	ton koek/j	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Slib gedroogd	% ds	64%	as	90%	74%	68%
Ton water verdampt	ton/j	60.998		72.222	66.216	62.963
Asrest ingaand slib	% van ds	35%	35%	35%	35%	35%
Granulaat/compost/as	ton product/j	26.260	9.243	27.778	33.784	37.037
Elektriciteit	kWh/m3 H2O verdampt	45	*	120	69	48
Warmte input	GJ/ton H2O verdampt	0	0 ***	3,85	4,86	4,032
Warmte input	Temperatuur (°C)	0	0	80	85	85
Energieverbruik elektriciteit	kWh/j	4.030.000	-7.444.205	8.666.667	4.568.919	3.022.222
Energieverbruik warmte	GJ/j	0	0	278.200	321.811	253.867
Netto verbruik houtsnippers	ton/j	4.920				
CO2 geleverd aan Omya (in verhouding)	ton CO2/j		9.637 **			
Omrekenfactoren naar primaire energie						
Primaire energie elektriciteit	GJ/kWh	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Primaire energie (rest)warmte	factor			0,20	0,22	0,22
Primaire energie slibgranulaat	GJ/ton	5,8		12,2	9,7	8,6
Primaire energie houtsnippers	GJ/ton	11,8				
Primaire energie CO2 product (GER waarde)	GJ/ton		10,94 ***			
Primaire energie						
Elektriciteitsverbruik	GJ/j	36.270	-66.998	78.000	41.120	27.200
Warmte verbruik	GJ/j	-	-	56.468	70.699	55.773
Opbrengst verbranding slibgranulaat	GJ/j	-152.308	-	-340.145	-326.584	-319.238
Verbruik houtsnippers	GJ/j	58.056				
Ammoniumsulfaat productie	GJ/j	-21.764				
Saldo vermeden verbruik primaire energie	GJ/j	-79.746	-66.998	-205.678	-214.764	-236.265
Vermeden primaire energie door CO2 leveren Omya	GJ/j		-105.423			
Saldo vermeden verbruik primaire energie	GJ/j	-79.746	-172.421	-205.678	-214.764	-236.265

*SNB (Luc Sijstermans SNB, februari 2018): Elektriciteitsopwekking 30.900 MWh/j bij 103.772 ton ds. Dat levert 0,298 MWh/ton ds.

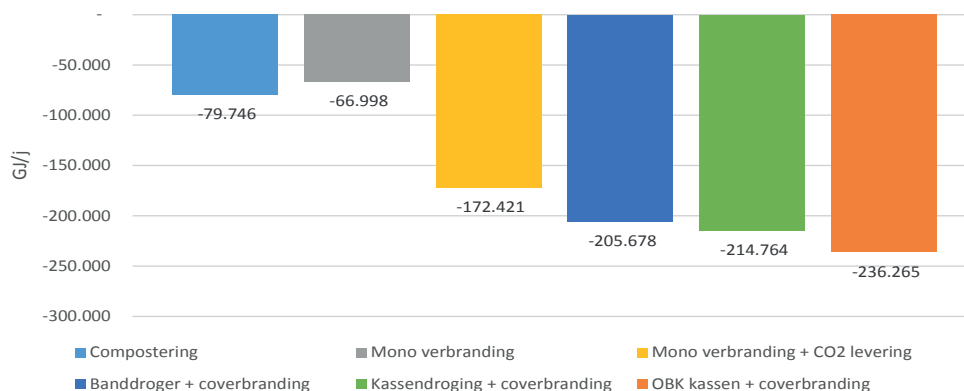
** SNB levert 40.000 ton CO₂ per jaar bij 103.772 ton ds. Per 25.000 ton ds is dat 9.637 ton CO₂/jaar.

*** <http://stowa.nl/upload/publicaties/STOWA%202012%2006%20LR.pdf> blz. 37.

**** SNB past de warmte die ontstaat bij de verbranding van slib intern nuttig toe voor de droging van slib. Hoewel hier wel SDE subsidie op wordt verkregen, wordt er uit het totale proces geen energiewaarde verkregen. Daarom is deze niet meegenomen in de energiebalansberekening.

16 Uiteindelijk zullen naast metalen en hygiëniserende ook nieuwe stoffen (zoals microplastics, medicijnresten) hierbij in de beschouwing moeten worden meegenomen.

FIGUUR 6.1

SALDO VERMEDEEN PRIMAIRE ENERGIE EN CO₂ LEVERING

In Tabel 6.2 is voor de Nederlandse waterschappen het energieverbruik voor zuiveren afvalwater en de slibafvoer weergegeven (BVZ 2015¹⁷).

TABEL 6.2

ENERGIEVERBRUIK ZUIVEREN AFVALWATER EN SLIBAFVOER NEDERLANDSE WATERSCHAPPEN 2015

Waterschappen in Nederland, energieverbruik zuiveren afvalwater over 2015	Gemiddelde belasting [i.e.-150]	Specifiek energieverbruik [GJprim/1000 i.e. verwijderd]	Energieverbruik zuiveren [GJprim]*	Slibafvoer (ton/jaar)
Aa en Maas	1.346.143	238	287.738	93.036
Amstel, Gooi en Vecht	1.881.713	238	425.813	94.758
Brabantse Delta	1.236.229	265	311.690	63.830
Delfland	1.586.206	345	519.728	80.336
De Dommel	1.469.013	203	283.160	116.607
Fryslân	1.045.111	267	265.390	69.210
Drents Overijssels Delta**	1.013.118	285	289.102	39.541
Hollands Noorderkwartier	1.335.681	310	393.104	86.560
Hollandse Delta	1.428.259	311	422.250	77.982
Noorderzijlvest en Hunze en Aa's***	1.034.202	304	314.834	47.573
Rijn en IJssel	1.071.642	246	250.443	51.060
Rijnland	1.785.217	219	370.566	104.985
Rivierenland	1.409.502	250	335.292	88.966
Schieland en de Krimpenerwaard	557.938	323	170.938	30.956
De Stichtse Rijnlanden	1.153.339	320	350.834	52.745
Scheldestromen	566.992	248	133.422	28.961
Waterschapsbedrijf Limburg	1.856.190	323	569.396	94.053
Zuiderzeeland	610.082	181	104.904	38.023
Vechtstromen	1.489.732	236	333.573	70.454
Vallei & Veluwe	1.782.655	316	535.153	80.940
Alle waterschappen	25.658.964		6.667.331	1.410.576
Alle waterschappen per 100.000 ton	1.819.042		472.667	100.000

* Aangenomen is een zuiveringsrendement van 95 %

** WGS en WR&W opgeteld

*** Ndz en H&A opgeteld

Uit Tabel 6.2 blijkt dat in 2015 voor de Nederlandse waterschappen een equivalent aan 100.000 ton te verwerken ontwaterd slib overeenkomt met een energieverbruik voor zuiveren van 473.000 GJ/j primaire energie.

Bij toepassen van de meest duurzame LTD droging kan theoretisch in 50 % van deze energiebehoefte voorzien worden¹⁸. Alle warmte en elektriciteit die vrijkomt bij de verbranding van het slibgranulaat dient in dat geval nuttig te worden toegepast (HR BEC).

¹⁷ BVZ 2015= Bedrijfsvergelijking Zuiveringsbeheer 2015

¹⁸ Indien bij de (co)verbranding van gedroogd slib ook CO₂ zou worden teruggewonnen, kan in circa 75 % van de energiebehoefte voor zuiveren worden voorzien/ CO₂ worden gecompenseerd.

7

QUICK SCAN VERWACHT KOSTENNIVEAU

In 2017 zijn er in Nederland een aantal business cases uitgewerkt van zowel banddrogers als kassendrogers. Deze business cases geven inzicht in het te verwachten kostenniveau. Deze zijn echter niet openbaar. In dit hoofdstuk wordt daarom als quick scan een kostenindicatie gegeven.

UITGANGSPUNTEN:

- Info uit business cases is vertaald naar een installatie van 100.000 ton slibkoek/jaar met een drogestofgehalte van 23 %;
- Transport van ontwaterd slib naar slibdrooginstallatie en transport naar eindverwerking zijn niet meegenomen (case afhankelijk);
- Voor warmte van 60°C (slibdroogkas) is uitgegaan van EUR 0,5 per GJ (tussen 0 en 1); Voor warmte van 120°C (banddrogers) is uitgegaan van EUR 4,- GJ (tussen 2,- en 6,- EUR/GJ);
- Kosten retour stikstof op basis van de ve heffing op een rwzi, kassen hebben (bijna) geen condensaat;
- Voor de eindverwerking van het gedroogde slib in een BEC is uitgegaan van EUR 30,- per ton gedroogd slib (zowel 60 % als 90 % drogestof) exclusief transport;
- Afschrijffperiode van 15 jaar voor zowel C als W onderdelen; netto rente 2 %.

In Tabel 7.1 is een indicatief overzicht gegeven van de verwerkingskosten per ton slibkoek exclusief transport van ontwaterd slib.

