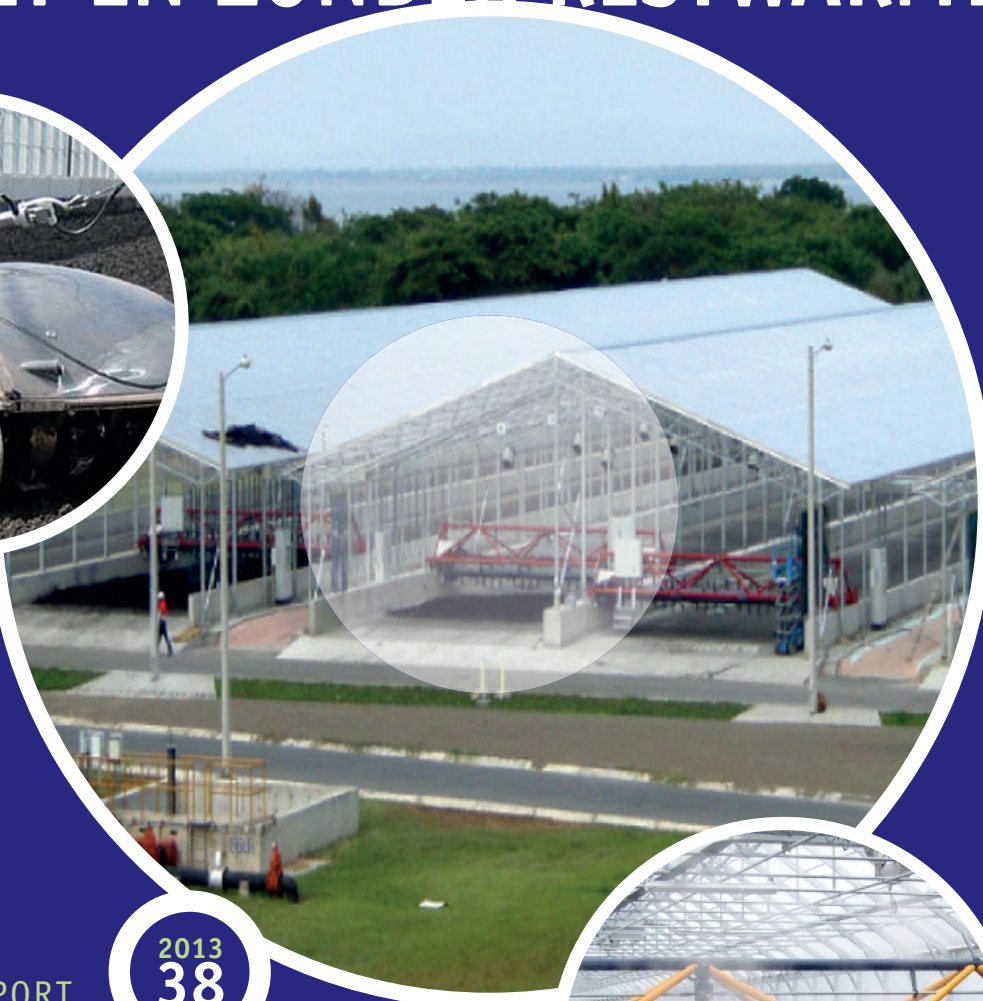


(VOOR) DROGING VAN ZUIVERINGSSLIB IN KASSEN MET EN ZONDER RESTWARMTE



RAPPORT

2013
38

(VOOR)DROGING VAN ZUIVERINGSSLIB
IN KASSEN MET EN ZONDER RESTWARMTE

RAPPORT

2013

38

ISBN 978.90.5773.614.8



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

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

UITVOERDERS

Barry Meddeler, Tauw
Berend Reitsma, Tauw
Feije de Zwart, Wageningen UR

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Klaas Jan Agema, Wetterskip Fryslân
Arné Boswinkel, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, voorheen Agentschap NL
Rutger Dijsselhof, Waterschap Reest en Wieden
Leo van Efferen, Waterschap Zuiderzeeland
Enna Klaversma, Waternet
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2013-38
ISBN 978.90.5773.614.8

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

De waterschappen willen in 2020 minstens 40% van het energieverbruik zelf opwekken. In de Meerjarenaafspraken energie-efficiency (2008), Klimaatakkoord (2010), Lokale Klimaatagenda (2011) Green Deal (2011), Ketenakkoord Fosfaat en recentelijk het SER Energieakkoord (2013) zijn beleidsmatige afspraken gemaakt over energie- en fosfaatterugwinning. Energie- en kostenbesparing zijn belangrijke uitdagingen.

In deze rapportage zijn de kansen van slibdroging in kassen voor de Nederlandse situatie beschreven. Er wordt inzicht gegeven in de potenties van de techniek van kassendroging aan de hand van (voornamelijk Duitse) praktijkervaringen en literatuur. Daarnaast zijn met modelberekeningen vier praktijkcasussen doorgerekend om de haalbaarheid voor Nederland in te schatten.

Bij slibdroging in kassen wordt het drogestofgehalte van het ontwaterde slib verhoogd van 20-25 % naar 50-85 % door zonlicht met soms aanvullend restwarmte. Daarmee wordt het (water)volume van het slib fors gereduceerd en wordt bespaard op transport- en afzetkosten. In diverse landen kan dit financieel uit.

De uitgevoerde studie naar vier casussen laat zien dat onder de gestelde aannamen het drogen van slib in kassen in alle gevallen tot lagere exploitatiekosten leidt. Alleen bij de casus waarbij intensief gebruik wordt gemaakt van restwarmte worden de benodigde investeringen binnen enkele jaren terugverdiend. In de casussen waar geen restwarmte wordt gebruikt, zijn de jaarlijkse besparingen te laag om de investeringen in een afzienbare periode terug te verdienen. Droging van slib in kassen verhoogt de verbrandingswaarde van het slib en draagt daarmee bij aan een efficiëntere energiehuishouding. Slib drogen in kassen levert een ketenbijdrage aan MJA3.

SAMENVATTING

In deze STOWA rapportage zijn de kansen van slibdroging in kassen voor de Nederlandse situatie beschreven. Er wordt inzicht gegeven in de potenties van de techniek van kassendroging aan de hand van (voornamelijk Duitse) praktijkervaringen en literatuur. Daarnaast zijn met modelberekeningen vier praktijkcasussen doorgerekend om de haalbaarheid voor Nederland in te schatten.

Bij slibdroging in kassen wordt het drogestofgehalte van het ontwaterde slib verhoogd van 20-25 % naar 50-85 % door zonlicht met soms aanvullend restwarmte. Daarmee wordt het (water)volume van het slib fors gereduceerd en wordt bespaard op transport- en afzetkosten. In diverse landen kan dit financieel uit. Wereldwijd zijn er daarom al honderden kassen voor het drogen van slib gerealiseerd. Uit het referentieonderzoek en indicatieve geurberekeningen blijkt dat ruimte en geur in het buitenland geen issue zijn en ook in Nederland geen issue lijken zijn.

