

SLIBVERWERKING MET ONGEBLUSTE KALK MIDDELS HET MID MIX PROCES



RAPPORT

2019
35

SLIBVERWERKING MET ONGEBLUSTE KALK
MIDDELS HET MID MIX PROCES

RAPPORT

2019

35

ISBN 978.90.5773.871.5



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

AUTEURS Joost van den Bulk (Tauw)
Amber Vergnes (Tauw)

MET MEDEWERKING VAN
Mladen Filipan (VSGM)
John Teunisse (VSGM)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Ad de Man (Waterschapsbedrijf Limburg)
Coert Petri (Waterschap Rijn en IJssel, thans werkzaam bij Waterschap Vallei en Veluwe)
Dirk Koot (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
Hedzer Gietema (Waterschap Vallei en Veluwe)
Victor Claessen (Waterschap de Dommel)
Cora Uijterlinde (STOWA)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2019-35
ISBN 978.90.5773.871.5

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

HET MID MIX CONCEPT IS EEN KANSRIJK NIEUW ALTERNATIEF VOOR SLIBEINDVERWERKING.

In de MID MIX installatie reageert ontwaterd zuiveringsslib onder specifieke condities met ongebluste kalk waarna een fijn wit poeder resteert, genaamd Neutral, wat toegepast kan worden als bouwstof. De MID MIX techniek is daarmee uniek in zijn soort. De kosten voor het MID MIX proces zijn naar verwachting competitief met gangbare slibeindverwerkingstechnieken. De duurzaamheid van het proces hangt samen met de uiteindelijke toepassing van Neutral als bouwstof.

In het kader van de Meerjarenaafspraken Energie-efficiëntie, het Klimaatakkoord en De Energie- en Grondstoffenfabriek zijn de Nederlandse waterschappen op zoek naar optimalisaties op de rwzi om energie en kosten te besparen en grondstoffen te winnen. De eindverwerking van zuiveringsslib heeft een belangrijk aandeel in de kosten en het energie- en grondstoffenverbruik van de Nederlandse waterschappen. Daar boven op komt dat de capaciteit voor slibeindverwerking momenteel tekort schiet waardoor er ruimte is voor nieuwe verwerkingscapaciteit.

De MID MIX technologie vereist relatief beperkte investeringen en is eenvoudig op te schalen waardoor het bij uitstek een techniek zou kunnen zijn om de huidige tekorten in de eindverwerkingscapaciteit op te vangen. Omdat de techniek maar weinig NOx uitstoot vormt dit geen obstakel bij het verkrijgen van een vergunning te krijgen voor een installatie.

In dit onderzoek zijn full scale pilot testen uitgevoerd met ontwaterd slib van de rwzi's Amersfoort (Waterschap Vallei en Veluwe), Maastricht-Limmel (Waterschapsbedrijf Limburg), Mierlo (Waterschap De Dommel) en Katwoude (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier). De resultaten van het onderzoek zijn opgenomen in het onderliggende rapport.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

AANLEIDING

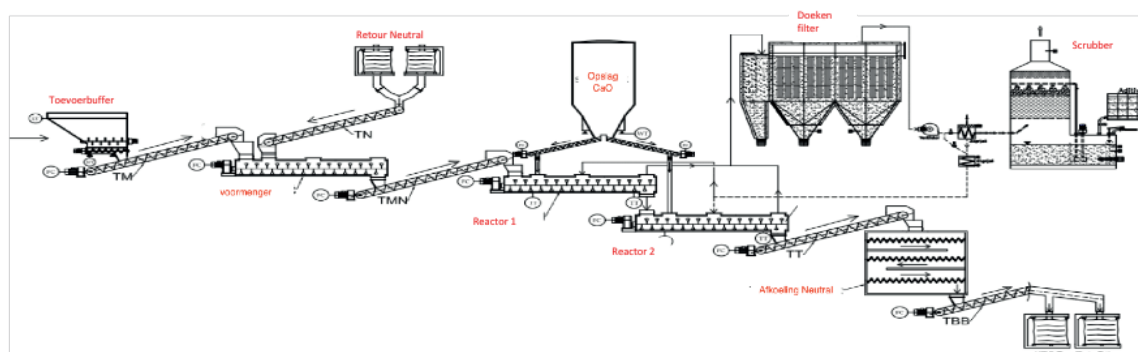
Recent is door het bedrijf VSGM een nieuwe slibverwerkingstechniek geïntroduceerd in Nederland waarbij zuiveringsslib verwerkt wordt door het te laten reageren met ongebluste kalk (CaO); het MID MIX proces. Het MID MIX proces wordt in Nederland door de firma VSGM vertegenwoordigd en aan elke geïnteresseerde partij geleverd. Recent heeft VSGM het initiatief genomen om een full-scale testinstallatie te laten plaatsen bij Attero in Wilp. De eenvoud van de testinstallatie en het proces is aanleiding geweest voor verschillende Nederlandse waterschappen om deel te nemen aan dit STOWA onderzoek. Het MID MIX proces bestaat uit een compacte installatie, vereist een relatief lage investering en is eenvoudig op te schalen waardoor het een interessante oplossing kan zijn voor het huidige tekort aan verwerkingscapaciteit voor slib. Een wezenlijk verschil tussen het MID MIX proces en bestaande slibeindverwerkingstechnieken is dat er na het MID MIX proces geen as resteert die afgezet dient te worden. Het eindproduct van het MID MIX proces is een droog wit poeder (Neutral). Afhankelijk van de toepasbaarheid van de Neutral kan dit duurzaamheidswinst opleveren ten opzichte van de huidige wijze van slibverwerking waarbij de as laagwaardig wordt toegepast.

DOEL

In deze studie is onderzocht of slibverwerking middels het MID MIX proces een kansrijke slibverwerkingstechniek is voor de Nederlandse waterschappen. In dit onderzoek zijn pilot testen uitgevoerd met ontwaterde slibben van de rwzi's Amersfoort (Waterschap Vallei en Veluwe), Maastricht-Limmel (Waterschapsbedrijf Limburg), Mierlo (Waterschap de Dommel) en Katwoude (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier).

BESCHRIJVING INSTALLATIE

Een schematische weergave van de pilot installatie is opgenomen in onderstaand figuur. De installatie bestaat uit een toevoerbuffer, gevolgd door een voormenger waarbij ontwaterd slib gemengd wordt met een deel van de geproduceerde Neutral. Het voorbehandelde slib gaat vervolgens naar twee reactors waar CaO gedoseerd wordt en waar mechanische krachten op het slib uitgeoefend worden. Het geproduceerde Neutral wordt vervolgens gekoeld waarna een deel van de Neutral retour gaat naar de voormenger. De ventilatielucht van het proces wordt behandeld in een doekenfilter en een scrubber.



ERVARINGEN EN RESULTATEN

De MID MIX installatie is in de periode november 2018 t/m maart 2019 in staat gebleken om ontwaterd slib van vier verschillende rwzi's te verwerken. De installatie heeft om verschillende redenen niet op volle capaciteit kunnen draaien. De veranderende samenstellingen van de slibben, de lage temperaturen in de hal en technische problemen (slibtoevoer, scrubber, retour Neutral) maakten het moeilijk om optimaal te draaien. Deze problemen kunnen in een toekomstige installatie ondervangen worden door een meertraps scrubber en het voorverwarmen van ingaand slib met restwarmte van de ventilatiegassen waardoor de doorzet van de installatie omhoog kan. Een voordeel van de MID MIX technologie is de eenvoud van het proces. De investering is beperkt, de bedrijfsvoering is eenvoudig, het vereiste oppervlak is beperkt en de installatie is eenvoudig modulair uit te breiden. De MID MIX technologie kan daardoor een flexibel in te passen maatregel zijn om tekorten in verwerkingscapaciteit van slib op te vangen.

De chemische reacties die in het MID MIX proces plaatsvinden hebben gedurende het onderzoek de nodige vragen opgeroepen. De temperatuur in de reactor is niet hoger dan 90 °C waardoor de omzetting van organische stof naar CO₂ moeilijk te verklaren is (verbrandingsreactie). In de MID MIX reactor wordt slib echter blootgesteld aan een combinatie van processen (mechanische krachten, temperatuur, verblijftijd) waardoor specifieke condities ontstaan. Via verschillende laboratorium testen is vastgesteld dat Neutral uit rwzi slib voor een aanzienlijk deel uit CaCO₃ bestaat en maar een beperkte hoeveelheid organische stof bevat. Het MID MIX proces resulteert dus in een vermindering van het organisch-stofgehalte en de vorming van achtereenvolgens CO₂ en CaCO₃.

Een belangrijke vraag voorafgaand aan dit onderzoek was of het mogelijk is om via het MID MIX proces een hoogwaardige grondstof te maken. Vooralsnog is er in de markt concrete interesse voor het gebruik van Neutral uit rwzi slib als toeslagstof in bouwstoffen omdat dit de CO₂ footprint van bouwstoffen omlaag kan brengen. Enkele voorbeelden zijn de toepassing van Neutral uit rwzi slib als toeslagstof in betonblokken en als toeslagstof voor bodemstabilisatie doeleinden. Een aandachtspunt in de huidige configuratie is de hoeveelheid minerale olie die aanwezig is in het slib. Het gehalte minerale olie wordt via het MID MIX proces verlaagd maar is nog steeds te hoog voor de acceptatie van Neutral als vrij toepasbare bouwstof (grens ligt op 500 mg/kg DS). Via voor- of nageschakelde technieken kan het minerale olie gehalte tot onder de 500 mg/kg ds terug gebracht worden. Voorgeschakelde technieken richten zich op pre-oxidatie van slib met ozon, hydroxide of peroxide. De nageschakelde optie is het verwarmen van Neutral nadat het uit de tweede reactor komt gedurende een periode van 5 minuten op een temperatuur van 250°C. Dit is op labschaal getest met Neutral van WRIJ. Na behandeling Neutral voldeed de Neutral aan de specificaties van vrij toepasbare bouwstof.

Voor de langere termijn is het opwerken van Neutral uit rwzi slib tot CaO een interessante route. Uit testen die een producent van CaO uitgevoerd heeft volgt dat Neutral uit rwzi slib een zeer geschikte grondstof is voor CaO productie. De voordelen voor de CaO producent zijn dat de CO₂ uitstoot van CaO omlaag gaat en de productiekosten dalen.

De mogelijkheden om fosfor terug te winnen uit Neutral zijn in deze studie geïnventariseerd. Fosfor kan in potentie alleen uit Neutral teruggewonnen worden als de Neutral opgewerkt wordt tot CaO. Indien Neutral als toeslagstof gebruikt wordt voor beton dan wordt fosfor vastgelegd in beton en is terugwinning niet mogelijk.

CONCLUSIES

Op basis van dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- De MID MIX installatie is geschikt om slibben met drogestofgehaltes van 18% - 55% te verwerken;
- De full scale testinstallatie is goed in staat gebleken om ontwaterd slib van de rwzi's Amersfoort (Vallei en Veluwe), Maastricht-Limmel (WBL), Mierlo (Dommel) en Katwoude (HHNK) te verwerken tot Neutral;
- Voor een praktijktoepassing op Nederlands rwzi slib dient de MID MIX installatie op een aantal punten te worden aangepast (meertraps gaswasser, verwarmde slibopslag, retour Neutral, eventueel voor-/nageschakelde stap tbv reductie minerale olie);
- De CaO dosering liep bij de verschillende rwzi slibben uiteen van 1,3 tot 2,9 ton CaO per ton drogestof. De maximale CaO dosering van 2,9 is niet representatief voor een praktijktoepassing. In de doorvertaling naar de praktijk is daarom uitgegaan van een maximale dosering van 2,0 ton CaO per ton drogestof;
- Via verschillende laboratorium testen is vastgesteld dat Neutral uit rwzi slib voor een aanzienlijk deel uit Ca(OH)_2 en CaCO_3 bestaat. Deze CaCO_3 is niet in het initiële slib aanwezig en kan alleen in de MID MIX installatie gevormd zijn door de omzetting van organische stof naar CO_2 en vervolgens naar CaCO_3 . Aan de hand van een koolstofbalans is berekend dat 58% (Katwoude) tot 85% (Amersfoort en Maastricht-Limmel) van de ingaande organische stof omgezet wordt in CO_2 / CaCO_3 ;
- In het ontwaterde slib van de vier waterschappen zijn minerale olie concentraties gemeten van 7 tot 11 gram per kilo drogestof. De minerale olie is slechts gedeeltelijk te herleiden naar polymeerverbruik voor de slibontwatering;
- De reductie van de minerale olie vracht in de slibben loopt sterk uiteen. Voor het slib van Amersfoort en Katwoude werd de ingaande minerale olie vracht met enkele procenten gereduceerd terwijl de minerale olie vracht in het slib van Mierlo en Maastricht-Limmel met 60-70% gereduceerd werd. Op laboratorium schaal is aangetoond dat via een voor- of nageschakelde stap het minerale olie gehalte in de Neutral terug gebracht worden tot onder de 500 mg/kg ds;
- Zware metalen worden gebonden in de Neutral waardoor ze bij analyse in lagere concentraties beschikbaar zijn dan op basis van het ingaande slib te verwachten is. Pas na verhitting van de Neutral tot 900 °C zijn de zware metalen weer beschikbaar voor analyse;
- Ammonium kan in het MID MIX proces worden teruggewonnen als ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat;
- Uit de emissiemeting volgt dat de NOx emissies van het MID MIX proces laag zijn (<1 mg/Nm³). Dit kan de vergunningverlening van het proces vereenvoudigen;
- Fosfor kan in potentie alleen uit Neutral terug gewonnen worden als de Neutral opgewerkt wordt tot CaO. Indien Neutral als toeslagstof gebruikt wordt voor beton dan wordt fosfor vastgelegd in beton en is terugwinning niet mogelijk;
- Het MID MIX proces is niet opgenomen in het LAP3 als eindverwerkingstechniek voor slib. Conform het LAP3 dient aangetoond te worden dat het MID MIX proces qua duurzaamheid minimaal gelijkwaardig is aan de minimumstandaard;
- Vanuit de bouwstoffenmarkt is er concrete interesse om Neutral uit rwzi slib toe te passen als toeslagstof in bouwstoffen omdat dit de CO₂ footprint van bouwstoffen (o.a. beton) reduceert en omdat de prijs laag is. Bij beton toepassingen wordt de Neutral gebruikt als toeslagstof van beton waardoor Neutral vastgelegd wordt in beton en er geen risico's zijn op uitloging;
- Neutral uit zuiveringsslib kan tevens afgezet worden als toeslagstof in cementovens;

- De kosten van het MID MIX proces liggen naar verwachting tussen de 49 en 67 euro per ton slibkoek (exclusief BTW en exclusief transport slibkoek);
- Indien de geproduceerde Neutral een afzetbaar product met een positieve waarde vertegenwoordigd is aftrek van BTW mogelijk. Over het gehele MID MIX proces hoeft in dat geval geen BTW afgedragen te worden. De kosten voor het waterschap liggen in dat geval tussen de 49-67 euro/ton slibkoek (exclusief transport van de slibkoek);
- Het primaire energieverbruik van het MID MIX proces is afhankelijk van de toepassing van de geproduceerde Neutral. Bij een laagwaardige toepassing van Neutral (zand of CEM III vervanger) is het MID MIX proces minder duurzaam dan gangbare eindverwerkings technieken terwijl een hoogwaardige toepassing (CEM III of opwerking tot CaO) juist weer tot een duurzaamheidsvoordeel leidt ten opzichte van gangbare eindverwerkingstechnieken.

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 aan 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.

SLIBVERWERKING MET ONGEBLUSTE KALK MIDDELS HET MID MIX PROCES

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.2	Doel	2
1.3	Leeswijzer	2
2	ACHTERGROND	3
2.1	Slibstabilisatie met ongebluste kalk	3
2.2	Het MID MIX concept	4
3	BESCHRIJVING TESTINSTALLATIE EN MONITORINGSPROTOCOL	6
3.1	Inleiding	6
3.2	Proces beschrijving MID MIX	6
3.3	Beschrijving testinstallatie Wilp	8
3.4	Beschouwing MID MIX proces	11
3.5	Fosfor- en stikstofterugwinning	13
3.6	Monitoringsprotocol en monsternamen	14
3.7	Kenmerken ontwaterde slibben	14
4	RESULTATEN	16
4.1	Inleiding	16
4.2	Verloop van de testen	16
4.3	Procesgegevens	16
4.3.1	Toevoer slib	17
4.3.2	CaO dosering	17
4.3.3	Temperatuurverloop reactoren	19
4.3.4	Niet gelogde proces parameters	20
4.3.5	Interpretatie	20
4.4	Analyseresultaten laboratorium	20
4.4.1	Bodemkundige analyses	20
4.4.2	Metalen	21
4.4.3	Minerale olie, BTEX, fenolen, PCB en PAK	22
4.4.4	Uitloogonderzoek	24
4.4.5	Thermische destructie	25

4.5	Emissiemeting	26
4.6	Aanvullende testen	27
4.6.1	Afbraak organische stof bij mengen ontwaterd slib en CaO	27
4.6.2	CaCO ₃ en TOC in Neutral vaststellen	27
4.6.3	CaCO ₃ in Neutral vaststellen	28
4.6.4	CO ₃ in ontwaterde slibben	28
4.6.5	Samenvatting aanvullende testen	28
4.7	Massa balansen	28
4.7.1	Koolstof (C-balans)	29
4.7.2	Zware metalen (Cu)	30
4.7.3	Minerale olie	32
5	WET- EN REGELGEVING RONDOM MID MIX EN DE TOEPASSING VAN NEUTRAL	34
5.1	Inleiding	34
5.2	Landelijk afvalbeheerplan (LAP3)	34
5.3	Neutral: grondstof of afvalstof	35
5.4	Toepassingsgebieden Neutral	36
5.4.1	Bouwstof	37
5.4.2	Opwerking Neutral tot CaO	39
5.4.3	Kalkhoudende meststof	39
5.5	Interviews experts en marktpartijen	40
5.5.1	Ronny Theune, Commercieel Operationeel Manager van Aquaminerals	40
5.5.2	Robert Hurkmans, Directeur Conovation bv.	40
5.5.3	Jurgen van den Bon; Accountmanager Milieu, Carmeuse	42
5.5.4	Jaap Steketee; afvalstoffenexpert Tauw	42
5.6	Samenvatting	42
6	KOSTEN EN DUURZAAMHEID	44
6.1	Inleiding	44
6.2	Kosten	44
6.2.1	Businesscase MID MIX	44
6.2.2	Vergelijking met markttarieven	47
6.3	Duurzaamheid	48
6.3.1	Primair energieverbruik MID MIX	48
6.3.2	CO ₂ productie	49
6.3.3	Vergelijking primair energieverbruik met andere slibeindverwerkingsmethoden	50
6.4	Conclusies	51
7	DISCUSSIE EN CONCLUSIES	52
BIJLAGE 1	MONITORINGSPROTOCOL	55
BIJLAGE 2	INTERVIEWS EXPERTS	58
BIJLAGE 3	REGELING BODEMKWALITEIT	61
BIJLAGE 4	TOEPASSING NEUTRAL IN BETON	63
BIJLAGE 5	REFERENTIE MID MIX INSTALLATIES	65
BIJLAGE 6	BRIEFRAPPORT VERGUNBAARHEID	68
BIJLAGE 7	BEREKENING CAO VERBRUIK OP BASIS VAN NEUTRAL PRODUCTIE	79
BIJLAGE 8	PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK SLIBEINDVERWERKINGSTECHNIKEN	82
BIJLAGE 9	AANVULLENDE TEST 1: AFBRAAK ORGANISCHE STOF BIJ MENGEN SLIB EN CAO	83
BIJLAGE 10	AANVULLENDE TEST 2: CaCO ₃ IN NEUTRAL	87
BIJLAGE 11	AANVULLENDE TEST 3: CaCO ₃ IN NEUTRAL	91
BIJLAGE 12	TESTRESULTATEN CARMEUSE	93
BIJLAGE 13	CAO SAMENSTELLING	96
BIJLAGE 14	REACTIEVERGELIJKINGEN	97

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

Nederlands zuiveringsslib wordt voor de eindverwerking voornamelijk verwerkt door middel van (mono)verbranding. Door een tekort aan eindverwerkingscapaciteit is er de laatste jaren ook noodzaak geweest om slib te storten. Dit is een onwenselijke situatie voor de waterschappen.

Recent is door het bedrijf VSGM een nieuwe slibverwerkingstechniek geïntroduceerd in Nederland waarbij zuiveringsslib omgezet wordt in een grondstof door het te laten reageren met ongebluste kalk; het MID MIX proces. VSGM heeft een full-scale testinstallatie laten plaatsen bij Attero in Wilp. De eenvoud van de testinstallatie en het proces is aanleiding geweest voor verschillende Nederlandse waterschappen om het MID MIX proces als een serieus alternatief te beschouwen voor slibeindverwerking. Het MID MIX proces bestaat uit een compacte installatie, vereist een relatief lage investering en is eenvoudig op te schalen waardoor het een interessante oplossing kan zijn voor het huidige tekort aan verwerkingscapaciteit voor slib. Een wezenlijk verschil tussen het MID MIX proces en bestaande slibeindverwerkingstechnieken is dat er na het MID MIX proces geen as resteert die afgezet dient te worden. De reactie tussen slib en ongebluste kalk resulteert in een exotherme reactie waardoor de temperatuur oploopt. Na afloop van het proces resteert een droog wit poeder (Neutral). Afhankelijk van de toepasbaarheid van de Neutral kan dit duurzaamheidswinst opleveren ten opzichte van de huidige wijze van slibverwerking waarbij de as laagwaardig wordt toegepast. De terugwinning van fosfaat uit Neutral is hierbij een belangrijk aandachtspunt.

Waterschap Rijn en IJssel heeft voorafgaand aan dit STOWA onderzoek op eigen initiatief twee batches ontwaterd slib (vergist en niet-vergist) en één batch slibcompost laten verwerken in een MID MIX installatie te Wilp (20 ton per batch). De testinstallatie in Wilp betreft een prototype van de tweede generatie MID MIX technologie die geleverd wordt door Astra Engineering International uit Zagreb, Kroatië.

De Neutral die resteerde na behandeling van vergist slib had een drogestofgehalte van meer dan 95% en bevatte nauwelijks organische stof. Het organisch-stofgehalte is daarmee opvallend laag omdat het ingaande slib meer dan 60% organische stof bevatte. Daarnaast zijn de analyseresultaten voor zware metalen opvallend. De zinkconcentratie van het ingaande slib bedraagt bijvoorbeeld 1.100 milligram per kilo drogestof tegenover 56 milligram in de Neutral. Mogelijk worden de in het slib aanwezige zware metalen onder de basische condities in hoge mate vastgelegd waardoor ze niet uitlogen en niet meetbaar zijn met de analyse-techniek. Om deze en andere vragen te beantwoorden zijn praktijkproeven uitgevoerd met 4 batches ontwaterd zuiveringsslib. De resultaten van deze testen moeten de waterschappen meer inzicht geven in deze slibeindverwerkingsmethode. Met dit inzicht kan men een weloverwogen beslissing maken betreffende eventueel toekomstig gebruik van deze methode.

1.2 DOEL

Het doel van dit onderzoek is om vast te stellen of slibverwerking middels het MID MIX proces een kansrijke slibeindverwerkingstechniek is voor de Nederlandse waterschappen. Om dit te beoordelen is voor Nederlands communaal slib zijn er verschillende vragen die beantwoord dienen te worden. Van belang is bijvoorbeeld wat de duurzaamheid van het MID MIX proces is in vergelijking met andere verwerkingstechnieken. De toepasbaarheid van het geproduceerde eindproduct (Neutral) als bijvoorbeeld bouwstof is daarbij een belangrijk aspect. Ook de kosten en betrouwbaarheid van het proces dienen inzichtelijk te worden gemaakt. Om deze vragen te beantwoorden zijn praktijktesten uitgevoerd met ontwaterd slib van verschillende Nederlandse waterschappen. Daarnaast zijn er interviews uitgevoerd met potentiële afnemers van het geproduceerde Neutral. De resultaten van dit onderzoek staan beschreven in dit rapport.

1.3 LEESWIJZER

Hoofdstuk 2 beschrijft de achtergrond van het MID MIX proces en slibontwatering met ongebluste kalk in brede zin. In hoofdstuk 3 volgt een beschrijving van de testinstallatie, het monitoringsprotocol en de kenmerken van de geteste slibben. De resultaten van de testen zijn opgenomen in hoofdstuk 4 waarna in hoofdstuk 5 de toepasbaarheid van Neutral als bouwstof beschreven wordt. In hoofdstuk 6 volgt een vergelijking van de MID MIX methodiek met andere slibeindverwerkingstechnieken waarna in hoofdstuk 7 de discussie en conclusies volgen.

2

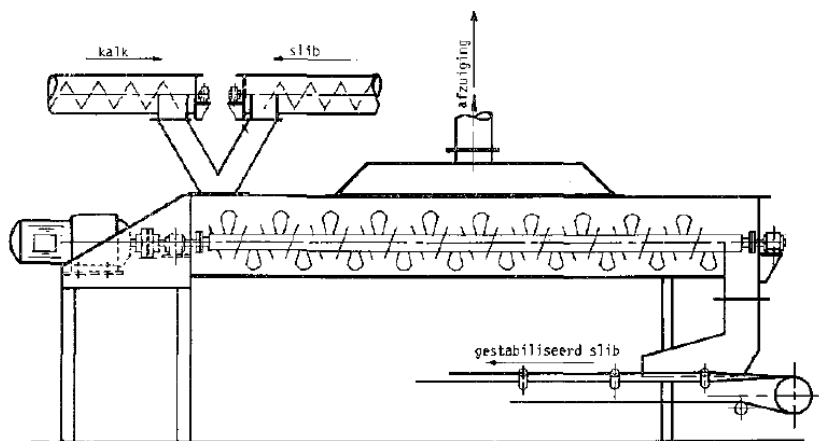
ACHTERGROND

2.1 SLIBSTABILISATIE MET ONGEBLUSTE KALK

Slibstabilisatie met ongebluste kalk (CaO) is een techniek die al decennia bekend is. Het principe berust op de exotherme reactie die optreedt als je ingedikt of ontwaterd zuiveringsslib mengt met ongebluste kalk. Het water dat in het slib aanwezig is reageert met de ongebluste kalk waardoor de temperatuur van het mengsel oploopt en het water verdampt. Daarnaast verdampt ook een deel van de aanwezige ammonium. In de periode 1977 tot 1992 werd op de rwzi Renkum bijvoorbeeld kalkmelk gedoseerd op ingedikt slib als voorbehandeling voor de daaropvolgende ontwatering. De kalkmelk (gebluste kalk) werd op de rwzi Renkum geproduceerd door CaO te mengen met water. Het mengsel van slib en kalkmelk werd vervolgens ontwaterd in een kamerfilterpers waarbij er ook ijzerchloride gedoseerd werd. Dit proces resulteerde in een slibkoek met een drogestofgehalte van ca 40% die afgezet werd als een kalkhoudende meststof in het noorden van Nederland tegen een tarief van circa 0 euro per ton (exclusief transportkosten). Vanaf de jaren 90 raakte het doseren van ongebluste kalk als voorbehandeling voor ontwatering geleidelijk in onbruik in Nederland. De benodigde installaties voor kalkmelk dosering en de kamerfilterpers vereisten veel oppervlak en beheer en zorgden voor de nodige geuremissie in de vorm van NH_3 dampen. Alternatieve ontwateringstechnieken zoals centrifuges en zeefbandpersen waren eenvoudiger. Het besluit overige organische meststoffen (BOOM besluit) maakte het bovendien moeilijker om zuiveringsslib toe te passen als meststof. In andere Europese landen, zoals België en Frankrijk wordt het ontwateren van slib met kalkmelk nog steeds toegepast als ontwateringstechniek. Het ontwaterde slib gaat daar nog steeds als kalkhoudende meststof naar de landbouw (o.a. in Wallonië).

In 1979 is eveneens een artikel verschenen waarin het concept van CaO dosering op ontwaterd slib gepresenteerd werd als methode voor conditionering en stabilisatie van slib¹. In Figuur 2.1 is het beschreven mengproces proces weergegeven.

FIGUUR 2.1 MENGTRUG ONTWATERD SLIB – ONGEBLUSTE KALK (BRON D.J. WIERSMA, 1979)

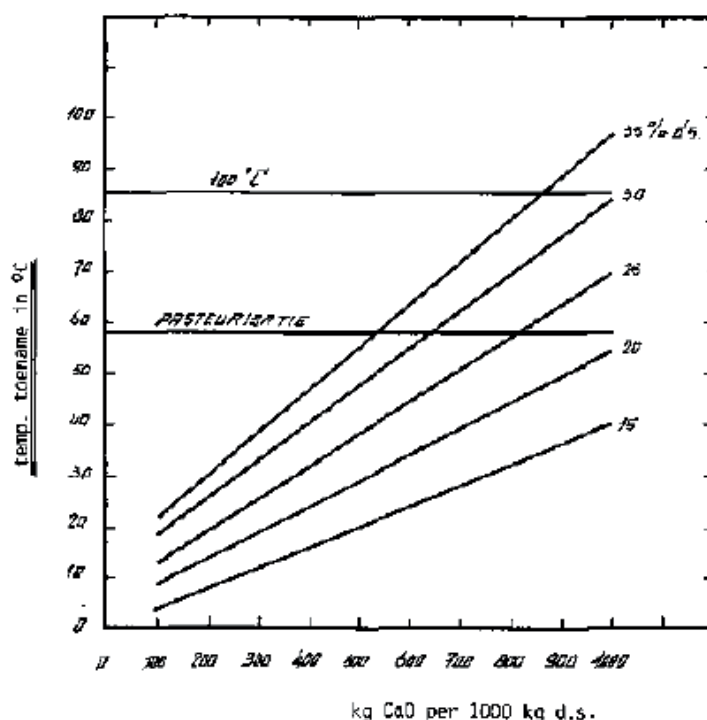


1 D.J. Wiersma. Nekami, 1979

Het concept waarbij ontwaterd slib wordt gemengd met ongebluste kalk in een schroef doet erg denken aan het huidige MID MIX concept. Het artikel beschrijft dat dit proces in Duitsland en Zweden werd toegepast om een waardevollere meststof te produceren uit ontwaterd slib. Het proces leidde tot een stabilisatie van het slib en tot een hoger drogestofgehalte doordat een deel van het water gebonden werd aan CaO terwijl een ander deel van het water verdampte door de temperatuurstijging ten gevolge van de exotherme reactie tussen water en CaO. In Zweden is dit proces toegepast op de Rya-installatie nabij Gothenburg (630.000 i.e.). In Figuur 2.2 is de te verwachten temperatuurstijging bij menging van kalk en slib weergegeven. Uitgaande van een initieel drogestof gehalte van 20% werd een temperatuurstijging van circa 60 °C ingeschat.

FIGUUR 2.2

IN DE PRAKTIJK TE VERWACHTEN TEMPERAATUURSTIJGING BIJ SNELLE MENGING VAN KALK MET SLIB (BRON D.J. WIERSMA, 1979)



2.2 HET MID MIX CONCEPT

Het MID MIX concept wat geleverd wordt door Astra International Engineering borduurt in feite voort op het in paragraaf 2.1 beschreven concept van de stabilisatie van ontwaterd slib met ongebluste kalk. Het Kroatische bedrijf Astra International Engineering heeft de afgelopen tien jaar verschillende installaties geleverd waarbij ontwaterd slib wordt gestabiliseerd met ongebluste kalk middels het MID MIX proces. Een aantal van deze installaties staan beschreven in Bijlage 5. In het buitenland (o.a. Kroatië, Spanje) wordt het MID MIX proces momenteel op twee installaties in de praktijk toegepast voor zuiveringsslib. De installatie in Kroatië is sinds 2007 in bedrijf en staat op een rwzi van 100.000 v.e. In Spanje betreft het een installatie die zowel percolaat van een stortplaats als zuiveringsslib verwerkt. Ook deze installatie is sinds 2007 in bedrijf. In Spanje wordt het product van het MID MIX proces (Neutral) voor 5 euro per ton verkocht aan een cement producent. In Kroatië gaat de Neutral als toeslagstof in een beton toepassing.

Het MID MIX proces is een gepatenteerd proces. Het behelst een volautomatische installatie waarin zuiveringsslib (of andere vervuilde stromen) in contact wordt gebracht met ongebluste

kalk. De ongebluste kalk wordt dus niet eerst geblust met water alvorens in contact gebracht te worden met slib. De ongebluste kalk en de in het ontwaterde slib aanwezige waterfractie resulteren in een exotherme reactie waardoor de temperatuur stijgt en water en ammonium vrijkomen. In de MID MIX reactor wordt het slib-/kalkmengsel blootgesteld aan mechanische krachten. De combinatie van chemische reacties en mechanische krachten resulteert volgens Astra International Engineering in een omzetting van organische stof naar CO_2 (oxidatie) en vervolgens naar calciumcarbonaat (CaCO_3). Ook is er volgens VSGM sprake van 'inkapseling' van zware metalen waardoor deze in het eindproduct (Neutral) in sterk gebonden vorm aanwezig zijn. Deze claims worden in deze studie onderzocht.

Het MID MIX proces wordt in Nederland door de firma VSGM vertegenwoordigd en aan elke geïnteresseerde partij geleverd. De MID MIX installatie wordt grotendeels in Nederland gebouwd. VSGM heeft het initiatief genomen om bij Attero Wilp een MID MIX testinstallatie te plaatsen met een capaciteit van 30.000 ton slibkoek per jaar. Het initiële doel van deze installatie was het behandelen van vervuilde grond (bodemreinigingsresidu). De installatie is echter ook toepasbaar voor het stabiliseren van zuiveringsslib. Afhankelijk van het ingaande materiaal wordt de doelstelling van de verwerking vastgelegd en worden de procescondities vastgesteld. Het doel kan bijvoorbeeld zijn om zuiveringsslib op een dusdanige manier te verwerken dat hergebruik van het eindmateriaal mogelijk is maar in het geval van zeer vervuilde stromen kan het doel ook zijn om een goedkopere verwerkingsroute van het materiaal mogelijk te maken. Met andere woorden, met de MID MIX technologie kan de verwerking gestuurd worden naar gelang het input materiaal met een keuze welke kwaliteit het output materiaal moet hebben.

Het inputmateriaal moet aan een aantal voorwaarden voldoen om verwerkt te kunnen worden:

- Drogestofgehalte tussen 18% en 55%.
- Maximale granulatie - 5 mm.
- Minimale gehalte organische stof circa 10%.
- Temperatuur van input materiaal tussen 5°C en 40°C.

In hoofdstuk 3 worden de afzonderlijke stappen van het MID MIX proces beschreven.

3

BESCHRIJVING TESTINSTALLATIE EN MONITORINGSPROTOCOL

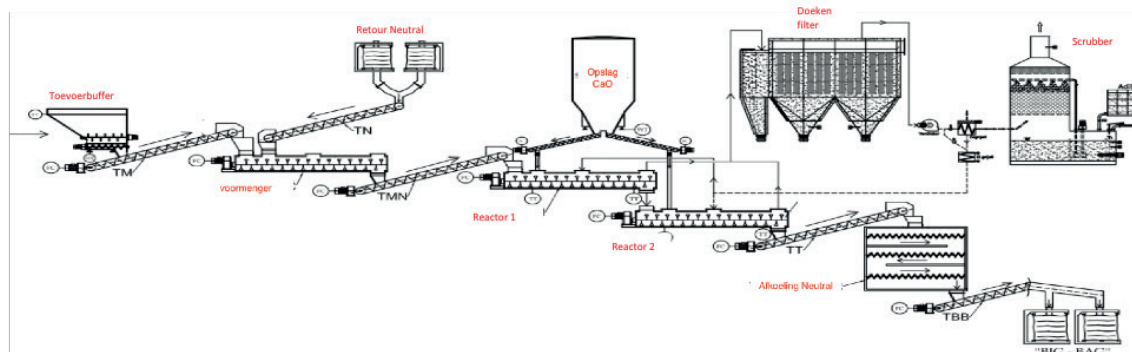
3.1 INLEIDING

De praktijktesten in dit onderzoek zijn uitgevoerd met de MID MIX proef installatie te Wilp. In dit hoofdstuk worden de testinstallatie en de uitvoering van de testen beschreven. In paragraaf 3.2 wordt ingegaan op de afzonderlijke stappen van het MID MIX proces waarna in paragraaf 3.3 een beschrijving van de testinstallatie in Wilp volgt. In paragraaf 3.4 volgt een analyse van het proces zoals dat door de leverancier beschreven is. Aan de hand van het doel van dit onderzoek is vervolgens in paragraaf 3.6 een monitoringsprotocol opgesteld voor de te testen slibben. Paragraaf 3.7 beschrijft de vier slibben waarmee in dit onderzoek testen gedraaid zijn.