TABEL 7.1

KOSTENINDICATIE DROGEN MET RESTWARMTE (EXCLUSIEF TRANSPORT)

	Droogkas EUR/ton slibkoek	Banddroger EUR/ton slibkoek
Annuititeit (investeringen)	€ 15 - 20	€ 15 - 20
Onderhoud	€ 4 - 6	€ 4 - 6
Personeel	€ 4	€ 4
Elektriciteit	€ 2 - 3	€ 4 - 5
Warmte	€ 2 - 5 *	€ 2 - 7 *
Condensaatverwerking	€ 0 - 2	€ 0 - 2
Chemicaliën	€ 1	€ 1
Slibeindverwerking	€ 12 **	€ 12 **
Diversen	€ 1	€ 1
Totaal incl BTW (excl transport)	€ 41-54	€ 43-58

*afhankelijk van tarief restwarmte

**bij een verwerkingstarief van 30 EUR/ton gedroogd slib

De kosten voor het transport van het ontwaterde en gedroogde slib komen hier nog boven op. Afhankelijk van de case (de locatie) ligt dat tussen de 5 en 10 euro per ton slibkoek.

8

DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

8.1 DISCUSSIE

Het praktijkonderzoek wat in dit rapport wordt beschreven, heeft voor Nederlands slib vastgesteld dat LTD droging zowel met banddrogers als met kassen kansrijke routes zijn. De haalbare droge stofgehalten zijn bepaald en de benodigde warmte- en elektriciteitsbehoefte vastgesteld. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 8.1.

TABEL 8.1 DROOGRESULTAAT EN ENERGIEVERBRUIK SLIBDROOGKAS EN BANDDROGER

Droger	Droogresultaat	Warmte		Elektriciteit
		Per ton H ₂ O		
	%ds	MWh _{th}	GJ _{th}	MWh _e /ton H ₂ O
Banddroger Ede	89,6	1,07	3,9	0,120
Slibdroogkas 4 Batches	74,0	1,35 (1,05-1,58)	4,9	0,069
Slibdroogkas OBK jaar gemiddeld	67,5	1,12	4,0	0,048

Bovendien is bevestigd dat het slib weinig tot niet afbreekt (gelijk ods gehalte), wat betekent dat de energiewaarde behouden blijft. De ammoniumemissie naar de lucht kon niet exact worden vastgesteld. Mogelijk komt een deel van de organisch gebonden stikstof toch vrij als ammonium, ook al verandert het ods gehalte niet. De oorzaak daarvan is niet bekend. Geuremissie speelt wel een rol, maar er is nog onzekerheid over de haalbare rendementen van compostfilters. Bij het ontwerp zal daarin enige extra marge genomen moeten worden. Door compostfilters wordt NH₃ goed verwijderd en wordt de hedonische waarde verbeterd.

Een goede benutting van de verwerkingscapaciteit is belangrijk voor een goed rendement, dus een juiste afstemming van beschikbare warmte en hoeveelheid slib is nodig. De warmtevraag van banddrogers en kassen ligt dicht bij elkaar. Vaak functioneren banddroger echter op hogere temperatuur en hebben daarmee een iets efficiëntere warmtebenutting. Qua elektriciteit hebben kassen circa 50 % minder nodig dan banddrogers. Qua duurzaamheid winnen de kassen het dus van banddrogers. Banddrogers kunnen echter eenvoudiger een hoger drogestofgehalte halen en vergen minder ruimte. Beide systemen zijn sowieso fors duurzamer dan de huidige routes van slibeindverwerking. Qua kosten liggen de systemen dicht bij elkaar, tussen de 41 en 58 euro per ton koek (all-in, inclusief BTW) exclusief transport van ontwaterd en gedroogd slib (nog ca 5-10 euro extra afhankelijk van de locatie).

Wat de beschikbaarheid betreft doen de slibdroogkassen het beter dan de geteste banddroger. De slibdroogkassen hebben gedurende de testen continue gedraaid terwijl de banddroger vanwege storingen aan sensors en het verstopen van de warmtewisselaars regelmatig uit bedrijf genomen is.

Welk systeem gekozen wordt, is afhankelijk van de lokale condities. Indien er weinig oppervlak beschikbaar is, ligt een banddroger voor de hand. Echter als het temperatuurniveau van de beschikbare warmte onder de 80°C (60-80°C) ligt, is een banddroger niet meer realistisch en zijn kassen de enige logische keuze. Restwarmtestromen met deze lage temperaturen kosten vrijwel niets (circa 1 euro/GJ). Bij hogere temperaturen is het ook mogelijk om een hybride systeem te kiezen (voordrogen met kassen en nadrogen met banddrogers).

Een verrassende uitkomst van de kassendroogtest was het feit dat (grotendeels) onvergist slib beter droogt dan vergist slib. Het slib van Garmerwolde bestaat uit kleinere brokken en ligt “compacter” op de vloer dan het slib van Heerenveen. Mogelijk is er daardoor minder overdracht aan de bovenliggende lucht mogelijk.

8.2 CONCLUSIES

Zowel kassendrogers als banddrogers betreffen betrouwbare technieken die direct geïmplementeerd kunnen worden voor het drogen van Nederlands slib.

SLIBDROOGKAS:

- Kassendrogers komen uit op circa 65-75 % drogestof, afhankelijk van de laagdikte (hoeveelheid slib per m²) in de kas;
- Het warmteverbruik van de kassen bedraagt circa 4-5 GJ/ton water (bij 85°C). Er lijkt voor de kassen nog optimalisatie mogelijk om rond de 4 GJ/ton water uit te komen;
- Om tot een optimale energie efficiency te komen moet de slibdroogkas maximaal belast worden (ontwerpwaarde). Hoe hoger de belasting aan ontwaterd slib hoe efficiënter de slibdroogkas functioneert.
- Het elektriciteitsverbruik van de slibdroogkas bedraagt circa 0,05-0,07 MWh/ton water;
- Gedeeltelijk onvergist slib droogt beter dan vergist slib;
- Weinig tot geen afbraak van de organische droge stof;
- Ten aanzien van geur is er nog onzekerheid, in de praktijk zullen hiervoor voldoende voorzieningen moeten komen, door de combinatie van een wasser en compostfilters wordt NH₃ goed verwijderd en wordt de hedonische waarde verbeterd.

BANDDROGER

- Banddrogers halen een gemiddeld drogestofgehalte van circa 90 %; Hierbij lijkt het er sterk op dat er een relatie bestaat tussen het percentage drogestof in het ontwaterde slib en gedroogde slib. Vanaf 23,5 % drogestof in het ontwaterde slib wordt 90 % drogestof of hoger in het gedroogde slib gehaald;
- Hoe hoger de belasting aan ontwaterd slib hoe efficiënter de banddroger functioneert. Door omstandigheden is bij de banddroger niet altijd de ontwerpbelasting van 450 kg/u bereikt, maar is wel aangetoond dat bij 400 kg/u en hoger een specifiek thermisch energieverbruik van 0,825 MWh_{th}/ton water verdampt (3,0 GJ/ton water verdampt), de ontwerpwaarde, haalbaar lijkt. Het is dus zaak bij banddrogers er naar te streven de belasting hoog te houden dan wel in de buurt van de ontwerpwaarde. Als deze lager is wordt niet alle ingebracht thermische energie optimaal benut;
- Het warmteverbruik van banddrogers is gemiddeld 3,9 GJ/ton water (bij 80°C);
- Het elektriciteitsverbruik van de banddrogers is circa 0,12 MWh/ton water.

DOELMATIG EN DUURZAAM

- Indicatief liggen de kosten voor deze routes liggen tussen de 41 en 58 euro per ton koek (afschrijving 15 jaar, incl BTW) ex transport (nog ca 5-10 euro extra afhankelijk van de locatie); de kosten van de beschikbare restwarmte spelen hierin een grote rol;
- Bij drogen met LTD lijkt geen slib te worden afgebroken, hetgeen een positief effect heeft op de energiewaarde;
- Qua duurzaamheid scoren kassen het hoogste. Zowel de banddrogers als kassen zijn fors duurzamer dan de andere slibverwerkingsroutes. Dit is gebaseerd op de primair energie balans. In de praktijk moet de beschikbare energie-inhoud wel worden benut (beste is toepassen HR BEC).

BIJLAGE 1

MONITORINGSPLAN DROOGPROEF OBK

GEMONITORDE PARAMETERS PER BATCH SLIB

Parameter			Dag						
Naam	Code	Eenheid	1	2	3	4	5	6	7
Slibsoort	Slibsoort		X						
Slib aanvoer	DS in	%	X						
Slib aanvoer	OS in	%	X						
Slib afvoer	DS uit	%							X
Slib afvoer	OS uit	%							X
DS tijdens droging	DS TD	%					X ***		
Vracht in	VR in	ton	X						
Vracht uit	VR uit	ton							X
Droogtijd	DT	dagen							X
Lucht temperatuur binnen	L binnen	°C	X	X	X	X	X	X	X
Lucht afvoer	L uit	m³	X	X	X	X	X	X	X
Lucht afvoer	L uit	kWh	X	X	X	X	X	X	X
Lucht in temperatuur	L in	°C	X	X	X	X	X	X	X
Lucht uit temperatuur	L uit	°C	X	X	X	X	X	X	X
Luchtvochtigheid binnen	L %	%	X	X	X	X	X	X	X
Luchtcirculatie luchtvochtigheid	L %	%	X	X	X	X	X	X	X
Luchtcirculatie	L cir	m³	X	X	X	X	X	X	X
Luchtcirculatie	L cir	kWh	X	X	X	X	X	X	X
Warmwater	W in	m³	X	X	X	X	X	X	X
Watertemperatuur	W in	°C	X	X	X	X	X	X	X
Watertemperatuur	W uit	°C	X	X	X	X	X	X	X
Externe warmte	EW	GJ t	X	X	X	X	X	X	X
Omzetten tijdens drogen	OZ	aantal	X	X	X	X	X	X	X
Omzetten tijdens drogen (mol)	E Mol	kWh	X	X	X	X	X	X	X
Zonneschijn	Zon	W/m²	X	X	X	X	X	X	X
Elektriciteitsverbruik pompen	E pomp	kWh	X	X	X	X	X	X	X
Elektriciteitsverbruik randapparatuur	E Div	kWh	X	X	X	X	X	X	X
Geurmeting voor het biofilter		ouE/m³		X*	X*	X*			
Hedonische waarde voor biofilter		ouE/m³		X*	X*	X*			
NH3 lucht voor biofilter		mg/Nm³		X*	X*	X*			
Geurmeting voor biofilter		ouE/m³		X*	X*	X*			
Hedonische waarde voor biofilter		ouE/m³		X*	X*	X*			
NH3 lucht na biofilter		mg/Nm³		X*	X*	X*			
NH4 effluent gaswaster		mg/Nm³				X **			

