

stowa

GRUISONTWATERING



WERKRAPPORT

2018
W18

GRUISONTWATERING

WERKRAPPORT

2018
W18



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Aaldrik Haijer - Water & Energy Solutions
Peter Vast - Water & Energy Solutions

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Jan Theulen - Heidelberg Cement
Willy Poiesz – Waterschap Noorderzijlvest
Yede van der Kooij - Wetterskip Fryslân
Luc Sijstermans - SNB
Martin Kies - Kemira
Chris Reijken - Waternet
Arjen van Nieuwenhuijzen - Witteveen+Bos
Eloi van Dijk - Andritz
Michael Tettke - Swiss Combi Technology
Cora Uijterlinde - STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2018-18

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

Energie- en kostenbesparing zijn belangrijke uitdagingen voor de toekomst van Nederlandse Waterschappen. Op het gebied van rioolwaterzuivering speelt hierbij met name de slibverwerking een belangrijke rol. Om slib energetisch en kosteneffectief te verwerken, wordt het voor de thermische eindverwerking eerst mechanisch ontwaterd.

Om zo veel mogelijk water mechanisch te verwijderen is de afgelopen jaren onderzoek gedaan naar de toepassing van gruisontwatering. Bij gruisontwatering kunnen door het toevoegen aan slib van niet samendrukbare deeltjes, significant hogere droge stof gehalten bereikt worden. Door de toevoeging aan het slib van kolengruis worden op de rwzi Bottrop in Duitsland droge stof gehalten van 48% behaald. Deze ervaringen waren mede de aanleiding om de mogelijkheden van gruisontwatering in Nederland te verkennen.

Binnen het onderzoek 'Verkenning Gruisontwatering', is lab onderzoek, pilot schaal onderzoek en praktijk onderzoek gedaan naar het optimaliseren van mechanische slibontwatering door het toevoegen van niet samendrukbare deeltjes. Hierbij is met het slib van slibontwatering Garmerwolde van waterschap Noorderzijlvest op het lab van de Rijkuniversiteit Groningen aangetoond dat 40% droge stof haalbaar is. Verder is op praktijkschaal aangetoond dat met bandfilterpersen, centrifuges en kamerfilterpersen 33% meer water uit de slibkoek verwijderd kan worden door toepassing van gruisontwatering.

In navolging van de resultaten van dit onderzoek, heeft in 2017 een aanbesteding plaatsgevonden voor de eindverwerking van zuiveringsslib waarbij ook de mogelijkheid van gruisontwatering in combinatie met kamerfilterpersen is meegenomen. Het ging hierbij om een relatief beperkte hoeveelheid slib (12.000 ton droge stof per jaar) met een korte contractduur (3 jaar). Bij de aanbesteding van de eindverwerking van de slibkoek bleek de toepassing van gruisontwatering duurder uit te vallen. Het waterverdampingsvoordeel gedefinieerd als de reductie van het fossiel aardgas verbruik, bleek kostentechnisch niet op te wegen tegen de extra transport- en verwerkingskosten die het gruis in het gedroogde eindproduct, met zich meebracht. De CO₂-reductie en de extra energie-inhoud van het eindproduct, kon in de huidige markt, niet verzilverd worden.

Wanneer de vraag naar groene brandstoffen in de toekomst toeneemt, biedt gruisontwatering mogelijkheden om Nederlandse slibketens energetisch verder te verbeteren.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

1

SAMENVATTING

Het reduceren van de energieconsumptie, de (fossiele) CO₂-uitstoot, kostenreductie en een dreigend tekort aan grondstoffen in de toekomst zijn een belangrijke aanleiding voor het optimaliseren van de slibketen. Voorbeelden van optimalisatie in de slibketen zijn vergisting, eventueel met voorbehandelingstechnieken, en het terugwinnen van fosfaten en andere nutriënten. Waar vergisting zich richt op het inzetten van een gedeelte van het slib als secundaire brandstof, richt fosfaat en nutriëntterugwinning zich op het hergebruik van stoffen. Naast deze voorbeelden, liggen er kansen voor optimalisatie in het verbeteren van de slibontwatering. Verbeterde mechanische slibontwatering maakt dat er voor de thermische droogstap van de slibverwerking, significant minder energie nodig is.

In de huidige situatie bevat mechanisch ontwaterd slib dat de rioolwaterzuivering verlaat tot wel 80% water. Om slib geschikt te maken voor het benutten van zijn thermische waarde en van zijn mineralen, wordt er in de slibketen energie gebruikt om slib te drogen. Deze energie kan uit een fossiele bron komen, zoals het geval is bij droging middels aardgas. Maar de energie voor droging kan ook komen uit het organisch deel van het slib zelf, zoals in het geval van slib(voor)droging bij monoverbranding of bij compostering.

In alle gevallen is door slib verder mechanisch te ontwateren, minder energie nodig in de slibketen en is er meer energie voor nuttige toepassingen beschikbaar, wat past bij het streven naar een efficiënte biobased economy.

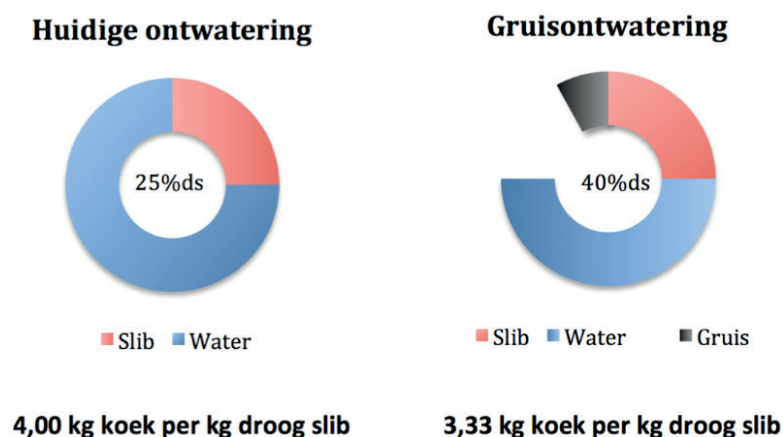
Gruisontwatering is een techniek voor het verhogen van het ontwateringsrendement bij mechanische slibontwatering. Bij gruisontwatering worden niet samendrukbare deeltjes als hulpmiddel toegevoegd aan slib, waardoor een significante verbetering optreedt in de ontwaterbaarheid. Hierdoor kan al op de slibontwatering van de RWZI meer water uit het slib verwijderd worden en hoeft er minder water verdampt te worden door de slib-eindverwerkers en slibdrogers. Het toevoegen van koolstof als structuurstof aan het slib kan bijvoorbeeld op de rwzi in Bottrop Duitsland middels membraanfilterpersen tot 48% ds gehaald worden.

Binnen het STOWA onderzoek Verkenning Gruisontwatering, is lab onderzoek, pilot schaal onderzoek en praktijk onderzoek gedaan naar het optimaliseren van mechanische slibontwatering door het toevoegen van niet samendrukbare deeltjes. Hierbij is met het slib van slibontwatering Garmerwolde van waterschap Noorderzijlvest op het lab van de Rijkuniversiteit Groningen aangetoond dat 40% koek ds haalbaar is. Dit, met een reductie in coagulant en flocculant gebruik.

Ter illustratie van de impact van de verbetering in mechanische ontwatering, geeft de figuur 1 het verschil in watergehalte op basis van een massabalans weer. In de linker variant (25% ds), is er per kg ds slib, 3 kg water aanwezig. In de rechter variant is er bij dezelfde hoeveelheid slib, maar 2 kg water aanwezig. En hoewel hiervoor 0,3 kg kolengruis per kg ds slib gedoseerd is, zit er in de gruis koek een derde minder water.

FIGUUR 1

DE VERBETERING VAN GRUISONTWATERING SCHEMATISCH



Op basis van de gunstige labresultaten, zijn testen uitgevoerd op pilot schaal in Heerenveen middels een mini Kamerfilterpers en is vervolgens opgeschaald naar praktijkschaal. De praktijkschaal testen zijn uitgevoerd op verschillende locaties en met behulp van verschillende ontwateringstechnieken. De resultaten van de praktijk testen zijn weergegeven in tabel 1.

TABEL 1

OVERZICHT LOCATIES, APPARATUUR EN DS-RESULTATEN PRAKTIJKTESTEN GRUISONTWATERING

Locatie	Apparatuur	Ontwatering	Ontwatering	Gruisdosering	FeCl ₃ -dosering		PE-dosering	
		Referentie ds	Met gruis ds		Ref g/kg ds	Gruis g/kg ds	Ref g/kg ds	Gruis g/kg ds
Garmerwolde	Kamerfilterpers	26%	29 – 36%	33%	65	45	6	5
Heerenveen	Kamerfilterpers	22%	35 – 38%	30%	70	70	7	6
Den Helder	Zeefbandpers	19%	23%	15%	-	-	20	8
Alkmaar	Centrifuge	23%	35%	25%	-	-		18
Zutphen	Centrifuge	23%	25 – 36%	30%	-	-		12,5

Hoewel de tabel laat zien dat bij verschillende kolengruis doseringen, apparatuur en hulpstofdoserings, de ontwatering altijd beter is dan bij het referentie scenario, dient rekening gehouden te worden met een aantal operationele inzichten van dit onderzoek. Zo heeft in 2015 en 2016 een duurproef met gruisontwatering plaatsgevonden op de slibontwatering van Wetterskip Fryslân in Heerenveen. Hierbij is aangetoond dat gruisontwatering op praktijkschaal operationeel uitvoerbaar is, mits de gruis buffer een roerwerk bevat om sedimentatie te voorkomen en het ds gehalte van het slib relatief constant is. Dit laatste aspect is van belang om continu de juiste gruis dosering te kunnen hanteren. Want zowel bij overdosering als onderdosering, worden ontwateringsrendementen negatief beïnvloedt.

Op basis van de onderzoeksresultaten is een Excel model opgesteld voor alle bestaande Nederlandse slibketens met invoer van slibkoek van rwzi Garmerwolde. In het model wordt ingegaan op kostenvoordelen, energievoordelen en reducties in CO₂ uitstoot. De resultaten van het model staan samengevat in tabel 2. Uit de tabel is op te maken dat er alleen kosten, energie en CO₂ voordelen zijn in drie van de vijf slibketens. Dit komt doordat in de betreffende ketens, de additioneel beschikbare energie door vermeden waterverdamping direct ingezet kan worden ten behoeve van het voorkomen van fossiel energie gebruik.

TABEL 2

OVERZICHT VAN ONDERZOCHE BUSINESS CASES

	Kostenvoordeel	Vermeden CO ₂ -uitstoot	Vermeden energie
Aardgas droging – Cementoven	€ 615.000/jr.	4,3 kton/jaar	10,6 GWh/jaar
Kolencentrale	€ 650.000/jr.	4,4 kton/jaar	10,9 GWh/jaar
Monoverbranding	€ -675.000/jr.	-2,3 kton/jaar	-0,8 GWh/jaar
Afvalverbranding	€ -655.000/jr.	-2,3 kton/jaar	-0,6 GWh/jaar
Compostering - Energiecentrale	€ 820.000/jr.	5,6 kton/jaar	10,2 GWh/jaar

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.

WERKRAPPORT GRUISONTWATERING

INHOUD

1	TEN GELEIDE SAMENVATTING DE STOWA IN HET KORT	
2	INLEIDING	1
2.1	Inleiding	1
2.2	Aanleiding en doel van de verkenning gruisontwatering	1
2.3	Uitvoering van het project	2
2.4	Opzet rapport en leeswijzer	2
3	CONCEPT GRUISONTWATERING	4
3.1	Inleiding	4
3.2	Achtergrond	4
3.3	Relevantie gruisontwatering	5
3.4	Ontwateringsvoordeel gruisontwatering	6
4	THEORIE	8
4.1	Inleiding	8
4.2	Slibsamenstelling	8
4.2.1	Slibconditionering	9
4.2.2	Coagulatie	9
4.2.3	Flocculatie	9
4.3	Mechanische ontwatering	10
4.4	Gruisontwatering	13

5	ONDERZOEK	15
5.1	Inleiding	15
5.2	Laboratoriumonderzoek	15
5.3	Gruisontwatering met kolengruis	16
5.3.1	Dosering gruis	18
5.3.2	Dosering coagulant	18
5.3.3	Dosering flocculant	19
5.3.4	Conclusies ontwatering met kolengruis	19
5.4	Gruisontwatering met slibas	20
5.4.1	Vliegagas als filtratiehulpmiddel in de literatuur	20
5.4.2	Labonderzoek vliegagas SNB	21
5.4.3	Experimentele procedure ontwatering met slibvliegagas	21
5.4.4	Slibontwatering met vliegagas	22
5.4.5	Conclusies ontwatering met vliegagas	23
5.5	Gruisontwatering met koffieresten	24
5.6	Vergelijking gruisstoffen op labschaal	24
5.7	Gruisontwatering met shreddervezels	26
5.8	Pilot-schaal onderzoek	27
5.8.1	Pilot-schaal centrifuge experimenten rwzi Garmerwolde	27
5.8.2	Pilot-schaal kamerfilterpers experimenten rwzi Heerenveen	27
5.9	Invloed van gruisontwatering op fosfaat en nutriëntterugwinning	28
5.9.1	Terugwinning uit slibas	29
5.9.2	Interacties met terugwinningstechnieken uit slibas	29
5.9.3	Terugwinning uit rejectiewater	29
6	OPSCHALING	31
6.1	Inleiding	31
6.2	Praktijkproeven Garmerwolde	31
6.3	Praktijkproeven Heerenveen	34
6.4	Praktijkproeven Den Helder	35
6.5	Praktijkproeven Alkmaar	36
6.6	Praktijkproeven Zutphen	36
6.7	Samenvatting praktijkproeven	36
6.8	Duurproef Heerenveen	37
7	BUSINESS CASES GRUISONTWATERING	39
7.1	Inleiding	39
7.2	Samenvatting	39
7.3	Energiesubstitutie voor fossiele energie	40
7.4	Business case slibverwerking cementoven	41
7.4.1	Uitgangspunten	41
7.4.2	Resultaten gruisontwateringsmodel	41
7.4.3	Conclusie	44
7.5	Business case bijstoken kolencentrale	44
7.5.1	Uitgangspunten	45
7.5.2	Resultaten gruisontwateringsmodel	45
7.5.3	Conclusie	47
7.6	Business case SNB	48
7.6.1	Uitgangspunten	48
7.6.2	Resultaten gruisontwateringsmodel	49
7.6	Conclusie	51
7.7	Business case AEB	51

	7.7.1	Uitgangspunten	52
	7.7.2	Resultaten gruisontwateringsmodel	52
	7.7.3	Conclusie	54
7.8		Business case GMB bioenergie	55
	7.8.1	Uitgangspunten	55
	7.8.2	Resultaten gruisontwateringsmodel	55
	7.8.3	Conclusie	58
8		Conclusies	59
9		Aanbevelingen	61
10		Geciteerde werken	62
Bijlage 1		Toepasbaarheid verschillende apparatuur in combinatie met gruisontwatering	64
Bijlage 2		Data vliegass	70
Bijlage 3		Onderzoeksrapport proeven Garmerwolde	78
Bijlage 4		Onderzoeksrapport proeven Heerenveen	84
Bijlage 5		Modelbeschrijving	91
Bijlage 6		Droogproces SCT	96

2

INLEIDING

2.1 INLEIDING

Het hoofddoel van een rioolwaterzuiveringsinstallatie (rwzi) is het zuiveren van rioolwater (influent) op een milieuvriendelijke en kosteneffectieve wijze. Het reduceren van de CO₂-uitstoot, kostenreductie en het verminderen van het gebruik van fossiele brandstoffen zijn belangrijke aanleidingen voor het optimaliseren van de waterzuiveringsketen. Rioolwaterzuivering op grote schaal wordt in Nederland gedaan door middel van biologische zuivering. Bij het zuiveren van het influent wordt slib geproduceerd, wat volgens de Nederlands wet- en regelgeving verbrand moet worden.

Het slib wordt met behulp van gravitaire indikking afgescheiden uit de waterlijn van een rwzi en heeft hierbij een watergehalte van 96 - 98%. Dit hoge watergehalte maakt het slib ongeschikt voor directe verbranding. Om deze reden wordt slib mechanisch ontwaterd, waarna het thermisch gedroogd en verbrand kan worden. Ook kan het mechanisch ontwaterde slib direct bijgestookt worden met andere brandstoffen. In dit laatste geval zorgen de andere brandstoffen voor de benodigde waterverdamping.

Doordat het verdampen van water relatief veel energie kost kan een verbeterde mechanische ontwatering een significante energie-, kosten-, en CO₂-reductie tot gevolg hebben. Om deze reden heeft Water & Energy Solutions in samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen gekeken naar manieren om mechanische ontwatering van slib te verbeteren. Dit onderzoek heeft geresulteerd in het idee om (kolen)gruis in te zetten als filtratiehulpmiddel bij mechanische ontwatering van slib.

2.2 AANLEIDING EN DOEL VAN DE VERKENNING GRUISONTWATERING

Sinds 2008 zijn de Rijksuniversiteit Groningen, Water & Energy Solutions en Waterschap Noorderzijlvest bezig met onderzoek naar het beter ontwateren van rioolwaterzuiveringsslib door het toevoegen van niet-compressibele deeltjes, ook wel 'gruis' genoemd. De besparingen zijn hierbij in potentie groot doordat een betere mechanische ontwatering ervoor zorgt dat er minder water verdampt hoeft te worden bij slib-eindverwerking.

In 2011 is in navolging van de start van het STOWA-onderzoek 'Verkenning Gruisontwatering', de projectgroep Gruisontwatering opgericht met als doel om de ontwikkeling en implementatie van gruisontwatering te stimuleren. De deelnemers van de projectgroep zijn: Waterschap Noorderzijlvest, Wetterskip Fryslan, Waterschap Velt en Vecht, Andritz, SC Technology, Heidelberg Cement, Kemira, RWE/Essent, Slibverwerking Noord-Brabant, de Rijksuniversiteit Groningen en Water & Energy Solutions [1].

In de 'Verkenning Gruisontwatering' worden de mogelijkheden voor gruisontwatering in Nederland nader onderzocht. Dit is gedaan door het uitwerken van business cases en verge-

lijkende levenscyclusanalyses (delta LCA's), voor de belangrijkste routes van slibverwerking en het uitvoeren van ondersteunend laboratoriumonderzoek. Naast het toevoegen van kolen-gruis is ook gekeken naar het toevoegen van koffieresten en verbrandingsas uit slib mono-verbranding.

2.3 UITVOERING VAN HET PROJECT

Het project is in drie fases uitgevoerd. In de eerste fase is het merendeel van de tijd besteed aan de theoretische basis en onderliggende principes van gruisontwatering door middel van lab- en literatuuronderzoek. Hierin is onder andere aandacht besteed aan de werking van gruisontwatering met kolengruis en slibas. Hierbij is ook bekeken hoe de invloed van coagulanten en flocculanten op mechanische ontwatering verandert na het toevoegen van gruisstoffen.

In de tweede fase is gruisontwatering getest op pilot- en praktijkschaal op slibontwateringen in Garmerwolde, Heerenveen, Den Helder, Alkmaar en Zutphen.

De uit lab-, pilot- en praktijkschaal onderzoek verkregen resultaten zijn in de derde fase - samen met waarden uit eerdere STOWA-rapporten en wetenschappelijke literatuur - ingezet bij het uitwerken van de business cases voor vijf slib-eindverwerkingsstrategieën:

- eindverwerking door thermisch drogen met aardgas en verwerking in een cement fabriek;
- eindverwerking door thermisch drogen met aardgas en verwerking in een kolencentrale;
- eindverwerking door mono-verbranding;
- eindverwerking door bijstook in een afvalverbrandingsinstallatie;
- eindverwerking door compostering en verwerking in een kolencentrale.

2.4 OPZET RAPPORT EN LEESWIJZER

Het rapport dat voor u ligt is het resultaat van meerdere onderzoeken, verspreid over een periode van 7 jaar. Tijdens deze periode is er een grote hoeveelheid aan informatie verzameld en kennis ontwikkeld. Om het rapport behapbaar te houden is het geschreven om eerst de belangrijkste concepten en bevindingen van het onderzoek gruisontwatering te presenteren. Hierdoor bevat het rapport een uitgebreidere bijlage waarin alle onderzoeksresultaten te vinden zijn voor de geïnteresseerde lezer.

Het rapport begint in Hoofdstuk 2 met de historie en de beschrijving van het concept gruisontwatering en de beschrijving van rwzi Garmerwolde welke in de business cases als referentie is gebruikt. Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van een aantal kernbegrippen en principes met betrekking tot het mechanisch ontwateren van zuiveringsslib en de rol die gruisontwatering daarin kan spelen. Vervolgens wordt in Hoofdstuk 4 ingegaan op de verrichte laboratorium- en pilot-onderzoeken waar de werking van gruisontwatering in combinatie met slib is onderzocht. Daarnaast wordt in ditzelfde hoofdstuk ook ingegaan op de invloed van gruisontwatering op fosfaat- en nutriëntterugwinning. In Hoofdstuk 5 wordt een overzicht gegeven van de resultaten en ervaringen die zijn opgedaan met praktijkproeven op grote schaal bij verschillende rwzi's en met verschillende ontwateringsapparatuur.

Op basis van de verrichtte onderzoeken zijn business cases opgesteld die behandeld worden in Hoofdstuk 6. Hierbij wordt ook rekening gehouden met de veranderingen die bij de toepassing van gruisontwatering ontstaan met betrekking tot duurzaamheid. Dit gebeurt in een

vergelijkende levenscyclusanalyse (delta-LCA¹), waarin de verschillen tussen de huidige en nieuwe situatie met gruisontwatering bekeken worden. Bij alle business cases is eerst de referentiesituatie uitgewerkt en daarna de nieuwe situatie, waarbij een rwzi in Garmerwolde van 300.000 i.e. overstapt op gruisontwatering².

Het rapport wordt afgesloten met meerdere bijlagen waarbij dieper ingegaan wordt op de vertaalslag naar verschillende ontwateringsapparatuur, uitgebreide verslagen over de pilot-schaal-proeven en de beschrijving van het binnen dit onderzoek opgestelde gruisontwateringsmodel.

- 1 N.B. een delta-LCA is anders dan een volledige LCA van de slibverwerking. In uitgevoerde delta-LCA's zijn alleen waarden meegenomen die veranderen bij het toepassen van gruisontwatering.
- 2 300.000 i.e. is gekozen om een vergelijking te maken met rwzi Garmerwolde

3

CONCEPT GRUISONTWATERING

3.1 INLEIDING

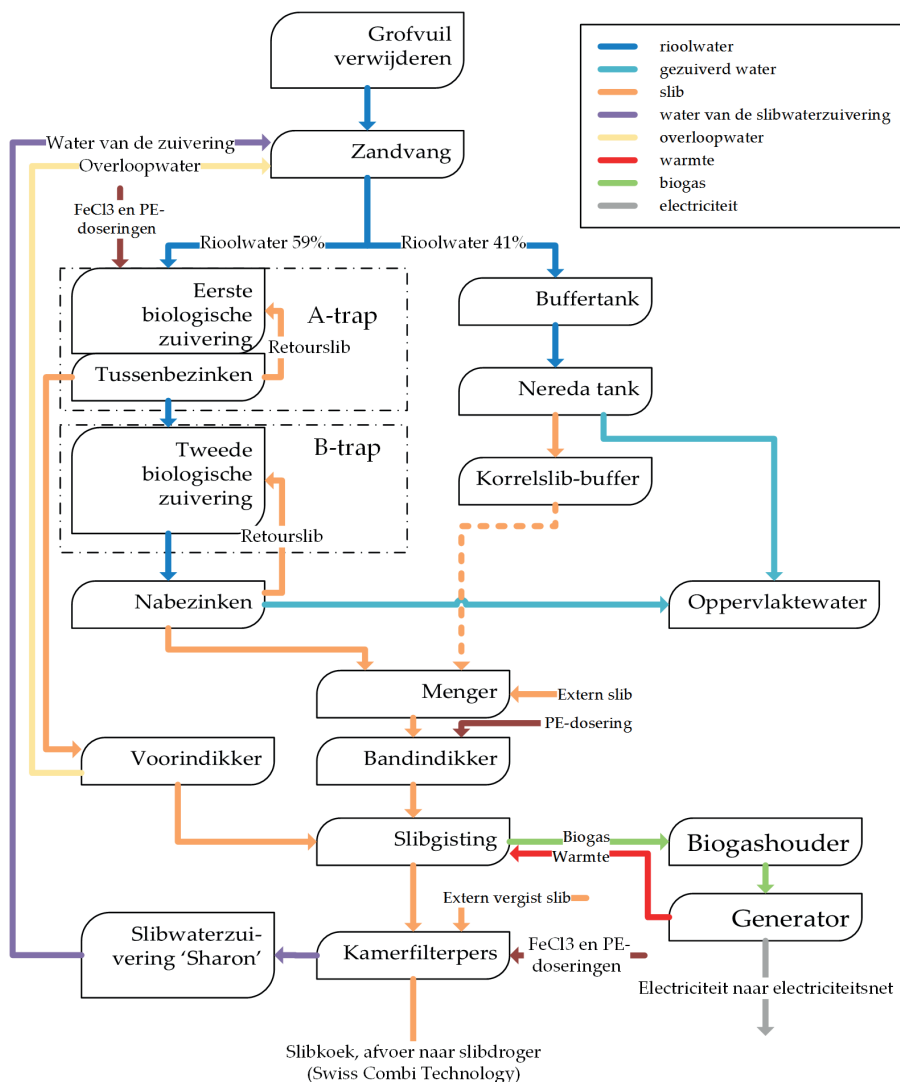
Het idee van gruisontwatering is al vroeg ontstaan. Zo werd in het begin van de twintigste eeuw in Nederland kalk toegevoegd aan slib om de ontwaterbaarheid te verbeteren. De kalkdeeltjes zijn niet compressibel en geven het slib structuur. Wanneer deze deeltjes aan het slib worden toegevoegd, gaat daarmee de compressibiliteit van de koek naar beneden. Hierdoor houdt het slib langer een open structuur wanneer er druk op uitgeoefend wordt. Dit resulteert in een significant beter ontwateringsrendement. Een verbeterd ontwateringsrendement heeft tot gevolg dat in de rest van de keten minder energie verbruikt hoeft te worden om het slib te drogen.

Naast kalk kunnen verschillende materialen worden gebruikt als gruis hulpstof om het ontwateringsrendement te verbeteren. Kolengruis is een voorbeeld van een hulpstof die in Bottrop, Duitsland al sinds medio 1980 op grote schaal wordt toegepast om een ontwateringsresultaat tussen de 40-48% ds (droge stof) te behalen.

3.2 ACHTERGROND

Zowel bij de labonderzoeken als de business cases is de waterzuivering van Garmerwolde als referentie genomen (300.000 i.e.). Rwzi Garmerwolde is naast een waterzuiveringsinstallatie ook een centrale slibontwateringslocatie. Slib uit rwzi's van Noorderzijlvest en Hunze en Aa's (13.800 ton ds/jaar) wordt er mechanisch ontwaterd tot 26% ds met kamerfilterpersen, waarna het afgevoerd wordt naar de eindverwerking. Het slib dat via wegtransport Garmerwolde bereikt bestaat uit vergist en onvergist slib. Het onvergiste slib wordt gevoed aan de gistingstanks in Garmerwolde. Het vergiste slib wordt gemengd met lokaal uitgestist slib waarna het mechanisch ontwaterd wordt.

Figuur 1 laat schematisch de processtappen van rwzi Garmerwolde zien. Te zien is dat na het verwijderen van roostergoed en grotere deeltjes, de influent (rioolwater) stroom ofwel naar de Nereda-installatie gaat ofwel naar het (tweetraps) actief slibstelsel. Tijdens het onderzoek was er geen Nereda-slib aanwezig in de gisting. De zuivering bestaat uit een AB-proces gevolgd door een tweetraps slibgisting (gemiddeld 18 dagen verblijftijd) en mechanische ontwatering door middel van kamerfilterpersen. Zoals in de figuur te zien is wordt er ijzerchloride gedoseerd bij de A-trap en bij de kamerfilterpersen. PE wordt gedoseerd bij de A-trap, de bandindikers en de kamerfilterpersen. In het onderzoek is gewerkt met de standaarddoseringen FeCl_3 (65 g/kg ds) en polymeer (6,5 g/kg ds) bij de kamerfilterpersen. Deze waarden zijn de gemiddelde praktijkdoseringen op de slibontwatering in Garmerwolde.



3.3 RELEVANTIE GRUISONTWATERING

Het toepassen van gruisontwatering bespaart geld en energie omdat een verhoogd ontwateringsrendement leidt tot het feit dat er ketenbreed minder water verdampt hoeft te worden bij slibverwerking. De extra verbrandingswaarde - door een lager watergehalte en de toevoeging van gruis met een calorische waarde - die dit oplevert kan in veel gevallen nuttig ingezet worden om fossiele brandstoffen te vervangen. In het geval van de huidige Nederlandse manier van slib-monoverbranding, wordt op het moment van schrijven geen energie geleverd aan derden en zijn de verbrandingsovens thermisch gelimiteerd. Daarom is het inzetten van kolengruis bij deze eindverwerkers geen optie. Dit heeft niet alleen te maken met de energieopbrengst na verbranding. Door het bijmengen van kolengruis gaan nutriënten concentraties in de as die overblijft na verbranding omlaag. Hoewel dit effect door het lage as gehalte van kolengruis zeer gering is, heeft dit een negatief effect op de mogelijkheid om nutriënten terug te winnen uit de as. Om deze reden is in het huidige onderzoek ook getest met slibas uit slib-monoverbranding als gruis hulpstof. Bij gruisontwatering met slibas blijven nutriënten concentraties na verbranding gelijk aan de huidige situatie en wordt geen calorische waarde toegevoegd aan de slibkoek. Hierdoor zou gruisontwatering ook interessant kunnen zijn voor slib-monoverbranders wanneer verbrandingsinstallaties niet thermisch gelimiteerd zijn.

Het nuttig inzetten van extra energie door vermeden waterverdamping is - zeker bij het gebruik van kolengruis als structuurmateriaal - van groot belang om besparingen in CO₂-uitstoot, gebruik van fossiele brandstoffen en kosten daadwerkelijk te realiseren. Bij toepassing in de cementindustrie of energieopwekking is de vervanging van een fossiele brandstof vanzelfsprekend. Bij toepassing in een slib-monoverbrander of bij toepassing in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI) die geen energie leveren aan derden, zal er voor de beschikbaar gemaakte energie een toepassing gevonden moeten worden voordat er daadwerkelijk energie bespaard wordt. Een mogelijke toepassing zou in dit geval het drogen van niet-gruis ontwaterd slib voor levering aan derden (bijvoorbeeld de cementindustrie) kunnen zijn.

Wanneer er bij de mechanische ontwatering van slib droge stof percentages van 40% (zoals in Bottrop) of hoger behaald kunnen worden, is het mogelijk om de slibkoek direct te verbranden, zonder thermische droogstap. Dit betekent dat deze slibkoek van een afvalstof mogelijk verandert in een interessante biobrandstof met waarde. Deze nieuwe manier van denken biedt het perspectief om de verwerking van slib niet langer als kostenpost, maar als waarde propositie te zien. Om deze reden is gruisontwatering niet alleen interessant als techniek om energie te besparen, maar ook als techniek om slibkoek te verwaarden. Dit maakt gruisontwatering tot een zeer interessante kans om kosten voor rioolwaterzuivering te verlagen.

3.4 ONTWATERINGSVOORDEEL GRUISONTWATERING

Om aan te geven hoe het voordeel van gruisontwatering tot stand komt, wordt in tabel 3 de massabalans gegeven op basis van de referentie case Garmerwolde.

TABEL 3

SPECIFIEKE MASSASTROMEN VOOR MECHANISCHE ONTWATERING

	Huidige Ontwatering	Gruis	Gruis	Gruis
Ds-gehalte slibkoek	25%	25%	30%	40%
Water (kg)	3	4	3	2
Slib ds (kg)	1	1	1	1
Gruis (kg)	0	0,33	0,33	0,33
Totaalgewicht (kg)	4	5,33	4,33	3,33

Tabel 3 laat zien dat bij de huidige ontwatering 3 kg water per kg ds slib in de slibkoek zit. Wanneer met gruis ook tot 25% ds ontwaterd wordt, zit er in de koek 4 kg water per kg ds slib (Tabel 1). Dit komt doordat er ds gruis toegevoegd is (0,33 kg per kg ds slib). De toevoeging van extra droge stof bij een gelijkblijvende ds-gehalte in de koek, resulteert dus in een grotere water massa die richting de eindverwerking gaat.

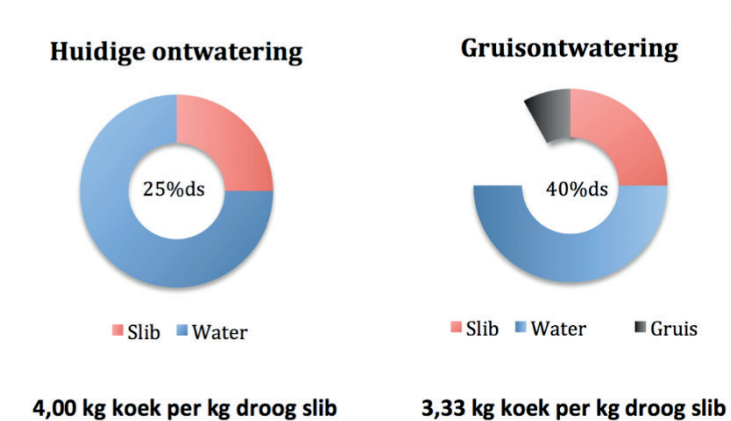
Wanneer met gruis ontwaterd wordt tot een ds-gehalte van 30%, zit er 3 kg water per kg ds slib in de koek (Tabel 3). Dit is het "break-even point" van gruisontwatering. Er zit hier evenveel water in de koek als in de huidige situatie. Echter, er is aangetoond dat 40% ds mogelijk is bij gruisontwatering. In deze situatie zit er 2 kg water per kg ds slib in de koek. Dit betekent dat er tegenover de referentie situatie 30% minder water verdampt hoeft te worden bij de eindverwerking. Ook de koekmassa is kleiner (3,33 kg tegenover 4 kg). De verbetering van gruisontwatering wordt schematisch weergegeven in Figuur 3.

Omdat het er bij gruisontwatering om gaat dat er minder water verdampt hoeft te worden na mechanische ontwatering, dient altijd geredeneerd te worden aan de hand van een massabalans. Immers, een directe vergelijking op basis van drogestofgehalte kan, zoals blijkt uit

tabel 3, een vertekend beeld geven. Om deze reden worden de ontwateringsresultaten van gruisontwatering in dit rapport weergegeven in kg water per kg ds slib.

FIGUUR 3

DE VERBETERING VAN GRUISONTWATERING SCHEMATISCH



4

THEORIE

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de achterliggende theorie van gruisontwatering. Om de fysieke beperkingen van slibontwatering te verduidelijken wordt eerst ingegaan op de slib-samenstelling en de huidige slibconditioneringsmethodes. Vervolgens worden de principes van mechanische ontwatering behandeld en wordt ingegaan op de variaties die ontstaan in ontwateringsresultaten. Tot slot wordt gruisontwatering in de literatuur behandeld, met aanvullingen vanuit de verrichte onderzoeken.

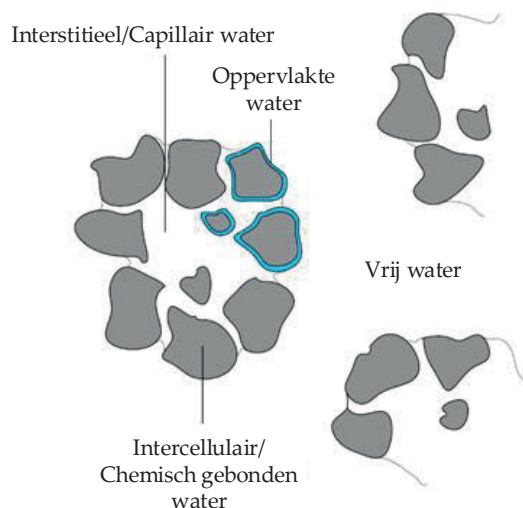
4.2 SLIBSAMENSTELLING

Slib bestaat uit vele groottes en soorten deeltjes, met daaromheen water. Het aanwezige water in het slib kan ingedeeld worden in vier groepen [2], zoals ook te zien in Figuur 4:

- **Vrij water** bevindt zich tussen de slibvlokken, is niet gebonden en is eenvoudig te verwijderen.
- **Interstitieel/Capillair water** bevindt zich in de kleine ruimtes tussen de slibvlokken en is gebonden door capillaire krachten.
- **Oppervlaktewater**, ook wel colloïdaal gebonden water, is water dat gebonden is door absorptiekrachten aan het oppervlak.
- **Chemisch gebonden water** bevindt zich in de cel, is chemisch gebonden en kan alleen verwijderd worden door thermische droging en slibdestructiemethoden.

FIGUUR 4

SOORTEN WATER IN SLIB



Bij slibontwatering is het doel om zoveel mogelijk vrij en interstitieel water te verwijderen via filtratie. Wanneer de slibdeeltjes echter dicht bij elkaar in de buurt komen wordt de ontwatering lastiger vanwege het capillair gebonden water. Door compressie worden de capillairen

(ontwateringskanalen) smaller, waardoor de interactie tussen de wanden van de poriën en de watermoleculen en de onderlinge interactie van de watermoleculen ervoor zorgen dat het water sterk wordt vastgehouden.

4.2.1 SLIBCONDITIONERING

Om de ontwaterbaarheid van het slib te bevorderen wordt het slib in Nederland geconditioneerd met behulp van metaalzouten en organische polyelektrolyten. Door de chemische of elektrostatische verbinding die deze hulpmiddelen met het slib aangaan wordt een driedimensionale structuur gecreëerd in het slib [3].

In het vormen van deze structuren kan onderscheid gemaakt worden tussen twee mechanismen:

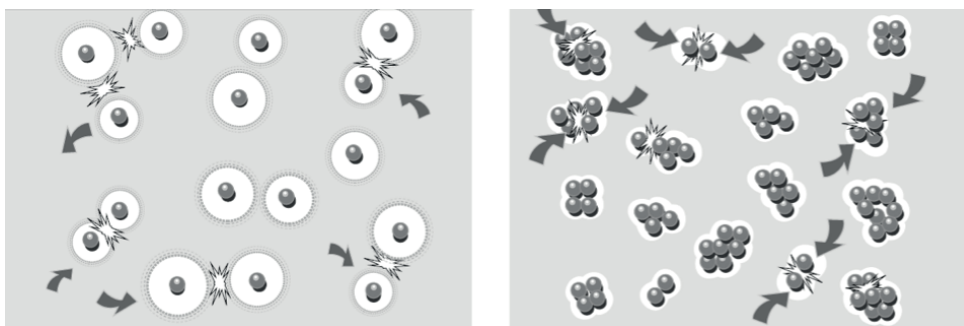
- coagulatie;
- flocculatie.

4.2.2 COAGULATIE

Coagulatie in waterzuivering is de stabilisatie van colloïde deeltjes in water. De colloïde deeltjes zijn negatief geladen met een diameter van ongeveer 1 micron. In tegenstelling tot gesuspendeerde deeltjes, bezinken colloïde deeltjes niet. Voor coagulatie van de colloïde deeltjes worden positief geladen metaalionen gebruikt. In het geval van rwzi Garmerwolde zijn dit Fe^{3+} -ionen in de vorm van FeCl_3 , maar ook Mg^{2+} - en Al^{3+} -ionen kunnen ingezet worden. Door het toevoegen van de metaalionen, wordt de negatieve lading van de slibdeeltjes geneutraliseerd. Zo kunnen agglomeraten gevormd worden van metaalionen en slib deeltjes (Figuur 5).