3.2 PROCES BESCHRIJVING MID MIX

In Figuur 3.1 is een schematische weergave van de MID MIX installatie te Wilp te zien.

FIGUUR 3.1 PROCESSCHEMA MID MIX PILOT INSTALLATIE WILP



Op basis van informatie van de leverancier is navolgend de procesbeschrijving van het MID MIX proces opgenomen.

TOEVOERBUFFER

Het te verwerken bulkmateriaal wordt gestort in de doseerbunker die voorzien is van een beweegbare vloer (toevoerbuffer). Via een extruder wordt het te verwerken slib op een transportband gedeponeerd die het materiaal vervolgens naar de voormenger brengt.

OPSLAG EN DOSERING ONGEBLUSTE KALK

De ongebluste kalk (CaO) wordt aangevoerd met 30 m³ bulkwagens. Deze worden voor en na het lossen gewogen. De CaO wordt met apparatuur van de bulkwagen pneumatisch naar de

silo getransporteerd. Stofafzuiging op de silo's is aanwezig zodat emissie van CaO tijdens het vullen vermeden wordt.

De dosering van de benodigde hoeveelheid CaO van de opslagsilo naar de afvoerband wordt op afstand geregeld via een frequentieregelaar aan de onderzijde van de conische kant van de silo. De CaO dosering wordt gebaseerd op basis van de procestemperatuur in de reactor.

DOSERING NEUTRAL

Het eindproduct van het MID MIX proces is Neutral. Een deel van de geproduceerde Neutral gaat terug het proces in. Het wordt gemengd met het te verwerken slib om de verwerkbaarheid van het slib te verbeteren (de slibkoek wordt hierdoor minder kleverig). Het te verwerken slib verwarmd hierdoor voor waardoor er verder op in het proces minder CaO nodig is. Aan de uitgang van de Neutral doseerinrichting wordt Neutral met behulp van een vijzel naar de voormenger gebracht.

VOORMENGER EN REACTOR

In de voormenger wordt het ontwaterd slib en Neutral gemengd en naar de reactor getransporteerd. Dat kan vanaf het centrale bedieningspaneel in de controlekamer of vanaf het lokale bedieningspaneel naast het apparaat zelf aangestuurd worden. Middels een frequentieregelaar wordt het aantal omwenteling van de wormschroef in de voormenger gestuurd.

In de reactor zelf vindt een complex fysisch-chemisch-thermisch proces plaats in een vacuüm omgeving (onderdruk) om de verdamping van water bij een lagere temperatuur mogelijk te maken. De frequentieregelaar van de reactor kan het aantal omwentelingen van de schroef in de reactor regelen. Hiermee wordt de doorlooptijd en de temperatuur in de reactor gestuurd. CaO wordt toegevoegd middels een doseerapparaat zo dat het output materiaal de juiste granulaties en kwaliteit heeft. Voor- en achteraan in de reactor zijn elektromotoren geïnstalleerd die zogenaamde “incapsulatoren aandrijven. De incapsulator bestaat uit een speciaal vormgegeven as met schoepen die met hoge toeren door het te verwerken materiaal heen draait. De incapsulator aan het begin van de reactor draait met 800 – 1.200 rpm en de incapsulator aan het eind van de reactor met 1.400 – 2.000 rpm.

Het proces in de reactoren wordt gemonitord middels temperatuurmeters. De temperatuur in de reactor ligt tussen de 80°-100° Celsius. Deze temperatuur wordt bereikt middels een exotherme reactie van de toegevoegde CaO en het vocht in het te verwerken materiaal. Na afloop van de reactor wordt de Neutral gekoeld tot ongeveer 45° C. De warmte verlaat via de ventilatiegassen het proces. Het eindmateriaal Neutral is een poederstof met een drogestofgehalte van +/- 98%.

LUCHTBEHANDELING

In de voormenger en reactor geven de chemische processen veel warmte en waterdamp af. Ventilatie van de voormenger en reactoren is noodzakelijk voor het afvoeren van vocht en ammoniak. In de pilot installatie in Wilp gaat buitenlucht onverwarmd naar de voormenger en reactor. In de voormenger en reactor warmt de lucht onder invloed van de chemische processen op en neemt het gehalte aan vocht en ammoniak in de lucht toe. De luchtafzuiging van de voormenger en de reactoren gaat naar het doekenfilter. Na het doekenfilter wordt de lucht elektrisch verwarmd tot 60 – 65 °C waarna de lucht naar een scrubber gaat om NH₃ te verwijderen. Verwarming voorafgaand aan de scrubber is noodzakelijk om condensatie te voorkomen. Het waswater bevat de nodige NH₃, die teruggewonnen kan worden als (NH₄)₂SO₄. Bij toekomstige full-scale installaties is dat het geval. In toekomstige MID MIX installaties

zal tevens warmte worden teruggewonnen uit de ventilatielucht om ingaand slib voor te verwarmen.

AUTOMATISERING

De afzonderlijke elementen van het proces worden op afstand gestart / gedeactiveerd via de handmatige schakelaars op het bedieningspaneel of via de centrale aansturing op een PC waar de cascade controle van Siemens draait. Het gehele proces van begin tot einde is op SCADA te volgen en bij te sturen. Afwijkingen of problemen in het proces, zoals een motorstoring, worden visueel en akoestisch in de controlekamer gemeld. Er zijn diverse veiligheidsblokkeersysteem aanwezig waarmee de complete installatie in het geval van een calamiteit in één keer kan worden stilgelegd. Het proces kan daarna eenvoudig weer worden opgestart.

3.3 BESCHRIJVING TESTINSTALLATIE WILP

In deze paragraaf worden de verschillende onderdelen van de MID MIX installatie in Wilp beschreven.

De pilot installatie bestaat uit een toevoerbuffer met een beweegbare vloer van waaruit ontwaterd slib op een lopende band wordt gebracht via een extruder (zie ook Figuur 3.2). De extruder zorgt ervoor dat het slib beter over de band verspreid wordt en niet als een samengekoekte klont in de voormenger terecht komt.

FIGUUR 3.2

TOEVOERBUFFER (LINKS) MET EXTRUDER (RECHTS)



Het ontwaterde slib wordt vervolgens in de voormenger gemengd met een deel van het eindproduct van het MID MIX proces (Neutral). Een deel van de geproduceerde Neutral wordt hiertoe teruggevoerd naar de voormenger. In Figuur 3.3 is de container te zien waarin de voormenger is geplaatst (blauwe container) met daarnaast het verdeelpunt van Neutral. De fijnste fractie van de Neutral komt in de big bags terecht terwijl de grovere korrels retour gaan naar de voormenger. Door het ontwaterde slib te mengen met Neutral wordt het slib beter verwerkbaar (minder kleverig) en wordt het slib met ongeveer 5 graden voorverwarmd.

FIGUUR 3.3

VOORMENGER



Vanuit de voormenger wordt het slib met een schroef naar reactor 1 en 2 getransporteerd. Beide reactoren bevinden zich in de blauwe container op de voorgrond in Figuur 3.4. Zowel in reactor 1 als in reactor 2 wordt met schroeven CaO gemengd met slib en worden er middels “incapsulatoren” mechanische krachten uitgeoefend op het slib. In paragraaf 3.4 is een beschouwing opgenomen waarin theoretisch ingegaan wordt op de specifieke condities en daaruit voortkomende chemische reacties.

FIGUUR 3.4

REACTOR BUITENKANT (LINKS), BINNENKANT (RECHTS)



Na afloop van reactor 1 en 2 heeft de geproduceerde Neutral een temperatuur van meer dan 60°C. De Neutral wordt in de zogenaamde Terminator met lucht afgekoeld tot circa 45°C waarna het in big bags opgeslagen wordt.

FIGUUR 3.5

AFKOELEN NEUTRAL IN TERMINATOR (LINKS), BUITENKANT TERMINATOR (RECHTS)



De voor het proces benodigde ventilatielucht wordt vanaf buiten aangezogen en door de terminator en reactor geleid wordt. In de reactor stijgt de temperatuur en het vochtgehalte van de lucht waarna de ventilatielucht achtereenvolgens door een doekenfilter en een zure scrubber geleid wordt, zie Figuur 3.6. Voorafgaand aan het doekenfilter wordt de lucht verwarmd om condensatie in het filter te voorkomen. Het stof dat afgevangen wordt in het doekenfilter gaat opnieuw het proces in. In de demo-installatie wordt de NH_3 uit de ventilatiegassen niet terug gewonnen maar in de praktijk is dat mogelijk als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$.

FIGUUR 3.6

LUCHTBEHANDELING BESTAANDE UIT DOEKENFILTER (LINKS) EN SCRUBBER (RECHTS)



Aan het einde van het proces resteert een gestabiliseerd mengsel van slib en kalk met een drogestofgehalte van meer dan 95%. De Neutral wordt in separaat gelabelde big bags opgeslagen (Figuur 3.7).

FIGUUR 3.7

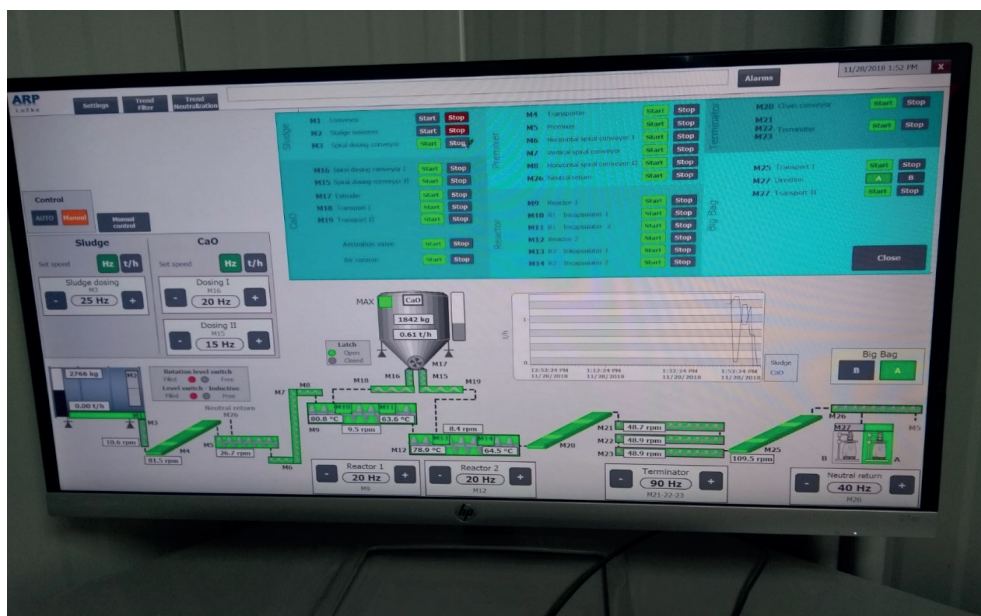
BIG BAGS MET NEUTRAL



Het MID MIX proces is volledig geautomatiseerd middels een SCADA systeem. In Figuur 3.8 is een screenshot van het SCADA model opgenomen waarin de afzonderlijke onderdelen van de installatie opgenomen zijn.

FIGUUR 3.8

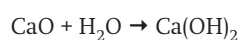
WEERGAVE PROCES IN SCADA



3.4 BESCHOUWING MID MIX PROCES

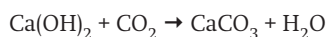
Op basis van de analyseresultaten van de testen die Waterschap Rijn en IJssel heeft laten uitvoeren en de proces beschrijving in paragraaf 3.2 is een theoretische beschouwing gemaakt van het MID MIX proces. Het doel hiervan was om voorafgaand aan de praktijktesten meer begrip van de omstandigheden in de MID MIX reactor te krijgen en specifieke parameters te formuleren om tijdens de vervolgtesten te analyseren.

Als ongebluste kalk wordt toegevoegd aan een vochtig materiaal, treedt een hydratatie-reactie op:



Bij deze reactie komt warmte vrij (evenals bij andere reacties die tijdens de behandeling optreden). Uit ervaring is bekend dat de temperatuur tijdens het proces hierdoor stijgt tot 80 – 95 °C. Naast de chemische binding van water in $\text{Ca}(\text{OH})_2$, zal water door de verhoogde temperatuur ook verdampen.

De hoge pH van de kalk leidt tot hydrolyse van diverse organische verbindingen. In welke mate de organische stof afbreekt is op voorhand lastig te beoordelen. De condities die de afbraak bevorderen zijn, naast de hoge pH en de verhoogde temperatuur, de mechanische agitatie door speciale schroeftransporteurs / mengers (incapsulatoren) in de MID MIX reactor. Uit de literatuur is bekend dat door toepassing van mechanische krachten omzettingen van stoffen worden versneld en daarom bij aanzienlijk lagere temperaturen kunnen plaatsvinden². Er is bijvoorbeeld de nodige ervaring met toepassing van kogelmolens voor het behandelen van met dioxines of pesticiden verontreinigde grond. De precieze condities wat betreft mechanische krachten in de MID MIX installatie zijn niet goed te beoordelen. Feit is wel dat de omzetting van de organische stof niet volledig is, meer stabiele verbindingen worden moeilijker omgezet (bv minerale olie met lange ketens). Daarom moeten de prestaties van het proces op basis van analyses worden geverifieerd. Om te toetsen of er daadwerkelijk sprake is van omzetting van organische stof zijn verschillende laboratoriumtesten uitgevoerd. De resultaten van deze testen worden besproken in paragraaf 4.6. Uit de testen komt naar voren dat de Neutral uit rwzi slib voor een aanzienlijk deel uit CaCO_3 bestaat. Ook uit testen die een leverancier van ongebluste kalk in het kader van dit onderzoek uitgevoerd heeft volgt dat Neutral voor een aanzienlijk deel (1/3) uit CaCO_3 bestaat. De resultaten van de testen zijn opgenomen in Bijlage 12. De enige verklaring voor de aanwezigheid van CaCO_3 is dat de aanwezige organische stof in ontwaterd slib gedeeltelijk omgezet wordt in CO_2 wat deels reageert tot CaCO_3 en deels ontsnapt naar de lucht. De vorming van CaCO_3 verloopt als volgt:



Een nadere toelichting op de relevante reacties die plaatsvinden in het MID MIX proces is opgenomen in Bijlage 14.

Voor een beoordeling van de afbraak van organische stof is in paragraaf 4.7 tevens een massabalans voor organische stof opgesteld (koolstof balans).

Ook voor zware metalen dient een massabalans te worden opgesteld. De vraag daarbij is in hoeverre metalen in de Neutral uitloogbaar zijn na ontsluiting. In navolgend kader wordt ingegaan op relevante aspecten ten aanzien van de massabalansen voor koolstof en zware metalen.

AANDACHTSPUNTEN BIJ OPSTELLEN MASSABALANSEN ORGANISCHE STOF EN ZWARE METALEN

Massabalans organische stof:

- Afbraak TOC: Massa TOC in – Massa TOC uit
- Vastlegging in CaCO_3 : Massa CaCO_3 uit – Massa CaCO_3 in (andere carbonaten, zoals MgCO_3 , kunnen nog een beperkte bijdrage leveren. Analyse op basis van TIC, Total Inorganic Carbon, heeft de voorkeur)
- emissie van CO_2 via de gasfase. Dit is, naast vastlegging als carbonaat, waarschijnlijk een zeer belangrijke post in de massa-balans

² Z.V. Todres: Organic Mechanochemistry and its Practical Applications. CRC Press.

Om het proces te kunnen beoordelen zijn dus analyses van TOC, carbonaat en CO_2 in de gasfase nodig. Voor de duurzaamheid is dit ook van belang, als CO_2 is vastgelegd in carbonaten is dit onttrokken aan de kringloop. Gloeiverlies is geen voldoende nauwkeurige maat voor organische stof, omdat (onder meer) sulfiden, CO_2 uit CaCO_3 en sterk gebonden water de bepaling storen.

Uit beschikbare analyses komt naar voren dat het gehalte van metalen zoals zink door de behandeling zou afnemen. Theoretisch is dit alleen mogelijk als deze metalen in bindingsvormen terechtkomen die niet oplosbaar zijn in koningswater (de ontsluitingsmethode) en daardoor niet detecteerbaar. Theoretisch zal 100% van het zink in het eindproduct terecht komen. Zink is niet vluchtig bij de voorkomende procestemperaturen. Een alternatief is dat het materiaal dermate veel zuur verbruikt dat de condities bij de ontsluiting onvoldoende zuur worden. Om hier inzicht in te verschaffen zal een balans worden opgesteld voor zware metalen. Door de Neutral tot hoge temperaturen te verwarmen ($>900^\circ\text{C}$) wordt Ca(OH)_2 omgezet naar CaO en worden de metalen in theorie weer beschikbaar voor analyse. In paragraaf 4.7 wordt hier nader op ingegaan.

3.5 FOSFOR- EN STIKSTOFTERUGWINNING

FOSFOR

In Duitsland zijn recent afspraken gemaakt over het percentage fosfor dat in de toekomst op rwzi's teruggewonnen dient te worden. Vanaf 2029 dient in Duitsland fosfor teruggewonnen te worden uit afvalwater of rwzi slib. De mogelijkheden voor fosforterugwinning op de rwzi zijn beperkt waardoor in de praktijk vooral fosfor uit rwzi slib (as) gewonnen zal gaan worden. Naar verwachting zullen in de toekomst ook in Nederland verplichtingen gaan gelden voor het winnen van fosfor uit rwzi slib. Naar de toekomst toe zijn de mogelijkheden tot terugwinning van fosfor uit Neutral daarom een belangrijk aandachtspunt.

Door Neutral te produceren uit rwzi slib wordt al het in het slib aanwezige fosfaat vastgelegd. Als de Neutral bijvoorbeeld wordt toegepast in beton komt het fosfaat in het beton terecht.

Een andere route die momenteel door VSGM onderzocht wordt is om Neutral uit rwzi slib als grondstof te gebruiken voor CaO productie. Via deze route kan theoretisch nagenoeg alle CaO uit de Neutral terug gewonnen worden maar ook de fosfor is via deze route terug te winnen. De route is nog niet in de praktijk gerealiseerd maar zou grofweg bestaan uit de volgende stappen:

1. Neutral verhitten tot $850\text{--}900^\circ\text{C}$. Scheiden CaO van de as. Om een optimale terugwinning van fosfor te realiseren dient het CaO in de as kleiner te zijn dan 5%, (ideaal $\leq 3\%$);
2. Wassen van de as (twee stappen):
 - a. pH omlaag brengen naar 3 a 4. Verwijderen resterende calcium
 - b. Materiaal wordt gefilterd en door doseren loog ontstaat bij een pH van 11 a 13 een fosfor rijke oplossing
3. Na deze fase resteren twee fosfor-rijke fracties (zwarte en paarse). Hier is nog geen sprake van "puur" fosfor maar van diverse fosfor verbindingen waarin onder meer ook SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 en CaO aanwezig zijn;
4. Om puur fosfor te verkrijgen moeten bovengenoemde fracties verhit worden tot 1.300 a 1.450°C waarna via condensatie pure fosfor kan worden gewonnen;
5. De theoretische conversie factor tot puur fosfor (van in primaire as slib/as aanwezige) is ongeveer 70%.

De technische en financiële haalbaarheid van de bovengenoemde route dient in de praktijk vastgesteld te worden, alsmede het chemicaliënverbruik en de duurzaamheid.

STIKSTOF

In het MID MIX proces vervluchtigt een deel van de in het slib aanwezige ammonium als ammoniak. In de luchtbehandeling wordt de ammoniak verwijderd met een zure wasser. Afhankelijk van het gewenste eindproduct kan gewassen worden met H_2SO_4 (eindproduct ammoniumsulfaat) of HNO_3 (eindproduct ammoniumnitraat). Vanwege het ontbreken van data over de stikstofgehalten in het ontwaterde slib en het ontbreken van luchtdebieten kon het potentieel aan terug te winnen stikstof niet exact worden vastgesteld. De terug te winnen stikstof kan echter wel globaal worden ingeschat door uit te gaan van een gemiddeld stikstofgehalte van 6% in de drogestof van het ontwaterde slib, een stikstofgehalte van 3,2 tot 6,8 mg/kg ds in de Neutral (Tabel 4.6) en de verhouding van de drogestofvracht van de Neutral in verhouding met die van het ingaande slib zoals berekend in Tabel 4.3 (factor 2,4 tot 4,5). Hieruit volgt dat 60% - 80% van de initieel aanwezige stikstof niet meer aanwezig is in de Neutral en daarom teruggewonnen kan worden.

3.6 MONITORINGSPROTOCOL EN MONSTERNAME

Op basis van de beschrijving van de installatie in paragraaf 3.3 is een monitoringsprotocol en een monsternameplan opgesteld om het functioneren van de installatie vast te stellen.

Het monitoringsprotocol en de monstername zijn opgenomen in Bijlage 1.

Op basis van het monitoringsplan zijn de volgende parameters vastgesteld:

- capaciteit van de installatie (ton slibkoek en ton drogestof per uur)
- verbruik calcium oxide (kg CaO per ton ds en per ton slibkoek)
- energieverbruik (per ton drogestof en per ton slibkoek)
- samenstelling ingaand slib (o.a. drogestof, organische stof, zware metalen, minerale olie)
- samenstelling Neutral (o.a. drogestof, organische stof, zware metalen, minerale olie)
- massabalansen organische stof, zware metalen en minerale olie

3.7 KENMERKEN ONTWATERDE SLIBBEN

De pilottesten zijn uitgevoerd met 4 batches slib van verschillende waterschappen. De kenmerken van de slibben zijn opgenomen in Tabel 3.1. De tonnen slibkoek zijn zowel vertrekt door de waterschappen als door de weegbrug van Attero.

TABEL 3.1 DE GETESTE SLIBBEN

Parameter	Eenheid	Batch 1	Batch 2	Batch 3	Batch 4
Waterschap	-	Vallei & Veluwe	WBL	Dommel	HHNK
RWZI	-	Amersfoort	Maastricht- Limmel	Mierlo	Katwoude
Type slib	-	TDH voor-behandeld en uitgegist, PS+SS	Uitgegist slib	PS+ SS, niet vergist	Spuislib, niet vergist
Tonnen slibkoek *	ton	20	22	16	18
Tonnen slibkoek **	ton	20	20	21	19
Drogestofgehalte	%	24,6	24,4	21,5	20,4
PE verbruik slibontwatering	gram actief PE/kg ds	21	6,5	10	11

*gegevens waterschappen

**weegbrug Attero

In Tabel 3.1 is te zien dat de tonnen slibkoek voor de Dommel ver uit elkaar liggen. Waterschap De Dommel geeft aan 16,2 ton slib geleverd te hebben terwijl Attero op 21 ton komt. Omdat niet achterhaald kan worden of de betreffende meting van Attero correct is wordt in het vervolg van dit rapport uitgegaan van de gegevens van waterschap de Dommel. Ook voor de overige slib batches is uitgegaan van de tonnen slibkoek die door de waterschappen aangeleverd zijn.

4

RESULTATEN

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de resultaten van de praktijktesten beschreven. Eerst wordt in paragraaf 4.2 het verloop van de testen beschreven. De procesparameters gedurende de praktijktesten worden beschreven in paragraaf 4.3. De procesgegevens betreffen continue gelogde gegevens uit het SCADA systeem van de MID MIX installatie. Vervolgens wordt er ingegaan op de analyseresultaten van het externe laboratorium (paragraaf 4.4) en de emissiemeting (paragraaf 4.5). Met deze resultaten zijn massabalansen opgesteld in paragraaf 4.7.

4.2 VERLOOP VAN DE TESTEN

Tijdens de pilot testen is er niet altijd continue gedraaid. Zo waren er een aantal technische problemen zoals een defect aan de zuurpomp van de luchtwasser. Daarnaast was een extruder noodzakelijk om een continue stroom ontwaterde slib vanuit de slibbunker richting de voormenger te realiseren. Zonder de extruder viel het slib in grote onregelmatige brokken op de transportband. Door de lage temperaturen in de loods was verwerking op sommige dagen niet mogelijk (zeer taai en/of bevroren slib). Bij lage omgevingstemperaturen was het bovendien moeilijker om de juiste procescondities in de MIDMIX installatie te realiseren. Bij de installatie van een full-scale installatie zullen dit soort problemen permanent voorkomen (moeten) worden door de installatie in een verwarmde loods te plaatsen.

TABEL 4.1 PRAKTIJK GEGEVENS PILOT TESTEN VOOR DE 4 BATCHES

	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Periode	20 nov 2018- 6 dec 2018	10 dec 2018- 11 jan 2019	14 jan 2019- 26 feb 2019	14 feb 2019- 7 mrt 2019
Opmerkingen	Slib bleek te viskeus waardoor extruder geplaatst is op slibbuffer Pomp van scrubber kapot Hoge minerale olie concentratie in Neutral	I.v.m. vorst tijdens deze periode waren er een aantal dagen waarop niet gedraaid kon worden (te koud en viskeus input materiaal)	Lage temperaturen zorgden in deze periode voor problemen met de slibverwerking. Vanwege geurproblemen en een brand op het terrein is de MID MIX installatie tijdelijk uit bedrijf geweest	Test van Katwoude is onderbroken geweest door een test met een ander input materiaal

4.3 PROCESGEGEVENS

De MID MIX installatie zoals getest in Wilp kan alleen onder toezicht draaien. CaO dosering, slib dosering en verblijftijd dienen op elkaar afgestemd te worden om de juiste procestemperaturen te bereiken. Dit proces is nog niet geautomatiseerd. In Wilp heeft de MID MIX installatie daarom alleen overdag gedraaid. Aan het begin van de dag werd de installatie opgestart en op temperatuur gebracht waarna er tot het einde van de dag gedraaid werd. Aan het einde van de dag werd de installatie leeg gedraaid om de volgende dag weer in gebruik genomen

te worden. Aanwezigheid van operators was daarnaast vereist om storingen te verhelpen die voornamelijk samen hingen met de toevoer van ontwaterd slib naar de reactor. Mogelijk kunnen MID MIX installaties in de toekomst wel zonder toezicht draaien. Bijvoorbeeld als ze direct achter een centrifuge geschakeld worden.

De volgende parameters zijn tijdens de bedrijfsuren via het SCADA systeem van de installatie gelogd.

- Toevoer slib (massa)
- CaO dosering (massa)
- Temperatuur reactor 1 (°C), meetpunten 1 en 2
- Temperatuur reactor 2 (°C), meetpunten 3 en 4

De gelogde gegevens zijn per batch geïnterpreteerd. In de volgende paragrafen worden de resultaten van de gelogde gegevens beschreven.

4.3.1 TOEVOER SLIB

Op basis van de gelogde gegevens zijn in Tabel 4.2 per batch de totale hoeveelheden verwerkt slib opgenomen. Wat opvalt is dat de tonnages slib goed overeen komen met de door de waterschappen vastgestelde vrachten aangevoerd slib. Batch 4 is onderbroken geweest waardoor niet alle log-gegevens beschikbaar zijn.

TABEL 4.2 HOEVEELHEID SLIB, CAO EN DE DOSEERVERHOUDING CAO/SLIB OP BASIS VAN DROGESTOF HOEVEELHEDEN

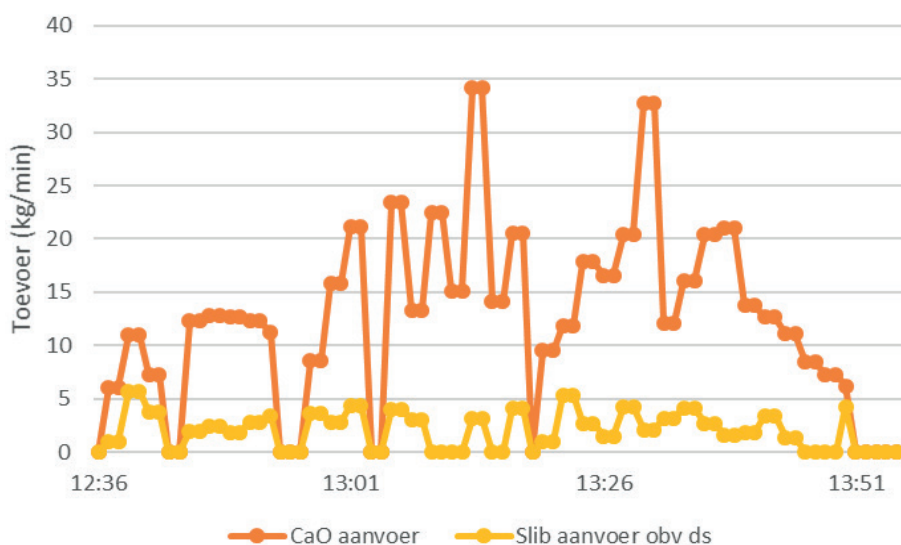
Batch	Procesgegevens Toevoer slib (kg)	Slibtransporten waterschappen (kg)
Batch 1 Amersfoort (V&V)	19.419	20.000
Batch 2 Maastricht-Limmel (WBL)	21.802	22.000
Batch 3 Mierlo (Dommel)	16.724	16.232
Batch 4 Katwoude (HHNK)	- *	18.000

*Batch 4 is in gedeeltes verwerkt waardoor niet de gehele dataset geïnterpreteerd kon worden

4.3.2 CAO DOSERING

In Figuur 4.1 zijn voor een representatieve periode waarin de MID MIX installatie in bedrijf was de CaO dosering en de slibtoevoer opgenomen.

FIGUUR 4.1 TOEVOER VAN CALCIUM EN SLIB OP BASIS VAN DROGESTOF VOOR EEN REPRESENTATIEVE TIJDSEENHEID VAN BATCH 2



In Figuur 4.1 is te zien dat de CaO dosering hoger is dan de aangevoerde hoeveelheid drogestof. Bij nadere interpretatie van de logdata blijkt de gemiddelde CaO dosering op 3 ton CaO per ton drogestof slib te liggen. Per batch van 20 ton slibkoek met een drogestofgehalte van 25% resulteert dat in een CaO dosering van 15 ton.

Een CaO verbruik van 15 ton CaO per batch komt niet overeen met de praktijk waarbij er gedurende de testen CaO leveringen hebben plaatsgevonden. Gedurende 3 testen is in totaal 36 ton CaO aangeleverd waarvan 8 ton gebruikt is voor andere testen. Grofweg resulteert dit per test dus in circa 9 ton CaO. De oorzaak hiervoor is dat de CaO weging verstoord blijkt te worden doordat de CaO silo over een klopmechanische beschikt waarmee de CaO in beweging gehouden wordt. De CaO meting zoals opgenomen in Figuur 4.1 is daardoor niet representatief.

Om toch een goede inschatting te kunnen maken van de CaO dosering per batch is de gedoseerde hoeveelheid CaO berekend aan de hand van de Neutral productie per batch. In Bijlage 7 is de gehanteerde methodiek beschreven waarbij het aantal geproduceerde zakken Neutral is geteld en gewogen waarna de hoeveelheid CaO is terug gerekend.

Op basis van Bijlage 7 is in Tabel 4.3 het CaO verbruik berekend op basis van de ingaande hoeveelheden slib, de geproduceerde tonnen Neutral en de drogestofgehalten van het slib en de Neutral. De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Gemiddeld gewicht big bag Neutral 600 kg
- Aanname van 30% drogestof reductie slib door oxidatie organische stof naar CO₂ en emissie naar lucht (gemiddelde waarde volgens Astra Engineering)

TABEL 4.3 HOEVEELHEDEN SLIB, NEUTRAL EN CAO EN RATIO CAO/SLIB

Batch	Slib Ton koek	Slib % ds	Slib Ton ds	Neutral Big bags	Neutral Ton	Neutral % ds	Neutral Ton ds	Oxidatie ton	Molmassa Ca(OH)/ CaO	CaO Ton	Ratio (ton CaO/ton ds slib)
Batch 1 Amersfoort	20	25%	5	21	12,6	95%	12,0	1,5	1,32	6,4	1,3
Batch 2 Maastricht- Limmel	22	25%	5,5	29	17,4	96%	16,7	1,65	1,32	9,7	1,8
Batch 3 Mierlo	16	22%	3,6	29	17,4	94%	16,4	1,1	1,32	10,5	2,9
Batch 4 Katwoude	18	21%	3,8	22	13,2	97%	12,8	1,1	1,32	7,7	2,0

In Tabel 4.3 is allereerst de drogestof vracht in het slib berekend. Vervolgens zijn de big bags Neutral weergegeven op basis waarvan de tonnen Neutral en de drogestof vracht Neutral berekend is. De drogestof vracht van het slib kan niet direct van de drogestof vracht in de Neutral afgetrokken worden om te komen tot de gedoseerde tonnen CaO. Voor het bepalen van de gedoseerde CaO vracht per batch zijn de volgende rekenstappen uitgevoerd:

- aandeel van de initiele drogestof vracht in het slib die door oxidatie omgezet wordt naar CO₂ en naar de atmosfeer verdwijnt aftrekken van drogestof in slib. Op basis van referentieprojecten is hiervoor door VSGM 30% aangehouden. Voorbeeld: van de 5 ton drogestof in het slib van Amersfoort verdwijnt 30% (=1,5 ton) als CO₂ naar de atmosfeer waardoor in de resterende Neutral 3,5 ton drogestof uit slib resteert.
- De initieel gedoseerde CaO (molmassa 56 g/mol) is in de Neutral grotendeels aanwezig als Ca(OH)₂ (molmassa 74 g/mol). De Neutral vracht die resteert na aftrek van de droge-

stof van het slib dient dus gedeeld te worden door $(74/56 \approx) 1,32$ om te komen tot de CaO dosering. Deze wijze van berekening is niet geheel correct omdat een kleiner deel van de initiële CaO in de Neutral aanwezig is als CaCO_3 (molmassa 100 g/mol). Het exacte aandeel CaCO_3 kon in dit onderzoek echter niet worden vastgesteld. De factor 1,32 in Tabel 4.3 zal daardoor in de praktijk wat hoger uitvallen waardoor de CaO dosering in de praktijk lager uitvalt. De CaO doseringen en daaruit volgende ratio's in Tabel 4.3 gelden daarom als worst case benadering.

Uit Tabel 4.3 volgt dat de CaO dosering per batch gevarieerd heeft van 1,3 ton CaO per ton drogestof (Amersfoort) tot 2,9 ton CaO per ton drogestof (Mierlo).