Wat zijn dan de kansen van slibdroogkassen in Nederland? En hoe worden die kansen beïnvloed door de inzet van restwarmte, waarvan er in Nederland veel beschikbaar is en waarvan maar weinig gebruik gemaakt wordt.

Er zijn vier verschillende casussen doorgerekend, zowel qua schaalgrootte als toepassing van restwarmte. Dit zijn: de rwzi op Ameland, de rwzi in Echten, de awzi in Dronten en een centrale slibverwerking van het Wetterskip Fryslân. De uitgevoerde studie naar de vier casussen laat zien dat onder de gestelde aannamen het drogen van slib in kassen in alle gevallen tot lagere exploitatiekosten leidt. Alleen bij de casus waarbij intensief gebruik wordt gemaakt van restwarmte (Wetterskip Fryslân) worden de benodigde investeringen binnen enkele jaren terugverdiend. In de casussen waar geen restwarmte wordt gebruikt, zijn de jaarlijkse besparingen te laag om de investeringen in een afzienbare periode terug te verdienen. Dit hangt ook samen met de (verwachte) afname van de slibverwerkingstarieven in Nederland.

Droging van slib in kassen verhoogt de verbrandingswaarde van het slib en draagt daarmee bij aan een efficiëntere energiehuishouding. Het slib kan worden benut als secundaire brandstof. Het energieverbruik van ventilatoren en omwoelmachines bedraagt circa 5 tot 20% van de bruto energiewinst. De vermeden CO₂ uitstoot loopt parallel aan de verbetering van de verbrandingswaarde. Slib drogen in kassen levert daarnaast een ketenbijdrage aan MJA3. Deze ketenbijdrage hangt af van de huidige slibeindverwerking (en indien van toepassing van de warmteleverancier). De bijdrage aan MJA3 kan oplopen tot tientallen procenten.

Uit het onderzoek volgt de aanbeveling om slibdroging met kassen én benutting van restwarmte in Nederland onder de aandacht te brengen van de waterschappen en ketenpartners en dit voor de Nederlandse situatie verder te onderzoeken op pilot/demo schaal. Dit betreft nadere studies naar slibhandeling, energieverbruik, geur, onderhoud en benodigde personele inzet.

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 onderzoeklijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

(VOOR)DROGING VAN ZUIVERINGSSLIB IN KASSEN MET EN ZONDER RESTWARMTE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	BESCHRIJVING VAN DE SLIBDROGING IN KASSEN	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Thermo-System	3
2.3	IST/Helantis	5
2.4	HUBER Solar Active Dryer SRT	7
2.5	Vergelijking batch en (semi) continu systemen	8
2.6	Samenvatting referentieonderzoek	8
2.6.1	Kostenreductie door (voor)drogen in Duitsland	8
2.6.2	Zon en/of restwarmte?	9
2.6.3	Personele inzet	9
2.6.4	Beheer en onderhoud	9
3	KANSEN VOOR SLIBDROGING IN KASSEN IN NEDERLAND	10
3.1	Inleiding	10
3.2	Slibeindverwerking in Nederland anno 2013	10
3.3	Toekomst slibeindverwerking	11
3.3.1	Geschetste ontwikkelingen slibketenstudie	11
3.3.2	Recent onderzoek naar nieuwe technieken	11
3.3.3	Lage temperatuurdroging (LTD)	12
3.3.4	Relevante ontwikkelingen op de markt van de slibeindverwerking	13
3.3.5	Invloed fosfaatterugwinning op de slibeindverwerking	13
3.4	Slib(voor)droging in kassen als onderdeel slibeindverwerking	14
3.5	Kassen versus slibdroogbedden	14
3.6	De potentie van restwarmte in Nederland en MJA3	15
4	ONTWIKKELING VAN EEN NEDERLANDS REKENMODEL	17
4.1	Inleiding	17
4.2	Ventilatiecapaciteit	17
4.3	Verdamping per m ³ slib over het jaar	18
4.4	Verdamping als functie van het drogestofgehalte	19
4.5	Droging van slib over het jaar	19
4.6	Stappenplan ontwerp en kosten	20

5	CASUSSEN SLIBDROGING IN KASSEN IN NEDERLAND	22
5.1	Inleiding	22
5.2	Uitgangspunten	22
5.3	Casus 1 Slibdroging op Ameland	23
5.3.1	Uitgangspunten	23
5.3.2	Bedrijfsvoering kas	24
5.3.3	Modelberekeningen	24
5.3.4	Gevoeligheidsanalyse	26
5.3.5	Kosten	26
5.3.6	Conclusies	27
5.4	Casus 2 Rwzi Echten	28
5.4.1	Uitgangspunten	28
5.4.2	Bedrijfsvoering kas	28
5.4.3	Modelberekeningen	28
5.4.4	Gevoeligheidsanalyse	30
5.4.5	Kosten	30
5.4.6	Conclusies	31
5.5	Casus 3 Awzi Dronten	32
5.5.1	Uitgangspunten	32
5.5.2	Bedrijfsvoering kas	32
5.5.3	Modelberekeningen	32
5.5.4	Kosten	34
5.5.5	Conclusies	35
5.6	Casus 4 Wetterskip Fryslân	35
5.6.1	Uitgangspunten	35
5.6.2	Bedrijfsvoering kas	36
5.6.3	Modelberekeningen	36
5.6.4	Gevoeligheidsanalyse	37
5.6.5	Kosten	38
5.6.6	Gevoeligheidsanalyse kosten restwarmte	39
5.6.7	Conclusies	39
5.7	Samenvatting vier casussen	40
5.8	Energiebalans	41
5.9	Effecten op MJA3	43
5.10	CO ₂ balans	44
6	GEUREMISSIES	45
6.1	Inleiding	45
6.2	Uitgangspunten NeR	45
6.3	Duitse emissiemetingen	46
6.4	Geurberekeningen rwzi Echten	47
6.5	Geurberekeningen awzi Dronten	48
6.6	Conclusies geurberekeningen	49
7	DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	50
7.1	Discussie	50
7.2	Conclusies	53
7.3	Aanbevelingen	55
8	LITERATUUR	56
	BIJLAGEN	
1	REFERENTIEONDERZOEK	59
2	VERKENNING GRUISONTWATERING NAAST OF IN COMBINATIE MET KASSENDROGING	75
3	MJA3 EN RESTWARMTE	81
4	ONDERBOUWING INDICATIEVE GEURBEREKENINGEN	87

1

INLEIDING

Op dit moment wordt in Nederland ontwaterd slib verwerkt via een aantal routes: biologisch drogen of thermisch drogen met daarna coverbranding, monoverbranding of directe coverbranding. Het ontwaterde slib bestaat voor het grootste deel uit water (70-80 %). Tijdens de bovengenoemde verwerkingsprocessen verdampt het grootste deel van dit water. Daarvoor is energie nodig. Dat gaat bij de ene techniek ten koste van primaire energie en bij de andere ten koste van de verbrandingswaarde van het slib zelf. De “droogstap” bij deze verwerkingsmethoden is nu dus niet optimaal.