FIGUUR 5

COAGULATIE SCHEMATISCH



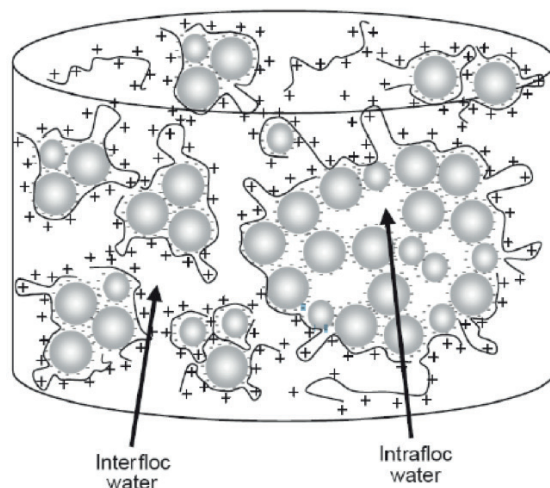
Door voor de mechanische ontwatering een ijzerzout te doseren, kan voorkomen worden dat opgelost fosfaat in het rejectie water van de mechanische ontwatering terecht komt. Op deze manier komen fosfaat-zouten terecht in de slibkoek en worden zo niet teruggevoerd naar de waterlijn van de rwzi.

4.2.3 FLOCCULATIE

Bij flocculatie vormen polymeren bruggen tussen slibdeeltjes, zodat grote agglomeraten ontstaan. De brugvorming treedt op wanneer delen van de polymeerketen zich hechten aan verschillende slibdeeltjes. De hechting is op basis van ladingsverschillen (Figuur 6). Zo wordt bijvoorbeeld op rwzi Garmerwolde een positief geladen (kationisch) polymeer gebruikt. De structuur van de gevormde vlokken is relatief open. Deze poreusheid verbetert de ontwaterbaarheid van het slib.

FIGUUR 6

FLOCCULATIE SCHEMATISCH



Coagulatie en flocculatie samen zorgen voor een slibvlok die optimaal te ontwateren is. Omdat in beide gevallen het samentrekken van deeltjes afhankelijk is van ladingsverschillen speelt de pH een belangrijke rol. Wanneer de pH verandert is een andere dosering van coagulant en flocculant nodig. Deze dosering verandert ook wanneer er meer slibdeeltjes worden aangeboden of wanneer het organische deel van het slib varieert [3].

4.3 MECHANISCHE ONTWATERING

Over het algemeen kunnen slibeigenschappen sterk variëren. Dit betekent ook dat de ontwaterbaarheid van slib sterk kan variëren. In de literatuur wordt daarom aangegeven dat er verschillende slibkarakteristieken te definiëren zijn die invloed hebben op mechanische ontwaterbaarheid, onafhankelijk van de gekozen ontwateringsapparatuur [4]:

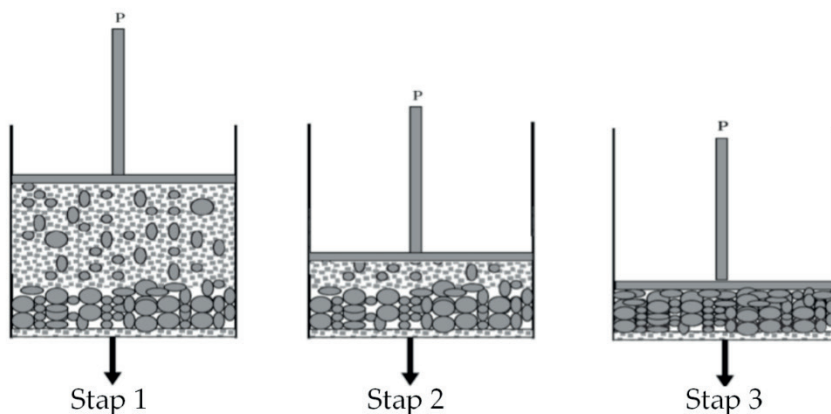
- De voedingscompositie is een complexe mix van organische en minerale deeltjes, waarbij vele verschillende interacties kunnen spelen.
- De voedingscompositie is kritiek in de controle van de koekweerstand, snelheid van filtratie en koek drogestofgehalte.
- Flocculatie is nodig om het negatieve effect van fijne deeltjes op de filtratie te reduceren.
- Door het hogere biologische aandeel in secundaire slibben, komen hieruit over het algemeen nattere koeken voort en vormt de koek zich langzamer dan bij primaire slibben. Dit is mogelijk het gevolg van verhoogde compressibiliteit van het secundaire slib en het hogere as gehalte van primair slib.
- Filterkoeken variëren in compressibiliteit.

De eigenschap compressibiliteit geeft aan dat na gravitaire filtratie meer water verwijderd kan worden door een compressieve kracht op de koek te zetten. In de literatuur wordt hieraan gerefereerd als het 'expressieproces' [5].

In een mechanische ontwateringscyclus (expressieproces) wordt druk op de koek gezet wanneer de ontwatering begint. Er komt veel water uit de koek terwijl er relatief weinig druk op staat. Dit gaat door totdat de kritieke druk bereikt wordt, waarbij de koek verandert van vorm (compressibiliteit). Dit maakt dat de permeabiliteit van de koek drastisch afneemt en er dus minder water verwijderd kan worden [6]. Deze verschillende fasen worden weergegeven in Figuur 7.

FIGUUR 7

PROCESSCHEMA SLIBONTWATERING



In de eerste stap van Figuur 7 wordt druk op het slib gezet totdat (stap 2) een koek wordt gevormd. Tijdens het vormen van de koek wordt de druk nog steeds verhoogd tot de kritieke druk bereikt wordt in (stap 3). Na de kritieke druk begint de compressibele fase.

De kritieke druk is voor elke koek en filtratiehulpmiddel verschillend. Voor een optimale ontwatering, dient de druk op de koek opgebouwd te worden tot net onder de kritieke druk. Wanneer er op deze druk geen water meer uit de koek komt, kan de druk worden opgevoerd tot de kritieke druk, waarbij de compressibiliteit van de koek gaat spelen. Het is dus kritisch om de drukcyclus bij ontwatering af te stemmen op het te ontwateren materiaal en het gebruikte filtratiehulpmiddel [6].

In het expressieproces kunnen de volumefractie vaste deeltjes (ϵ_s) en de specifieke koekweerstand (α) worden gerelateerd aan de compressieve druk (p_s) op het vaste medium:

$$\epsilon_s = \epsilon_{s,0} \left(1 + \frac{p_s}{p_a}\right)^\beta \quad (1)$$

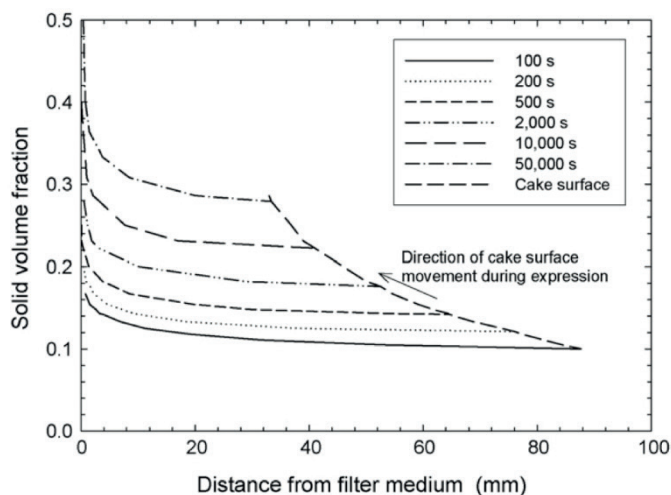
$$\alpha = \alpha_0 \left(1 + \frac{p_s}{p_a}\right)^n \quad (2)$$

Hier geeft het subscript '0' de waarde van ϵ_s of α wanneer de compressie kracht start op het netwerk van vaste deeltjes, p_a is een scalingfactor en β en n zijn constanten die de graad van compressibiliteit specificeren.

Als $\beta=0$ dan is de koek incompressibel; als $\beta < 1$ dan heeft de koek een lage compressibiliteit; als $\beta > 1$ dan is de koek zeer compressibel, zoals bij slib voortkomend uit oxidatieprocessen; als $\beta \gg 1$ dan is de koek extreem compressibel, zoals bij de meeste slibben uit biologische zuiveringsprocessen.

FIGUUR 8

VARIATIE VAN VASTE STOF VOLUME OVER DE KOEKDIKTE IN HET EXPRESSIE PROCES [7]



In Figuur 8 is de vaste stof volumefractie uitgezet tegen de afstand van het filter in een gravitaire filtratie proef. De proef is gedaan met een organisch polyelektrolyet geconditioneerd slib $\varepsilon_s = 0,9$; $p_\alpha = 5$ kPa; $p_s = 100$ kPa; $\varepsilon_{s,feed} = 0,077$; $\beta = 0,5$; $\gamma = 5$; $\alpha_0 = 7 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-2}$. Het profiel in Figuur 8 blijft gelijk bij een eventueel volgend expressie proces. Een belangrijk punt hierbij is, dat de hoge gradiënt van de vaste stof volumefractie dicht tegen het filter kenmerkend is voor extreem compressibele slibben [5]. Dit deel van de koek wordt ook wel de huid genoemd. De hoge gradiënt van de vaste stof volumefractie veroorzaakt een lage water permeabiliteit in een gebied en dus een hoge lokale drukval. Dit resulteert in een relatief laag drogestofgehalte.

Het vormen van de huid van een koek betekend dat de deeltjes dichter gepakt zijn. De compressieve krachten op dit gedeelte van de koek kunnen kleinere deeltjes in het filter duwen wanneer er een brede deeltjesgrootte verdeling is. Ook kunnen de deeltjes door de krachten vervormen. Door vervorming en de interactie met het filter 'slibt de koek dicht'. Het dichtslibben van de koek kan uitgedrukt worden in een specifieke weerstand. Deze specifieke weerstand wordt onder andere beïnvloed door de deeltjesgrootte verdeling in het slib, de interactie tussen de deeltjes en de mate van vervorming van de deeltjes. Ruwweg heeft de gemiddelde deeltjesgrootte de onderstaande relatie met de specifieke koekweerstand:

$$\alpha = \frac{1}{x^2} \quad (3)$$

Hierin is x de gemiddelde deeltjesgrootte. Omdat de relatie specifieke koekweerstand – gemiddelde deeltjesgrootte omgekeerd evenredig is, geven grotere deeltjes een lagere specifieke koekweerstand. Een lagere specifieke koekweerstand betekend op zijn beurt weer een betere ontwatering. In de praktijk worden om deze reden coagulanten en flocculanten toegevoegd aan het slib. Deze stoffen zorgen door middel van agglomeratie voor een grotere deeltjesgrootte.

Een hogere specifieke koekweerstand geeft in de praktijk langere filter(pers)tijden. De mate van compressibiliteit van de koek heeft invloed op de druk die nodig is voor ontwatering. Beide eigenschappen zorgen ervoor dat er in de praktijk filtratie moet plaatsvinden waarbij druk op de koek wordt gezet.

4.4 GRUISONTWATERING

In de wetenschappelijke literatuur is de ontwatering van (communaal) afvalwaterslib met kolengruis (40%) al sinds de jaren 80 bekend [7]. Bijvoorbeeld met centrifuges (tot 44% ds) [8] en kamerfilterpersen (tot zelfs 58% ds) [9]. Dit is een significante verbetering ten opzichte van het Nederlandse gemiddelde van 23% ds in 2012 [10].

Bij gruisontwatering wordt een filtratiehulpmiddel gebruikt om dichtslibben van de koek te voorkomen. De voornaamste functie van een filtratiehulpmiddel is het genereren van een meer poreuze koek en daarmee een hogere permeabiliteit.

Ook in de literatuur is veel informatie te vinden over het toepassen van zogenaamde 'skeletbouwers' (skeleton builders) of filtratiehulpmiddelen (filter aids) voor verbeterde slibontwatering [7]. De niet-compressiebele eigenschappen van de skeletbouwers geven een sterke open structuur die ook poreus blijft onder verhoogde druk [11].

Als mogelijke skeletbouwer wordt melding gemaakt van vele verschillende mogelijke materialen [7], [12]:

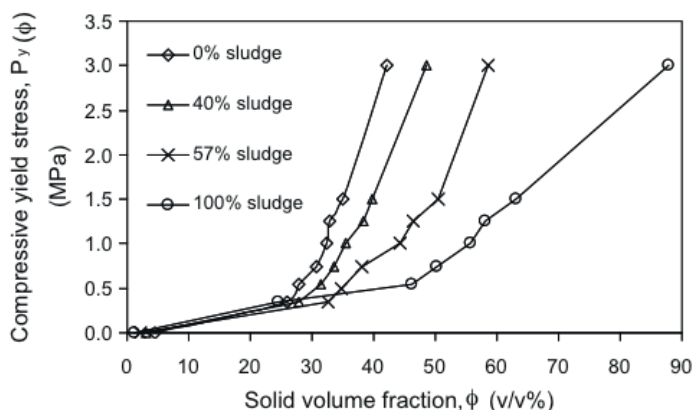
- bruinkool;
- actieve kool;
- fijne kool;
- melasse vezels (van suikerbieten);
- hout snippers;
- grasvezels;
- vliegas;
- shredder materiaal;
- cokes;
- diermeel;
- turf;
- papier pulp;
- klei.

Een aantal van deze materialen is onderzocht voor toepassing met en zonder coagulant en flocculant. Uit deze studies blijkt dat de beste ontwateringsresultaten behaald worden wanneer conditioneringsmiddelen worden toegevoegd. Wel wordt opgemerkt dat het gebruik van coagulant en/of flocculant significant minder is wanneer een skeletbouwer wordt gebruikt [13]. Omdat slibben sterk van elkaar verschillen kan geen algemene conclusie worden getrokken over welk filtratiehulpmiddel in welke verhouding het beste werkt met daarbij een optimale verhouding conditioneringsmiddelen.

Het gebruik van een filtratiehulpmiddel heeft niet alleen invloed op de koekstructuur. Positief geladen deeltjes van een colloïde suspensie worden bijvoorbeeld geabsorbeerd aan de negatief geladen oppervlakken van de meeste silicaten filtratiehulpmiddelen. Hoewel dit effect helpt bij de ontwatering wordt de grootste vooruitgang bereikt door het mechanische effect van de verandering van textuur [6]. Dit valt goed te zien als gekeken wordt naar de compressibiliteit van de koek onder verschillende gruisdoseringen (Figuur 9).

FIGUUR 9

COMPRESSIEDRUK TEGEN VASTE STOF VOLUMEFRACIE BIJ VERSCHILLENDE GRUISDOSERINGEN MET BRUINKOOL ALS FILTRATIEHULPMIDDEL [7]



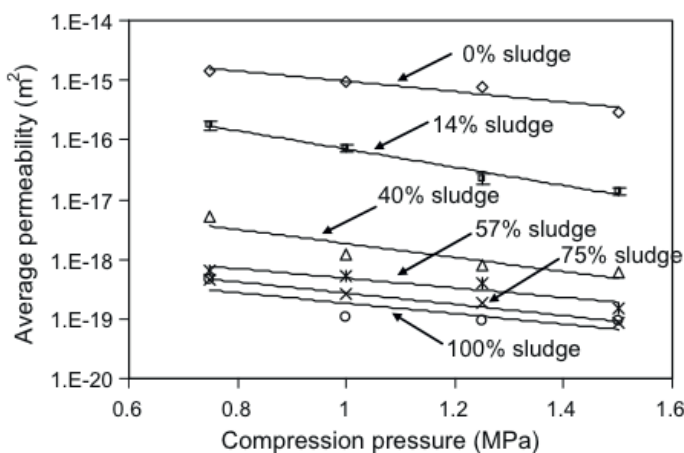
In Figuur 9 is duidelijk te zien dat de curve van het slib zonder bruinkooldosering (100% slib) veel vlakker is dan die met gruisdosering. Dit houdt in dat de weerstand tegen plastische vervorming onder druk, voor slib met gruis, hoger ligt dan bij alleen slib. Deze weerstand tegen plastische vervorming onder druk geeft aan dat slib geconditioneerd met gruis, langer een open structuur houdt tijdens mechanische ontwatering en minder snel versmeert.

Wanneer gruisontwatering wordt toegepast daalt zowel de compressibiliteit van de koek als de specifieke koekweerstand. Dit betekent dat water makkelijker de koek kan verlaten, mogelijk gemaakt door een meer open structuur. Deze open structuur kan gemeten worden in de permeabiliteit van de koek. Figuur 10 laat zien dat een koek met gruis toevoeging een hogere permeabiliteit heeft dan alleen slib, wat weer een indicatie is voor het verwijderen van water onder druk [7].

Vanuit de literatuur kan derhalve geconcludeerd worden dat het principe van gruisontwatering de ontwaterbaarheid van slib verbeterd.

FIGUUR 10

GEMIDDELTE PERMEABILITEIT TEGEN COMPRESSIEVE KRACHT BIJ BRUINKOOL ALS FILTRATIEHULPMIDDEL [7]



5

ONDERZOEK

5.1 INLEIDING

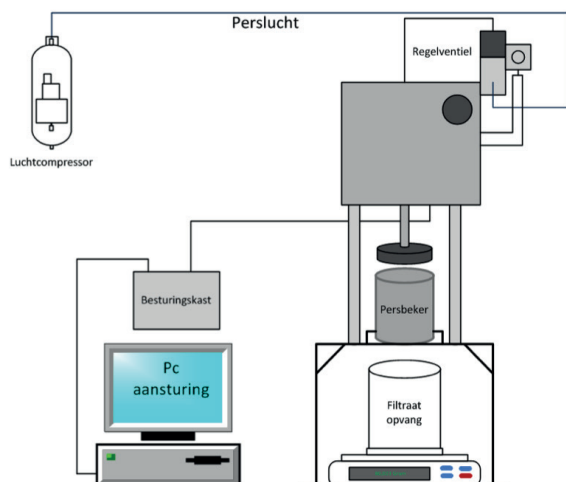
Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van het laboratoriumonderzoek dat in samenwerking met de Rijksuniversiteit Groningen is uitgevoerd naar de toepasbaarheid van kolengruis en slibas bij gruisontwatering. Uit de literatuur blijkt dat met gruisontwatering drogestofgehaltes van 40% tot 58% gehaald kunnen worden. Hierbij gaat het er uiteindelijk om dat er in de slibketen minder water verdampst wordt. In de massabalans over de slibketen, zal in dat geval minder water richting de droogstap gaan. In dit hoofdstuk worden de resultaten van gruisontwatering besproken met:

- Kolengruis op labschaal;
- Slibas op labschaal;
- Koffieresten op labschaal;
- Shreddervezels bij rwzi Bottrop op praktijkschaal;
- Kolengruis met een centrifuge op pilot-schaal;
- Kolengruis met een mini-kamerfilterpers op pilot-schaal.

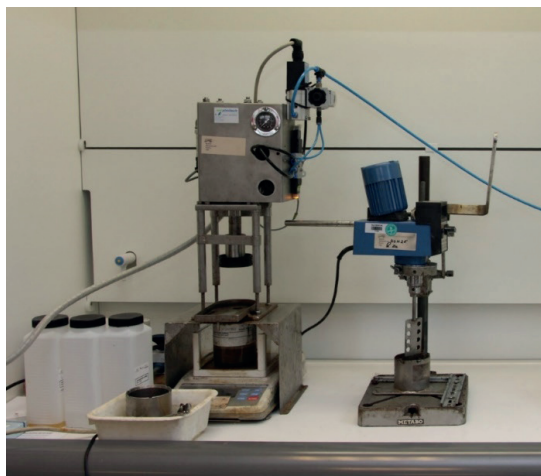
5.2 LABORATORIUMONDERZOEK

Het labonderzoek in Groningen is uitgevoerd met een Mareco-pers. De Mareco-pers bestaat uit een met slib gevulde cilinder waarbij een zuiger onder druk het slib tegen een filter perst (Figuur 10). Deze druk (13 bar) wordt gegenereerd met perslucht. De persing wordt aangestuurd door een computer. Hiermee kan ook de drukopbouw per tijdseenheid (perscurve) gestuurd worden.

FIGUUR 11 DE MARECO-PERS OPSTELLING SCHEMATISCH



FIGUUR 12 LABOPSTELLING



De werking is vergelijkbaar met een membraanfilterpers/zeefbandpers door de wijze waarop de druk op de koek gezet wordt. Het ontwateringsrendement wordt gemeten door het drogestofgehalte van de verkregen slibkoek te bepalen en door het wegen van het filtratiewater. De labopstelling is weergegeven in Figuur 12.

Een van de eigenschappen van de Mareco-pers is dat het ontwateringsrendement sterk afhangt van de dikte van de koek. Bij een dikkere filterkoek is de drukgradiënt over de koek lager, waardoor er een lager ontwateringsresultaat wordt behaald. Bij een persing loopt de druk op tot 13 bar. Wanneer er een koek van 2 cm dikte wordt geproduceerd, is er een drukval van $13/2 = 6,5$ bar per cm over de koek. Wanneer er dus een koek van 1 cm wordt geproduceerd, is er een drukval van $13/1 = 13$ bar over de koek. Omdat er bij een dunnere koek een hogere drukval per cm is, worden bij dunnere koeken betere ontwateringsresultaten behaald. Hierbij is het gewicht van de koek direct gerelateerd aan de dikte van de koek, omdat de koeken van de Mareco-pers altijd dezelfde diameter hebben. Er is gekozen om het gewicht van de koek te meten in plaats van

Het vertalen van de resultaten van de Mareco-pers naar andere apparatuur - zoals centrifuges en praktijkinstallaties - is beschreven in bijlage 1 op basis van de ontwateringsprincipes van de apparatuur.

Voor de experimenten is slib gebruikt uit de slibaanvoer van de slibontwatering van rwzi Garmerwolde zoals beschreven in sectie 2.2. Om de resultaten over de tijd meer constant te houden is het slib altijd verdund naar 3% ds. De uitgangsconcentraties van de conditioneringsmiddelen zijn 65 g/kg ds voor FeCl_3 en 6,5 g/kg ds voor polymeer. Na het toevoegen van het polymeer wordt de oplossing kort (2 seconden) intensief gemixt in een mixvat met baffles (Figuur 12), waarbij de oplossing vlokt. De mengtijd en intensiteit zijn bij de experimenten vastgelegd door een standaardprocedure te gebruiken in combinatie met een timer op de menger.

Na het mixen wordt de suspensie in de pers gebracht en wordt de zuiger via een computer geactiveerd. Hierbij wordt met luchtdruk over 5 minuten een druk van 13 bar aangebracht. Na het persen wordt de slibkoek gewogen en 24 uur in een stoof (105 °C) geplaast en opnieuw gewogen om de hoeveelheid droge stof te bepalen van de perskoek te bepalen. Het drogestofgehalte is vervolgens omgerekend naar het watergehalte (kg water/kg ds slib).

5.3 GRUISONTWATERING MET KOLENGRUIS

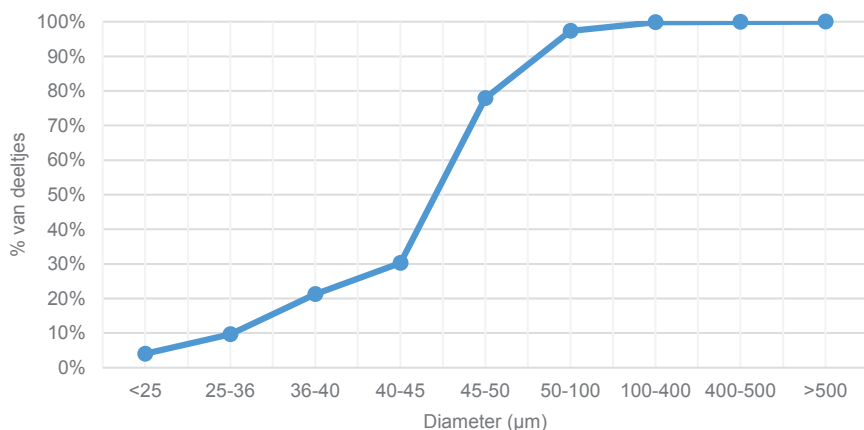
Gruisontwatering met kolengruis is een technologie die al sinds medio 1980 op grote schaal (6 miljoen i.e.) wordt toegepast in Bottrop, Duitsland. Hierbij wordt 30 % kolen op droge stof basis toegevoegd aan het te ontwateren slib. De ontwateringsresultaten met membraanfilterpersen zijn daarbij 40-48% ds. Bij de ontwatering in Bottrop wordt alleen flocculant (polymeer) gebruikt en geen coagulant [14], [15].

In de 'Verkenning Gruisontwatering' is onderzocht welke resultaten er bij gruisontwatering met kolengruis en slib uit rwzi Garmerwolde behaald kunnen worden. Deze rwzi bestaat uit een A-B-trap systeem, waarbij al het slib in een tweetraps vergisting wordt vergist. Ook wordt extern vergist slib toegevoegd voor mechanische ontwatering. Voor nu wordt aangenomen dat dit slib voldoende representatief is om het te vergelijken met slib uit andere rwzi's in Nederland.

Het kolengruis voor onderstaande experimenten is geleverd door Enerco B.V., een leverancier van speciale formaten kolenpoeder voor verschillende toepassingen. Het gebruikte gruis is een fractie met deeltjes van $\pm 45-100 \mu\text{m}$ die momenteel als restproduct overblijft bij de productie van andere producten (Figuur 13). Als gevolg van het productieproces van Enerco worden de kolen als een 'pasta' van 70% ds kolen in water geleverd. De productie van Enerco is ruim voldoende om een groot deel van de Nederlandse rwzi's te voorzien van kolengruis.

FIGUUR 13

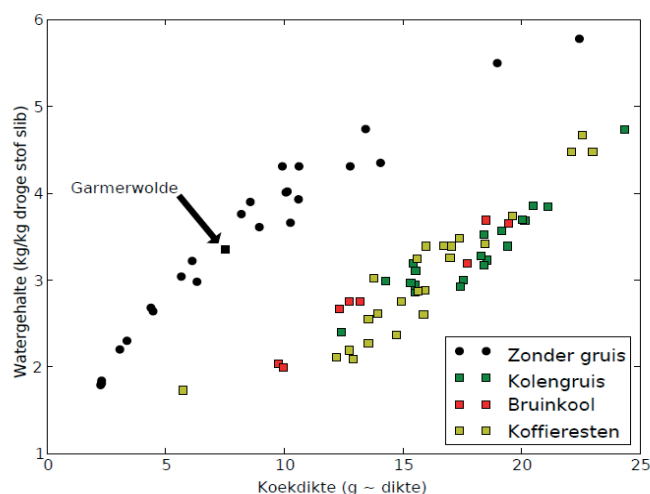
CUMULATIEVE DEELTJESGROOTTEVERDELING KOLENGRUIS



Samengevoegd staan de ontwateringsresultaten van kolen en koffieresten in Figuur 14. Hier is goed zichtbaar hoe de dikte van de slibkoek (hier gecorreleerd aan het gewicht) van invloed is op het ontwateringsresultaat in de Mareco-pers. Zoals eerder beschreven wordt het ontwateringsresultaat weergegeven op basis van de hoeveelheid water in verhouding met hoeveelheid droge stof in het slib. Om de labresultaten te vergelijken met de praktijksituatie worden de resultaten geïnterpreteerd bij dezelfde koekdikte als het praktijkresultaat. Een koekdikte van $\pm 8 \text{ mm}$ komt overeen met 3 kg water per kg droge stof slib in Figuur 14 wanneer er geen gruis toegevoegd is. Dit is gelijk aan een drogestofgehalte van 25% wat overeenkomt met de referentiesituatie van rwzi Garmerwolde.

FIGUUR 14

RESULTATEN GRUISONTWATERING MET KOLENGRUIS, BRUINKOOL EN KOFFIERESTEN (LAGER IS BETER)



In het figuur is duidelijk te zien dat de experimenten met een gruis hulpstof een lager watergehalte opleveren. Voor de referentie case Garmerwolde gaat het watergehalte in de koek van 3 kg water per kg ds slib in de referentie meting naar 2 kg water per kg ds slib.

5.3.1 DOSERING GRUIS

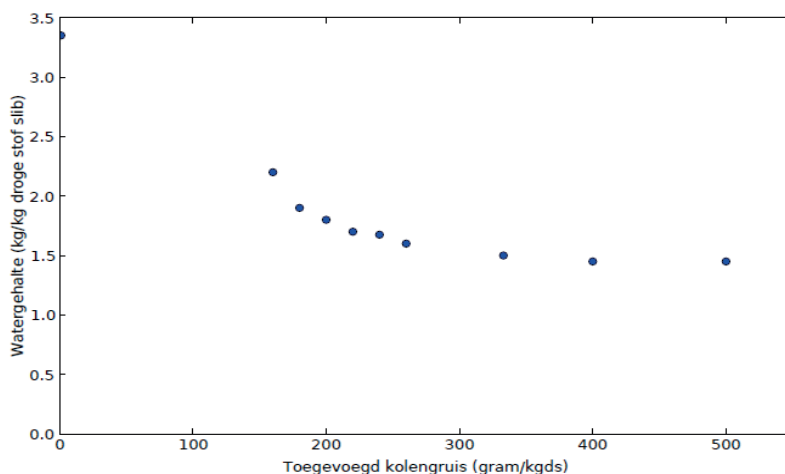
De dosering steenkoolgruis is positief van invloed op het behaalde percentage droge stof door zowel de verbeterde ontwatering als de toegevoegde droge stof. Het doel van gruisontwatering is om extra water uit het slib te verwijderen. Omdat het drogestofgehalte zoals besproken in Hoofdstuk 2 door het toevoegen van gruis verandert is het % ds geen goede parameter om de uitkomsten te vergelijken. In plaats daarvan wordt in dit onderzoek daarom gekeken naar het watergehalte in de vorm (kg water per kg droge stof slib). Omrekenen kan met onderstaande vergelijking:

$$\frac{m_{water}}{m_{ds}} = \frac{1 - \%ds}{\%ds} \quad (4)$$

Figuur 15 laat zien dat het watergehalte van het slib bij het toevoegen van extra gruis steeds verder afneemt, maar dat de afname steeds kleiner wordt. Het beste ontwateringsresultaat wordt in Figuur 15 behaald met het toevoegen van 500 gram kolen op 1 kg slib. Echter, de meest kosteneffectieve gruisdosering voor ontwatering ligt tussen 260-330 gram, waarbij in de verdere experimenten gewerkt is met 330 gram kolen per kg droge stof slib. Alle resultaten uit Figuur 14 en Figuur 15 zijn in combinatie met de standaarddoseringen FeCl_3 (65g/kg ds) en polymeer (6,5g/kg ds) behaald [16]. Deze doseringen zijn kostentechnisch echter niet optimaal.

FIGUUR 15

DOSERING KOLENGRUIS VERSUS WATERGEHALTE

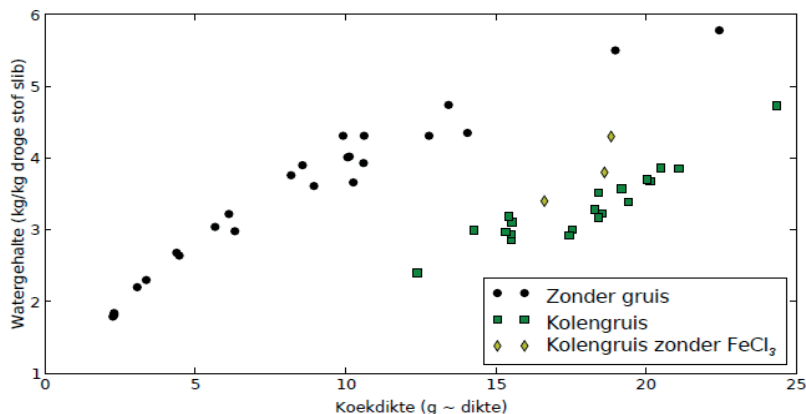


5.3.2 DOSERING COAGULANT

Op rwzi's in Nederland met kamer- of membraanfilterpersen wordt FeCl_3 , AlCl_3 of MgCl_2 als coagulant gebruikt om de slibontwatering te verbeteren. Een (momenteel gunstig) bijeffect is dat de metalen samen met opgelost fosfaat neerslaan, in het geval van MgCl_2 samen met NH_4^+ als struviet. Omdat het onderzoek is uitgevoerd met slib uit Garmerwolde is FeCl_3 als referentiepunt gekozen.

Gruisontwatering kan worden toegepast zonder het toevoegen van een coagulant [15]. Deze resultaten zijn ook bevestigd in het laboratoriumonderzoek (Figuur 16). Hier is duidelijk dat gruisontwatering zonder FeCl_3 een vergelijkbaar ontwateringsrendement heeft vergeleken met gruisontwatering met FeCl_3 .

FIGUUR 16

INVLOED VAN FeCl_3 OP GRUISONTWATERING [16]

5.3.3 DOSERING FLOCCULANT

Er zijn een aantal parameters belangrijk bij flocculatie, waaronder mixintensiteit, mixtijd, polymeerconcentratie en het drogestofgehalte van het slib. Een juiste dosering is hierbij erg belangrijk omdat een tekort aan polymeer te zwakke vlokken vormt voor de pers en een overschot aan polymeer extra kosten met zich meebrengt. Daarnaast verhoogd een tekort aan polymeer de nutriënt belasting op de rwzi doordat nutriënten in mindere mate gebonden worden in de koek en mee gaan met het rejectiewater naar de rwzi.

De dosering van flocculant in Garmerwolde is 6,5 gram actief polymeer per kg droog slib. In het onderzoek is gebleken dat de polymeerdosering voor goede ontwatering aangepast dient te worden op de totale hoeveelheid droge stof, inclusief kolen. Dit betekent bij het toevoegen van 33% kolengruis een toename van 33% aan flocculant [16]. Deze toename wordt aan de ene kant veroorzaakt door de toename aan droge stof. Hierdoor zijn er meer deeltjes aanwezig in het slib die gebonden moeten worden tot vlokken. Aan de andere kant blijft opgelost fosfaat in oplossing doordat geen coagulant gebruikt wordt. Dit betekent dat het fosfaat gebonden wordt aan het polymeer. Dit polymeer kan vervolgens zijn lading niet meer gebruiken om vlokken te vormen. Om het gebruik van polymeer bij gruisontwatering te reduceren kan dus gekozen worden om coagulant te doseren op basis van opgelost fosfaat. Dit is echter in deze studie niet onderzocht.

5.3.4 CONCLUSIES ONTWATERING MET KOLENGRUIS

Bij gruisontwatering met behulp van kolendeeltjes wordt tot 1 kg water per kg ds slib extra verwijderd. Dit staat gelijk aan een vermeden waterverdamping tegenover de huidige situatie van 33%. De optimale kolendosering hierbij is 330 kg per kolen kg ds slib. Ketenbreed is er nog een voordeel in waterverdamping, omdat kolen met een ds-gehalte van 60% gebruikt worden. Wanneer deze kolen naar een energiecentrale zouden gaan, moeten ze eerst gedroogd worden. In het geval van gruisontwatering worden de kolen samen met het slib ontwaterd. Dit zorgt ervoor dat 400g per kg ds kolen waterverdamping vermeden wordt. Ketenbreed levert dit een additioneel vermeden waterverdamping van 0,20 kg water per kg ds slib op. Het totaal aan vermeden waterverdamping komt daarmee op 38%. Voor het opstellen van de Delta-LCA's en business cases wordt dit relatief kleine voordeel ten behoeve van de overzichtelijkheid echter niet meegenomen.

5.4 GRUISONTWATERING MET SLIBAS

Vandaag de dag wordt het steeds belangrijker om zo duurzaam mogelijk om te gaan met grondstoffen. Dit betekent voor de Nederlandse waterschappen dat er niet alleen meer focus ligt op energieverbruik in de keten, maar ook op de mogelijkheid om nutriënten terug te winnen.

Wanneer kolengruis aan slib wordt toegevoegd, wordt de concentratie nutriënten in de slibkoek verlaagd. Hierdoor wordt nutriëntterugwinning uit slib bemoeilijkt. Door vliegas uit slib-monoverbranding te gebruiken als filtratiehulpmiddel, blijft de concentratie nutriënten na verbranding gelijk. Zo bestaat de vliegas ongeveer voor 10 gewichtsprocent uit fosfaat. Maar vliegas is niet alleen om deze reden een interessante gruis optie. Vanwege de thermische limitatie van sommige verbrandingsinstallaties, verdient gruis zonder calorische waarde de voorkeur. Dit speelt bijvoorbeeld bij installaties die energieproductie niet als doel hebben. Om deze redenen is slibontwatering met behulp van vliegas uit slib-monoverbranding in deze studie onderzocht.

5.4.1 Vliegagas als filtratiehulpmiddel in de literatuur

Vliegagas wordt al op een aantal plaatsen in de VS ingezet als filtratiehulpmiddel [17]. Ook wordt onderzoek gedaan naar de optimale condities voor vliegas ontwatering. Hierbij wordt onder andere gekeken naar:

- optimale concentraties vliegagas;
- het effect van temperatuur op de ontwatering;
- het effect van pH op de ontwatering;
- het effect van vaste stof concentraties in het slib.

Deze condities zijn bijvoorbeeld onderzocht voor een slibontwateringsinstallatie in Mishawaka [17]. Hierbij werd gevonden dat de filtreerbaarheid van het slib verbeterde naar mate meer vliegagas werd toegevoegd tot een dosering van 25% vliegagas op basis van slib droge stof. Boven deze verhouding nam de ontwaterbaarheid van het slib geleidelijk af. Wel werd een lineaire verhouding gevonden tussen de hoeveelheid vliegagas toegevoegd aan het slib en de maximale koek dikte die nog te ontwateren was.

Ook is onderzoek gedaan naar verhoogde temperatuur bij slibontwatering met behulp van vliegagas [17]. Hier is aangetoond dat slib met vliegagas beter ontwaterd naar mate de temperatuur van het mengsel verhoogd wordt tot een temperatuur van 70 °C. Boven deze temperatuur treedt geen significante verbetering meer op de in de ontwaterbaarheid van het slib met vliegagas. Daarnaast werd in dit onderzoek ontdekt dat bij hogere temperaturen, grotere hoeveelheden organisch materiaal in oplossing werden gebracht. Dit zorgde voor een verhoogd chemisch zuurstof verbruik (CZV) van het rejectiewater na mechanische ontwatering.

Het effect van pH op de ontwaterbaarheid van het slib is onderzocht in het pH-bereik van 2 tot 11. Hierbij werden geen significante veranderingen in de ontwaterbaarheid gevonden. Wel moet vermeld worden dat niet getest is met lading gevoelige flocculant. Wanneer een lading gevoelig flocculant wordt gebruikt, heeft de pH wel zeer veel invloed. Het beïnvloedt dan de vlokformatie.

Bij variatie in slibconcentraties kwam een interessant punt naar voren. Wanneer de optimale vliegagas-slib verhouding voor ontwatering gezocht werd voor slib met 2,2%, 4,7% en 6,9% ds, bleek voor hogere drogestofgehaltes een hogere verhouding vliegagas-slib nodig te zijn. Slib

van 2,2% ds bleek 15% vliegias nodig te hebben, slib van 4,7% ds bleek 30% vliegias nodig te hebben en slib van 6,9% ds bleek 40% vliegias nodig te hebben (alle percentages zijn massa percentages).

De reden achter de verschillende benodigde hoeveelheden vliegias is dat wanneer te weinig vliegias wordt toegevoegd in verhouding tot het slib, het slib nog steeds in zekere mate zijn oorspronkelijke compressibiliteit vertoont. Omdat vliegias een absorberende werking heeft tegenover water, wordt bij een te hoge dosering water opgenomen in de as. Hierdoor gaat het ontwateringsrendement naar beneden.

Naast de bovenstaande condities, is vliegias toevoeging aan slib ook onderzocht met betrekking tot verbeterde coagulatie [18]. Hierbij werd verbeterde coagulatie gerapporteerd bij vliegias toevoegingen tot 40% op basis van slib droge stof. Ook is vliegias onderzocht op absorberend vermogen voor verschillende organische stoffen [19]. Uit dit onderzoek kon geconcludeerd worden dat vliegias een zeker absorberend vermogen had, maar dat dit vermogen minder groot was dan dat van actief kool.

In de literatuur zijn tot op heden nog geen optimale condities gevonden voor de mix van slib, vliegias en bestaande conditioneringsmiddelen.

5.4.2 LABONDERZOEK Vliegias SNB

Het labonderzoek naar het gebruik van vliegias als filtratiehulpmiddel is opgesplitst in twee delen. Het eerste deel van het onderzoek is gericht op de karakterisering van vliegias in water. Door te kijken naar uitloging, pH-effecten, geleidbaarheidseffecten, sedimentatie en deeltjesgrootte verdelingen, kunnen mogelijke verklaringen worden gegeven voor de ontwateringsresultaten van vliegias en slib. Daarnaast is gekeken naar het fosfaatgehalte van de as na uitloging.