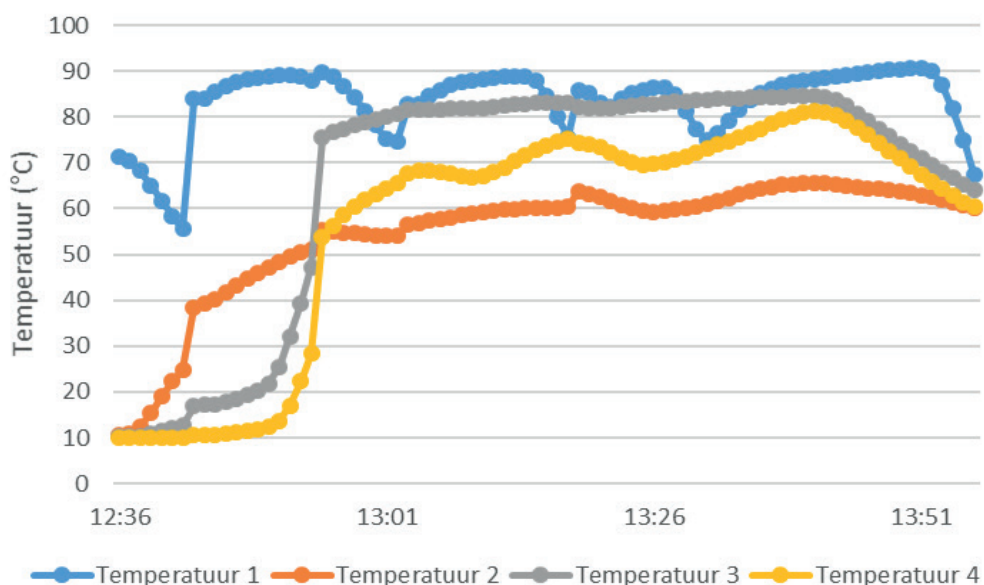
4.3.3 TEMPERATUURVERLOOP REACTOREN

In Figuur 4.2 is het typische temperatuur verloop in de reactoren te zien bij de opstart van de installatie. In zowel reactor 1 als 2 wordt op 2 plekken in de reactor de temperatuur gemeten. Temperatuur 1 en 2 worden in reactor 1 gemeten, temperatuur 3 en 4 corresponderen met reactor 2. Als uitgangspunt voor de bedrijfsvoering geldt dat aan het begin van de reactoren (T1 en T3) een temperatuur vereist is van rond de 80 °C.

In de periode tussen 12:36 en 13:01 uur is de opstart van de MID MIX installatie te zien. Reactor 1 is reeds op temperatuur gebracht (door een hoeveelheid slib te mengen met CaO en de toevoer vervolgens stop te zetten). De temperatuur aan het begin van reactor 1 loopt daardoor op (voorverwarmen) terwijl de rest van reactor 1 en reactor 2 nog moeten opwarmen. Vervolgens begint de reactor op meetpunten 2, 3 en 4 ook geleidelijk op temperatuur te komen waarna de installatie volledig in bedrijf gaat. Voor alle vier de slibben zien de grafieken er ongeveer hetzelfde uit en wordt gestreefd naar een procestemperatuur van rond de 80 °C. Afhankelijk van variabelen zoals het drogestofgehalte, organisch-stofgehalte en de temperatuur zijn er altijd variaties te zien in de opstart.

FIGUUR 4.2

TEMPERATUUR VERLOOP IN DE REACTOREN, TEMPERATUUR 1 EN 2 ZIJN IN REACTOR 1 EN TEMPERATUUR 3 EN 4 ZIJN GEMETEN IN REACTOR 2



4.3.4 NIET GELOGDE PROCES PARAMETERS

Naast de gelogde proces parameters zijn er diverse proces parameters die niet gelogd worden door de MID MIX installatie. Deze procesparameters zijn in het kader van dit onderzoek handmatig bepaald en zijn opgenomen in Tabel 4.4.

TABEL 4.4 NIET GELOGDE PROCES PARAMETERS MID MIX INSTALLATIE WILP

Parameter	Eenheid	Waarde
Retour Neutral	Ton Neutral/ton ds slib	0,8
Onderdruk	pascal	10-20
Verbruik HCl (30%)	l/ ton ds	0,03
Elektriciteit	kWh/ton ds	158
Beoogde temperatuur reactor 1a	°C	65-80
Beoogde temperatuur reactor 1b	°C	65-75
Beoogde temperatuur reactor 2a	°C	65-80
Beoogde temperatuur reactor 2b	°C	65-75
Ventilatielucht	m ³ /h	9.000 – 11.000
Temperatuur schoorsteen *	°C	30
Temperatuur ingaande lucht scrubber *	°C	65
Temperatuur uitgaande lucht scrubber *	°C	40

*inschatting

4.3.5 INTERPRETATIE

De testinstallatie bereikte een doorzet van maximaal 3 ton slibkoek per uur. Volgens VSGM is de installatie zoals opgesteld in Wilp geen optimale installatie. Een praktijkinstallatie met dezelfde grootte bereikt volgens VSGM een doorzet van circa 6 ton slibkoek per uur wat bij een bedrijfstijd van 16 uur per dag en 250 dagen per jaar resulteert in een verwerkingscapaciteit van circa 25.000 ton ($6 \times 16 \times 250 = 24.000$) slibkoek per jaar. In een praktijkinstallatie is het bijvoorbeeld mogelijk om ook op de voormenger ongebluste kalk te doseren waardoor het te behandelen slib sneller op temperatuur komt en de installatie meer continue kan draaien. Een andere verklaring voor de relatief lage doorzet heeft te maken met de procesinstellingen die voor elke batch aangepast dienden te worden. In het geval van een praktijkinstallatie zijn de optimale procesinstellingen per slibtype al bekend.

De CaO dosering varieerde in de verschillende testen van 1,3 (Amersfoort) tot 2,9 (Mierlo) ton CaO per ton drogestof. De CaO dosering zoals toegepast in Mierlo is niet representatief voor de praktijk omdat de testinstallatie verre van optimaal gedraaid heeft. Voor een praktijkinstallatie is een maximale dosering van 2,0 ton CaO per ton droge stof daarom realistischer. Uitgaande van een slibhoeveelheid van 100.000 ton slibkoek per jaar met een droge stofgehalte van 25% resulteert dit op jaarbasis in een CaO verbruik van 30.000 tot 50.000 ton per jaar.

4.4 ANALYSERESULTATEN LABORATORIUM

4.4.1 BODEMKUNDIGE ANALYSES

In Tabel 4.5 zijn de resultaten van de bodemkundige analyses in slib weergegeven. Tabel 4.6 geeft de bodemkundige analyses in Neutral weer. Uit de tabellen blijkt het volgende:

- Het drogestof gehalte in het ontwaterde slib varieerde tussen de 20-25%
- Het organisch-stofgehalte van het slib lag tussen de 60-82% terwijl de Neutral 10-14% organische stof bevatte. Het aandeel organische stof in de Neutral is daarmee duidelijk lager

dan in het slib. Deels komt dit door de dosering van CaO. In de massabalans in paragraaf 4.7 wordt hier nader op ingegaan.

TABEL 4.5 ANALYSERESULTATEN SLIB

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Drogestofgehalte	% ds	24,6	24,4	21,5	20,4
Organisch stof gehalte	% os	71,4	60,6	81,8	76,0
Gloeirest	% van ds	28,4	39,2	17,9	24,0

TABEL 4.6 ANALYSERESULTATEN NEUTRAL

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Drogestof gehalte	% ds	95,6	96,3	94,0	96,5
Organisch stof gehalte	% os	10,7 *	11,2 *	13,9 *	14,1 *
Gloeirest	% van ds	89,3	88,8	86,1	85,9
TOC	g/kg ds	53	47	72	79
Ammonium	mg/kg ds	5,5	3,8	3,2	6,8
N-totaal	mg/kg ds	5,5	3,8	3,2	6,8
Fosfor	mg/kg ds	6,8	3,7	2,5	6,1
CaCO ₃	% van ds			28,2	
CaCO ₃ -C	mg/kg ds			38.706**	

* analysemethode (verwarmen tot 550°C) voor Neutral niet betrouwbaar doordat bij die temperaturen de H₂O in Ca(OH)₂ vrijkomt en ook meegeteld als organische stof

**Berekend o.b.v. Ca-Carbonaat

4.4.2 METALEN

In Tabel 4.7 zijn de metalen analyses in slib opgenomen en in Tabel 4.8 de metalen analyses in Neutral. Uit de tabellen blijkt dat de metalen concentraties in de Neutral lager zijn dan in het slib. Voor een deel wordt dit veroorzaakt door de CaO dosering waardoor de gemiddelde concentratie metalen lager uitvalt (verdunnen). Een andere verklaring is dat de metalen een verbinding aangaan met de CaO waardoor ze niet teruggemeten worden bij gangbare analyses. In paragraaf 4.7 (massa balansen) wordt hier aan de hand van een massabalans nader op ingegaan.

TABEL 4.7 METALEN ANALYSES SLIB

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Barium	mg/kg ds	210	190	140	82
Cadmium	mg/kg ds	1,4	1,2	0,63	0,48
Kobalt	mg/kg ds	3,1	6,8	2,5	9,8
Koper	mg/kg ds	420	150	310	21
Kwik	mg/kg ds	0,76	0,35	0,32	0,16
Molybdeen	mg/kg ds	9,4	5,9	6,4	<1,5
Nikkel	mg/kg ds	23	25	25	34
Lood	mg/kg ds	130	58	51	46
Zink	mg/kg ds	1300	860	640	120

TABEL 4.8 METALEN ANALYSES NEUTRAL*

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Barium	mg/kg ds	45	69	51	41
Cadmium	mg/kg ds	0,29	0,35	<0,40	0,26
Kalium	mg/kg ds	670	690	600	1.400
Kobalt	mg/kg ds	<3,0	<3,0	<5,0	<0,3
Koper	mg/kg ds	50	19	33	18
Kwik	mg/kg ds	0,1	0,054	<0,10	0,063
Molybdeen	mg/kg ds	<1,5	<1,5	<1,5	<1,5
Nikkel	mg/kg ds	<4,0	4,3	<5,0	<4,0
Lood	mg/kg ds	13	11	<10	<10
Zink	mg/kg ds	150	93	72	60

* Voor interpretatie van de waarden in deze tabel zie het tekstkader in paragraaf 3.4 'Aandachtspunten bij opstellen massabalansen organische stof en zware metalen'

4.4.3 MINERALE OLIE, BTEX, FENOLEN, PCB EN PAK

In Tabel 4.9 zijn de analyseresultaten op minerale olie, BTEX, fenolen, PCB en PAK in slib opgenomen. Tabel 4.9 geeft de resultaten weer van de minerale olie, BTEX, fenolen, PCB en PAK in Neutral. Uit de tabellen volgt dat de minerale olie concentraties in de vier slibben variëren van 6.000-11.000 mg/kg ds.

De concentraties minerale olie in de Neutral zijn opgenomen in Tabel 4.10 en lopen uiteen van 1.000 – 2.800 mg/kg ds. Het minerale olie gehalte in de Neutral van Amersfoort en Katwoude is opvallend hoog. Beide ontwaterde slibben worden gekenmerkt door lage minerale olie gehalten terwijl de Neutrals juist relatief hoge gehalten minerale olie bevatten.

In het geval van Amersfoort ligt de oorzaak mogelijk in de lage CaO dosering (1,3 ton CaO per ton drogestof tegenover 1,8 tot 2,9 ton CaO per ton droge stof voor de overige batches). Deze theorie gaat echter niet op voor het slib van Katwoude omdat hier een hogere CaO dosering toegepast is. De oorzaak van het hoge gehalte minerale olie in de Neutral van Katwoude is niet te verklaren. De concentraties BTEX, fenol, PCB en PAK zijn laag in alle Neutrals. Er is dus geen sprake van vorming van ongewenste elementen zoals PAK's.

TABEL 4.9 RESULTATEN BTEX, FENOLEN, MINERALE OLIE, PCB EN PAK ANALYSES IN SLIB

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Minerale olie (C10-C40)	mg/kg ds	7.300	11.000	11.000	6.000
PCB (som7)	mg/kg ds	0,0049	0,04	0,0049	0,0049
PAK VROM (10)	mg/kg ds	3,1	3,9	2,3	5,2

TABEL 4.10 RESULTATEN BTEX, FENOLEN, MINERALE OLIE, PCB EN PAK ANALYSES IN NEUTRAL

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
BTEX	mg/kg ds	<0,25	<0,25	<0,25	<0,25
Fenol	mg/kg ds	1,1	0,38	0,88	0,57
Minerale olie totaal (C10-C40)	mg/kg ds	2.800	1.000	1200	1.800
PCB (som7)	mg/kg ds	0,049	0,0081	<0,0070	0,0049
PAK VROM (10)	mg/kg ds	1,4	2,9	0,51	0,86

AANVULLENDE VERWIJDERING MINERALE OLIE NEUTRAL

De toepasbaarheid van Neutral wordt vergroot indien het minerale olie gehalte tot onder de 500 mg/kg ds gereduceerd kan worden (minerale olie eisen bouwstoffen). Aanvullend op de analyseresultaten in Tabel 4.9 en Tabel 4.10 zijn analyses uitgevoerd op Neutral wat een aanvullende thermische nabehandeling heeft ondergaan door het gedurende 5 minuten te verwarmen tot 250°C. Het minerale olie gehalte van de thermisch bewerkte Neutral lag op 420 mg/kg ds tegenover een initieel minerale olie gehalte van 2.600 mg/kg ds.

Als alternatief op thermische nabehandeling is ook oxidatieve voorbehandeling (ozon, hydroxide, peroxide) in beeld om het gehalte minerale olie te verlagen. Op basis van laboratoriumproeven is ingeschat dat 0,2 liter ozon per ton slibkoek voldoende zou moeten zijn om de pre-oxidatie op gang te brengen en lange minerale olie ketens te breken zodat het materiaal (slib) verwerkt kan worden. In een vervolgfase dient vastgesteld te worden in welke mate dit tot een verlaging van de minerale olie concentratie in de Neutral leidt.

Een vraag die tijdens het onderzoek naar boven kwam is waar de mineralen olie in het slib vandaan komt. Een logische verklaring lijkt te liggen in de polymeren die gebruikt worden bij de indikking en ontwatering van slib. Deze polymeer oplossingen bestaan voor een groot deel uit minerale olie (hulpstof). De vraag is of de aanwezige minerale olie in zijn geheel te relateren is aan de polymeren van de slibontwatering of dat er andere bronnen aan te wijzen zijn? In navolgend tekstkader wordt hier op ingegaan.

MINERALE OLIE IN SLIB

De waterschappen WBL en de Dommel hebben analyses uitgevoerd op de minerale olie in slib voorafgaand en na ontwatering. Vervolgens is berekend in welke mate het polymeer van de slibontwatering bijdraagt aan de aanwezige minerale olie.

In Tabel 4.11 is te zien dat het slib voor de ontwatering al een significante hoeveelheid olie bevat. Het is onzeker waar deze minerale olie vandaan komt. Aannemelijk is dat de olie via het riool aangevoerd wordt met het afvalwater en via de zuivering in het slib terecht komt. De minerale olie kan afkomstig zijn uit bijvoorbeeld persoonlijke verzorgingsproducten zoals shampoos. Ook via rejectiewater van de slibontwatering komt olie in het slib. Ook zou afspoelend regenwater een bron van minerale olie kunnen zijn.

TABEL 4.11 GEMETEN MINERALE OLIE GEHALTES IN SLIB VAN MAASTRICHT-LIMMEL EN DE MIERLO

Parameter	Eenheid	Maastricht-Limmel	Mierlo
Minerale olie in slib voor ontwatering	mg/kg ds	7.500	6.300
Minerale olie in slib na ontwatering	mg/kg ds	17.000	10.400 - 11.000
Toevoeging minerale olie via PE ontwatering (berekend)	mg/kg ds	9.500	4.100 - 4.700

Ter verificatie van de in Tabel 4.11 opgenomen resultaten is het aandeel minerale olie vanuit polymeer berekend aan de hand van het polymeerverbruik per ton ontwaterd slib.

Op basis van de activiteit van het polymeer is in Tabel 4.12 een aanname gedaan voor het aandeel minerale olie. Vervolgens is berekend wat de theoretische bijdrage van de minerale olie per ton slib is. Te zien is dat het bij Maastricht-Limmel en de Mierlo gaat om een toevoeging van respectievelijk 7.944 en 3.500 mg minerale olie/kg slib. Deze getallen liggen goed in lijn met de gemeten waardes in Tabel 4.11.

TABEL 4.12 PE DOSERING EN TOEVOEGING VAN MINERALE OLIE AAN HET SLIB BIJ TWEE WATERSCHAPPEN

Parameter	Eenheid	Maastricht-Limml	Mierlo*
Aandeel actieve stof in PE	%	45	50
Deel minerale olie in PE	%	55	25
PE dosering	gram actief PE/kg ds slib	6,5	7
Minerale olie door PE dosering	mg/kg ds slib	7.944	3.500

*PE van Mierlo bevat 25% minerale olie, 25% water en 50% actief PE

Tot slot is er bij het analyse laboratorium een check uitgevoerd op de analysemethode voor minerale olie. De vraag was of deze analysemethode geen andere moleculen meet zoals humuszuren. Hieruit kwam naar voren dat er bij de gebruikte analysemethode een fout van maximaal 100-200 mg kan optreden door aanwezigheid van humuszuren. Ook dit is dus geen verklaring voor de hoge concentraties minerale olie.

4.4.4 UITLOOGONDERZOEK

Om de toepasbaarheid van Neutral als bouwstof te verkennen zijn er uitloogproeven uitgevoerd. De resultaten betreffen een schudproef (één schudproef per Neutral). De schudproeven geven een eerste indicatie van de uitloging. Voor nadere bepaling dient een kolomproef gedaan te worden.

In Tabel 4.13 zijn de resultaten van het uitloog onderzoek op de Neutral opgenomen. Daarnaast zijn de normen voor de toepassing als bouwstof opgenomen. Hieruit blijkt het volgende:

- De Neutrals voldoen aan de uitloogeisen voor IBC bouwstoffen
- Aan de eisen voor niet-vormgegeven bouwstoffen wordt voor het element koper niet voldaan en voor het element kobalt wordt in een enkel geval niet voldaan

TABEL 4.13 RESULTATEN VAN UITLOOGPROEVEN OP NEUTRAL EN DE NORMEN VOOR NIET- VORMGEGEVEN EN IBC BOUWSTOFFEN

Parameter	Eenheid	Niet-vormgegeven	IBC -bouw-stoffen	Amersfoort	Mierlo	Katwoude
Antimoon	mg/kg ds	0,32	0,7	0,018	0,011	0,0074
Arseen	mg/kg ds	0,9	2	0,15	0,12	0,49
Barium	mg/kg ds	22	100	3,2	8,1	8,4
Cadmium	mg/kg ds	0,04	0,06	0,00097	0,0014	0,0014
Chroom	mg/kg ds	0,63	7	0,022	0,018	0,016
Kobalt	mg/kg ds	0,54	2,4	0,053	0,041	0,59
Koper	mg/kg ds	0,9	10	6,4	4,5	4,4
Kwik	mg/kg ds	0,02	0,08	0,00059	0,0087	0,0067
Nikkel	mg/kg ds	0,44	2,1	0,26	0,32	0,31
Molybdeen	mg/kg ds	1	15	0,14	0,049	0,042
Lood	mg/kg ds	2,3	8,3	0,41	0,061	0,036
Seleen	mg/kg ds	0,15	3	0,047	0,036	0,082
Tin	mg/kg ds	0,4	2,3	<0,030	<0,030	<0,030
Vanadium	mg/kg ds	1,8	20	<0,20	<0,020	<0,20
Zink	mg/kg ds	4,5	14	0,51	0,15	0,22
Bromide	mg/kg ds	202	34	1,5	1,3	1,8
Chloride	mg/kg ds	6161	8.800	97	60	150
Fluoride	mg/kg ds	552	1.500	1	1,1	<1,0
Sulfaat	mg/kg ds	2.430	20.000	420	2,2	16

4.4.5 THERMISCHE DESTRUCTIE

In het MID MIX proces gaan stoffen zoals zware metalen mogelijk in binding met calcium. Hierdoor zijn ze niet altijd terug te meten in de Neutral matrix. Om de stoffen wel te kunnen meten zijn de verschillende monsters Neutral verhit tot 900°C, hierdoor wordt Ca(OH)_2 omgezet in CaO en worden metalen weer beschikbaar voor analyse. Tabel 4.14 geeft de analyseresultaten weer van Neutral monsters, nadat deze verhit zijn tot 900°C.

In vergelijking met de in Tabel 4.8 opgenomen concentraties zijn de zware metalen gehalten in Tabel 4.14 duidelijk hoger. Voor koper lopen de gehalten in Tabel 4.14 bijvoorbeeld uiteen van 44 – 110 mg/kg ds tegenover 18– 50 in Tabel 4.8. Een verklaring hiervoor is dat door de hoge temperatuur de hydroxidebindingen omgezet worden, waardoor de metalen weer beschikbaar komen. In paragraaf 4.7 (massa balansen) wordt hier nader op ingegaan.

TABEL 4.14 RESULTATEN THERMISCHE DESTRUCTIETEST 900 °C

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Barium	mg/kg ds	80	89	59	130
Cadmium	mg/kg ds	0,4	0,4	0,4	0,6
Calcium	mg/kg ds	680.000	580.000	660.000	700.000
Kobalt	mg/kg ds	1,4	2	0,9	2
Koper	mg/kg ds	110	44	65	70
Molybdeen	mg/kg ds	1,9	<1,0	1,1	<1,0
Nikkel	mg/kg ds	5,8	5,8	5,1	6,2
Lood	mg/kg ds	23	13	12	17
Zink	mg/kg ds	210	140	98	190
N totaal	mg/kg ds	<100	<100	<100	<100
Nitraat	mg/kg ds	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Nitriet	mg/kg ds	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0
Stikstof volgens Kjeldal	g/kg ds	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fosfor	mg/kg ds	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Na drogen en na de thermische destructie zijn de gewichten van de Neutrals bepaald. De resultaten zijn opgenomen in Tabel 4.15.

TABEL 4.15 NEUTRAL NA DROGEN EN NA THERMISCHE DESTRUCTIE

Neutral	Neutral vóór drogen	Neutral na drogen	Neutral na thermische destructie	Water	Verbrande fractie	Water	Verbrande fractie
	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	%	%
Amersfoort	173,8	171,5	156,3	2,22	15,2	4,77%	32,7%
Maastricht-Limmel	184,0	182,2	169	1,77	13,2	4,07%	30,5%

In Tabel 4.15 is te zien dat er tijdens het drogen (105°C) 4 – 5% water verdampt uit de Neutral. De thermische destructie (900°C) resulteert in een massa reductie van 30 – 33%. De massa reductie tijdens thermische reductie wordt veroorzaakt door verschillende processen:

- Aanwezige organische stof wordt omgezet in CO_2
- H_2O die vastgelegd is in Ca(OH)_2 komt vrij en verdampt
- CaCO_3 breekt bij deze temperaturen af tot CaO en CO_2

4.5 EMISSIEMETING

Tijdens het verwerken van één van de batches slib is een emissiemeting gedaan. De resultaten van de emissiemeting zijn weergegeven in Tabel 4.16. De ammonium verwijdering verliep niet optimaal. De ammoniak concentraties in de behandelde lucht bedroegen 85 tot 308 mg/Nm³. Volgens VSGM is dit veroorzaakt doordat de ammonium concentraties in Nederlands slib hoger liggen dan in referentieprojecten. In een vervolgfase zal een meertraps scrubber toegepast worden waardoor ammonium verregaand verwijderd wordt.

Wat verder opvalt is de zeer lage NOx emissie van (minder dag) 0,1 mg/m³. Dit is aanzienlijk lager dan de NOx emissie die vrijkomt bij verbrandingsprocessen. Een structurele NOx emissie van 1 mg/m³ is naar verwachting haalbaar waardoor er in vergelijking met slibverbranding eenvoudiger aan de stikstof wetgeving voldaan kan worden.

TABEL 4.16 RESULTATEN EMISSIEMETING, DATUM 3 JANUARI 2019, TIJDENS VERWERKEN AMERSFOORT SLIB

Parameter	Eenheid	Meting 1	Meting 2	Meting 3	Gemiddelde
Starttijd		11:30	12:00	12:30	
Stoptijd		12:00	12:30	13:00	
Lucht debiet	m ³ /h	9.650		9.980	9.815
Temperatuur	°C	31	26	25	27
Vochtgehalte	g/m _o ³	43,7	37,3	36,2	39
O ₂	vol%	20,9	20,9	20,9	20,9
CO ₂	vol%	0,2	0,2	0,2	0,2
CO	mg/m _o ³	1,3	0,7	0,6	0,9
CxHy droog	mg C/m _o ³	55,6	48,4	45,2	49,7
NOx	mg/m _o ³	0,1	<0,1	<0,1	0,1
H ₂ S	vppm	<0,5		<0,5	<0,5
NH ₃	mg/m _o ³	308	85	160	184
SO ₂	mg/m _o ³	<1	<1	<1	<1
Hg vluchtig	mg/m _o ³	0,0007	0,0004	<0,0002	0,0005
Geur concentratie	oue/m ³	4.460	1.990	2.280	2.730
Geur emissie	Moue/h	43	19	22	26
Hedonische waarde ³ H= -1	oue/m ³	3,1	3,0	2,5	2,9
Hedonische waarde H= -2	oue/m ³	13	13	11	12,3

Het CO₂ gehalte in de behandelde lucht bedraagt 2.000 ppm. Dit is hoger dan het CO₂-gehalte in de atmosfeer die rond de 400 ppm CO₂ ligt. Omdat het ventilatiedebiet niet bekend is kan niet worden berekend hoeveel CO₂ er potentieel via de ventilatielucht naar de atmosfeer gaat.

De beleving van de geur wordt uitgedrukt als hedonische waarde. De geur van het MID MIX proces wordt als matig negatief ervaren. In vergelijking met bijvoorbeeld de geur van een slibdrooginstallatie (STOWA 2018-16) is de geurbeleving van de MID MIX installatie positiever. Hierbij moet opgemerkt worden dat het compostfilter van de slibdrooginstallatie in STOWA 2018-16 aan vervanging toe was tijdens het geuronderzoek waardoor de hedonische waardes mogelijk niet representatief zijn.

- 3 Hedonische waarde geeft een indicatie hoe de geur ervaren wordt, een positieve H-waarde duidt op een prettige ervaring van de geur, een negatieve waarde op een onprettige ervaring van de geur. Naast de beoordeling of de geur als prettig of onprettig wordt ervaren geeft het getal weer bij welke hoeveelheid geureenheden per m³ de geur als zodanig wordt waargenomen.

4.6 AANVULLENDE TESTEN

Aanvullend op de pilot testen zijn op labschaal aanvullende testen uitgevoerd. De reden van deze aanvullende testen was om meer inzicht te krijgen in de chemische processen achter het MID MIX proces. Chemisch is moeilijk te verklaren waarom de organische stof in slib in de MID MIX installatie omgezet wordt naar CO_2 . De temperatuur is immers niet hoog genoeg voor de verbranding van organische stof. Aan de hand van een eenvoudige mengtest is allereerst gekeken of organische stof wordt omgezet als ontwaterd slib gemengd wordt met CaO. Anderzijds is bepaald of in de geproduceerde Neutrals CaCO_3 aanwezig is en of dit ontstaan is in het MID MIX proces. Tevens is de TOC van de Neutral bepaald om te beoordelen hoeveel organische stof resteert.

De volgende aanvullende testen zijn uitgevoerd:

- Afbraak organische stof mengen slib en CaO (vaststellen of organische stof wordt omgezet wanneer ontwaterd slib met CaO gemengd wordt)
- CaCO_3 in Neutral (bepalen aanwezigheid CaCO_3 in Neutral)
- TOC in Neutral
- CaCO_3 in ontwaterde slibben

Navolgend worden de aanvullende testen beschreven.

4.6.1 AFBRAAK ORGANISCHE STOF BIJ MENGEN ONTWATERD SLIB EN CAO

Onderdeel van dit onderzoek is om te toetsen of organische stof in het MID MIX proces wordt omgezet in CO_2 . Volgens VSGM reageert een deel van deze CO_2 tot CaCO_3 terwijl een ander deel vervliegt naar de atmosfeer.

Om te toetsen of organische stof omgezet wordt bij het mengen van ontwaterd slib en CaO is een laboratorium test uitgevoerd. Het verslag van de test is opgenomen in Bijlage 9. In deze test is CaO in verschillende verhoudingen gemengd met ontwaterd slib om te toetsen of er sprake was van CaCO_3 of CO_2 vorming. Dit zou immers betekenen dat organische stof wordt omgezet.

Uit de laboratoriumtest volgt dat door slib en CaO te mengen de temperatuur stijgt en aanwezig water wordt vastgelegd als $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en/of vervluchtigd als waterdamp. Er is geen sprake van CaCO_3 vorming of CO_2 vorming in de gasfase. Mengen van ontwaterd slib met CaO is dus niet voldoende voor de afbraak van organische stof.

Om vast te stellen of de condities in de MID MIX installatie resulteren in een omzetting van organische stof naar CaCO_3 of CO_2 zijn aanvullende testen uitgevoerd. Deze worden navolgend omschreven.

4.6.2 CaCO_3 EN TOC IN NEUTRAL VASTSTELLEN

De omzetting van organische stof in het MID MIX proces kan worden aangetoond aan de hand van het CaCO_3 gehalte in de Neutrals van de waterschappen. Organische stof wordt in het MID MIX proces omgezet in CO_2 wat vervolgens met de aanwezige CaO reageert tot CaCO_3 . In deze test is daarom getracht het CaCO_3 gehalte in de Neutral vast te stellen door het doseren van een overmaat aan zuur (HCl). Indien CaCO_3 aanwezig is zal dit bij een overmaat aan zuur omgezet worden in CO_2 en vrijkomen als gas. Het product wat resteert na aanzuren is geanalyseerd op TOC. De reden hiervoor is dat er onzekerheid is of de TOC concentraties in Tabel 4.6 daadwerkelijk organische stof betreffen of dat de gemeten organisch-stofgehalten samen-

hangen met het vrijkomen van CO_2 uit tijdens het MID MIX proces gevormde calciumcarbonaat (CaCO_3) verbindingen. Het analyseprotocol voor organische stof behelst het verwarmen van een monster tot $>500^\circ\text{C}$. Bij deze condities wordt echter ook CaCO_3 omgezet in CaO en CO_2 . Dit heeft een gewichtsafname tot gevolg die gerapporteerd wordt als organische stof maar geen organische stof is. Om deze reden is de Neutral in deze aanvullende test met een overmaat aan zuur aangezuurd waarna de gasproductie is gemeten en het TOC gehalte is gemeten. In Bijlage 10 is het verslag van deze test opgenomen.

Uit de test komt naar voren dat er CO_2 vrijkomt bij het aanzuren van de Neutrals wat duidt op de aanwezigheid van CaCO_3 in de Neutrals. De vrijkomende gassen zijn opgevangen en geanalyseerd waarbij concentraties van 2.000 – 3.000 ppm CO_2 gemeten zijn. De aangezuurde Neutral oplossing is geanalyseerd op TOC. De TOC concentraties in de Neutrals lopen uiteen van 1,5% tot 4,6%. De TOC concentratie dient vermenigvuldigd te worden met een factor om te komen tot het organisch-stofgehalte.

4.6.3 CaCO_3 IN NEUTRAL VASTSTELLEN

Parallel aan de test zoals beschreven in paragraaf 4.6.2 is door HHNK eveneens een test uitgevoerd om de aanwezigheid van CaCO_3 in de Neutrals van waterschappen vast te stellen. Deze test wordt beschreven in Bijlage 11. Uit deze test volgt dat bij drie van de vier monsters CO_2 vrij komt. Alleen bij Katwoude is dit niet het geval. In 10 gram neutral van Amersfoort zit 520 ml CO_2 . Dat is bijna exact de hoeveelheid die theoretisch was bepaald (550 ml).

4.6.4 CO_3 IN ONTWATERDE SLIBBEN

Om uit te sluiten dat de CO_3 reeds aanwezig was in de aangeleverde slibben is de concentratie CO_3 in de ontwaterde slibben vastgesteld (met uitzondering van het slib van Maastricht-Limmet). Uit deze test komt naar voren dat er geen CaCO_3 aanwezig is in de ontwaterde slibben. De CaCO_3 kan dus alleen in de MID MIX installatie gevormd zijn.

4.6.5 SAMENVATTING AANVULLENDE TESTEN

Op basis van de aanvullende testen wordt geconcludeerd dat er in de Neutrals van de waterschappen CaCO_3 aanwezig is. De CO_3 is niet aanwezig in de ontwaterde slibben. Tevens wordt geconcludeerd dat enkel het mengen van ontwaterd slib met CaO niet resulteert in de omzetting van organische stof. De aanwezigheid van CaCO_3 in de Neutrals van waterschappen kon niet worden verklaard.

De TOC concentraties in de Neutrals lopen uiteen van 1,5% tot 4,6%. De TOC concentratie dient vermenigvuldigd te worden met een factor (circa 2) om te komen tot het organisch-stofgehalte. Het organisch-stofgehalte in de Neutrals wordt ingeschat op 3,0% tot 9,2%. Dit is aanzienlijk lager dan de organisch-stofgehalten in het ingaande slib. In paragraaf 4.7.1 wordt aan de hand van een koolstofbalans bepaald hoeveel organische stof er in het MID MIX proces omgezet wordt in CO_2 en CaCO_3 .

4.7 MASSA BALANSEN

In dit hoofdstuk worden aan de hand van de vastgestelde vrachten en de analyseresultaten uit paragraaf 4.4 massabalansen opgesteld voor organische stof, zware metalen (koper) en minerale olie. Aan de hand van deze massabalansen wordt inzicht verschaft in de processen die plaats vinden in de MID MIX installatie. Voor fosfaat is een dergelijke balans niet opgesteld omdat al het fosfaat aanwezig blijft in de Neutral. Paragraaf 3.5 bespreekt de eventuele mogelijkheden tot terugwinning van fosfaat uit Neutral. Voor stikstof kon geen balans

worden opgesteld omdat het stikstof gehalte in het ontwaterde slib niet is vastgesteld evenals de luchtdebieten.

4.7.1 KOOLSTOF (C-BALANS)

Zoals reeds beschreven in paragraaf 4.4.1 geeft de analysemethode van organische stof in Neutral een vertekend beeld omdat bij de gehanteerde analysemethodiek (550 °C) vastgelegd H₂O vrijkomt uit Ca(OH)₂ verbindingen waardoor het organisch-stofgehalte hoger uitvalt. Uit de aanvullende testen in paragraaf 4.6 volgt dat de TOC gehalten uiteenlopen van 1,5% tot 4,6% wat resulteert in organisch-stofgehalten van 3,0% tot 9,2%. In navolgende Tabel 4.17 en Tabel 4.18 is uitgegaan van bovengenoemde concentraties.

TABEL 4.17 INGAANDE STROMEN MET ORGANISCHE STOF

Slib in	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Slib massa	kg	20.000	22.000	16.232	18.000
Drogestofgehalte	%	24,6	24,4	21,5	20,4
Organisch-stofgehalte	%	71	61	82	76
Massa organische stof in slib	kg	3.513	3.253	2.855	2.791
TOC slib	kg	1.756	1.627	1.427	1.395

TABEL 4.18 UITGAANDE STROMEN MET KOOLSTOF

Neutral uit	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Neutral massa	kg	12.600	17.400	17.400	13.200
Drogestofgehalte	%	95,6	96,3	94,0	96,5
Organisch-stofgehalte	%	4,3	2,9	5,5	9,2
Massa organische stof	kg	513	489	900	1.174
TOC	kg	257	245	450	587
Vaste fractie CaCO ₃	massa %	28,2	28,2*	28,2*	28,2*
Vaste fractie CaCO ₃	kg	3.553	4.907	4.907	3.722
CaCO ₃ -C in Neutral	kg	426	588	588	446
Totaal koolstof in Neutral	kg	683	833	1.038	1.034

* Op basis van de meting in de Neutral van Amersfoort

Uit Tabel 4.17 volgt dat de ingaande TOC vracht 1.395 tot 1.756 kg (TOC slib) bedraagt. In de Neutral resteert 683 – 1.038 kg organische stof. Afhankelijk van het slib wordt 58% (Katwoude) tot 85% (Amersfoort en Maastricht-Limmel) van de organische stof omgezet in CO₂ / CaCO₃.