* Lucht monsters in de 3^e week op woensdag en donderdag genomen en in de 4^e week op dinsdag en donderdag

** Effluent gaswaster is alleen in week 3 en week 4 bemonsterd

*** Droge stof tijdens droging is alleen in week 1, 2 en week 4 bemonsterd op dag 5

BIJLAGE 2

FOTO'S WERKBEZOEK

Deze foto's zijn van Otto Lussenburg (3 november 2017)



TOELICHTING MR LOI-BRÜGGER OFK/OBK



TOELICHTING LOSHAL BJÖRN BUNTROCK THERMO SYSTEM



EÉNMALIG VERKLEINEN SLIBBROKJES



NA 4-5 DAGEN DROGEN (SLIB GARMERWOLDE)



BEGELEIDINGSKOMMISSIE



VOELEN, PROEVEN, AANRAKEN, SNUIVEN



DE MOL

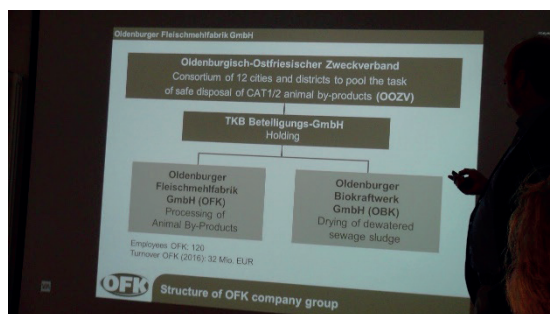


DE VOLGENDE BATCH UIT HEERENVEEN

Deze foto's zijn van Berend Reitsma (3 november 2017)



ONTVANGST BC



PRESENTATIE OFK/OBK



AANDACHTIG LUISTEREN



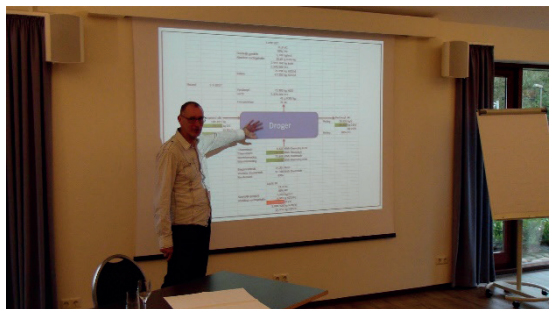
OMKLEDEN



DE ONTVANGST HAL



SLIB GARMERWOLDE DICHTBIJ



PRESENTATIE REMMIE DROGING EDE



BC OVERLEG NA AFLOOP

BIJLAGE 3

MONSTERNAMEPUNTEN EN ANALYSES

BANDDROGER RWZI EDE

In het onderstaande zijn naast de metingen ook de monsterpunten van de drooginstallatie weergegeven.

METINGEN EN MONSTERPUNTEN

Parameter	Meting	Analyse	Eenheid
Ontwaterd slib	Debiet		m ³ /d
	Gewicht		kg/h
		Droge Stof	%
Gedroogd slib	Debiet		m ³ /d
	Gewicht		Ton per vracht
		Droge stof	%
		Zware metalen	mg/kg DS
Lucht IN	Temperatuur		°C
Lucht UIT	Temperatuur		°C
Lucht IN	Luchtvochtigheid		%
Lucht UIT	Luchtvochtigheid		%
Luchtafvoer (uitlaat gaswasser)	Debiet		m ³ /d
Energie droger	E-verbruik		kWh/d
Biogasverbruik	Debiet		m ³ /d
Afgasventilator	Lucht kwaliteit		
Zwavelzuurverbruik	Debiet		IBC per periode
Lucht Gaswasser UIT	Temperatuur		°C
Lucht Gaswasser UIT	Luchtvochtigheid		%
Waswater (gaswasser)		CZV	mg/l
		BZV	mg/l
		N-Kj	mg/l
		NH ₄	mg/l
		P-tot	mg/l
		P-ortho	mg/l

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de analyses die zijn uitgevoerd.

MONSTERNAMEPUNTEN EN ANALYSES

Parameter	Analyse
Ontwaterd slib	DS
	Gloeirest
Gedroogd slib	DS
	Gloeirest
	Zware metalen
Waswater scrubber	CZV
	BZV
	N-Kj
	NH ₄
	P-tot
	P-ortho
Lucht	Geur/Kwaliteit

BIJLAGE 4

GEURRAPPORT

NOTITIE**Contactpersoon** René Dam en Henk-Jan Heres**Datum** 22 november 2017**Kenmerk** N001-1226124RHD-hjr-V01

KAMPE – GEUR- EN AMMONIAKMETINGEN 2017

1. INLEIDING

Door Tauw is in het kader van een onderzoek naar de mogelijkheid tot het drogen van zuiveringsslib met behulp van restwarmte, een emissieonderzoek uitgevoerd op de locatie Kampe in Duitsland. De metingen zijn uitgevoerd op 1, 2, 7 en 9 november 2017.

Doel van het emissieonderzoek is het bepalen van de geur- en ammoniakconcentratie en hedonische waarde (aard van de geur) afkomstig van het slib voor en na de gaswasser en biofilter

2. OPZET EN UITVOERING VAN DE METINGEN

Op de locatie staan in totaal zes kassen die gebruikt worden om slib te drogen. Een van deze kassen wordt gebruikt voor de proef van STOWA. Elke kas beschikt over zijn eigen gaswas-systeem waar de afgezogen drooglucht doorheen geleid wordt. Vervolgens gaat de afgezogen lucht door een filter gevuld met biomateriaal. Per drie kassen worden wordt gebruik gemaakt van één biofilter.

Het biofilter is voor een deel afgedekt met een plastic zeil. Het oppervlak bedraagt ongeveer 7 bij 9 meter. Bij de selectie van de plaats is gekeken naar het deel van het biofilter welke zich direct achter de voor de proef gebruikte kas bevindt. Door het zeil zodanig af te dekken ontstaat een uitstroomopening waar de lucht kan ontsnappen. Ter hoogte van deze uitstroomopening zijn geur- en ammoniakmetingen uitgevoerd. Tevens zijn voor het gaswas-systeem geur- en ammoniakmetingen uitgevoerd.

De geur- en ammoniakmetingen zijn telkens simultaan aan de in- en uitgaande stroom van het gaswassysteem (inclusief biofilter) in tweevoud uitgevoerd gedurende 30 minuten per deelmonster.

In tabel B2.1 is het meetprogramma per locatie gegeven

TABEL B2.1

MEETPROGRAMMA

Component	Meetmethode	RvA	Analysemethode	RvA
Ammoniak	NEN 2826: 1999	Q	NEN-EN-ISO 15923-1	Q
Geur	NEN-EN 13725:2003	Q	NEN-EN 13725:2003	Q ¹
Temperatuur	ISO 8756: 1994	Q	-	-
Vocht	NEN-EN 14790: 2005	Q	-	-

1 Door Buro Blauw

De uitvoering van de metingen is in detail beschreven in Bijlage 1.

FIGUUR B1

MEETPUNT VOOR GASWASSING EN BIOFILTER. IN VERBAND MET VERWACHTE HOGE CONCENTRATIE IS MEETAPPARATUUR BUITEN DE RUIMTE OPGESTELD



FIGUUR B2

OPSTELLING MEETAPPARATUUR BUITEN DE RUIMTE



FIGUUR B3

MONSTERNAME ONDER AFGEDEKT DEEL BIOFILTER



FIGUUR B4

BIOFILTERMATERIAAL AAN OPPERVLAKE



FIGUUR B5

BIOFILTER



FIGUUR B6

GEURMONSTERS NA MONSTERNAME



3. RESULTATEN

De resultaten zijn berekend bij genormaliseerde omstandigheden (0 [°C], 101,3 [kPa], droog afgas). Opgemerkt wordt dat Tauw rapportagegrenzen hanteert, dit in verband met de meeton nauwkeurigheid van de meting.

Voor geur wordt in de meetnorm gesproken over een reproduceerbaarheid van een factor 2.

In bijlage B2 van deze geurbijlage is een toelichting gegeven op de hedonische waarde.

Bij het vergelijken van de hedonische waarde van verschillende metingen geldt hoe lager de concentratie bij een bepaalde hinderlijk (H=0,5, H=1 of H=2) des te hinderlijker is de geur.

3.1 RESULTATEN 1 NOVEMBER

In de onderstaande tabellen zijn de meetresultaten van 1 november gegeven.