Het tweede deel van het onderzoek is gericht op verbetering van mechanische slibontwatering met vliegias als filtratiehulpmiddel. Hierbij is zo veel mogelijk gewerkt onder dezelfde labcondities als de kolen experimenten om vergelijkbaarheid van ontwateringsrendementen te creëren. Het onderzoek is uitgevoerd met de eerder in dit hoofdstuk beschreven Marecopers.

5.4.3 EXPERIMENTELE PROCEDURE ONTWATERING MET SLIBVLIEGAS

Voor alle lab experimenten met vliegias, is vliegias gebruikt van SNB. Hiervan is de samenstelling weergegeven in Tabel 4. Meer gedetailleerde gegevens van SNB-vliegias kunnen worden gevonden in bijlage 2.

TABEL 4

SAMENSTELLING Vliegias SNB

Component	Vliegias SNB 2011
SiO ₂	26 wt. %
Al ₂ O ₃	13 wt. %
Fe ₂ O ₃	7 wt. %
CaO	20 wt. %
MgO	3 wt. %
SO ₃	3 wt. %
P ₂ O ₅	24 wt. %

De dichtheid van de as varieert tussen de 450 en 800 kg/m³. Daarnaast hebben alle deeltjes een diameter die kleiner is dan 1 mm, heeft 50% van de deeltjes een diameter die kleiner is dan 100 micron en heeft het as een bruin/rode kleur die aangeeft dat ijzeroxide aanwezig is (zie Figuur 17).

FIGUUR 17

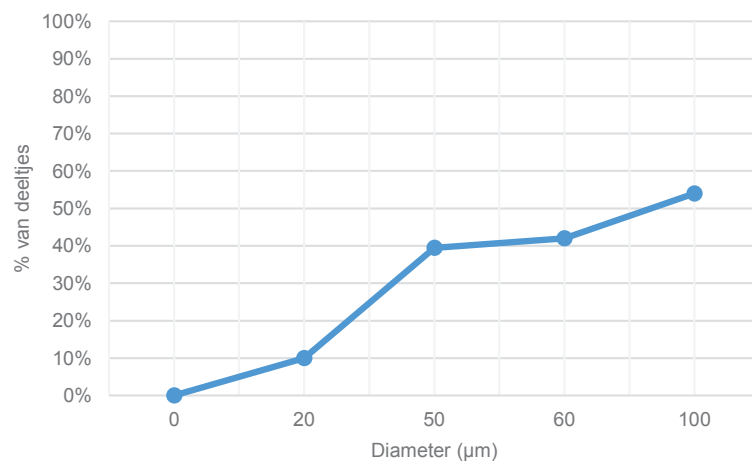
VLIEGAS SAMPLE SNB



Om een goede vergelijking te maken tussen ontwateringsresultaten van vlieg-as tegenover de resultaten met kolengruis, is een vergelijkbare deeltjesgrootteverdeling bekeken (<100 micron). De aangeleverde samples vlieg-as van de SNB zijn daarom gezeefd, zodat alleen deeltjes overbleven met een diameter onder de 100 micron. De deeltjesgrootte verdeling onder de 100 micron wordt weergegeven in Figuur 18.

FIGUUR 18

CUMULATIEVE DEELTJESGROOTTEVERDELING VLIEGAS ONDER DE 100 MICRON

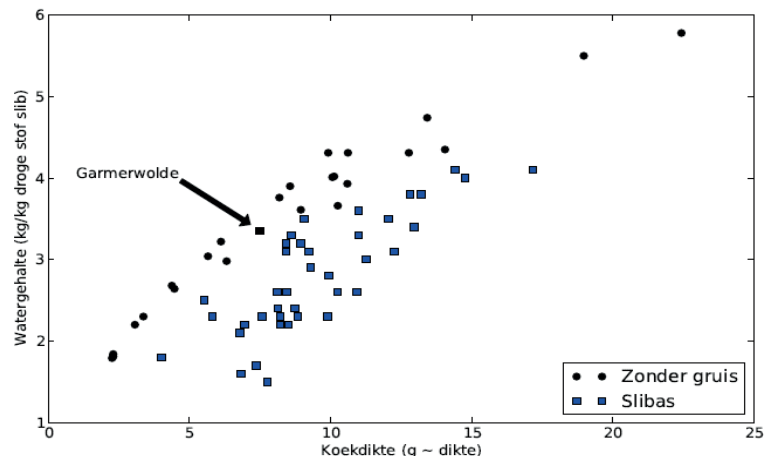


5.4.4 SLIBONTWATERING MET VLIEGAS

Voor de ontwateringsexperimenten met de Mareco-pers is gewerkt onder vergelijkbare omstandigheden als met kolengruis. Dit betekent een dosering van 330 gram as per kg droge stof slib en standaarddoseringen van FeCl₃ (65 g/kg ds) en van polymeer (6,5 g/kg ds) [16]. De resultaten van de metingen met as zijn weergegeven in Figuur 19.

FIGUUR 19

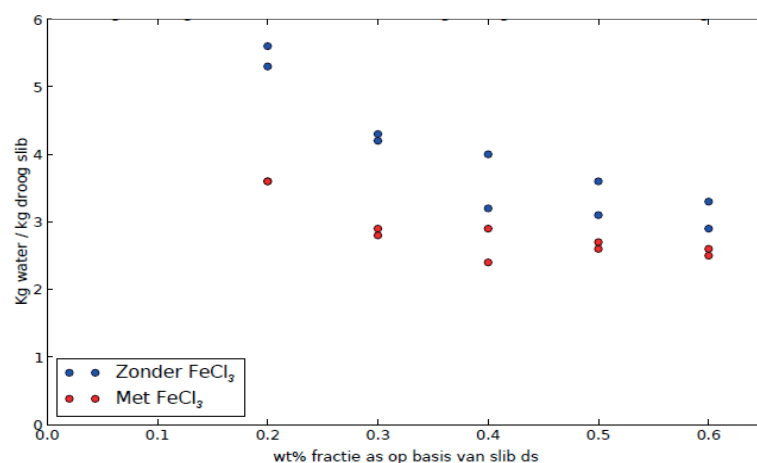
GRUISONTWATERING MET SLIBAS - WATERGEHALTE KOEK BIJ VERSCHILLENDE KOEKDIKTES



Uit de figuur is op te maken dat door de toevoeging van as ongeveer 0,5 tot 1 kg water per kg ds slib extra verwijderd wordt door de as toevoeging. Hiernaast is een vergelijking gemaakt tussen slibas ontwatering met en zonder standaard coagulant-dosering. Dit is te zien in Figuur 20.

FIGUUR 20

GRUISONTWATERING MET SLIBAS - WATERGEHALTE KOEK MET EN ZONDER IJZERCHLORIDE



Hieruit valt duidelijk op te maken dat de ontwatering betere resultaten oplevert wanneer coagulant wordt gebruikt. Coagulant blijft dus nodig indien vlieg-as wordt gebruikt als gruis-hulpstof.

Binnen het lab onderzoek is ook indicatief gekeken naar mogelijke uitloging van vlieg-as. Hierbij is vlieg-as in demi-water gebracht en is het vervolgens afgefiltereerd. Hierbij bleek dat ongeveer 10 massa% van de vlieg-as in oplossing achter bleef.

5.4.5 CONCLUSIES ONTWATERING MET VLEGAS

Vlieg-as als filtratiehulpmiddel is een interessante optie wanneer nutriënt terugwinning uit slib wordt overwogen of wanneer slib wordt verwerkt in een installatie die thermisch gelimiteerd is. Door de toevoeging van 330 g vlieg-as per kg ds slib wordt per kg ds slib 0,5 tot 1 kg extra water verwijderd wanneer zowel flocculant als coagulant wordt gebruikt. Zonder coagulant ontwateret het slib minder goed.

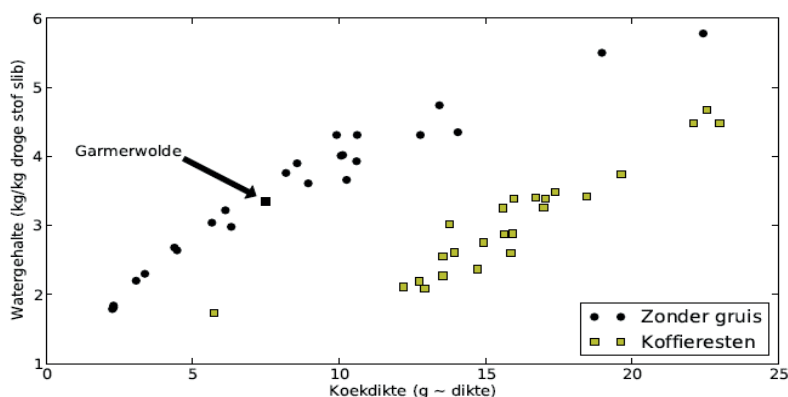
Bij het gebruik van vliegashout uit slib-monoverbranding dient rekening gehouden te worden met een uitloging van ongeveer 10 massa%. Binnen dit onderzoek is de samenstelling van de opgeloste zouten niet bepaald.

5.5 GRUISONTWATERING MET KOFFIERESTEN

Met koffieresten van Douwe Egberts uit Joure zijn ook ontwateringsexperimenten uitgevoerd. De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in Figuur 21.

FIGUUR 21

WATERGEHALTE KOEK TEGEN KOEKDIKTE NA PERSING MET DE MARECO PERS MET KOFFIERESTEN



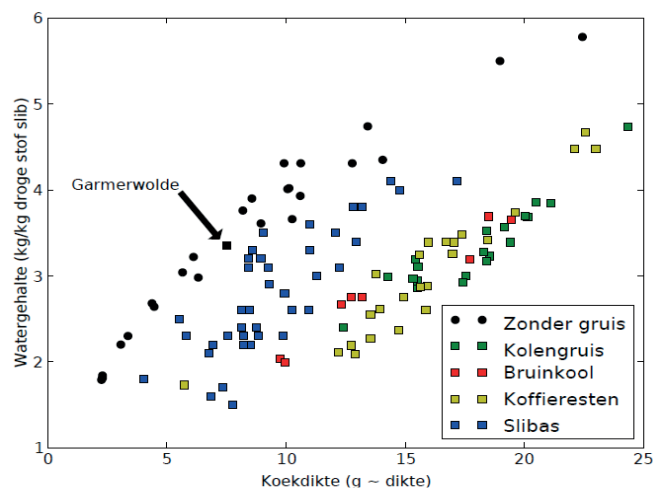
De resultaten laten zien dat de ontwatering bij het toevoegen van koffieresten resulteert in een vergelijkbare verbetering als de ontwatering met kolengruis. Een nadeel van het gebruik van koffieresten is de lagere verbrandingswaarde ten opzichte van kolengruis - 21,8 - 26,9 MJ/kg voor koffieresten en 27,9 voor kolengruis - en het hogere watergehalte in de koffieresten, wat de transportkosten beïnvloed. De calorische waarde van de koffieresten is in dit onderzoek niet nader bepaald; de vergelijking is op basis van waarden uit de literatuur. Een ander nadeel van het gebruik van koffieresten is het uitspoelen van oplosbare stoffen in de koffieresten. Bij implementatie in de praktijk zullen deze stoffen met het rejectiewater van de mechanische ontwateringsstap terug komen op de rwzi. Er is in het onderzoek niet verder onderzocht welke invloed deze vorm van uitloging heeft op een waterzuiveringsinstallatie.

5.6 VERGELIJKING GRUISSTOFFEN OP LABSCHAAL

In Figuur 21, zijn de labresultaten van slib, slib met vliegashout, slib met kolen, slib met bruinkool en slib met koffieresten weergegeven. In de figuur is te zien dat bij slib met kolen en slib met koffieresten het meeste water verwijderd wordt uit de koek (tot wel 2 kg water per kg ds slib). Ook slib met bruinkool ontwaterd in de buurt van dit gebied. Slib met vliegashout verwijderd maar 0,5 tot 1 kg water per kg ds slib. Daarmee is aangetoond dat vliegashout werkt als filtratie-hulpmiddel, maar dat wanneer dezelfde hoeveelheid coagulant en flocculant wordt gebruikt, vliegashout met slib minder goed ontwaterd dan kolen met slib.

FIGUUR 22

WATERGEHALTE KOEK TEGEN KOEKDIKTE NA PERSING MET DE MARECO PERS



Omdat de ontwatering met koffieresten vergelijkbare ontwateringsrendementen te behalen zijn als met kolen, lijkt ontwatering met koffieresten een zeer goede optie voor gruisontwatering. De resulterende brandstof is namelijk in het geheel een biobrandstof. De calorische waarde van de koffieresten is niet bepaald tijdens het onderzoek. Hierdoor kan geen directe vergelijking worden gemaakt met kolen op basis van stookwaarde. Indicatief is dit wel mogelijk met waarden uit de literatuur waarbij een calorische waarde tussen 21,8 - 26,9 MJ/kg [20] voor koffieresten wordt aangegeven, wat lager is dan kolengruis (27,9 MJ/kg) en hoger dan bruinkool (16,3 MJ/kg) [21].

Wat van belang is bij de selectie van een gruishulpstof is het sedimentatiegedrag. Als gekeken wordt naar de bezinking van kolengruis en vliegashout, kan geconcludeerd worden dat vliegashout significant sneller bezinkt (Figuur 23). Dit betekent dat menging van slib met gruis, bij vliegashout kritischer is dan bij kolengruis. Immers, een uniforme deeltjesverdeling over de koek zorgt voor betere ontwateringsrendementen [17].

FIGUUR 23

SEDIMENTATIE VAN VLEGAS EN KOLENGRUIS 1 MIN. NA UITSCHAKELING ROERDER



5.7 GRUISONTWATERING MET SHREDDERVEZELS

Op rwzi Bottrop in Duitsland wordt shreddermateriaal gebruikt als filtratiehulpmiddel (Figuur 24). Ook met dit materiaal zijn zeer goede ontwateringsresultaten te behalen (Figuur 25). Uit de gegevens in Figuur 25 blijkt dat op rwzi Bottrop met 30% shreddermateriaal 40% DS behaald kan worden en dat dit kan oplopen tot 48% DS wanneer er 48% shreddermateriaal wordt toegevoegd.

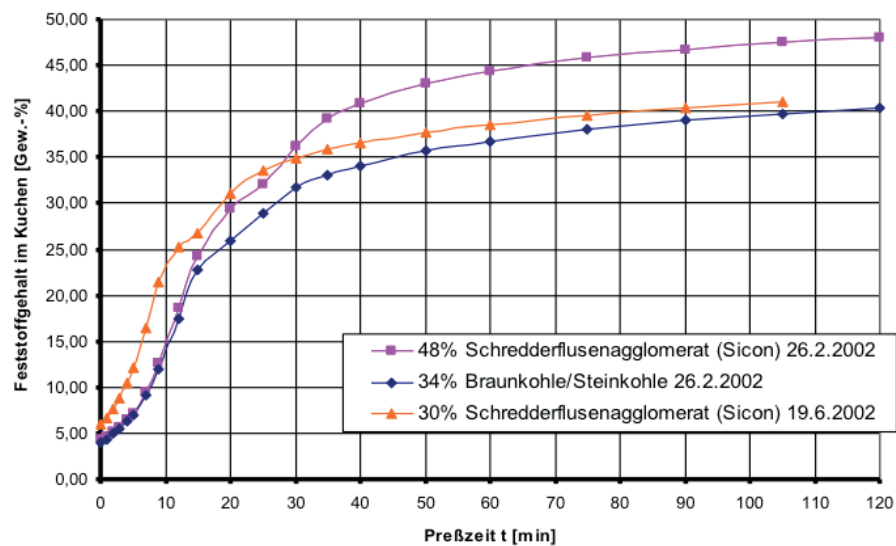
FIGUUR 24

HET SHREDDERMATERIAAL HEEFT EEN VEZELACHTIGE STRUCTUUR



FIGUUR 25

ONTWATERINGSRESULTATEN MET SHREDDERMATERIAAL



De ontwateringsresultaten zijn vergelijkbaar met die van bruinkool. Shreddermateriaal is een interessante overweging als filtratiehulpmiddel, omdat het net als slib, op dit moment een afvalstof is. Samen kunnen deze reststoffen door gruisontwatering nuttig ingezet worden, waarbij de vezels een extra functie krijgen als ontwateringshulp.

5.8 PILOT-SCHAAL ONDERZOEK

Naast het labonderzoek is met een pilot-schaal centrifuge (170 l/h) op locatie in Garmerwolde en een pilot-schaal kamerfilterpers (300 l/h) in Heerenveen een aantal proeven uitgevoerd. De resultaten van deze proeven staan hieronder samengevat. Voor een volledig verslag van de experimenten wordt de lezer verwezen naar bijlage 3 voor de experimenten in Garmerwolde en bijlage 4 voor de experimenten in Heerenveen.

5.8.1 PILOT-SCHAAL CENTRIFUGE EXPERIMENTEN RWZI GARMERWOLDE

In Tabel 5 en 6 zijn de gemiddelde resultaten weergegeven van de 3 dagen durende centrifugeproef op rwzi Garmerwolde. Hier is getest met een centrifuge met een capaciteit van 170 liter/uur. Te zien is dat ontwatering met kolengruis bij een toevoeging van 30% op basis van slib ds, 0,6 kg water per kg ds slib extra verwijderd kon worden zonder ijzerchloridetoevoeging. Dit is boven verwachting, omdat de machine slechts een derde van de G-krachten op kon wekken in vergelijking met een centrifuge uit de praktijk. Proeven met ijzerchloridedosering (65 g/kg ds) leverden vergelijkbare ontwateringsresultaten op.

TABEL 5 CENTRIFUGE-EXPERIMENTEN ZONDER IJZERCHLORIDE

Type gruis	Dosering	Water (kg/kg ds slib)		
Geen	-	16,0%	23,1%	3,33
Kolengruis	30%	22,1%	32,0%	2,76
Slibas	30%	20,0%	28,2%	3,31

TABEL 6 CENTRIFUGE-EXPERIMENTEN MET 65 G/KG DS IJZERCHLORIDE

Type gruis	Dosering	Water (kg/kg ds slib)		
Geen	-	18,6%	26,2%	2,81
Kolengruis	30%	28,0%	39,5%	1,99
Slibas	30%	25,7%	26,2%	3,66
Droge slibkorrels	30%	26,5%	37,4%	2,17

Ontwatering met slibas zonder ijzerchloride leverde geen verbeterde ontwatering op. Interessant is dat wanneer ijzerchloride werd toegevoegd (65 g/kg ds) de ontwatering significant verbeterde. Dit in tegenstelling tot ontwatering met kolen. Er spelen hier mogelijk gruisinteracties met slib die niet onderzocht zijn in deze studie.

Tijdens de centrifugeproeven op Garmerwolde (zie bijlage 3) zijn ook indicatief twee experimenten uitgevoerd waarbij gedroogde slibkorrels van de Swisscombi Technology zijn toegevoegd als gruis. De slibkorrels komen uit de fijne retourstroom van de droger. De deeltjesgrootteverdeling is niet bepaald. De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in Tabel 5 en 6.

Uit deze resultaten blijkt dat gruisontwatering mogelijk ook werkt met gedroogde slibkorrels. Dit levert een heel specifiek voordeel voor ketens waarbij het slib op locatie gedroogd wordt, namelijk dat het product richting de eindverwerker niet van compositie of hoeveelheid veranderd.

5.8.2 PILOT-SCHAAL KAMERFILTERPERS EXPERIMENTEN RWZI HEERENVEEN

In januari van 2013 zijn op rwzi Heerenveen van Wetterskip Fryslân pilotschaal proeven uitgevoerd met een mini-kamerfilterpers. In deze sectie worden de belangrijkste resul-

taten van de proeven samengevat. In bijlage 4 worden de verdere details en meetresultaten behandeld.

Tijdens de referentiemetingen bleken de ontwateringsresultaten sterk uiteen te lopen per meting en tussen de verschillende kamers van de pers. Dit betekent dat de resultaten die behaald zijn met de mini-kamerfilterpers sterk kunnen variëren. Er kan dus alleen gesproken worden van indicatieve resultaten. De grote variatie in ds-gehaltes van de referentiemetingen is ook waargenomen voor de metingen met gruis toevoeging. Hierbij lagen de ds-gehaltes tussen de 23 en 35% wanneer het gemiddelde drogestofgehalte is genomen voor alle kamers in de filterpers. Voor deze resultaten is gewerkt met een PE-dosering van 9,4 g. per kg ds slib en een ijzerchloridedosering van 65 g. per kg ds slib. Verder is gewerkt met een gruisdosering (van 450 g per kg ds slib), omdat in Heerenveen het aandeel organisch materiaal in het slib hoger is dan in Garmerwolde (75% tegenover 56%). Wanneer uitgegaan wordt van deze verhouding, dient $(75/56 * 333 =)$ 450 g gruis per kg ds slib gedoseerd te worden op basis van organische droge stof. De minimale en maximale resultaten van de referentiemetingen en de gruismetingen staan in Tabel 7.

TABEL 7

SPECIFIEKE MASSASTROMEN VOOR MECHANISCHE ONTWATERING MET MINI-KAMERFILTERPERS

	Min. Ref.	Max. Ref.	Min. Gruis	Max. Gruis
Ds-gehalte	15%	22%	23%	35%
Water (kg)	5,67	3,55	4,85	2,70
Slib ds (kg)	1	1	1	1
Gruis (kg)	0	0	0,45	0,45
Totaal gewicht (kg)	6,67	4,55	6,30	4,15

In de tabel is te zien dat voor de minimale en maximale resultaten van gruisontwatering op de mini-kamerfilterpers tussen de 0,9 en 0,85 kg water per kg ds slib extra verwijderd wordt. Echter door de grote variatie in ds-gehaltes zoals aangegeven voor de referentiemetingen kunnen deze resultaten alleen gezien worden als indicatie. Deze variaties kunnen komen door veranderende slibeigenschappen. In Heerenveen wordt slib uit 28 verschillende rwzi's verwerkt. Niet elke dag vindt van alle 28 rwzi's een siblevering plaats. Hierdoor zijn slibeigenschappen voor opeenvolgende dagen nooit gelijk. Daarnaast lagen ook de ds-resultaten van metingen met slib van dezelfde dag sterk uiteen, wat aangeeft dat er niet onderzochte variabelen een rol spelen bij de testen met de mini-kamerfilterpers.

Doordat ds-metingen zowel voor referentiemetingen zonder gruis als de metingen met gruis sterk uiteenlopende drogestofgehaltes gaven, kan geen eenduidige kwantitatieve conclusie getrokken worden over de werking van gruisontwatering op de mini-kamerfilterpers. Kwalitatief kan wel gezegd worden dat gruisontwatering een positief effect heeft op de ontwatering van slib.

5.9 INVLOED VAN GRUISONTWATERING OP FOSFAAT EN NUTRIËNTTERUGWINNING

Fosfaat is een onvervangbare grondstof voor het leven en het 11e meest voorkomende element op aarde. Het meeste fosfaat wordt tegenwoordig gewonnen uit fosfaatgesteente en gebruikt voor het produceren van kunstmest. Ondanks de grote voorraden fosfaat (100-350 jaar tot uitputting), zorgt het toenemende gebruik van fosfaat voor het feit dat terugwinning en recycling steeds belangrijker wordt [23], [24]. Deze sectie bespreekt kwalitatief de impact die gruisontwatering heeft op de terugwinning van fosfaten en andere nutriënten vanuit slibas. De

bevindingen zijn gebaseerd op onderzoek aan de Rijksuniversiteit Groningen [22] en wetenschappelijke literatuur.

Een significante hoeveelheid fosfaat verlaat de fosfaatkringloop via slib. Omdat het gebruik van slib als meststof in Nederland niet meer toegestaan is, wordt slib verbrand. De as van slibmonoverbranders bevat fosfaatconcentraties (8,5 tot 12%) die bijna net zo hoog zijn als de concentraties in fosfaaterts (12-18%). In het geval van co-verbranding komt het fosfaat in lagere concentraties in de as of in het product - bijvoorbeeld cement - terecht [25].

Bij het bepalen van de impact van gruisontwatering op de terugwinning van fosfaten is gekeken naar de terugwinning van fosfaten vanuit slibas van monoverbranders en de terugwinning vanuit rejectiewater. Andere terugwinningsmogelijkheden - zoals directe terugwinning in de waterlijn - zijn niet bekeken omdat de waterlijn door gruisontwatering niet veranderd. Terugwinning vanuit as van energiecentrales is ook niet meegenomen omdat de fosfaatconcentratie in dit geval te laag is voor efficiënte terugwinning [26]. Dit aspect verandert, wanneer energiecentrales geheel overstappen op biomassa. In dit geval kunnen nutriënten worden teruggewonnen uit de verbrandingsassen die resulteren uit een combinatie van verschillende biomassastromen.

5.9.1 TERUGWINNING UIT SLIBAS

Het toepassen van gruisontwatering met slibas of gedroogd slib heeft geen invloed op de fosfaatterugwinning omdat de fosfaatconcentraties in de slibas hierbij gelijk blijven. Namelijk, door het hergebruiken van slib of slibas als filterhulpmiddel, blijven de fosfaten in de cyclus tussen de rwzi en de slibeindverwerker. Aangezien alle fosfaat de keten uiteindelijk via de slibeindverwerking verlaat en omdat er geen verdunning plaatsvindt door andere stoffen, blijven de concentraties in het uiteindelijk geproduceerde as gelijk.

Een voorwaarde voor de hierboven beschreven situatie is dat de fosfaten in het slib gebonden blijven. Indien de fosfaten uit het slibas oplossen, kan dit leiden tot een verhoogde coagulantconsumptie om de fosfaten opnieuw te binden. Gruisontwatering met kolengruis heeft een negatieve invloed op de fosfaatterugwinning omdat de fosfaatconcentratie in het slibas daalt. Dit is het gevolg van de grotere hoeveelheid as (als gevolg van de kolen), met dezelfde absolute hoeveelheid fosfaat. De fosfaatconcentratie hangt hierbij af van de hoeveelheid gedoseerd kolengruis.

5.9.2 INTERACTIES MET TERUGWINNINGSTECHNIEKEN UIT SLIBAS

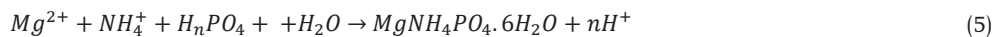
De terugwinning van fosfaten uit as kan zowel chemisch als thermisch plaatsvinden. Het chemische proces is gebaseerd op de extractie van fosfaten met een zure of basische oplossing. Thermische methodes zijn het ASH-DEC proces, waarbij zware metalen verwijderd worden door deze bij 850-1000°C te verdampen in bijzijn van $MgCl_2$ of $CaCl_2$, en het Thermphos proces, waarbij juist het fosfaat via de gasfase wordt verwijderd [27]. Thermphos is eind 2012 echter failliet verklaard.

5.9.3 TERUGWINNING UIT REJECTIEWATER

De meeste methoden om fosfaten uit rejectiewater terug te winnen zijn gebaseerd op het vormen van struviet. Historisch gezien is de vorming van struviet juist een probleem op de rwzi geweest omdat de neerslag veelal in leidingen plaatsvindt, met verstoppingen tot gevolg. De gemakkelijke vorming en slechte oplosbaarheid van struviet is echter ook een voordeel bij het terugwinnen van fosfaten. Struviet kan toegepast worden als kunstmest, maar wordt

momenteel zelden gebruikt in verband met de hogere productiekosten en de onbekendheid van het product [28], [29].

Struviet slaat in een molratio neer uit Mg^{2+} , NH_4^+ en fosfaat () volgens onderstaande reactie [30]:



Het neerslaan van struviet verloopt volgens een tweestapsproces waarbij eerst kleine kristallen ontstaan (nucleatie) welke vervolgens verder groeien. De belangrijkste factoren zijn de pH, temperatuur, toegevoegde mechanische energie, oververzadiging en de aanwezigheid van andere ionen [30]. De terugwinning van fosfaten vanuit rejectiewater is momenteel ongunstig door lage fosfaatconcentraties als gevolg van het neerslaan van vrij fosfaat met de coagulanten ($FeCl_3$ of $AlCl_3$) en kationische flocculanten in de ontwateringsstap. Omdat bij gruisontwatering in veel gevallen geen chemische coagulant gebruikt hoeft te worden, kan het fosfaat in de waterfase gehouden worden en kan het later, wanneer er geen sprake is van flocculant overdosering, als struviet neergeslagen worden.

Bovenstaande situatie is direct van toepassing op anaeroob vergist slib, aangezien hierbij veel fosfaat en ammonium vrijkomt. Een belangrijke tweede voorwaarde hierbij is dat een flocculant gekozen wordt die niet met fosfaat neerslaat. De huidige (kationische) flocculanten vertonen dit gedrag wel [22]. Met struviet zou op deze wijze 75% van het vrije fosfaat en een significant deel (50-85%) van het ammonium afgevangen kunnen worden [30].

Verder onderzoek naar de mogelijkheden om meer fosfaat vrij te maken en neerslag bij de ontwatering te vermijden is vereist voordat een kwantitatieve inschatting van de mogelijkheden voor terugwinning gemaakt kan worden.

6

OPSCHALING

6.1 INLEIDING

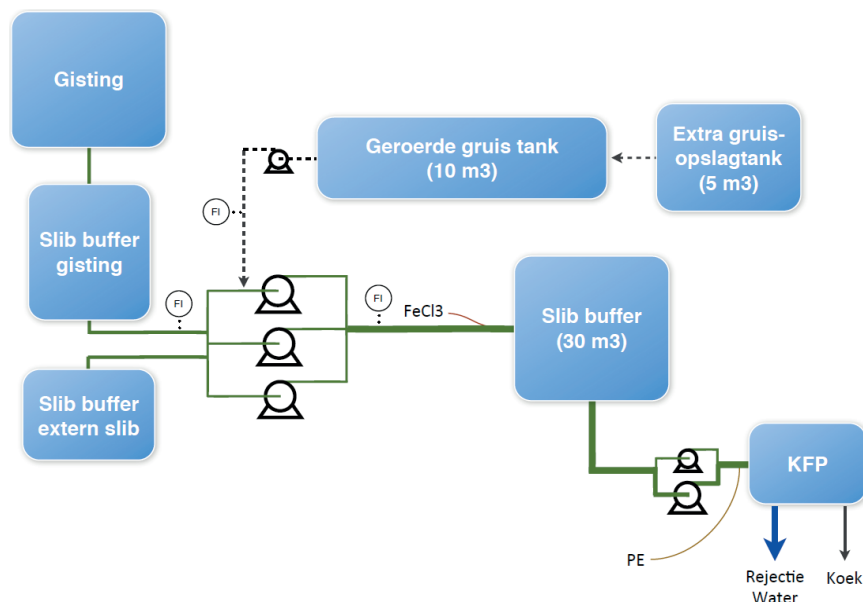
Middels het laboratoriumonderzoek en de pilotschaal onderzoeken is het potentieel van gruisontwatering aangetoond. Daarbij zijn tijdens het labonderzoek vrij consequent gunstige ontwateringsresultaten behaald met verschillende gruissoorten. Op pilotschaal zijn vergelijkbare resultaten behaald met een centrifuge en met de mini-kamerfilterpersen op Heerenveen is een kwalitatieve verbetering gezien. Om de toepasbaarheid van gruisontwatering voor de Nederlandse waterzuiveringen te bepalen is gruisontwatering op praktijkschaal op meerdere locaties onderzocht. De resultaten van deze onderzoeken en de aanpak voor deze locaties worden in dit hoofdstuk beschreven.

6.2 PRAKTIJKPROEVEN GARMERWOLDE

In december 2013 zijn op rwzi Garmerwolde praktijkproeven gruisontwatering uitgevoerd. De opzet van de proeven is hierbij zo gekozen dat de proefinstallatie qua ontwerp en bedrijf zo dicht mogelijk bij een praktijk-installatie kwam. Om deze reden is gekozen om te werken met een onverdunde kolenslurry (60% ds). Deze kolenslurry werd gedoseerd aan de zuigzijde van de slibpompen die het slib van de gisting naar de kamerfilterpersen pompen. De opzet van de proeven staat schematisch weergegeven in Figuur 26.

FIGUUR 26

PROEFOPZET GARMERWOLDE SCHEMATISCH



Voor de proef werd het kolengruis aangeleverd door Enerco met een tankwagen. Vanuit de tankwagen werd het kolengruis in een transportkubel gebracht van 1 m³ (Figuur 27).

FIGUUR 27

TRANSPORTKUBEL 1 M³

Middels de transportkubel werd het kolengruis overgebracht in een geroerde tank van 10 m³ (Figuur 28) en een extra opslagtank van 5 m³ (Figuur 29). Het overbrengen van gruis met een transportkubel is gedaan omdat de vrachtwagen niet dicht genoeg in de buurt van de gruis tank en de gruis silo kon komen.

FIGUUR 28

GEROERDE TANK 10 M³

FIGUUR 29

OPSLAGTANK 5 M³

Vervolgens kon kolengruis met een doseer wormpomp worden toegevoegd aan de slibstroom vlak voor één van de bestaande slibpompen. De turbulentie die ontstond in de slibpomp zorgde samen met het slibtransport door de sibleiding voor een goede menging van het kolengruis met het slib. Vanuit de aanwezige slibbuffer van 30 m³ wordt het mengsel vervolgens naar de kamerfilterpers (KFP) getransporteerd voor mechanische ontwatering.

Voorafgaand aan de praktijkproeven op Garmerwolde zijn door Enerco proeven uitgevoerd met het verpompen van het kolengruis (60% ds). Bij de installaties van Enerco in Amsterdam wordt ruwe kool in verschillende deeltjesgrootte fracties gescheiden. Hierbij worden de kolen nat vermaalt, waarna ze gezeefd en ontwaterd worden. Voor de ontwatering gebruikt Enerco een filtrerende centrifuge.

De deeltjesgrootte die Enerco levert voor de gruisontwateringsproeven is < 125 µm. De dichtheid van de kolendeeltjes varieert tussen de 1,3 en 1,5 ton/m³. Het kleiachtige materiaal met een watergehalte van rond de 40%, is thixotroop. Dit betekent dat wanneer het materiaal geen krachten ondervindt (het ligt stil), het steekvast is (Figuur 30). Wanneer er echter krachten op het materiaal worden gezet (druk en beweging), gedraagt het materiaal zich als een vloeistof. In deze vorm is het dus verpompbaar (Figuur 31).

FIGUUR 30

KOLENGRUIS NA 24 UUR OPSLAG



FIGUUR 31

KOLENGRUIS STROMEND UIT LEIDING



Uit de proeven van Enerco bleek dat het stroomgedrag van het kolengruis afdoende is om het materiaal te verpompen door een 6-duims leiding van 10 meter. Daarnaast is aangetoond dat het kolengruis vrij uit een tankwagen stroomt op het moment dat de tank van de wagen gekanteld wordt. Op basis van deze bevindingen, is de proefopzet uit Figuur 25 aangehouden.

Tijdens de proefweek is gevarieerd met gruisdosering, FeCl_3 -dosering en PE-dosering. Omdat deze praktijkproef de eerste grote-schaal proef is geweest, kan de proefweek als een continu leertraject gezien worden. De eerste dag is voornamelijk gefocust op het juist afregelen van de gruisdosering bij gelijkblijvende FeCl_3 -dosering (65 g/kg ds slib) en gelijkblijvende PE-dosering (6 g/kg ds slib). Het bleek uitdagend om met de wormpomp, die het kolengruis doseerde aan de discontinu draaiende slibpompen, altijd het juiste gruis doseerdebiet te bereiken.

De tweede dag is de FeCl_3 -dosering in stapjes van 10% procent naar beneden gebracht. Hierbij liep het koek ds-gehalte van de 5 persingen uiteen van 29% ds tot 33% ds (tegenover 26% ds zonder gruisdosering). Het sterk uiteen lopen van ds-gehalten van de slibkoek was een indicatie dat de gruisdosering en/of gruis inmenging nog steeds niet op orde was. Dit probleem heeft de rest van de testweek gespeeld. Ook wanneer de PE-dosering tot 20% naar beneden gebracht werd.

Het generieke beeld dat uit de proeven naar voren kwam, is dat met dosering van gruis, altijd hogere koek ds-gehalten bereikt werden bij mechanische ontwatering. Hierbij liepen koek ds-gehalten uiteen van 29% tot 38%. De hoogste koek ds-gehalten werden bereikt op de laatste testdag, waarbij 33% gruis op ds slib basis gedoseerd is bij een FeCl_3 -dosering van 45 g/kg ds slib en een PE-dosering van 5 g/kg ds slib.

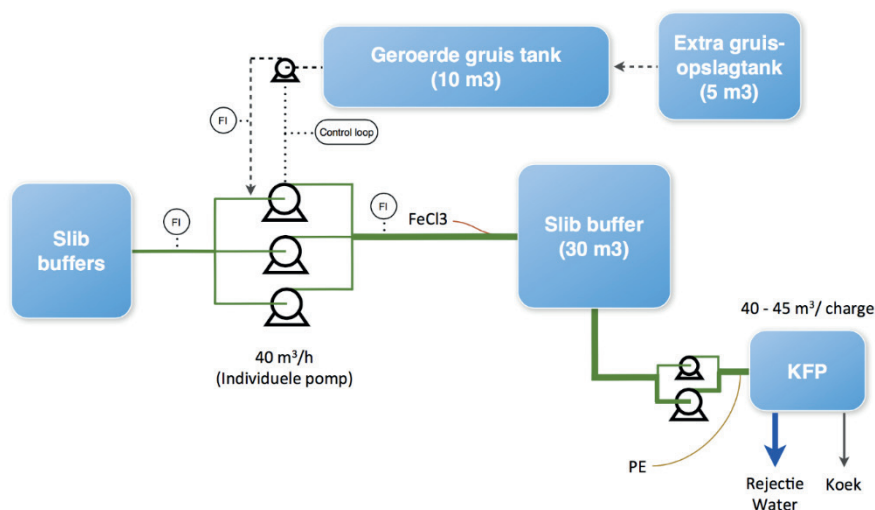
Dit resultaat maakt dat geconcludeerd kan worden dat gruisontwatering op praktijkschaal bij kamerfilterpersen werkte, maar dat er operationeel nog een aantal slagen te maken waren.

6.3 PRAKTIJKPROEVEN HEERENVEEN

Na de praktijkproeven op Garmerwolde is de gruis-doseerinstallatie verplaatst naar Heerenveen. Op deze slibontwatering worden ook kamerfilterpersen gebruikt. De proefopzet was vergelijkbaar met die van Garmerwolde en wordt schematisch weergegeven in Figuur 32.

FIGUUR 32

PROEFOPZET HEERENVEEN SCHEMATISCH



In maart 2014 is in Heerenveen een week getest met de gruisinstallatie. In vergelijking met de proeven van Garmerwolde liepen hier de ds-gehalten bij gruisontwatering tussen achtereenvolgende persingen minder uiteen, wat een indicatie is dat de proef operationeel beter liep. Tegenover de referentiesituatie zonder gruisdosering (22% ds) werden halverwege de testweek gruis-koek ds-gehalten gehaald van 35% tot 38% bij 30% gruis toevoeging, een gelijkblijvende FeCl_3 -dosering van 70 g/kg ds slib en een PE-dosering van 6 g/kg ds slib (reguliere PE-dosering is 7 g/kg ds slib).