Op basis van de in Tabel 4.17 en Tabel 4.18 vastgestelde vrachten zijn in Tabel 4.19 de balansen opgesteld voor organische stof.

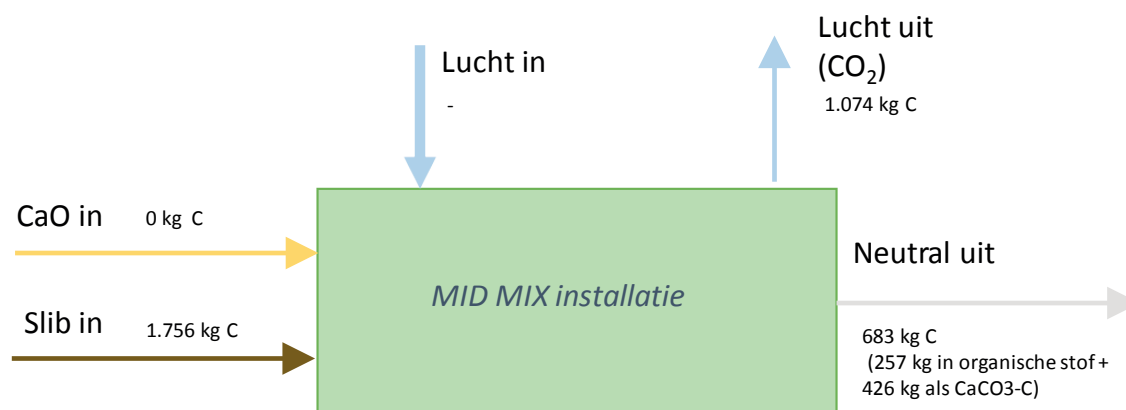
TABEL 4.19 MASSABALANS KOOLSTOF

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Totaal C in	kg C	1.756	1.627	1.427	1.395
Uit via Neutral (C in organische stof en in CaCO ₃)	kg C	683	833	1.038	1.034
Verschil (Uit – In)	kg C	-1.074	-793	-389	-362
Uit via lucht	%	61	49	27	26

Uit Tabel 4.19 volgt dat 26-61% van de ingaande koolstof niet meer in de Neutral aanwezig is en dus als CO₂ afgezogen is met de ventilatielucht

Figuur 4.3 illustreert de organische stof balans van het MID MIX proces. Voor de batch van Amersfoort is waargenomen dat van de 1.756 kg koolstof die het proces ingaat in totaal 683 kg resteert in de Neutral (257 kg organische stof en 426 kg als CaCO₃). Dit betekent dat de rest (1.074 kg) als CO₂ het proces verlaat via de schoorsteen. De CO₂ vracht in de ventilatielucht kan niet met zekerheid worden vastgesteld omdat het ventilatiedebiet niet gemeten is en er slechts één emissiemeting is uitgevoerd. Uitgaande van de in paragraaf 4.5 gemeten CO₂ concentratie van 2.000 ppm, een aangenomen ventilatiedebiet van 10.000 m³/h en een totaal van 14 testdagen van 8 uur komt de koolstof vracht in de ventilatielucht op 1.191 kg. Dit ligt in lijn met de 1.074 kg in de massabalans.

FIGUUR 4.3 MASSABALANS KOOLSTOF, AMERSFOORT SLIB



4.7.2 ZWARE METALEN (CU)

Als voorbeeld voor wat er in het MID MIX proces gebeurt met zware metalen is in deze paragraaf de balans voor koper (Cu) uitgewerkt. De ingaande en uitgaande Cu vrachten zijn opgenomen in Tabel 4.20 en Tabel 4.21. In Tabel 4.21 is een onderscheid gemaakt in de uitgaande Cu vracht mét en zonder thermische destructie.

TABEL 4.20 INGAANDE CU VRACHTEN

Ingaande stromen	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
<i>Slib in</i>					
Slib massa	kg	20.000	22.000	16.232	18.000
Drogestofgehalte	%	24,6	24,4	21,5	20,4
Drogestof massa	kg ds	4.920	5.368	3.490	3.672
Cu gehalte	mg /kg ds	420	150	310	21
Cu vracht	kg	2,1	0,8	1,1	0,1

TABEL 4.21 UITGAANDE CU VRACHTEN

Uitgaande stromen	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
<i>Neutral uit</i>					
Neutral massa	kg	12.600	17.400	17.400	13.200
Drogestofgehalte	%	95,6	96,3	94,0	96,5
Drogestof massa	kg ds	12.046	16.756	16.356	12.738
<i>Zonder thermische destructie</i>					
Koper gehalte zonder thermische destructie	mg /kg ds	50	19	33	18
Cu vracht	kg	0,6	0,3	0,5	0,2
<i>Met thermische destructie</i>					
Koper gehalte na thermische destructie	mg /kg ds	110	44	65	70
Cu vracht	kg	1,3	0,7	1,0	0,9

Uit Tabel 4.21 is af te leiden dat de Cu vracht na thermische destructie meer dan twee keer zo hoog uitvalt dan zonder thermische destructie. Met uitzondering van Katwoude is de Cu vracht na thermische destructie gelijk aan, of lager dan, de ingaande Cu vracht. Om deze reden wordt de Cu vracht na thermische destructie representatief geacht.

Wat het ingaande Cu gehalte van het Katwoude slib betreft lijkt er sprake te zijn van een meetfout. Het gemeten gehalte van 21 mg/kg drogestof is onrealistisch laag.

In Tabel 4.22 is de massabalans voor de 4 batches samengevat opgenomen.

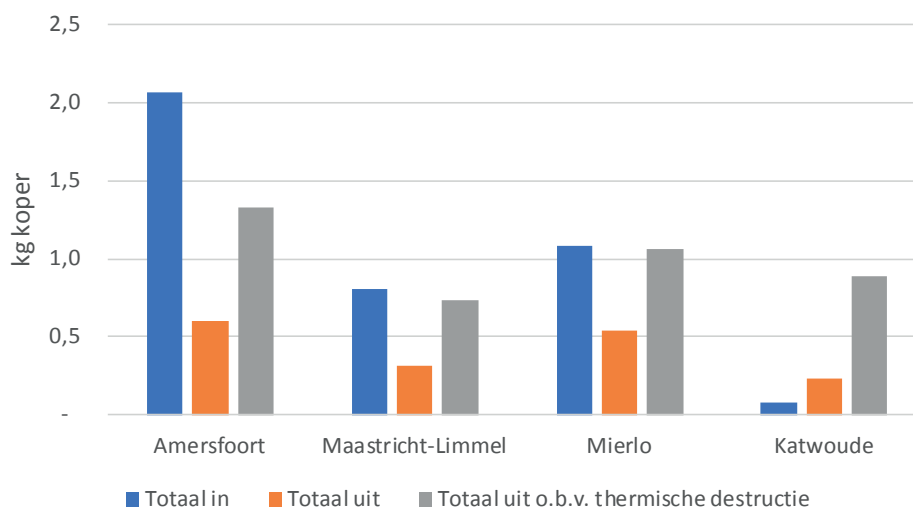
TABEL 4.22 MASSA BALANS CU TER ILLUSTRATIE VAN ZWARE METALEN, O.B.V. DE ANALYSES NA THERMISCHE DESTRUCTIE VOOR DE UITGAANDE STROMEN

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Totaal in	kg	2,1	0,8	1,1	0,1
Totaal uit (zonder thermische destructie)	kg	0,6	0,3	0,5	0,2
Totaal uit (met thermische destructie)	kg	1,3	0,7	1,1	0,9
Vershil (uit * -in)	kg	-0,7	-0,1	0,0	0,8

*met thermische reductie

De resultaten uit Tabel 4.22 zijn in Figuur 4.4 gevisualiseerd.

FIGUUR 4.4 TOTAAL KG CU IN, UIT O.B.V. UITLOOG RESULTATEN EN UIT O.B.V. ANALYSE NA THERMISCHE DESTRUCTIE



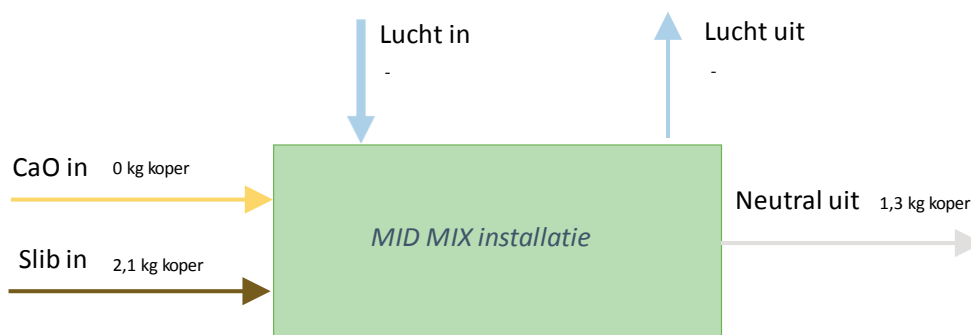
De analyses na thermische destructie laten voor alle batches een hogere Cu vracht zien dan de analyses zonder thermische destructie. Dit wordt mogelijk veroorzaakt doordat de voorbehandeling voor metalen analyse (aanzuren) onvoldoende in staat is om de metalen vrij te maken. Door de grote overmaat aan kalk wordt het zuur geneutraliseerd zodat niet alle metalen ontsloten worden. Na verhitting tot 900 °C zijn alle metalen wel weer vrij beschikbaar.

Op basis van Tabel 4.22 en Figuur 4.4 wordt het volgende geconstateerd:

- Voor de batches van Maastricht-Limmel en de Mierlo zijn de massabalansen (bijna) kloppend.
- Bij de ingaande stromen valt het op dat de batch van Katwoude slechts 21 mg/kg ds Cu bevat, aanzienlijk lager dan bij de andere batches. Dit is naar verwachting het gevolg van een foutieve analyse.
- De massabalansen van Amersfoort en Katwoude kloppen niet. In het geval van Katwoude heeft dit te maken met de lage concentratie in het ingaande slib. Voor Amersfoort kan geen oorzaak aangewezen worden.

Ter illustratie van de zware metalen massa balans is in Figuur 4.5 de massa balans van Cu opgenomen voor de batch van Amersfoort. Op basis van de samenstelling van de aangeleverde CaO in Bijlage 13 is als uitgangspunt gehanteerd dat geen Cu aanwezig is in de ingaande CaO. De uitgaande Cu concentratie is berekend op basis van de gehalten bepaald na thermische destructie. Wat opvalt is dat er een gat is tussen de ingaande en uitgaande Cu hoeveelheid, voor de batches van Maastricht-Limmel en de Mierlo was dit gat er niet. Het is mogelijk dat de hoeveelheid geproduceerde Neutral bij deze batch niet goed is ingeschat. Een andere verklaring is een niet representatieve analyse van het gehalte Cu in het slib.

FIGUUR 4.5 MASSABALANS VAN KOPER VOOR DE BATCH VAN AMERSFOORT



4.7.3 MINERALE OLIE

In Tabel 4.23 en Tabel 4.24 zijn de in- en uitgaande vrachten minerale olie opgenomen.

TABEL 4.23 INGAANDE VRACHTEN MINERALE OLIE

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
<i>Slib in</i>					
Slib massa	kg	20.000	22.000	16.232	18.000
Drogestofgehalte	%	24,6	24,4	21,5	20,4
Drogestof massa	kg ds	4.920	5.368	3.490	3.672
Minerale olie gehalte	mg /kg ds	7300	11000	11000	6000
Massa minerale olie in slib	kg	36	59	38	22

TABEL 4.24 UITGAANDE VRACHTEN MINERALE OLIE

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
<i>Neutral uit</i>					
Neutral massa	kg	12.600	17.400	17.400	13.200
Drogestofgehalte	%	95,6	96,3	94,0	96,5
Drogestof massa	kg ds	12.046	16.756	16.356	12.738
Minerale olie gehalte	mg /kg ds	2.800	1.000	1.200	1.800
Massa minerale olie	kg	34	17	20	23

In Tabel 4.25 is de massabalans opgenomen.

TABEL 4.25 MASSABALANS MINERALE OLIE

Parameter	Eenheid	Amersfoort	Maastricht-Limmel	Mierlo	Katwoude
Totaal in	kg	35,9	59,0	38,4	22,0
Totaal uit	kg	33,7	16,8	19,6	22,9*
Balans	kg	-2,2	-42,3	-18,8	0,9
Reductie	%	6	72	49	-4

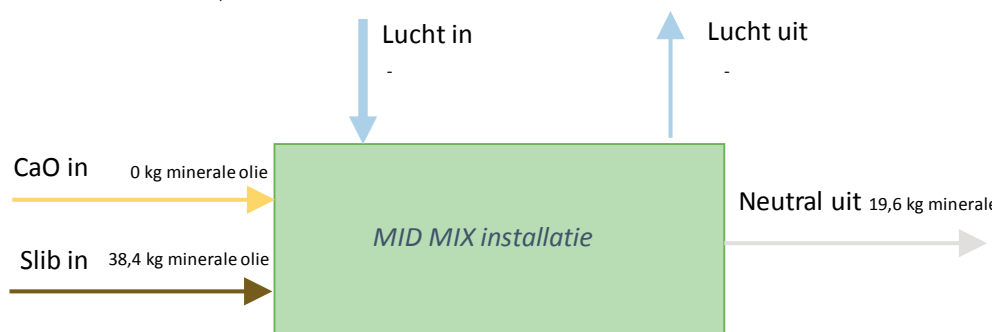
*meetfout; toename minerale olie is niet mogelijk

Uit de tabellen blijkt het volgende:

- De massabalans laat zien dat er minder minerale olie uit het proces komt dan dat er is ingegaan. Dit gat in de massabalans kan verschillende oorzaken hebben zoals de afbraak van olie of problemen met de analyse van minerale olie in de Neutral.
- Afhankelijk van het slib wordt een toename van 4% (Katwoude) tot een reductie van 72% (Maastricht-Limmel) minerale olie gemeten. Een toename is niet mogelijk omdat Neutral gaan minerale olie bevat. Deze toename in minerale olie is naar verwachting veroorzaakt door een meetfout
- Bij de batches van Amersfoort en Katwoude is de minerale olie vracht niet tot nauwelijks gereduceerd.
- Bij de batches van Maastricht-Limmel en de Mierlo, waar initieel de hoogste concentraties minerale olie gemeten werden, is er 49-72% minerale olie gereduceerd

In Figuur 4.6 is een grafische weergave van de massabalans van minerale olie opgenomen voor het slib van Mierlo.

FIGUUR 4.6 MASSA BALANS MINERALE OLIE, AMERSFOORT



5

WET- EN REGELGEVING RONDOM MID MIX EN DE TOEPASSING VAN NEUTRAL

5.1 INLEIDING

Dit hoofdstuk bespreekt de wet- en regelgeving ten aanzien van het MID MIX proces en de toepasbaarheid van de geproduceerde Neutral.

Het MID MIX proces wijkt als slibverwerkingstechniek af van gangbare technieken zoals verbranding of compostering. Toetsing aan het Landelijk Afvalbeheerplan (LAP3) is noodzakelijk omdat er een afvalstof wordt bewerkt (zuiveringsslib). Het LAP geeft voor vergunningverlening het referentieniveau aan voor het be-/verwerken van afvalstoffen. Vergunningen worden in principe alleen verleend als de voorgestane be-/verwerking minimaal gelijkwaardig is aan de minimumstandaard zoals beschreven in het LAP3. Dit staat los van de overige toetsingscriteria zoals BREF's, emissie-eisen etc.

De output van het MID MIX proces is het product Neutral. De samenstelling van Neutral hangt samen met het input materiaal en de gehanteerde CaO dosering.

Dit hoofdstuk gaat nader in op het LAP3 in paragraaf 5.2. Vervolgens wordt in paragraaf 5.3 ingegaan op de vraag of Neutral als grondstof of afvalstof gekwalificeerd moet worden. Daarna behandelt paragraaf 5.4 de mogelijke toepassingsgebieden van Neutral. In paragraaf 5.5 worden de interviews met experts en marktpartijen besproken. Ten slotte wordt het geheel samengevat in paragraaf 5.6.

5.2 LANDELIJK AFVALBEHEERPLAN (LAP3)

Voor handelingen met afvalstoffen vormt het LAP3 het beleidsmatig toetsingskader. Binnen het Landelijk Afvalbeheerplan zijn voor een groot aantal afvalstoffen sectorplannen opgenomen waarin minimumstandaarden beschreven staan waaraan handelingen met deze afvalstoffen dienen te voldoen. Voor waterzuiveringsslib geldt sectorplan 16. Het LAP3 stelt als minimumstandaard voor de verwerking van afvalwaterzuiveringsslib niet zijnde slibben van afvalwater uit de voedings- en genotmiddelenindustrie:

- thermisch verwerken, al dan niet na voordrogen, leidend tot oxidatie van het organisch materiaal. Voorbeelden hier van zijn:
 - verbranding in verschillende typen installaties (slibverbrandingsinstallatie (SVI), cementoven, energiecentrale of AVI), al dan niet in combinatie met biologische dan wel thermische voordroging
 - vergassen gevolgd door nuttige toepassing van het verkregen gas
- Inzet als hulpstof in Hydrostab voor toepassing op een stortplaats
- Terugwinnen van stoffen uit het slib (bijv. fosfaat, bioplastic, Kaumera, etc) met de kanttekening dat het residu wat overblijft na terugwinning niet mag worden gestort

Of MID MIX aangemerkt wordt als minimumstandaard is afhankelijk van de uiteindelijke bestemming van de geproduceerde Neutral. Als Neutral wordt ingezet in een cementoven of kalkoven (als vervanging van kalksteen), zal het organisch materiaal worden verbrand (=thermisch verwerkt) en is dit in lijn met de minimumstandaard. Verschil is dan de wijze van drogen, doch dit is waarschijnlijk een overkomelijk probleem.

MID MIX zonder nageschakelde verbranding is een afwijkende verwerkingsmethode van de minimumstandaard. Dit is in beginsel niet vergunbaar, tenzij een LCA aantoont dat de milieudruk gelijk of minder is.

Het briefrapport vergunbaarheid MID MIX in Bijlage 6⁴ beschrijft dat als er gebruik gemaakt wordt van een andere behandeling deze aantoonbaar minstens even hoogwaardig dient te zijn als de minimumstandaard. Er dient aangetoond te worden dat de methode een milieudruk veroorzaakt die gelijk is of lager dan die van de minimumstandaard. De vergunningverlener kan dit testen 'op basis van een toetsing aan de afvalhiërarchie of op basis van een LCA (conform eisen LAP) beoordelen dat de methode minstens even hoogwaardig is als de minimumstandaard. Er staat daarnaast in het beleid dat het gericht is op nuttige toepassing van afvalstoffen. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of de MID MIX technologie voor een vergunning in aanmerking komt voor het verwerken van zuiveringsslib.

Indien er, zoals besproken in paragraaf 4.4.3, een thermische nabehandelingsstap aan het MID MIX proces wordt toegevoegd (5 minuten, 250 °C) valt MID MIX mogelijk onder de definitie thermische verwerking. Dit dient nader vastgesteld te worden.

Voor de proefinstallatie in Wilp is reeds een milieuvergunning verleend voor de verwerking van onder andere rwzi slib. In het geval van een definitieve installatie wordt op basis van het LAP3, sectorplan 16 paragraaf V aanbevolen voorafgaand aan de start van een milieuvergunningprocedure in overleg te treden met de vergunningverlenende instantie om vast te stellen of er sprake is van een activiteit die tenminste gelijkwaardig is aan de minimumstandaard.

5.3 NEUTRAL: GRONDSTOF OF AFVALSTOF

VSGM streeft er naar om het geproduceerde Neutral zo hoogwaardig mogelijk af te zetten omdat hierdoor de waarde en afzetbaarheid van het product toenemen. De productie van een hoogwaardige grondstof uit een afvalstof maakt het proces bovendien eenvoudiger vergunbaar als verwerkingstechniek voor slib (paragraaf 5.2). Vanuit het LAP3 is een hoogwaardige afzet gewenst omdat de duurzaamheid van het proces (minstens even hoogwaardig is als de minimumstandaard) een vereiste is.

Op hoofdlijnen zijn er drie routes voor de afzet van Neutral:

- Toepassing van Neutral als afvalstof
- Toepassing van Neutral als gecertificeerde grondstof met (tijdelijke) afvalstatus
- Verkrijgen Einde Afvalstatus voor Neutral

TOEPASSING NEUTRAL ALS AFVALSTOF

Neutral op basis van zuiveringsslib van rwzi's is een afvalstof omdat zuiveringsslib van rwzi's de status afvalstof heeft. Slibverbranders maar bijvoorbeeld ook de cementindustrie en sommige beton producenten beschikken over vergunningen voor acceptatie van afvalstoffen waardoor zij Neutral kunnen verwerken.

TOEPASSING NEUTRAL ALS GRONDSTOF MET (TIJDELIJKE) AFVALSTATUS

Net als vliegias zou Neutral in de toekomst eventueel ook ingezet kunnen worden als een gecertificeerde grondstof met (tijdelijke) afvalstatus. Eventueel is een extra bewerking van de Neutral hiervoor noodzakelijk (conditionering). De geproduceerde Neutral dient hiertoe aan de kwaliteitseisen van afnemers te voldoen.

EINDE AFVALSTATUS VOOR NEUTRAL

Een Einde Afvalstatus wordt normaliter alleen aangevraagd als het product afgezet gaat worden bij bedrijven die geen vergunning hebben voor inzet van afvalstoffen en ook niet voornemens zijn om een afvalverwerker te worden.

VSGM kan overwegen om een Einde Afvalstatus te verkrijgen voor Neutral op basis van rwzi slib. De Kaderrichtlijn afvalstoffen (Richtlijn 2008/98/EG) is sinds eind 2008 van kracht. In artikel 6 van de Kaderrichtlijn is bepaald dat sommige specifieke afvalstoffen niet langer afvalstoffen zijn ('einde-afvalfase'), wanneer zij een behandeling voor nuttige toepassing, waaronder een recycling behandeling, hebben ondergaan en voldoen aan specifieke criteria die door de Europese Commissie zullen worden opgesteld onder de volgende voorwaarden:

- het voorwerp wordt gebruikelijk toegepast voor specifieke doelen
- er is een markt voor of er is vraag naar de stof of het voorwerp
- de stof of het voorwerp voldoet aan de technische voorschriften voor de specifieke doelen en aan de voor producten geldende wetgeving en normen
- het gebruik van de stof of het voorwerp heeft over het geheel genomen geen ongunstige effecten voor het milieu of de menselijke gezondheid.

De aanvraag van een Einde Afvalstatus is een meerjarig proces waarbij onder meer aantoonbaar dient te worden gemaakt:

- intentieverklaring van de afnemer
- wettelijke en technische eisen aan product
- aantonen dat voldaan kan worden aan wettelijke en technische eisen
- eventueel REACH verklaring

De Einde Afvalstatus is altijd een koppeling tussen materiaal en soort toepassing. Bijvoorbeeld de inzet van Neutral als gecertificeerde vulstof in beton. Voor de combinatie materiaal en toepassing geldt dan de Einde Afvalstatus.

Om in aanmerking te komen voor een eventuele Einde Afvalstatus is het van belang dat er voldoende grote hoeveelheden geproduceerd worden zodat afnemers de garantie hebben op een continue aanbod. Vervolgens moet het Eind Afvalstatus traject ingezet worden. Op de korte termijn zal Neutral uit rwzi slib daarom alleen afgezet kunnen worden als afvalstof. Welke routes komen in dat geval in aanmerking? In paragraaf 5.4 worden de mogelijke afzetroutes besproken.

5.4 TOEPASSINGSGEBIEDEN NEUTRAL

In deze paragraaf is de toepasbaarheid van Neutral als grondstof verkend. De volgende potentiële routes zijn daarbij beschouwd:

- Bouwstof
- Opwerken tot Cao
- Inzet als kalkhoudende meststof

5.4.1 BOUWSTOF

Vanwege het hoge aandeel calcium lijkt toepassing van Neutral als bouwstof één van de logische routes. Bijvoorbeeld als toeslagstof in beton. De toepassing van Neutral als bouwstof is afhankelijk van de samenstelling van de Neutral. In tabellen 1 en 2 van Bijlage A van de Regeling Bodemkwaliteit zijn de maximale concentraties van anorganische en organische parameters opgenomen in relatie tot bouwstoffen. In Bijlage 3 zijn de betreffende tabellen opgenomen.

Uit tabel 1 van Bijlage 3 kan worden afgeleid dat de maximaal toegestane concentraties zware metalen afhankelijk zijn van het type bouwstof. Voor vormgegeven bouwstoffen gelden veel minder strenge eisen dan voor niet-vormgegeven bouwstoffen. Voor IBC-bouwstoffen gelden weer andere eisen:

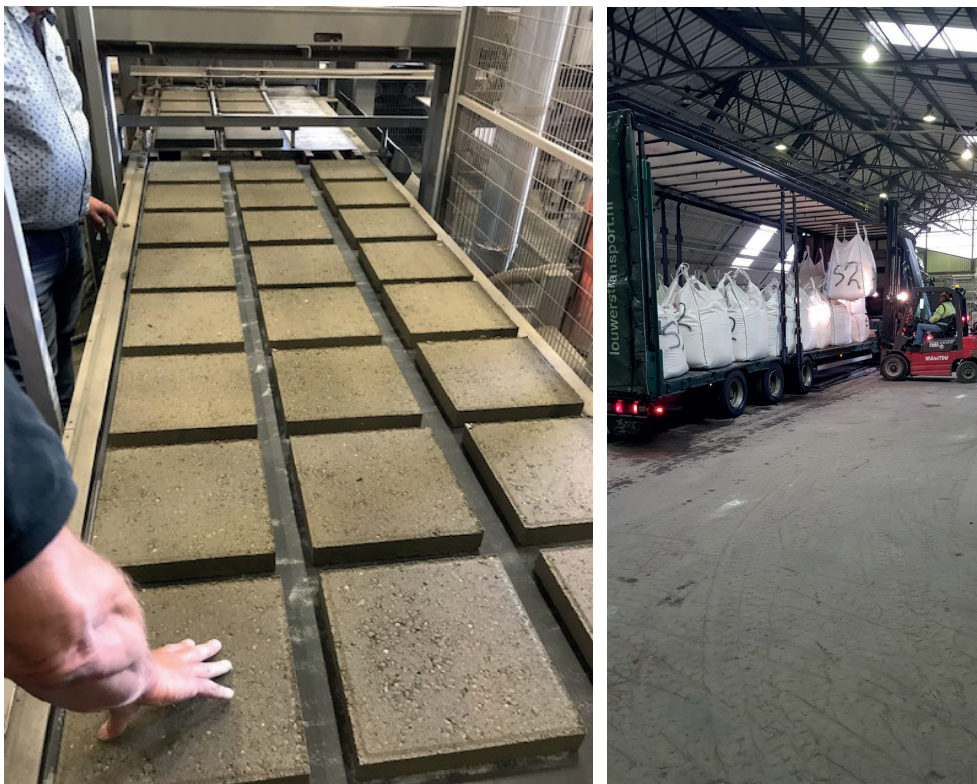
- **Vormgegeven bouwstoffen** betreffen bouwstoffen die verwerkt zijn tot een product; voorbeelden zijn bijvoorbeeld bakstenen of betonblokken. Deze bouwstoffen mogen onder normale omstandigheden nagenoeg geen slijtage of erosie vertonen.
- **Niet-vormgegeven bouwstoffen** betreffen bouwstoffen die niet duurzaam vormvast zijn; voorbeelden zijn assen of granulaten.
- **IBC-bouwstoffen** betreffen bouwstoffen die alleen mogen worden toegepast met isolatie-, beheers- en controle (IBC) maatregelen. Dit om emissies naar het milieu te voorkomen. In de toekomst mag deze categorie bouwstof niet meer toegepast worden.

In tabel 2 van Bijlage 3 zijn de maximale concentraties van organische parameters opgenomen in het samengestelde product. Uit tabel 2 volgt dat de maximale concentratie minerale olie 500 milligram per kilo drogestof bedraagt voor bouwstoffen. Deze eis van 500 milligram per kilo drogestof geldt zowel voor vormgegeven als voor niet-vormgegeven bouwstoffen.

Er zijn verschillende toepassingsgebieden denkbaar voor Neutral als bouwstof. Naar verwachting voldoet de Neutral uit zuiveringsslib aan de voorwaarden om als afvalstof te worden toegepast in vormgegeven bouwstof zoals betonblokken of stoeptegels. Vormgegeven bouwstoffen mogen bestaan uit afvalstoffen, mits aan de eisen voor bouwstoffen voldaan wordt. Er zijn gedurende het STOWA onderzoek door diverse partijen testen uitgevoerd met Neutral. Een voorbeeld hiervan zijn de stoeptegels zoals weergegeven in Figuur 5.1. Deze stoeptegels bevatten 10% Neutral. Rechts in Figuur 5.1 is een lading Neutral te zien die aan een afnemer verkocht is om testen mee uit te voeren.

FIGUUR 5.1

LINKS: STOEPTEGELPRODUCTIE 10% NEUTRAL; RECHTS: NEUTRAL DIE AAN AFNEMER IS VERKOCHT WORDT IN VRACHTWAGEN GELADEN



De cementnorm EN197 biedt de mogelijkheid om maximaal 5% vulstoffen (minor additional constituents) in te mengen in alle cementtypen. Daarnaast ligt er een kans om de CO₂ footprint van de cementproductie te verbeteren.

Neutral kan bij toevoer in een cementoven een deel van de primaire grondstof kalksteen vervangen en tevens door regenereren als CaO bron dienen. Heidelberg-Enci heeft testen uitgevoerd met diverse Neutralvarianten en daaruit komt Neutral van waterschappen als kansrijke toeslagstof naar voren.

Er is potentiële afzet van Neutral mogelijk in de wegenbouw en asfaltindustrie. In dit kader is een gesprek geweest met het bedrijf Terrastab BV; zij zijn geïnteresseerd en starten binnenkort een initieel onderzoek van cement-Neutral en gemalen hoogovenslak-Neutral combinaties. In de asfaltindustrie worden vulstoffen gebruikt om kwaliteitseigenschappen van de asfaltmengsels te verbeteren. Deze asfaltvulstoffen zijn veelal composieten van primaire en secundaire grondstoffen en bevatten conform gewenste producteigenschappen vaak hydraatkalk. Er liggen kansen voor Neutral als onderdeel van een asfaltvulstofcomposiet c.q. directe toepassing bij asfaltproductie. Naast toepassing als bouwstof kan Neutral ook gebruikt worden als stabilisator in de bodem.

Een aandachtspunt bij de toepassing als vormgegeven bouwstof is het organisch-stofgehalte. De gehanteerde analysemethodiek voor organische stof voldoet niet voor Neutral. Het organisch-stofgehalte van Neutral dient daarom nader te worden bepaald. Bij poederkoolvliegias in beton is het organische stof gehalte maximaal 5 % voor vrij gebruik. Bij gehalten tussen 5 en 9 % is aanvullend onderzoek nodig. Voor de meeste vulstoffen conform BRL 1804 (vulstoffen in beton) geldt een maximum waarde van 0,5 %. Bij overschrijding is aanvullend onderzoek nodig m.b.t. dooi/vries eigenschappen. Door Neutral aanvullend minimaal 5 minuten te

verwarmen tot 250°C wordt gegarandeerd dat er geen organische stof meer aanwezig is in de Neutral.

Om aangemerkt te worden als vrij toepasbare bouwstof dient een Einde Afvalstatus verkregen te worden. Het minerale olie gehalte mag maximaal 500 milligram per kilo drogestof bedragen. VSGM doet onderzoek naar verschillende methoden om de minerale olie concentratie te verlagen. Hierbij kan gedacht worden aan een voorbehandeling van het slib met bijvoorbeeld ozon. Ook een nabehandeling van de Neutral, waarbij met verhitting de minerale oliën verdampt worden, is door VSGM onderzocht. Uit slib met een initiële minerale olie concentratie van 5.100 mg/kg ds is een Neutral geproduceerd met een minerale olie concentratie van 2.600 mg/kg ds. De Neutral is voor 5 minuten verhit op 250 °C waarna de minerale olie concentratie 420 mg/kg ds bevatte. Ook het organisch-stofgehalte van de Neutral wordt door de aanvullende verwarming naar verwachting sterk gereduceerd. Door aanvullende stappen toe te voegen aan het MID MIX proces verbeterd dus de toepasbaarheid van de Neutral.

5.4.2 OPWERKING NEUTRAL TOT CAO

Door Neutral te verwarmen tot 900 °C worden Ca(OH)_2 en CaCO_3 omgezet in CaO. Door de leverancier wordt het verkregen product 'Reborn' genoemd. Omdat Neutral zowel slib en CaO bevat blijft tijdens het opwerken van de Neutral een deel van de minerale asrest uit het slib aanwezig. Een producent van CaO is geïnteresseerd in Reborn uit rwzi slib omdat uit recent uitgevoerde testen blijkt dat de geproduceerde Reborn over betere eigenschappen beschikt dan CaO uit kalksteen en omdat de productie van Reborn uit Neutral minder energie kost dan de productie van CaO uit kalksteen. Bijkomend voordeel is dat er geen kalksteen afgegraven hoeft te worden.

Een voordeel van het opwerken van Neutral tot Reborn is dat het via deze route theoretisch mogelijk is om fosfor terug te winnen uit Neutral. Dit wordt in de toekomst mogelijk verplicht. Het proces om fosfor terug te winnen uit Neutral wordt beschreven in paragraaf 3.5.

5.4.3 KALKHOUDENDE MESTSTOF

In de jaren 70 werd kalkhoudend zuiveringsslib van rwzi's in het noorden van Nederland ingezet als kalkhoudende meststof. Inzet van zuiveringsslib als meststof mag in Nederland niet meer maar in het buitenland is deze route mogelijk wel een optie. In België (Wallonië) wordt tot op heden kalkhoudend zuiveringsslib ingezet als meststof voor de landbouw.

EINDE LEVENSDUUR NEUTRAL

Een aandachtspunt in de discussie over de toepassing van de Neutral is het vrijkomen van stoffen bij hergebruik of aan het einde van de levensduur van de bouwstof waarin de Neutral is toegepast. Beton wordt na gebruik meestal hergebruikt. Uit de resultaten en massa balansen blijkt dat de metalen aanwezig blijven in de Neutral en bij hoge temperatuur vrij kunnen komen.

5.5 INTERVIEWS EXPERTS EN MARKTPARTIJEN

Om de marktvraag naar Neutral te toetsen zijn experts en potentiële afnemers van Neutral geïnterviewd:

- Ronny Theune; Commercieel Operationeel manager Aqua Minerals
- Robert Hurkmans; Directeur Conovation bv
- Jurgan van den Bon; Accountmanager Milieu, Carmeuse
- Jaap Steketee; Expert afvalstoffen Tauw

In dit hoofdstuk zijn de bevindingen uit deze interviews samengevat.

5.5.1 RONNY THEUNE, COMMERCIEEL OPERATIONEEL MANAGER VAN AQUAMINERALS

Als Neutral kan voldoen aan de eisen van het bouwstoffenbesluit kan het toegepast worden als vrij toepasbare bouwstof. Ronny schat in dat betonproducenten niet willen inleveren op de kwaliteit van hun product. Voor laagwaardige toepassingen zoals straatklinkers, stoepranden, geluidsschermen of betonblokken ziet hij mogelijkheden op de markt. Daarbij schat hij de potentiële marktwaarde van Neutral rond de 0 euro, het zou iets kunnen opleveren of er zou betaald moeten worden voor de afzet. Hij geeft daarbij aan dat de vermeden CO₂ uitstoot in aanbestedingen steeds belangrijker wordt. Het is daarom interessant om te vergelijken welk product de Neutral vervangt.