Om slib te drogen kan echter ook energie worden betrokken uit afvalwarmte of direct vanuit de zon. Uit recente literatuur [1,2] is gebleken dat (voor)drogen van slib met lage temperatuur restwarmte kostentechnisch een goedkopere én een duurzamere oplossing is. Drogen met zonnewarmte is een techniek die in andere landen veelvuldig wordt toegepast, soms in combinatie met restwarmte. Het gebruik van kassen maakt de slibdroging wellicht nog goedkoper en deze techniek kan ook in situaties worden toegepast waar geen restwarmte beschikbaar is.

Wanneer de droging van slib met zonlicht plaatsvindt, moet het slib aan de zon worden blootgesteld. Het uitstorten van slib over een groot oppervlak in de buitenlucht zou het slib kunnen laten drogen, maar regenval doet de waterverdamping weer teniet. In Nederland is de verdamping vanuit een verdampend oppervlak op jaarbasis ongeveer gelijk aan de jaarlijkse neerslag. Dus zonder transparante afdekking (een kas) is droging van slib met behulp van zonlicht nauwelijks mogelijk. Hiervoor zijn perioden van langdurige droogte nodig, die in Nederland schaars en onvoorspelbaar zijn. Een kasconstructie geeft de gewenste combinatie van functies aan een oppervlak dat voor de droging van slib gebruikt wordt, omdat de glazen overkapping het zonlicht grotendeels doorlaat, terwijl de regen wordt tegengehouden.

In Duitsland wordt deze techniek al jaren wordt toegepast. Naast zonnewarmte wordt hierbij soms restwarmte gebruikt. Het drogen blijkt te leiden tot een kostenreductie door het kleinere te verwerken slibvolume, waarmee het aantal transportbewegingen en de verwerkingskosten afnemen. In Nederland is een dergelijke (voor)droging tot nu toe niet toegepast. In 2008 is door Waternet [0] al een verkenning uitgevoerd naar de kansen van slibdroging in kassen. In de jaren 2011 en 2012 zijn een aantal Nederlandse waterschappen op locaties gaan kijken (bijlage 1) om een beeld te vormen van de mogelijkheden.

In het onderhavige onderzoek wordt inzicht gegeven in de potenties van de techniek van kassendroging aan de hand van praktijkervaringen en literatuur van bestaande systemen in het buitenland. De vraag hierbij is of de Nederlandse situatie verschilt met bijvoorbeeld de Duitse situatie als het gaat om verwerkingsmogelijkheden met betrekking tot kosten, ruimte en geur. Nederland is in de wereld vooraanstaand als het gaat op de kennis in de kassentechniek. In het onderhavige onderzoek wordt deze kennis gebruikt om kassendroging voor de Nederlandse situatie te optimaliseren, om zo te bestuderen of er onder Nederlandse omstandigheden haalbare casussen zijn voor een kassendroogstelsel.

In hoofdstuk 2 worden verschillende bestaande systemen voor kassendroging beschreven en met elkaar vergeleken. De meeste systemen zijn van Duitse fabrikanten. Daarnaast worden aan de hand van een uitgevoerd referentieonderzoek praktijkervaringen van slibdroging in kassen beschreven. In hoofdstuk 3 worden de voor de Nederlandse situatie belangrijke factoren beschreven om slibdroging in kassen te kunnen toepassen. In hoofdstuk 4 wordt de ontwikkeling van een Nederlands rekenmodel beschreven. In hoofdstuk 5 wordt aan de hand van 4 casussen de technische en economische haalbaarheid bepaald. In hoofdstuk 6 wordt de geuremissie uitgewerkt. In hoofdstuk 7 tenslotte volgen de discussie, conclusies en aanbevelingen.

2

BESCHRIJVING VAN DE SLIBDROGING IN KASSEN

2.1 INLEIDING

Kassen als systeem voor slibdroging zijn eind jaren 90 in opkomst geraakt, vooral in Duitsland. Ten opzichte van andere slibdroogtechnieken, zoals bijvoorbeeld de banddroger, zijn er een aantal voor- en nadelen, zie tabel 2.1. In de praktijk blijken de voordelen (goedkoop en simpel) vaak op te wegen tegen de nadelen waardoor het op diverse locaties tot realisatie gekomen is.

TABEL 2.1

VOOR EN NADELEN VAN DROGEN IN KASSEN TEN OPZICHTE VAN CONVENTIONELE TECHNIEKEN (BV BANDDROGER)

Voordeel	Nadeel
Lage energiekosten	Groot oppervlak
Eenvoudige techniek	Minder gemakkelijk bij te sturen
Lage bedrijfsvoering- en onderhoudskosten	Afhankelijk van klimatologische omstandigheden en jaargetijden

Kassen zijn door hun modulaire karakter en de hoge mate van standaardisatie goedkope “omhullingsystemen”. Het glas en aluminium voor de bovenbouw en het gegalvaniseerd staal en beton voor de onderbouw hebben een lange levensduur. In de tuinbouw in Nederland wordt met 15 jaar als economische levensduur gerekend, maar de technische levensduur van de hoofdconstructie wordt op 20 jaar (of nog langer) gesteld. Er is in de tuinbouw in Nederland zelfs een markt in tweedehands kassen die op de ene plaats worden gedemonteerd om elders weer te worden opgebouwd.

Op dit moment zijn er drie grote producenten van kas-droogsystemen. Deze producenten hebben hun wortels in Duitsland maar zijn ook steeds meer internationaal actief. In West Europa wordt alleen in Nederland hiervan nog geen gebruik gemaakt. De specifieke kennis en ervaring van deze leveranciers zit niet zozeer in de omhulling, maar vooral in de systemen die het slib in de kas inbrengen en verdelen.

In dit hoofdstuk worden de drie belangrijkste systemen beschreven en vergeleken in functionaliteit en toepasbaarheid. Er is daarnaast een referentieonderzoek naar praktijkervaringen uitgevoerd. Deze is integraal weergegeven in bijlage 1. Een samenvatting van de belangrijkste resultaten hiervan is in dit hoofdstuk in paragraaf 2.6 beschreven.