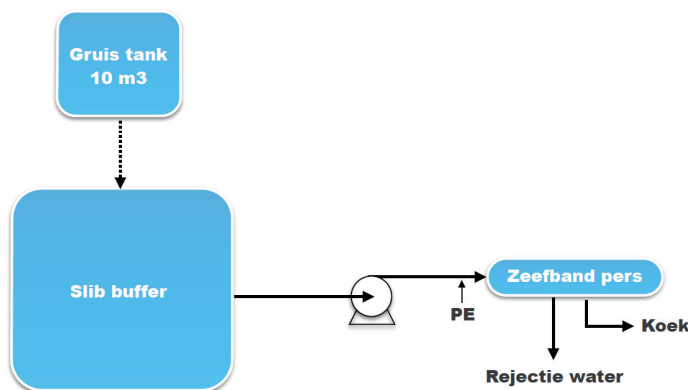
Echter, de laatste dag van testen liepen de koek ds-gehalten met gruis drastisch achteruit. Per persing werd 1% ds minder behaald. Deze resultaten kunnen worden verklaard door het feit dat er de laatste dag van testen begonnen is met een PE-dosering van 5 g/kg ds slib. Deze relatief lage PE-dosering zorgde voor een zeer slechte flocculatie, die duidelijk waarneembaar was. Hoewel in de daaropvolgende proeven, de PE-dosering weer omhoog werd gebracht, ging het gruis-koek ds-gehalte per persing nog steeds achteruit. Na afloop van de proeven werd een hoge mate van versmering achter de doeken van de kamerfilterpersen geconstateerd. De verklarende hypothese voor deze waarneming is dat er door de lage PE-dosering van een van de persingen, gruis-slib deeltjes achter de doeken zijn gekomen. Hierdoor slibden de doeken in latere persingen steeds verder dicht, waardoor de ontwatering achteruitging. Hierom is ervoor gekozen om bij de resterende proeven de spoelcyclus van de doeken te verhogen.

6.4 PRAKTIJKPROEVEN DEN HELDER

Bij de praktijkproeven op de slibontwatering van Den Helder in september 2014, is gruis gedoseerd in de slibbuffer (500 m³) zoals schematisch weergegeven in Figuur 33.

FIGUUR 33

PROEFOPZET DEN HELDER SCHEMATISCH



In Den Helder wordt gebruik gemaakt van een zeefbandpers (10-15 m³/h) die gemiddeld genomen een PE-dosering nodig heeft van 20 g/kg ds slib. Het doel van de proeven in Den Helder was niet om een zo hoog mogelijk ds-gehalte te bereiken, maar om met gruis de PE-dosering naar beneden te brengen. Om deze reden is 15% gruis op ds slib basis gedoseerd.

Het opmerkelijke bij deze proeven was, dat het naar beneden brengen van de PE-dosering een positief effect had op het ds-gehalte na mechanische ontwatering. In de referentie situatie zonder gruis werd een koek ds-gehalte van 19% behaald. Uiteindelijk werd met 15% gruisdosering, bij een PE-dosering van 8 g/kg ds slib een gruis-koek ds-gehalte van 23% behaald. De geringe gruisdosering bracht hiermee het ds-gehalte bij mechanische ontwatering omhoog terwijl het PE-gebruik meer dan halveerde.

6.5 PRAKTIJKPROEVEN ALKMAAR

Bij de praktijkproeven in Alkmaar in oktober 2014, is kolengruis gedoseerd aan een centrifuge met een capaciteit van 10 m³/h. Hier werd kolengruis middels de wormpomp onder de 10 m³ gruiستank gedoseerd aan de zuigzijde van een van de slibpompen. De centrifuge haalde zonder gruisdosering een ds-gehalte van 23% met een PE-dosering van 14 g/kg ds slib.

In Alkmaar is 2 dagen getest. Tijdens de 2 dagen testen is gevarieerd in PE-dosering en is het gruis debiet (25% op ds slib basis) constant gehouden. Hoewel er op elke testdag een halve dag nodig was om de juiste instellingen van de centrifuge te vinden, werd 2 dagen achter elkaar tot 35% gruis-koek ds behaald bij een reductie in PE-gebruik van 20%.

6.6 PRAKTIJKPROEVEN ZUTPHEN

Als laatste is getest met een centrifuge (15 m³/h) bij GMB in Zutphen. Hier werd gruis gedoseerd (30% op ds slib basis) aan de zuigzijde van de slibpomp die het slib richting de centrifuge transporteerde. Ook hier liepen de gruis-koek ds-gehalten enorm uiteen. In de referentie situatie zonder gruis werd 23% koek ds behaald.

Het uiteenlopen van de ontwateringsresultaten werd in deze situatie veroorzaakt door een slechte menging van de slibbuffer. Hierdoor varieerde het ingaande slib ds-gehalte tussen de 2% en 5% aan de hand van slibvrachten die op dat moment gelost werden. Het was daarom zeer uitdagend om een juiste gruisdosering te bereiken. Over de periode van 2 dagen waarin getest is, liepen gruis-koek ds-gehalten uiteen van 25% tot 36% bij een gelijk gehouden PE-dosering. Aan het eind van de tweede dag testen is daarom besloten om te stoppen met de proeven en eerst een betere menging van de slibbuffers te bewerkstelligen, voordat nieuwe gruisproeven uitgevoerd worden.

Hoewel de ontwateringsresultaten sterk uiteenliepen, is wel geconcludeerd aan de hand van de 36% ds die eenmalig bereikt is, dat gruisontwatering op deze locatie zeker interessant is. Dit, omdat dermate hoge ontwateringsresultaten nooit eerder bereikt zijn op de locatie.

6.7 SAMENVATTING PRAKTIJKPROEVEN

In Tabel 8 en Tabel 9 staan samengevat de gegevens van de praktijkproeven die uitgevoerd zijn met gruisontwatering. In Tabel 7 worden de resultaten weergegeven op basis van de behaalde drogestofgehalten en de bijbehorende verandering in coagulant- en flocculantdosering. Een belangrijk voordeel van gruisontwatering is dat er minder water naar de eindverwerker gaat door verbeterde mechanische ontwatering. Om deze reden worden de ontwateringsresultaten van de praktijkproeven nogmaals weergegeven in Tabel 9 op basis van de veranderde watergehalten in het slib.

TABEL 8 OVERZICHT LOCATIES, APPARATUUR EN DS-RESULTATEN PRAKTIJKTESTEN GRUISONTWATERING

Locatie	Apparatuur	Ontwatering	Ontwatering	Gruisdosering	FeCl ₃ -dosering		PE-dosering	
		Referentie ds	Met gruis ds	Gw.% op slib ds	Ref g/kg ds	Gruis g/kg ds	Ref g/kg ds	Gruis g/kg ds
Garmerwolde	Kamerfilterpers	26%	29 – 36%	33%	65	45	6	5
Heerenveen	Kamerfilterpers	22%	35 – 38%	30%	70	70	7	6
Den Helder	Zeeffbandpers	19%	23%	15%	-	-	20	8
Alkmaar	Centrifuge	23%	35%	25%	-	-		18
Zutphen	Centrifuge	23%	25 – 36%	30%	-	-		12,5

TABEL 9

OVERZICHT LOCATIES, APPARATUUR EN WATERGEHALTES PRAKTIJKTESTEN GRUISONTWATERING

Locatie	Apparatuur	Watergehalte Referentie (kg/kg ds slib)	Watergehalte Met gruis (kg/kg ds slib)	Gruisdosering Gw.% op slib ds
Garmerwolde	Kamerfilterpers	2,85	2,36 – 3,26	33%
Heerenveen	Kamerfilterpers	3,55	2,12 – 2,41	30%
Den Helder	Zeebandpers	4,26	3,85	15%
Alkmaar	Centrifuge	3,35	2,32	25%
Zutphen	Centrifuge	3,35	2,31 – 3,90	30%

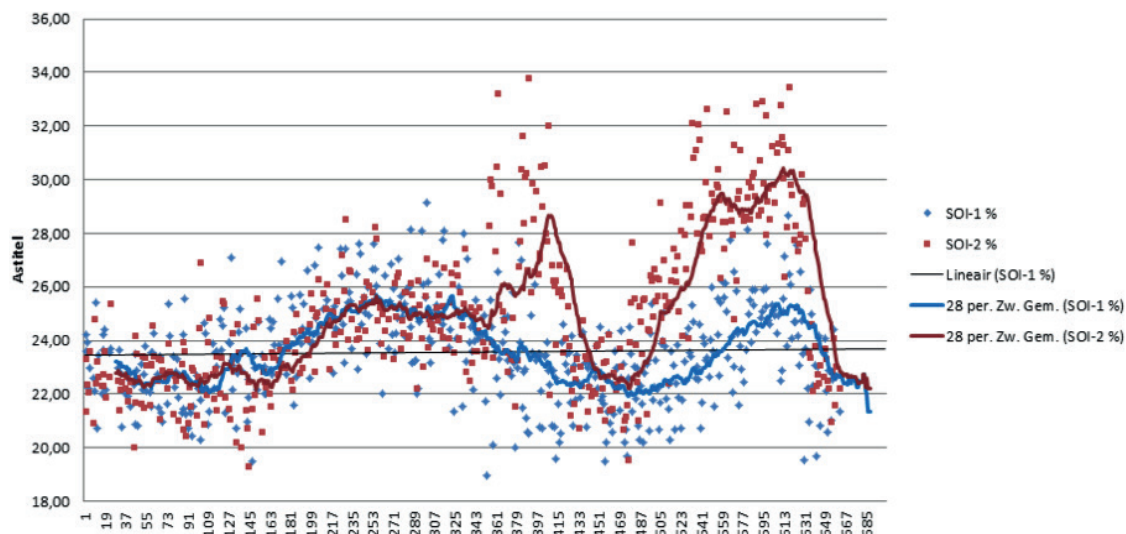
Uit de resultaten van de praktijkproeven valt op te maken dat in alle gevallen verbeterde drogestofgehaltes behaald zijn met gruisontwatering (Tabel 8). De spreiding in de behaalde drogestofgehaltes en de bijbehorende watergehaltes zijn het grootst voor de praktijktesten in Garmerwolde en Zutphen. In beide gevallen is deze spreiding terug te leiden naar variaties bij het innemen van gruis, of variaties in drogestofgehaltes van het ingaande slib. De hogere drogestofgehaltes (en daarmee lagere watergehaltes) zijn een indicatie wat er te behalen valt wanneer de slibsamenstelling stabiel is en de gruis inneming goed verloopt.

Naast verbeterde ontwateringsresultaten en lagere watergehaltes is tijdens de praktijkproeven ook aangetoond dat de dosering van coagulant en flocculant verminderd kan worden door de toevoeging van kolen als gruishulpstof. Tijdens de praktijkproeven in Den Helder kon de PE-dosering gereduceerd worden van 20 naar 8 g/kg ds slib bij een gruisdosering van 15% waarbij tevens een verbeterd ontwateringsresultaat is behaald.

6.8 DUURPROEF HEERENVEEN

In januari 2015 is een langdurige proef gestart met gruisontwatering op de slibontwatering van Wetterskip Fryslan in Heerenveen. Hierbij werd van kolengruis (60% ds) met behulp van tankwagens in een staande ongeroerde silo gebracht. Vanuit de silo werd het kolengruis in-line gedoseerd op 2 van de 4 aanwezige kamerfilterpersen. Dit, voordat FeCl₃ en PE werden toegevoegd. Figuur 34 geeft de ontwateringsresultaten van de slibontwateringsinstallatie in Heerenveen voor de periode december 2013 tot december 2015.

FIGUUR 34 ONTWATERINGSRESULTATEN SLIBONTWATERINGSINSTALLATIE HEERENVEEN



In de figuur wordt onderscheid gemaakt tussen SOI-1 en SOI-2. Dit zijn de twee gebouwen waarin beide 2 kamerfilterpersen staan. Te zien in de figuur is dat SOI-2 in bepaalde periodes significant hogere koek ds gehalten heeft geproduceerd. In deze periodes is kolengruis gedoseerd. Er is in 2015 echter niet elke maand kolengruis gedoseerd. Ook is er van maand tot maand gevarieerd in de kolengruis dosering.

Het doel van de langdurige proef in Heerenveen was in eerste instantie om aan te tonen dat gruisontwatering operationeel haalbaar is. Hierbij is gekeken naar transport, opslag en dosering.

Voor wat betreft transport kan geconcludeerd worden dat kolengruis in vloeibare vorm getransporteerd kan worden in tankwagens. Een transport kan hierbij ongeveer 30 m³ aan kolengruis met een ds gehalte van 60% vervoeren. Met de aanwezige pomp op de tankwagen en een wormpomp op locatie, kan het gruis in een tank gebracht worden. Om uitzakking en segregatie van de gruis deeltjes te voorkomen, dient de tank een langzaam draaiend roerwerk te bevatten. Vanuit de geroerde tank kan het gruis gedoseerd worden aan de te ontwateren slibstroom. Hierbij dient de gruis dosering bij voorkeur plaats te vinden aan de zuigzijde van de slibpompen om zeker te zijn van een goede menging.

De sterk uiteenlopende ontwateringsresultaten in Heerenveen, kunnen toegeschreven worden aan het feit dat slib uit 5 separate buffers naar de filterpersen gepompt wordt. Daarbij worden de buffers overdag gevoed met nieuw slib door verschillende tankwagens. Het slib ds gehalte in de aanvoerleiding van de filterpersen fluctueert dus aanzienlijk. Het constant houden van de gruis dosering op gemiddeld slib debiet resulteerde dus in onderdoseringen, overdoseringen en alles daar tussenin. Op basis hiervan kan geconcludeerd worden dat voor het optimaliseren van de gruis dosering, een zo constant mogelijke slib kwaliteit wenselijk is. Wanneer bijvoorbeeld zoals op Garmerwolde, slib door een gisting geleid wordt met een verblijftijd van meer dan 10 dagen, is het slib ds gehalte dat richting de mechanische ontwateringsstap gaat veel constanter dan in Heerenveen, met als te verachten resultaat dat de ontwateringsresultaten consistenten zijn en hoger liggen.

7

BUSINESS CASES GRUISONTWATERING

7.1 INLEIDING

Op basis van de opgedane kennis en ervaring tijdens de verkenning gruisontwatering kan gesteld worden dat gruisontwatering een verbetering in ontwateringsresultaten kan leveren, en dat hierdoor waterverdamping vermeden kan worden bij de eindverwerker. De invloed van het transporteren van de gruishulpstof, de toevoeging van energie om de gruishulpstof bij te mengen en de voordelen in termen van vermeden waterverdamping en eventuele verhoogde calorische waarden zijn verwerkt in zogenoemde delta-LCAs. Een delta-LCA is anders dan een reguliere levenscyclusanalyse, omdat in een delta-LCA alleen relevante veranderingen ten opzichte van de referentiesituatie worden meegenomen.

Deze delta-LCAs zijn opgesteld met behulp van het gruisontwateringsmodel, welke beschreven is in bijlage 5.

7.2 SAMENVATTING

In Tabel 10 wordt een overzicht weergegeven van de onderzochte business cases voor gruisontwatering. In de tabel zijn de veranderingen in termen van kosten, CO₂-uitstoot en energieverbruik positief uitgedrukt wanneer er bespaard wordt, en negatief wanneer er een toename is.

TABEL 10

OVERZICHT VAN ONDERZOCHE BUSINESS CASES

	Kostenvoordeel	Vermeden CO ₂ -uitstoot	Vermeden energie
ENCI	€ 615.000/jr.	4,3 kton/jaar	10,6 GWh/jaar
Kolencentrale	€ 650.000/jr.	4,4 kton/jaar	10,9 GWh/jaar
SNB	€ -675.000/jr.	-2,3 kton/jaar	-0,8 GWh/jaar
AEB	€ -655.000/jr.	-2,3 kton/jaar	-0,6 GWh/jaar
GMB	€ 820.000/jr.	5,6 kton/jaar	10,2 GWh/jaar

Voor de business cases gelden de volgende algemene aannames:

- Alle business cases zijn gebaseerd op de referentie casus van rwzi Garmerwolde en gaan uit van een rwzi met 13 kton droog slib per jaar (300.000 i.e., waar ook extern slib verwerkt wordt).
- De energievraag van ieder proces ligt vast en is voldoende om al het gruis-slib aan te nemen. De energievraag van alle processen worden door gruisontwatering bij alle processen verlaagd doordat er minder water hoeft te worden verdampt (in alle processen wordt het water dat aanwezig is in het slib verdampt). Daarnaast zal bij de verwerking van het slib in een monoverbrander en in een afvalverbrander de calorische waarde van het gruis niet tot vervanging van fossiele brandstoffen leiden omdat bij deze processen het slib zonder inzet van fossiele brandstoffen wordt verwerkt.
- Er worden geen verdere limiteringen gelegd door eindverwerkers betreffende het gebruik van toeslagstoffen in slib zoals zware metalen en chemicaliën.

- Hierbij wordt aangenomen dat de inzet dus niet leidt tot een verslechtering van de vrijkomende (rest)producten. Uitzondering hierbij is de inzet van slib in een monoverbrander daar de inzet van toeslagen hier wel invloed heeft op de askwaliteit en het hergebruik van fosfaat uit slib negatief beïnvloedt.
- Als referentie wordt genomen dat met mechanische ontwatering met behulp van kamerfilterpersen 25% ds behaald wordt.
- Bij een droge stofgehalte van 25% en 60% organische stof is circa 54% van de energie-inhoud van slib nodig om al het water te verdampen. Deze energie gaat bij iedere verwerking route als warmte verloren daar het water in iedere route verdampt moet worden.
- Bij gruisontwatering met kamerfilterpersen wordt aangenomen dat 36% ds behaald kan worden bij gruisontwatering. Dit getal is aangetoond op praktijk schaal, maar kan naar verwachting hoger uitvallen bij optimalisatie van gruisontwatering gedurende full-scale bedrijf.
- Bij 36% droge stof en 60% organische stof is circa 32% van de energie-inhoud van het slib nodig om het water te verdampen.
- Omdat het in deze studie gaat om de voordelen van gruisontwatering, zijn alleen energiestromen uit de keten meegenomen die meespelen bij de verschillen tussen de huidige keten en de keten met gruisontwatering.

In de volgende paragrafen worden de eindverwerkers en relevante aannames verder toegelicht.

7.3 ENERGIESUBSTITUTIE VOOR FOSSIELE ENERGIE

In de delta-LCA's wordt gewerkt met het begrip 'energiesubstitutie voor fossiele energie'. Omdat het begrip 'energiesubstitutie voor fossiele energie' meerdere interpretaties kan hebben is het van belang om hier een duidelijke definitie van te geven. Centraal in deze definitie staat het gegeven dat slib een drager is van energie en grondstoffen. Hierdoor wordt er door de waterschappen gekeken naar de valorisatie van slib: het herwaarderen van (de economisch waardevolle componenten uit) afvalwater en/of slib (Wiegant, Würdemann, Kamphuis, van der Marel, & Koopmans, 2005). Deze valorisatie wordt opgesplitst in het produceren van energie - bijvoorbeeld de Energiefabriek - en het terugwinnen van grondstoffen - de Grondstoffenfabriek.

Binnen het concept van de Energiefabriek wordt opgeroepen om 'buiten de poort' te kijken en samenwerkingen aan te gaan met private partijen (Wiegant, Knezevic, & Koopmans, Slibketenstudie 2, 2010). Met deze benadering hoopt men de waarde uit het afvalwater - van begin tot eind van de cyclus - maximaal te kunnen benutten. Deze oproep sluit goed aan bij de ketenbenadering die gehanteerd wordt in het project Verkenning Gruisontwatering. Door te kijken naar de volledige keten kan bepaald worden waar de grootste besparingen op kosten, energie en CO₂ behaald kunnen worden.

Binnen dit project wordt daarom de volgende definitie gehanteerd voor 'energiesubstitutie voor fossiele energie':

"De benutting van de calorische waarde uit slib die het gebruik van fossiele brandstoffen reduceert."

Op basis van deze definitie wordt derhalve niet gekeken of de calorische waarde uit slib functioneel toegepast wordt binnen een proces. Er wordt gekeken of deze energie binnen de hele

keten wordt benut voor het vervangen van fossiele brandstoffen. Een waterschap kan bijvoorbeeld een anaerobe gisting bedrijven en met behulp van het geproduceerde biogas hun eigen elektriciteit en warmte produceren in WKK's. Echter, tijdens de anaerobe gisting wordt een deel van de aanwezige biomassa ook omgezet in CO₂ waardoor energie verloren gaat. Daarnaast kan niet te allen tijde de geproduceerde warmte op de zuivering of in de omgeving gebruikt worden. In dit rapport wordt daarom ook gesproken van 'energiesubstitutie voor fossiele energie gisting', omdat verderop in de keten dezelfde hoeveelheid biomassa - zonder de omzetting naar biogas - meer energie kan leveren.

7.4 BUSINESS CASE SLIBVERWERKING CEMENTOVEN

Slib van de Noordelijke Waterschappen, Noorderzijlvest, Wetterskip Fryslân en Velt en Vecht wordt ten tijde van schrijven, net als een deel van het slib van Waterschapsbedrijf Limburg, na mechanische ontwatering gedroogd tot ongeveer 92% DS en bijgestookt in de cementoven van de ENCI in Maastricht. Hierbij ging het in het jaar 2009 om 69 kton droge stof slib. De verbrandingsenergie van het slib wordt hierbij nuttig ingezet ter vervanging van fossiele brandstoffen en de verbrandings-as wordt gebruikt in de producten van de cementoven.

Voor het droogproces is gekozen om de trommeldroger van SC Technology als uitgangspunt te nemen. Dit proces staat beschreven in bijlage 7.

7.4.1 UITGANGSPUNTEN

- De energievraag van de cement oven ligt vast en is voldoende om al het gruis en slib aan te nemen.
- De cementoven legt geen verdere limiteringen op voor wat betreft het gebruik van toeslagstoffen in slib.
- De referentiesituatie voor SC Technology mét gruisontwatering gaat ervan uit dat de slibkoek een DS percentage heeft van 36% en dat de huidige apparatuur toereikend is voor het drogen van het slib.
- De referentiesituatie voor de ENCI met gruisontwatering gaat ervan uit dat steenkool 1 op 1 vervangen wordt door kolengruis en/of slib op basis van calorische waarde.
- Omdat het in deze studie gaat om het verschil tussen de keten met en zonder gruisontwatering, zijn alleen energiestromen uit de keten meegenomen die meespelen bij verschillen tussen de huidige keten en de keten met gruisontwatering. Zo zijn bij droging en eindverwerking alleen de verbrandingswaarden en verdampingsenergie van de producten meegenomen en is niet gekeken naar elektriciteitsverbruik. Dit, omdat aangenomen wordt dat het elektriciteitsverbruik constant blijft bij toepassing van gruisontwatering.
- ENCI is bereid 50% van de inkoopprijs van kolengruis te betalen bij gruiskoek verwerking in een cementfabriek.
- Er wordt 30% kolengruis gedoseerd op DS slib basis.

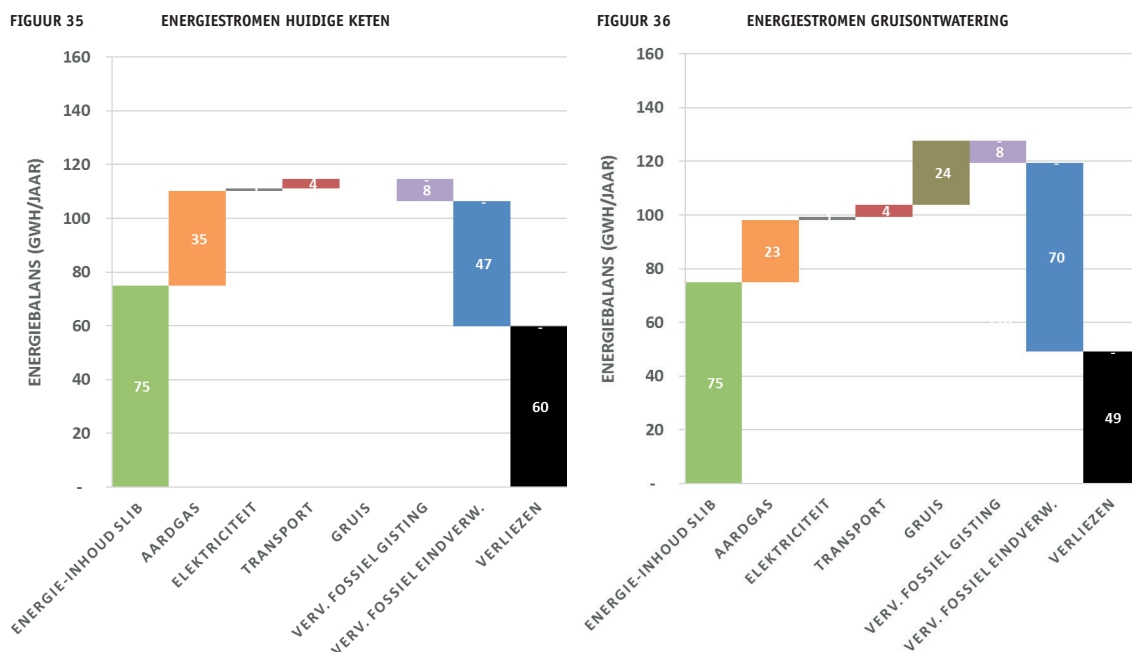
7.4.2 RESULTATEN GRUISONTWATERINGSMODEL

Omdat de ENCI gebruik maakt van de calorische waarde van slib en andere brandstoffen om warmte te genereren voor haar processen, zal wanneer gruisontwatering wordt toegepast, gekozen worden voor een vorm van gruis met calorische waarde. Om deze reden is voor het modelleren van de ENCI keten gekozen voor kolen als gruis-hulpstof.

Het toepassen van gruisontwatering heeft in de ENCI-keten op meerdere manieren een positieve invloed op de slibverwerking:

1. Er hoeft minder water verdampt te worden bij de droging door SC Technology;
2. De waarde van het droge gruis-slib is uiteindelijk hoger;
3. Het kolengruis vervangt steenkool in de cementoven, waardoor minder steenkool ingekocht hoeft te worden.

De energiestromen van de ENCI-keten voor de huidige situatie en de situatie met gruisontwatering worden weergegeven in Figuur 35 en Figuur 36.



De figuren zijn weergegeven in zogeheten ‘watervalldiagrammen’. Hierin wordt van links naar rechts een totaal (in dit geval energie) opgebouwd met de ingaande stromen en vervolgens weer afgebouwd met de uitgaande stromen. De positieve waarden (balken omhoog vanaf ‘energie-inhoud slib’) in Figuur 33 en Figuur 34 tonen energiestromen die de slibketen binnenkomen en de negatieve waarden (balken naar beneden vanaf ‘energiesubstitutie voor fossiele energie gisting’) in de figuren tonen energiestromen die de slibketen uitgaan.

7.4.2.1 ENERGIE DE KETEN IN

Allereerst komt slib de keten binnen. Dit slib heeft een verbrandingswaarde en komt dus als positieve energiestroom de keten binnen. De oranje balk in Figuur 35 en Figuur 36 is de energie uit aardgas die de keten binnenkomt. Het aardgas wordt ingezet om mechanisch ontwaterde slibkoek te drogen tot 92% droge stof. Hier is een duidelijk verschil te zien tussen de huidige keten en de keten met gruisontwatering. Bij gruisontwatering is de hoeveelheid water in de slibkoek minder, waardoor minder aardgas nodig is voor waterverdamping.

Het elektriciteitsverbruik neemt marginaal toe. De toename in transportenergie heeft te maken met het feit dat het gruis aandeel (30% op DS slib basis) getransporteerd moet worden naar de rwzi en vervolgens in het gedroogde materiaal moet worden vervoerd naar de ENCI.

De laatste ingaande energiestroom is die van het gruis. Alle energiewaarden die de keten in gaan worden weergegeven in Tabel 11.

TABEL 11

ENERGIESTROMEN DE KETEN IN VOOR DE ENCI ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
Energie inhoud slib	74,9	74,9	0
Aardgas	35,2	23,1	-12,1
Elektriciteit	1,0	1,3	0,3
Transport	3,6	4,4	0,8
Calorische waarde gruis	0	24,0	24,0
Totaal	114,7	127,8	13,0

7.4.2.2 ENERGIE DE KETEN UIT

Bij de ENCI wordt de verbrandingsenergie van het slib nuttig ingezet voor cementproductie. Hierbij vervangt het organisch deel van de slibkoek 1 op 1 steenkool. Dit is weergegeven in de blauwe balk in Figuur 35 en Figuur 36. Daarnaast wordt de opgewekte energie in de WKK's van de gisting ingezet voor nuttige warmte- en stroomproductie op de RWZI. De rest van de ingaande energie verlaat de keten in de vorm van warmteverlies. Alle energiewaarden die de keten uitgaan worden weergegeven in Tabel 12.

TABEL 12

ENERGIESTROMEN DE KETEN UIT VOOR DE ENCI ROUTE

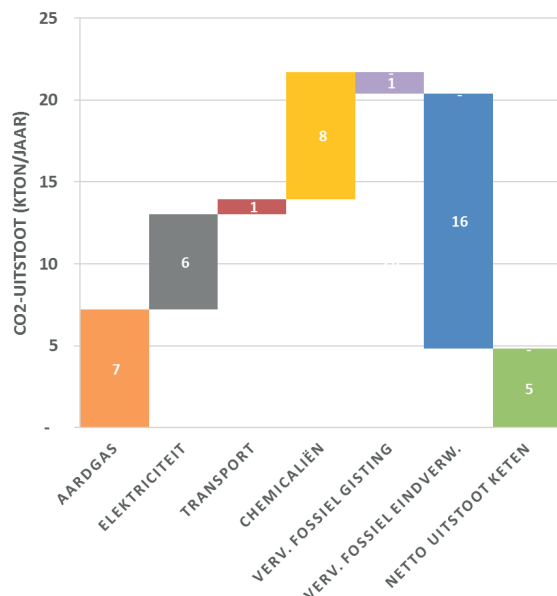
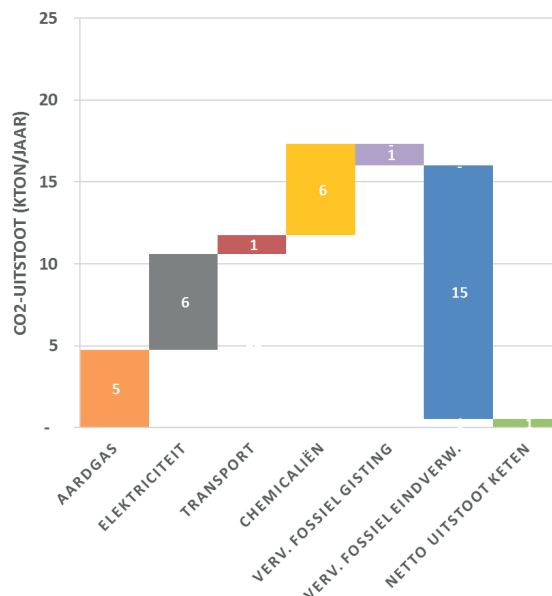
	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-8,2	-8,2	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-46,6	-70,3	23,7
Verliezen	-59,9	-49,2	-10,9
Totaal	-114,7	-127,8	12,2

7.4.2.3 CO₂ DELTA LCA'S

De CO₂-uitstoot in de ENCI-keten wordt weergegeven in Figuur 37 en Figuur 38. De eerste balk in de figuren geeft de CO₂-uitstoot van het aardgas weer dat ingezet wordt om water uit de slibkoek te verdampen. De uitstoot van CO₂ voor elektriciteitsgebruik en transport in de slibketen neemt niet noemenswaardig af. De CO₂-uitstoot gepaard gaande met het gebruik van chemicaliën echter wel. Dit heeft voornamelijk te maken met het feit dat bij gruisontwatering minder coagulant (FeCl₃) gedoseerd hoeft te worden bij mechanische ontwatering (40 tegenover 65 g/kg ds slib).

Omdat een deel van de energie uit het gistingsgas nuttig wordt ingezet om energieverbruik op rwzi Garmerwolde te reduceren, brengt dit een verlaging van de CO₂-uitstoot met zich mee zoals weergegeven in Figuur 37 en Figuur 38. Omdat de calorische waarde van het gedroogde slib wordt ingezet om kolen te vervangen bij de ENCI, wordt ook hiermee een CO₂-reductie bereikt in de slibketen. Omdat de slib hoeveelheid bij gruisontwatering gelijk blijft, is de CO₂-reductie uit slibverbranding gelijk in beide figuren.

De sluitpost in Figuur 37 en Figuur 38 geeft de netto CO₂-uitstoot van de slibketen weer. Het valt hier duidelijk uit af te leiden dat de slibketen bij gruisontwatering een lagere netto CO₂-uitstoot heeft (zie ook Tabel 13).

FIGUUR 37 CO₂-UITSTOOT HUIDIGE KETENFIGUUR 38 CO₂-UITSTOOT GRUISONTWATERINGTABEL 13 CO₂-STROMEN ENCI KETEN

	Huidig (kton/jaar)	Gruis (kton/jaar)	Vershil (kton/jaar)
Aardgas	7,2	4,7	-2,5
Elektriciteit	5,8	5,9	0,1
Transport	0,9	1,2	0,3
Chemicaliën	7,8	5,6	-2,2
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-1,3	-1,3	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-15,6	-15,5	0,1
Netto uitstoot keten	4,8	0,5	-4,3

7.4.3 CONCLUSIE

De data uit bovenstaande onderdelen is samengevat in Tabel 14. Uit de tabel is op te maken dat er in de keten minder energie wordt verbruikt, te zien aan een negatief energieverlies. Deze vermindering in energieverlies in de keten is gepaard met een reductie op de CO₂-uitstoot en leidt tevens tot een kostenbesparing. Dit valt terug te leiden tot het feit dat bij gruisontwatering significant minder water verdampt hoeft te worden bij de droogstap.

TABEL 14 BESPARINGEN ENCI DELTA-LCA KETEN

Energieverlies keten	-10,6	GWh/jaar
Kosten	-615.000	Euro/jaar
CO ₂	-4,3	kton/jaar

7.5 BUSINESS CASE BIJSTOKEN KOLENCENTRALE

Er is in Nederland nog geen situatie waar slib bijgestookt wordt in een kolencentrale. Wanneer er in de toekomst regelgeving wordt ingevoerd die energiecentrales een bijstookverplichting of een bijstookstimulans geeft om biomassa bij te stoken, kan slib een interessante optie zijn in aanvulling op de huidige gebruikte biomassastromen. In dit geval dient het bijgestookte slib een zo hoog mogelijke calorische waarde te hebben, omdat de huidige kolencentrales zijn uitgelegd op het stoken van relatief hoogcalorische (poeder) kolen. Dit betekent dat wanneer slib-bijstook wordt overwogen, het de voorkeur geniet

om slib eerst thermisch te drogen zoals op het moment gebeurt in de ENCI-route door SC Technology.

Er is daarom gekozen om de droger van SC Technology te Garmerwolde te gebruiken als uitgangspunt voor het droogproces. Dit proces staat beschreven in bijlage 7.

7.5.1 UITGANGSPUNTEN

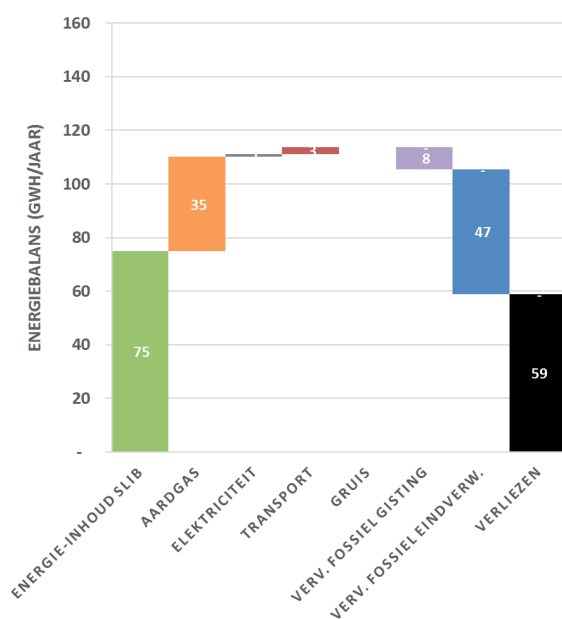
- Slib kan na droging (91% ds) direct bijgestookt worden met (poeder)kolen.
- Hierbij vervangt organisch slib 1 op 1 de calorische waarde van steenkool.
- De energievraag van de energiecentrale ligt vast en is voldoende om al het gruis en slib aan te nemen.
- De energiecentrale legt geen verdere limiteringen op voor wat betreft het gebruik van toeslagstoffen in slib.

7.5.2 RESULTATEN GRUISONTWATERINGSMODEL

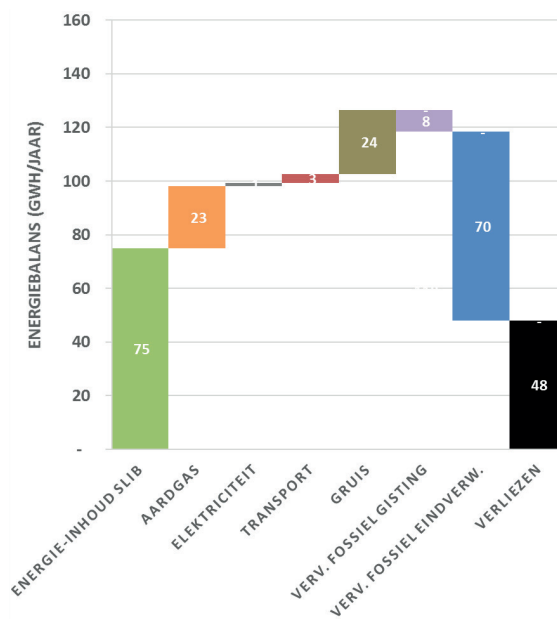
Omdat een energiecentrale gebruik maakt van de calorische waarde van slib, zal wanneer gruisontwatering wordt toegepast, gekozen worden voor een vorm van gruis met calorische waarde. Om deze reden is voor het modelleren van de energiecentrale keten gekozen voor kolen als gruis-hulpstof. Als energiecentrale is de Amercentrale van RWE-Essent gebruikt als referentiescenario.

De energiestromen van de energiecentrale keten voor de huidige situatie en de situatie met gruisontwatering worden weergegeven in Figuur 39 en Figuur 40.

FIGUUR 39 ENERGIESTROMEN HUIDIGE KETEN



FIGUUR 40 ENERGIESTROMEN GRUISONTWATERING



De positieve waarden (balken omhoog) in Figuur 39 en Figuur 40 zijn energiestromen die de keten binnenkomen en de negatieve waarden (balken omlaag) zijn energiestromen die de keten uitgaan. De huidige keten is in dit geval een hypothetische keten, omdat tot nog toe geen slib wordt bijgestookt in Nederlandse energiecentrales. Het model van deze studie geeft daarom aan wat het verschil is tussen het mogelijk bijstoken van slib en het mogelijk bijstoken van gruis-slib.

7.5.2.1 ENERGIE DE KETEN IN

Allereerst komt slib de keten binnen. Dit slib heeft een verbrandingswaarde en komt dus als positieve energiestroom de keten binnen. De oranje balk in Figuur 39 en Figuur 40 is de energie uit aardgas die de keten binnenkomt bij de thermische droogstap. Hier is een duidelijk verschil te zien tussen de huidige keten en de keten met gruisontwatering. Bij gruisontwatering is de hoeveelheid water in de slibkoek minder, waardoor minder aardgas nodig is voor waterverdamping. Er is meer elektriciteit nodig bij gruisontwatering doordat het gruis moet worden ingemengd in het slib. De transportenergie neemt bij de energiecentrale route toe, omdat het grootste gedeelte van het transport plaats vindt met gedroogd slib. Door de droge stof toevoeging van het gruis moet meer droge stof naar de Amercentrale gebracht worden. Het chemicaliëngebruik neemt duidelijk af bij gruisontwatering, omdat minder ijzerchloride nodig is voor ontwatering. De laatste ingaande energiestroom is die van het gruis. Alle energiewaarden die de keten in gaan worden weergegeven in Tabel 15.

TABEL 15 ENERGIE DE KETEN IN VOOR DE ENERGIECENTRALE ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
Energie inhoud slib	74,9	74,9	0,0
Aardgas	35,2	23,1	-12,1
Elektriciteit	1,0	1,3	0,3
Transport	2,6	3,2	0,6
Calorische waarde gruis	0	24,0	24,0
Totaal	113,7	126,6	12,8

7.5.2.2 ENERGIE DE KETEN UIT

Bij de Amercentrale wordt de verbrandingsenergie van het slib nuttig ingezet voor energieproductie. Hierbij vervangt organisch slib 1 op 1 steenkool. Dit is weergegeven in de blauwe balk in Figuur 39 en Figuur 40. Daarnaast wordt de opgewekte energie in de vergisting ingezet voor nuttige warmte- en stroomproductie op de rwzi. De rest van de ingaande energie verlaat de keten in de vorm van warmteverlies. Alle energiewaarden die de keten uitgaan worden weergegeven in Tabel 16.