TABEL B2.2 RESULTATEN GEURMETINGEN 1 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	01-11-2017	01-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	12:48	13:33
Tijd einde	[uu:mm]	13:18	14:03
Geur			
- ingaande zijde	[ouE/m³]	1.800	1.400
- uitgaande zijde	[ouE/m³]	2.900	2.300
Rendement	[%]	-61	-64
Hedonische waarde – ingaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m³]	1,2	< 0,7
H = -1	[ouE/m³]	1,9	0,9
H = -2	[ouE/m³]	5,1	5,9
Hedonische waarde – uitgaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m³]	0,8	1,1
H = -1	[ouE/m³]	3,3	2,1
H = -2	[ouE/m³]	> 6,9	> 5,3

TABEL B2.3 RESULTATEN AMMONIAKMETINGEN 1 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	01-11-2017	01-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	12:48	13:33
Tijd einde	[uu:mm]	13:18	14:03
Ammoniak			
- ingaande zijde	[mg/Nm³]	10	5
- uitgaande zijde	[mg/Nm³]	< 1	< 1
Rendement	[%]	100	> 80

3.2 RESULTATEN 2 NOVEMBER

In de onderstaande tabellen zijn de meetresultaten van 1 november gegeven.

TABEL B2.4

RESULTATEN GEURMETINGEN 2 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	2-11-2017	2-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	15:00	15:43
Tijd einde	[uu:mm]	15:30	16:13
Geur			
- ingaande zijde	[ouE/m ³]	3.900	3.200
- uitgaande zijde	[ouE/m ³]	4.000	3.400
Rendement	[%]	-3	-6
Hedonische waarde – ingaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m ³]	0,6	0,7
H = -1	[ouE/m ³]	1,2	1,5
H = -2	[ouE/m ³]	5,0	5,8
Hedonische waarde – uitgaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m ³]	1,6	1,1
H = -1	[ouE/m ³]	4,3	2,6
H = -2	[ouE/m ³]	> 9,5	14,6

TABEL B2.5

RESULTATEN AMMONIAKMETINGEN 2 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	02-11-2017	02-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	15:00	15:43
Tijd einde	[uu:mm]	15:30	16:13
Ammoniak			
- ingaande zijde	[mg/Nm ³]	9	8
- uitgaande zijde	[mg/Nm ³]	< 1	< 1
Rendement	[%]	100	100

3.3 RESULTATEN 7 NOVEMBER

In de onderstaande tabellen zijn de meetresultaten van 1 november gegeven.

TABEL B2.6

RESULTATEN GEURMETINGEN 7 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	07-11-2017	07-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	10:32	11:14
Tijd einde	[uu:mm]	11:02	11:44
Geur			
- ingaande zijde	[ouE/m³]	26.000	54.000
- uitgaande zijde	[ouE/m³]	22.000	12.000
Rendement	[%]	15	78
Hedonische waarde – ingaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m³]	0,9	<0,6
H = -1	[ouE/m³]	1,5	1,1
H = -2	[ouE/m³]	3,6	>4,5
Hedonische waarde – uitgaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m³]	1,0	1,3
H = -1	[ouE/m³]	2,3	2,4
H = -2	[ouE/m³]	11,6	8,9

TABEL B2.7

RESULTATEN AMMONIAKMETINGEN 7 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	07-11-2017	07-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	10:32	11:14
Tijd einde	[uu:mm]	11:02	11:44
Ammoniak			
- ingaande zijde	[mg/Nm³]	92	68
- uitgaande zijde	[mg/Nm³]	< 1	< 1
Rendement	[%]	100	100

3.4 RESULTATEN 9 NOVEMBER

In de onderstaande tabellen zijn de meetresultaten van 9 november gegeven.

TABEL B2.8

RESULTATEN GEURMETINGEN 9 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	9-11-2017	9-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	11:35	12:12
Tijd einde	[uu:mm]	12:05	12:42
Geur			
- ingaande zijde	[ouE/m ³]	10.000	10.000
- uitgaande zijde	[ouE/m ³]	11.000	5.800
Rendement	[%]	-10	42
Hedonische waarde – ingaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m ³]	1,1	< 0,7
H = -1	[ouE/m ³]	2,5	1,9
H = -2	[ouE/m ³]	> 9,9	> 9,9
Hedonische waarde – uitgaande zijde			
H = -0,5	[ouE/m ³]	0,7	1,2
H = -1	[ouE/m ³]	2,9	3,1
H = -2	[ouE/m ³]	> 15,1	> 8,2

TABEL B2.9

RESULTATEN AMMONIAKMETINGEN 9 NOVEMBER

Component	Eenheid	Meting 1	Meting 2
Datum	[dd-mm-jjjj]	9-11-2017	9-11-2017
Tijd begin	[uu:mm]	11:35	12:12
Tijd einde	[uu:mm]	12:05	12:42
Ammoniak			
- ingaande zijde	[mg/Nm ³]	61	57
- uitgaande zijde	[mg/Nm ³]	1	1
Rendement	[%]	98	98

4. DISCUSSIE EN CONCLUSIES

- De resultaten in de geurmetingen laat een grote spreiding zien. Bekend is dat voor geurmetingen een reproduceerbaarheid wordt gehanteerd van een factor 2. Ervaring leert dat in resultaten van geurmetingen wel een spreiding laten zien. Maar de spreiding zoals deze te zien is bij de metingen voor het biofilter van 7 november wordt beoordeelt als extreem. Gezien het proces (uitdamping) wordt een redelijk constante concentratie verwacht.

Bewust zijn de metingen in tweevoud uitgevoerd om eventuele spreiding in de getallen zichtbaar te maken.

- Het slib 2 geeft voor zowel geur als ammoniak hogere emissieconcentraties dan slib 1
- De geurconcentratie voor het biofilter van slib 1 is de tweede meetdag hoger dan de eerste dag. Slib 2 laat over twee dagen een verlaging van de geurconcentratie zien
- Rendement niet altijd positief. Mogelijk veroorzaakt door rest geur biofilter. In vergelijking met andere biofilter lijkt de concentratie afkomstig van het biofilter hoog te zijn. Aan twee andere biofilters zijn waarden rond $1.000 \text{ ou}_E/\text{m}^3$ gemeten. Op locatie is aangegeven dat het biofiltermateriaal aan vervanging toe is. Dit verklaard mogelijk de hoge geurconcentratie uit het biofilter en het lage rendement van het biofilter
- Het verwijderingsrendement voor ammoniak is goed. De gaswassing (alleen wassing met water) voor het biofilter zal hier ook een bijdrage aanleveren
- Biofilter heeft positief effect op de geurbeleving. De geur na het biofilter wordt als minder hinderlijk ervaren dan de geur voor het biofilter

CONCLUSIES

- Biofilter heeft een positief effect op de geurbeleving van de geur
- Rendement van het biofilter is laag
- Verwijderingsrendement voor NH_3 van het biofilter en gaswassing is goed

BIJLAGE 2.1

OVERZICHT VAN DE GEBRUIKTE MEET- EN ANALYSEMETHODEN

AMMONIAK (NH₃)

Bepalingsmethode	NEN 2826: 1999
Uitvoering	Hierbij is een deelstroom van het afgas afgezogen door impingers geleid die in een waterbad zijn geplaatst. De impingers zijn gevuld met een bekende hoeveelheid 0,05 M H ₂ SO ₄
Analysemethode	NEN 6646 / NEN-EN-ISO 11732

GEUR

Bepalingsmethode	NEN-EN 13725:2003
Uitvoering	Hierbij is aan de uitgaande stroom een deelstroom van het afgas afgezogen met een verdunningstoestel en in het geval van de metingen aan de ingaande stroom door middel van de 'longmethode'. Er is verdund met geurloze stikstof. Het verdunde afgas is opgevangen in een nalofaan monsterzak en binnen 30 uur ter analyse aangeboden aan een geaccrediteerd geurlaboratorium.
Analysemethode	NEN-EN 13725:2003.

TEMPERATUUR

Bepalingsmethode	ISO 8756: 1994
Principe	thermokoppel
Type analysator	type K
Meetbereik	-200 – 1.370 [°C]

WATER (H₂O) - PSYCHROMETRISCH

Bepalingsmethode	NEN-EN 14790: 2005
Uitvoering	Het vochtgehalte is bepaald vanuit de zogenaamde natte en droge bol methode.
Analysemethode	NEN-EN 14790

BIJLAGE 2.2

TOELICHTING HEDONISCHE WAARDE

De hinderlijkheid van een waargenomen geur is onder andere afhankelijk van de karakteristiek van een geur. Geuren kunnen gekarakteriseerd worden aan de hand van de relatie tussen de concentratie, intensiteit en de kwaliteit (uitgedrukt in een hedonische waarde). Voor de metingen naar de hinderlijkheid van geur is aansluiting gezocht bij de ontwikkelingen die gaande zijn in de geurlaboratoria op dit gebied: de hinderlijkheid van de geuren wordt beoordeeld aan de hand van de hedonische waarde van de waargenomen geuren.

De hedonische schaal is als volgt opgebouwd:

- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 4: zeer aangenaam | -1: zeer licht onaangenaam |
| 3: aangenaam | -2: licht onaangenaam |
| 2: licht aangenaam | -3: onaangenaam |
| 1: zeer licht aangenaam | -4: zeer onaangenaam |
| 0: noch aangenaam, noch onaangenaam | |

In praktijk blijkt dat de hedonische score $H = 0$ vrijwel uitsluitend optreedt in situaties waarbij een geur zwak waarneembaar is. In het merendeel van de situaties worden geuren bij een intensiteit zwak of duidelijk in meer of mindere mate onaangenaam gevonden. In grote lijnen kunnen er drie typen geuren worden onderscheiden, waarvan type II het meest voorkomt (zie tabel BB1).