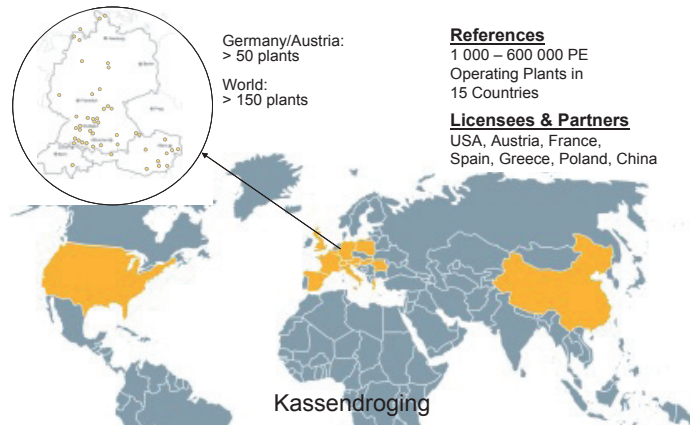
2.2 THERMO-SYSTEM

Het kassendroogstelsysteem van Thermo-System [11, 12] is ontwikkeld in nauwe samenwerking met de Universiteit voor landbouwkundig onderzoek in de tropen en subtropen, het “Hohnheim instituut”. Thermo-System is op het gebied van kassendroging met 150 gerealiseerde installaties voor zuiveringsslib marktleider. Zij leveren systemen over de gehele wereld, zie

figuur 2.1. Zij hebben twee systemen op de markt, een batch systeem met een zogenaamde Electric Mole (elektrische mol) en een (semi) continu systeem met de Sludge Manager (slibmanager).

FIGUUR 2.1

BESTAANDE KASSENDROGINGSYSTEMEN VAN THERMO-SYSTEM



Het kassensysteem is voor beide systemen gelijk en bestaat uit een glazen overkapping, met een vaste betonvloer met opstaande randen. De voorzijde van de kas is helemaal open of heeft soms een gevel met ventilatieopeningen. Aan de achterzijde van de kas zijn ventilatoren bevestigd. De ventilatoren worden aangestuurd via een procesbesturingssysteem, dat afhankelijk van de weersomstandigheden de luchtvochtigheid en temperatuur binnen in de kas regelt.

BATCH SYSTEEM MET DE ELEKTRISCHE MOL

Het mengen en de homogenisatie gebeurt door de elektrische mol. De mol is een elektronisch aangestuurde robot, die zelfstandig rondrijdt en zo is geprogrammeerd dat de gehele oppervlakte wordt bewerkt.

Het drogen van het slib is een batch proces met daarin drie stappen. Als eerste wordt het slib over de betonnen vloer verdeeld met een shovel. Daarna volgt het droogproces. De elektrische robot verdeelt het slib gelijkmatig en zorgt voor het omwoelen van de sliblaag. Na verloop van tijd is het gewenste drogestofgehalte bereikt en wordt het gedroogde slib met een shovel weer uit de kas gehaald en direct afgevoerd of opgeslagen in een naastliggende hal.

FIGUUR 2.2

ELECTRISCHE MOL VAN THERMO-SYSTEM



Het slibverdeelsysteem met een mol is eenvoudig en relatief goedkoop. Het systeem is niet afhankelijk van de kasgrootte en heeft geen vaste afmeting van de kas nodig. Er is bovendien geen eis ten aanzien van het drogestofgehalte van het ingaande slib. Ook slibben met een drogestofgehalte < 20 %, zoals ingedikt slib van 10-15 % (bijvoorbeeld) kunnen worden gedroogd. Verder kan de kas volledig worden afgesloten en eventuele (geur) emissies kunnen goed worden beheerst. Een nadeel van dit systeem is dat er arbeid om nodig is om het slib met een shovel in en uit te rijden. Daar staat tegenover dat een discontinue aanvoer bijvoorbeeld op een centrale verwerkingslocatie prima kan functioneren door het periodiek uitrijden van slib met de shovel.

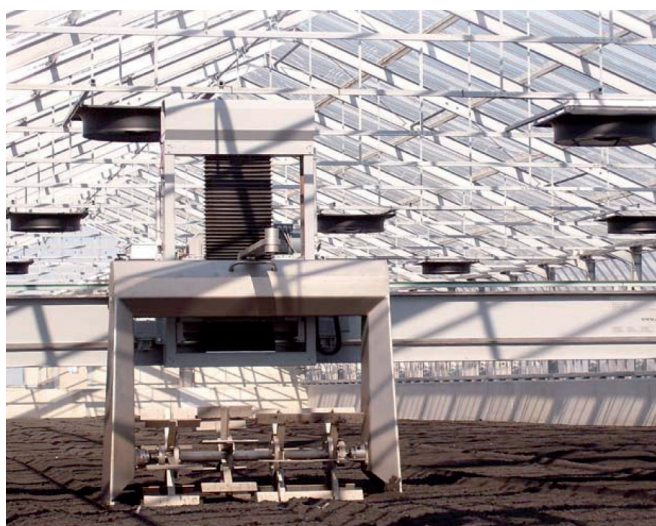
SEMI-CONTINU SYSTEEM MET DE SLIBMANAGER

Thermo-System heeft naast het systeem met de elektrische mol ook een (semi) continu systeem, de slibmanager. Het slib wordt aan de ene zijde in de kas ingevoerd. De slibmanager verdeelt het slib vervolgens automatisch over de gehele oppervlakte en zorgt tegelijk ook voor het mengen van de sliblaag.

Dit systeem is minder arbeidsintensief dan bij gebruik van een mol. De slibmanager kan op verschillende manieren werken, van voor naar achter of “circulair”, of in een mix variant, waardoor de kan maar aan één zijde bereikbaar hoeft te zijn voor aanvoer van ontwaterd slib en afvoer van gedroogd slib. Ten opzichte van de vorige oplossing past dit systeem het beste op een rwzi met een continue aanvoer van ontwaterd slib. De vloerplaat hoeft niet betreedbaar te zijn en kan lichter worden uitgevoerd. Dit systeem is niet geschikt voor slibben die dunner zijn dan 20 % ds. Bovendien hebben de kassen een kleinere vormvrijheid door de vaste verhouding van breedte (8 - 20 m) en lengte (50 - 150 m) dan bij toepassing van de mol. De kosten van dit systeem liggen zowel qua investeringen als qua energieverbruik iets hoger dan bij de mol.

FIGUUR 2.3

DE SLIBMANAGER VAN THERMO-SYSTEM



2.3 IST/HELANTIS

Het IST systeem, met de zogenaamde Wendewolf, is in Duitsland ontwikkeld en wordt tegenwoordig door de firma IST Anlagentechnik GmbH [7, 10] op de markt gebracht. Hetzelfde systeem is door het Franse Degrémont overgenomen en verder ontwikkeld. Wereldwijd zijn er op dit moment circa 100 systemen met het Wendewolf systeem in bedrijf.