5.5.2 ROBERT HURKMANS, DIRECTEUR CONOVATION BV.

Conovation ziet diverse goede mogelijkheden voor de toepassing van Neutral zoals vulstof in beton, bodemstabilisatie toepassingen en vulstof in asfalt. Als randvoorwaarde voor afname dient Neutral te voldoen aan de NEN EN12620 (vulstoffen beton). Hiertoe zal de geproduceerde Neutral gedurende enkele minuten aanvullend verhit worden tot circa 250°C en worden gezeefd. De Neutral zal vervolgens door Conovation afgenomen worden tegen een licht positieve waarde. Een toetsing aan het besluit bodemkwaliteit en aan de BRL 1804 (vulstoffen beton) liggen in het verschiet. Het nadeel van Neutral is dat het een afvalstof is waardoor het aantal partijen wat het toe kan passen beperkt is.

In beton toepassingen kan Neutral afgezet worden via verschillende routes. Het zou als vulstof of stabilisator in beton gebruikt kunnen worden. Een kansrijke toepassing betreft geopolymeerbeton wat bijvoorbeeld kan bestaan uit gemalen hoogovenslakken en Neutral; in dit cementloos mengsel fungeert Neutral als alkalische activator. Op dit moment is veel belangstelling voor deze techniek en liggen er kansen voor Neutral als droge activator.

- de positionering van Neutral is markt- en toepassingsafhankelijk; in het algemeen zijn betonvulstoffen kostprijs technisch interessant als deze lager liggen dan cementprijzen dan wel gelijkwaardig aan reguliere vulstoffen. Neutral als activator in geopolymeerbeton heeft een andere dimensie wat tot een betere positionering leidt. Neutral als asfaltvulstof is m.i. een volwaardige grondstof
- je kunt spreken van een transitie van betonvulstoffen; door sluiting van kolencentrales (en politieke ambities om de CO₂ uitstoot nog verder te verlagen) neemt de beschikbaarheid van poederkoolvliegassen snel af. Hierdoor ontstaat ruimte voor andere vulstoffen van primaire en secundaire aard. In dit kader moet vermeld worden dat er ontwikkelingen zijn in productcertificering van deze alternatieve vulstoffen; zo zijn er in BRL 1804 vulstoffen als vliegassen uit thermische reiniging en (op korte termijn) gemalen inoxslakken opgenomen. Voor Neutral zou dit traject doorlopen kunnen worden
- het gebruik van Neutral als betonvulstof verlaagd de waterbehoefte van de betonmeng-

sels; met andere woorden: als er op consistentie ontworpen wordt lopen de betonsterktes op c.q. kan het cementgehalte gereduceerd worden.

Ook kan gedacht worden aan afzetroutes in de asfalt productie omdat voor verschillende asfalttypes vulstoffen vereist zijn die rijk zijn aan calcium hydroxide. In de asfaltproductie worden vulstoffen ingezet om de eigenschappen van het asfaltmengsel en verhard asfalt te beïnvloeden. Afhankelijk van de beoogde prestatie wordt een (zeer) zwakke tot sterke vulstof in de asfaltproductie ingevoerd. De sterke asfaltvulstoffen bevatten vaak een aandeel calciumhydroxide. Hiervoor kan Neutral aangewend worden. Ook is het mogelijk om bij de asfaltcentrale de 'fabrieks-eigen-vulstof' (uit de droging en zeping van toeslagmaterialen) de Neutral separaat bij te mengen.

De mineralogische eigenschappen van Neutral bieden mogelijkheden om deze in te zetten in schuimbeton, (isolerende) cement- en kalkgebonden mortels.

Ingave in de cementoven en/of inmenging in cement zijn is daarnaast een afzetroute. In de EN 197 cementnorm zijn geen toegekende grondstoffen toegestaan welke mineralogisch gelijkend zijn op Neutral. Wel staat EN 197 het toe tot maximaal 5% minor additional constituents in te mengen. Wellicht kan Neutral hiervoor aangewend worden.

Direct opwerken Neutral tot CaO: De cementindustrie brandt calciumcarbonaat (kalksteen) in een cementoven tot CaO met uitstoot van CO₂. Een ton portlandcement leidt tot een uitstoot van 900 kg CO₂. Inzet van Neutral in de cementproductie geeft een verlichting van deze uitstoot; het regeneren van het aandeel calciumhydroxide uit Neutral tot CaO geeft veel minder CO₂ uitstoot. Het aandeel calciumcarbonaat zal verder in het productieproces omgezet worden tot CaO.

In het kader van 'urban mining' heeft het regeneren van Neutral tot een secundair bouwkalk perspectief m.b.t. circulariteit en verduurzaming van de bouwindustrie.

Andere toepassingsmogelijkheden betreffen bodemstabilisatie en de keramische industrie (bakstenen). In de baksteenindustrie worden vulstoffen ingezet om de klei te 'verschralen' of eigenschappen van het gebakken product te beïnvloeden (kleur, gewicht, isolerend vermogen e.d.). Mijn inziens is inzet van Neutral mogelijk. Tevens biedt deze secundaire vulstof kansen de processen in de keramische industrie te 'vergroenen' en circulariteit in de bouwsector mogelijk te maken. Op basis van de geopolymeertechniek is het mogelijk om in-situ gronden, bodems en dijken te stabiliseren op volledig cementloze wijze.

Eveneens is er onderzoek verricht aan Neutral als grondstof t.b.v. grondverbetering; met name in veen- en kleiachtige gronden zijn de resultaten veelbelovend.

Voor afzet in de betonindustrie is een constante productie van minimaal 30.000 ton/jaar vereist. Voor het transport is het wenselijk dat het vochtgehalte van 5-6% wordt teruggebracht naar maximaal 1%. Hierdoor wordt het mogelijk de Neutral te transporteren met silo's in plaats van big-bags, dit is kosten efficiënter. De uiteindelijke toepassing van Neutral zal afhangen van de kwaliteit beton die er gemaakt kan worden met Neutral in het cementmengsel.

Inmiddels is er een ervaring opgedaan met Neutral als vulstof in betonmengsels t.b.v. tegelproductie. Het vervangen van de reguliere vulstoffen (vliegashoudend en kalksteenmeel) door

Neutral heeft geen negatieve invloed op visuele, fysische en mechanische eigenschappen van de betonproducten en kan daarom probleemloos worden toegepast.

Een Einde Afvalstatus op Neutral verhoogt de waarde van Neutral. Als Neutral toegepast wordt als stabilisator en cement kan vervangen, kan dit een CO₂ uitstoot reductie betekenen. Dit is gunstig voor de vergroening van de beton industrie.

5.5.3 JURGEN VAN DEN BON; ACCOUNTMANAGER MILIEU, CARMEUSE

Carmeuse onderzoekt de mogelijkheid om Neutral als grondstof te gebruiken voor CaO productie (Reborn route). Uit recent uitgevoerde testen blijkt dat Neutral uit rwzi slib een goede grondstof is voor CaO productie. De testresultaten zijn opgenomen in Bijlage 12. Uit de test volgt onder meer dat de reactiviteit van Reborn zeer hoog is en onder meer geschikt is als grondstof voor het MID MIX proces.

5.5.4 JAAP STEKETEE; AFVALSTOFFENEXPERT TAUW

Uit de testresultaten Bijlage 4 kan geconcludeerd worden dat Neutral in theorie cement en / of zand kan vervangen in betonproducten. Er zijn proeven gedaan met verschillende doseringen. Deze percentages zijn uitgedrukt ten opzichte van de som van zand + cement. Je ziet bij een deel van de proeven met Neutral een afname van de sterkte. Dit hoeft op zichzelf geen probleem te zijn, omdat niet alle betonproducten hoge sterktes moeten hebben.

Om de toepasbaarheid in reguliere betonproducten definitief te kunnen beoordelen zijn meerdere proeven nodig met slib van verschillende rwzi's. Ook moet worden nagegaan wat het effect is op andere relevante eigenschappen. Als het product bijvoorbeeld in betonstenen zou worden toegepast, moet ook de vorst-/dooibestendigheid worden getest.

Op basis van dit oriënterende onderzoek kun je de eventuele waarde van Neutral mijns inziens niet goed beoordelen. Het is niet uitgesloten dat het bepaalde functies heeft (bv vulstof) of dat de invloed op sommige eigenschappen positief kan zijn maar daar kun je nu nog onvoldoende over zeggen. De waarde wordt overigens zeker niet alleen bepaald door de eigenschappen, maar het is ook een kwestie van vraag en aanbod. De meeste afvalstromen die verwerkt worden in vulstoffen hebben een behoorlijk negatieve waarde, ondanks dat er een markt is voor deze vulstoffen. Dat is vooral het geval indien het aanbod groter is dan de vraag.

5.6 SAMENVATTING

Voor slibeindverwerkingstechnieken gelden eisen vanuit het LAP3. Indien de geproduceerde Neutral een thermische nabehandeling ondergaat (verbranding) dan komt dit overeen met de eisen in het LAP3. Indien geen nageschakelde verbranding wordt toegepast dient te worden aangetoond dat de route gelijkwaardig (of duurzamer) is dan de minimumstandaard voor de verwerking van zuiveringsslib zoals beschreven in het LAP3.

In verband met de gestelde eisen aan bouwstoffen zal Neutral uit zuiveringsslib op de korte termijn naar verwachting alleen als afvalstof ingezet kunnen worden. Dat sluit een hoogwaardige inzet als bouwstof echter niet uit omdat bouwstoffen gedeeltelijk kunnen bestaan uit afvalstoffen. Diverse toepassingen voor Neutral uit rwzi slib zijn in beeld:

- grondstof voor cementproductie
- opwerken tot CaO (Reborn)
- vulmiddel in beton

- toeslagstof asfalt
- bodem stabilisatie
- keramische industrie (bakstenen)

De route om Neutral uit rwzi slib op te werken naar CaO door het te verwarmen tot 900°C (Reborn route) is het meest complex maar biedt ook de meeste kansen. De route past binnen het LAP3 en resulteert in een hoogwaardige grondstof met een goede marktwaarde. Een belangrijk voordeel van deze route is dat de vraag naar CaO groot is waardoor de CaO markt niet verstoord zal worden als er grootschalig CaO uit Neutral geproduceerd gaat worden. Tot slot is het alleen via deze route theoretisch mogelijk om fosfor terug te winnen uit Neutral.

De afzet van Neutral als bouwstof (cement, asfalt, bodemstabilisatie) is interessant maar kent onzekerheden. Vanuit het LAP3 is vereist dat deze verwerkingsroutes minimaal zo duurzaam zijn als de minimumstandaard. De afzetzekerheid en de waarde van Neutral als bouwstof zijn onzeker omdat de markt voor bouwstoffen voortdurend in ontwikkeling is.

Een Einde Afvalstatus voor Neutral uit rwzi slib is niet in beeld. Hiervoor is een constante productie, kwaliteit en afname vereist. Door een eventuele Einde Afvalstatus neemt de waarde van Neutral toe en verbetert ook de duurzaamheid omdat de Neutral hoogwaardiger producten kan vervangen.

6

KOSTEN EN DUURZAAMHEID

6.1 INLEIDING

Om te kunnen beoordelen of de MID MIX route een voor de waterschappen kansrijke slibverwerkingsmethode is, worden de kosten en duurzaamheid van MID MIX in dit hoofdstuk vergeleken met andere slibeindverwerkingstechnieken.

Om een vergelijking te kunnen maken op het aspect kosten is er een businesscase voor MID MIX opgesteld en is een gevoeligheidsanalyse uitgewerkt. Vervolgens zijn deze kosten vergeleken met de huidige slibverwerkingstarieven. Voor het aspect duurzaamheid is de vergelijking gemaakt op basis van gegevens uit de STOWA rapportage 2018-16 “drogen zuiveringsslib in kassen en in een banddroger met laagwaardige restwarmte”, waar het primair energieverbruik van de huidige slibeindverwerkingsmethoden is berekend. In paragraaf 6.2 zijn de kosten uitgewerkt en in paragraaf 6.3 de duurzaamheid.

6.2 KOSTEN

6.2.1 BUSINESSCASE MID MIX

Om de MID MIX technologie te kunnen vergelijken met andere slibeindverwerkingsmethoden is een businesscase van de MID MIX route opgesteld. Kosten bepalende aspecten voor deze businesscase betreffen:

- Verbruik CaO
- Kostprijs CaO
- Waarde Neutral
- Investerings

Omdat de kosten en opbrengsten van bovengenoemde aspecten nog niet met zekerheid vastgesteld kunnen worden is hiervoor een bandbreedte aangehouden. Navolgend worden de uitgangspunten voor de businesscase besproken.

VERBRUIK CAO

Uit de testen volgt een CaO verbruik van 1,3 tot 2,9 kg CaO per kilo drogestof. Volgens VSGM is dit verbruik relatief hoog vanwege de lage temperaturen tijdens de test en de suboptimale retour regeling van de Neutral. In de praktijk verwacht VSGM met een CaO dosering van 1,3 – 1,45 kg CaO per kilo drogestof toe te kunnen. Voor deze businesscase gaan we uit van een bandbreedte van 1,3 tot 2,0 kilo CaO per kilo drogestof (gevoeligheidsanalyse). De bovengrens van 2,0 is aangehouden vanwege eventuele toekomstige kwaliteitseisen aan Neutral.

KOSTPRIJS CAO

De kostprijs van de CaO is een belangrijke factor in de businesscase. VSGM verwacht bij een full-scale installatie een prijs van 100 euro/ ton CaO te betalen, ex. BTW incl. transport. Naar

de toekomst toe wordt in deze studie een ondergrens van 85 euro/ton aangehouden. Als bovengrens is de prijsopgave van een huidige CaO leverancier aangehouden (125 euro/ton ex. BTW incl. transport). Een andere CaO leverancier komt voor bulk afname eveneens met een prijs van ca 125 euro/ton inclusief transport. In deze businesscase wordt als gevoeligheid een range van 85-125 euro/ton CaO gehanteerd.

WAARDE NEUTRAL

Het is nog onduidelijk wat de waarde van Neutral zal zijn. Om de gevoeligheid vast te stellen zijn voor de waarde van Neutral twee varianten uitgewerkt.

- Minimale waarde van 0 euro per ton Neutral. Uitgangspunt hierbij is dat de Neutral op locatie opgehaald wordt, dus geen transportkosten
- Maximale waarde van 20 euro per ton Neutral. Uitgangspunt hierbij is dat de Neutral op locatie opgehaald wordt, dus geen transportkosten

INVESTERING

De bouwkosten voor een MID MIX installatie met capaciteit van ca 25.000 ton slibkoek per jaar (25% drogestof) zijn door VSGM geraamd op 1,8 miljoen euro. Een installatie met 4 lijnen waarmee 100.000 ton slibkoek per jaar verwerkt kan worden (16 uur per dag, 250 dagen per jaar) kost ongeveer 6,4 miljoen euro. Hierin zijn de kosten van een aanvullende installatie voor de reductie van minerale olie inbegrepen. Afhankelijk van de situatie zijn er aanvullende kosten voor onderdelen zoals een loods, slib ontvangst, slib opslag en Neutral opslag.

In Tabel 6.1 zijn investeringskosten uitgewerkt voor de realisatie van een MID MIX installatie in een situatie waarbij reeds een loods en slibopslag aanwezig zijn en voor een groene weide situatie. Als een loods en slibopslag aanwezig zijn worden de bouwkosten voor een MID MIX installatie ingeschat op 7,2 miljoen euro. De investeringskosten zijn berekend aan de hand van een factor over de bouwkosten. Deze factor behelst aspecten zoals verwarming, leidingwerk en elektra, risico, winst en onvoorziene zaken. Hiervoor is factor van 1,2 gehanteerd waardoor de investeringskosten op 8,6 miljoen euro komen. Deze relatief lage factor wordt veroorzaakt doordat er geen BTW afgedragen hoeft te worden (bedrijf) en omdat de MID MIX installatie een complete functionerende installatie betreft waardoor de bijkomende kosten en risico's beperkt zijn.

In het geval van een groene weide situatie zijn investeringen in een loods, slibontvangst, slibopslag, luchtafzuiging en slibschroeven noodzakelijk. In dat geval zijn de investeringskosten voor een installatie met een verwerkingscapaciteit van 100.000 ton slibkoek per jaar ingeschat op 11,5 miljoen euro, exclusief BTW.

Voor het vaststellen van de jaarlijkse kosten in Tabel 6.3 is uitgegaan van een investering van 8,6 miljoen euro exclusief BTW voor de realisatie van een MID MIX installatie. Om de gevoeligheid voor de investeringskosten te bepalen zijn in Tabel 6.3 tevens de kosten per ton slibkoek bepaald bij een investering van 11,5 miljoen euro (groene weide situatie).

TABEL 6.1 UITSPLITSING INVESTERINGSKOSTEN EXCL BTW (100.000 TON SLIBKOEK/J)

Onderdeel	Loods en slibopslag aanwezig, 4 lijnen 100.000 ton slibkoeke/j	Groene weide situatie, 4 lijnen 100.000 ton slibkoeke/j
MID MIX installatie	€ 6.400.000	€ 6.400.000
Ontwerpkosten	€ 150.000	€ 150.000
Slib opslag	€ 350.000	€ 1.800.000
Neutral opslag	€ 60.000	€ 250.000
Loods	€ 100.000	€ 600.000
Werktuigen	€ 50.000	€ 50.000
Project management kosten	€ 100.000	€ 300.000
Totaal bouwkosten	€ 7.200.000	€ 9.500.000
Factor t.b.v. investering	1,2	1,2
Investeringskosten excl BTW	€ 8.600.000	11.500.000

LICENTIE KOSTEN

De licentie kosten gerekend per ton slib bedragen 6 euro per ton slibkoeke. Het is eventueel ook mogelijk om de licentiekosten af te kopen. Bij afkoping zullen de kosten waarschijnlijk gelijk zijn aan de prognose van gemaakte licentie kosten over 5 jaar.

OVERIGE UITGANGSPUNTEN

De overig uitgangspunten voor de businesscase zijn opgenomen in Tabel 6.2.

TABEL 6.2 OVERIGE UITGANGSPUNTEN VOOR DE BUSINESSCASE VAN MID MIX

Parameter	Eenheid	Waarde
Slibkoeke	ton/j	100.000
Neutral productie	ton/j	63.000 -77.000
Annuïteit	%	4
Elektriciteitsprijs	EUR/kWh	0,1
Aantal FTE	aantal	6
Prijs per FTE	EUR/FTE	47.500
Onderhoud WTB	% van investering	2%
Transport Neutral	EUR/ton	10
Afschrijving civiel	jaar	30
Afschrijving WTB/E	jaar	15

JAARLIJKSE KOSTEN EN KOSTEN PER TON SLIBKOEK

Op basis van de uitgangspunten zijn de jaarlijkse kosten en de kosten per ton slibkoeke uitgewerkt. De businesscase van MID MIX is sterk afhankelijk van een aantal variabelen waar nog geen duidelijkheid over is zoals het uiteindelijke CaO verbruik, de kosten van de CaO en de waarde van de Neutral. Deze waarden kunnen hoger of lager uitvallen, wat de uiteindelijke businesscase zal beïnvloeden. Om deze reden zijn er minimale en maximale kosten berekend waarbij de feitelijke kostprijs ergens binnen deze bandbreedte zal liggen. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6.3 en Figuur 6.1. De bandbreedte voor de kosten per ton slibkoeke is 49-67 euro/ton slibkoeke (exclusief BTW en exclusief transport van de slibkoeke). Te zien is dat het CaO verbruik, de kosten van de CaO en de opbrengst van de Neutral allen een aanzienlijke rol spelen. Het effect van de minimale en maximale investeringskosten (afschrijving en rente) is met een verschil van 3 euro per ton slibkoeke beperkt.

Indien de geproduceerde Neutral een afzetbaar product met een positieve waarde vertegenwoordigd is aftrek van BTW mogelijk. Over het gehele MID MIX proces hoeft in dat geval geen

BTW afgedragen te worden. De kosten voor het waterschap liggen in dat geval tussen de 49-67 euro/ton slibkoek (exclusief transport van de slibkoek).

TABEL 6.3 KOSTEN PER TON SLIBKOEK (EXCL BTW EN EXCL TRANSPORT SLIBKOEK)

Parameter	Eenheid	CaO verbruik		CaO kosten		Neutral opbrengst		Investeringskosten	
		Min	Max	Min	Max	Min	max	Min	Max
Afschrijving en rente	EUR	€ 9	€ 9	€ 9	€ 9	€ 9	€ 9	€ 9	€ 12
Personeel	EUR	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2
Onderhoud	EUR	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2	€ 2
Elektriciteit	EUR	€ 3	€ 3	€ 3	€ 3	€ 3	€ 3	€ 3	€ 3
Aanschaf CaO	EUR	€ 33	€ 50	€ 35	€ 52	€ 41	€ 41	€ 41	€ 41
Afzet Neutral	EUR	€ -6	€ -7	€ -7	€ -7	€ -	€ -14	€ -7	€ -7
Transport Neutral	EUR	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -	€ -
Licentie kosten	EUR	€ 6	€ 6	€ 6	€ 6	€ 6	€ 6	€ 6	€ 6
Kosten per ton slibkoek *	EUR	€ 49	€ 65	€ 51	€ 67	€ 64	€ 50	€ 57	€ 60

*kosten exclusief BTW en exclusief transport slibkoek

FIGUUR 6.1 DE MINIMALE EN MAXIMALE KOSTEN PER TON SLIBKOEK (EXCL BTW EN EXCL TRANSPORT SLIBKOEK)



6.2.2 VERGELIJKING MET MARKTTARIEVEN

De ingeschatte kosten van de MID MIX technologie liggen tussen de 49 en 67 euro/ ton slibkoek, exclusief BTW en exclusief transport slibkoek. Indien de geproduceerde Neutral een afzetbaar product met een positieve waarde vertegenwoordigd is aftrek van BTW mogelijk. Over het gehele MID MIX proces hoeft in dat geval geen BTW afgedragen te worden.

De tarieven voor de huidige slibeindeverwerkingsmethodes liggen tussen de 70-100 euro per ton (inclusief BTW en transport slibkoek). Afhankelijk van de ontwikkelingen op de slibmarkt en de uiteindelijke prijs van MID MIX kunnen er mogelijkheden liggen om te concurreren met de huidige slibeindeverwerking. De huidige schaarste in de eindverwerkingscapaciteit bieden mogelijkheden voor de realisatie van extra verwerkingscapaciteit.

6.3 DUURZAAMHEID

6.3.1 PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK MID MIX

De duurzaamheid van het MID MIX proces is in dit rapport uitgewerkt aan de hand van het primair energieverbruik.

In Tabel 6.4 is het primair energieverbruik van het MID MIX proces berekend. Daarbij is het vermeden energieverbruik door vervanging van grondstoffen meegenomen. Om de gevoeligheid van de duurzaamheidsanalyse inzichtelijk te maken zijn er in de tabel twee varianten uitgewerkt

- Neutral als vervanger van zand
- Neutral als vervanger van CEM III
- Neutral als vervanger van CEM I

Voor het verbruik van CaO is uitgegaan van een CaO dosering van de gemiddelde waarde van 1,65 ton CaO per ton drogestof over de bandbreedte van 1,3 – 2,0 ton CaO per ton drogestof. Als uitgangspunt voor de Neutral productie zijn de factoren aangehouden zoals berekend in Tabel 4.3.

TABEL 6.4 **BEREKENING PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK MID MIX**

Parameter	Eenheid	Neutral zand vervanger	Neutral Cement III vervanger	Neutral Cement I vervanger
<i>Kenmerken slibverwerking</i>				
Slib input	ton ds	25.000	25.000	25.000
Slib input	% ds	25%	25%	25%
Slib input	ton koek/j	100.000	100.000	100.000
Neutral	ton product	63.000	63.000	63.000
Elektriciteitsverbruik	kWh/ton ds	120 *	120 *	120 *
Energieverbruik elektriciteit	kWh/j	3.000.000	3.000.000	3.000.000
Calcium dosering	ton CaO/ton ds slib	1,65	1,65	1,65
Netto verbruik CaO	ton/j	41.000	41.000	41.000
<i>Omrekenfactoren naar primaire energie</i>				
Primaire energie elektriciteit	GJ/kWh	0,009	0,009	0,009
Primaire energie Neutral	GJ/ton	0,41 **	3,3 ***	7,0 ****
Primaire energie CaO	GJ/ton	5,5	5,5	5,5
<i>Primaire energie</i>				
Elektriciteitsverbruik	GJ/j	27.000	27.000	27.000
Verbruik ongebluste kalk	GJ/j	227.000	227.000	227.000
Toeslagstof beton	GJ/j	-26.000	-208.000	-441.000
Saldo verbruik primaire energie	GJ/j	228.000	46.000	-187.000

*voor de demo installatie is een elektriciteitsverbruik van 158 kWh/ton ds gemeten, vanwege schaalvoordelen is voor een praktijkinstallatie uitgegaan van 120 kWh/ton ds

**vervanger zand

***vervanger cement III

****vervanger cement I

Uit Tabel 6.4 blijkt dat het netto primair energieverbruik groter dan 0 is indien Neutral als vervanger van zand of CEM III ingezet wordt. Dit betekent dat het MID MIX proces netto

energie verbruikt. Dit komt doordat de grondstof CaO een relatief hoge GER-waarde heeft en de stof die vervangen kan worden een lagere GER-waarde heeft. Indien Neutral hoogwaardig als vervanger van bijvoorbeeld CEM I afgezet kan worden dan resulteert dit in een vermeden energieverbruik van 187.000 GJ per jaar.

Geconcludeerd kan worden dat een hoogwaardige toepassing van de Neutral een grote duurzaamheidswinst oplevert.

NEUTRAL ALS GRONDSTOF VOOR CAO PRODUCTIE

Een toepassing die in deze paragraaf niet uitgewerkt is betreft het opwerken van Neutral naar CaO. Neutral op basis van rwzi slib is zeer geschikt als grondstof voor CaO productie omdat het minder energie kost dan CaO productie uit kalksteen. Voor CaO producenten is deze route interessant omdat de CO₂ uitstoot van hun proces en de productiekosten hierdoor omlaag gaan. Het opwerken van Neutral naar CaO is in deze duurzaamheidsvergelijking niet uitgewerkt vanwege het ontbreken van gegevens. Omdat Neutral in dit geval een vervanger is van kalksteen zou deze route duurzaamheidsvoordelen kunnen opleveren.

6.3.2 CO₂ PRODUCTIE

Op basis van het primair energieverbruik van het MID MIX proces is in de navolgende paragraaf de CO₂ productie van het MID MIX proces uitgewerkt. Voor het berekenen van de CO₂ productie zijn de in Tabel 6.5 opgenomen uitgangspunten gehanteerd.

TABEL 6.5 CO₂ PRODUCTIE MID MIX PROCES

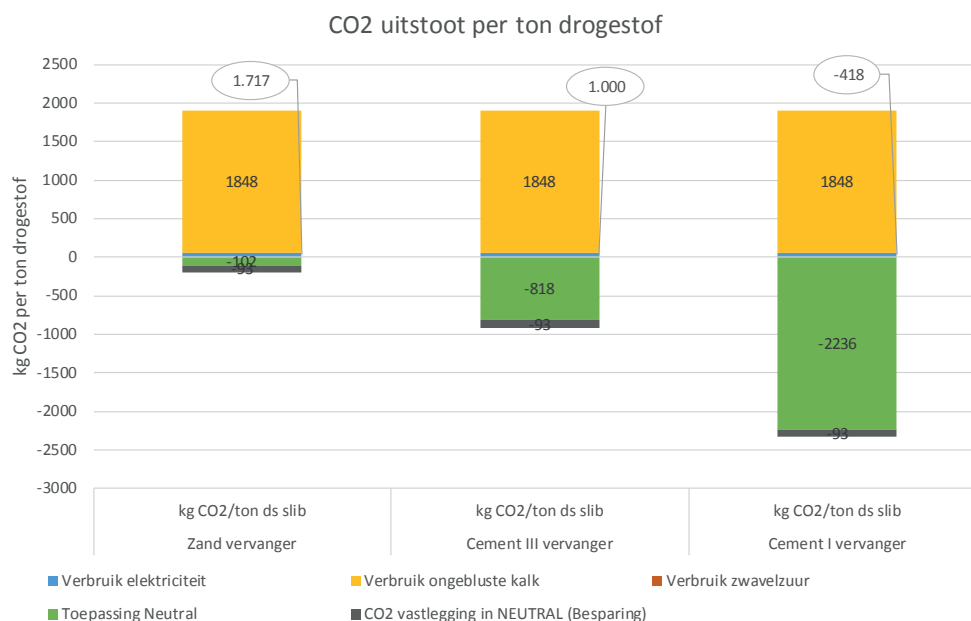
Parameter	Eenheid	Waarde
Elektriciteit (grijze stroom)	kg CO ₂ /kWh	0,53
Ongebluste kalk	kg CO ₂ /ton ongebluste kalk	1120
Zand vervanger	kg CO ₂ /ton cement	37
Cement III vervanger	kg CO ₂ /ton cement	300
Cement I vervanger	kg CO ₂ /ton cement	820
CO ₂ vastlegging Neutral	kg CO ₂ /ton ds slib	-93

Op basis van de uitgangspunten in Tabel 6.5 is in Tabel 6.6 en in Figuur 6.2 de totale CO₂ uitstoot en de CO₂ uitstoot per ton drogestof uitgewerkt. Te zien is dat de CO₂ productie van de MID MIX technologie afhankelijk van de toepassing van Neutral uiteenloopt van een productie van CO₂ 1.700 kg tot een reductie van 418 kg CO₂ per ton drogestof.

TABEL 6.6 CO₂ PRODUCTIE MID MIX PROCES

Parameter	Zand vervanger kg CO ₂ /jaar	CEM III vervanger kg CO ₂ /jaar	CEM I vervanger kg CO ₂ /jaar	Zand vervanger kg CO ₂ /ton ds slib	CEM III vervanger kg CO ₂ /ton ds slib	CEM I vervanger kg CO ₂ /ton ds slib
Verbruik elektriciteit	1.590.000	1.590.000	1.590.000	64	64	64
Verbruik ongebluste kalk	46.200.000	46.200.000	46.200.000	1848	1848	1848
Toepassing Neutral	-2.540.770	-20.450.100	-55.897.000	-102	-818	-2.236
CO ₂ vastlegging in NEUTRAL (Besparing)	-2.331.740	-2.331.740	-2.332.000	-93	-93	-93
CO₂ productie	42.917.000	25.008.000	-10.439.000	1.717	1.000	-418

FIGUUR 6.2

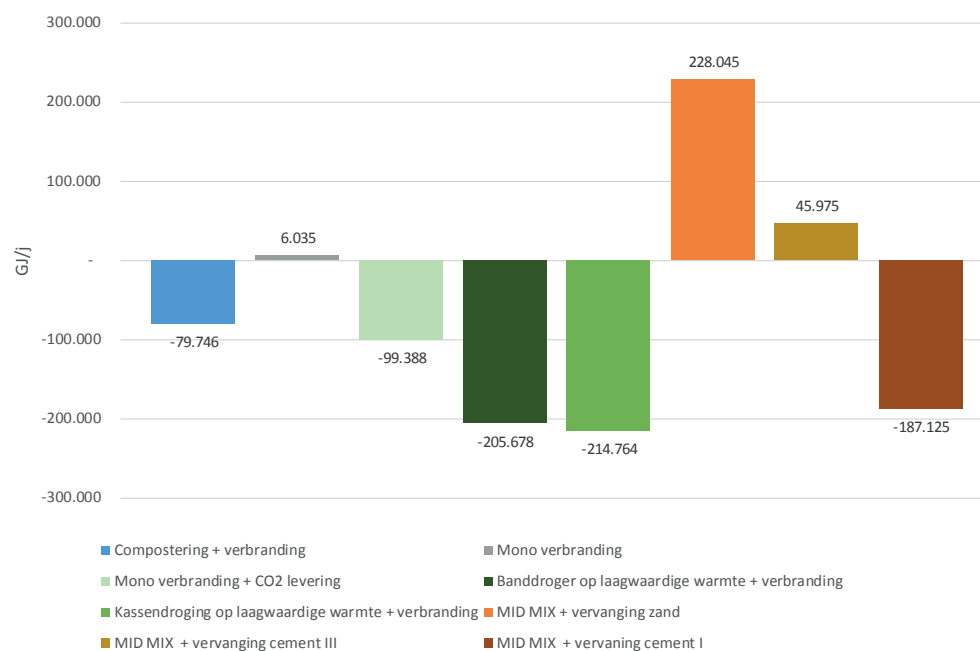
CO₂ PRODUCTIE MID MIX PROCES BIJ INZET NEUTRAL ALS ZAND EN ALS CEMENT VERVANGER

6.3.3 VERGELIJKING PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK MET ANDERE SLIBEINDVERWERKINGSMETHODEN

In Figuur 6.3 is het saldo primair energieverbruik van verschillende slibeindverwerkingstechnieken weergegeven. De achterliggende uitgangspunten en de berekeningen zijn opgenomen in Bijlage 8. Uit Figuur 6.3 volgt dat mono verbranding van ontwaterd slib meer energie kost dan het oplevert. Indien de CO₂ terug geleverd wordt resulteert mono verbranding netto in een energiebesparing. In Figuur 6.3 is verder te zien dat compostering/verbranding en slibdroging/verbranding meer energie opleveren dan dat ze gebruiken. Slibverwerking middels het MID MIX proces hangt samen met de toepassing van Neutral. Als Neutral toegepast wordt als zand of CEM III vervanger dan scoort het slechter dan andere verwerkingstechnieken. Als Neutral ingezet kan worden als CEM I vervanger dan is MID MIX bijna net zo duurzaam als slibdroging met laagwaardige warmte.

FIGUUR 6.3

PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK VAN VERSCHILLENDE SLIBEINDVERWERKINGSTECHNIEKEN



Uit de figuur blijkt het volgende:

- De toepassing van de Neutral heeft een groot effect op het saldo primair energieverbruik, als Neutral als vervanger van zand wordt ingezet valt het netto primair energieverbruik veel hoger uit dan bij vervanging van CEM I
- Bij hoogwaardige toepassing van Neutral (CEM I) resulteert het MID MIX proces in een netto reductie van het primair energieverbruik (-187.000 GJ/j) waarmee MID MIX nagenoeg gelijk is aan slibdroging met laagwaardige warmte gevolgd door verbranding. Bij een laagwaardige toepassing van Neutral valt het primair energieverbruik van Neutral fors hoger uit in vergelijking met andere slibeindverwerkingstechnieken
- Technieken waarbij slib gedroogd wordt met laagwaardige warmte, gevolgd door verbranding, leveren de grootste besparing in primair energieverbruik
- Een aandachtspunt bij het figuur is dat in het geval van MID MIX de afzet van as meegenomen is in het primaire energieverbruik terwijl dat bij de overige eindverwerkingsroutes niet het geval is. De grote diversiteit aan toepassingen voor as maakt het voor deze studie onmogelijk om de afzet van as mee te nemen

6.4 CONCLUSIES

De kosten van het MID MIX proces liggen naar verwachting tussen de 49 en 67 euro per ton slibkoek, exclusief BTW en exclusief transport. De uiteindelijke kosten per ton slibkoek zijn sterk afhankelijk van enkele variabelen zoals de kostprijs van CaO, het CaO verbruik en de waarde van Neutral. Indien de geproduceerde Neutral een afzetbaar product met een positieve waarde vertegenwoordigd is aftrek van BTW mogelijk. Over het gehele MID MIX proces hoeft in dat geval geen BTW afgedragen te worden.