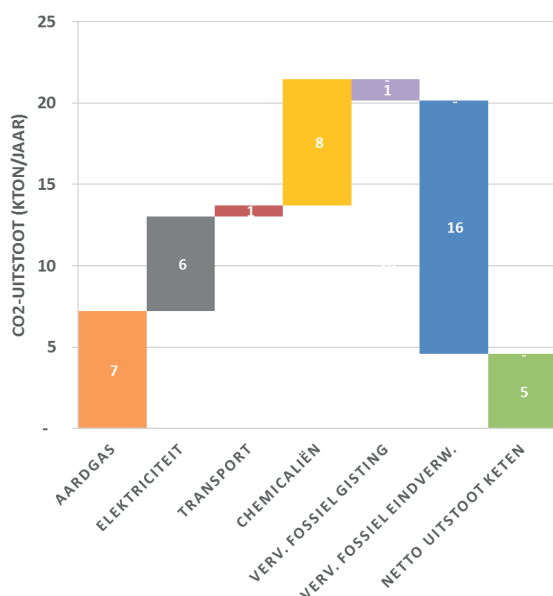
TABEL 16 ENERGIE DE KETEN UIT VOOR DE ENERGIECENTRALE ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-8,2	-8,2	0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-46,6	-70,3	23,7
Verliezen	-58,9	-48,0	-10,9
Totaal	-113,7	-126,6	12,8

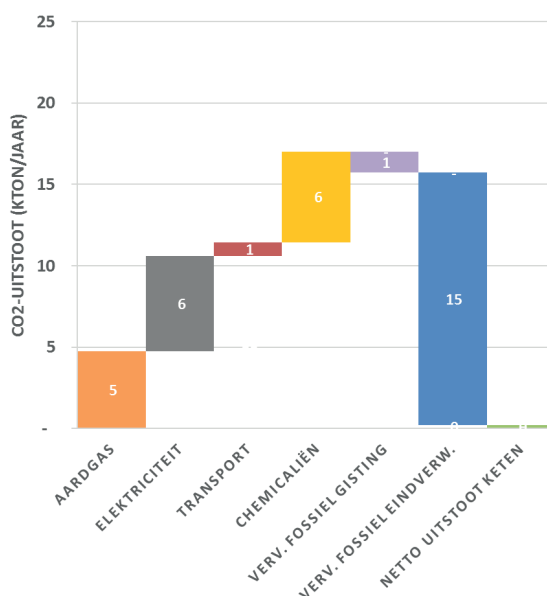
7.5.2.3 CO₂ DELTA LCA'S

De CO₂-uitstoot in de energiecentrale-keten wordt weergegeven in Figuur 41 en Figuur 42.

FIGUUR 41 CO₂-UITSTOOT HUIDIGE KETEN



FIGUUR 42 CO₂-UITSTOOT GRUISONTWATERING



Te zien is in de vergelijkende figuur dat CO₂-uitstoot gepaard met aardgasverbruik omlaag gaat bij gruisontwatering, terwijl CO₂-uitstoot gepaard met transport iets omhoog gaat. Dit laatste heeft te maken met het feit dat er door de gruis toevoeging een grotere massa aan gedroogd slib getransporteerd moet worden van Garmerwolde naar de Amercentrale. Wel is duidelijk te zien dat de netto uitstoot van de slibketen omlaag gaat. Data over de CO₂-uitstoot staat vermeld in Tabel 17.

TABEL 17 CO₂-STROMEN ENERGIECENTRALE KETEN

	Huidig (kton/jaar)	Gruis (kton/jaar)	Vershil (kton/jaar)
Aardgas	7,2	4,7	-2,5
Elektriciteit	5,8	5,9	0,1
Transport	0,7	0,8	0,1
Chemicaliën	7,8	5,6	-2,2
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-1,3	-1,3	0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-15,6	-15,5	0,1
Netto uitstoot keten	4,6	0,2	-4,4

7.5.3 CONCLUSIE

De data uit bovenstaande onderdelen is samengevat in Tabel 18. Er valt af te leiden uit de tabel dat gruisontwatering voor de situatie Garmerwolde - SCT - Amercentrale een kostenvoordeel van 520.000 Euro per jaar oplevert. Dit is aanzienlijk hoger dan het kostenvoordeel van de ENCI route (370.000 Euro/jaar). Dit verschil komt enerzijds doordat de transportafstand van Garmerwolde naar de Amercentrale kleiner is dan die van Garmerwolde naar de ENCI. Hierdoor weegt het additionele slibtransport van het gruis aandeel minder zwaar. Anderzijds wordt er in deze business case vanuit gegaan dat RWE-Essent de inkoopsprijs van de kolen geheel betaald. Bij de ENCI-case was dit slechts 50%.

TABEL 18

BESPARINGEN ENERGIECENTRALE DELTA-LCA KETEN

Energieverlies keten	-10,9	GWh/jaar
Kosten	-650.000	Euro/jaar
CO ₂	-4,4	kton/jaar

7.6 BUSINESS CASE SNB

Mechanisch ontwaterd slib uit verschillende rwzi's (Stichtse Rijnlanden, Rivierenland, Brabantse Delta, De Dommel, Aa en Maas, Scheldstroom, Vechtstroom en Waterschapsbedrijf Limburg) wordt via wegtransport naar de SNB in Moerdijk gebracht. In de huidige situatie verwerkt SNB jaarlijks 450.000 ton slib. Dit is bijna 30% van het totale slibaanbod in Nederland. Het slib heeft een gemiddeld drogestofgehalte van 23% (SNB, 2011). De energie-inhoud uit het slib wordt ingezet via mono-verbranding om water te verdampen en energie op te wekken voor de eigen processen. Het proces van SNB is ingericht om zoveel mogelijk zouten, fosfaat en CO₂ terug te winnen uit slib met slib als energie input voor stoom- en elektriciteitsproductie.

7.6.1 UITGANGSPUNTEN

- Bij SNB beschikt over een monoverbrander waarin het slib autarkisch wordt verwerkt (door het gebruik van de energie in de slibkoek is er tijdens regulier bedrijf geen inzet van fossiele brandstof nodig).
- Bij SNB wordt het slib voor gedroogd met stoom die is opwekt met de energie van de slibkoek. Indien het slib door gruisontwatering droger wordt aangeleverd betekent dat, dat SNB meer stoom onderhoud. De huidige turbine zou daardoor volledig belast worden waardoor er minder elektriciteit hoeft te worden ingekocht. Indien de capaciteit van de turbine niet voldoende is om de surplus aan stoom te verwerken zal er stoom overblijven waarvoor een nieuwe bestemming moet worden gezocht.
- SNB levert tot 2016 geen netto elektriciteit op het netwerk. Vanaf 2017 zal SNB netto elektriciteit gaan leveren door de realisatie van een extra turbine in het vierde kwartaal van 2016. Deze periode na 2016 is niet beschouwd.
- SNB wil de inzet van fossiele brandstof minimaliseren om de uitstoot van langcyclische emissie van CO₂ te beperken. De inzet van gruis met een fossiele oorsprong is daarom ongewenst.
- SNB gebruikt enkel tijdens de opstartfase fossiele brandstof (aardgas).
 - Indien door gruisontwatering minder water wordt aangeleverd betekent dit dat tijdens de opstart minder aardgas benodigd is.
 - Indien gruisontwatering door kolen plaats vindt kan tijdens de opstart ook het aardgas niet door de kolen worden vervangen omdat juridisch pas slib mag worden verbrand indien de oven op 850°C is gebracht.
 - Opstarten van de installatie vindt echter beperkt plaats per jaar
- De installatie van SNB is beperkt tot circa 480.000 ton slibkoek en is gelimiteerd door de thermische capaciteit van de ketels. Er is momenteel geen overcapaciteit. Het verwerken van slib waarvan het droge stof een hogere calorische waarde heeft zal er daarom toe leiden dat er in totaal minder slibkoek kan worden verwerkt. Het toevoegen van gruis met een calorische waarde leidt dus tot een verlaging van de capaciteit van de installatie (in ton slibkoek/jaar) en is daarom op het ogenblik niet wenselijk.
- De SNB levert geen warmte aan de omgeving.
- De mogelijkheden voor fosfaatterugwinning zijn voor de SNB een prioriteit. Het verhogen van de ashoeveelheid door gruisontwatering en de verlaging van het fosfaatgehalte in het as die daar een gevolg van is, is niet gewenst..

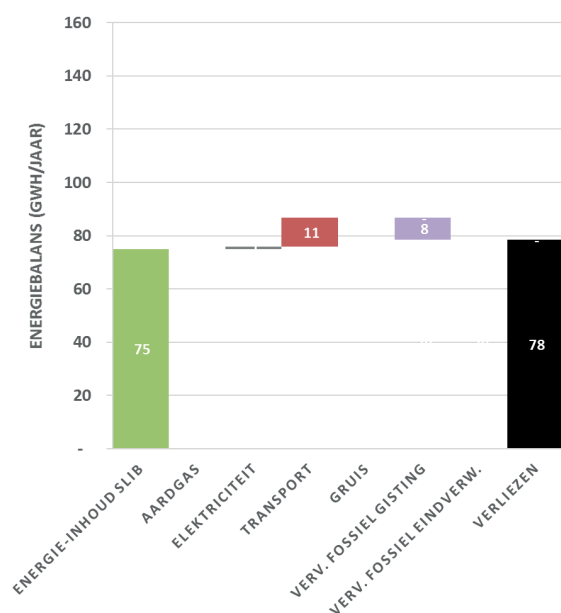
- SNB vangt 0,64 ton CO₂ per ton organisch ds slib af.
- Het transporteren van slibas naar rwzi's kan met dezelfde vrachtwagens die nu het slib naar de SNB vervoeren.

7.6.2 RESULTATEN GRUISONTWATERINGSMODEL

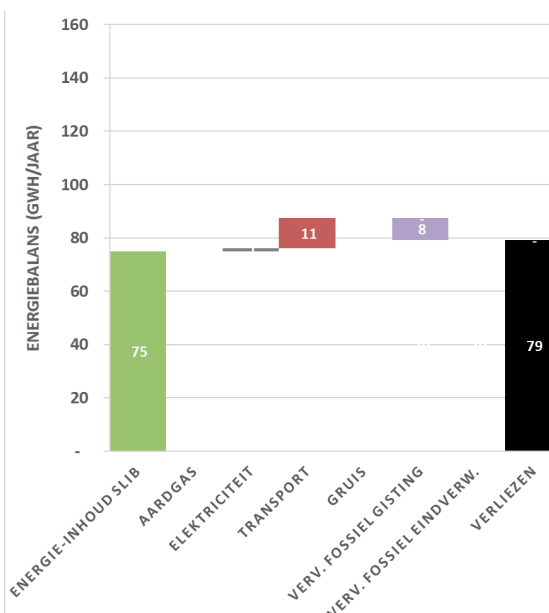
Bij de business case voor gruisontwatering in de SNB-route is gekeken naar het toevoegen van slibas als gruis. De toepasbaarheid voor gruisontwatering is bij verwerking door de SNB gelimiteerd tot as. De toevoeging van fossiel gruis is conform de beschreven uitgangspunten niet gewenst. Het toevoegen van kolengruis of bruinkool is daarmee uitgesloten. Ook het toevoegen van biomaterialen zoals koffieresten of houtsnippers is ongunstig door de extra stookwaarde die deze stoffen met zich meebrengen. Het gebruiken van slibas als gruis is wel een mogelijkheid omdat hiermee de fosfaatconcentratie gelijk blijft en de stookwaarde niet stijgt.

De energiestromen van de SNB-keten voor de huidige situatie en de situatie met gruisontwatering worden weergegeven in Figuur 43 en Figuur 44.

FIGUUR 43 ENERGIESTROMEN HUIDIGE KETEN



FIGUUR 44 ENERGIESTROMEN GRUISONTWATERING



De positieve waarden (balken omhoog) in Figuur 43 en Figuur 44 zijn energiestromen die de keten binnenkomen en de negatieve waarden (balken omlaag) zijn energiestromen die de keten uitgaan.

7.6.2.1 ENERGIE DE KETEN IN

Allereerst komt slib de keten binnen. Dit slib heeft een verbrandingswaarde en komt dus als positieve energiestroom de keten binnen. De daaropvolgende balk in Figuur 43 en Figuur 44 is de energie die nodig is om het water die in de koek zit te verdampen. Omdat er bij SNB energie uit slib gebruikt wordt om het water te verdampen, komt voor deze stap geen energie de keten binnen. Er is meer elektriciteit nodig bij gruisontwatering doordat het gruis moet worden ingemengd in het slib. De transportenergie neemt bij gruisontwatering toe, doordat het totale koekgewicht omhoog gaat. Hoewel er minder water in de slibkoek zit, zorgt de toegevoegde hoeveelheid slibas voor een gewichtstoename. Ook neemt het gebruik van

chemicaliën toe, omdat meer coagulant en flocculant nodig is voor ontwatering. De laatste ingaande energiestroom is die van het gruis. Deze is voor de SNB-keten nul, omdat vliegashout uit slibverbranding wordt toegevoegd. Slibas heeft geen calorische waarde. Alle energiewaarden die de keten in gaan worden weergegeven in Tabel 19.

TABEL 19 ENERGIESTROMEN DE KETEN IN VOOR DE SNB ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
Energie inhoud slib	74,9	74,9	0,0
Aardgas	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	1,0	1,3	0,3
Transport	10,8	11,3	0,5
Calorische waarde gruis	0,0	0,0	0,0
Totaal	86,7	87,5	0,8

7.6.2.2 ENERGIE DE KETEN UIT

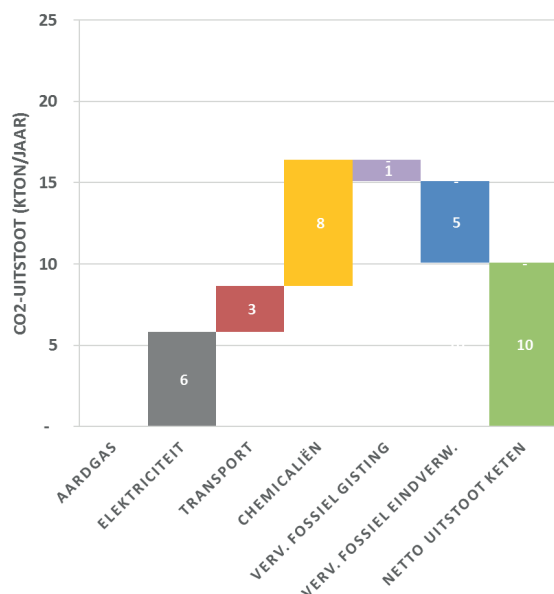
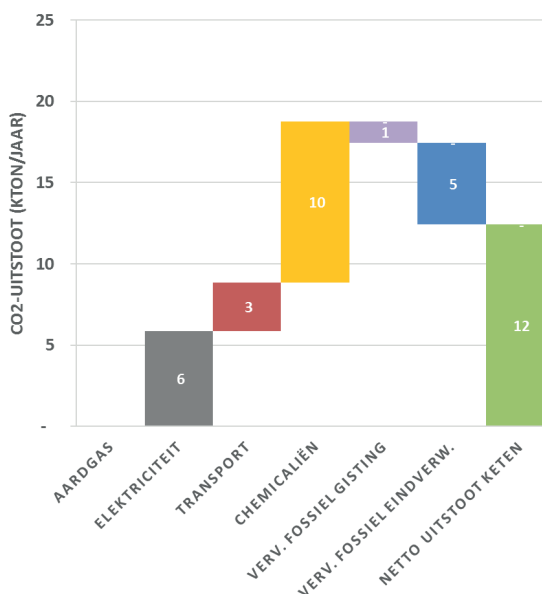
Bij SNB wordt de verbrandingsenergie van het slib gebruikt om het slib zonder inzet van fossiele brandstoffen te verwerken. Doordat er geen fossiele brandstoffen worden gebruikt tijdens het reguliere proces wordt er door gruisontwatering bij SNB tijdens regulier bedrijf geen fossiele brandstof vervangen. Tijdens de opstart van de installatie die met aardgas plaatsvindt is dit wel mogelijk. Tijdens het regulier proces zal er bij gruisontwatering minder water te verdampen en blijft er meer stoom over. De huidige turbine zal daardoor beter benut worden waardoor elektriciteit input zal verminderen. Indien de turbine onvoldoende capaciteit heeft om de surplus aan stoom te verwerken zal deze in een nieuw te plaatsen turbine moeten worden omgezet in elektriciteit. In het geval dat deze stoom niet nuttig wordt ingezet verlaat de energie de keten als warmte. De opgewekte energie in de vergisting wordt wel ingezet voor nuttige warmte- en stroomproductie op de rwzi. Alle energiewaarden die de keten uitgaan worden weergegeven in Tabel 20.

TABEL 20 ENERGIESTROMEN DE KETEN UIT VOOR DE SNB ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-8,2	-8,2	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	0,0	0,0	0,0
Verliezen	-78,5	-79,3	0,8
Totaal	-86,7	-87,5	0,8

7.6.2.3 CO₂ DELTA LCA'S

De CO₂-uitstoot in de SNB-keten wordt weergegeven in Figuur 46 en Figuur 46. Wat opvalt in de figuren is dat de CO₂-uitstoot voor chemicaliën gebruik toeneemt. Dit komt doordat meer coagulant en flocculant gebruikt worden bij gruisontwatering met slibas. Verder valt op dat een reductie in CO₂-uitstoot bereikt wordt door het vervangen van fossiele brandstoffen. Dit is opmerkelijk, omdat SNB netto geen energie levert aan derden. De reductie in CO₂-uitstoot komt hier voort uit het feit dat een gedeelte van de hernieuwbare CO₂-uitstoot wordt afgevangen. Er kan echter geconcludeerd worden dat gruisontwatering met behulp van slibas in de SNB-keten, de CO₂-uitstoot verhoogt. Data over de CO₂-uitstoot staat vermeld in Tabel 21.

FIGUUR 45 CO₂-UITSTOOT HUIDIGE KETENFIGUUR 46 CO₂-UITSTOOT GRUISONTWATERINGTABEL 21 CO₂-STROMEN SNB KETEN

	Huidig (kton/jaar)	Gruis (kton/jaar)	Vershil (kton/jaar)
Aardgas	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	5,8	5,9	0,1
Transport	2,8	3,0	0,2
Chemicaliën	7,8	9,9	2,1
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-1,3	-1,3	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-5,0	-5,1	0,1
Netto uitstoot keten	10,1	12,4	2,3

7.6 CONCLUSIE

De data uit bovenstaande onderdelen is samengevat in Tabel 22. De aanzienlijke toename van kosten in de keten is toe te schrijven aan de additionele transport- en verwerkingskosten die de grotere koekmassa met zich mee brengt. Ontwatering met slibas heeft namelijk ook een toename in het gebruik van chemicaliën als gevolg met de daar bijbehorende toename in kosten. Een verbetering in het ontwateringsresultaat leidt wel tot een lagere energiebehoefte voor SNB, wat inhoudt dat er een overschot is aan energie voor SNB. Echter, doordat er geen mogelijkheid is voor SNB om energie te leveren aan de omgeving kan dit voordeel niet benut worden en gaat deze energie verloren. Voor SNB is gruisontwatering daarom geen aantrekkelijke optie.

TABEL 22 OVERZICHT TOTALEN SNB DELTA-LCA KETEN

Energieverlies keten	0,8	GWh/jaar
Kosten	675.000	Euro/jaar
CO ₂	2,3	kton/jaar

7.7 BUSINESS CASE AEB

Dagelijks verwerkt de AEB ongeveer 4000 ton afval en 340 ton slibkoek (25 % ds) van de naastgelegen waterzuivering van Amsterdam. Hiermee wordt 3.600 MWh aan elektriciteit en 172 MWh aan warmte (stadsverwarming) opgewekt.

De AEB verbrandt afval, slib en biogas. Het biogas is afkomstig van de vergisters van de naastgelegen rwzi en wordt verstookt in een gasturbine (WKK). Per uur wordt er ongeveer 1000 m³ biogas verwerkt. Het slib wordt samen met het afval in de afvalovens verbrand. Het transport van slib naar de AEB gaat over de openbare weg (± 1 km).

Het slib wordt op dit moment in de oude ketels via een losse buis met gaten (3-5 cm) in de oven ingebracht, waarbij het op de droogzone in de ketel valt, daarna gaat het slib met het afval mee door de ontstekingszone, verbrandingszone en uitbrandzone. Het slib wordt als een - zeer dikke - vloeistof verpompt en ingebracht. Het inbrengen van slib in de oven is gevoelig voor verstoppingen en daarom wordt het slib in de nieuwe installatie al buiten de oven (in de zogeheten trechter) bij het afval opgebracht. De verwerking van slib is hierdoor duurder dan afvalverwerking, omdat het slib door de 'vloeibare' eigenschappen via buizen opgebracht moet worden en omdat het mee verbranden van slib leidt tot afzettingen op de warmtewisselaars bovenin de oven.

7.7.1 UITGANGSPUNTEN

- Er is geen capaciteit om de extra warmte uit het slib in te zetten. Dit betekent dat of (1) het slib een deel van het afval verdringt met een CO₂-besparing tot gevolg, of (2) de warmte uit het slib met een rendement van 0% wordt ingezet in het proces.
- De verwerking van afval levert de AEB meer geld op dan de verwerking van slib. Dit is het gevolg van de extra apparatuur die nodig is voor de verwerking van slib (silo's, pompen, injectiesystemen), met als gevolg hogere kosten.
- De gate-fee van slib en afval zijn in een vergelijkbare orde van grootte.
- Slib wordt zonder thermische droging bijgestookt.

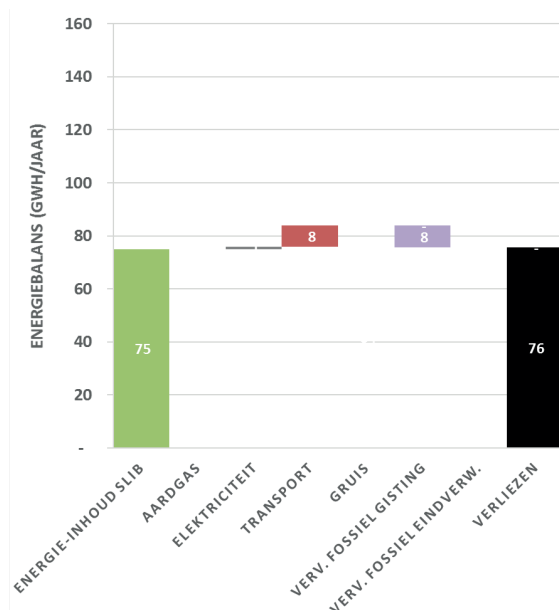
7.7.2 RESULTATEN GRUISONTWATERINGSMODEL

Bij de business case voor gruisontwatering in de AEB-route is gekeken naar het toevoegen van slibas als gruis. De toepasbaarheid voor gruisontwatering is bij verwerking door de AEB gelimiteerd tot as omdat het toegevoegde gruis geen extra verbrandingswarmte op mag leveren door het thermische limiet van de ovens. Het toevoegen van kolengruis of bruinkool is daarmee uitgesloten. Ook het toevoegen van biomaterialen zoals koffieresten of houtsnippers is ongunstig door de extra stookwaarde die deze stoffen met zich meebrengen.

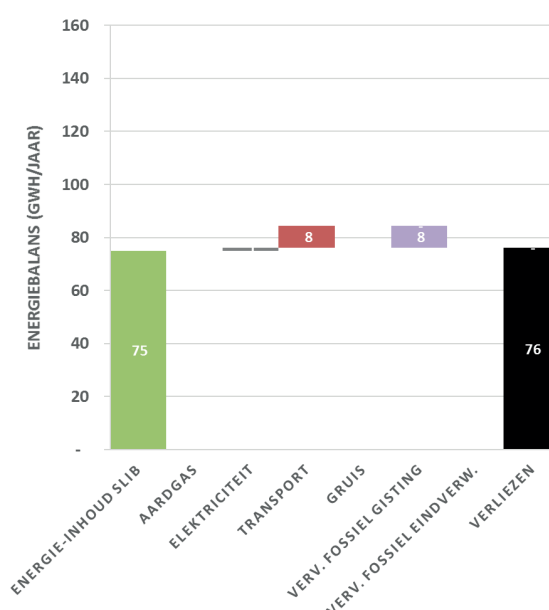
Omdat de AEB de mogelijkheid heeft om verschillende soorten afval te verbranden zou bijvoorbeeld gekozen kunnen worden voor brandstoffen met een lagere calorische waarde om te compenseren voor de hogere stookwaarde van het gruis-slib. Op deze manier kan rekening gehouden worden met de thermische limieten van de installatie en kan slibverbranding toch nuttig worden ingezet voor energie- en warmteproductie in de huidige installatie. Omdat in deze studie gekeken wordt naar voordelen van gruisontwatering in de huidige ketens, is deze optie niet meegenomen in het model.

De energiestromen van de AEB-keten voor de huidige situatie en de situatie met gruisontwatering worden weergegeven in Figuur 47 en Figuur 48.

FIGUUR 47 ENERGIESTROMEN HUIDIGE KETEN



FIGUUR 48 ENERGIESTROMEN MET GRUISONTWATERING



De positieve waarden (balken omhoog) in Figuur 47 en Figuur 48 zijn energiestromen die de keten binnenkomen en de negatieve waarden (balken omlaag) zijn energiestromen die de keten uitgaan.

7.7.2.1 ENERGIE DE KETEN IN

Allereerst komt slib de keten binnen. Dit slib heeft een verbrandingswaarde en komt dus als positieve energiestroom de keten binnen. De daaropvolgende balk in Figuur 47 en Figuur 48 is de energie die nodig is om het water die in de koek zit te verdampen. Omdat er bij de AEB-energie uit slib gebruikt wordt om het water te verdampen, komt voor deze stap geen energie de keten binnen. Er is meer elektriciteit nodig bij gruisontwatering doordat het gruis moet worden ingemengd in het slib. De transportenergie neemt bij gruisontwatering toe, doordat het totale koekgewicht omhoog gaat als gevolg van de toevoeging van slibas. De laatste ingaande energiestroom is die van het gruis. Deze is voor de AEB-keten nul, omdat vliegas uit slibverbranding wordt toegevoegd. De as heeft geen calorische waarde. Alle energiewaarden die de keten in gaan worden weergegeven in Tabel 23.

TABEL 23

ENERGIESTROMEN DE KETEN IN VOOR DE AEB ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
Energie inhoud slib	74,9	74,9	0,0
Aardgas	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	1,0	1,3	0,3
Transport	7,9	8,3	0,4
Calorische waarde gruis	0,0	0,0	0,0
Totaal	83,8	84,5	0,7

7.7.2.2 ENERGIE DE KETEN UIT

Bij de AEB wordt de verbrandingsenergie van het slib niet ingezet voor additionele energieproductie. In de installatie van de AEB wordt wel elektriciteit en warmte geproduceerd die nuttig ingezet wordt, maar de hoeveelheid energie die extern afgezet kan worden is gelimiteerd. Daarom zorgt een reductie in waterverdamping niet voor additionele energielevering aan derden. De opgewekte energie in de vergisting wordt wel ingezet voor nuttige warmte- en

stroomproductie in de WKK's van de AEB. Alle energiewaarden die de keten uitgaan worden weergegeven in Tabel 24.

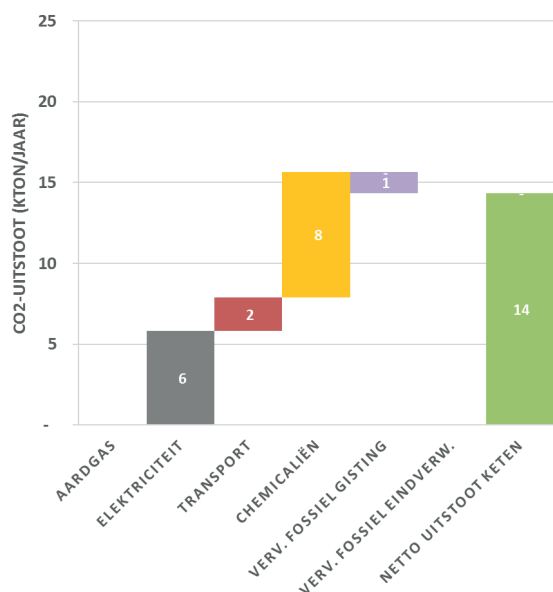
TABEL 24 ENERGIESTROMEN DE KETEN UIT VOOR DE AEB ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-8,2	-8,2	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	0,0	0,0	0,0
Verliezen	-75,6	-76,3	0,7
Totaal	-83,8	-84,5	0,7

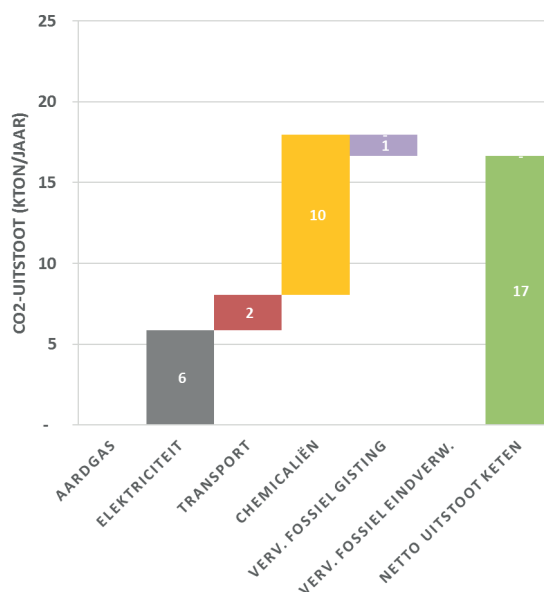
7.7.2.3 CO₂ DELTA LCA'S

De CO₂-uitstoot in de AEB-keten wordt weergegeven in Figuur 49 en Figuur 50. De eerste balk hierbij is de uitstoot voor het opwekken van elektriciteit die gebruikt wordt in de processen. Deze hoeveelheid is bij gruisontwatering hoger, doordat er mengenergie gebruikt wordt voor het innemen van gruis. De toename in CO₂-uitstoot is voornamelijk toe te schrijven aan het verhoogde chemicaliën gebruik dat gepaard gaat met slibas gruisontwatering. Data over de CO₂-uitstoot staat vermeld in Tabel 25.

FIGUUR 49 CO₂-UITSTOOT HUIDIGE KETEN



FIGUUR 50 CO₂-UITSTOOT GRUISONTWATERING



TABEL 25 CO₂-STROMEN AEB KETEN

	Huidig (kton/jaar)	Gruis (kton/jaar)	Vershil (kton/jaar)
Aardgas	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	5,8	5,9	0,1
Transport	2,1	2,2	0,1
Chemicaliën	7,8	9,9	2,1
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting'	-1,3	-1,3	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding'	0,0	0,0	0,0
Netto uitstoot keten	14,4	16,7	2,3

7.7.3 CONCLUSIE

De data uit bovenstaande onderdelen is samengevat in Tabel 26. Te zien is in de tabel dat

gruisontwatering met slibas voor AEB een toename in energieverbruik en CO₂-uitstoot met zich mee brengt. Dit komt voornamelijk doordat het chemicaliën gebruik omhoog gaat. En hoewel er minder water in de slibkoek zit, weegt het aandeel slibas zo zwaar in de balans dat de totale transportkosten in de keten omhooggaan. Voor AEB is gruisontwatering met slibas daarom geen interessante optie.

TABEL 26

OVERZICHT TOTALEN AEB DELTA-LCA KETEN

Energieverlies keten	0,6	GWh/jaar
Kosten	655.000	Euro/jaar
CO ₂	2,3	kton/jaar

7.8 BUSINESS CASE GMB BIOENERGIE

De GMB verwerkt jaarlijks 67.000 ton slibkoek door compostering/biologisch drogen. Bij biologisch drogen wordt een deel van het organische materiaal uit het slib biologisch afgebroken onder gelijktijdige verdamping van water. Hiervoor wordt slib gemengd met 5% houtsnippers (0,1 tot 20 cm) waarna het 10 dagen in een tunnel onder beluchting geplaatst wordt voor compostering. De warmte die hierbij door de biologische activiteit vrijkomt zorgt voor droging van het slib en wordt gebruikt voor verwarming van de productiehallen. Uiteindelijk is na compostering het watergehalte afgenomen van 75% tot 33%. Per ton ontwaterd slib is er dan 625 kg water verwijderd. De biologische activiteit zorgt ook voor afbraak van 68% van het organische deel van het slib, waardoor de verbrandingswaarde daalt.

Na afloop van het composteren wordt het slib gezeefd, waarbij de fijne fractie als product vrijkomt en de grove fractie - samen met nieuwe slibkoek - opnieuw de compostering ingaat, de gemiddelde verblijftijd van het slib is daardoor 90 dagen. Het uiteindelijke product is 67% droog en heeft een netto stookwaarde van 6 MJ/kg.³

De GMB-keten wordt in Nederland gezien als een eindverwerker en is daarom als business case opgenomen in deze studie. Echter, compostering is proces technisch een droogstap. Na deze droogstap wordt het slib naar een energiecentrale gebracht, die de eindverwerking verzorgt. Het model van de GMB-keten is dus slibdroging met behulp van compostering en daarna bijstook in een energiecentrale.

7.8.1 UITGANGSPUNTEN

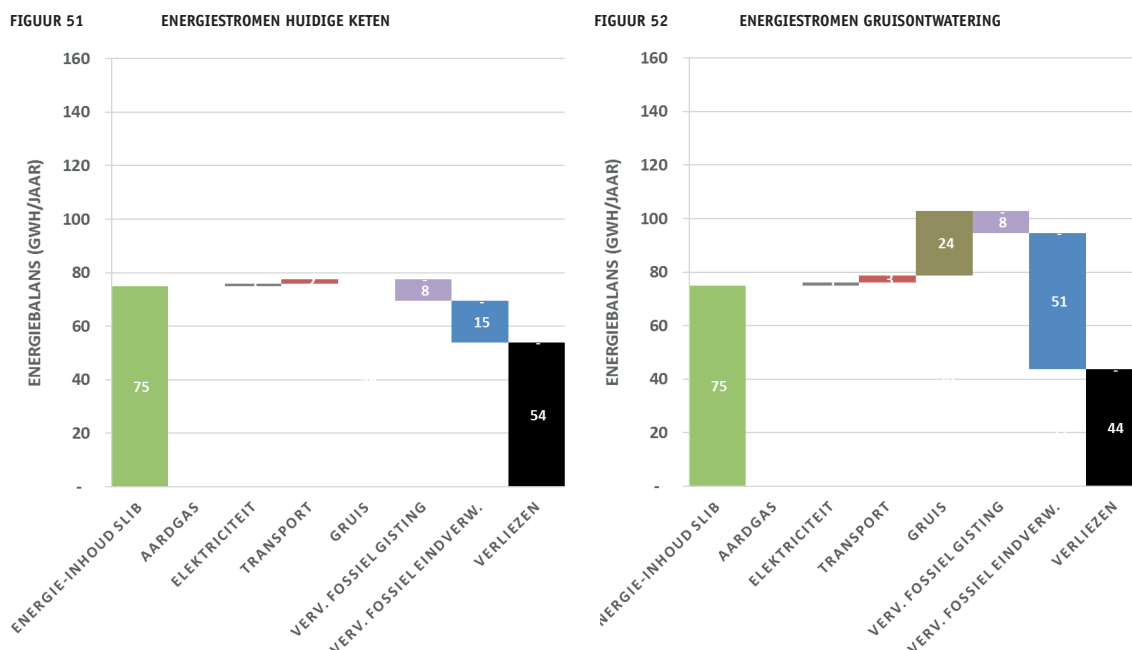
- De verwerkingscapaciteit is gelimiteerd door het beschikbare volume in de composteringsbunkers.
- Het beschikbare volume is nu 100% benut.
- De verbruikte energie per kg verdampt water blijft gelijk.
- Eindverwerking van het slib gebeurt in een energiecentrale. Bij deze verwerking wordt 1:1 fossiele brandstof vervangen.
- De verwerking van nat slib door de GMB is niet meegenomen omdat dit slib door de GMB zelf ontwaterd wordt en daarna op dezelfde manier verwerkt wordt.
- Er kan niet verder dan tot 67% ds gedroogd worden door compostering omdat het watergehalte in dat geval te laag is om de biologische activiteit in stand te houden.

7.8.2 RESULTATEN GRUISONTWATERINGSMODEL

Omdat de verbrandingsenergie bij eindverwerking in een kolencentrale nuttig wordt ingezet voor energieopwekking, wordt in de GMB-keten kolengruis als hulpstof ingezet voor het

3 Telefonisch contact GMB

scenario met gruisontwatering. De energiestromen van de GMB-keten voor de huidige situatie en de situatie met gruisontwatering worden weergegeven in Figuur 51 en Figuur 52.



De positieve waarden (balken omhoog) in Figuur 51 en Figuur 52 vertegenwoordigen energiestromen die de keten binnenkomen en de negatieve waarden (balken omlaag) vertegenwoordigen energiestromen die de keten uitgaan.

7.8.2.1 ENERGIE DE KETEN IN

Allereerst komt slib de keten binnen. Dit slib heeft een verbrandingswaarde en komt dus als positieve energiestroom de keten binnen. De daaropvolgende balk in Figuur 51 en Figuur 52 is de energie die nodig is om het water die in de koek zit te verdampen. Omdat er bij GMB energie uit slib gebruikt wordt om het water te verdampen in de droogstap, komt voor deze stap geen energie de keten binnen. Aan het einde van de droogstap is er een ds percentage van 67%. Het resterende water moet verdampt worden in de kolencentrale die de eindverwerker is. Omdat bij gruisontwatering de totale hoeveelheid droge stof toeneemt, moet in het scenario met gruisontwatering meer water verdampt worden in de centrale. Echter, doordat bij de compostering minder water verdampt hoeft te worden, wordt hier ook minder organische stof omgezet in energie (de organisch ds afbraak gaat van 68% naar 28%). Dit vermeden energieverbruik bij compostering komt ten goede aan de energieproductie in de energiecentrale. Per saldo levert dit een energiebesparing op. Alle energiewaarden die de keten in gaan worden weergegeven in Tabel 27.

TABEL 27

ENERGIESTROMEN DE KETEN IN VOOR DE GMB ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
Energie inhoud slib	74,9	74,9	0,0
Aardgas	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	1,0	1,3	0,3
Transport	1,7	2,7	1,0
Calorische waarde gruis	0,0	24,0	24,0
Totaal	77,6	102,9	25,3

7.8.2.2 ENERGIE DE KETEN UIT

Bij de GMB wordt de verbrandingsenergie van het slib nuttig ingezet voor energieproductie. De verhoogde calorische waarde die het product na droging heeft kan dus nuttig ingezet worden voor energielevering aan derden. De opgewekte energie in de vergisting wordt nuttig ingezet voor warmte- en stroomproductie in de WKK's van de rwzi. De rest van de energie verlaat de keten als warmte. Alle energiewaarden die de keten uitgaan worden weergegeven in Tabel 28.