TABEL BB1 VERSCHILLENDE TYPEN GEUREN

Type geur	Voorbeeld	Hedonische score bij intensiteit zwak/duidelijk
I	Gemalen koffie, gebakken brood, geurstoffen	Licht positief ($H = 0$ tot 2)
II	Alle niet uitgesproken lekkere of vieze geuren	Licht negatief ($H = 0$ tot -2)
III	Destructiegeuren, rioollucht, aardolie	Duidelijk negatief ($H = -2$ tot -3)

De gevonden hedonische waarden bij intensiteit 'zwak' en 'duidelijk' worden gekoppeld aan de geurconcentraties die horen bij deze intensiteiten.

De geurconcentraties bij de hedonische scores van $H = -0.5$, $H = -1$ en $H = -2$ worden berekend uitgaande van een logaritmische relatie tussen de geurconcentratie en de hedonische waarde.

Aangenomen wordt dat bij een hedonische waarde H die groter is dan -0.5 (tussen 0 en -0.5) de kans op geurhinder zeer gering is, dat geurhinder waarschijnlijk wordt bij een hedonische waarde negatiever dan -1 (zeer licht onaangename geur) en dat ernstige hinder waarschijnlijk is bij een waarde die lager is dan -2 .

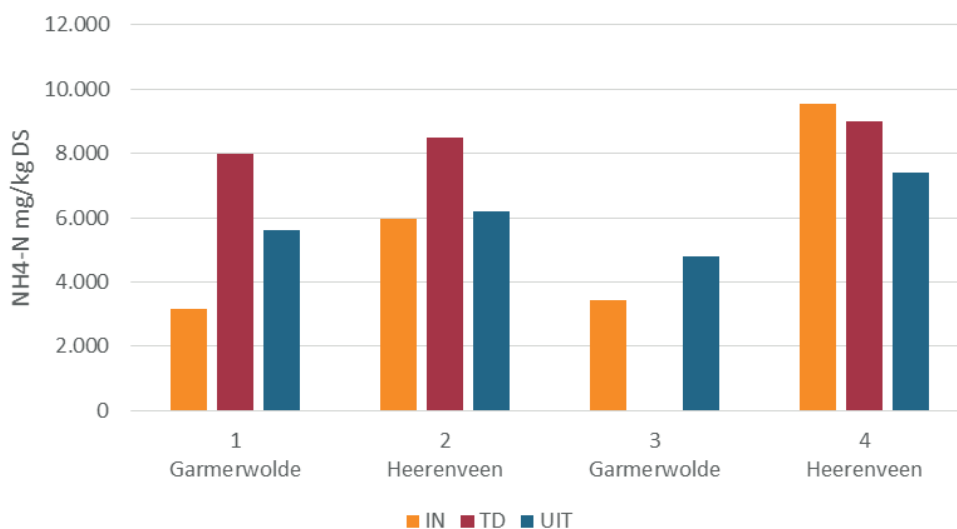
BIJLAGE 5

AMMONIUM IN SLIB

Van het ingaande slib en gedroogde slib is het gehalte aan ammonium in het aanhangende water bepaald. De resultaten zijn weergegeven in figuur B5.1, zie ook bijlage 6 voor de ruwe data. Tijdens batch 3, slib van Garmerwolde, is één tussentijds monster uitgevallen. De methode die is gebruikt, is doorgaans voor bodem monsters (Schudproef NEN 7349), waarbij een bepaalde hoeveelheid droge stof wordt geschud met een gerelateerde hoeveelheid water. In deze hoeveelheid water (eluaat) wordt het $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte bepaald en vervolgens terugge-rekend naar de hoeveelheid droge stof. Omdat de hoeveelheid droge stof (in principe) niet verandert, zijn daarmee de waarden dus onderling met elkaar te vergelijken. De concentraties in het eluaat variëren tussen de 100 en 500 mg/l $\text{NH}_4\text{-N}$, zie bijlage 6 (verduunning factor 20).

FIGUUR B5.1

AMMONIUM IN HET ONTWATERDE EN GEDROOGDE SLIB



De uitkomsten geven geen consistent beeld. Zo is er voor de eerste twee batches een hoger ammoniumgehalte bepaald tijdens de droging (monster op vrijdag) terwijl in de vierde batch een dalende concentratie is gemeten gedurende de droging.

Er is vervolgens nog een controleberekening uitgevoerd, door het $\text{NH}_4\text{-N}$ in het eluaat om te rekenen naar het $\text{NH}_4\text{-N}$ gehalte in het “aanhangende” water, zie tabel B5.1. Hierdoor lijkt te worden bevestigd, dat de $\text{NH}_4\text{-N}$ zich ophoopt in het laatste “restje” water.

Een sluitende stikstofbalans opstellen op basis van de analyseresultaten is niet mogelijk. Bij het slib van Heerenveen is in batch 2 de balans wel sluitend, in batch 4 is er wat $\text{NH}_4\text{-N}$ verloren gegaan. Bij Garmerwolde lijkt er in het gedroogde slib opeens meer $\text{NH}_4\text{-N}$ aanwezig te zijn.

TABEL B5.1

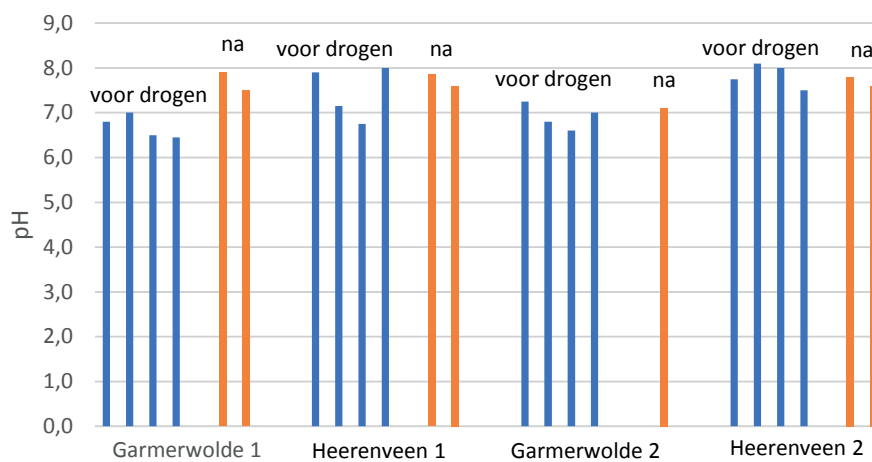
BEREKENDE GEHALTEN $\text{NH}_4\text{-N}$ IN HET "AANHANGENDE" WATER VOOR EN NA DROGEN

Batch	Oorsprong	Gem $\text{NH}_4\text{-N}$ vóór		Reductie watervolume	Gem $\text{NH}_4\text{-N}$ na	
		mg/l	kg/week		mg/l	kg/week
1	Garmerwolde	1.100	80	6,5 x	13.000	145
2	Heerenveen	1.500	120	25 x	38.000	120
3	Garmerwolde	1.200	90	5,3 x	9.000	125
4	Heerenveen	2.600	200	11 x	23.000	165

Bij de uitloogtesten is ook (standaard) de pH gemeten. Zie figuur B5.2. Hieruit komt geen consistent beeld naar voren.

FIGUUR B5.2

PH IN DE ELUATEN VOOR EN NA DROGEN VAN DE 4 BATCHES



Navraag bij Al-West heeft opgeleverd, dat een verklaring zou kunnen zijn dat de samenstelling van het slib is veranderd tijdens het drogen en dat hierdoor de stikstof na droging beter beschikbaar is in de uitloogtest (slibmorfologie?). Dit zou een vertekend beeld kunnen geven. Het is niet duidelijk of deze hypothese klopt. Vooral nog is geen betere verklaring voorhanden.

Het ingaande slib bestond uit meerdere batches. Deze batches zijn in duplo bemonsterd. Deze waarden zijn in tabel B5.2 opgenomen. Hieruit blijkt dat in de gemeten waarden veel variatie aanwezig is. Dit zou ook een oorzaak kunnen zijn van de niet sluitende stikstofbalans.