Het primair energieverbruik van het MID MIX proces hangt samen met de toepassing van de Neutral. Als Neutral ingezet wordt als vervanger van zand of CEM 1 resulteert dat in een hoger primair energieverbruik dan andere slibeindverwerkingstechnieken. De oorzaak hiervoor ligt in de hoge GER waarde van CaO. Indien Neutral uit zuiveringsslib hoogwaardig ingezet kan worden als vervanger van CEM I of als grondstof voor CaO productie dan is MID MIX bijna net zo duurzaam als slibdroging met laagwaardige warmte gevolgd door verbranding.

Het MID MIX proces is een totaaloplossing waarbij ontwaterd slib en CaO direct omgezet worden in een bouwstof. Na het proces resteert geen restproduct zoals as wat bij andere slibeindverwerkingstechnieken wel het geval is.

7

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

DISCUSSIE

De MID MIX installatie is in staat gebleken om ontwaterd slib van vier verschillende waterschappen te verwerken. De installatie heeft om verschillende redenen niet op volle capaciteit kunnen draaien. De veranderende samenstellingen van de slibben, de lage temperaturen in de hal en technische problemen (slibtoevoer, scrubber, retour Neutral) maakten het moeilijk om optimaal te draaien. Deze problemen kunnen in een toekomstige installatie ondervangen worden door een meertraps scrubber en het voorverwarmen van ingaand slib met restwarmte van de ventilatiegassen waardoor de doorzet van de installatie omhoog kan.

Een voordeel van de MID MIX technologie is de eenvoud van het proces. De investering is beperkt, de bedrijfsvoering is eenvoudig, het vereiste oppervlak is beperkt en de installatie is eenvoudig modulair uit te breiden. De MID MIX technologie kan daardoor een flexibel in te passen maatregel zijn om tekorten in verwerkingscapaciteit van slib op te vangen.

De chemische reacties die in het MID MIX proces plaats vinden hebben gedurende het onderzoek de nodige vragen opgeroepen. De temperatuur in de reactor is niet hoger dan 90 °C waardoor de omzetting van organische stof naar CO₂ moeilijk te verklaren is (verbrandingsreactie). In de MID MIX reactor wordt slib echter blootgesteld aan een combinatie van processen (mechanische krachten, temperatuur, verblijftijd) waardoor specifieke condities ontstaan. Via verschillende laboratorium testen is vastgesteld dat Neutral uit rwzi slib voor ongeveer 1/3 deel uit CaCO₃ bestaat en maar een beperkte hoeveelheid organische stof bevat. Uit de opgestelde koolstofbalans volgt dat het MID MIX proces resulteert in een organische stof afbraak van 58% (Katwoude) tot 85% (Amersfoort en Maastricht-Limmel).

Een belangrijke vraag voorafgaand aan dit onderzoek was of het mogelijk is om via het MID MIX proces een hoogwaardige grondstof te maken. Vooral als toeslagstof in bouwstoffen is er in de markt concrete interesse voor het gebruik van Neutral uit rwzi slib omdat dit de CO₂ footprint van bouwstoffen omlaag kan brengen. Enkele voorbeelden zijn de toepassing van Neutral uit rwzi slib als toeslagstof in betonblokken en als toeslagstof voor bodem stabilisatie doeleinden. Een aandachtspunt in de huidige configuratie is de hoeveelheid minerale olie die aanwezig is in het slib. Het gehalte minerale olie wordt via het MID MIX proces verlaagd maar is nog steeds te hoog voor de acceptatie van Neutral als vrij toepasbare bouwstof (grens ligt op 500 mg/kg DS). Via voor- of nageschakelde technieken kan het minerale olie gehalte tot onder de 500 mg/kg ds terug gebracht worden. Voorgeschakelde technieken richten zich op pre-oxidatie van slib met ozon, hydroxide of peroxide. Op basis van laboratoriumproeven is ingeschat dat 0,2 liter ozon per ton slibkoek voldoende zou moeten zijn om de pre-oxidatie op gang te brengen en lange minerale olie ketens te breken zodat het materiaal (slib) verwerkt kan worden. De nageschakelde optie is het verwarmen van slib nadat het uit de tweede reactor komt gedurende een periode van 5 minuten op een temperatuur van 250°C. Deze optie is op

labschaal getest met Neutral van WRIJ en de Neutral voldoet aan de specificaties van vrij toepasbare grondstof/bouwstof.

Voor de langere termijn is het opwerken van Neutral uit rwzi slib tot CaO een interessante route. Uit testen die een producent van CaO uitgevoerd heeft volgt dat Neutral uit rwzi slib een zeer geschikte grondstof is voor CaO productie. De voordelen voor de CaO producent zijn dat de CO₂ uitstoot van CaO omlaag gaat en de productiekosten dalen.

De mogelijkheden om fosfor terug te winnen uit Neutral zijn in deze studie geïnventariseerd. Fosfor kan alleen uit Neutral terug gewonnen worden als de Neutral opgewerkt wordt tot CaO. Indien Neutral als toeslagstof gebruikt wordt voor bouwstof dan wordt fosfor vastgelegd in een bouwstof en is terugwinning niet mogelijk.

CONCLUSIES

Op basis van dit onderzoek worden de volgende conclusies getrokken:

- De MID MIX installatie is geschikt om slibben met drogestofgehaltes van 18% - 55% te verwerken.
- De full scale testinstallatie is goed in staat gebleken om ontwaterd slib van de rwzi's Amersfoort (Vallei en Veluwe), Maastricht-Limmel (WBL), Mierlo (Dommel) en Katwoude (HHNK) te verwerken tot Neutral.
- Voor een praktijktoepassing op Nederlands rwzi slib dient de MID MIX installatie op een aantal punten te worden aangepast (meertraps gaswasser, verwarmde slibopslag, retour Neutral, eventueel voor-/nageschakelde stap tbv reductie minerale olie)
- De CaO dosering liep bij de verschillende testen uiteen van 1,3 tot 2,9 ton CaO per ton drogestof. De maximale CaO dosering van 2,9 is niet representatief voor een praktijktoepassing. In de doorvertaling naar de praktijk is daarom uitgegaan van een maximale dosering van 2,0 ton CaO per ton drogestof.
- Via verschillende laboratorium testen is vastgesteld dat Neutral uit rwzi slib voor een aanzienlijk deel uit Ca(OH)₂ en CaCO₃ bestaat. Deze CaCO₃ is niet in het initiële slib aanwezig en kan alleen in de MID MIX installatie gevormd zijn door de omzetting van organische stof naar CO₂ en vervolgens naar CaCO₃. Aan de hand van een koolstofbalans is berekend dat 58% (Katwoude) tot 85% (Amersfoort en Maastricht-Limmel) van de ingaande organische stof omgezet wordt in CO₂ / CaCO₃.
- In het ontwaterde slib van de vier waterschappen zijn minerale olie concentraties
- gemeten van 7 tot 11 gram per kilo drogestof. De minerale olie is slechts gedeeltelijk te herleiden naar polymeerverbruik voor de slibontwatering.
- De reductie van de minerale olie vracht in de slibben loopt sterk uiteen. Voor het slib van Amersfoort en Katwoude werd de ingaande minerale olie vracht met enkele procenten gereduceerd terwijl de minerale olie vracht in het slib van Mierlo en Maastricht-Limmel met 60-70% gereduceerd werd. Op laboratorium schaal is aangetoond dat via een voor- of nageschakelde stap het minerale olie gehalte in de Neutral terug gebracht worden tot onder de 500 mg/kg ds.
- Zware metalen worden gebonden in de Neutral waardoor ze bij analyse in lagere concentraties beschikbaar zijn dan op basis van het ingaande slib te verwachten is. Pas na verhitting van de Neutral tot 900 °C zijn de zware metalen weer beschikbaar voor analyse.
- Ammonium kan in het MID MIX proces worden terug gewonnen als ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat.
- Uit de emissie meting volgt dat de NOx emissies van het MID MIX proces laag zijn (<1 mg/Nm³). Dit kan de vergunning verlening van het proces vereenvoudigen.

- Fosfor kan in potentie alleen uit Neutral terug gewonnen worden als de Neutral opgewerkt wordt tot CaO. Indien Neutral als toeslagstof gebruikt wordt voor bouwstof dan wordt fosfor vastgelegd in een bouwstof en is terugwinning niet mogelijk.
- Het MID MIX proces is niet opgenomen in het LAP3 als eindverwerkingstechniek voor slib. Conform het LAP3 dient aangetoond te worden dat het MID MIX proces qua duurzaamheid minimaal gelijkwaardig is aan de minimumstandaard.
- Vanuit de bouwstoffenmarkt is er concrete interesse om Neutral uit rwzi slib toe te passen als toeslagstof in bouwstoffen omdat dit de CO₂ footprint van bouwstoffen (o.a. beton) reduceert en omdat de prijs laag is. Bij beton toepassingen wordt de Neutral gebruikt als toeslagstof van beton waardoor er geen risico's zijn op uitloging.
- Neutral uit zuiveringsslib kan tevens afgezet worden als toeslagstof in cement ovens
- De kosten van het MID MIX proces liggen naar verwachting tussen de 49 en 67 euro per ton slibkoek (exclusief BTW en exclusief transport slibkoek).
- Indien de geproduceerde Neutral een afzetbaar product met een positieve waarde vertegenwoordigd is aftrek van BTW mogelijk. Over het gehele MID MIX proces hoeft in dat geval geen BTW afgedragen te worden. De kosten voor het waterschap liggen in dat geval tussen de 49-67 euro/ton slibkoek (exclusief transport van de slibkoek).
- Het primaire energieverbruik van het MID MIX proces is afhankelijk van de toepassing van de geproduceerde Neutral. Bij een laagwaardige toepassing van Neutral (CEM III) is het MID MIX proces minder duurzaam dan gangbare eindverwerkingstechnieken terwijl een hoogwaardige toepassing (CEM III of opwerking tot CaO) juist weer tot een duurzaamheidsvoordeel leidt ten opzichte van gangbare eindverwerkingstechnieken.

BIJLAGE 1

MONITORINGSPROTOCOL

In Tabel 7.1 en Tabel 7.2 staan de algemene parameters van de installatie en het ingaande slib die voor elke batch genoteerd zijn. De lucht uit de schoorsteen zal bij één van de batches geanalyseerd worden met een emissiemeting (Tabel 7.3). De parameters die voor slib en/of Neutral geanalyseerd zullen worden zijn opgenomen in Tabel 7.4 tot Tabel 7.6. De monsternamen van slib en Neutral vindt plaats via een steekmonster, deze monsters zullen in duplo genomen worden.

TABEL 7.1 ALGEMENE PARAMETERS DIE GEMETEN GAAN WORDEN VOOR ALLE BATCHES

Parameter	Eenheid	Batch 1-4
Slibparameters		
Waterschap	-	√
RWZI	-	√
Type slib	PS / SS / vergist?	√
Hoeveelheid slibkoek	ton	√

TABEL 7.2 PROCESPARAMETERS DIE VOOR ALLE BATCHES GENOTEERD ZULLEN WORDEN

Parameter	Eenheid	
Draaiuren	uren	√
Verblijftijd slib voormenger	uren	√
Verblijftijd slib reactor	uren	√
Retour Neutral	ton/ton ds	√
Onderdruk	pascal	√
Dosering CaO	ton/ton ds	√
Verbruik HCl (?%)	ton/ton ds	√
Elektriciteit	kWh/ton ds	√
Temperatuur reactor 1a	°C	√
Temperatuur reactor 1b	°C	√
Temperatuur reactor 2a	°C	√
Temperatuur reactor 2b	°C	√
Temperatuur ingaande lucht scrubber	°C	√
Relatieve luchtvochtigheid ingaand scrubber	%	√
Relatieve luchtvochtigheid uitgaand scrubber	%	√

TABEL 7.3

WAARDEN DIE GEMETEN WORDEN BIJ DE EMISSIEMETING EN DE BATCHES WAAR DIT GEMETEN GAAT WORDEN

Parameter	Eenheid	Batch 3 óf 4
Lucht debiet	m ³ /h	√
Geur	Odour Unit European	√
Geur: hedonische waarde	Hedonische geureenheden /m ³	√
Ammoniak	mg/m ³	√
Relatieve luchtvochtigheid	%	√
NO _x	mg/m ³	√
Hg	mg/m ³	√
VOC	ppm	√
SO _x	ppm	√
CO ₂	ppm	√

TABEL 7.4

PARAMETERS DIE GETEST ZULLEN WORDEN VOOR ALLE 4 DE BATCHES EN OP WELKE STROOM DIT GEBEURD, DIT STAAT AANGEDUID MET EEN √
(TABEL 1)

Parameter	Eenheid	Ontwaterd slib	Neutral
<i>Bodemkundige analyses</i>			
Drogestofgehalte	% ds	√	√
Organisch-stofgehalte	% os	√	√
Gloeirest	% ds	√	√
TOC	mg/kg	√	√
TIC als Ca-Carbonaat	mg/kg ds	√	√
Ammonium	mg/kg ds of mg/l (condensaat)	√	√
N-totaal	mg/kg ds	√	√
Fosfor	mg/kg ds	√	√
Calcium	mg/kg ds	√	√
Ca-Carbonaat	mg/kg ds	√	√
<i>Metalen</i>			
Barium	mg/kg ds	√	√
Cadmium	mg/kg ds	√	√
Calcium	mg/kg ds		
Kalium	mg/kg ds		
Kobalt	mg/kg ds	√	√
Koper	mg/kg ds	√	√
Kwik	mg/kg ds	√	√
Magnesium	mg/kg ds		
Molybdeen	mg/kg ds	√	√
Nikkel	mg/kg ds	√	√
Lood	mg/kg ds	√	√
Zink	mg/kg ds	√	√

TABEL 7.5 PARAMETERS DIE GETEST ZULLEN WORDEN VOOR ALLE 4 DE BATCHES EN OP WELKE STROOM DIT GEBEURD, DIT STAAT AANGEDUID MET EEN ✓ (TABEL 2)

Parameter	Eenheid	Ontwaterd slib	Neutral
pH	-	✓	✓
CaO / CaCO ₃ gehalte	%		✓
BTEX	mg/kg ds		✓
Fenolen	mg/kg ds		✓
Minerale olie totaal (C10-C40)	mg/kg ds	✓	✓
PCB (som7)	mg/kg ds		✓
PAK VROM (10)	mg/kg ds		✓

TABEL 7.6 PARAMETERS DIE GETEST ZULLEN WORDEN VOOR ALLE 4 DE BATCHES EN OP WELKE STROOM DIT GEBEURD (TABEL 3)

Parameter	Eenheid	Neutral
<i>Uitloogonderzoek schudproef</i>		
(Schudproef)	L/g ds	✓
Antimoon	mg/kg ds	✓
Arseen	mg/kg ds	✓
Barium	mg/kg ds	✓
Cadmium	mg/kg ds	✓
Chroom	mg/kg ds	✓
Kobalt	mg/kg ds	✓
Koper	mg/kg ds	✓
Kwik	mg/kg ds	✓
Nikkel	mg/kg ds	✓
Molybdeen	mg/kg ds	✓
Lood	mg/kg ds	✓
Seleen	mg/kg ds	✓
Tin	mg/kg ds	✓
Vanadium	mg/kg ds	✓
Zink	mg/kg ds	✓
Bromide	mg/kg ds	✓
Chloride	mg/kg ds	✓
Fluoride	mg/kg ds	✓
Sulfaat	mg/kg ds	✓
<i>Thermische destructie 900 °C</i>		
CaO	mg/kg ds	✓
Barium	mg/kg ds	✓
Cadmium	mg/kg ds	✓
Kobalt	mg/kg ds	✓
Koper	mg/kg ds	✓
Molybdeen	mg/kg ds	✓
Nikkel	mg/kg ds	✓
Lood	mg/kg ds	✓
Zink	mg/kg ds	✓
N	mg/kg ds	✓
P	mg/kg ds	✓

BIJLAGE 2

INTERVIEWS EXPERTS

INTERVIEW MET COMMERCEEL OPERATIONEEL MANAGER VAN AQUAMINERALS, RONNY THEUNE

Als Commercieel Operationeel Manager van Aquaminerals is Ronny Theune verantwoordelijk voor contracten rondom de verkoop van (rest)producten uit de drinkwaterproductie en het zuiveren van communaal afvalwater. Hij heeft daardoor veel kennis van de markt rondom deze (rest)producten. De volgende punten kwamen naar voren in het interview:

- Indien Neutral voldoet aan de eisen uit het bouwstoffenbesluit kan het als vrij toepasbare bouwstof ingezet worden
- De betonsector wil bij constructieve toepassingen niet op kwaliteit in boeten door gebruik van een nieuw product.
- Voor laagwaardigere toepassingen zoals, straatklinkers, stoepranden, geluidsschermen of betonblokken zijn mogelijkheden op de markt.
- De potentiële waarde van Neutral zal rond de 0 euro liggen.
- Neutral is qua toepassing mogelijk te vergelijken met een vulstof zoals zand welke een waarde vertegenwoordigen van 5-6 euro per ton.
- Het reduceren van de CO₂ uitstoot neemt een steeds belangrijkere rol in bij aanbestedingen. De mate waarin Neutral bijdraagt tot een reductie van de CO₂ uitstoot van een inschrijving is daarmee een belangrijk aspect. Hierbij is het relevant om Neutral te vergelijken met het product wat het vervangt.
- De MIDMIX-technologie verwijdert geen verontreinigingen maar immobiliseert ze. Daarbij worden stoffen vast gelegd maar niet uit het milieu verwijderd.
- Het is de vraag wat er met de bouwstof waarin de Neutral verwerkt is gebeurd aan het einde van de levensduur. Ook de levensduur van de bouwstof waarin de Neutral is verwerkt is een belangrijk aandachtspunt. Hoe verhoudt deze levensduur zich tot vergelijkbare bouwstoffen?

INTERVIEW MET COMMERCEEL DIRECTEUR VAN CONOVATION BV., ROBERT HURKMANS

Datum: 28 maart 2018

- Robert is betontechnoloog
- Conovation is onderdeel van de Hurkmans Transport groep, hieronder vallen 3 bedrijven: Betonal (bouwstoffen), Conovation (hulp- en vulstoffen) en Silomix (mengerij).
- De business bestaat uit transport van grondstoffen voor de cement en beton industrie, de handel van de producten en ook het verhuren van silo's voor producten
- Conovation verhandelt diverse vulstoffen, zowel van primaire als secundaire aard (bijv. gemalen slak of steenmeel).
- Neutral zou toegepast kunnen worden als vervanger van cement (bij behoud pastagehalte). Hierbij wordt gekeken naar aspecten als druksterkte, buig-treksterkte.
- Robert ziet toepassingen in de beton- en asfaltmarkt, alsook in-situ stabilisatiemarkt
- Een andere toepassing is de krijt-suspensie productie, in de landbouw wordt kalk als meststof gebruikt. Neutral zou een aanvulling kunnen vormen.
- Op dit moment is Neutral met 5-6% te vochtig voor transport in gangbare silotransport en -opslag

- Transport in big-bags is veel duurder dan in een silo.
- Op dit moment wordt er poederkoolvliegassen van kolencentrales gebruikt in cement als vulstof, deze markt neemt af door sluiting van de kolencentrale. Neutral zou hier een alternatief voor kunnen zijn.
- Vulstoffen (zoals opgenomen in cementnorm EN 197) hebben een bindmiddelwaarde in het cement wanneer hiervoor attestonderzoek cf BRL 1802 is uitgevoerd
- In een aantal betonmengsels zit kalksteenmeel, dit zou mogelijk 1 op 1 vervangen kunnen worden door Neutral. Als de kostprijs van Neutral lager is zou er potentiële afzet zijn. Het is hierbij van belang dat er aan de minimale prestatievoorwaarden van o.a. druksterkte, buig- en treksterkte en carbonatatie diepte wordt voldaan.
- Er bestaan verschillende klassen beton:
 - Transportbeton → dit is KOMO gecertificeerd; grondstoffen zijn bij voorkeur ook KOMO produktgecertificeerd
 - Prefab beton hierbij is KIWA certificering nodig voor het productieproces maar de grondstof dient alleen aan CE markering te voldoen. Een CE markering kan verkregen worden doordat de fabrikant test aan zijn eigen eisen dan wel dat er getoetst wordt aan de normwaarden.
 - Betonwaren, bijvoorbeeld klinkers en andere niet constructieve producten. Hierbij wordt het product getest voordat het op de markt gebracht mag worden. Er wordt getest op druksterkte, slijt-trek sterkte en vorst/dooizout bestandheid.
 - Dit soort beton is kostprijs gedreven
- Cement kost normaal 70-95 euro/ton; e.e.a. afhankelijk van kwaliteit en transportafstand
- Er gaat gemiddeld 300kg cement in 1 kubieke meter beton
- Voor de afzet van Neutral ligt de meeste kans in de betonwaren
- Bij prefab is de kleur van de vulstof ook van belang
- Cement is belangrijk voor de sterkte van het beton en de poedervulstof voor de compactheid.
- Beton heeft een waterbehoefte uitgedrukt in β -p, hoe hoger deze waterbehoefte hoe meer water er nodig is maar er is een maximum water/cement verhouding vastgelegd. Chemisch is het minimum water-cement-factor 0,28, maximum is 0,60. Neutral heeft een lagere waterbehoefte dan kalksteenmeel.
- Calcium hydroxide (luchtkalk) wordt ingezet in metselcementen. Er loopt ook een gesprek bij ENCI, over de voorlopige resultaten worden ze wel enthousiast. Hierbij aandacht voor Neutral als vulstof in composietcementen als inzet als kalkbron in cementovens (sterke reductie CO₂ omdat er geen/minder CaCO₃ (kalksteen) ingezet hoeft te worden)
- Een potentiële markt is de tapijtindustrie. De backing van tapijt is 50% vulstof (vaak calciumcarbonaat), dit wordt gemengd met latex en opgeschuimt. Dit is in Nederland een markt van 80.000-100.000 ton kalksteenmeel in de tapijtindustrie.
- Constante aanvoer van Neutral is een voorwaarde voor afzet, dit is nu nog een zorg voor Robert
- Kwa normen wordt het product gekeurd op mineralogische samenstelling en de zeeflijn bij toepassing in de cementindustrie.
- Bij toepassing in tapijt is geur een zorg, als er een thermische behandeling van de Neutral plaats vindt zal de geur wellicht wegvallen
- Voor vervanging van steenmeel zijn de richtlijnen de waterbehoefte, mineralogische samenstelling en zeeflijn
- Als je je product onder KOMO certificering wilt laten vallen zal je een achterliggend onderzoek moeten laten zien. Vulstoffen voor beton worden veelal aan BRL 1804 getoetst cq. via het College van Deskundigen in BRL 1804 opgenomen

- In de cement industrie willen klanten een grote hoeveelheid, 30.000-70.000 ton per jaar.
- Er zijn ook toepassingen onder het besluit bodemkwaliteit, Robert vermoed dat de Neutral daar voor goed gekeurd wordt. Dan praat je over toepassingen als stabilisatie/dijkverzwaring of dijkversteving
- Neutral activeert ook hoogoven-slak. Het kan daarom ingezet worden als activator. Dit betekent minder cement, dit helpt in de verduurzaming van de betonsector. Dit noem je geopolymeertechniek
- Gebruik van 1 ton portland cement betekent ca.1 ton CO₂ uitstoot bij productie
- CaO kost ongeveer 100 euro per ton, inclusief levering
- Robert heeft aangegeven dat de naam Neutral voor elk product, onafhankelijk van met welk slib het geproduceerd is verwarring kan opleveren.
- Voor afzet is het nodig dat er maximaal 1% vocht in de Neutral zit in verband met transport.
- Er kan ook gedacht worden aan een toepassing in asfalt. Asfalt wordt gemaakt met zand en grind, dit wordt gedroogd en gezeefd. Daarna is er ook toevoeging van bitumen en asfaltvulstoffen. Deze vulstoffen worden toegevoegd om de asfalteigenschappen te veranderen. Vulstoffen bevatten vaak hydraatkalk. Dit kost ongeveer 120 euro per ton. Neutral zou dit kunnen vervangen.
- Het is nu nog te vroeg om te zeggen of de afzet van Neutral mogelijk is.
- Een andere route is in de cementoven, als CaO bron. Het gaat dan om de minerale waarde van het product. Omdat het product dan verhit wordt tot minstens 800 °C verlies je vervuilingen als minerale olie.
- Een partij als ENCI zal het product eerst zelf testen, dit proces kan zeker een half jaar duren.

BIJLAGE 3

REGELING BODEMKWALITEIT

TABEL 1 MAXIMALE EMISSIEWAARDEN ANORGANISCHE PARAMETERS (BRON: REGELING BODEMKWALITEIT)

Parameter	Vormgegeven (E_{64d} in mg/m ²)	Niet-vormgegeven (mg/kg d.s.)	IBC-bouwstoffen (mg/kg d.s.)
antimoon (Sb)	8,7	0,32	0,7
arseen (As)	260	0,9	2
barium (Ba)	1.500	22	100
cadmium (Cd)	3,8	0,04	0,06
chrom (Cr)	120	0,63	7
kobalt (Co)	60	0,54	2,4
koper (Cu)	98	0,9	10
kwik (Hg)	1,4	0,02	0,08
lood (Pb)	400	2,3	8,3
molybdeen (Mo)	144	1	15
nikkel (Ni)	81	0,44	2,1
seleen (Se)	4,8	0,15	3
tin (Sn)	50	0,4	2,3
vanadium (V)	320 ¹	1,8 ¹	20
zink (Zn)	800	4,5	14
bromide (Br)	670 ²	20 ²	34
chloride (Cl)	110.000 ²	616 ^{1, 2}	8.800
fluoride (F)	2.500 ²	55 ²	1.500
sulfaat (SO ₄)	165.000 ²	2.430 ²	20.000

¹ In afwijking van de in tabel 1 opgenomen maximale emissiewaarden geldt bij toepassing van bouwstoffen in grote oppervlaktewaterlichamen als bedoeld in bijlage 0 bij de regeling bodemkwaliteit een maximale waarde voor vanadium van 460 mg/m² (vormgegeven) en 4,6 mg/kg drogestof (niet-vormgegeven), en voor chloride van 1070 mg/kg drogestof (niet-vormgegeven).

² In afwijking van de in tabel 1 opgenomen maximale emissiewaarden, gelden bij de toepassing van bouwstoffen op plaatsen waar een direct contact (mogelijk) is met zeewater of brak water met van nature een chloride-gehalte van meer dan 5.000 mg/l: a) geen maximale emissiewaarden voor chloride en bromide, en b) de in de tabel opgenomen maximale emissiewaarden voor fluoride en sulfaat vermenigvuldigd met een factor 4.

TABEL 2

MAXIMALE SAMENSTELLINGSWAARDEN ORGANISCHE PARAMETERS (BRON: REGELING BODEMKWALITEIT)

Parameter	maximale waarde (mg/kg d.s.)
<i>Aromatische stoffen</i>	
benzeen	1 ¹
ethylbenzeen	1,25 ¹
tolueen	1,25 ¹
xylenen (som)	1,25 ^{1, 7}
fenol	1,25 ²
<i>Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)</i>	
naftaleen	5 ³
fenantreen	20 ³
antraceen	10 ³
fluoranteen	35 ³
chryseen	10 ³
benzo(a)antraceen	40 ³
benzo(a)pyreen	10 ³
benzo(k)fluoranteen	40 ³
indeno (1,2,3cd) pyreen	40 ³
benzo(ghi)peryleen	40 ³
PAK's (som)	50 ^{4, 7}
<i>Overige parameters</i>	
PCB's (som)	0,5 ⁷
minerale olie	500 ⁵
asbest	100 ⁶

¹ deze maximale samenstellingswaarden gelden niet voor polymerebeton voor een periode als opgenomen in artikel 5.1.8, tweede lid, of voor bitumenproducten*1.

² voor vormzand geldt een maximale waarde van 3,75 mg/kg drogestof.

³ deze maximale samenstellingswaarden gelden niet voor voor bitumenproducten*1, asfaltproducten*2 en granulaten*3.

⁴. voor bitumenproducten*1 en asfaltproducten*2 geldt een maximale samenstellingswaarde van 75 mg/kg d.s. voor PAK's (som).

⁵ deze maximale samenstellingswaarde geldt niet voor rubberproducten*1, toegepast op of onder kunstgrasvelden, bitumenproducten*2 en asfaltproducten*3. Voor granulaten*4 en vormzand geldt een maximale waarde van 1.000 mg/kg drogestof.

*1. onder rubberproducten wordt verstaan: rubbergranulaat van personen- en bedrijfsautobanden (SBR-rubber), rubbergranulaat op basis van thermoplastisch-elastomeren (TPE) en rubbergranulaat op basis van elastomeren (EPDM) en functionele mengsels met rubbergranulaat;

*2. onder bitumenproducten wordt verstaan: bitumen dakbedekkings- en afdichtingsmaterialen, vormgegeven bouwstoffen met een bitumen coating, en secundair bitumengranulaat dat zodanig is toegepast dat in de eindtoepassing een functionele constructie van samenhangend bitumengranulaat ontstaat;

*3. onder asfaltproducten wordt verstaan: asfalt, asfaltbeton, asfaltgranulaat en ci-vieltechnisch functionele mengsels met asfaltgranulaat;

*4. onder granulaten wordt verstaan: menggranulaat, hydraulisch menggranulaat, betongranulaat, metselwerkgranulaat brekerzeefzand en recyclingbrekerzand.

⁶ Gewogen norm (concentratie serpentijn asbest + 10 x concentratie amfibool asbest). Deze eis bedraagt 0 mg/kg d.s. indien niet is voldaan aan artikel 2, onder b, van het Productenbesluit Asbest.

⁷ de definitie van de somparameters wordt gegeven in bijlage N.

*1 onder bitumenproducten wordt verstaan: bitumen dakbedekkings- en afdichtingsmaterialen, vormgegeven bouwstoffen met een bitumen coating, en secundair bitumengranulaat dat zodanig is toegepast dat in de eindtoepassing een functionele constructie van samenhangend bitumengranulaat ontstaat.

*2 onder asfaltproducten wordt verstaan: asfalt, asfaltbeton, asfaltgranulaat en civieltechnisch functionele mengsels met asfaltgranulaat.

*3 onder granulaten wordt verstaan: menggranulaat, hydraulisch menggranulaat, betongranulaat, metselwerkgranulaat brekerzeefzand en recyclingbrekerzand.

BIJLAGE 4

TOEPASSING NEUTRAL IN BETON



Recepten test 2 Neutral in beton

Materiaal	Referentie_1 (vulstof)	Vulstof_1 (op volume)	Geopolymeer 60/40%_1	Geopolymeer 60/40%_2
Normzand	1220 gr	1220 gr	1350 gr	915 gr
CEM I 42,5N	450 gr	450 gr		
Hoogovenslak			270 gr	270 gr
Kalksteenmeel	150 gr			
Neutral		45 gr	50 gr	180 gr
Water	225 gr	225 gr	225 gr	225 gr

Gemiddelde buig- treksterkte	6,0N/mm ²	5,1N/mm ² (-15%)	1,3N/mm ²	1,3N/mm ²
Gemiddelde druksterkte 7dgn	40,8N/mm ²	30,5N/mm ² (-25%)	5,5N/mm ²	5,4N/mm ²

Materiaal	Referentie_2	10% vervanging	20% vervanging
Normzand	1350 gr	1240 gr	1130 gr
CEM III/A 42,5N	450 gr	405 gr	360 gr
Neutral		45 gr	90 gr
Water	225 gr	225 gr	225 gr

Gemiddelde buig- treksterkte	5,6N/mm ²	4,5N/mm ² (-20%)	4,0N/mm ² (-29%)
Gemiddelde druksterkte 7dgn	36,8N/mm ²	28,5N/mm ² (-23%)	21,9N/mm ² (-40%)

Analyse rapport

Betreft: Toevoeging Neutral in beton

Referentie 190320_7dgn

Datum rapport 27-3-2019

Buigtreksterkte en druksterkte van verharde mortel (NEN-EN 1015-11)

Code	Datum:		Ouder- dom (dgn)	Vol. Mass. (kg/m³)	Buig-trek (N/mm²)	Druksterkte (N/mm²)
	Storten	Testen				
REF-1_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2280	6,00	41,2
REF-1_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2267	6,10	40,7
REF-1_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2273	5,85	40,5
Vulstof -1_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2179	5,15	31,7
Vulstof -1_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2192	4,95	30,9
Vulstof -1_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2204	5,10	28,9
REF-2_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2255	5,55	36,5
REF-2_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2227	5,70	37,0
REF-2_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2242	5,40	37,0
10%_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2158	4,70	29,2
10%_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2174	4,40	28,6
10%_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2184	4,25	27,5
20%_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2164	4,00	23,0
20%_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2158	4,15	22,5
20%_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2148	3,75	20,3
60/40 -1_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2157	1,25	5,5
60/40 -1_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2146	1,25	5,3
60/40 -1_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2167	1,50	5,6
60/40 -2_A	20-3-2019	27-3-2019	7	2106	1,25	5,5
60/40 -2_C	20-3-2019	27-3-2019	7	2116	1,25	5,5
60/40 -2_E	20-3-2019	27-3-2019	7	2086	1,25	5,4
Kleinste:				2086	1,25	5,3
Grootste:				2280	6,10	41,2

Opgesteld en uitgevoerd door:

Nathan Leyenhorst
Betontechnoloog BV



BIJLAGE 5

REFERENTIE MID MIX INSTALLATIES



ASTRA International-inženjering d.o.o.

HR-10000, Zagreb Vinogradska 43

(ured i dostava pošte: Domobranska 21)

Tel: +385 1 387 22 02

Fax: +385 1 387 21 42

e-mail: info@astra-eng.hr

OIB / VAT No.: HR 69935095701

MB: 01405748 , MBS: 080254855

IBAN: HR1424850031100256098

IBAN: HR3825000091101030565

web: www.astra-eng.hr

VSGM BV
Bastion 1
5492 AN St Oedenrode
Netherlands

Naš znak: All-D-01-VSGM

Zagreb 02.02.2019

Subject: **Reference MID MIX installations**

Dear Mladen,

As per our recent discussion, where you requested some additional information about other MID MIX installations, here is a short overview. Please be free to share this information with the team involved in STOWA MID MIX evaluation.

Few general comments. From technology and configuration standpoint, below described installations are very different to the one in Wilp. They all have only one reactor and do not have SCADA process management and integration. They all are basically "one-off" built for specific client, specific location and specific input materials.

1. WWTP Koprivnica (Komunalac) - Croatia

It is biological waste water treatment plant nutrient removal (tertiary treatment), aerobic sludge stabilization, dehydration and integrated sludge treatment with MID MIX technology. Capacity of the WWTP Koprivnica 100.000 EP and is operational as of year 2007. Due to some circumstances, from beginning the plant was/is operating on 75% of the projected capacity, regarding the inflow quantity. Sludge has been treated with MID MIX technology from the beginning, producing solidified waste – Neutral.

Installation specific's/highlights:

- Fully integrated in SBR waste water treatment process.
- Typical production quantity approx. 3 T/h. Due to the sludge quantity more is not required.
- No scrubber, only filter.
- Neutral in big-bag's.

<http://en.komunalac-kc.hr/>; <http://www.kcvode.hr/>

2. Yunirisk, Belgrade – Serbia

Plant was built in 2006 for the processing of variety of sludges, liquid waste streams as well as solid hazardous waste. Over the 10+ years of operation plant processed more than 130 different waste streams, majority of them being hazardous. Operation is NOT geared towards continuous processing of one or two sludges but on small quantities of various contaminated/hazardous sludges (very, very high gate fee's). Over the years MID MIX installation at Yunirisk processed in average 9.000 T of various sludges per year. In the separate document I will provide full overview of waste treated by Yunirisk over the last 3 years. As they deal with mostly hazardous material, their waste administration system deals with kg's of waste and not tons. It is very detailed and to my opinion more than 3 years of detailed data would be real "overkill".