TABEL 28

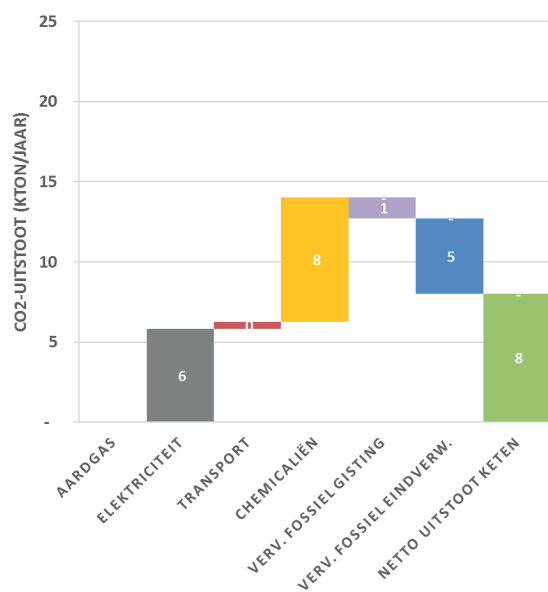
ENERGIESTROMEN DE KETEN UIT VOOR DE GMB ROUTE

	Huidig (GWh/jaar)	Gruis (GWh/jaar)	Vershil (GWh/jaar)
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-8,2	-8,2	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-15,4	-50,9	35,5
Verliezen	-54,0	-43,7	-10,3
Totaal	-77,6	-102,9	24,2

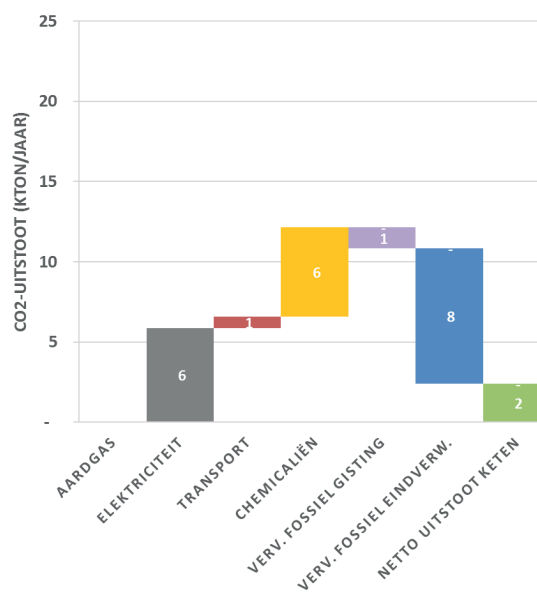
7.8.2.3 CO₂ DELTA LCA'S

De CO₂-uitstoot in de GMB keten wordt weergegeven in Figuur 53 en Figuur 54. Wat opvalt in de figuren is dat bij gruisontwatering minder CO₂ vrijkomt door een reductie in chemicaliën gebruik. Ook wordt door vermeden organische stof omzetting in de compostering een brandstof geproduceerd met een hogere energiewaarde. Dit hogere gehalte organisch slib ds zorgt voor additionele vervanging van fossiele brandstoffen bij bijstook in een energiecentrale. Data over de CO₂-uitstoot staat vermeld in Tabel 29.

FIGUUR 53

CO₂-UITSTOOT HUIDIGE KETEN

FIGUUR 54

CO₂-UITSTOOT GRUISONTWATERING

TABEL 29

CO₂-STROMEN GMB KETEN

	Huidig (kton/jaar)	Gruis (kton/jaar)	Vershil (kton/jaar)
Aardgas	0,0	0,0	0,0
Elektriciteit	5,8	5,9	0,1
Transport	0,5	0,7	0,2
Chemicaliën	7,8	5,6	-2,2
'Energiesubstitutie voor fossiele energie gisting	-1,3	-1,3	0,0
'Energiesubstitutie voor fossiele energie verbranding	-4,7	-8,4	-3,7
Netto uitstoot keten	8,0	2,4	-5,6

7.8.3 CONCLUSIE

De data uit bovenstaande onderdelen is samengevat in Tabel 30. Er valt op te maken uit de tabel dat toepassing van gruisontwatering voor GMB een CO₂- en energiebesparing oplevert. Daarnaast is er een aanzienlijk kostenvoordeel van 730.000 Euro per jaar. Naast het berekende kostenvoordeel is er nog een ander groot voordeel in deze business case. Doordat de slibkoek met een hoger ds-gehalte de composteringsbunkers van GMB ingaat, hoeft het materiaal minder lang in de bunkers te liggen totdat het biologische droogproces 67% ds bereikt heeft. Dit maakt dat toepassing van gruisontwatering voor GMB leidt tot een aanzienlijke capaciteitsvergroting.

TABEL 30

OVERZICHT TOTALEN GMB DELTA-LCA KETEN

Energieverlies keten	-10,2	GWh/jaar
Kosten	-820.000	Euro/jaar
CO ₂	-5,6	kton/jaar

8

CONCLUSIES

1. Ontwatering met gruis levert in alle gevallen van gruis toevoeging een hoger drogestofgehalte van de koek op. Ook na aftrek van het toegevoegde gruis is het watergehalte van de koek lager vergeleken met de referentiesituatie.
2. Deze manier van ontwatering wordt al toegepast op de rwzi in Bottrop (Duitsland), waar hoge (40-45%) drogestofgehaltenes behaald worden.
3. Tijdens het labonderzoek is aangetoond dat ook met slib uit Garmerwolde 40% ds behaald kan worden door slib samen met kolengruis te persen.
4. Praktijkproeven met kamerfilterpersen, centrifuges en zeefbandpersen onderschrijven de lab resultaten, doordat bij alle proeven middels gruisontwatering hogere koek ds-gehaltenes bereikt werden. Een kanttekening hierbij is dat in geen van de praktijkproeven 40% koek ds gehaald is. Gezien het feit dat men deze waarde in Bottrop wel ruimschoots bereikt kan gesteld worden dat gruisontwatering in operationele zin nog verder ontwikkeld dient te worden.
5. Gruisontwatering werkt met verschillende soorten gruis: Kolengruis, bruinkoolgruis, koffieresten en vliegas.
6. Het toevoegen van slibas of gedroogde slibkorrels in plaats van kolengruis levert in mindere mate een verbeterde ontwaterbaarheid op.
7. De variabiliteit van het slib en de variëteit in de in Nederland toegepaste apparatuur en conditioneringswijze maakt het lastig om de exacte verbetering voor elke rwzi vast te stellen.
8. De optimale hoeveelheid gruis toevoeging is 33% op basis van ds slib.
9. Lagere gruis doseringen kunnen worden toegepast bijvoorbeeld als tot doel wordt gesteld het PE-gebruik bij mechanische ontwatering te verminderen.
10. Bij gruisontwatering is in principe geen coagulant nodig. Dit is echter alleen gebleken uit lab testen. Coagulant kan wel gebruikt worden, wanneer fosfaten uit de waterfase neergeslagen dienen te worden in het slib. Hierbij is minder coagulant nodig dan in de huidige situatie. De hoeveelheid coagulant kan in dit geval variëren aan de hand van het fosfaatgehalte in het water voor mechanische ontwatering. Wanneer geen coagulant wordt gebruikt, kan fosfaat worden neergeslagen in een behandelstap van het effluent van de mechanische ontwatering. Hier kan bijvoorbeeld een magnesiumzout ingezet worden om struviet te vormen.
11. Een verbeterd ontwateringsrendement is alleen nuttig indien de extra vrijgemaakte energie economisch nuttig ingezet wordt. Bij bijstook in elektriciteitscentrales of cementovens levert in dit geval een maximale besparing in fossiele brandstoffen op, terwijl de inzet in monoverbranders of afvalverwerkers, waarbij geen energie aan derden geleverd wordt, de besparing beperkt is.
12. Door het toevoegen van slib-as in plaats van kolengruis kan gruisontwatering in eerste instantie ingezet worden om droger slib aan de SNB te leveren, zonder de mogelijkheden tot fosfaatterugwinning te beperken en zonder de thermische last op de ovens te vergroten. Echter, de labproeven wezen uit dat er uitloging van zouten optreedt bij het mengen van de slibas met water. Deze zouten zullen in dat geval in de praktijk met het rejectiewater terug de rwzi op vloeien. Deze belasting is nadelig voor de rwzi. Daarom is slibontwatering met slibas als filtratiehulpmiddel geen directe optie.

Het overzicht van de gemaakte business cases en delta-LCA's staat weergegeven in Tabel 31. Er valt op te maken uit de tabel dat er alleen een positieve business case voortkomt uit slibketens waarin gruisontwatering energie- en CO₂-besparing oplevert.

Alle businesscases zijn opgesteld met de slibontwatering van Garmerwolde als uitgangspunt. Op basis hiervan laat Tabel 31 zien dat het grootste kostenvoordeel te behalen is in de GMB-keten. Verder is het zo dat de kolencentrale-keten en de cementindustrie-keten qua energiebesparing bij gruisontwatering vergelijkbaar zijn. Het verschil in kostenvoordeel komt hier voornamelijk door de grotere transportafstand van Garmerwolde naar ENCI.

TABEL 31

OVERZICHT VAN ONDERZOCHE BUSINESS CASES EN DELTA-LCA'S

	Kostenvoordeel	Vermeden CO ₂ -uitstoot	Vermeden energie
ENCI	€ 615.000/jr.	4,3 kton/jaar	10,6 GWh/jaar
Kolencentrale	€ 650.000/jr.	4,4 kton/jaar	10,9 GWh/jaar
SNB	€ -675.000/jr.	-2,3 kton/jaar	-0,8 GWh/jaar
AEB	€ -655.000/jr.	-2,3 kton/jaar	-0,6 GWh/jaar
GMB	€ 820.000/jr.	5,6 kton/jaar	10,2 GWh/jaar

Om gruisontwatering op praktijkschaal toe te passen is alleen een gruis-buffer- en doseersysteem nodig. Dit maakt dat de investeringskosten voor het toepassen van gruisontwatering relatief laag zijn. Zo is geschat dat benodigde investeringskosten voor Garmerwolde rond de 400.000 liggen. Dit maakt dat zelfs in de cementindustrie-keten, gruisontwatering een terugverdientijd heeft van minder dan 6 maanden.

9

AANBEVELINGEN

1. De slibontwatering dient verder geoptimaliseerd te worden, hiervoor zal meer inhoudelijk kennis nodig zijn over slib karakteristieken, gruis karakteristieken en ontwateringskenmerken.
2. Wanneer gruisontwatering wordt toegepast in een keten met een thermische droogstap, zal verder onderzoek gedaan moeten worden naar de kleeffase van gruis slib. Wanneer gewerkt wordt met kolengruis zullen ook veiligheidsoverwegingen meegenomen moeten worden in het vervolgonderzoek.
3. Wanneer gruisontwatering wordt toegepast in een keten, dienen de voordelen besproken te worden met alle ketenpartners zodat elke partij optimaal gebruik maakt van de kansen die gruisontwatering biedt.
4. Gruisontwatering dient voor een langere duur getest te worden op praktijk schaal. Wanneer de benodigde operationele lessen geleerd zijn, kan een uiteindelijk sluitende business case opgesteld worden.

10

GECITEERDE WERKEN

- [1] www.gruisontwatering.nl.
- [2] L. Korving, „Trends in slibontwatering,” STOWA, Amersfoort, 2012.
- [3] M. T. e. T. Cole, „The use of fly ash in conditioning biological sludges for filtration,” 1968.
- [4] W. M. Wiegant, M. Würdemann, H. E. Kamphuis, J. van der Marel en W. F. Koopmans, „Slibketenstudie 1,” STOWA, Amersfoort, 2005.
- [5] R. J. Wakeman, „Separation technologies for sludge dewatering,” *Journal of Hazardous Materials*, pp. 614-619, 2007.
- [6] R. C. & H. Merker, „Evaluation Filer aids,” nr. 33, 1941.
- [7] Q. Ying, K. B. Thapa en A. F. A. Hoadley, „Application of filter aids for improving sludge dewatering properties - a review,” *Journal of Chemical Engineering*, nr. 171, 2011.
- [8] E. Albertson en M. Kopper, „Fine-coal-aided centrifugal dewatering of waste activated sludge,” *Journal WPCF*, nr. 55, pp. 145-156, 1983.
- [9] B. Sander, H. Lauer en M. Neuwirth, „Process for producting combustible sewage sludge fitler cakes in filter presses”. USA Patent US Patent 4840736, 1989.
- [10] Centraal Bureau voor de Statistiek, „Zuivering van stedelijk afvalwater; procesgegevens slibontwatering,” 2012. [Online]. Available: <http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?VW=T&DM=S Lnl&PA=70154ned&LA=nl>. [Geopend 2014].
- [11] J. Zall, N. Galil en M. Rehbun, „Skeleton builders for conditioning oily sludge,” *Journal of water pollutant control*, nr. 59, 1987.
- [12] M. W. Tenney en T. G. Cole, „The use of fly ash in conditioning biological sludges for vacuum filtration,” *Water environment federation*, nr. 40, pp. 281-302, 1968.
- [13] S. R. Jing, Y. F. Lin, Y. M. Lin, C. S. Hsu, C. S. Huang en D. Y. Lee, „Evaluation of effective conditioners for enhancing sludge dewatering and subsequent detachment from filter cloth,” *Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, vol. 34, nr. 7, pp. 1517-1531, 1999.
- [14] K. Schmelz, A. Reipa en H. Meyer, „Production of fuels on the basis of sewage sludge through conditioning using high calorific value fractions,” *Water practice and technology*, vol. 3, 2008.
- [15] K. G. Schmelz, *Production of fuels on the basis of sewage sludge through conditioning using high calorific value fractions*, 2012.
- [16] M. Meelker, *Mechanical dewatering of sewage sludge using particle aided filtration at waterboard Noorderzijlvest*, 2011.
- [17] F. W. Moehle, „Fly ash aids in sludge disposal,” *Environmental science and technology*, nr. 1, pp. 374-377, 1967.
- [18] R. C. Ballance, J. P. Capp en J. C. Burchinal, „Fly ash as a coagulant aid in water treatment,” *U.S. Dept. Interior Bureau of Mines*, nr. 6869, 1996.
- [19] P. K. Deb, A. J. Rubin, A. W. Launder en K. H. Mancy, „Removal of COD from wastewater by fly ash,” *Proc. Ind. Waste Conf.*, nr. 121, 1966.
- [20] N. S. Caetano, V. F. M. Silva en T. M. Mata, „Valorization of Coffee Grounds for Biodiesel Production,” *Chemical Engineering Transactions*, vol. 26, 2012.

- [21] „Fuels - Higher Calorific Value,” [Online]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/fuels-higher-calorific-values-d_169.html. [Geopend 2015].
- [22] W. M. Wiegant, D. Knezevic en W. F. Koopmans, „Slibketenstudie 2,” STOWA, Amersfoort, 2010.
- [23] SNB, „SNB milieujaarverslag,” 2011.
- [24] STOWA, „Slibontwatering 2. Slibeigenschappen en resultaten van slibverwerkingsapparatuur,” STOWA, Amersfoort, 1981.
- [25] M. E. Broz, R. F. Cook en D. L. Whitney, „Microhardness, toughness and modulus of Mohs scale minerals,” *American Mineralogist*, nr. 1, pp. 135-142, 2006.
- [26] SNB, „Ondertekening overeenkomst Thermphos,” 2008.
- [27] L. Korving, „Resultaten kwaliteitscontrole kringloopas,” 2012.
- [28] A. F. van Nieuwenhuijzen, E. Koornneef, P. J. Roeleveld, A. Visser, D. Berkhout, F. van den Berg van Saparoea, V. Miska, E. van Voorthuizen en C. van Erp Taalman Kip, „Handboek Slibgisting,” STOWA, Amersfoort, 2011.
- [29] G. Haaksman, *Coal improved mechanical dewatering of sludge*, 2009.
- [30] O. Burgering, *Sludge handling cost reduction*, 2011.
- [31] Landelijk Afvalbeheerplan 2 (LAP-2), *Sectorplan 16: Waterzuiveringsslib*.
- [32] M. Afman, M. Bijleveld en M. Mulder, „GER-waarden en milieu impactscores productie van hulpstoffen in de waterketen,” STOWA, Amersfoort, 2012.
- [33] R. Poort, *Efficiency of wastewater treatment plants in relation to the european water framework directive*, Groningen: Rijksuniversiteit Groningen, 2005.
- [34] G. Baumann, „Zu viel und doch essentiell,” *Entsorgungstechnik*, pp. 52-57, 1993.
- [35] A. F. van Nieuwenhuijzen, Biogasinventarisatie rwzi's verdieping en analyses, Deventer: Witteveen + Bos, 2010.
- [36] A. C. J. Koot, *Behandeling van afvalwater*, 1980.
- [37] R. N. Cogger en H. Merker, „Evaluating filter aids,” *Industrial and engineering chemistry*, vol. 33, pp. 1232-127, 1941.
- [38] „Guidelines for the utilisation and disposal of wastewater sludge,” *Dep. of water and forestry South Africa*, nr. 5, 1995.
- [39] J. Keizer, „Phosphorus recovery from municipal wastewater,” *BSc Thesis*, 2012.
- [40] A. Reller en T. Graedel, „Earth's Natural Wealth: an Audit; How long will it last?,” *New Scientist*, vol. 2007, pp. 34-41, 2007.
- [41] J. Driver, D. Lijmbach en L. Steen, „Why recover phosphorus for recycling, and how?,” *Environmental Technology*, nr. 20, pp. 651-662, 1999.
- [42] R. Lodder, R. Meulenkamp en G. Notenboom, „Fosfaat teruggewinning in communale afvalwaterzuiveringsinstallaties,” STOWA, 2011.
- [43] K. Ashley, D. Mavinic en F. Koch, „International Conference on Nutrient Recovery from Wastewater Streams,” 2009.
- [44] L. Hermann, „Rückgewinnung von phosphor aus der abwasserreinigung,” *BAFU Report*, 2009.
- [45] P. Barak en A. Stafford, „Struvite: a recovered and recycled phosphorus fertilizer,” in *Proceedings of the 2006 Wisconsin Fertilizer, Agri & Pest. Management Conference*, 2006.
- [46] X. Li en Q. Zhao, „Recovery of ammonium-nitrogen from landfill leachate as a multi-nutrient fertilizer,” *Ecological Engineering*, nr. 20, pp. 171-187, 2003.
- [47] K. S. Le Corre, E. Valsami-Jones, P. Hobbs en S. A. Parsons, „Phosphorus Recovery from Wastewater by Struvite Crystallization: A Review,” *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 39, nr. 6, pp. 433-477, 2009.
- [48] SNB, *SNB Informatiefolder: Het slibverbrandingsproces*.

BIJLAGE 1

TOEPASBAARHEID VERSCHILLENDE APPARATUUR IN COMBINATIE MET GRUISONTWATERING

Deze bijlage beschrijft kwalitatief wat de invloed van filtratiehulpmiddel toevoegingen is op de in Nederland toegepaste ontwateringsmethoden. Het maken van een vergelijking waarbij daadwerkelijk met alle apparatuur testen zijn uitgevoerd is lastig omdat er in de praktijk verschillende soorten apparatuur gebruikt worden en omdat de eigenschappen van het slib van rwzi tot rwzi variëren. Voor meer informatie over de slibeigenschappen wordt verwezen naar Hoofdstuk 3.

De besproken apparatuur zijn centrifuges (65% van het totaal verwerkte ds in Nederland), membraan- en kamerfilterpersen (16%) en zeefbandpersen (19%) [10].

De voornaamste invloeden waar in dit hoofdstuk rekening mee gehouden wordt zijn:

- interactie met PE en/of coagulant;
- hoeveelheid gruis toegevoegd;
- hardheid van de deeltjes.

INTERACTIE CONDITIONERINGSMIDDELEN

De interactie van gruis met slib en conditioneringsmiddelen speelt een belangrijke rol bij mechanische ontwatering. Wanneer ontwaterd wordt met een decanterende centrifuge wordt geen metaalzout gebruikt als coagulant. Wel wordt een relatief hoge dosering polymeer gebruikt. Aan de ene kant is er dus minder interactie van conditioneringsmiddel met gruis (interactie coagulant) en aan de andere kant is er meer interactie (interactie flocculant).

Voor kamerfilterpersen en zeefbandpersen geldt dat de interactie met coagulant en flocculant samen speelt. In deze verkennende studie gruisontwatering zijn de interacties niet onderzocht, omdat het verkennende onderzoek op haalbaarheid gericht is en niet op optimalisatie. De kans is daarom klein dat er met optimale verhoudingen gruis-slib-conditioneringsmiddelen is gewerkt. In een vervolgonderzoek zouden de interacties onderzocht kunnen worden als optimalisatieslag. Hierbij dienen de gruisdosering en conditioneringsmiddeldosering afgestemd te worden op het gebruikte ontwateringsapparaat.

GRUISDOSERING

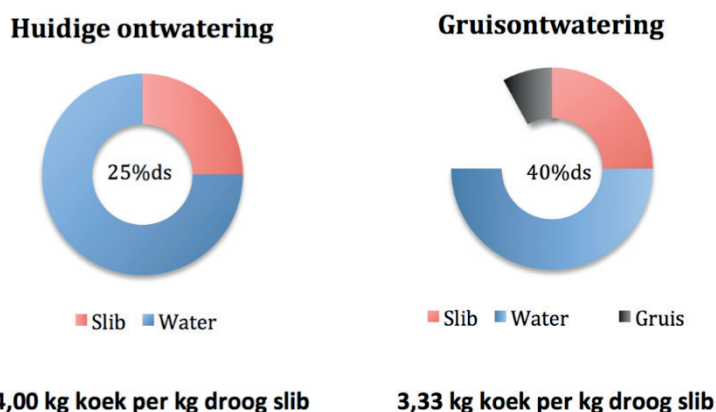
De hoeveelheid gruis die wordt toegevoegd is van grote invloed op het ontwateringsrendement. Zo zijn bij verschillende ingaande ds concentraties slib verschillende gruisdoseringen van toepassing [17]. Omdat de huidige ontwateringsapparatuur is ontworpen met de huidige slibstromen, kan een vergroting van de hoeveelheid droge stof die de apparatuur moet verwerken

voor problemen zorgen [24]. Omdat centrifuges werken op basis van verhoogde G-krachten, zijn ze gelimiteerd voor wat betreft de zwaardere slib en gruisdeeltjes. Een te hoog drogestofgehalte resulteert hier in verminderde ontwateringsrendementen en mogelijke overbelasting van de machine. Echter, door het verbeterde ontwateringsprincipe van gruisontwatering kan het in andere ontwateringsapparatuur ook voor extra capaciteit zorgen.

Omdat aan de ingaande slibstroom gruis wordt toegevoegd, stijgt de absolute hoeveelheid droge stof die per tijdseenheid door het ontwateringsapparaat gaat. In Figuur 53 wordt links weergegeven hoe de massa verdeling in de koek is bij de huidige manier van ontwateren bij een slibkoek van 25% ds. In de rechter afbeelding van Figuur 55 wordt weergegeven hoe de massaverdeling is van een met gruis ontwaterde koek (40% ds). Daar is te zien dat het slib deel wordt aangevuld met een gruis deel.

FIGUUR 55

KOEKVOLUME-REDUCTIE GRUISONTWATERING



Wanneer echter gekeken wordt naar de totale massa van de koek, neemt deze af bij gruitontwatering. Dit betekent ook dat het totale koekvolume afneemt. Wanneer ontwateringsapparatuur gebruikt wordt gelimiteerd wordt door een maximale droge stof doorvoer, zal er een limiterende situatie kunnen optreden wanneer gruitontwatering wordt toegepast. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer een centrifuge wordt gebruikt die al op zijn maximale droge stof doorvoer draait.

Wanneer echter gewerkt wordt met filterpersen of zeefbandpersen, is alleen het uiteindelijke koek volume limiterend. Omdat dit volume afneemt bij gruitontwatering, ontstaat in dit soort apparatuur extra capaciteit. Deze capaciteit kan bijvoorbeeld benut worden om pers-tijden te verlengen.

HARDHEID VAN GRUISDEELTJES

Bij een hoge belasting droge stof kan extra slijtage aan decanterende centrifuges of pompen optreden. Deze slijtage komt zonder gruittoevoeging door harde abrasieve deeltjes in het slib zoals zand. De roterende delen van de apparatuur komen in aanraking met de vaste deeltjes. Hierbij werken relatief grote krachten op de deeltjes. Dit contact met zwaardere deeltjes kan extra slijtage veroorzaken. Wanneer er in het toegevoegde gruis dus veel harde deeltjes zitten, wordt extra slijtage van de apparatuur verwacht.

Uitgaande van de hardheid van deeltjes, kan volgens Friedrich Mohs [25] een indeling gemaakt worden van verschillende materialen op basis van hardheid. De Mohs schaal geeft verschillende mineralen op basis van hardheid een nummer:

1. talk (babypoeder);
2. gips;
3. kalciet (hoofdbestanddeel van kalksteen);
4. fluoriet;
5. apatiet;
6. orthoklaas;
7. kwarts (hoofdbestanddeel van zeezand);
8. topaas;
9. korund;
10. diamant.

Wanneer gekeken wordt naar kolendeeltjes, kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende soorten kool [25]. Daarbij is de hardheid van alle soorten kool tussen de 2 en 4 op de Mohs schaal. Dit is aanzienlijk minder dan de hardheid van zand (7 op de schaal van Mohs), wat altijd aanwezig is in slib en zorgt voor de huidige slijtage bij slibontwatering met behulp van decanerende centrifuges. Het is dus niet te verwachten dat kolentoevoeging significant meer slijtage oplevert op basis van de hardheid van het materiaal.

In vliegias van de SNB zijn tot 40% silicaten aanwezig. Dit betekent dat wanneer vliegias wordt gebruikt als filtratiehulpmiddel, er wel rekening gehouden moet worden met mogelijke hogere slijtage van bewegende delen doordat meer harde deeltjes aanwezig zullen zijn in het slib.

Bij filterpersen en zeefbandpersen komen de slib- en gruisdeeltjes niet direct in aanraking met roterende delen behalve met de toevoerpompen. Mogelijk slijtage door abrasieve deeltjes is bij dit soort apparatuur dan ook aanzienlijk minder relevant.

MOGELIJKHEDEN VAN GRUISONTWATERING VOOR ONTWATERINGSAPPARATUUR

Omdat centrifuges ontwateren volgens een ander principe dan filterpersen en zeefbandpersen, zal de verbetering in ontwateringsrendement niet voor beide technologieën hetzelfde zijn. Hieronder worden daarom de ontwateringsprincipes van decanerende centrifuges, filterpersen en zeefbandpersen beschouwd met betrekking tot hun potentie voor gruisontwatering.

GRUISONTWATERING MET DECANERENDE CENTRIFUGES

Een decanerende centrifuge werkt voor het grootste gedeelte op basis van verschil in dichtheden. In een roterende trommel wordt het slib in rotatie gebracht, waarbij door de centrifugale kracht scheiding tussen vaste en vloeibare fase optreedt. De scheiding volgt de wet van Stokes:

$$\omega^2 = \frac{2(\rho_s - \rho_v)gr^2}{9\mu} \quad (6)$$

Hierbij is de beginsnelheid van de deeltjes, zijn respectievelijk ρ_s en ρ_v de dichtheden van de vaste stof en de vloeistof, is g de gravitaire versnelling, is r de straal van een deeltje en is μ de dynamische viscositeit van de vloeistof.

Aan het einde van de centrifuge zit een conisch deel. Dit deel zorgt voor compressie van het slib. Op deze manier wordt het slib extra ontwaterd. De werking van een decanerende centrifuge kan met behulp van de zogenaamde scheidingsdiameter worden gekarakteriseerd [24]. De scheidingsdiameter is de diameter van een deeltje dat nog net kan worden afgescheiden. Dit kan worden gekarakteriseerd met behulp van de onderstaande formule:

$$d_t = \frac{3}{r_h} \sqrt{\frac{Q\mu}{(\rho_s - \rho_w)\omega^2\pi L}} \quad (7)$$

Hierin is d_t de diameter van het deeltje, is Q het debiet, is d_h de diameter van de overloop en is L de lengte van de trommel. Uit de formule is af te leiden hoe de scheidingsdiameter en daarmee het scheidingsrendement beïnvloed kan worden.

Bij het ontwateren met een decanerende centrifuge kunnen als voornaamste machine variabelen worden onderscheiden: Het toerental van de trommel (n), het vloeistof niveau in de trommel (h), het verschil in toerental tussen de trommel en de schroef (Δn) en de compressiekrachten in het conische deel van het apparaat. Verhoging van het toerental zal een hoger drogestofgehalte opleveren. Om praktische redenen, zoals slijtage van de machine, kan het toerental niet onbeperkt worden opgevoerd. Door te hoge centrifugale krachten zou bovendien vlok beschadiging kunnen optreden [24].

Door variatie in het verschil in toerental kan de koek inhoud in de droogzone en daarmee de verblijftijd van de vaste stof worden gevarieerd. Verkleining van het verschil in toerental geeft een grotere verblijftijd en daardoor een hoger drogestofgehalte.

Door verstelling van de keerschijf kan de grootte van de drogende vloeistof zone worden ingesteld. Een grote diameter van de keerschijf resulteert in een grotere droogzone en een ondiepe vloeistofzone (h is klein). Hierdoor wordt de verblijftijd van de vloeistof in de centrifuge korter, waardoor het scheidingsrendement afneemt (het effluent wordt minder helder). Wel neemt zo het drogestofgehalte van het ontwaterde slib toe.

Het drogestofgehalte is niet alleen afhankelijk van de toerentallen, compressiezone of vloeistofniveau. Het is ook afhankelijk van conditioneringsmiddelen zoals PE. Zo is voor de decanerende centrifuge ongeveer 13 gram PE per gram slib ds nodig om een optimale vlokstructuur te garanderen. Dit is een tweemaal hogere dosering in vergelijking tot kamerfilterpersen of zeefbandpersen.

Omdat het ontwateringsmechanisme bij decanerende centrifuges vooral berust op g-kracht vergroting, speelt de gravitaire filtratiefase een grotere rol dan de compressiefase. In de gravitaire filtratiefase vervormen slib deeltjes minder dan in de compressiefase. Het toevoegen van een filtratiehulpmiddel als skeletbouwer heeft hier dus naar verwachting minder effect. Wanneer de krachten in de centrifuge dermate groot zijn dat deformatie van de deeltjes optreedt of wanneer het conische deel van de centrifuge voldoende compressieve kracht genereert, zullen vergelijkbare ontwateringsresultaten mogelijk zijn als met filterpersen of zeefbandpersen.

GRUISONTWATERING MET ZEEFBANDPERSEN

Persen is een filtratietechniek die kan worden uitgevoerd in zowel zeefbandpersen als filterpersen. Zoals beschreven in Hoofdstuk 3, kunnen bij expressie twee regimes worden onderscheiden. Het filtratie regime en het compressie regime. In het compressie regime worden slibdeeltjes vervormd, waardoor dichtslibben van de koek optreedt. Het is in dit regime waar het grootste voordeel uit gruisontwatering wordt behaald.

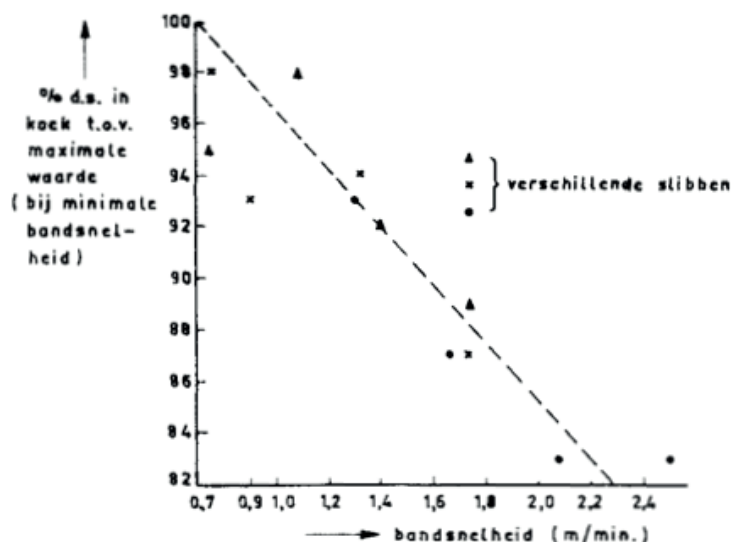
Bij zeefbandpersen kan onderscheid gemaakt worden tussen vlakke persen en zigzagvormige persen. In beide vormen, worden grote compressieve krachten op het slib gezet. Bij zigzag-

vormige persen worden hogere droge stof percentages gehaald doordat er schuifspanningen worden opgewekt. Hierdoor slaat de koek minder snel dicht. Beide soorten apparatuur zullen naar verwachting voordeel hebben bij gruisontwatering, hoewel het relatieve voordeel bij de vlakke zeefbandpersen naar verwachting hoger zal uitvallen.

De voornaamste instelbare variabelen zijn de bandsnelheid en de druk op de banden. De capaciteit van de zeefbandpers neemt toe naarmate de bandsnelheid wordt verhoogd. Het bereikte eind drogestofgehalte wordt echter lager bij toename van de bandsnelheid (Figuur 56).

FIGUUR 56

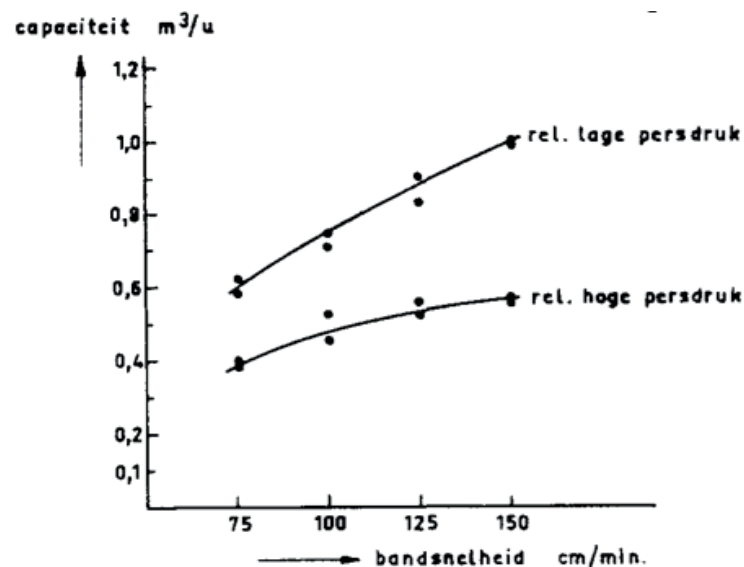
ONTWATERINGSRENDAMENT TEGEN BANDSNELHEID



De invloed van de persdruk, die meestal niet kan worden gemeten, kan worden afgeleid uit Figuur 57.

FIGUUR 57

ONTWATERINGSRENDAMENT TEGEN PERSCAPACITEIT BIJ VERSCHILLENDE DRUKNIVEAU'S



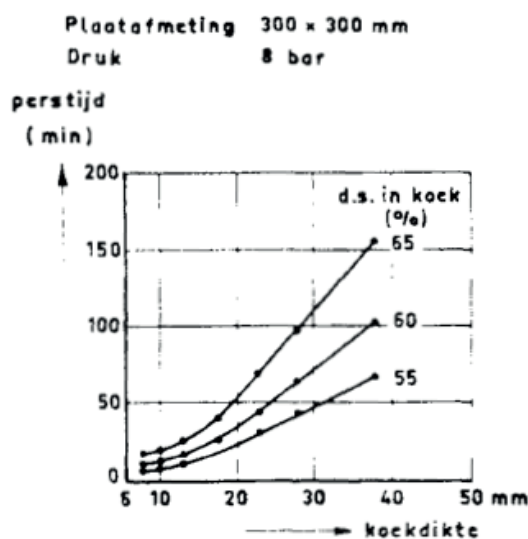
Uit Figuur 57 blijkt duidelijk de capaciteitsvermindering bij toenemende persdruk [24]. Omdat bij gruisontwatering het totale koek volume afneemt kan de persdruk worden opgevoerd om tot een maximaal ontwateringsrendement te komen.

GRUISONTWATERING MET MEMBRAAM- EN KAMERFILTERPERSEN

Bij filterpersen kan onderscheid gemaakt worden tussen kamerfilterpersen en membraanfilterpersen. Beide soorten persen hebben als voornaamste instelbare variabele de filtratiedruk. Hierbij kan zowel de drukopbouw als de maximale druk worden ingesteld. Bij het STOWA-onderzoek; 'Slibeigenschappen en resultaten van slibverwerkingsapparatuur', is gevonden dat voor het bereiken van eenzelfde drogestofgehalte, bij lagedruk een langere perstijd nodig is dan bij hogedruk. Daarnaast is gebleken dat bij gelijke perstijden het drogestofgehalte van de koek bij lagedruk lager is dan bij hogedruk. Ook is het zo dat filterkamers met grotere dikte, lagere koek drogestofgehalten produceren (Figuur 58). Dit komt overeen met de labresultaten van deze studie, waaruit bleek dat dikkere koeken een lager drogestofgehalte hadden.

FIGUUR 58

PERSTIJD TEGEN KOEKDIKTE BIJ VERSCHILLENDE DS PERCENTAGES KOEK



Omdat bij filterpersen compressie van slib plaatsvindt, is het voordeel van gruisontwatering naar verwachting zeer goed te vergelijken met de behaalde labresultaten met de Marecopers. Ook wordt voordeel behaald in doorvoer capaciteit, omdat bij gruisontwatering het totale koekvolume afneemt. Zo kan meer slib verwerkt worden, of kunnen langere perstijden worden gehanteerd.

CONCLUSIE

Er worden tussen centrifuges en persen (zeefband, membraan, kamerfilter) verschillende resultaten verwacht als gevolg van de verschillende ontwateringsprincipes. Hierbij is de indicatie dat gruisontwatering in alle gevallen een verbetering van de ontwatering oplevert. Bij decanerende centrifuges is het rendement uiteindelijk gelimiteerd aan de mogelijkheid om de koek uit de centrifuge te persen. Centrifuges zijn daarnaast ook meer gevoelig voor slijtage, maar dit lijkt op basis van de hardheid van kolengruis geen probleem te vormen.

Met persende apparatuur zijn waarschijnlijk hogere rendementen te behalen omdat deze apparatuur minder gevoelig is voor slijtage en niet gelimiteerd is door de afvoer van de koek.

Om te bepalen welke impact bovenstaande factoren echt hebben zijn experimenten met (semi-)praktijk installaties nodig.

BIJLAGE 2

DATA VliegAS

FIGUUR 59 SAMENSTELLING VliegAS SNB

		normale as			Proef januari 2006	Proef 2007	2008	2009	2010	2011	2012
	eenheid	2005	2006	2007	gem	gem	gem	gem	gem	gem	gem
ds%											
Cd	mg/kg d.s.	4,1	3,8	3,5	3	2	3	3	4	3	3
Cr	mg/kg d.s.	143	106	113	91	88	124	118	116	137	138
Cu	mg/kg d.s.	1177	1083	1049	979	1006	1195	1215	1364	1171	1214
Ni	mg/kg d.s.	74	63	71	75	75	71	71	70	73	64
Pb	mg/kg d.s.	297	264	279	206	185	265	194	218	211	208
Zn	mg/kg d.s.	2453	2183	2200	2200	2013	2295	2095	2291	2000	2107
As	mg/kg d.s.	21	23	24	17	17	18	19	22	19	20
Hg	mg/kg d.s.	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1					
Ca	g/kg d.s.	152	152	137	154	136					
Al	g/kg d.s.	55	55	47	60	63					
Fe	g/kg d.s.	95	88	85	41	40	35	36	46	37	36
S	g/kg d.s.	19	22	19	16	14					
P	g/kg d.s.	83	84	78	116	92	96	98	112	97	101
<i>Herberekening naar andere voorstelling</i>											
	eenheid	2005	2006	2007	Proef januari 2006	Proef 2007	2008	2009	2010	gem	gem
CaO	gew%	21%	21%	19%	22%	19%					
Al ₂ O ₃	gew%	10%	10%	9%	11%	12%					
Fe ₂ O ₃	gew%	14%	12,6%	12,2%	5,8%	5,7%	5,0%	5,0%	6,6%	5,3%	5,1%
P ₂ O ₅	gew%	19%	19%	18%	27%	21%	22%	22,0%	25,6%	22,2%	23,1%
SO ₃	gew%	5%	6%	5%	4%	4%					
Som	gew%	69%	69%	63%	69,3%	61,2%					
SiO ₂ als balans	gew%	27%	31%	37%	30,7%	38,8%					
Fe/P	mol/mol	0,63	0,63	0,60	0,20	0,24	0,20	0,203	0,230	0,213	0,197
										0,21	0,198
P ₂ O ₅ zonder SiO ₂	gew%						29,7%	29,2%	33,5%	31,0%	31,2%
Resultaten XRF analyses op maandverzamelmonsters											
	eenheid	2008	2009	2010	gemiddeld 2011	nov-11	dec-11	jan-12			
LOI 1025°C	gew%	1,7	1,5	1,1	40901,3	1,29	1,31	-1,62			
Na ₂ O	gew%	0,7	0,7	0,7	0,3	0,67	0,62	0,62			
MgO	gew%	3,0	2,8	3,0	0,6	2,76	2,64	2,71			
Al ₂ O ₃	gew%	14,7	13,7	13,8	2,7	13,39	12,59	13,93			
SiO ₂	gew%	26,2	24,5	23,5	13,3	24,4	25,62	27,67			
P ₂ O ₅	gew%	23,3	23,6	24,7	25,9	22,95	22,96	25,27			
SO ₃	gew%	2,9	3,5	2,8	23,7	3,39	3,62	2,76			
Cl	gew%	0,0	0,0	0,0	3,3	0,03	0,02	0,02			
K ₂ O	gew%	2,2	2,5	2,3	0,0	2,14	2,32	2,51			
CaO	gew%	19,5	20,5	19,3	2,3	20,51	20,7	17,62			
TiO ₂	gew%	0,6	0,6	0,7	19,6	0,62	0,59	0,69			
Fe ₂ O ₃	gew%	5,4	5,5	7,2	0,6	7,01	6,16	6,89			
ZnO	gew%	0,312	0,3	0,3	6,7	0,28	0,29	0,34			
Fe/P	mol/mol	0,21	0,21	0,26	#DEEL/0!	0,27	0,24	0,24			
P ₂ O ₅ zonder SiO ₂	gew%	31,6	31,2	32,3	0,3	30,4	30,9	34,9			

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegass		Pagina: 1 van 7
Opgesteld door: IndusTox Consult (ij)	Versie: 1.0	
	Uitgave d.d.: 30-06-2011	

1. IDENTIFICATIE VAN DE STOF EN VAN DE LEVERANCIER

1.1. Identificatie van de stof	
Productnaam:	SVI Vliegass (SVI = Slib Verbrandings Installatie)
Synoniemen:	Vliegass Zuiveringsslib
(Chemische) naam en formule:	Mengsel van inerte materialen
Commerciële naam:	SVI Vliegass
CAS nr:	Niet van toepassing

1.2. Gebruik van de stof	
SVI vliegass is het stof dat direct na de ketel met een filter uit de afgasstroom afgevangen wordt bij verbranding van communaal en industrieel zuiveringsslib. Het is een mix van ketelas en E-filteras. SVI-vliegass heeft een variabele samenstelling. De macrosamenstelling is Ca, Si en Al met alkalimetalen en fosfaten. Het bevat sporen van verontreinigingen, zoals lood en andere zware metalen, PAK's en gechloreerde verbindingen. Voor verwerking van SVI-vliegass is er een aantal mogelijkheden: gebruik als vulstof in asfalt, gebruik als vulstof in mijnbouw.	