TABEL B5.2

DROGE-STOFGEHALTE EN MG N /KG DS PER MONSTER

Nummer	Proef weeknr	bron slib	datum monstername	Droge stof %)	Schudtest (mg N/kg ds)
1.1a	42	Garmerwolde	13-10-2017	25,1	3.000
1.1b	42	Garmerwolde	13-10-2017	25,3	3.600
1.2a	42	Garmerwolde	14-10-2017	27,2	3.400
1.2b	42	Garmerwolde	14-10-2017	30,3	*
1.3a	42	Garmerwolde	16-10-2017	25,7	2.600
1.3b	42	Garmerwolde	16-10-2017	24,3	2.400
1.4a	42	Garmerwolde	16-10-2017	24,8	3.600
1.4b	42	Garmerwolde	16-10-2017	25,8	3.200
1.5a	43	Heerenveen	19-10-2017	19,2	11.000
1.5b	43	Heerenveen	19-10-2017	19,6	9.000
1.6a	43	Heerenveen	20-10-2017	21,1	2.200
1.6b	43	Heerenveen	20-10-2017	21,5	2.400
1.7a	43	Heerenveen	23-10-2017	22,1	3.000
1.7b	43	Heerenveen	23-10-2017	21,5	3.400
1.8a	43	Heerenveen	23-10-2017	20,7	11.000
1.8b	43	Heerenveen	23-10-2017	20,3	5.600
1.9a	44	Garmerwolde	27-10-2017	24	5.000
1.9b	44	Garmerwolde	27-10-2017	25,2	3.400
1.10a	44	Garmerwolde	27-10-2017	24,9	3.000
1.10b	44	Garmerwolde	27-10-2017	24,9	2.600
1.11a	44	Garmerwolde	30-10-2017	25,5	2.600
1.11b	44	Garmerwolde	30-10-2017	26,8	2.600
1.12a	44	Garmerwolde	30-10-2017	25,6	4.800
1.12b	44	Garmerwolde	30-10-2017	26,5	3.400
1.13a	45	Heerenveen	3-11-2017	20,6	11.000
1.13b	45	Heerenveen	3-11-2017	20,8	10.000
1.14a	45	Heerenveen	3-11-2017	22,5	7.800
1.14b	45	Heerenveen	3-11-2017	21,9	8.400
1.15a	45	Heerenveen	6-11-2017	22	8.600
1.15b	45	Heerenveen	6-11-2017	23	8.800
1.16a	45	Heerenveen	6-11-2017	20,7	12.000
1.16b	45	Heerenveen	6-11-2017	20,6	9.800
3.1	42	Garmewolde	23-10-2017	69,9	5.600
3.2	43	Heerenveen	30-10-2017	85,9	6.200
3.3	44	Garmewolde	6-11-2017	64,7	4.800
3.4	45	Heerenveen	13-nov	75,4	7.400

BIJLAGE 6

MEETRESULTATEN VAN THERMO SYSTEM

In de onderstaande tabellen en figuren zijn de resultaten van de testen zoals die door Thermo System zijn aangeleverd, weergegeven, zie de ruwe data op de volgende bladen in deze bijlage. De tonnen slib in en uit zijn van de weegbrug van OBK. De ds gehalten in de monsters komen uit hetzelfde verzamelmonster als waaruit de ds metingen in hoofdstuk 4 zijn weergegeven. De analyses zijn echter door OBK zelf gedaan en niet door een sterlab. De energie-input van warmte en van stroom zijn door Thermo System uit data van OBK teruggerekend naar 1 compartiment (896 m²). Verder zijn er nog diverse data geregistreerd, zoals zon instraling, luchtvochtigheid, bedrijfsuren, etc.

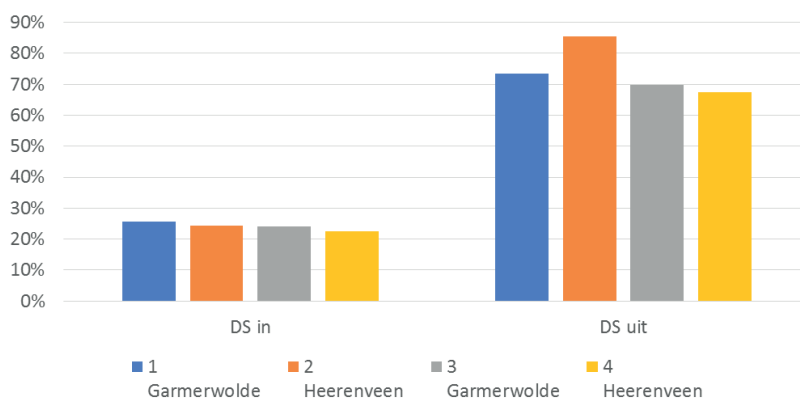
De energiegetallen zijn omgerekend naar kWh per ton verdampt water.

	156 uur	weegbrug	weegbrug	verdampt	warmte	warmteverbruik		zon	elektriciteit	elektriciteit
		Slib in	Slib uit	water	vermogen				verbruik totaal	
		(ton)	(ton)	(ton)	(kW)	kWh/ton H2O verdampt	GJ/ton	(kW)	kWh	kWh/ton H2O verdampt
batch 1	Garmerwolde	99	37	62	630	1.582	5.694	45	28.205	76
batch 2	Heerenveen	102	23	79	531	1.049	3.777	36	29.291	62
batch 3	Garmerwolde	102	38	64	582	1.410	5.075	30	28.516	74
batch 4	Heerenveen	103	29	74	653	1.369	4.929	22	29.036	65

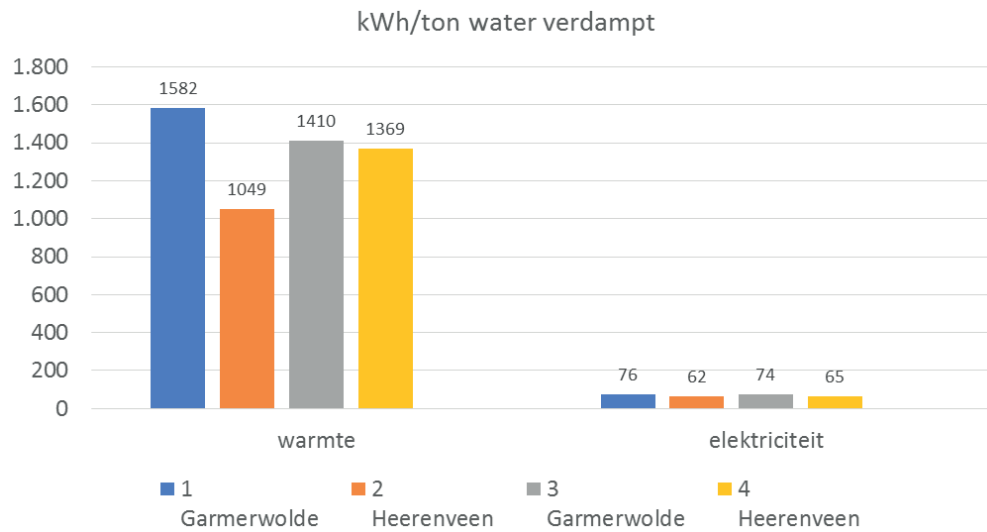
Als een balans wordt opgesteld met de getallen van de weegbrug en de door OBK gemeten ds waarden, zit er een gaatje in de balans. Dit lijkt te zijn veroorzaakt door onnauwkeurigheden in de ds metingen en niet door afbraak van slib, aangezien er in de ods gehalten (zie H4) nage-noeg geen verschil is aangetroffen.

		gemeten	berekend	gemeten	berekend	Gat in balans
		% ds in	ton ds in	% ds uit	ton ds uit	ton ds
batch 1	Garmerwolde	25,6%	25	73,6%	27	-1,8
batch 2	Heerenveen	24,5%	25	85,5%	20	5,3
batch 3	Garmerwolde	24,2%	25	69,8%	26	-1,6
batch 4	Heerenveen	22,6%	23	67,5%	20	3,8

In de navolgende figuur zijn de drogestofgehalten voor en na drogen (156 h) opgenomen.

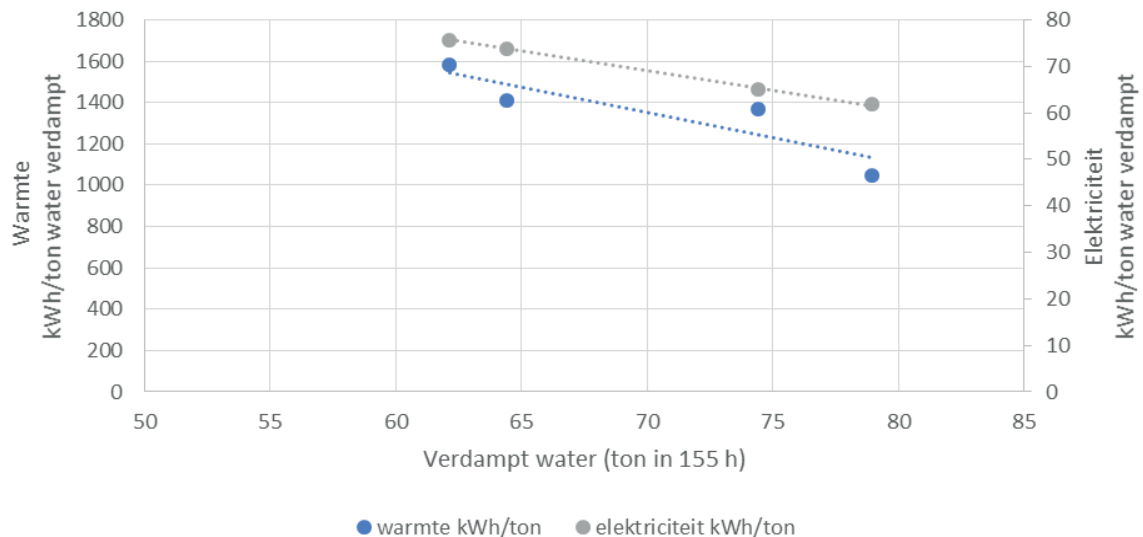


In de volgende figuur zijn de specifieke energiewaarden in kWh per ton verdampt water weer-gegeven (warmte en elektriciteit).



Thermo System geeft aan dat in het stroomverbruik ook een warmtepomp en de biofilters zijn opgenomen. Zij schatten in dat het verbruik daarmee circa 0,020 MWh/ton lager zou moeten zijn.

In onderstaand figuur is de hoeveelheid verdampt water uitgezet tegen het specifieke energie-verbruik. Uit de figuur is af te leiden dat er een directe relatie is tussen de hoeveelheid verdampt water en het energierendement. Bij OBK is de energie-inbreng niet precies per compartiment te regelen en daardoor wordt er meer energie ingebracht dan nodig/kan worden benut. Daardoor scoort natter en gedeeltelijk onvergist slib van Heerenveen beter op specifiek energieverbruik.