Installation specific's/highlights:

- Processing sludges, liquid and selected solid waste streams (like asbestos).
- Designed for processing of 2-5 T of material per hour.
- Much more time goes into the preparation of material and defining adequate operating parameters than into the actual processing with MID MIX.
- Two stage scrubber.
- Neutral either in big-bag's or directly into the bulk-silo truck.
- Subject to very frequent, very thorough environmental control from the authorities.

<http://www.yunirisk.com/>

3. Hera Group, Barcelona – Spain

Plant was built in 2006/2007 for the processing of leachate and WWTP sludges. Due to the specific requirements, special, rather big pre-mixer was designed for processing liquid leachate. After 10 years of operation plant is currently awaiting major overhaul and upgrade – partially due to the new owners of the location.



Installation specific's/highlights:

- Typically processing 70% of leachate and 30% of WWTP sludges.
- Typical processing capacity 8-12 T per hour.
- Typical operation is 12 hours per day.
- Liquids and sludge (25% DS) processing.
- Two stage scrubber.
- 1.000 m³ Neutral production storage bunker.

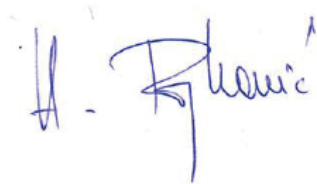
http://www.heraholding.com/index_eng.php

To conclude, those are 3 most important MID MIX reference installations. There are also few others but those are either small en operating more or less on ad-hoc basis or processing solid waste (drying and SRF production) such as one in France.

Some additional data about those 3 I will send in a separate mail. If you or anyone has any additional questions, please feel free to contact me.

Regards,

Hrvoje Rajkovic,
Managing Director,
Astra International Inženjering d.o.o.



BIJLAGE 6

BRIEFRAPPORT VERGUNBAARHEID



zuiver in advies & onderzoek

Rembrandtlaan 4
5462 CH Veghel
Telefoon 073 - 547 72 53
E-mail info@milon.nl
Internet www.milon.nl

VSGM B.V.
T.a.v. de heren M. Filipan en J. Teunisse
Jan Tinbergenstraat 4a
5491 DC Sint-Oedenrode
Per email: mladen@vsgm.eu
john@vsgm.eu

Veghel, 18 maart 2019
Betreft: Vergunbaarheid MID-MIX technologie
Projectnummer: 20181954
Bijlage(n): Sectorplan 16

Geachte heren Filipan en Teunisse,

Recentelijk hebben wij in een overleg gesproken over het voornemen van VSGM bv om MID-MIX technologie, een verwerkingsmethode voor (afvalwaterzuiverings)slib, in Nederland commercieel in de markt te zetten. Het voornemen is gebaseerd op goede ervaringen die zijn opgedaan met een proefinstallatie binnen de inrichting van Attero te Wilp.

Vergunbaarheid

De MID-MIX technologie voorziet in de behandeling van slib, onder toevoeging van een additief, tot een fijnkorrelig materiaal (Neutral) dat bestemd is voor toepassing als bouwstof in de GWW-sector of voor toepassing als halffabrikaat bij de productie van nieuwe bouwstoffen. De behandeling van het slib geschiedt in een installatie die zowel stationair als mobiel kan worden opgesteld.

De activiteiten met betrekking tot slibverwerking dienen plaats te vinden binnen een inrichting die beschikt over een daartoe strekkende omgevingsvergunning. Deze vergunning dient tenminste te voorzien in acceptatie van de (afval)slibben onder de juiste euralcodes, opslag van onbewerkt en bewerkt materiaal, de slibverwerkende handelingen en alle daarmee samenhangende ondersteunende activiteiten. Of een vergunning voor de genoemde activiteiten kan worden verleend hangt naast locatiespecifieke omstandigheden en proceskenmerken af van de inpasbaarheid in het vigerende beleidskader.

Voor handelingen met afvalstoffen vormt het Landelijk Afvalstoffenplan (LAP3) het beleidsmatig toetsingskader. Binnen het Landelijk Afvalstoffenplan zijn voor een groot aantal afvalstoffen sectorplannen opgenomen waarin minimumstandaarden beschreven staan waaraan handelingen met deze afvalstoffen dienen te voldoen. Voor waterzuiverings-slib geldt sectorplan 16 (zie bijlage). De hierin beschreven minimumstandaard voor verwerking komt niet overeen met de door VSGM voorgestane behandeling. Om voor vergunning in aanmerking te komen dient derhalve vastgesteld te worden dat de activiteit *'minstens even hoogwaardig is als de minimumstandaard, dat wil zeggen dat de activiteit een milieudruk veroorzaakt die gelijk is aan of minder is dan die van de minimumstandaard'*. De vergunningverlener kan *'op basis van een toetsing aan de afvalhiërarchie dan wel op basis van een bij de aanvraag gevoegde LCA die voldoet aan de eisen die op basis van het LAP aan een LCA worden gesteld, tot het oordeel komen dat de handeling tenminste even hoogwaardig is als de minimumstandaard'*.



zuiver in advies & onderzoek

Rembrandtlaan 4
5462 CH Veghel
Telefoon 073 - 547 72 53
E-mail info@milon.nl
Internet www.milon.nl

Het verdient derhalve aanbeveling om voorafgaand aan de start van een vergunningprocedure in overleg te treden met de vergunningverlenende instantie teneinde vast te stellen dat op basis van toetsing aan de afvalhiërarchie sprake is van een activiteit die tenminste gelijkwaardig is aan de minimumstandaard. In dat kader wijst MILON tevens op de volgende passages in sectorplan 16: *'Hoewel de hierboven beschreven minimumstandaarden voor een deel van het zuiveringsslib 'verbranden als vorm van verwijderen' mogelijk maken, is het beleid gericht op nuttige toepassing. Het gaat hierbij met name om inzet als brandstof, verwerken in/tot meststof (met name slib van voedings- of genotsmiddelenindustrie) en zelfs ook verwerken in/tot een bouwstof'* en voorts *'In het LAP worden deze ontwikkelingen - die in potentie een bijdrage kunnen leveren aan de realisatie van een Circulaire Economie en dus aan een belangrijk doel van het beleid - wel mogelijk gemaakt, maar onder de randvoorwaarde dat het niet leidt tot storten van een residu'*. Beide passages zijn illustratief voor de door VSGM voorgestelde toepassing van MID-MIX-technologie.

Indien in de nabije toekomst bij meerdere vergunningverlenende instanties een aanvraag om omgevingsvergunning zal worden ingediend dan is het te overwegen om een LCA op te (laten) stellen die als bijlage bij een aanvraag kan worden gevoegd. Vooroverleg is dan (op dit punt) niet nodig.

Op basis van de bij MILON bekende informatie over de MID-MIX technologie, afgezet tegen de minimumstandaard voor waterzuiveringsslib, niet zijnde slib van afvalwaterzuivering uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie, is de verwachting dat deze technologie als tenminste gelijkwaardig zal worden beoordeeld¹.

End-of-Waste (EoW) / Einde-afval

Het na behandeling van (afvalwaterzuiverings)slib vrijkomende materiaal (Neutral) kwalificeert nog altijd als afvalstof. Inzet van het materiaal als grond- of bouwstof doet daar niets aan af. Neutral verliest de afvalstatus alleen indien aantoonbaar voldaan wordt aan End-of-Waste / einde-afvalcriteria.

Voor een aantal afvalstoffen zijn specifieke EoW-criteria vastgesteld in Europees verband. Producten die aan deze criteria voldoen verkrijgen een EoW-status die geldig is in de gehele EU. Dat is niet het geval voor Neutral. Voor afvalstoffen die niet onderhevig zijn aan specifieke Europees vastgesteld EoW-criteria kan om een rechtsoordeel gevraagd worden bij de bevoegde autoriteiten van de betreffende lidstaat, i.c. het Ministerie van I&W. Het oordeel wordt gebaseerd op toetsing aan een viertal criteria:

- Het voorwerp wordt gebruikelijk toegepast voor specifieke doeleinden;
- Er is een markt voor of er is vraag naar de stof of het voorwerp;
- De stof of het voorwerp voldoet aan de technische voorschriften voor de specifieke doelen en aan de voor producten geldende wetgeving en normen;
- Het gebruik van de stof of het voorwerp heeft over het geheel genomen geen ongunstige effecten voor het milieu of de menselijke gezondheid.

¹ Op basis van de bij MILON bekende informatie is de MID-MIX technologie aan te merken als een activiteit in de categorie C2 (recycling van het oorspronkelijke functionele materiaal in een niet gelijke of vergelijkbare toepassing) van de afvalhiërarchie).



zuiver in advies & onderzoek

Rembrandtlaan 4
5462 CH Veghel
Telefoon 073 - 547 72 53
E-mail info@milon.nl
Internet www.milon.nl

Pas indien overtuigend kan worden aangetoond dat aan deze criteria wordt voldaan kan Neutral de afvalstatus verliezen. Het rechtsoordeel zal worden gepubliceerd op de website van Ministerie.

Opgemerkt wordt dat de EoW-status in dit geval alleen geldig is binnen Nederland. Bij toepassing van Neutral in een andere lidstaat zal opnieuw een beoordeling moeten worden uitgevoerd door de bevoegde autoriteiten in het land van toepassing. Voorts wordt opgemerkt dat het verkrijgen van de EoW-status kan betekenen dat andere (product)wetgeving (o.a. REACH) van toepassing wordt. In sommige gevallen kan het daarom zinvol zijn om de afvalstatus te koesteren.

MILON heeft onvoldoende informatie over Neutral om in dit stadium te kunnen beoordelen of het verkrijgen van een EoW-status mogelijk is. Vooralsnog zijn er echter geen redenen om te veronderstellen dat het behalen van deze status niet mogelijk zou zijn.

Graag treedt MILON met VSGM in overleg om nader te bepalen op welke wijze de gevraagde bewijslast kan worden samengesteld en de procedure ter verkrijging van een eventuele EoW-status effectief kan worden doorlopen.

Te allen tijde tot nadere toelichting bereid,

met vriendelijke groet,
MILON bv

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'B' and 'G' followed by a long horizontal stroke.

Ing. B.P.G. van Bree

Sectorplan 16 Waterzuiveringsslib

I Afbakening

De volgende afvalstoffen vallen onder de reikwijdte van dit sectorplan:

Afvalstoffen	Toelichting
Slib dat vrijkomt bij rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's)	Het gaat om waterzuiveringsslib dat vrijkomt bij de <i>biologische</i> zuivering van afvalwater.
Slib dat vrijkomt bij industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's)	
Slib dat vrijkomt bij de biologische zuivering van afvalwater in de scheepvaart	

In paragraaf IV is een nadere toelichting opgenomen op de afbakening, alsook een overzicht van afvalstoffen die overeenkomsten vertonen met de afvalstoffen van dit sectorplan, maar vallen onder andere delen van het LAP.

II Minimumstandaard

Minimumstandaard voor vergunningverlening

Onderstaande minimumstandaard houdt geen rekening met de mogelijke aanwezigheid van zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). Als toch ZZS in de afvalstof aanwezig zijn, geldt dat de voorschriften van [REACH](#), de [POP-verordening](#) en/of de beleidslijn van [hoofdstuk B.14](#), § B.14.4.3 van het beleidskader van toepassing kunnen zijn op de gevraagde activiteit. Deze bepalingen moeten worden betrokken bij de toetsing aan de minimumstandaard (zie § B.14.5.2 van het beleidskader).

	Afvalstoffen / deelstroom	Minimumstandaard voor verwerking (en eventuele voorwaarden)
a	Waterzuiveringsslib, niet zijnde slibben van afvalwaterzuivering uit de voedings- en genotmiddelenindustrie	De volgende verwerkingsmethoden zijn <i>toegestaan</i>: • Thermisch verwerken, al dan niet na voordrogen, leidend tot oxidatie van het organisch materiaal. Voorbeelden hiervan zijn: – verbranding in verschillende typen installaties (slibverbrandingsinstallatie (SVI), cementoven, energiecentrale of AVI), al dan niet in combinatie met biologische dan wel thermische voordroging; – vergassen gevolgd door nuttige toepassing van het verkregen gas. • Inzet als hulpstof in Hydrostab voor toepassing op een stortplaats. • Terugwinnen van stoffen uit het slib (bijv. fosfaat, bioplastic, alginaat, etc.) met de kanttekening dat het residu wat overblijft na terugwinning niet mag worden gestort. De volgende verwerkingsvormen zijn nadrukkelijk <i>niet toegestaan</i>: • Natte oxidatie en pyrometallurgisch smelten • Drogen of anderszins verwerken voorafgaand aan storten
b	Slibben van afvalwaterzuivering uit de voedings- en genotmiddelenindustrie	Recycling. Inzet als hulpstof in Hydrostab voor toepassing op een stortplaats is eveneens toegestaan. Voor slibben waarvoor recycling technisch niet mogelijk is of waarvoor de kosten voor afgifte van deze partijen aan de poort van de verwerker door de ontdoener meer zouden bedragen dan €205,-/ton, is de minimumstandaard 'verbranden als vorm van verwijdering'.

Zie paragraaf V voor een toelichting op de minimumstandaard.

III Grensoverschrijdend transport

Het toetsingskader, de bezwaargronden en de bijbehorende procedures voor overbrenging vanuit of naar Nederland zijn opgenomen in het hoofdstuk B.13 'Grensoverschrijdend transport van afvalstoffen' van het beleidskader.

Sectorplan 16; Waterzuiveringsslib
Tekst sectorplan (kern van het beleid)

In [bijlage F.10](#) is een gedetailleerde beslisboom opgenomen t.b.v. het vaststellen of overbrenging t.b.v. een bepaalde verwerking op basis van [hoofdstuk B.13](#) kan worden toegestaan. De uitwerking voor dit sectorplan is hieronder gegeven. Deze uitwerking geldt:

- voor overbrenging binnen de Europese Unie, en
- voor invoer van buiten de Europese Unie en uitvoer naar buiten de Europese Unie, tenzij
 - uit § B.13.2.2 van het beleidskader iets anders volgt en/of
 - toetsing aan verordening [1013/2006/EG](#) (EVOA) al direct leidt tot bezwaar (bijvoorbeeld op basis van art. 36 van de verordening).

Zeer zorgwekkende stoffen

Onderstaand beleid voor overbrenging van afvalstoffen geldt zolang er geen sprake is van verontreiniging met zeer zorgwekkende stoffen (ZZS). Als toch ZZS in de afvalstof aanwezig zijn dan kan dit betekenen dat afgeweken moet worden van de in paragraaf II beschreven verwerking en als gevolg daarvan ook van het onderstaande beleid voor overbrenging. Of overbrenging kan worden toegestaan moet dan getoetst worden aan het beleid voor overbrenging i.r.t. ZZS zoals beschreven in [hoofdstuk B.14](#), § B.14.5.3 van het beleidskader.

Overbrenging vanuit Nederland:

Overbrenging vanuit NL:	In beginsel toegestaan?	Toelichting, voorwaarden of uitzondering
<i>(voorlopige) nuttige toepassing:</i>		
t.b.v. voorbereiding voor hergebruik	NVT	Gezien de aard en/of samenstelling van deze afvalstof.
t.b.v. recycling; of, t.b.v. voorlopige nuttige toepassing gevolgd door recycling	Ja	Tenzij uiteindelijk zoveel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort dat de mate van nuttige toepassing de overbrenging niet rechtvaardigt. Voor deze afvalstof geldt dat elke mate van storten te veel is. Zie ook beleidskader hoofdstuk B.13 , § B.13.5.3.
t.b.v. andere nuttige toepassing	Ja	Voor afvalwaterzuiveringsslib <i>niet</i> afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder a), tenzij uiteindelijk zoveel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort dat de mate van nuttige toepassing de overbrenging niet rechtvaardigt. Voor deze afvalstof geldt dat elke mate van storten te veel is. Zie ook beleidskader § B.13.5.3.
	Nee	Voor afvalwaterzuiveringsslib afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder b), omdat recycling mogelijk is, tenzij: • uit de kennisgeving blijkt dat recycling niet mogelijk is vanwege de aard of samenstelling van de afvalstof of dat de kosten van recycling meer bedragen dan € 205,-/ton én, • er niet alsnog een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort of anderszins verwijderd.
<i>(voorlopige) verwijdering:</i>		
t.b.v. verbranden	Ja	Voor afvalwaterzuiveringsslib <i>niet</i> afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder a).
	Nee	Voor afvalwaterzuiveringsslib afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder b), omdat recycling mogelijk is, tenzij: • uit de kennisgeving blijkt dat recycling niet mogelijk is vanwege de aard of samenstelling van de afvalstof of dat de kosten van recycling meer bedragen dan € 205,-/ton én, • er niet alsnog een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort of anderszins verwijderd.
t.b.v. andere vormen van (voorlopige) verwijdering dan verbranden of storten ¹	Ja	Voor afvalwaterzuiveringsslib <i>niet</i> afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder a), tenzij als vervolghandeling alsnog een deel van de afvalstof wordt gestort.
	Nee	Voor afvalwaterzuiveringsslib afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder b), omdat recycling mogelijk is, tenzij: • uit de kennisgeving blijkt dat recycling niet mogelijk is vanwege de aard of samenstelling van de afvalstof of dat de kosten van recycling meer bedragen dan € 205,-/ton én, • er niet alsnog een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort of anderszins verwijderd.

¹ Dit betreft alle verwijderingshandelingen anders dan D1 en D10 uit de bijlage I [KRA](#), alsook verwijderingshandelingen niet genoemd in de KRA.

Sectorplan 16; Waterzuiveringsslib
Tekst sectorplan (kern van het beleid)

t.b.v. storten ²	Nee	Op grond van nationale zelfverzorging én omdat nuttige toepassing mogelijk is.
-----------------------------	-----	--

Overbrenging naar Nederland:

Overbrenging naar NL:	In beginsel toegestaan?	Toelichting, voorwaarde of uitzondering
<i>(voorlopige) nuttige toepassing</i>		
t.b.v. voorbereiden voor hergebruik	NVT	Gezien de aard en/of samenstelling van deze afvalstof.
t.b.v. recycling	Ja	Indien de verwerking in overeenstemming is met de minimumstandaard
t.b.v. andere nuttige toepassing		
<i>(voorlopige) Verwijdering</i>		
t.b.v. verbranden	Ja	Voor afvalwaterzuiveringsslib <i>niet</i> afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder a), indien de verwerking in overeenstemming is met de minimumstandaard.
	Nee	Voor afvalwaterzuiveringsslib afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder b), omdat recycling mogelijk is, tenzij: • uit de kennisgeving blijkt dat recycling niet mogelijk is vanwege de aard of samenstelling van de afvalstof of dat de kosten van recycling meer bedragen dan € 205,-/ton én, • er niet alsnog een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort of anderszins verwijderd.
t.b.v. andere vormen van (voorlopige) verwijdering dan verbranden of storten	Ja	Voor afvalwaterzuiveringsslib <i>niet</i> afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder a), tenzij als vervolghandeling alsnog een deel van de afvalstof wordt gestort
	nee	Voor afvalwaterzuiveringsslib afkomstig uit voedings- en genotmiddelen industrie (par. II onder b), omdat recycling mogelijk is, tenzij: • uit de kennisgeving blijkt dat recycling niet mogelijk is vanwege de aard of samenstelling van de afvalstof of dat de kosten van recycling meer bedragen dan € 205,-/ton én, • er niet alsnog een deel van de overgebrachte afvalstof wordt gestort of anderszins verwijderd.
t.b.v. storten	Nee	Op grond van nationale zelfverzorging en/of op grond van nationale wettelijke bepalingen en/of omdat deze verwerking niet in overeenstemming is met de minimumstandaard.

² Onder storten valt ook opvulling van mijnen en groeves met niet-inert en/of gevaarlijke afvalstoffen. Zie ook het beleidskader B.12.2.

IV Overwegingen bij de afbakening

Dit sectorplan gaat uitsluitend over slibben van afvalwater dat biologisch gezuiverd is.

Vergelijkbare, maar niet onder dit sectorplan vallende afvalstoffen

Onderstaand – niet limitatief bedoeld – overzicht geeft afvalstoffen weer die vergelijkbaar zijn met de afvalstoffen uit dit sectorplan maar *niet* onder de reikwijdte van dit sectorplan vallen:

Afvalstoffen	Toelichting of verwijzing
Overige industriële slibben	Zie SP03 (Procesafhankelijk industrieel afval van productieprocessen)
Overige slibben uit de scheepvaart	Zie SP53 (Afvalstoffen afkomstig van schepen)
Slibben uit de waterzuivering van slachthuizen en vleesverwerkende industrie die restanten aan dierlijk materiaal kunnen bevatten	Zie SP65 (Dierlijk afval)
Overige waterige slibben, niet voortkomend uit de biologische zuivering van afvalwater	Zie SP73 (Sterk verontreinigde afvalwaterstromen en baden) en Beleidskader
Zeefgoed van het afzeven van influent uit RWZI's	Zie SP09 (Afval van onderhoud van openbare ruimten)

Euralcodes in relatie tot dit sectorplan

De volgende Euralcodes *kunnen* betrekking hebben op afval dat valt onder de reikwijdte van dit sectorplan: 020204; 020305; 020403; 020502; 020603; 020705; 030311; 040106; 040107; 040219; 040220; 050109; 050110; 060502; 060503; 070111; 070112; 070211; 070212; 070311; 070312; 070411; 070412; 070511; 070512; 070611; 070612; 070711; 070712; 100120; 100121; 101213; 190805; 190811; 190812; 191105; 191106.

Deze opsomming is indicatief. Euralcodes kunnen namelijk relevant zijn voor meerdere sectorplannen. Voor de feitelijke afbakening van wat onder dit sectorplan valt, is paragraaf I van het sectorplan bepalend en niet deze opsomming van Euralcodes (zie ook [hoofdstuk D.4](#) Omgaan met Eural, van het beleidskader).

V Toelichting en specifieke aandachtspunten bij dit sectorplan

Het beleidskader is de basis voor het afvalbeheer en beleidsuitvoering. Dit sectorplan geeft de specifieke invulling van de onderdelen 'minimumstandaard' en 'grensoverschrijdend transport' voor de in de afbakening genoemde afvalstromen. Waar dit sectorplan afwijkt van het beleidskader is het sectorplan leidend. Het is belangrijk dat iedereen die betrokken is bij afvalbeheer ook kennis neemt van het beleidskader.

Specifiek voor de praktijk van vergunningverlening zijn de volgende hoofdstukken van het beleidskader in het bijzonder van belang:

- Wettelijke reikwijdte van het LAP ([Deel A.2.3](#))
- Voorwaarden voor afwijken van het LAP bij vergunningverlening ([Deel A.2.6](#))
- Het algemene beleid rond afvalscheiding ([Deel B.3](#))
- Het beleid rond en het vergunnen van inzamelen ([Deel B.4](#))
- Het beleid rond op- en overslaan van afvalstoffen ([Deel B.5](#))
- Het algemene beleid rond (niet)mengen van afvalstoffen ([Deel B.7](#)).
- Taken en bevoegdheden van de verschillende overheden betrokken bij afvalbeleid en beleidsuitvoering waaronder ook de provincies en de gemeenten ([Deel C](#)).
- Specifieke aandachtspunten voor vergunningverlening ([Deel D](#) integraal) met specifiek:
 - Het principe van de minimumstandaard voor verwerking ([Deel D.2](#))
 - Omgaan met de minimumstandaard bij gedeeltelijke (voor) en het opnemen van sturingsvoorschriften om te borgen dat de totale verwerking conform de minimumstandaard plaatsvindt ([Deel D.2.2.4.2](#)).
 - Aandachtspunten Acceptatie- en verwerkingsbeleid afvalverwerkers ([Deel D.3](#)), met ook aandacht voor specifieke uitzonderingen.
- Omgaan met de Eural ([Deel D.4](#))

Sectorplan 16; Waterzuiveringsslib
Toelichting bij sectorplan (geen onderdeel van het LAP)

Uit het beleidskader, wet- en regelgeving en andere info zijn bovendien ook onderstaande aspecten van specifiek belang:

1. Aandachtspunten t.a.v. de hele afvalverwerkingsketen

Aandachtspunten t.a.v. gescheiden houden van de afvalstoffen

Gescheiden houden van afvalstoffen is een terugkerend issue op verschillende momenten in het afvalverwerkingsproces waarmee met zorg moet worden omgegaan teneinde verwerking volgens de minimumstandaard niet te frustreren.

De afvalstoffen van dit sectorplan vallen onder de volgende categorieën van [bijlage 5](#) van het LAP³:

- [categorie 109A of 109B](#): voor 'zuiveringsslib niet afkomstig van de voedings- en genotmiddelenindustrie (par.II onder a)'. Afhankelijk of een partij als gevaarlijk afval moet worden aangemerkt, valt het onder de A of B variant.
- [categorie 16](#): voor 'zuiveringsslib wat vrijkomt bij de biologische zuivering van afvalwater uit de voedings- en genotmiddelenindustrie (par.II onder b)'; en

Op basis van beleid rond het gescheiden houden zoals beschreven in [hoofdstuk B.3](#) moeten afvalstoffen van deze categorie in beginsel gescheiden worden gehouden van elkaar, van andere categorieën afvalstoffen en niet-afvalstoffen. Zie het beleidskader [hoofdstuk B.7](#) (Mengen) voor de voorwaarden waaronder mengen toch is of kan worden toegestaan.

(Potentiele) aanwezigheid van 'zeer zorgwekkende stoffen'

Voor de afvalstoffen van dit sectorplan geldt dat bij de vergunningverlening specifieke aandacht besteed moet worden aan de potentiële en/of occasionele aanwezigheid van 'zeer zorgwekkende stoffen' (ZZS) op de autorisatielijst ([REACH](#) bijlage XIV), de restrictielijst ([REACH](#) bijlage XVII), de kandidatenlijst [REACH](#) en bijlage IV van de [POP-verordening](#). Om deze reden is bij de paragraaf II en III van dit sectorplan een voorbehoud t.a.v. ZZS gemaakt. Blootstelling van mens of milieu aan deze ZZS moet namelijk worden vermeden.

Zie [hoofdstuk B.14](#) van het beleidskader over hoe om te gaan met ZZS in afvalstoffen. Ook in volgende hoofdstukken van het beleidskader wordt aandacht aan omgaan met ZZS besteed: de minimumstandaard ([D.2](#)), mengen ([B.7](#)), mogelijkheden voor recycling ([B.9](#)), acceptatie- en registratiebeleid ([D.3](#)) en beperkingen aan overbrenging van deze afvalstoffen ([B.13](#)).

2. Aandachtspunten t.a.v. producent/ontdoener van de afvalstoffen

Het [Activiteitenbesluit](#) en de [Activiteitenregeling milieubeheer](#) stellen in art. 2.12 respectievelijk 2.9 algemene regels rond het gescheiden houden van afvalstoffen. Voor producenten/ontdoeners die wel over een omgevingsvergunning (moeten) beschikken kan het bevoegd gezag aan de omgevingsvergunning specifieke voorschriften verbinden t.a.v. het gescheiden houden en beheer van de afvalstoffen die bij de ontdoener ontstaan, ten einde de (latere) verwerking volgens de minimumstandaard niet te frustreren. Zie ook [hoofdstuk B.3](#) Afvalscheiding.

3. Aandachtspunten t.a.v. inzameling/vervoer van de afvalstoffen

De hierboven onder 1 genoemde aandachtspunten rond gescheiden houden van de afvalstoffen die vallen onder dit sectorplan zijn ook van belang bij inzameling/vervoer ten einde de verwerking volgens de minimumstandaard niet te frustreren (doelmatigheidsprincipe). Hiervoor wordt op grond van artikel 10.47 derde van de [Wet milieubeheer](#) in het [Besluit inzamelen afvalstoffen](#) een bepaling opgenomen dat ook inzamelaars afvalstoffen die gescheiden worden aangeboden, gescheiden moeten houden. Deze bepaling zal gelden voor alle afvalstoffen.

Voor waterzuiveringsslib afkomstig uit de scheepvaart, zijn bovendien ook de volgende aspecten van belang;

- Op zuiveringsslib afkomstig van schepen is de [EG-richtlijn havenontvangstinstallaties](#) van toepassing;
- Voor het inzamelen van aan boord ontstaan zuiveringsslib, dat gevaarlijk afval is, is een inzamelvergunning op grond van het [Besluit inzamelen afvalstoffen](#) noodzakelijk. (zie het beleidskader B4 voor meer informatie over de inzamelvergunningplicht). In de inzamelvergunning neemt het bevoegd gezag ook voorschriften op ten aanzien van het

³ Ook de [Arm](#) kent in bijlage 11 een lijst van afvalcategorieën die van belang is voor het gescheiden houden van afvalstoffen. Vooralsnog geldt deze bijlage voor type A-en B-inrichtingen. Voor type C-inrichtingen geldt de bijlage uitsluitend voor gevaarlijke afvalstoffen. De bijlage is nog gebaseerd op bijlage 5 van LAP2. Middels een geplande wijziging van het Abm en de Arm zal bijlage 11 van de Arm ook geheel gaan gelden voor type C inrichtingen en in overeenstemming worden gebracht met bijlage 5 van LAP3. Vanaf dat moment gelden voor alle type inrichtingen dezelfde afvalcategorieën.

Sectorplan 16; Waterzuiveringsslib
Toelichting bij sectorplan (geen onderdeel van het LAP)

gescheiden houden van de in te zamelen afvalstoffen. Zie het beleidskader, [hoofdstuk B.7](#) voor de voorwaarden waaronder mengen kan worden vergund.

4. Aandachtspunten t.a.v. het verwerken van de afvalstoffen

Mengen t.b.v. verwerking (algemeen)

Zoals onder 1 is aangegeven dient deze afvalstof gescheiden te worden gehouden van andere afvalstoffen en niet-afvalstoffen, tenzij in de vergunning is geregeld dat deze afvalstoffen door de verwerker mogen worden gemengd. Zie voor de voorwaarden voor het vergunnen van menghandelingen [hoofdstuk B.7](#) van het beleidskader.

Ook gelden mogelijk restricties rond mengen als gevolg van de potentiële en/of occasionele aanwezigheid van specifieke zeer zorgwekkende stoffen (zie eerder in deze paragraaf).

Toelichting op de minimumstandaard

De minimumstandaard voor de verschillende slibben die vallen onder dit sectorplan is ten opzichte van LAP2 niet significant gewijzigd.

Voor slibben afkomstig van de biologische zuivering van afvalwater uit de voedings- en genotmiddelenindustrie blijft de minimumstandaard recycling (vb. toepassing als meststof al dan niet na biologisch drogen [composteren of vergisten]).

Toch kan het voorkomen dat verwerken hiervan volgens de minimumstandaard niet mogelijk is.

- Om de uitvoerbaarheid te verzekeren is in de minimumstandaard aangegeven dat in dergelijke gevallen van de minimumstandaard kan worden afgeweken en 'verbranden als vorm van verwijdering' is toegestaan. Ook is in paragraaf III aangegeven dat overbrenging t.b.v. verbranden dan kan worden toegestaan.
- Naast technische overwegingen die recycling onmogelijk maken, kan recycling voor bepaalde (specifiek verontreinigde) partijen ook relatief duur zijn. Ook in die gevallen voorziet de minimumstandaard in een mogelijkheid om alsnog verbranden mogelijk te maken. De grenswaarde hiervoor is € 205,- per ton afval. Een toelichting op welke kosten daarin worden meegenomen is opgenomen in [hoofdstuk A.4](#), § A.4.6. van het beleidskader. Ook is in paragraaf III aangegeven dat overbrenging t.b.v. verbranden in dit geval kan worden toegestaan.

In [hoofdstuk B.13](#), § B.13.3.3.3 van het beleidskader staat aangegeven welke informatie het kennisgevingsdossier moet bevatten ingeval de afvalstoffen t.b.v. bovenstaande verwerking worden overgebracht.

Voor de overige slibben die vallen onder dit sectorplan blijven diverse verwerkingsvormen mogelijk die aansluiten bij of gelijkwaardig zijn aan 'thermisch verwerken'. Natte oxidatie blijft echter ongewenst i.v.m. de relatief grote hoeveelheid reststoffen die daarbij ontstaat, zonder dat hier een positieve energieopbrengst tegenover staat en i.v.m. een relatief groot verbruik aan specifieke chemicaliën. Ook pyrometallurgisch smelten komt niet voor vergunningverlening in aanmerking. Voor deze afvalstroom scoort deze verwerkingstechniek op een groot aantal milieuthema's slechter dan de wel toegestane thermische vormen van verwerking. Dit wordt met name veroorzaakt door het hoge energiegebruik en het ontbreken van substantiële vermeden emissies door geproduceerde producten.

Zuiveringsslibben afkomstig van RWZI's en AWZI's worden in nagenoeg alle gevallen mechanisch ontwaterd en afgevoerd naar een verwerker. Deze voorbehandeling is toegestaan. Indien een RWZI op grond van de vergunning bedrijfsslib mag verwerken, mogen deze slibben geen dierlijk afval bevatten. Het beleid voor dierlijk afval is uitgewerkt in [sectorplan 65](#) 'Dierlijk afval'. De slibben worden vervolgens gedroogd, al dan niet gecomposteerd en/of verbrand.

Hoewel de hierboven beschreven minimumstandaarden voor een deel van het zuiveringsslib 'verbranden als vorm van verwijderen' mogelijk maken, is het beleid gericht op nuttige toepassing. Het gaat hierbij met name om inzet als brandstof, verwerken in/tot meststof (met name slib van voedings- of genotmiddelenindustrie) en zelfs ook verwerken in/tot een bouwstof. Hieronder volgt een aantal aandachtspunten bij de genoemde vormen van nuttige toepassing:

Inzet als meststof / inzet t.b.v. productie van compost

Op RWZI- en AWZI-zuiveringsslibben is [Richtlijn 86/278/EG](#) betreffende de bescherming van het milieu, in het bijzonder de bodem, bij het gebruik van zuiveringsslib in de landbouw van toepassing.

In internationaal verband is vastgelegd dat bodemverontreiniging voorkomen moet worden. Dit

Sectorplan 16; Waterzuiveringsslib
Toelichting bij sectorplan (geen onderdeel van het LAP)

uitgangspunt is ook gehanteerd bij het formuleren van kwaliteitseisen en doseringsnormen voor compost. De kwaliteitseisen voor compost zijn opgenomen in het [Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet](#) en de doseringsnormen in het [Besluit gebruik meststoffen](#).

De eisen geformuleerd in het bovengenoemde besluit gaan o.a. over de concentraties van zware metalen en arseen in meststoffen. RWZI-zuiveringsslib voldoet niet altijd aan deze eisen. Hierop dient dus een adequate beoordeling plaats te vinden. Van de industriële slibben voldoen slechts enkele stromen aan de eisen van dit besluit. Dit zijn vooral slibben uit AWZI's van de voedingsmiddelenindustrie.

Terugwinnen van fosfaat

De optie fosfaatwinning is nieuw in LAP3 en wordt toegestaan zolang de restfractie die overblijft na de fosfaatwinning niet wordt gestort. Zie ook sectorplan 22.

Het terugwinnen van grondstoffen uit slib

Er zijn veel ontwikkelingen op het gebied van terugwinning van grondstoffen uit het slib. Denk hierbij aan fosfaat, bioplastics, alginaat, cellulose, etc. Veel van deze zaken worden op het moment van inwerkingtreding van LAP3 nog niet grootschalig uitgevoerd en zijn vooral in de ontwikkelfase. In het LAP worden deze ontwikkelingen – die in potentie een bijdrage kunnen leveren aan de realisatie van een Circulaire Economie en dus aan een belangrijk doel van het beleid – wel mogelijk gemaakt, maar onder de randvoorwaarde dat het niet leidt tot storten van een residu. Zou daarvan namelijk sprake zijn dan ontstaat er spanning met een ander belangrijk doel van het beleid, namelijk het minimaliseren van de hoeveelheid afval die wordt gestort.