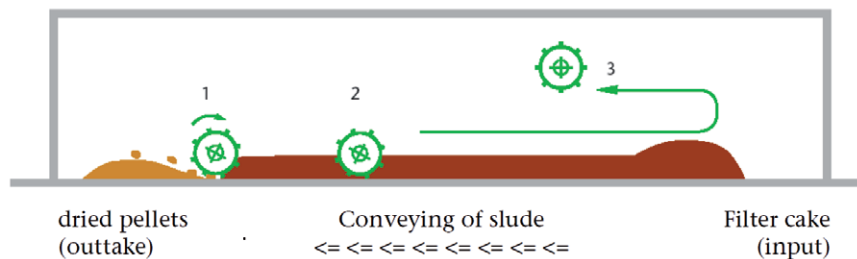
Het kassensysteem bestaat uit een standaard kas met een bodem van beton of asfalt. De rand is ook hier een opstaande betonnen strook. Hierop is een rails gemonteerd waarop een omspit-systeem zich in de lengterichting kan verplaatsen. De kas moet aan beide zijden te openen zijn omdat het continue systeem langzamerhand het te drogen slib van de voorzijde naar de achterzijde verplaatst, zie figuur 2.4.

FIGUUR 2.4 KASSEN MET HET WENDEWOLFSYSTEEM MET EEN OPEN VOOR- EN ACHTERKANT



Het Wendewolfsysteem is een semicontinu systeem, dat wil zeggen dat elke dag het slib aan de voorkant van het systeem wordt aangevoerd en via het Wendewolf systeem verplaatst wordt door de kas naar de achterkant van de kas, zie figuur 2.5.

FIGUUR 2.5 VERPLAATSIING EN OMWOELING VAN HET SLIB DOOR DE KAS BIJ HET WENDEWOLFSYSTEEM



Tijdens het verplaatsen van het slib door de kas wordt het gekeerd en verdeeld over de vloer. Ventilatoren in de kasruimte zorgen voor de inbreng van de lucht om het droogproces te stimuleren. Een detailfoto van het Wendewolfsysteem is weergegeven in figuur 2.6.

FIGUUR 2.6 DETAILFOTO VAN HET WENDEWOLFSYSTEEM



Dit systeem lijkt op de slibmanager van Thermo-System. Het is het meest geschikt voor continue aanvoer dicht bij de rwzi. De bodem kan met een relatief goedkope asfaltlaag worden afgedicht (geen betonnen bak nodig). Ook dit systeem is alleen geschikt voor slibben met een drogestofgehalte van minimaal 20 % ds. Het systeem gebruikt meer energie dan de mol en zowel de achterkant als de voorkant moeten bereikbaar zijn en geregeld open staan. Bij eventuele geuremissies kan dit een nadeel zijn.

2.4 HUBER SOLAR ACTIVE DRYER SRT

De firma Huber [13,14] uit Duitsland heeft een vergelijkbaar kassendroogstelsel als het hiervoor beschreven Wendewolf systeem. Ook hier is sprake van een langwerpige kasruimte met een opstaande betonrand en een verharde vloer.

Het speciale slib draaimechanisme van de Huber zorgt voor verspreiding, granulatie, draaien en mengen van het slib. Het slib wordt getransporteerd door de kas. Het ontwaterde slib wordt continu gevoed aan de ene kant en droog granulaat wordt continu geproduceerd en afgevoerd aan de andere kant. De slibbedhoogte is instelbaar via de elektrische besturing, afhankelijk van de droogtijd en de klimatologische omstandigheden. Huber geeft aan dat met deze manier van opmenging de geuremissie en stofvorming minimaal is. Het slib draaimechanisme is wat “subtieler” dan de Wendewolf (figuur 2.7).

FIGUUR 2.7

HUBER SOLAR ACTIVE DRYER SRT



In figuur 2.8 is het principe van het slib draaimechanisme van Huber gepresenteerd.

FIGUUR 2.8

HUBER SYSTEEM, LINKS HET OPWERKEN VAN HET SLIB EN RECHTS HET VERPLAATSEN VAN HET SLIB DOOR DE KAS



Dit systeem werkt omzichtiger dan de Wendewolf waardoor er minder stofvorming en geuremissie optreedt. Verder gelden dezelfde voor en nadelen als bij de Wendewolf, voor en achterkant van de kas moet open zijn, minimaal 20 % ds te verwerken en de kosten zijn iets hoger dan bij de Wendewolf. Daardoor past het systeem beter bij een grotere schaal.

2.5 VERGELIJKING BATCH EN (SEMI) CONTINU SYSTEMEN

Bij de drie producenten zijn er in feite twee verschillende systemen te onderscheiden, het batch systeem met de elektrisch mol (Thermo-System) en het (semi) continue systeem, waarbij de omwenteling van het slib wordt gecombineerd met een verplaatsing in de kas (Thermo-System, Wendewolf en Huber). In tabel 2.2 worden de verschillen tussen de twee systemen naast elkaar gezet. Per geval moet bekeken worden welk systeem het beste past.

Er is bij het referentie-onderzoek niet specifiek gekeken naar het transport van de ontwateringsmachines naar de kas. Het is in principe niet onderscheidend voor het type droogstelsel. Op een centrale voorziening (zoals in Frysoithe) wordt het via een vrachtwagen in een hal gestort, waarna het met een shovel in de kas wordt gebracht. Als de kas direct naast de rwzi ligt, zijn er diverse manieren waarop het ontwaterde slib kan worden verplaatst: via een shovel (front loader) of een trailer met walking floor. Het kan ook worden verpompt met verdringerpompen (als het ds gehalte < 25 % ds en de afstand < 100 m). Het kan ook worden getransporteerd via transportbanden of schroeven [19].

TABEL 2.2 VERSCHILLEN TUSSEN DE BATCH EN DE CONTINUE SYSTEMEN

Systeem	Elektrische mol	Slibmanager/ Wendewolf / Huber
Systeem	Batch	(Semi)Continu
Systematiek omwoelen	Toevalprincipe	Planmatig
Bereik breedte	n.v.t.	8 – 10 – 12 meter
Bereik diepte	20-25 cm	40 cm – 80 cm
Gewicht	300 kg	3.600 kg (12 m machine)
Droogstructuur	Stoffijn tot korrelig	Granulaat tot 20 mm doorsnee
Droogoppervlakte	tot max 800 m ² per mol	8-12 meter breed, 40 tot 150 meter lang
Minimaal oppervlakte	200 m ²	400 m ²
Slibtransport in de kas	Shovel en inzet personeel	Automatisch bij het wenden
Vloer	Betonlaag met opstaande randen, betreedbaar shovel	Beton of asfalt met opstaande betonranden
Vloeibare slibbehandeling	Mogelijk, maar leidt tot lange droogtijden	Niet mogelijk, minimaal drogestof gehalte 20%

2.6 SAMENVATTING REFERENTIEONDERZOEK

2.6.1 KOSTENREDUCTIE DOOR (VOOR)DROGEN IN DUITSLAND

In Duitsland is er meer variatie in slibeindverwerkers dan in Nederland. Sommige afnemers zoals afvalverbrandingsinstallaties stellen geen harde eisen aan het drogestofgehalte van het aangevoerde slib en berekenen een prijs per ton koek. Reductie daarvan door (voor)drogen, levert dan direct een besparing aan slibverwerkings- en transportkosten op. Het kasoppervlak wordt dan bepaald op het drogestofgehalte waarbij het rendabel wordt (bijvoorbeeld 60 % ds). De investeringskosten van de kassen liggen rond de 500 tot 1.000 euro per m² kasoppervlakte voor het volledige systeem (afhankelijk van de grootte van de kas en het systeem). Het gedroogde slib is in Duitsland inzetbaar als secundaire brandstof. In Duitsland is een droogstelsel op alleen zonne-energie haalbaar bij slibverwerkingskosten van 50 tot 60 euro per ton slib [19].