STOWA Sewage Sludge Drying Test

Drying Test 1

Start	Date	16.10.2017 18:00
End	Date	23.10.2017 06:00
Duration	h	156
Drying surface	m²	896

Sludge in

	%DS	Mass OS		Mass DS	
		t		t	
Truckload 1/1	%DS	24,85%	24,78	6,16	
Truckload 1/2	%DS	27,59%	24,78	6,84	
Truckload 1/3	%DS	24,61%	24,78	6,10	
Truckload 1/4	%DS	25,45%	24,78	6,31	
total		25,6%	99,12	25,40	

Sludge out

measured		73,55%	36,98
calculated			34,53

Drying performance

Total	t	62,14
	WE *kg/m²d	10,7

*Water Evaporation

Thermal Energy Requirement

Heating power, average	kW	630
Specific thermal energy requirement	kWh/t WE*	1581

*Water Evaporation

Solar Energy

Solar radiation, average	kW	45
--------------------------	----	----

Electric Energy Requirement

Electric meter at the beginning	kWh	469256
Electric meter at the end	kWh	497461
E. Consumption	kWh	28205
Specific electric energy requirement	kWh/t WE*	76

*Water Evaporation

-20 (less regarding Heating Pump + Biofilter)

Weather data

Rel. Humidity, indoor	%	43,1
Temperature, indoor	C°	39,2
Solar radiation, outdoor	kW	45

Running time

Heat exchanger	h	92
ElectricMole	h	57
Aeration Fans	h	90
Exhaust Air Fans	h	92

Speed frequency

Aeration Fans	%	52,3
Exhaust Air Fans	%	22,7



Drying Test 2

Start	Date	23.10.2017 18:00
End	Date	30.10.2017 06:00
Duration	h	156
Drying surface	m ²	896

Sludge in

		Mass OS		Mass DS	
		%DS	t	t	t
Truckload 2/1	%DS	27,07%	25,50	6,90	
Truckload 2/2	%DS	21,40%	25,50	5,46	
Truckload 2/3	%DS	28,27%	25,50	7,21	
Truckload 2/4	%DS	21,20%	25,50	5,40	
total		24,5%	101,98	24,97	

Sludge out

measured		85,51%	23,02
calculated			29,20

Drying performance

Total	t	78,96
	WE *kg/m ² d	13,6

*Water Evaporation

Thermal Energy Requirement

Heating power, average	kW	531
Specific thermal energy requirement	kWh/t WE*	1048

*Water Evaporation

Solar Energy

Solar radiation, average	kW	36
--------------------------	----	----

Electric Energy Requirement

Electric meter at the beginning	kWh	498586
Electric meter at the end	kWh	527877
E. Consumption	kWh	29291
Specific electric energy requirement	kWh/t WE*	62

*Water Evaporation

-20 (less regarding Heating Pump + Biofilter)

Weather data

Rel. Humidity, indoor	%	39,9
Temperature, indoor	C°	38,9
Solar radiation, outdoor	kW	36

Running time

Heat exchanger	h	127
ElectricMole	h	80
Aeration Fans	h	153
Exhaust Air Fans	h	141

Speed frequency

Aeration Fans	%	82,4
Exhaust Air Fans	%	37,1



Start	Date	30.10.2017 18:00
End	Date	06.11.2017 06:00
Duration	h	156
Drying surface	m ²	896

Sludge in			Mass OS	Mass DS
	%DS		t	t
Truckload 3/1	%DS	22,88%	25,53	5,84
Truckload 3/2	%DS	24,17%	25,53	6,17
Truckload 3/3	%DS	24,72%	25,53	6,31
Truckload 3/4	%DS	25,04%	25,53	6,39
total		24,2%	102,1	24,71

Sludge out			
measured		69,77%	37,7
calculated			35,42

Drying performance

Total	t	64,4
	WE *kg/m ² d	11,1

*Water Evaporation

Thermal Energy Requirement

Heating power, average	kW	582
Specific thermal energy requirement	kWh/t WE*	1409

*Water Evaporation

Solar Energy

Solar radiation, average	kW	30
--------------------------	----	----

Electric Energy Requirement

Electric meter at the beginning	kWh	529058
Electric meter at the end	kWh	557574
E. Consumption	kWh	28516
Specific electric energy requirement	kWh/t WE*	74

*Water Evaporation

-20 (less regarding Heating Pump + Biofilter)

Weather data

Rel. Humidity, indoor	%	47,7
Temperature, indoor	C°	36,1
Solar radiation, outdoor	kW	30

Running time

Heat exchanger	h	130
Electric Mole	h	85
Aeration Fans	h	136
Exhaust Air Fans	h	132

Speed frequency

Aeration Fans	%	79,1
Exhaust Air Fans	%	38,9

4

Drying Test 4

Start	Date	06.11.2017 18:00
End	Date	13.11.2017 06:00
Duration	h	156
Drying surface	m ²	896

Sludge in			Mass OS	Mass DS
		%DS	t	t
Truckload 4/1	%DS	22,24%	25,87	5,75
Truckload 4/2	%DS	23,65%	25,87	6,12
Truckload 4/3	%DS	22,76%	25,87	5,89
Truckload 4/4	%DS	21,80%	25,87	5,64
total		22,6%	103,46	23,39

Sludge out			
measured		67,52%	29,06
calculated			34,65

Drying performance

Total	t	74,4
	*WE kg/m ² d	12,8

*Water Evaporation

Thermal Energy Requirement

Heating power, average	kW	653
Specific thermal energy requirement	kWh/t *WE	1369

*Water Evaporation

Solar Energy

Solar radiation, average	kW	22
--------------------------	----	----

Electric Energy Requirement

Electric meter at the beginning	kWh	559158
Electric meter at the end	kWh	588194
E. Consumption	kWh	29036
Specific electric energy requirement	kWh/t *WE	65

*Water Evaporation

-20 (less regarding Heating Pump + Biofilter)

Weather data

Rel. Humidity, indoor	%	46,7
Temperature, indoor	C°	35,0
Solar radiation, outdoor	kW	22

Running time

Heat exchanger	h	123
ElectricMole	h	73
Aeration Fans	h	149
Exhaust Air Fans	h	131

Speed frequency

Aeration Fans	%	76
Exhaust Air Fans	%	33,6



BIJLAGE 7

RUWE MEETRESULTATEN KASSEN

In deze bijlage zijn de gemeten waarden weergegeven die door Al-West zijn bepaald. Het betreft alle meetdata, zowel ds, gloeirest, NH_4 , pH, etc.