BREF in relatie tot de minimumstandaard.

Bij het vaststellen van de minimumstandaard voor de afvalstoffen die vallen onder dit sectorplan zijn de BBT-referentiedocumenten (BREFs) betrokken, die zijn opgesteld in het kader van de [richtlijn industriële emissies](#) (RIE) en voorheen in het kader van de in de RIE opgenomen IPPC-richtlijn. In de BREFs zijn de beste beschikbare technieken (BBT) beschreven voor bedrijfstakken of activiteiten. Bij de vergunningverlening moet rekening worden gehouden met deze BBT-conclusies. Om die reden is getoetst of ook de beschreven minimumstandaard hiermee niet in strijd is.

Diverse BREFs bevatten als BBT aangemerkte bepalingen voor de afvalstoffen die onder dit sectorplan vallen. In het algemeen hebben deze bepalingen betrekking op de procestechnische en organisatorische uitvoering van de behandeling van de afvalstoffen en/of over de toelaatbare emissieniveaus. Deze zijn relevant bij vergunningverlening voor de verwerking van de afvalstoffen, maar niet bepalend voor de toelaatbaarheid van bepaalde methoden van verwerking zoals deze in de minimumstandaard wordt vastgelegd. De minimumstandaard is daarmee in overeenstemming met de betreffende BBT-conclusies.

In een aantal gevallen zijn er echter wel als BBT aangemerkte bepalingen die voorschrijven dat de afvalstof ten minste een specifieke verwerking moet ondergaan. Daar waar de BREF verdergaande of meer specifieke eisen stelt dan de minimumstandaard moet de vergunningverlener per specifiek geval beoordelen of de betreffende passage uit de BREF betekent dat vergunningverlening conform de minimumstandaard onvoldoende hoogwaardig is en de eisen uit de BREF uitgangspunt moeten zijn voor vergunningverlening.

Onderstaande tabel geeft een overzicht van relevante passages uit de BREFs waarin specifieke eisen staan ten aanzien van de verwerking van afvalstoffen. Het is de verantwoordelijkheid van het bevoegd gezag om te borgen dat met de bepalingen uit deze passages rekening gehouden wordt bij de vergunningverlening.

Sectorplan 16; Waterzuiveringsslib
Toelichting bij sectorplan (geen onderdeel van het LAP)

Relevante passages in de BREFs voor vergunningverlening:

Afvalstoffen	BREF	BBT	Specifieke eis BREF*
Slib afvalwaterbehandeling chemische industrie	Afgas- en afvalwaterbehandeling (Final Draft)	14	Voorbehandeling door conditioneren, ontwateren / indikken, stabilisatie en/of drogen
Slib van afvalwater van de voedingsmiddelen- en zuivelindustrie	Voedingsmiddelen, dranken en zuivel	5.1.6	Voorbewerking door stabilisatie, indikken, ontwateren en/of drogen
Slib van de afvalwaterzuivering van de productie van ethyleendichloride en vinylchloridemonomeer	Organische bulkchemie	12.5.6	Verbranden in verbrandingsinstallatie voor gevaarlijk afval; storten alleen indien organohalogeengehalte < 0,1% d.s. is
Niet-gevaarlijk afval van de productie van viscosevezels	Polymeren	13.10.8	Verbranden van niet gevaarlijk afval in een wervelbedoven en recuperatie van de warmte voor de productie van stoom of energie (elektriciteit)
Afvalwaterzuiveringsslib slachthuizen	Slacht- en destructiehuizen	5.1.5	Verwijderen conform de Verordening dierlijke bijproducten

* De termen m.b.t. de verwerking in de BREFs komt niet altijd overeen met de terminologie volgens het LAP

Stortverbod

Omdat er voldoende mogelijkheden zijn om mechanisch ontwaterd en gedroogd zuiveringsslib binnen dan wel buiten Nederland thermisch te verwerken, is het storten van bewerkt zuiveringsslib niet meer toegestaan. Op grond van het [Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen](#) (Bssa), artikel 1, eerste lid, categorie 21, geldt voor slib, afkomstig van inrichtingen voor het biologisch zuiveren van afvalwater, een stortverbod.

VI Overige informatie

Vanaf 1 januari 2015 mogen herwonnen fosfaten als meststof worden verhandeld, gebruikt en vervoerd als voldaan wordt aan de algemene eisen voor meststoffen in het [Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet](#). Ook mogen herwonnen fosfaten worden ingezet voor de productie van een fosfaatmeststof. Zie voor meer informatie ook de wijziging van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet van 15 december 2014 ([Staatsblad 2014, 543](#)).

Momenteel wordt op Europees niveau gewerkt aan een herziening van de meststoffenwet. Ook dit gaat mogelijk gevolgen hebben voor de inzet van zuiveringsslib of daaruit teruggewonnen materialen. Zo nodig wordt het sectorplan hier te zijner tijd op aangepast.

BIJLAGE 7

BEREKENING CAO VERBRUIK OP BASIS VAN NEUTRAL PRODUCTIE



Bepaling gebruikte CaO en geproduceerde Neutral

In het kader van de evaluatie van de MID MIX technologie voor STOWA zijn diverse slibben die afkomstig zijn van 4 waterschappen verwerkt.

Onderstaand een tabel waarin de volumes van de verwerkte slibben.

Inkomend slib:

S1	Vallei en Veluwe	20 ton
S2	WBL	22 ton
S3	Dommel	16 ton
S4	HHNK	18 ton

De uit deze slib geproduceerde Neutral is opgeslagen in big-bags.
Op elke big bag is per waterschap bovenstaande kenmerken aangebracht.

Foto's van de geproduceerde Neutral in Wilp-Achterhoek op locatie van Attero.





Aantal big-bags per waterschap zijn geteld en uit elke batch zijn 5 zakken gewogen op de weegbrug van Attero. Onder de foto een uitgewerkte tabel van de wegenen ende berekening van het gemiddelde.



	Waterschap	1	2	3	4	5	Totaal	Gem.
1	Vallei en Veluwe	580	680	540	690	595	3.085	617
2	WBL	640	500	680	660	540	3.020	604
3	Dommel	620	520	635	610	580	2.965	593
4	HHNK	580	615	620	520	575	2.910	582
Totaal/gemiddeld							11.980	599

Op basis van deze 20 wegenen is voor de verdere calculatie van de produceerde Neutral een gewicht per big bag van 600 kg meegenomen.



Extra foto's:



S	Slib	Slib (T)	Aantal Big Bag's Neutral	Gewicht Neutral (T)	DS in Slib (%)	DS in Neutral (%)	Calculatie				T/% CaO (zonder organic koolstof reductie) *1	T/% CaO (met organic koolstof reductie)
							Neutral	Slib	Uit proces	Molar mass	CaO (T)	CaO (T)
							DS (T)	DS (T)	DS Neutral - DS Slib (T)	Ca(OH)/CaO	0%	30%
							Vocht (T)	Vocht (T)			t.o.v. input slib	t.o.v. input slib
1	Vallei en Veluwe	20	21	12,60	25	95	11,97	5,00	6,97	74/56	5,27	6,4
							0,63	15			26,00%	32,00%
2	WBL	22	29	17,40	25	96	16,704	5,5	11,204	74/56	8,48	9,7
							0,70	16,5			39,00%	44,00%
3	Dommel	16	29	17,40	22	94	16,356	3,57104	12,78496	74/56	9,7	10,5
							1,04	12,66096			60,00%	65,00%
4	HHNK	18	22	13,20	21	97	12,804	3,78	9,024	74/56	6,8	7,7
							0,40	14,22			38,00%	43,00%

BIJLAGE 8

PRIMAIR ENERGIEVERBRUIK

SLIBEINDVERWERKINGSTECHNIEKEN

		Compos- tering	Mono verbranding met CO2 levering		Banddroger + Verbranding	Kassendroging + Verbranding	Gevoeligheidsanalyse MID MIX		
			Mono verbranding	levering			MID MIX + vervanging zand	MID MIX + vervanging cement III	MID MIX + vervanging cement I
Kenmerken slibverwerking									
Slib input	ton ds	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000	25.000
Slib input	% ds	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
Slib input	ton koek/j	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
Slib gedroogd	% ds	64%	as	as	90%	74%			
Ton water verdampt	ton/j	60.998			72.222	66.216			
Asrest ingaand slib	% van ds	35%	35%	35%	35%	35%			
Granulaat/compost/as	ton product/j	26.260	9243	9.243	27.778	33.784	63.000	63.000	63.000
Elektriciteit	kWh/m3 H2O verdampt	45		*	120	69			
Warmte input	GI/ton H2O verdampt	0	0	0 ***	3,85	4,86			
Warmte input	Temperatuur (°C)	0	0	0	80	85			
Energieverbruik elektriciteit	kWh/j	4.030.000	177.604	177.604	8.666.667	4.568.919	3.000.000	3.000.000	3.000.000
Energieverbruik warmte	GI/j	0	4.437	4.437	278.200	321.811			
Netto verbruik houtsnippers	ton/j	4.920							
Netto verbruik CaO	ton/j						41.250	41.250	41.250
CO2 geleverd aan Omya (in verhouding)	ton CO2/j			9.637 **					
Omrekenfactoren naar primaire energie									
Primaire energie elektriciteit	GI/kWh	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
Primaire energie (rest)warmte	factor				0,20	0,22			
Primaire energie slibgranulaat	GI/ton	5,8	0,0		12,2	9,7			
Primaire energie houtsnippers	GI/ton	11,8							
Primaire energie CO2 product (GER waarde)	GI/ton			10,94 ***					
Primaire energie zand / CEM III / CEM I	GI/ton						0,41	3,30	7,00
Primaire energie CaO	GI/ton						5,500	5,500	5,500
Primaire energie									
Elektriciteitsverbruik	GI/j	36.270	1.598	1.598	78.000	41.120	27.000	27.000	27.000
Warmte verbruik	GI/j	-	4.437	4.437	56.468	70.699	-	-	-
Opbrengst verbranding slibgranulaat	GI/j	-152.308	-	-	-340.145	-326.584	-	-	-
Verbruik houtsnippers	GI/j	58.056							
Ammoniumsulfaat productie	GI/j	-21.764							
Verbruik ongebluste kalk	GI/j						226.875	226.875	226.875
Toeslagstof beton	GI/j						-25.830	-207.900	-441.000
Saldo vermeden verbruik primaire energie	GI/j	-79.746	6.035	6.035	-205.678	-214.764	228.045	45.975	-187.125
Vermeden primaire energie door CO2 leveren Omya	GI/j			-105.423					
Saldo vermeden verbruik primaire energie	GI/j	-79.746	6.035	-99.388	-205.678	-214.764	228.045	45.975	-187.125

BIJLAGE 9

AANVULLENDE TEST 1: AFBRAAK

ORGANISCHE STOF BIJ MENGEN SLIB EN

CAO

BEHANDELEN VAN SLIB MET CAO

Het bedrijf VSGM heeft een nieuwe slibverwerkingstechniek geïntroduceerd in Nederland waarbij zuiveringsslib omgezet wordt in een grondstof door het te laten reageren met ongebluste kalk; het MID MIX proces.

Er zijn hiermee full scale testen uitgevoerd in Wilp met slib van verschillende waterschappen.

Deze resultaten leken veelbelovend:

- Sanitatie van het slib
- Immobilisatie van zware metalen (voor 75%)
- Afbraak van slib 30%

Bij deze resultaten zijn echter kanttekeningen geplaatst:

- De zware metalen zijn waarschijnlijk niet geïmmobiliseerd, maar de toegepaste NEN-methode is ontoereikend om de metalen in deze specifieke matrix aan te tonen. Dit wordt veroorzaakt door de hoge alkaliteit van het slib/kalk mengsel.
- Er wordt gesuggereerd dat tijdens het proces slib wordt afgebroken naar CO₂. Dit is chemisch niet verklaarbaar

Naar aanleiding van deze resultaten, en dan met het verlies aan slib (door de oxidatie naar CO₂) zijn oriënterende experimenten gedaan op het lab van Katwoude.

EXPERIMENTEN

Het zijn experimenten geweest op kleine schaal en niet met de gespecialiseerde apparatuur van VSGM.

De volgende experimenten zijn gedaan:

- CaO met verschillende hoeveelheden water
- CaO met ontwaterd slib van Katwoude

De volgende acties zijn uitgevoerd:

- De experimenten zijn uitgevoerd op een weegschaal (om te controleren of geen massa verdwijnt)
- Bepaling van drogestofgehalten met Sartorius meetapparatuur
- CO₂ en NH₃ in gas bepaald met dragerbuisjes
- Carbonaat in de vaste stof bepaald door aanzuren en daarna dragerbuisjes
- Massa balansen gemaakt

FIGUUR 7.1 METING VAN DE SAMENSTELLING
VAN VRIJKOMENDE GASSEN

FIGUUR 7.2 METING VAN DS



FIGUUR 7.3 GRONDSTOFFEN EN PRODUCT

FIGUUR 7.4 AFGESLOTEN VAATJE AAN BEGIN
VAN DE TESTFIGUUR 7.5 AFGESLOTEN VAATJE TIJDENS DE
TEST

FIGUUR 7.6 AFGESLOTEN VAATJE NA DE TEST



SAMENVATTING VAN DE RESULTATEN:

De resultaten waren:

- Er ontsnapt NH_3 (niet veel)
- Er ontstaat GEEN CO_2
- Er wordt GEEN slib afgebroken
- Het gehalte aan drogestof die wordt verkregen is verklaarbaar door de chemische reacties en een massabalans
- De resultaten van de lab-experimenten komen overeen met de theorie.
- Waar de verschillen door ontstaan zijn in de praktijk zal nog bepaald moeten worden.
- Dit kan gedaan worden door extra metingen (bijvoorbeeld luchtflow en CO_2 gehalte) en nauwkeurigere massabalansen.

BESCHRIJVING VAN DE UITGEVOERDE EXPERIMENTEN

CAO MET WATER

De experimenten zijn uitgevoerd in gesloten vaatjes om ontsnappen van waterdamp en andere gassen te verhinderen. Zie foto's.

TABEL 7

EXPERIMENTEN CAO MET WATER

M CaO		56		
M Ca(OH) ₂		74		
CaO	g	25	25	25
water	g	50	25	12,5
ds na reactie	%	42%	66%	95%
berekend:				
aanwezig water	g	50	25	12,5
aanwezig CaO	g	25	25	25
dit CaO wordt Ca(OH) ₂	g	33,04	33,04	33,04
dit gebruikt aan water	g	8,04	8,04	8,04
er blijft aan water over	g	41,96	16,96	4,46
ds berekend	%	44%	66%	88%

Subconclusie:

De verkregen drogestofgehalten zijn binnen de meetnauwkeurigheid. Met uitzondering van de proef met 12,5 g water. Daar is waarschijnlijk toch water verdampt door de grote productie aan warmte.

CAO MET SLIB

De experimenten zijn uitgevoerd in gesloten vaatjes om ontsnappen van waterdamp en andere gassen te verhinderen. Zie foto's.

TABEL 8

EXPERIMENTEN CAO MET SLIB

CaO	g	42
slib	g	57
ds slib	%	23,21%
ds CaO	%	99,89%
ds na reactie	%	68,27%
berekend:		
aanwezig water	g	43,8
aanwezig CaO	g	42,0
dit CaO wordt Ca(OH) ₂	g	55,5
dit gebruikt aan water	g	13,5
er blijft aan water over	g	30,3
aanwezig slib	g	43,5
ds berekend	%	76,58%

Subconclusie:

- De ds berekend van 77% is binnen de meetnauwkeurigheid.
- Opvallend is wel dat een lagere drogestof wordt gemeten dan berekend.

REACTIES MET ZUUR (5 M H_2SO_4)

slib met zuur	alleen H_2S ; geen CO_2
CaO met zuur	geen gas
Slib/ CaO na reactie met zuur	geen gas

Subconclusie:

- Bij geen van de producten komt CO_2 vrij. Niet tijdens de reactie, ook niet in het product slib/ CaO .
- Er is dus geen teken van een slibafbraak naar CO_2 .

Chemisch gezien is er ook geen reden voor een oxidatiereactie.

Voor een oxidatiereactie is een oxidator nodig. Dat is meestal vrij zuurstof, maar het kan ook gebonden zuurstof zijn zoals in waterstofperoxide, nitraat en chloorbleekloog.

Zuurstof gebonden aan sterke reductoren zoals in CO_2 (CO_2) Natriumoxide (Na_2O) en calciumoxide (CaO) heeft zijn oxidatieve kracht al 'verloren'. Deze stoffen zijn hierdoor geen oxidatoren.

We komt bij de reactie van CaO met water veel warmte vrij. De temperatuur zal bij atmosferische druk niet hoger worden dan 100°C . dus ook bij deze reactie zal slib niet kunnen 'verbranden'.

BIJLAGE 10

AANVULLENDE TEST 2: CaCO_3 IN NEUTRAL

Neutral is een product dat ontstaat bij de verwerking van slib en ongebluste kalk (CaO). In samenwerking met Attero, STOWA en vier verschillende waterschappen zijn voor onderzoek Neutralproducten geproduceerd. Uit laboratoriumanalyses blijkt dat de monsters uit circa 10% organische stof bestaan.

De gemeten organisch-stofgehalten zijn hoger dan verwacht wordt. De hypothese is dat bij de analysetechniek carbonaat (CO_3) gemeten wordt als organische stof. Dit kan voorkomen indien te weinig zuur gedoseerd wordt waardoor calcium niet geneutraliseerd wordt en calciumcarbonaat (CCaO_3) omgezet wordt in ongebluste kalk en CO_2 . Bij de meetmethode wordt organische stof namelijk gemeten als CO_2 .

Om de organisch-stofgehalten te controleren is in het proeflaboratorium van Tauw een test gedaan met de monsters. Tijdens de test zijn de monsters aangezuurd voordat het organisch-stofgehalte gemeten is. Deze rapportage beschrijft de resultaten van de laboratoriumproef.

PROEFOPZET

Tauw heeft vier Neutral monsters ontvangen in een eerder stadium.

Het betreft de volgende monsters:

1. Neutral Amersfoort (V&V)
2. Neutral Maastricht-Limmel (WBL)
3. Neutral Mierlo (Dommel)
4. Neutral Katwoude (HHNK)

In totaal zijn er 2 experimenten uitgevoerd.

- Aanzuren van 2 monsters met een ondermaat 1M HCl
- Aanzuren van 4 monsters met een overmaat 5M HCl

De theorie beschrijft een molverhouding van CaCO_3 1:2 HCl. Indien er vanuit gegaan wordt dat Neutral 100% uit CaCO_3 bestaat, zijn de volgende concentraties benodigd voor de complete omzetting van CaCO_3 :

TABEL 9 BENODIGDE HOEVEELHEID GRAM HCL VOOR EEN OVERMAAT ZUUR VOOR 1 GRAM NEUTRAL

Neutral	1M HCL	5M HCL
(gram)	(gram)	(gram)
1,0	20,38	4,32

Details met betrekking tot de uitvoering van de proef zijn als volgt:

- Circa 15 gram Neutral monster werd gedoseerd in een 250ml bekglas inclusief roerstaaf.
- Bekerglazen werden luchtdicht afgedekt met rubber handschoen
- Zuur werd toegevoegd door klein gat in de handschoen
- Het gat in de handschoen werd afgeklemd met slangenklem
- Roerder werd aangezet voor circa 30-45 minuten tot er geen gasvorming zichtbaar was meer

- Na 5 minuten roeren werd CO₂-concentratie van de lucht in de handschoenen gemeten
- CO₂ concentratie werd bij de eerste test gemeten met een Kitagawa meetset (2.000 ppm) en bij de tweede test met een Dräger meetset (3.000 ppm).
- Na afloop zijn monsters voor analyse van TOC (totaal organisch koolstof) naar een gecertificeerd laboratorium gestuurd om het organisch-stofgehalte te bepalen

RESULTATEN EXPERIMENT ONDERMAAT 1M HCL

Tabel 2 geeft de uitvoering van de test met 1M HCL. In totaal zijn beide monsters circa 15 keer verdund. Voor een complete omzetting van CaCO₃ diende het materiaal 22 keer verdund te worden.

TABEL 10 UITVOERING VAN TEST MET EEN ONDERMAAT 1M HCL EN BENODIGDE HOEVEELHEID HCL VOOR OVERMAAT ZUUR.

RWZI	Neutral	HCL 1M	Totaal	Verdunning	HCL 1M benodigd	Totaal	Verdunning benodigd
	(gram)	(gram)	(gram)	(-)	(gram)	(gram)	(-)
Amersfoort	14,62	156,33	170,95	14,6	297,95	312,57	21,4
Maastricht-Limmel	15,18	156,81	171,99	15,2	309,36	324,54	21,4

Tabel 3 geeft de waardes weer van de analyses. Voor V&V is een TOC concentratie van 1,6% gemeten en voor Maastricht-Limmel 0,8%. Tijdens de proef kwam bij beide monsters CO₂ vrij uit de vloeistoffase, de gemeten concentraties waren buiten het meetbereik van de Kitagawa meetset (2.000 ppm). De pH waardes bleven hoog na dosering van zuur.

TABEL 11 RESULTATEN METINGEN TIJDENS (CO₂-WAARDES LUCHTFASE) EN NA UITVOERING VAN DE TEST (PH EN TOC)

RWZI	Blanco CO ₂	CO ₂ monster	pH na aanzuren	TOC	TOC
	(ppm)	(ppm)	(-)	g/kg ds Neutral	%
Amersfoort	500	>2000	12,1	15,6	1,56
Maastricht-Limmel	500	>2000	12,1	8,3	0,83

RESULTATEN EXPERIMENT OVERMAAT 5M HCL

TABEL 12 UITVOERING VAN TEST MET EEN OVERMAAT 5M HCL EN BENODIGDE HOEVEELHEID HCL VOOR OVERMAAT ZUUR

RWZI	Neutral	HCL 5M	Totaal	Verdunning	HCL 5M benodigd	Totaal	Verdunning benodigd
	(gram)	(gram)	(gram)	(-)	(gram)	(gram)	(-)
Amersfoort	14,67	173,83	188,50	12,8	63,42	78,10	5,3
Maastricht-Limmel	15,12	158,93	174,05	11,5	65,37	80,49	5,3
Mierlo	15,48	149,90	165,38	10,7	66,93	82,41	5,3
Katwoude	15,59	154,05	169,64	10,9	67,41	83,00	5,3

Tabel 4 geeft de uitvoering van de test met 5M HCL. In totaal zijn de viertal monsters allen meer dan 10 keer verdund. Voor een complete omzetting van CaCO₃ diende het materiaal circa 6 keer verdund te worden.

Tabel 5 geeft de resultaten weer van de test. De TOC concentraties van de monsters variëren tussen 1,5 en 4,6%. Tijdens de uitvoering van de test ontsnapte uit elk monster CO₂, de gemeten concentraties CO₂ waren buiten het bereik van de Dräger meetset (3.000 ppm). Afbeelding 1 toont de toename van de gasdruk aan. In afbeelding 2 is een meting van CO₂ zichtbaar en daarnaast de monsters na uitvoering van de test. Bij de aanwezigheid van CO₂

kleurt het reagens blauw. Het Neutral kleurt bij toevoeging van een overmaat HCL bruin/zwart. De pH van de monsters waren lager dan 0 bij beëindiging van de proef.

TABEL 13 RESULTATEN METINGEN TIJDENS (CO₂-WAARDES LUCHTFASE) EN NA UITVOERING VAN DE TEST (PH EN TOC)

RWZI	Blanco CO ₂	CO ₂ monster	pH na aanzuren	TOC	TOC
	(ppm)	(ppm)	(-)	g/kg ds Neutral	%
Amersfoort	500	>3000	~-0,80	21,3	2,13
Maastricht-Limmel	500	>3000	~-0,80	14,6	1,46
Mierlo	500	>3000	~-0,80	27,5	2,75
Katwoude	500	>3000	~-0,80	46,1	4,61

AFBEELDING 2 METINGEN VAN CO₂ (LINKS) EN MONSTERS NA BEHANDELING MET ZUUR (RECHTS)



CONCLUSIE/DISCUSSIE

De hoogst gemeten TOC concentratie is 4,6% en is gemeten in het Neutral monster van Katwoude. De twee verschillende testen tonen aan dat bij een ondermaat zuur de pH van het opgelost Neutral hoog blijft (pH 12). Dit toont de aanwezigheid van opgelost carbonaat aan. Daarnaast bleef bij een ondermaat zuur ook vaste stof aanwezig in de vloeistof.

Bij een overmaat zuur neemt de pH af tot onder 0. Bij een dergelijke pH kan geen carbonaat meer aanwezig zijn in oplossing. Bij de vier oplossingen was geen vaste stof meer zichtbaar.

Uit de resultaten blijkt echter dat bij een ondermaat zuur een lagere TOC concentratie gemeten is dan bij een overmaat zuur. Dit is zowel het geval voor het Neutral van Amersfoort als ook Maastricht-Limmel. Dit is in strijd met de theorie dat bij een ondermaat zuur carbonaat overblijft en verhoogde TOC gehaltes gemeten worden.

Een van de verklaringen van deze meting kan zijn dat de TOC concentratie varieert binnen de monsters. Sommige monsters bevatten namelijk kleurverschil en slechts een kleine hoeveelheid Neutral (15 gram) is getest en geanalyseerd. Bij vervolgtesten is dit een aandachtspunt.

BIJLAGE 11

AANVULLENDE TEST 3: CaCO_3 IN NEUTRAL **CaCO_3 (CARBONATEN) IN MID MIX MONSTERS (28/6/19) DIRK KOOT, HHNK**

Het bedrijf VSGM heeft een nieuwe slibverwerkingstechniek geïntroduceerd in Nederland waarbij zuiveringsslib omgezet wordt in een grondstof, door het te laten reageren met ongebluste kalk; het MID MIX proces. De hypothese van het werkingsproces is: de organische stof wordt (deels) omgezet in CO_2 , dat in de vorm van CaCO_3 is gebonden. Om dit te onderbouwen is er nader onderzoek uitgevoerd met het eindproduct. Het eindproduct (Neutral) is aangezuurd waardoor het CO_2 vrijkomt.

De volgende monsters zijn onderzocht; Amersfoort, Maastricht-Limmel, Mierlo en Katwoude.

FIGUUR 7.7

GETESTE MONSTERS

**METHODES**

1. Aanzuren met HCl; kijken of er bellen ontstaan
2. Analyseren van gevormd gas op het CO_2 gehalte
3. Volume bepaling van geproduceerde gas.

RESULTAAT

Alleen bij het monster van Katwoude komt GEEN CaCO_3 . Dit monster gaat niet bruisen.

In 10 gram neutral slib van Amersfoort vind ik 520 ml CO_2 .

Dat is bijna exact de hoeveelheid die theoretisch was ingeschat (550 ml), zie tabel hieronder.

TABEL 14

BEREKENDE HOEVEELHEID CO_2 IN NEUTRAL

voor de test van V&V gold (tabel 4.3)	
ton in (ds)	5
ton CaO	6,4
(dit word ton $\text{Ca}(\text{OH})_2$)	8,5
ton geoxideerd slib (Volgens VSGM)	1,5
ton slib over	3,5
dan blijft er over in neutral:	
ton slib	3,5
ton $\text{Ca}(\text{OH})_2$	8,5
ton CO_2 als CaCO_3	3,4
totaal tonnen	15,4
waarvan als ton CO_2	1,5
dus g CO_2 per g gram neutral	0,098
dat is liter CO_2 per g neutral	0,055

Het is wel vreemd dat in het slib van Katwoude geen carbonaat wordt gevonden. Want dit slib heeft hetzelfde proces ondergaan als de andere slibben en zou dus ook carbonaat moeten bevatten. Misschien zijn de condities tijdens de behandeling niet optimaal geweest waardoor het proces niet goed is verlopen. Of is het genomen monster van het eindproduct van de proef met Katwoude -slib niet representatief.

METHODEN EN BEREKENINGEN

Aanzuren is gedaan met 10% HCl.

CO₂ is gemeten met drager buisjes. Zie foto.

pH is gemeten met een Testo meter. Zie foto.

CO₂ is opgevangen en gemeten in een maatcilinder; zie foto.

OPSTELLING MET CO₂ OPSLAG



CO₂ METING



PH METING (PH 0,1); 44C (REACTIEWARMTE)



BIJLAGE 12

TESTRESULTATEN CARMEUSE

• contributing • to • a • better • world •

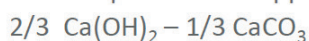
Physico-Chemical evaluation of Mid-Mix

DP6732 – Olivier Collart (Quality Leader)



Conclusions

The Mid-Mix sample contains approximately



- no CaO in sample 'as received'
- CaCO_3 is a result of a re-carbonation of hydrate during process reaction

Chemical composition: see next slide

- Poor reactivity after calcination at 600°C (too much CaCO_3)
- High reactivity (27sec) after calcination at 900°C during 90 minutes
 - Longer calcination time barely change this value
 - Mid-Mix product is suited for recycling and production of secondary (recycled) CaO
 - New product is VERY reactive and can be used in number of applications including MID MIX application

Chemical composition

XRF on calcined samples – diluted using LOI at 600°C (*0.8) to find composition of delivered sample

ICP on calcined sample (sample 1) – diluted using LOI at 900°C (*0.652) to find composition of delivered sample

XRF - Oxides Average		ICP – Heavy metals (ppm)	
	Wt%		
CaO	61.9%	Ba	64
CO ₂	15.4%	Cd	0.5
MgO	0.8%	Co	1
Fe ₂ O ₃	0.6%	Cr	12
SO ₃	0.6%	Cu	65
SiO ₂	0.4%	Ni	6
P ₂ O ₅	0.3%	Pb	18
Al ₂ O ₃	0.2%	Sn	8
K ₂ O	0.05%	Sr	310
Cl	0.04%	V	5
SrO	0.04%	Zn	184
Na ₂ O	0.03%		
TiO ₂	0.02%		
ZrO ₂	0.02%		
MnO	0.02%		
	~20wt% H ₂ O		
	as hydrated CaO		

8/30/2019 3

● contributing ● to ● a ● better ● world ●



Results

2 bucket with samples were received

- Mixed & Quartered
- Separated in 3 samples
- On received sample:
 - LOI at 105°C → water content of sample: ~3.7wt%

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
LOI (20 – 105°C)	3.5 wt%	3.7 wt%	3.7 wt%

- LOI at 600°C → water content of hydrated CaO: ~19.4wt%

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
LOI (20 – 600°C)	19.6 wt%	19.5 wt%	19.1 wt%

- Ca(OH)₂ calculated from LOI

	Sample 1	Sample 2	Sample 3
Ca(OH) ₂	66.4 wt%	66.1 wt%	63.6 wt%

- Comparison between calculated CaO av (calculation from hydration) and titrated confirms that **all CaO has transformed** into Ca(OH)₂ or CaCO₃

8/30/2019 4

● contributing ● to ● a ● better ● world ●



Reactivity

Reactivity of calcined samples at 600°C during 90 minutes

	T60° (sec)	Tmax
Sample 1	Not reached	44,5°C
Sample 2		46°C
Sample 3		Not measured

- No T60°C can be reached as no sufficient CaO is available
 - chemical composition reveals about 33wt% of CaCO₃. Ca(CO)₃ is mostly a recarbonation of hydrate during process as product has a fine granulometry

Reactivity of calcined samples at 900°C – variable calcination time

	T60° (sec)	T max
90 minutes	26	73,8°C
120 minutes	28	72°C
150 minutes	22	73°C

- Chemical analysis indicates the decomposition of CaCO₃ into CaO → powder becomes reactive

	C wt%	S wt%
90 minutes	0.063	0.265
120 minutes	0.043	0.234
150 minutes	0.039	0.259

8/30/2019 5

• contributing • to • a • better • world •



Granulometry

Granulometry is performed on the samples at 900°C

- 10% of grainsize >250µm

Alpine 250µm	
10g	
Rejected	Passing
1,06g	8,94 g

8/30/2019 6

• contributing • to • a • better • world •



BIJLAGE 13

CAO SAMENSTELLING

**PRODUCT DESCRIPTION**

Quicklime

Calcium Oxide - CaO

CHEMICAL ANALYSIS (average values)

CaO total	94,9	%
CO ₂	0,90	%
MgO	1,14	%
SiO ₂	0,48	%
Al ₂ O ₃	0,20	%
Fe ₂ O ₃	0,33	%
S	0,12	%
PF 1000 °C	1,22	%

PHYSICAL PROPERTIES (average values)

Passing through	2,0 mm	99,52	%
	0,08 mm	65,13	%
Reactivity t ₆₀		3	min
Tamped / poured apparent density		1,1 / 0,9	g/ml

REGISTRATION

EINECS 215-138-9

CAS 1305-78-8

SAFETY

Safety datasheet available on request

STORAGE

Store in clean, dry silo or warehouse in the original unopened packaging.

PRODUCTION SITE

B - 5070 AISEMONT

EDITION REFERENCE

113.BE.G.00.EN

UPDATE

13/07/2015



All information and figures contained herein are provided as is, for informational purposes only and without warranty of any kind.


www.carmeuse.com

+32 85 83 01 11
+32 85 83 02 20
Rue du château 13a
B-5300 Seilles - Belgium
info@carmeuse.com

BIJLAGE 14

REACTIEVERGELIJKINGEN

REACTIES IN MIDMIX INSTALLATIE

Ongebluste kalk met slib (met het aanwezige water):

$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ + warmte; vrij water wordt dus gebonden aan calcium. Een ander gedeelte van het aanwezige water zal verdampen

Basische reactie van gevormde Ca(OH)_2 :

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_2^{++} + 2\text{OH}^-$; dit zorgt voor de hoge pH

Opgeloste ammonia en aanwezige ammonia:

$\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$; de NH_3 gaat naar de uittredende lucht

NH_3 in de gaswasser:

$2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$; in de wasser wordt de lucht gewassen met een zuur.

Reactie van CaO of Ca(OH)_2 met slib:

- volgens literatuur: $\text{CaO} + \text{slib} \rightarrow$ Hydrolyse en afbraak naar kleinere componenten. Geen productie van CO_2
- volgens leverancier: $\text{CaO} + \text{slib} \rightarrow$ Afbraak naar CO_2 . Dit is niet aangetoond op het lab. Wel in de MID MIX installatie

OP LAB:

Neutral met zuur:

- $\text{Ca(OH)}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$; neutralisatie
- $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2$; CO_2 komt dan vrij als gas

Aantonen van metalen:

- Metalen + $\text{Ca(OH)}_2 + \text{HCl} \rightarrow$ metalen + $\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ (veel zuur nodig voor neutralisatie van Ca(OH)_2)
- Metalen + zuur $\rightarrow$ opgeloste metalen. Nu kunnen de metalen worden geanalyseerd

Bij verhitten van Neutral:

- Tot 600 °C:
 $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$; omgekeerde van wat in de installatie gebeurt
- Bij 900 °C:
 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$

Vergelijking van CaO productie uit kalksteen met CaO productie uit Neutral:

a. *Uit kalksteen:*

$\text{CaCO}_3 + \text{brandstof} \rightarrow \text{CaO} + \text{veel CO}_2$; CO_2 komt uit de kalksteen (fossiel) en uit de brandstof (fossiel of niet-fossiel)

Uit Neutral: (Neutral is $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{slib}$); slib zal ook als brandstof reageren. En dus externe brandstof gedeeltelijk vervangen.

$\text{Ca(OH)}_2 + \text{CaCO}_3 + \text{slib} + \text{brandstof} \rightarrow 2 \text{CaO} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$; een gedeelte CO_2 komt uit CaCO_3 en verbranden van slib (beide niet-fossiel). Zijn beide van uit slib). Een ander gedeelte van CO_2 komt uit de brandstof (fossiel of niet-fossiel).