Als er naast zonnewarmte gebruik kan worden gemaakt van goedkope restwarmte ($T > 80 \text{ }^\circ\text{C}$) neemt de haalbaarheid toe (de verwerkingskosten dalen). In Duitsland zijn er geen subsidies op het drogen van slib met behulp van kassen en restwarmte [19]. Wel wordt er in sommige gevallen subsidie gegeven op het nuttig gebruik van restwarmte, maar dit geldt niet voor restwarmte uit WKK van biogasinstallaties op rwzi's. Dit geldt vooral voor restwarmte uit WKK installaties op biogas uit mestvergisting of stortgas.

2.6.2 ZON EN/OF RESTWARMTE ?

In Duitsland staan veel kassen waarbij slib hoofdzakelijk wordt gedroogd met zonnewarmte. Dit betekent dat het droogproces in de winter erg traag is of geheel stil staat. De droogtijd in de winter is gemiddeld 10 weken en het maximaal haalbare droge stofgehalte van het slib is dan 50% ds. In veel gevallen wordt in de winter het slib opgepot. De voorraad wordt in de zomermaanden dan weer weggewerkt.

2.6.3 PERSONELE INZET

Uit de ervaringen van de gebruikers en de literatuuronderzoeken is gebleken dat het kassendroogstelsysteem eenvoudig te bedienen is. De bedrijfsvoering kost relatief weinig tijd voor het personeel. Er is een verschil tussen het batch systeem en het continue systeem. Bij het batchsysteem vergt het rijden met de shovel meer personele inspanning, maar de rest gaat automatisch, terwijl bij de Wendewolf en het Hubert systeem tijdens het drogen meer toezicht nodig is. Daarnaast is er (zeker bij de installaties met weinig restwarmte) een grote seizoensafhankelijkheid, waardoor er in de winter minder werk is dan in de zomer.

Voor de kas in Bilten van 3.000 m^2 (systeem van Wendewolf met alleen zonne-energie) zijn de arbeidsuren circa 2 uur per dag. Dat is dus circa 10 uren per week. Bij het grote systeem van Frysoithe (6.000 m^2 met restwarmte en 40.000 ton koek/jaar) is circa 1 FTE nodig.

2.6.4 BEHEER EN ONDERHOUD

Het onderhoud van de systemen is minimaal en zit vooral in het onderhouden van het omwentelingsysteem (smeren van draaiende delen en olie verversen) en het schoonhouden van luchtfilters en ventilatiesystemen. In de zomer waarbij meer stof gevormd wordt, moeten de filters vaker worden verschoond of vervangen. Storing treedt zelden op, bij de elektrische mol van Thermo-System kan het soms voorkomen (1 à 2 maal per maand) dat de mol zich klem zet en handmatig weer op weg moet worden geholpen. Een continu systeem draait bij goed onderhoud continu door. Belangrijk is dat het aangevoerde slib daarbij niet een te laag drogestofgehalte heeft ($> 20 \text{ } \%$ ds). Bovendien moet er op worden toegezien dat in de winter het slib niet bevriest. In dat geval moet de installatie uitgezet worden. Bij een drogestofgehalte van circa 75% ontstaat stof. Dit vormt vooral een probleem als het droge slib bij het batchproces uit de kas wordt gereden. Op dat moment moeten stofbeschermende maatregelen worden getroffen voor de werknemer op de shovel.

3

KANSEN VOOR SLIBDROGING IN KASSEN IN NEDERLAND

3.1 INLEIDING

Wereldwijd en (zeker ook) in Europa staan honderden kassystemen staan waarmee slib wordt (voor)gedroogd. Kennelijk is er in veel landen een positieve business case. Kan dat ook in Nederland?

Bij kassensystemen wordt soms alleen uitgegaan van zonlicht, soms van voornamelijk restwarmte en soms van een combinatie daarvan. In Nederland is er relatief weinig zon, maar wel veel restwarmte. Het systeem is simpel, vergt weinig onderhoud en weinig personeel. Wat weerhoudt ons in Nederland van toepassing?

In dit hoofdstuk wordt hierop nader ingegaan. De volgende onderwerpen hebben invloed op de keuze c.q. zijn relevant voor de haalbaarheid van slibdroging in kassen:

- Slibeindverwerking in Nederland anno 2013
- Toekomst slibeindverwerking
- Slib(voor)droging in kassen als onderdeel slibeindverwerking
- Kassen versus slibdroogbedden
- De potentie van restwarmte in Nederland

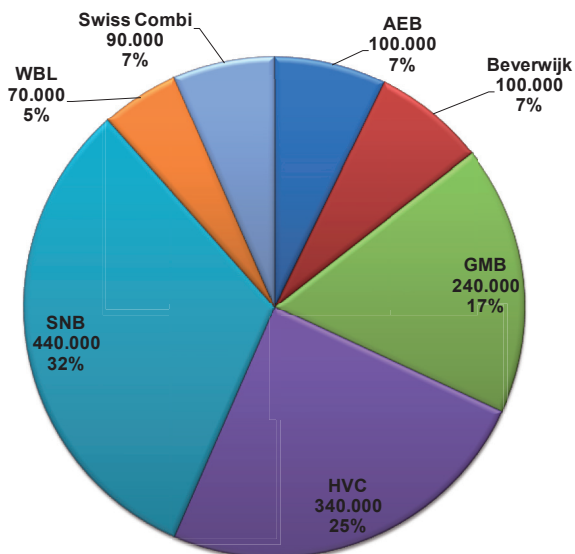
3.2 SLIBEINDVERWERKING IN NEDERLAND ANNO 2013

Op dit moment wordt in Nederland ontwaterd slib (met 20-30 % ds) verwerkt via een aantal routes:

- Monoverbranding (SNB en HVC);
- Coverbranding (AEB);
- Biologisch drogen (GMB);
- Thermisch drogen (Beverwijk, Swiss Combi, WBL).

Het biologisch gedroogde slib van GMB wordt vervolgens toegepast als secundaire brandstof in kolencentrales in Nederland en/of bruinkoolcentrales in Duitsland. Granulaat van Beverwijk gaat naar de BMC in Alkmaar. Gedroogd slib van Swiss Combi en WBL gaat naar de cementindustrie (ENCI). De tarieven van de huidige slibeindverwerking variëren tussen de 60-100 euro per ton koek (inclusief BTW en transport). In figuur 3.1 wordt het marktaandeel van de slibverwerkers in Nederland weergegeven. Van WBL gaat sinds 2012 circa 50.000 ton koek ook naar SNB. In figuur 3.1 is bij de taartpunt WBL het restant wat thermisch wordt gedroogd weergegeven.