1.3. Identificatie van de producent	
Producent:	<invullen door leverancier>
Adres:	
PC+Plaats:	
Telefoon:	
Telefax:	
Algemeen E-mail:	
Web site:	

1.4. Telefoonnummer in geval van nood	
Producent:	<invullen door leverancier>
Telefoon (24 uur per dag):	
Nationaal contact:	Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum,
Telefoon:	030 – 274 88 88

2. IDENTIFICATIE VAN DE GEVAREN

2.1. Indeling van de stof	
Classificatie volgens EU 1272/2008	Dit product bevat respirabel kwarts als een onzuiverheid. De Industrial Mineral Producers (IMA) stelt dat silicose het kritisch effect is van inhalatie van respirabel kristallijn silica en dat longkanker een secundair effect is. Dit product is volgens de criteria van de Industrial Mineral Producers (IMA) geclassificeerd: De concentratie respirabel kwarts ligt op maximaal 1% en daarom is er geen gevarenaanduiding aan toegekend.
EG-classificatie/EURAL	Afvalstof geclassificeerd met de indicatieve Euracode 19.01.14: Niet onder 19.01.13 vallende vliegass.

2.2. Etikettering	
Gevarenaanduiding	Geen

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegass		Pagina: 2 van 7
Opgesteld door: IndusTox Consult (fj)	Versie: 1.0	
	Uitgave d.d.: 30-06-2011	

Pictogram	Geen	
-----------	------	--

2.3. Andere gevaren	
	Geen

3. SAMENSTELLING / INFORMATIE OVER DE BESTANDDELEN

Naam	Percentage (v/v)	Gevarenaanduiding
SVI Vliegass	100%	-
Pb	Max 0,45 g/kg	H360, H332, H302, H373, H410
Mn	Max. 3 g/kg	Niet geclassificeerd
Zn	Max. 4 g/kg	H302, H314, H410
Som van 6 PCB's	< 0,07 mg/kg	H373, H410
Dioxines (als TEQ)	Max. 6 ng/kg	H373, H350
Totaal-PAK	< 0,5 mg/kg	H350, H340, H360, H317, H410
Respirabel kristallijn silica, waaronder kwarts	Max. 1 %	H319, H335, H350, H373

4. EERSTEHULP MAATREGELEN

SVI Vliegass is kalkrijk en heeft een pH van 6 - 12 en is dus een zwak basisch product. De onderstaande punten zijn daar op afgestemd.

4.1. Ogen	
Effect:	Mogelijk irriterend voor de ogen. Rode ogen en tranen.
EHBO:	Met water spoelen en indien nodig een arts raadplegen.

4.2. Inademing	
Effect:	Mogelijk lichte irritatie van de ademhalingswegen, maar niet snel te verwachten.
EHBO:	Frisse lucht; raadpleeg de bedrijfsarts of bij heftige reacties de Spoed Elsende Hulp

4.3. Inslikken	
Effect:	Branderig gevoel in de maag.
EHBO:	Spoel de mond, water drinken, raadpleeg de Spoed Elsende Hulp van het dichtstbijzijnde ziekenhuis als de klachten langer dan een uur aanhouden.

4.4. Huid	
Effect:	Mogelijk licht irriterend, rode huid.
EHBO:	Huid en handen voor het eten, drinken, toiletbezoek en roken eerst met water en zeep wassen, verontreinigde kleding uittrekken en regelmatig

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegass		Pagina: 3 van 7
Opgesteld door: IndusTox Consult (fj)	Versie: 1.0	
	Uitgave d.d.: 30-06-2011	

	wassen voor hergebruik. Mocht huiduitslag ontstaan, raadpleeg dan de bedrijfsarts.
--	--

5. BRANDBESTRIJDINGS MAATREGELEN

Brandpreventie door:	Het materiaal is niet brandbaar en niet explosief. Geen gevaarlijke situatie te verwachten in geval van brand.
Geschikte blusmiddelen:	Alle blusmiddelen toegestaan.

6. MAATREGELEN BIJ ACCIDENTEEL VRIJKOMEN VAN DE STOF

6.1. Persoonlijke voorzorg	
	Directe aanraking met de huid wordt afgeraden. Gebruik adembescherming. Draag volledig gesloten lichaamsbedekkende werkkleding, gebruik werkhandschoenen en draag in een stoffige omgeving een veiligheidsbril.

6.2. Milieu voorzorg	
	Houd ramen en deuren van gebouwen en voertuigen zo veel mogelijk gesloten. Voorkom dat SVI Vliegass in de riolering, oppervlaktewater of rechtstreeks in de bodem kan komen.

6.3. Opruim methoden	
	Voorkom het verwaaien van stof en sproei na langdurige droogte met water. Gemorst product zorgvuldig opscheppen en afvoeren in het kader van de Europese Afvalstoffenlijst (Eural) (code 19 01 14). Spoel het restant niet weg in riolering of oppervlaktewater.

7. HANTERING EN OPSLAG

7.1. Veilige hantering	
	Voorkom stofvorming. Gebruik afzuiging op plaatsen met stofvorming. Gebruik adembescherming in geval van onvoldoende ventilatie. Maak gebruik van de Good Practice Guide die in sectie 16 genoemd is. Eet, drink en rook niet op de werkplek. Was de handen na gebruik. Doe de persoonlijke beschermingsmiddelen af en doe werkkleding uit bij het betreden van de schaftruimte.

7.2. Voorwaarden voor veilige opslag	
	Opslag in een vloeistofdichte voorziening. Voorkom weglekken van drain-water. SVI Vliegass heeft hygroscopische eigenschappen waardoor dit product met vocht een gebonden massa kan vormen.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegias		Pagina: 4 van 7
Opgesteld door: IndusTox Consult (fj)	Versie: 1.0	
	Uitgave d.d.: 30-06-2011	

8. MAATREGELEN TER BEHEERSING VAN BLOOTSTELLING / PERSOONLIJKE BESCHERMING

8.1. Grenswaarden voor blootstelling	
Technische maatregelen:	Neem bij het handelingen met SVI Vliegias voorzorgsmaatregelen om stofvorming tegen te gaan. Maak gebruik van de Good Practice Guide die in sectie 16 genoemd is.
Blootstellingslimieten:	De branchevereniging Vereniging Afvalbedrijven (VA) beveelt de volgende streefwaarde aan voor inhaleerbaar stof van SVI vliegias : 1,0 mg/m ³ als TGG-8 uur. Kwarts: 0,075 mg/m ³ in respirabel stof als TGG-8 uur (wettelijke grenswaarde in NL)
Persoonlijke beschermingsmiddelen:	Ademhaling Bij werkzaamheden met stofvorming: stofmasker met minmaal FFP2-filter. Handen Bij werkzaamheden met handcontact: Werkhandschoenen. Oog Bij werkzaamheden met stofvorming: ruimzichtbril of veiligheidsbril. Huid en lichaam In ongereinigde omgeving: Volledig gesloten lichaamsbedekkende werkkleding.

9. FYSISCHE EN CHEMISCHE EIGENSCHAPPEN

9.1. Algemene informatie	
Fysische vorm:	Vaste stof, Korrelmaat < 1 mm
Geur:	Nagenoeg reukloos
Kleur:	licht gekleurd poeder, van licht beige tot donkerrood.

9.2. Belangrijke gezondheid, veiligheid en milieu informatie	
pH:	Tussen 6 en 12
Stortdichtheid:	450 - 800 kg/m ³
Dampdichtheid:	Niet van toepassing
Smeltpunt:	Niet van toepassing
Ontbindingstemperatuur:	Niet van toepassing
Vlampunt:	Niet brandbaar
Kookpunt:	Niet van toepassing
Explosief:	Niet explosief
Oplosbaarheid in water:	Beperkt oplosbaar. Een deel van de zware metaalverbindingen kan uitlogen.

10. STABILITEIT EN REACTIVITEIT

10.1. Stabiliteit product

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegass		Pagina: 5 van 7
Opgesteld door: IndusTox Consult (tj)	Versie: 1.0 Uitgave d.d.: 30-06-2011	

	Voorkom contact met grondwater vanwege uitloging van milieuschadelijke stoffen.
--	---

10.2. Te vermijden materialen	
	Voorkom contact met zure milieus

10.3. Gevaarlijke ontledende stoffen	

10.4 Reactiviteit	
	Niet bekend en niet te verwachten

11. TOXICOLOGISCHE INFORMATIE

11.1. Acute toxiciteit	
Letale Dosis (LD)50 oral, rat:	Niet bekend
Directe gevolgen:	Wanneer stof in de ogen terecht komt kan dit irriterend werken en kan het een branderig gevoel geven. Bij het inslikken van de stof kan dit irritatie of een branderig gevoel geven van het maag-darmkanaal.

11.2. Chronische toxiciteit	
Gevolgen op de lange termijn:	Niet bekend. Verwacht mag worden dat herhaald, langdurig inademen van SVI Vliegass zal leiden tot ontstekingen in de lagere luchtwegen en dat de longfunctie zal verminderen. Herhaald en langdurig inademen van respirabel kwarts stof kan leiden tot silicose (= stoflongen). IARC concludeerde in 1997 dat inademing van respirabel kristallijn silica tot longkanker kan leiden (IARC, 1997. Monograph 68, Lyon, Frankrijk). In 2003 concludeerde de SCOEL dat het belangrijkste effect van inademing van respirabel kristallijn silica stof silicose is en dat longkanker verhoogd is onder personen met silicose. Preventie van silicose zal de kans op longkanker verminderen (SCOEL – Sum doc 94-final, Juni 2003).

12. ECOLOGISCHE INFORMATIE

Ecotoxiciteit: Ecotoxicologische informatie is niet bekend. Het is waarschijnlijk dat door pH verschuiving effecten in aquatische ecosystemen mogelijk zijn.
Mobiliteit: Aangenomen mag worden dat het eluaat van SVI-vliegass metalen zal bevatten.

13. INSTRUCTIES VOOR VERWIJDERING

13.1. Restafval / ongebruikte producten	
	Voer ongebruikt en gemorst product af naar een erkende verwerker in

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegass		Pagina: 6 van 7
Opgesteld door: IndusTox Consult (fj)	Versie: 1.0	
	Uitgave d.d.: 30-06-2011	

	het kader van de Europese Afvalstoffenlijst en de besluiten melden c.q. inzamelen van afvalstoffen,
--	---

13.2. Verpakking	
	Geen bijzondere eisen. Gebruik afgesloten transportverpakking

14. INFORMATIE OVER HET VERVOER

UN-nummer en klasse:	Geen
ADR/ADNR/RID:	Vrijgesteld
Algemeen:	Transport over de weg in silo-auto's. Transport over water in afgedichte bulkschepen. Transportmiddelen uitrusten met adequate stofafvangvoorziening. Bij laden/lossen persoonlijke beschermingsmiddelen gebruiken.

15. WETTELIJK VERPLICHTE INFORMATIE

EG classificatie:	Indicatieve EURAL-code 19.01.14
SZW-lijst kankerverwekkende stoffen	Het product bevat respirabel kwarts. Respirabel kwarts staat op de SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen en processen.
EG-gevarenaanduiding:	EG-Regelgeving van gevaarlijke stoffen is niet van toepassing omdat het een afvalstof betreft. Conform de classificatie van de Industrial Mineral Producers Association (IMA) is dit product geclassificeerd als niet-gevaarlijk.

16. OVERIGE INFORMATIE

16.1. Overige informatie	
IMA classificatieregels voor kwarts	De Industrial Minerals Producers (IMA) hebben gezamenlijk vastgesteld dat respirabel kristallijn silica (= respirable crystalline silica = RCS) het beste als STOT RE Categorie 1 is te classificeren vanwege het silicose-gevaar. STOT betekent 'Specific Target Organ Systemic Toxicant', RE betekent 'Repeated Exposure'. Gebaseerd op wetenschappelijk bewijs is vastgesteld dat het in het algemeen noodzakelijk is om over langere tijd herhaaldelijk significante hoeveelheden RCS te inhaleren op de werkplek, voordat een mogelijk gezondheidseffect optreedt. Als gevolg van de classificatie zullen producten en mengsels die RCS bevatten, ongeacht of dit een onzuiverheid is, een additief of een bestanddeel, geclassificeerd worden als: - STOT RE 1, als de RCS concentratie gelijk of groter is dan 10%; - STOT RE 2, als de RCS concentratie ligt tussen 1 and 10%.

MATERIAL SAFETY DATA SHEET		
Volgens EU richtlijn nr. 1907/2006 en nr 1272/2008 en 453/2010		
SVI Vliegass		Pagina: 7 van 7
Opgesteld door: Industo Consult (fj)	Versie: 1.0 Uitgave d.d.: 30-06-2011	
Social dialogue Agreement on RCS: Akkoord over de Bescherming van de Gezondheid van de Werknemers door Correct hanteren en juist Gebruik van Kristallijn Silica en Producten die Kristallijn Silica bevatten	In 2006 hebben de werkgever- en werknemersorganisaties van 14 industriële bedrijfstakken een zogenaamde "Good Practice Guide" ontwikkeld, gericht op de gezondheidsbescherming van werknemers door goede werkwijzen en veilig gebruik van kristallijn silica and producten die deze stof bevatten. Dit is de basis van de "Social Dialogue Agreement". Het bevat 65 taaksheets die goede praktijken beschrijven voor vele verschillende werkhandelingen. De taaksheets geven passende beheersmaatregelen, die werkgevers kunnen gebruiken om de blootstelling aan respirabel kristallijn silica (RCS) to a minimum terug te brengen. Het akkoord is gepubliceerd in het EC Official Journal (OJ 2006/C279/02) en is vertaald in 22 talen. Het akkoord was aanleiding tot de grootste bewustwordingscampagne to nu toe, over de gevaren en het risico van blootstelling aan RCS. Het akkoord omvat een 2-jaarlijkse evaluatie over de toepassing in de praktijk en de zichtbare effecten op de relevante werkplekken. De ondertekenaars hebben zich verplicht om onderzoek te stimuleren van het risico van blootstelling en om periodiek de "Good Practice Guide" te vernieuwen en aan te vullen. Meer informatie is te vinden op: www.nepsl.eu.	
Training en instructie veilig werken	Werknemers moeten worden geïnformeerd de gevaren van het product en een training krijgen in veilige werken met het product onder de van toepassing zijnde regels. Voor een veilige hantering van dit product dient u de informatie uit dit veiligheidsinformatieblad onder de aandacht te brengen van het personeel dat met dit product werkt.	
Aansprakelijkheid	Dit veiligheidsinformatieblad geeft de belangrijkste gezondheids-, veiligheids- en milieu-aspecten weer van dit product. De gegevens zijn gebaseerd op onze kennis met betrekking tot het betreffende product op de datum van uitgifte. Deze zijn te goeder trouw opgenomen. De gegevens zijn voor zover ons bekend correct en volledig op het moment dat deze MSDS is samengesteld. De producent wil er echter met nadruk op wijzen dat de verantwoordelijkheid bij de gebruiker ligt en daarom geen enkele aansprakelijkheid aanvaardt voor schade in welke vorm dan ook ontstaan door het verkeerd gebruiken van gegevens uit dit MSDS. Desalniettemin zal het op de juiste wijze gebruiken van het product een optimale veiligheid waarborgen. Dit blad is afgestemd op de Europese en de Nederlandse regelgeving. De wettelijke Nederlandse regels zijn niet in het buitenland geldig.	

BIJLAGE 3

ONDERZOEKSRAPPORT PROEVEN

GARMERWOLDE

INLEIDING

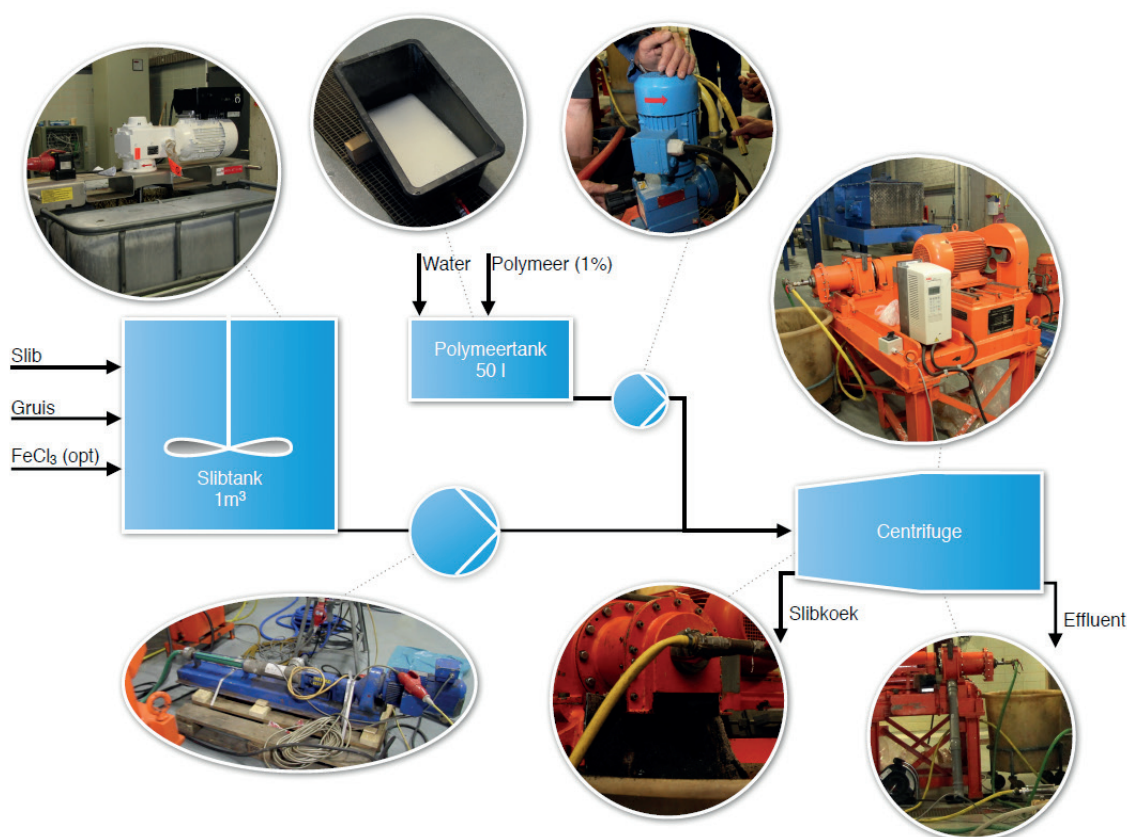
In de eerste week van juli 2012 zijn op rwzi Garmerwolde gedurende 3 dagen proeven uitgevoerd met een pilot-schaal-centrifuge (170 liter/uur) om de combinatie van gruisontwatering met een decanterende centrifuge te testen. Deze bijlage beschrijft de behaalde resultaten en laat zien hoe deze vertaald zijn naar de praktijksituatie met grotere centrifuges. Tijdens de proef zijn experimenten gedaan met slibas (SNB), kolengruis (Enerco, 70% ds) en gedroogde slibkorrels (SCT).

EXPERIMENTELE OPSTELLING

De experimenten in Garmerwolde zijn uitgevoerd met een kleine decanterende centrifuge die door Andritz B.V. beschikbaar is gesteld. Het slib voor de proeven is onttrokken aan de uitgaande stroom van de vergister, wat betekent dat het slib bestaat uit een mix van lokaal vergist, extern vergist, primair en secundair slib. Door de relatief lange verblijftijd in de vergister (20 dagen) is aangenomen dat het slib gedurende de proeven (3 dagen) constant van kwaliteit is.

FIGUUR 60

SCHEMATISCHE OPSTELLING VAN DE CENTRIFUGEPROEVEN IN GARMERWOLDE



Het slib is in vaten van 1 kubieke meter gemengd met gruis (kolen of as) en eventueel ijzerchloride (65g/kg droog slib). Vanuit deze vaten is het slib met een monopomp gedoseerd aan de centrifuge (170 l/uur). Voor de centrifuge is aan deze stroom ook polymeer gedoseerd (12g/kg ds slib, 0,25% basisoplossing). Met deze instellingen is het referentiescenario bepaald zonder gruis. Dit leverde een drogestofgehalte van 16,3% op zonder ijzerchloride en 18,6% met ijzerchloride.

VERGELIJKING MET PRAKTIJKINSTALLATIES

De relatief lage drogestofgehaltenes van de testcentrifuge zijn het gevolg van het formaat van de centrifuge, want deze centrifuge heeft een trommeldiameter van 15 cm, tegen 70 cm voor praktijkinstallaties. Daarom wordt ondanks het hogere toerental (4200 RPM versus 3000 RPM), slechts een derde van de G-krachten van een normale centrifuge behaald, hetgeen direct van invloed is op het drogestofgehalte.

Om de resultaten te vergelijken met de huidige rendementen in de praktijk (23% ds voor centrifuges [10]) kunnen deze met $(23/16,1=1,41)$ vermenigvuldigd worden. In de beschrijving van de resultaten hieronder zijn de resultaten niet naar de praktijksituatie geschaald, maar in de berekeningen voor de business cases van de verschillende eindverwerkers is dit wel het geval.

RESULTATEN MET KOLENGRUIS

Met kolengruis zijn drie series aan experimenten uitgevoerd:

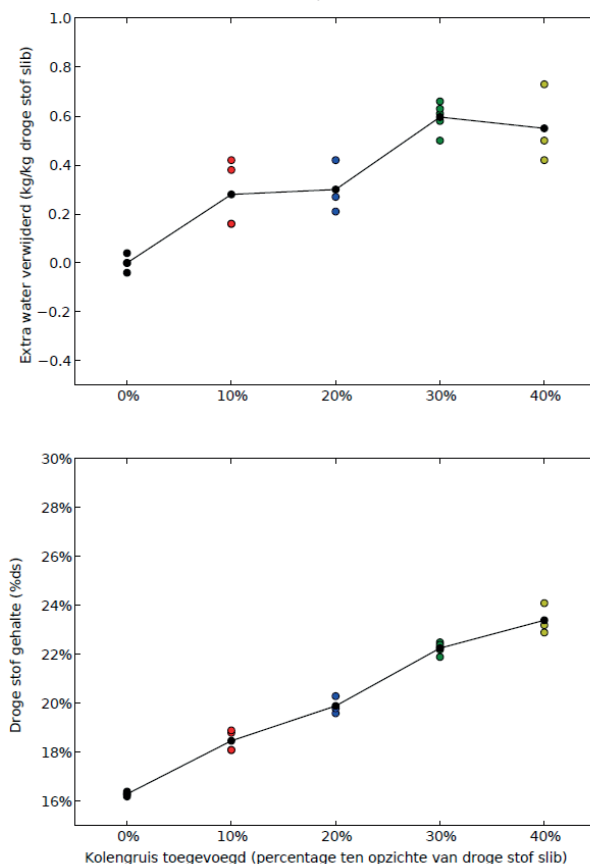
- invloed kolengruis zonder FeCl_3 ;
- invloed kolengruis bij FeCl_3 -dosering op basis van fosfaat (22 g/kg ds);
- invloed van kolengruis bij huidige FeCl_3 -dosering (65 g/kg ds).

Bij elke serie experimenten is de hoeveelheid kolen tussen de 10 en 40% gevarieerd, waarbij het percentage de fractie toegevoegde kolen op basis van het drogestofgehalte slib is. Bij 10% toegevoegd kolengruis wordt er dus 100 gram kolengruis per kg droog slib gedoseerd.

KOLENGRUIS ZONDER IJZERCHLORIDE

Het ontwateringsrendement verbeterd van 16% naar 23% door het toevoegen van 30% kolengruis (zonder het toevoegen van ijzerchloride). In de experimentele centrifuge werd hierbij per kilogram slib ongeveer 600 gram extra water verwijderd. Ter indicatie, omgerekend naar de verwachte praktijkresultaten verbeterd de ontwatering van 23,1% naar 32%. Figuur 61 laat zien hoe de ontwatering verbeterd tegen de hoeveelheid toegevoegd kolengruis.

FIGUUR 61

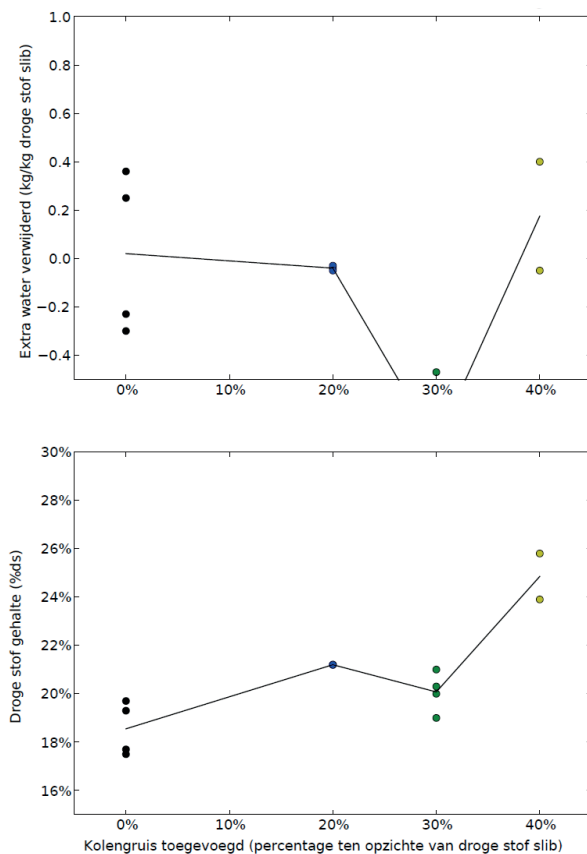
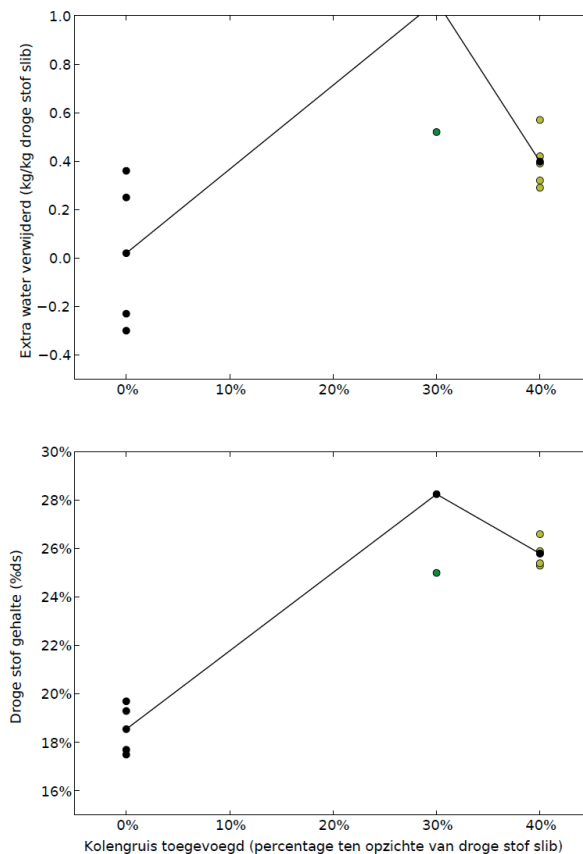
ONTWATERING MET KOLENGRUIS ZONDER FeCl_3 

KOLENGRUIS MET IJZERCHLORIDE

Bij deze experimenten is ijzerchloride in eerste instantie gedoseerd om al het fosfaat te binden. Hierbij is - op basis van een fosfaatmeting van het slib - gekozen voor een dosering van 22 g/kg ds slib. Daarnaast zijn ook experimenten gedaan met de huidige ijzerchloridedosering van 65 g/kg ds slib. Het basis ontwateringsrendement (zonder gruis) van de centrifuge bij deze experimenten ligt op 18,6%, als gevolg van het toevoegen van ijzerchloride.

Bij het toevoegen van ijzerchloride op basis van de hoeveelheid te binden fosfaat (22 g/kg ds) in combinatie met kolengruis leverde in de proeven wel een hoger drogestofgehalte op, maar de verbetering is niet zodanig dat er ook daadwerkelijk meer water per kilogram slib verwijderd wordt. Bij de experimenten met 30% toegevoegd kolengruis blijft er per kilogram slib zelfs meer water over dan zonder het toevoegen van gruis (zie Figuur 62).

Een belangrijke opmerking bij de resultaten met 22 g/kg ds ijzerchloride en 30% kolen is dat er tijdens deze experimenten problemen met de centrifuge zijn geweest waardoor de experimenten tijdelijk gestopt zijn en de centrifuge tussendoor schoon gemaakt is. Mogelijk biedt dit een verklaring voor de slechte resultaten, zeker in vergelijking met de resultaten die onder dezelfde condities in het laboratorium behaald zijn.

FIGUUR 62 ONTWATERING MET KOLENGRUIS MET 22 G/KG DS FeCl_3 FIGUUR 63 ONTWATERING MET KOLENGRUIS MET 65 G/KG DS FeCl_3 

Bij een ijzerchloridedosering van 65 g/kg ds slib wordt met gruisontwatering tot 1 kg meer water verwijderd dan bij de situatie zonder gruisontwatering. De resultaten zijn vooral bij 30% toevoeging van kolengruis erg hoog. Dit is te danken aan 1 meting met een zeer hoog drogestofgehalte (31%, vergelijkbaar met 44% op een grote centrifuge), de reden hiervoor is nog onduidelijk en zal verder onderzocht moeten worden. Zie Figuur 63 voor een overzicht van de resultaten.

RESULTATEN MET SLIBAS

Met slibas zijn twee series aan experimenten uitgevoerd:

- invloed as zonder ;
- invloed as bij huidige -dosering (65 g/kg ds).

Het meest opmerkelijke resultaat van deze proeven is dat - in tegenoverstelling tot kolengruis - de ontwatering zonder ijzerchloride geen verbetering van de ontwatering oplevert, maar dat ontwatering met ijzerchloride de ontwatering juist wel verbeterd.

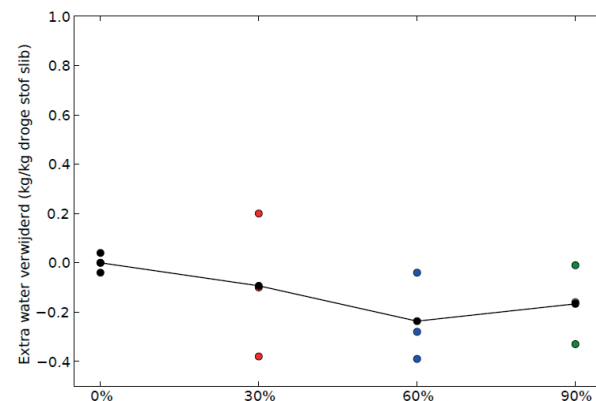
AS ZONDER IJZERCHLORIDE

Gruisontwatering met slibas zonder ijzerchloride levert geen verbetering van de ontwatering op. Dit is getest in een bredere range van toevoegingen (30%, 60%, en 90%). De toename van het drogestofgehalte neemt lineair toe, maar dit is niet voldoende om de toegevoegde as-deeltjes te compenseren. Dit is opvallend, omdat bij gruisontwatering met kolengruis juist wel een verbetering van de ontwatering behaald wordt. De resultaten worden weergegeven in Figuur 64.

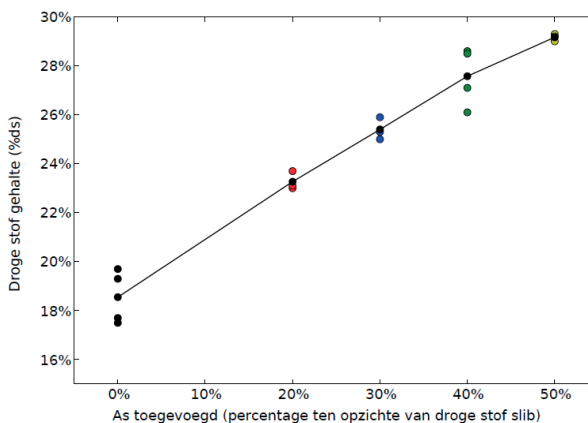
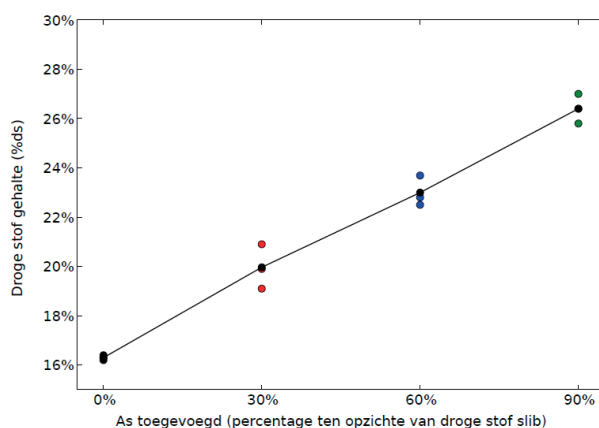
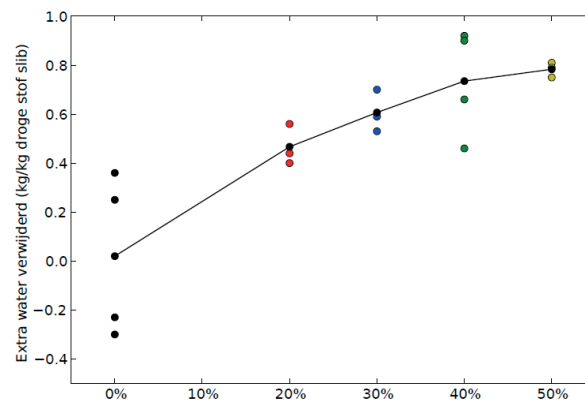
AS MET IJZERCHLORIDE

Bij gruisontwatering met een combinatie van as en ijzerchloride (65 g/kg ds) verbeterd de ontwatering - in tegenstelling tot kolengruis - aanzienlijk. Hier is een duidelijke stijgende lijn te zien in het extra verwijderde water, wat zelfs bij deze lage G-krachten tot 0,8 kg extra water per kg slib verwijderd. Dit leidt tot droge stof percentages van 29% (vergelijkbaar met 41% op praktijkschaal). De afnemende helling in Figuur 65 laat zien dat het toevoegen van nog meer as waarschijnlijk niet veel meer water zal verwijderen.

FIGUUR 64 ONTWATERING MET SLIBAS ZONDER $FeCl_3$



FIGUUR 65 ONTWATERING MET AS MET 65 G/KG DS $FeCl_3$



GEDROOGD SLIB ALS GRUISHULPSTOF

Als proef is bij de experimenten ook getest of het toevoegen van gedroogde slibkorrels - verzorgd door SC Technology - als gruis kan dienen voor gruisontwatering. Hierbij zijn 2 experimenten uitgevoerd met 30% slibkorrels per kg droog slib. De slibkorrels komen uit de interne retourstroom van de droger en hebben een kleinere deeltjesgrootte vergeleken met het uiteindelijke product. De exacte deeltjesgrootte verdeling is niet gemeten.

De resultaten van deze experimenten zijn weergegeven in Tabel 32. Uit de resultaten is duidelijk dat de ontwatering met slibkorrels goed werkt, met als resultaat een drogestofgehalte van 26,5% t.o.v. 18,6% zonder gruis in deze centrifuge. Het 'vertalen' van deze resultaten naar de verwachte praktijkresultaten levert een drogestofgehalte op van 37-38%.

TABEL 32

PROEVEN MET GEDROOGDE SLIBKORRELS ALS GRUIS

PE (kg/kg ds)	FeCl ₃ (kg/kg ds)	Gruisfractie	Type		
12	65	30%	Slib	26,2%	37%
12	65	30%	Slib	26,8%	38%

Het toepassen van gedroogd slib als gruis levert een bijzonder voordeel boven gruisontwatering met externe stoffen, namelijk dat de hoeveelheid gedroogd slib bij verwerking door een slibdroger niet veranderd en dat het geleverde eindproduct droger is, maar verder in compositie gelijk blijft. Dit zorgt voor lagere transportkosten en betere mogelijkheden voor fosfaatterugwinning.

Doordat de bovenstaande resultaten op slechts 2 metingen zijn gebaseerd zijn deze indicatief en wordt aangeraden aan om dit verder te verifiëren.

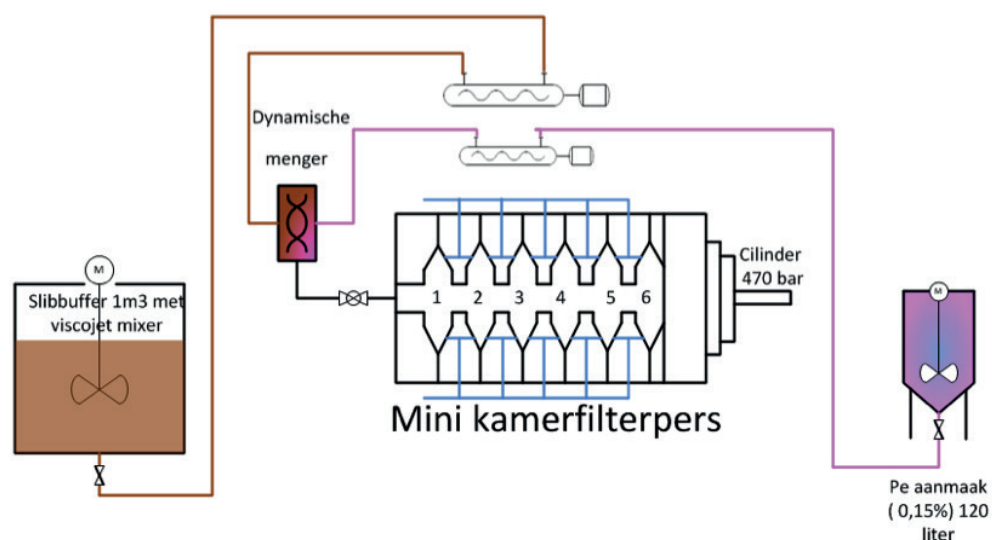
BIJLAGE 4

ONDERZOEKSRAPPORT PROEVEN HEERENVEEN

INLEIDING

In januari van 2013 zijn op rwzi Heerenveen van Wetterskip Fryslân proeven uitgevoerd op pilotschaal met een mini-kamerfilterpers (mini-KFP) (Figuur 66).