volledige tekst op monsterpot	Week	bron slib	datum monster	soort monster	ds %	gloeirest % DS	NH4-N mg/kg Ds	NH4-N(mg/l) Eluat	NH4-N (mg/l) slibwater	N-K mg/l	NH4-N CZV mg/l	opmerkingen						
13-10-2017 SC.Technology NL probe 1.1a	42	Garmerwolde	13-10-2017	ontwaterd slib	25,1	41,9	3.000	150	1.005									
13-10-2017 SC.Technology NL probe 1.1B	42	Garmerwolde	13-10-2017	ontwaterd slib	25,3	41,8	3.600	180	1.219									
SC technology NL 14.10.17 1.2a	42	Garmerwolde	14-10-2017	ontwaterd slib	27,2	40,5	3.400	170	1.270									
SC technology NL 14.10.17 1.2B	42	Garmerwolde	14-10-2017	ontwaterd slib	30,3	42,7	*	*										
SC technology NL 16.10.17 1.3A	42	Garmerwolde	16-10-2017	ontwaterd slib	25,7	41,5	2.600	130	899									
SC technology NL 16.10.17 1.3B	42	Garmerwolde	16-10-2017	ontwaterd slib	24,3	40,4	2.400	120	770									
SC technology NL 16.10.17 1.4A	42	Garmerwolde	16-10-2017	ontwaterd slib	24,8	41,6	3.600	180	1.187									
SC technology NL 16.10.17 1.4B	42	Garmerwolde	16-10-2017	ontwaterd slib	25,8	41,2	3.200	160	1.113									
SC technology 19.10.17 1.5A	43	Heerenveen	19-10-2017	ontwaterd slib	19,2	31,6	11.000	530	2.614									
SC technology 19.10.17 1.5B	43	Heerenveen	19-10-2017	ontwaterd slib	19,6	31,9	9.000	450	2.194									
20.10.17 1.6A	43	Heerenveen	20-10-2017	ontwaterd slib	21,1	40,6	2.200	110	588									
20.10.17 1.6B	43	Heerenveen	20-10-2017	ontwaterd slib	21,5	41,5	2.400	120	657									
23.10.17 1.7A	43	Heerenveen	23-10-2017	ontwaterd slib	22,1	39,6	3.000	150	851									
23.10.17 1.7B	43	Heerenveen	23-10-2017	ontwaterd slib	21,5	38,8	3.400	170	931									
23.10.17 1.8A	43	Heerenveen	23-10-2017	ontwaterd slib	20,7	32,9	11.000	560	2.871									
23.10.17 1.8B	43	Heerenveen	23-10-2017	ontwaterd slib	20,3	33,6	5.600	280	1.426									
Sc Technology 27.10.17 1.9 a	44	Garmerwolde	27-10-2017	ontwaterd slib	24	39,7	5.000	250	1.579									
Sc Technology 27.10.17 1.9 b	44	Garmerwolde	27-10-2017	ontwaterd slib	25,2	39,6	3.400	170	1.145									
27.10.17 SC Technology 1.10a	44	Garmerwolde	27-10-2017	ontwaterd slib	24,9	40	3.000	150	995									
27.10.17 SC Technology 1.10b	44	Garmerwolde	27-10-2017	ontwaterd slib	24,9	40,4	2.600	130	862									
Sc Technology 30.10.17 1.11a	44	Garmerwolde	30-10-2017	ontwaterd slib	25,5	40,8	2.600	130	890									
Sc Technology 30.10.17 1.11b	44	Garmerwolde	30-10-2017	ontwaterd slib	26,8	40	2.600	130	952									
Sc Technology 1.12a 30.10.17	44	Garmerwolde	30-10-2017	ontwaterd slib	25,6	40,5	4.800	240	1.652									
Sc Technology 1.12b 30.10.17	44	Garmerwolde	30-10-2017	ontwaterd slib	26,5	40	3.400	170	1.226									
SC technology 1.13a 3.11.2017	45	Heerenveen	3-11-2017	ontwaterd slib	20,6	30,1	11.000	540	2.854									
SC technology 1.13b 3.11.2017	45	Heerenveen	3-11-2017	ontwaterd slib	20,8	31,1	10.000	500	2.626									
Sc technolohu 1.14a 03.11.17	45	Heerenveen	3-11-2017	ontwaterd slib	22,5	38,3	7.800	390	2.265									
SC technology 1.14b 03.11.17	45	Heerenveen	3-11-2017	ontwaterd slib	21,9	38,8	8.400	420	2.355									
SC technology 06.11.17 1.15a	45	Heerenveen	6-11-2017	ontwaterd slib	22	36,5	8.600	430	2.426									
SC Technology 6.11.17 1.15b	45	Heerenveen	6-11-2017	ontwaterd slib	23	36,2	8.800	440	2.629									
SC Technology 6.11.17 1.16a	45	Heerenveen	6-11-2017	ontwaterd slib	20,7	31,6	12.000	620	3.132									
SC Technology 6.11.17 1.16b	45	Heerenveen	6-11-2017	ontwaterd slib	20,6	32,1	9.800	490	2.543									
20.10.17 Freitag Halle 3 2.1a	42		20-10-2017	Halle slib	45,2	37,7	7.200	360	5.939									
20.10.17 Freitag Halle 3 2.1b	42		20-10-2017	Halle slib	38,8	37,6	8.800	440	5.579									
27.10.17 Freitag Halle 3 2.2a 66.20%	43		27-10-2017	Halle slib	60,3	36,1	9.800	490	14.885									
27.10.17 Freitag Halle 3 2.2b 66.20%	43		27-10-2017	Halle slib	61,9	37,1	7.200	360	11.698									
	44		3-11-2017	Halle slib	*	*	*	*										
10.11.17 Halle 3.58.26% 2.4	45		10-nov	Halle slib	53,3	36,9	9.000	450	10.272									
Halle 3 Trocken 3.1 Holland 23.10.17	42		23-10-2017	gedroogd slib	69,9	38,6	5.600	280	13.005									
H3 Trocken 3.2 Holland 30.10.17	43		30-10-2017	gedroogd slib	85,9	35,3	6.200	310	37.772									
Halle 3 trockenschl. 6.11.17 3.3	44		6-11-2017	gedroogd slib	64,7	40,2	4.800	240	8.798									
13.11.17 Halle 3 74.21% 3.4	45		13-nov	gedroogd slib	75,4	37,2	7.400	370	22.681									
2-11-17 Wasserwater Friesoyte 4.1	44		2-11-2017	waswater						104	96	170						
9-11/2017 wasserwater 4.2	45		9-11-2017	waswater						284	260	270						

Batch	AANVOER												
	Datum	Ledig	Vol	Slib									
		kg	kg	kg	Tijd bij OBK	Mnstr	%DS OBK	%DS Lab	kg DS	kg DS lab	Gloeirest lab	%ODS Lab	kg ODS
1 Garmerwolde	13-okt 1.1a+1.1b	16.760	41.820	25.060	11:59	1	24,85%	25,20%	6.227	6.315	41,85%	58,15%	3.672
	14-okt 1.2a+1.2b	16.600	40.180	23.580	06:55	2	27,59%	28,75%	6.506	6.779	41,60%	58,40%	3.959
	16-okt 1.3a+1.3b	16.520	41.560	25.040	11:24	3	24,61%	25,00%	6.162	6.260	40,95%	59,05%	3.697
	16-okt 1.4a+1.4b	16.460	41.900	25.440	18:37	4	25,45%	25,30%	6.474	6.436	41,40%	58,60%	3.772
	20-okt 2.1a+2.2b												
	23-okt 3.1												
	23-okt												
	Som/Gem	16.585	41.365	99.120			25,63%	26,06%	25.370	25.791	41,45%	58,55%	15.100
2 Heerenveen	19-okt 1.5a+1.5b			24.780			27,07%	19,40%	6.708	4.807	31,75%	68,25%	3.281
	20-okt 1.6a+1.6b			25.120			21,40%	21,30%	5.376	5.351	41,05%	58,95%	3.154
	23-okt 1.7a+1.7b			25.700			28,27%	21,80%	7.265	5.603	39,20%	60,80%	3.406
	23-okt 1.8a+1.8b			26.380			21,20%	20,50%	5.593	5.408	33,25%	66,75%	3.610
	27-okt 2.2a+2.2b												
	30-okt 3.2												
	30-okt												
	Som/Gem			101.980			24,49%	20,75%	24.942	21.168	36,31%	63,69%	13.451
3 Garmerwolde	27-okt 1.9a+1.9b			24.280			22,88%	24,60%	5.555	5.973	39,65%	60,35%	3.605
	27-okt 1.10a+1.10b			26.160			24,17%	24,90%	6.323	6.514	40,20%	59,80%	3.895
	30-okt 1.11a+1.11b			25.380			24,72%	26,15%	6.274	6.637	40,40%	59,60%	3.956
	30-okt 1.12a+1.12b			26.280			25,04%	26,05%	6.581	6.846	40,25%	59,75%	4.090
	3-nov												
	6-nov 3.3												
	6-nov												
	Som/Gem			102.100			24,20%	25,43%	24.733	25.970	40,1%	59,9%	15.546
4 Heerenveen	3-nov 1.13a+1.13b			0			22,24%	20,70%	0	0	30,60%	69,40%	0
	3-nov 1.14a+1.14b			0			23,65%	22,20%	0	0	38,55%	61,45%	0
	6-nov 1.15a+1.15b			0			22,76%	22,50%	0	0	36,35%	63,65%	0
	6-nov 1.16a+1.16b			0			21,80%	20,65%	0	0	31,85%	68,15%	0
	10-nov 2.4												
	13-nov 3.4												
	13-nov												
	Som/Gem			103.460			22,61%	21,51%	0	22.257	34,34%	65,66%	0

Batch	AANVOER			Tijdens droging		Afvoer									
	Datum	Ledig				Ledig	Vol	Slib							
		kg	%DS Lab	Gloeirest Lab	kg	kg	kg	kg	%DS OBK	%DS Lab	kg DS	kg H2O verdampt	Gloeirest lab	%ODS Lab	kg ODS
1 Garmerwolde	13-okt 1.1a+1.1b	16.760													
	14-okt 1.2a+1.2b	16.600													
	16-okt 1.3a+1.3b	16.520													
	16-okt 1.4a+1.4b	16.460													
	20-okt 2.1a+2.2b		42,00%	37,65%											
	23-okt 3.1							36.980	73,6%	69,9%	25.849		38,6%	61,4%	9.978
	23-okt														
	Som/Gem	16.585	42,0%	37,7%				36.980	73,6%	69,9%	25.849	62.140	38,6%	61,4%	9.978
2 Heerenveen	19-okt 1.5a+1.5b														
	20-okt 1.6a+1.6b														
	23-okt 1.7a+1.7b														
	23-okt 1.8a+1.8b														
	27-okt 2.2a+2.2b		61,10%	36,60%											
	30-okt 3.2							23.020	85,5%	85,9%	19.774		35,3%	64,7%	6.980
	30-okt														
	Som/Gem		61,1%	36,6%				23.020	85,5%	85,9%	19.774	78.960	35,3%	64,7%	6980,286
3 Garmerwolde	27-okt 1.9a+1.9b														
	27-okt 1.10a+1.10b														
	30-okt 1.11a+1.11b														
	30-okt 1.12a+1.12b														
	3-nov		42,0%	37,7%											
	6-nov 3.3							40.138	64,7%	64,7%	25.970		40,2%	59,8%	10.440
	6-nov														
	Som/Gem		42,0%	37,7%				37.700	64,7%	64,7%	25.970	64.400	40,2%	59,8%	10439,75
4 Heerenveen	3-nov 1.13a+1.13b														
	3-nov 1.14a+1.14b														
	6-nov 1.15a+1.15b														
	6-nov 1.16a+1.16b														
	10-nov 2.4		53,30%	36,90%											
	13-nov 3.4							29.518	74,2%	75,4%	22.257		37,2%	62,8%	8.280
	13-nov														
	Som/Gem		53,3%	36,9%				29.060	74,2%	75,4%	22.257	74.400	37,2%		8279,542

Scenario	OBC jaar	4 Batches	Banddroger Ede
kWh-t/ kg H2O	~1.1	~1.35	~1.05
kWh-e/ kg H2O	~0.05	~0.08	~0.18