FIGUUR 3.1 MARKTAANDEEL SLIBVERWERKERS IN NEDERLAND (TONNEN KOEK PER JAAR IN 2012)



De totale hoeveelheid te verwerken zuiveringsslib in Nederland is circa 1.380.000 ton koek per jaar (gemiddeld 24 % ds). Circa 60% van de waterschappen is aandeelhouder bij één van de slibverwerkers. Er zijn vastgestelde tarieven (vastrecht) en te weinig slib op de installatie van de eindverwerker betekent stijging van het tarief. Ook de waterschappen die geen aandeelhouder zijn hebben langlopende contracten om zoveel mogelijk afzet zekerheid te hebben.

Er is in 2013 veel aandacht voor duurzame en doelmatige alternatieven. Is (voor)droging van slib in kassen als een vorm van lage temperatuurdroging (LTD) een kansrijke stap in deze ontwikkeling? In de volgende paragraaf zal eerst ingegaan worden op de richting van de toekomstige ontwikkelingen in de slibeindverwerking.

3.3 TOEKOMST SLIBEINDVERWERKING

3.3.1 GESCHETSTE ONTWIKKELINGEN SLIBKETENSTUDIE

Sinds 2010 is de slibeindverwerking weer volop in de belangstelling. In de Slibketenstudie II STOWA 2010 33 [1] is in 2010 de volledige slibketen doorgerekend. Citaat [1]: “in energetisch opzicht worden de grote variaties voornamelijk door de slibeindverwerking bepaald. Superkritische vergassing en lage temperatuurdroging (LTD) zijn als nieuwe technieken energetisch én kostentechnisch interessant, waarvan de eerste meer onderzoek en de tweede praktijktoepassing verdient”.

Uit de slibketenstudie volgt dus dat ten opzichte van de huidige indirecte droging en wervelbedverbranding zowel superkritische vergassing als lage temperatuurdroging kansrijk zijn, zowel qua kosten als duurzaamheid. Droging in kassen is een vorm van lage temperatuurdroging (LTD).

3.3.2 RECENT ONDERZOEK NAAR NIEUWE TECHNIKEN

Superkritische vergassing van zuiveringsslib is nog nieuw (eerste rapport 2013 W02). Binnenkort gaat er een pilot onderzoek starten. Uit dat onderzoek zal de komende jaren meer duidelijkheid komen over de kansen van deze techniek. Deze techniek gaat uit van dun slib

als bron. Mocht deze techniek echt in de praktijk worden toegepast, is (lage temperatuur) droging met bijvoorbeeld kassen niet meer in beeld. Als uit proeven blijkt dat superkritische vergassing kansrijk is zal voor full scale toepassing naar verwachting meer dan 10 jaar nodig zijn.

In 2014 gaat er een STOWA onderzoek lopen naar toepassing van een bestaande mechanische droogtechniek op zuiveringsslib: de Pulverized Air Dryer droogtechniek (PAD droger), waarbij slib gedroogd wordt met mechanische energie (en een beetje thermische energie). Deze techniek is een alternatief voor thermische droging.

Bij alle andere (potentiële) verwerkingstechnieken is (thermisch) drogen een onderdeel van het proces. Daarmee is (vóór)drogen met duurzame warmtebronnen in principe een no-regret maatregel die altijd past in de slibeindverwerking.

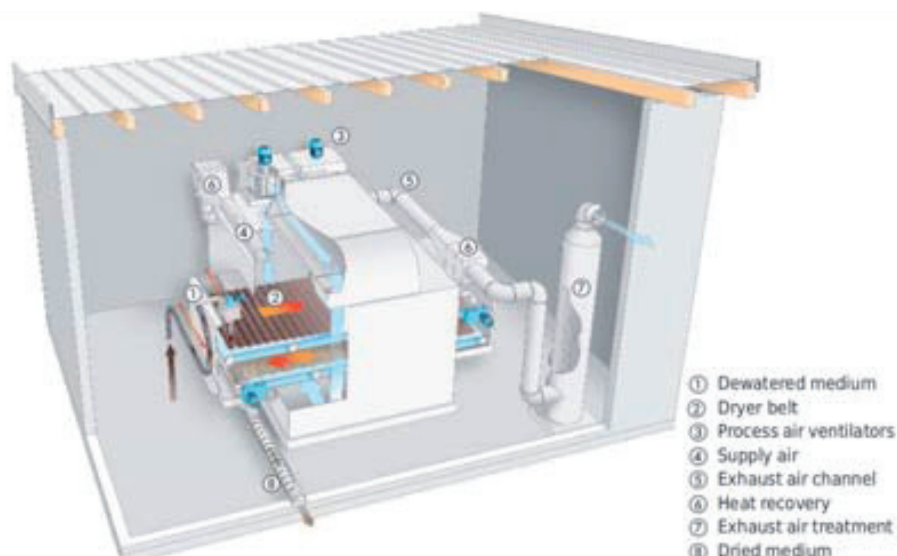
Naast superkritische vergassing is recent ook conventioneel vergassen van zuiveringsslib onderzocht op lokale rwzi schaal (STOWA 2013 15). Drogen van slib is ook daar een stap die doorlopen wordt. Deze techniek heeft (laagwaardige) warmte nodig om het slib te drogen. Lage temperatuurdroging met banddrogers of kassendroging zou hierin een plaats kunnen hebben. De techniek van conventionele vergassing is in staat om energie op een hoger niveau op te wekken.

Naast de technieken voor slibeindverwerking wordt er ook onderzoek gedaan aan de zogenaamde “gruisontwatering”. Deze techniek wordt op dit moment verder onderzocht. In bijlage 3 is een verkenning van de gruisstechniek naast of in combinatie met kassen met indicatieve berekeningen weergegeven.

3.3.3 LAGE TEMPERATUURDROGING (LTD)

In de voorgaande paragrafen is gesproken over lage temperatuurdroging als kansrijke techniek die meer praktijktoepassing verdient. Lage temperatuurdroging is met name zo aantrekkelijk omdat daarbij warmtereststromen en/of afvalwarmte kunnen worden benut. Bij de toepassing van lage temperatuurdroging worden vaak banddrogers gebruikt, zie figuur 3.2.

FIGUUR 3.2 VOORBEELD VAN EEN HUBER LTD BANDDROGER



Er wordt hierbij doorgaans gesproken over (rest)warmtestromen met een temperatuur van 80-120 °C. Deze stromen zijn doorgaans relatief goedkoop, namelijk 25 tot 50 % van de industriële gasprijs.