FIGUUR 66 SCHEMATISCHE OPSTELLING VAN DE KAMERFILTERPERSPROEVEN IN HEERENVEEN



Deze pers kent eenzelfde opbouw als de grotere praktijk varianten. Slib wordt hierbij in kamers geperst vanuit een 1 m³ mechanisch-geroerd slibvat (zie Figuur 67). De kamers zijn voorzien van filterdoeken. Deze doeken houden slib ds tegen, en laten water door. Wat uiteindelijk achterblijft in de kamers is de filterkoek.

FIGUUR 67 1 M³ MECHANISCH-GEROERD SLIBVAT ZOALS GEBRUIKT



De kamerfilterpers zoals gebruikt, kent vergelijkbare instellingen als de grote variant, zo wordt het slib er met een druk tot 15 bar ingeperst, worden de platen (welke de kamers vormen) bij elkaar gehouden door een sluitdruk van 400-500 bar, zijn de doeken qua poriegrootte gelijk (0,6 micron), en ook de dikte van de koeken is gelijk aan de koeken van de grotere persen (3 mm). Enig verschil is dat er minder platen zijn, en er minder vierkante meters (filtrerend oppervlakte) bestreken worden per plaat. Voor de PE-aanmaak was een apart vat van 120 liter aanwezig dat motorisch geroerd kon worden. Het doseren van coagulant vond handmatig plaats in het slibvat.

Het aantal kamers en het plaatoppervlak samen met de kamerdiepte bepaalt de capaciteit van een pers. De grote kamerfilterpersen in Heerenveen tellen 125 (pers 1-2) of 155 (pers 3-4) kamers van 1,5 bij 1,5 meter, met een kamerdiepte van 3,0 mm. Hierbij zit aan beide kanten van een kamer een filterdoek. Na aftrek van de schuine hoeken (Figuur 68) en het gat in het midden van een plaat, blijft er per kamer een filtrerend oppervlak van 3,70 m² over.

FIGUUR 68

VERSCHILLENDE PLATEN VOOR KAMERFILTERPERSEN



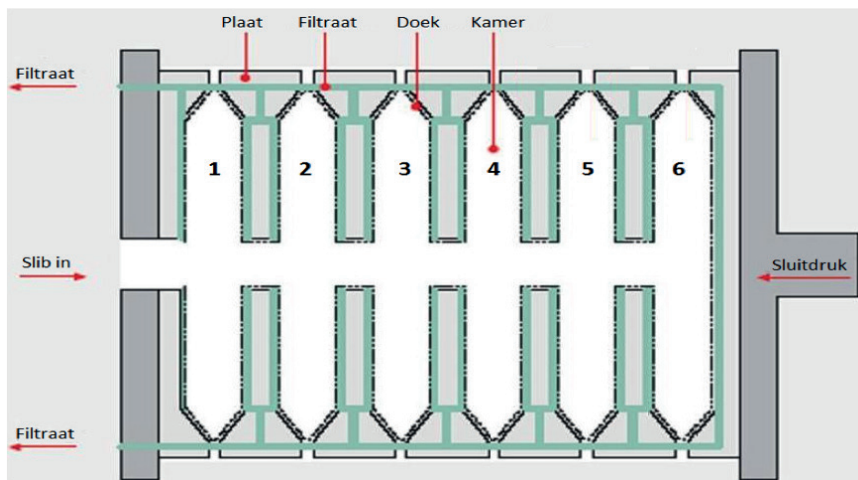
Dit betekent dus dat praktijkpers 1 en 2 in totaal 462 m² en pers 3 en 4 in totaal 573 m² filtrerend oppervlak hebben. De inhoud van alle kamers opgeteld bij pers 1 en 2 is 6,57 m³, voor pers 3 en 4 is dit 8,15 m³.

Het aantal kamers is bij de mini KFP te variëren. In dit onderzoek is gekozen voor een opzet met 6 kamers van 47 bij 47 cm. Bij deze kamers moet eveneens het filteroppervlak worden verminderd met de hoeken en de vulopening in elke kamer. Dit geeft een filtrerend oppervlakte van 32 dm² per kamer, dus 1,92 m² totaal. De kamerdiepte is ook hier 3,0 mm, wat resulteert in een inhoud per kamer van 4,4 dm³ (liter) en 26,4 dm³ totaal.

De capaciteit per persing van de mini-KFP is een 350-400 liter slib, bij gebruik van alle 12 kamers. Bij het gebruiken van de helft van de kamers, is dit 175-200 liter. Voor de referentiemetingen is 7 g per kg ds slib aan PE en 65 g per kg ds slib ijzerchloride gebruikt. Deze flocculant- en coagulantdosering is overgenomen van de praktijkschaal kamerfilterpersen in Heerenveen.

Zoals in Figuur 69 weergegeven, wordt ook de mini-kamerfilterpers vanaf één kant gevuld met slib. Dit slib belandt in de eerste kamer. Vanuit een opening in het midden van een plaat vult zal dit slib vervolgens kamer 2, vanuit daar kamer 3, en zo door. Deze kamernummering is in dit onderzoek overal op dezelfde wijze gebruikt.

FIGUUR 69 ONTWATERING KFP SCHEMATISCH



Bij een volle persing zal water (geholpen door drukverschil) een weg richting de filtraatuitlaat weten te vinden. De ruimte van dit uitstromende water is dan al ingenomen door nieuw inkomend slib. De kamers het dichtst bij de vulopening krijgen telkens slib met een laag drogestofgehalte, het slib dikt daarna tijdens zijn weg door de kamers steeds verder in.

SLIBVERWERKING HEERENVEEN

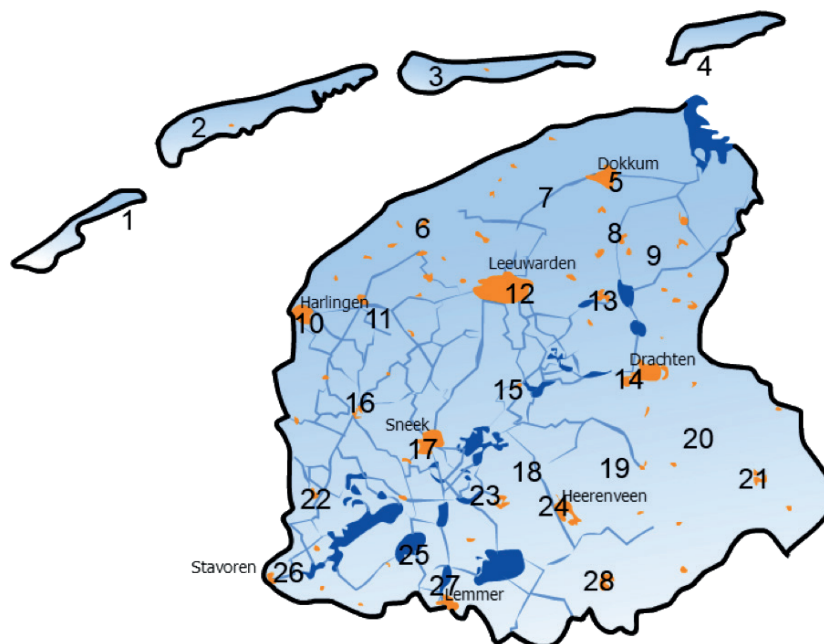
Rwzi Heerenveen van Wetterskip Fryslân verwerkt circa 400.000 ton slib per jaar. Dit slib heeft bij verwerking in Heerenveen een gemiddeld drogestofgehalte van 3,65%. Het organisch deel in het ds slib is ongeveer 75%. Dit betreft een mix van primair en secundair slib. Het zuiveringsslib komt van 28 rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) verspreid over de gehele provincie Friesland (Figuur 70):

1. Vlieland;
2. Terschelling;
3. Ameland;
4. Schiermonnikoog;
5. Dokkum;
6. Sint Annaparochie;
7. Burdaard;
8. Damwoude;
9. Kootstertille;
10. Harlingen;
11. Franeker;
12. Leeuwarden;
13. Burgum;
14. Drachten;
15. Grouw;
16. Bolsward;
17. Sneek;

18. Akkrum;
19. Gorredijk;
20. Wijnjewoude;
21. Oosterwolde;
22. Workum;
23. Joure;
24. Heerenveen;
25. Sloten;
26. Warns;
27. Lemmer;
28. Wolvega;

FIGUUR 70

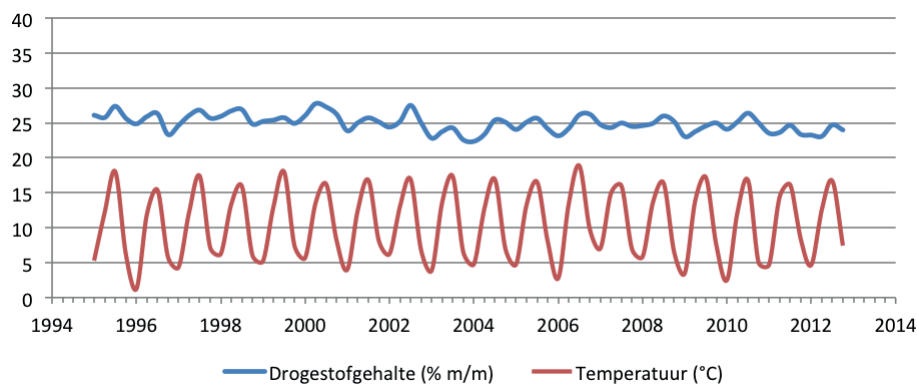
RWZI'S WETTERSKIP FRYSLÂN



Het zuiveringsslib wordt per vrachtauto of per schip aangeleverd. Van alle 28 rwzi's zijn er 4 die uitgerust zijn met een slibgisting (Leeuwarden, Drachten, Burgum en Franeker). Al het slib wordt middels de 4 kamerfilterpersen verwerkt en ingedikt tot een hoeveelheid van 62.500 ton slibkoek met een gemiddelde drogestofgehalte van 24% (Figuur 71). Hierbij wordt 7 g/ kg ds slib aan PE en 65 g/kg ds slib ijzerchloride gebruikt.

FIGUUR 71

DROGESTOFGEHALTES SLIBKOEK RWZI HEERENVEEN VAN 1995 TOT EN MET 2012



De slibkoek werd ten tijde van de proeven opgehaald met vrachtwagens en verwerkt door SC Technology Nederland B.V. waar het met droogtrommels werd gedroogd tot een drogestofgehalte van 92%. Hierna ging het naar de eindverwerking van Heidelberg Cement in Maastricht.

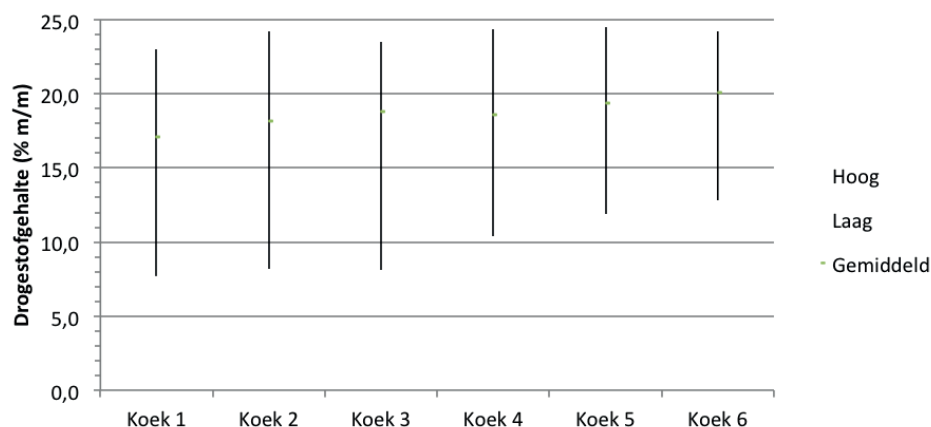
RESULTATEN MINI-KAMERFILTERPERSPROEVEN

Voordat de proeven met gruis toevoeging plaatsvonden, zijn een reeks referentie metingen gedaan (Figuur 72). Er is te zien dat bij de referentie metingen drogestofgehaltes van tussen de 8 en 24% droge stof behaald zijn. Dit betekent dat er een mogelijke afwijking in de metingen zat van $(24/8 * 100 =) 300\%$. Wanneer de 5% beste en 5% slechtste metingen niet mee worden genomen, werden ds-gehaltes van 15 tot 22% ds gemeten. Voor deze metingen geldt een mogelijke afwijking van $(22/15 * 100 =) 147\%$. Dit betekent dat de resultaten die behaald zijn met de mini-kamerfilterpers sterk kunnen variëren. Er kan dus alleen gesproken worden van indicatieve resultaten.

Daarnaast laat Figuur 72 zien dat er gemiddeld een verschil in drogestofgehalte zit tussen de eerste koek en de zesde koek. Om deze reden is voor het aangeven van behaalde drogestofgehaltes altijd gewerkt met een gewogen gemiddelde van drogestofgehaltes van de zes gebruikte platen.

FIGUUR 72

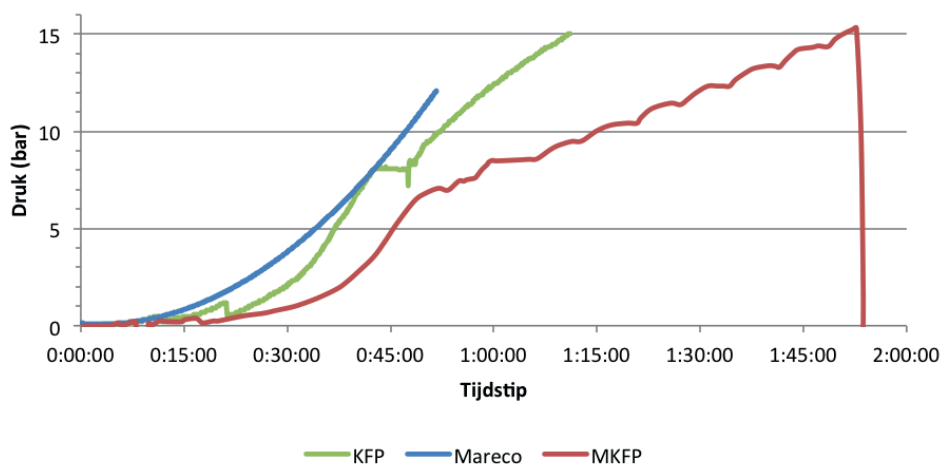
ONTWATERINGSRESULTAAT REFERENTIEMETING ZONDER GRUIS VAN VERSCHILLENDE KAMERS



Ontwatering van slib gebeurt in een kamerfilterpers onder een toenemende druk. Naar deze karakteristieke drukopbouw per tijdseenheid wordt gerefereerd als de perscurve. Voor de praktijk en de mini kamerfilterpers zijn deze perscurves grotendeels gelijk. Figuur 73 illustreert dit, hierin is de druk uitgezet tegen de tijd voor beide persen.

FIGUUR 73

PERSCURVES VAN DE MARECO-PERS, DE MINI-KFD EN DE PRAKTIJK-KFP



Tijdens het ontwateringsproces van slib in een kamerfilterpers creëert de droge stof in het slib een filtrerende laag op het doek. Met andere woorden, het slib dat ontwaterd wordt speelt zelf een rol in de filtratie.

Bij aanvang van een perscyclus kan worden waargenomen dat slibdeeltjes doorslaan in het filtraat. Wanneer er zich eenmaal een dunne laag heeft gevormd op de doeken zal dit gehalte droge stof in het filtraat afnemen. Als gevolg van de laagopbouw neemt de weerstand geleidelijk toe. Om de slibinvoer constant te houden, moet de druk geleidelijk worden opgevoerd. Door de drukverhoging worden de slibdeeltjes in de laag op het filterdoek in elkaar gedrukt, waardoor de nominale poriegrootte afneemt. De afname van de poriegrootte heeft een grotere weerstand tot gevolg, waardoor de druk weer verder moet worden opgevoerd. De indikking van het slib in de kamers, en de laagopbouw vlak op het filterdoek zorgen voor een steeds sterker afnemende doorlaat. Hierdoor wordt de weg van het water naar het filtraat steeds moeilijker. Uiteindelijk is de benodigde energie om een liter slib te ontwateren te hoog, is de doorstroom te laag, en wordt de cyclus gestopt.

Voor zowel de mini KFP als de praktijk KFP loopt, nadat de pers gevuld is met slib, de druk over een 50 minuten op tot 15 bar. Op dit moment wordt de pers gestopt. Ook is bovenstaand de perscurve van de Mareco-pers uitgezet in de tijd, omdat de Mareco-pers normaliter een chargetijd heeft van 310 seconden (5 minuten), is de perstijd en drukopbouw vermenigvuldigd met een factor 10. Op deze manier is te zien dat ook de Mareco-pers een vergelijkbare perscurve heeft.

De chargetijd van de mini-kamerfilterpers is in deze grafiek langer dan die van de praktijk-KFP. Dit is niet altijd het geval. De perstijden van de praktijk-KFP en de mini-KFP variëren tussen de 1 uur 15 minuten en 1 uur 45 minuten.

GRUISONTWATERING OP DE MINI-KAMERFILTERPERS

Zoals eerder besproken liepen de drogestofgehaltes van de referentie metingen sterk uiteen. Dit was ook het geval voor de metingen met gruis toevoeging. Hierbij lagen de ds-gehaltes tussen de 23 en 35%. Voor deze resultaten is gewerkt met een PE-dosering van 9,4 g/kg ds slib en een ijzerchloridedosering van 65 g/kg ds slib. Verder is gewerkt met een gruisdosering van 450 g/kg ds slib, omdat in Heerenveen het aandeel organisch materiaal in het slib hoger is dan in Garmerwolde (75% tegenover 56%). Wanneer uitgegaan wordt van deze verhouding,

dient $(75/56 * 333 =) 450$ g gruis/kg ds slib gedoseerd te worden op basis van organische droge stof. De minimale en maximale resultaten van de referentie metingen en de gruis metingen staan in Tabel 33.

TABEL 33

SPECIFIEKE MASSASTROMEN VOOR MECHANISCHE ONTWATERING, MINI-KFP

	Min. Ref	Max. Ref	Min. Gruis	Max. Gruis
Ds-gehalte	15%	22%	23%	35%
Water (kg)	5,67	3,55	4,85	2,70
Slib ds (kg)	1	1	1	1
Gruis (kg)	0	0	0,45	0,45
Totaal gewicht (kg)	6,67	4,55	6,30	4,15

In de tabel is te zien dat voor de minimale en maximale resultaten van gruisontwatering op de mini kamerfilterpers tussen de 0,9 en 0,85 kg water per kg ds slib extra verwijderd wordt. Echter door de grote variatie in drogestofgehaltes zoals aangegeven voor de referentie metingen kunnen deze resultaten alleen gezien worden als indicatie. Deze variaties kunnen komen door veranderende slibeigenschappen. In Heerenveen wordt slib uit 28 verschillende rwzi's verwerkt. Niet elke dag vindt van alle 28 rwzi's een siblevering plaats. Hierdoor zijn slibeigenschappen voor opeenvolgende dagen nooit gelijk. Daarnaast lagen ook de ds-resultaten van metingen met slib van dezelfde dag sterk uiteen, wat aangeeft dat er niet onderzochte variabelen een rol spelen bij de testen met de mini kamerfilterpers.

CONCLUSIE

Doordat ds-metingen zowel voor referentiemetingen zonder gruis als de metingen met gruis sterk uiteenlopende drogestofgehaltes gaven, kan geen eenduidige kwantitatieve conclusie getrokken worden over de werking van gruisontwatering op de mini kamerfilterpers. Kwalitatief kan wel gezegd worden dat gruisontwatering een positief effect heeft op de ontwatering van slib.

BIJLAGE 5

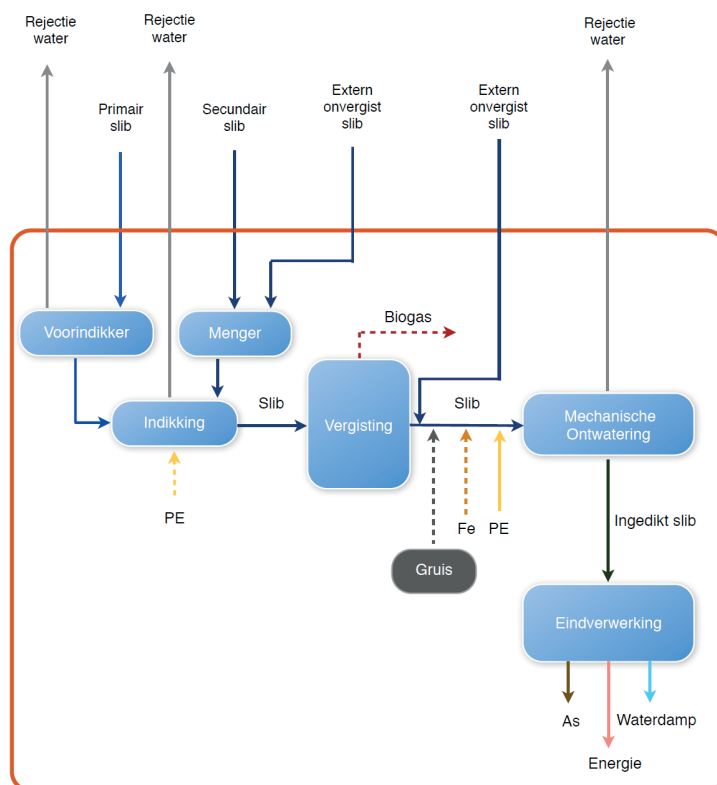
MODEL BESCHRIJVING

INLEIDING

Om tot een goed beeld te komen van de voordelen van gruisontwatering is een model gemaakt op basis van de sliblijn van rwzi Garmerwolde (Figuur 74).

FIGUUR 74

SLIBLIJN GARMERWOLDE SCHEMATISCH



Het model is gemaakt in Microsoft Excel en is eenvoudig aan te passen om andere situaties (rwzi's) te modelleren. Zo kunnen verschillende manieren van ontwateren worden ingesteld, kunnen verschillende eindverwerkingsmethoden worden bekeken en kan het effect van vergisting worden gemodelleerd. Ook kan bekeken worden wat het effect van gruisontwatering op de gehele keten is. Het model is te downloaden op: www.gruisontwatering.nl

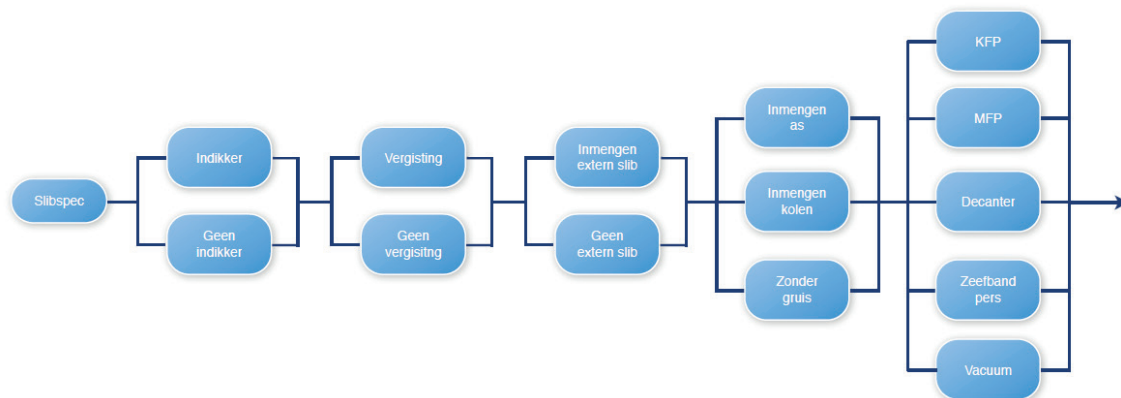
Deze bijlage is de leeswijzer van het model. Het beschrijft de overwegingen en de toepassingsmogelijkheden.

MODELOVERZICHT

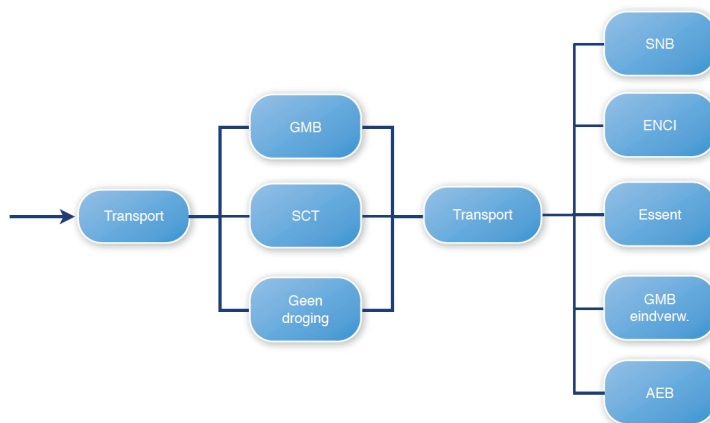
Het model loopt de verschillende processtappen na die afgebeeld zijn in Figuur 75 en Figuur 76. In het model is de SNB als referentie genomen voor slib-monoverbranding, de ENCI is als referentie genomen voor bijstook in een cementoven, Essent (Amercentrale) is als referentie genomen voor bijstook in een kolencentrale, GMB is als referentie genomen voor compostering en de AEB is als referentie genomen voor bijstook in een afvalverbrandingsoven.

Voor iedere processtap is in het model een tabblad gemaakt. In de tabbladen zijn de invoervelden voor de variabelen oranje gearceerd. Zo kan een vergister aan en uit worden gezet en kunnen verschillende droge stof percentages ingevoerd worden aan de hand van lokale resultaten met ontwateringsapparatuur. Hieronder worden de verschillende tabbladen stapsgewijs besproken, zodat duidelijk is wat de mogelijkheden en aannames zijn.

FIGUUR 75 MODEL EERSTE DEEL SLIBKETEN



FIGUUR 76 MODEL TWEEDE DEEL SLIBKETEN



CONSTANTEN

In het eerste tabblad van het model zijn de constanten weergegeven. Het zijn constanten met betrekking tot verdampingswaarden, transportkosten, energie-inhoud van stoffen en rendementen van apparatuur. Achter de meeste constanten staat een bronvermelding. Hierbij zijn zoveel mogelijk de constanten uit de STOWA-slibketenstudies gebruikt. Wanneer het model gebruikt wordt om een specifieke slibketen te modelleren, kunnen de constanten aangepast worden voor gebruik in de betreffende keten. In de gevallen dat geen bronvermelding wordt weergegeven, gaat het om een empirische constante. Een voorbeeld hiervan is het droge stof percentage van kolen. Omdat er verschillende droge stof percentages kolen geleverd worden, kan hiervoor geen absolute waarde gegeven worden op basis van een bron. Het droge stof percentage kan dus altijd aangepast worden aan de hand van het gekozen product.

Omdat de data in dit tabblad gebruikt worden voor berekeningen verder in het model, is het niet aan te raden de getallen te verplaatsen. Wijzigingen aanbrengen in de oranje gearceerde vakken is wel mogelijk.

SCHEMA

In dit tabblad is het gekozen schema te zien. Het dient als een overzicht van de resultaten uit het model. De groen gearceerde procesonderdelen zijn in gebruik. Dit kan gewijzigd worden door verder in het model andere keuzes te maken. Zo kan bijvoorbeeld een kamerfilterpers worden gekozen in plaats van een decanterende centrifuge voor slibontwatering. Onder de verschillende processtappen staan de massa-, CO₂- en energiestromen die voortkomen uit het model. Op basis van deze totaalwaarden zijn de voordelen in de verschillende businesscases berekend.

Om een vergelijk te maken tussen een slibketen zonder gruisontwatering en met gruisontwatering, dient eerst de keten zonder gruisontwatering ingesteld te worden in het model. Dit kan door de hoeveelheid gruis in het tabblad 'gruis innemen' op nul te zetten. Vervolgens kan de keten zonder gruis toevoeging als referentie worden ingesteld, door in het tabblad 'schema' op de knop "Deze keten als referentie instellen" te drukken. Wanneer hierna in het tabblad 'gruis innemen' gekozen wordt voor een bepaalde hoeveelheid gruis, staan de verschillen in energiegebruik van warmte, elektriciteit, transport en chemicaliën in het tabblad 'schema' vermeld onder de kop: Voordeel t.o.v. referentieketen.

SLIBSPECIFICATIES

In het tabblad 'bandindikker', kan het droge stof percentage slib dat naar de vergisting gaat gespecificeerd worden. Ook kan ingevuld worden hoeveel PE wordt gebruikt en hoeveel energie de installatie gebruikt. In eerste instantie zijn deze gegevens ingevuld op basis van literatuurwaarden. Het model berekend vervolgens hoeveel water verwijderd wordt. Wanneer geen bandindikker gebruikt wordt, kan de optie "geen indikker" worden ingevoerd. In dit geval wordt het droge stof percentage uit het tabblad 'slibspec' gebruikt als ingaande stroom voor de vergister.

Het energieverbruik van de bandindikker is in het aangeleverde model niet direct van belang wanneer gekeken wordt naar het verschil in energieverbruik van de sliblijn met en zonder gruis. Deze optie is wel meegenomen, omdat gruisontwatering de mogelijkheid geeft om direct energie te produceren uit mechanisch ontwaterd slib. Wanneer deze energie nuttig wordt ingezet, kan een positieve waarde worden toegekend uit mechanisch ontwaterd slib. Bij een positieve slibwaarde, kan het voordeliger zijn om het slib niet te vergisten. Dit, omdat de bedrijfskosten van een vergistingsinstallatie erg hoog zijn. In het model kan daarom de vergisting uitgezet worden. In deze situatie hoeft het slib ook niet meer ontwaterd te worden met bandindikers. Dit scheelt in energieverbruik en PE-dosering. Bij de bandindikking is ook het energieverbruik om PE te produceren opgenomen. Dit, voor vergelijking in de delta-LCA.

VERGISTING

In het tabblad 'vergisting', kan een vergister worden opgenomen in het model. Het afbraakpercentage organische droge stof kan worden gespecificeerd. Dit percentage is afhankelijk van de efficiëntie van de vergister. In eerste instantie zijn hiervoor literatuurwaarden ingevuld.

Er wordt vanuit gegaan dat het geproduceerde gas nuttig wordt ingezet in een warmtekrachtkoppelinginstallatie (WKK). De warmte die hierbij geproduceerd wordt, wordt voor een deel gebruikt voor het verwarmen van de vergister. Er wordt vanuit gegaan dat de overgebleven warmte en geproduceerde elektriciteit nuttig kan worden ingezet.

Bij vergisting wordt in het model geen CO₂-productie van de vergister meegenomen. Dit, omdat de brandstof voor de vergister hernieuwbaar is. Daarnaast zijn geen bedrijfskosten van de vergister opgenomen. Wanneer een vergelijk wordt gemaakt van een slibketen met vergisting en zonder vergisting, dient achteraf rekening gehouden te worden met vaste kosten.

INMENGEN EXTERN VERGIST SLIB

In het tabblad 'extern vergist slib' kan worden aangegeven hoeveel extern vergist slib wordt bijgevoegd voor slibontwatering. Ook kunnen specificaties als drogestofgehalte en organisch gehalte van het extern vergiste slib worden gespecificeerd. In eerste instantie zijn hier de waarden van rwzi Garmerwolde ingevuld. Er wordt vanuit gegaan dat er geen CO₂-uitstoot voortkomt uit het inmengen van extern slib. De CO₂-uitstoot van het extern vergist slib komt terug in de uiteindelijke verbrandingsstap.

GRUIS INMENGEN

In het tabblad "gruis inmengen" kan worden aangegeven welk type gruis wordt toegevoegd. Wanneer de situatie zonder gruis toevoeging gemodelleerd wordt, dient de toegevoegde hoeveelheid gruis op 0 gezet te worden.

In eerste instantie staat een gruis toevoeging van 0,33 kg/kg ds slib ingevuld. Dit is de meest kosteneffectieve dosering die voortkomt uit de labresultaten.

ONTWATERING

In het tabblad 'ontwatering' kan gekozen worden voor verschillende ontwateringsmethoden:

- kamerfilterpers;
- membraanfilterpers;
- decanterende centrifuge;
- (zeef)bandfilterpers.

Het specifieke energieverbruik per kg ds, is ingevuld op basis van literatuurwaarden, maar kan gewijzigd worden.

Wanneer een ontwateringsmethode gekozen is, kijkt het model in het tabblad 'gruis inmengen' naar de hoeveelheid gruis die wordt ingemengd. Met deze hoeveelheid wordt vervolgens in de verschillende tabbladen voor ontwateringsapparatuur (kfp, mfp, decanteer, zbp) door het model gekeken naar het ontwateringsrendement op basis van de labresultaten. Met behulp van dit ontwateringsrendement, berekent het model het drogestofgehalte na mechanische ontwatering. Ook wordt per soort ontwateringsapparatuur rekening gehouden met verschillende doseringen conditioneringsmiddelen. Hierbij worden doseringen aangehouden die kunnen worden ingevoerd in de specifieke tabbladen voor ontwateringsapparatuur. In eerste instantie staan hier de literatuurwaarden ingevuld.

DROGING

In het tabblad 'droging' kan een keuze worden gemaakt tussen droging met behulp van gas (SCT), droging door compostering (GMB) of geen droging.

Voor droging met behulp van gas kan worden aangegeven tot welk percentage ds gedroogd wordt. Dit, om ook andere slibdrogers dan SC Technology te kunnen modelleren. Het model berekend vervolgens hoeveel energie het kost om de aangegeven hoeveelheid water te

verdampen. De energieconsumptie en droge organische droge stof consumptie waarden voor de GMB staan vast en komen uit het tabblad “GMB”.

In dit tabblad wordt afhankelijk van de gekozen manier van droging door het model gekeken in het tabblad ‘transport’. Het model berekend dus automatisch de transportafstand met bijbehorende energieconsumpties.

EINDVERWERKING

In het tabblad ‘eindverwerking’ kan een keuze gemaakt worden tussen:

- monoverbranding (SNB);
- bijstook in de cementindustrie (ENCI);
- bijstook in een kolencentrale (Amercentrale);
- bijstook in de afwerkingscentrale (AEB);

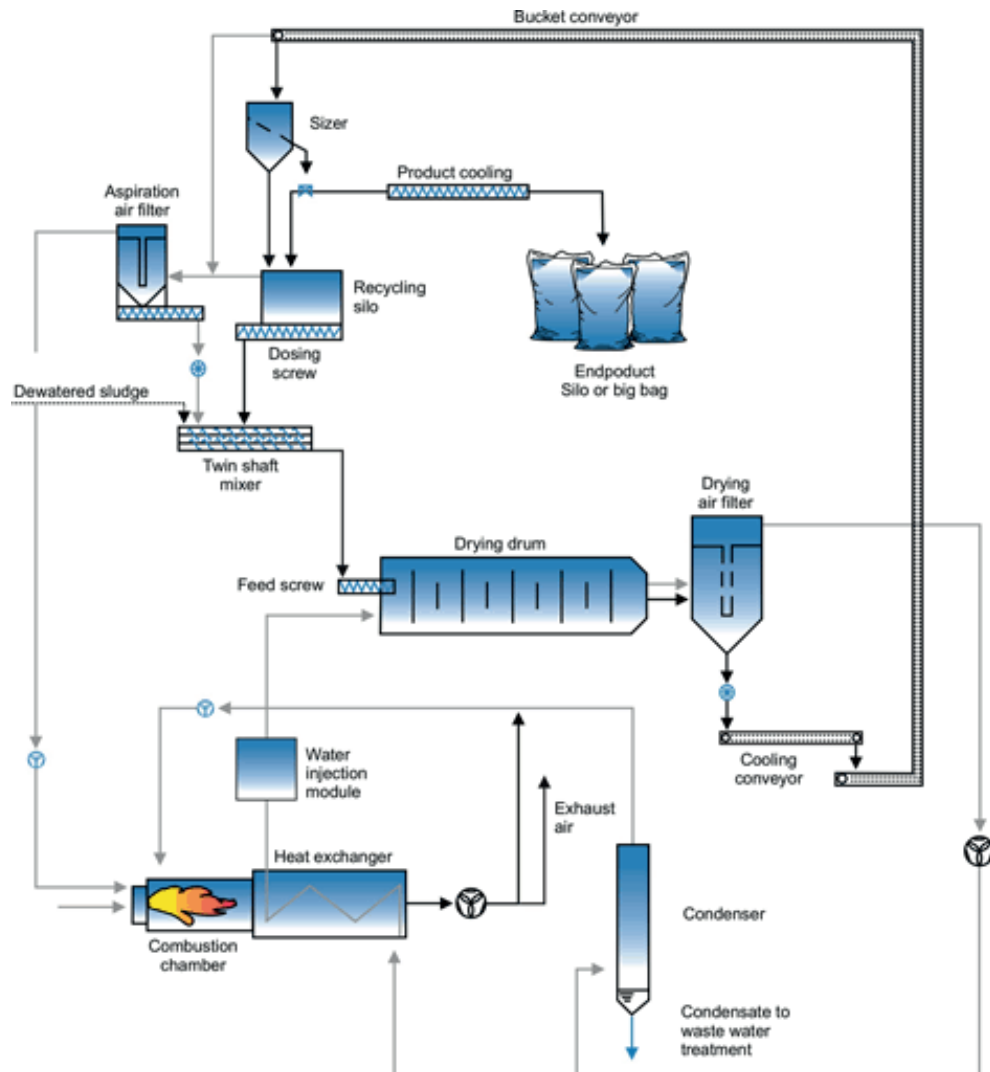
Wanneer gekozen wordt voor een eindverwerkingsroute, wordt door het model automatisch gekeken in het tabblad 'transport' naar de gemiddelde transport afstand. De gemiddelde transportafstanden komen voort uit de slibketenstudies van STOWA. In deze studies worden gemiddelde transport afstanden gegeven voor iedere eindverwerker.

BIJLAGE 6

DROOGPROCES SCT

Als voorbeeld van een droogproces is in het model de trommeldroger van SC Technology in Garmerwolde gemodelleerd. Het droogproces wordt weergegeven in Figuur 77.

FIGUUR 77 PROCES SC TECHNOLOGY SCHEMATISCH



De huidige slib-drooginstallatie neemt mechanisch ontwaterde slibkoek in met een droge stof percentage van rond de 23%. De slibkoek wordt gemixt met gedroogd slib tot een droge stof percentage van 55% tot 75%. Dit wordt gedaan om de adhesiefase te ontwijken.

Wanneer gruis wordt toegevoegd aan slib, levert dit een stof op met andere eigenschappen. Omdat er nog geen onderzoek gedaan is naar de verkleving van gruis-slib, kunnen geen conclusies worden getrokken met betrekking tot mogelijke verkleving. Dit geldt niet alleen voor het bijstoken van gruis-slib, maar ook voor de droging van slib. Omdat in de droogstap het proces zo ingericht is dat de slibkoek gemixt wordt met gedroogd slib om de adhesiefase

te vermijden, zal ook hier een verandering in procesvoering nodig zijn, door het verschuiven van de kleeffase als gevolg van de gruis toevoeging.

In deze fase plakt het slib aan de trommeldroger, wat accumulatie van slib in de trommel kan veroorzaken. Daarnaast helpt het mengen om een granulaire structuur te creëren. Na het mixen wordt het slib met een schroef getransporteerd naar de trommeldroger. Hier wordt lucht van 400°C tot 450°C in een gesloten systeem gecirculeerd. Door de hoge temperatuur verdampt het water dat nog in het slib zit tot een droge stof percentage van meer dan 90% d.s. Hierdoor gaat de temperatuur naar beneden tot 120°C in de uitlaat. De granules worden gescheiden van de luchtstroom met een filtrerende cycloon en worden over een koelschroef gevoerd, waarbij de granules worden gekoeld tot 70°C. Hierna worden de granules verdeeld in verschillende deeltjesgroottes (grof, medium en fijn). De mediumdeeltjes zijn het eindproduct en worden verder gekoeld door een koelschroef, waarna ze worden opgeslagen in een silo. De andere deeltjes worden bij de verse slibkoek gevoegd en doorlopen het systeem nogmaals.

De lucht die door de trommeldroger gaat wordt verwarmd door een air-to-air warmtewisselaar en blijft in een gesloten systeem. Hierdoor kan maximaal gebruik worden gemaakt van warmteterugwinning. De warmtewisselaar wordt verwarmd door het stoken van aardgas.