Bij verkenningen in de literatuur [2] wordt de banddroger vaak als voorbeeld gebruikt. Toepassen van restwarmte in kassen is een alternatieve vorm van lage temperatuurdroging (LTD). Bij een banddroger wordt de warmte meer “direct” in het slib gebracht. Dat heeft als voordeel dat er minder lucht nodig is en de installatie compact is. Daarnaast is een mechanisch apparaat beter te sturen dan een kas, waarbij de hoeveelheid oppervlak vastligt en waarbij de hoeveelheid zonlicht zal variëren. Naar verwachting zal het drogestofgehalte na drogen bij banddrogers minder variëren, maar het is de vraag hoe relevant dat nog is, als het slib “droog” is.

Bij de toepassing van kassen is veel meer lucht nodig dan bij banddrogers, maar bij mechanische apparaten is de kleinere hoeveelheid lucht wel “vuiler” qua geur en ammoniakbelasting. Bij kassen zijn door de indirecte inbreng van de warmte door inblazen van bovenaf minder tot geen geurproblemen (zie hoofdstuk 6) en is een separate verwerking van stikstofrijk condensaat niet nodig. Bij mechanische apparaten is dat naar verwachting wel nodig en dat werkt kostenverhogend.

Bij restwarmte met hogere temperaturen (bv 160 °C) is het ook mogelijk een tweetraps LTD toe te passen [19]. In kassen wordt het slib gedroogd van 20% naar 40 % en vervolgens in een banddroger verder gedroogd van 40 naar 80 %. De warmte gaat in tegenstroom eerst door de banddroger en daarna naar de kas. Vanuit de leverancier wordt aanbevolen om de relatief beperkte hoeveelheid afgezogen vuile lucht van de banddroger te gebruiken als verbrandingslucht bij de bron van de restwarmte (centrale of afvalverbranding). De ammoniak kan dan ook benut worden in de DeNO_x . De overige lucht kan in principe onbehandeld geëmitteerd worden.

Concluderend kan worden gesteld dat slibdroging in kassen met restwarmte een vorm is van lage-temperatuurdroging (LTD) die prima past in de uitkomsten van de slibketenstudie II [1] zowel qua doelmatigheid (kosten) als duurzaamheid.

3.3.4 RELEVANTE ONTWIKKELINGEN OP DE MARKT VAN DE SLIBEINDVERWERKING

Door verdergaande recycling en de opkomst van biomassa centrales is er in Nederland overcapaciteit bij de AVI's. Daarom heeft bijvoorbeeld het AEB interesse om meer slib te gaan verwerken dan nu en zijn afvalverwerkers, zoals Attero of de REC Harlingen aan het verkennen of slib kan worden gedroogd met lage temperatuur (rest)warmte. Dit zal mogelijk een verlagend effect hebben op de tarieven van de slibeindverwerking.

3.3.5 INVLOED FOSFAATTERUGWINNING OP DE SLIBEINDVERWERKING

Fosfaatterugwinning is anno 2013 een belangrijk aandachtspunt [20]. Via de verbrandingsas kan het meeste fosfaat worden teruggewonnen (80-85 %). Bij de coverbranding van gedroogd slib bij AVI's of kolencentrales wordt deze fractie P verdund en is deze P niet meer terug te winnen.

Monoverbranden (of monovergassen) lijkt (in ieder geval op een termijn van 10 jaar) de enige reële manier van slibeindverwerking waarbij fosfaatterugwinning mogelijk is. Het spoor van fosfaatterugwinning zit dus eigenlijk “achter de droogstap”. Te zijner tijd zal de verwerkingsketen zo moeten worden ingericht dat P niet meer wordt verdund, maar zo geconcentreerd mogelijk wordt gehouden om te kunnen terugwinnen. Voordroging in kassen kan daar prima in passen.

3.4 SLIB(VOOR)DROGING IN KASSEN ALS ONDERDEEL SLIBEINDVERWERKING

In het voorgaande is op hoofdlijnen aangegeven waar de kassen van kassendroging liggen. In de meeste gevallen van de slibeindverwerking voor nu en voor de nabije toekomst is droging van slib een no-regret maatregel. Kassen zijn bij uitstek geschikt om juist lage temperatuurrestwarmte (samen met zonne-energie) te benutten om het slib te drogen. Het gedroogde product is dan een secundaire brandstof die elders kan worden ingezet.

Is het mogelijk om los van eventuele nieuwe slibverwerkers (voor)gedroogd slib ook bij de huidige slibverwerkers kwijt te kunnen? Bij de verwerkingsroutes van Swiss Combi en het AEB wordt slib verpompt. Een drogestofgehalte van 30% is daarbij het maximum. Qua verbranding zelf zal er geen probleem zijn maar logistiek is de afname van gedroogd slib dus niet mogelijk.

Voor de monoverbranders in Nederland en slibcomposteerders zal de verwerking van slib met een hoog drogestofgehalte geen probleem zijn. Bij monoverbranding zal de doorzet door de ovens minder worden en daardoor het tarief per ton koek hoger. Hoe hoog is niet bekend. Bij compostering wordt een stroom toegevoegd met een hoog organisch stofgehalte en dat is goed voor het biologische droogproces (als > 55 % kan het in de tweede stap). Daarom zal het tarief voor die verwerkingsroute naar verwachting dalen. Hoe deze verwerkers staan ten opzichte van seizoensgebonden wisselende aanvoer en drogestofgehalten is niet bekend.

3.5 KASSEN VERSUS SLIBDROOGBEDDEN

Tot in de jaren 90, was het vooral op de kleinere rwzi's gebruikelijk om surplusslib in ingedikte vorm (3-5 %) in dunne lagen op slibdroogbedden te brengen. Door het verbod van toepassing op het land (Besluit gebruik meststoffen (Bgm)) is destijds een overgang gemaakt naar andere vormen van slibeindverwerking.

Op diverse rwzi's zijn de sporen van slibdroogbedden nog zichtbaar. Het slibdroogbed was voorzien van goed doorlatend grof zand, zie figuur 3.3.

FIGUUR 3.3

SLIBDROOGBEDDEN



Door drainage en verdamping werd een groot deel van het aanwezige water uit het slib verwijderd (ondanks periodieke regen). Met deze forse volumereductie kon de eindverwerking eenvoudiger en doelmatiger worden uitgevoerd. Wanneer het slib droog was (steekvast) werd het uit de droogbedden geschept en afgevoerd (bijvoorbeeld naar de landbouw). Op die wijze kon een slibdroogbed op jaarbasis wel tussen de vier en tien keer worden gevuld, afhankelijk van de weersomstandigheden.

Naast de voordelen kennen slibdroogbedden ook diverse nadelen:

- de afzet naar de landbouw is niet meer mogelijk (Bgm besluit);
- de mogelijke inbreng van milieuschadelijke stoffen in de bodem;
- de geuremissie;
- het ruimtebeslag;
- de onvoorspelbaarheid van de benodigde droogperiode;
- de beschikbaarheid van andere alternatieve afzetmogelijkheden (verbranding, compostering).

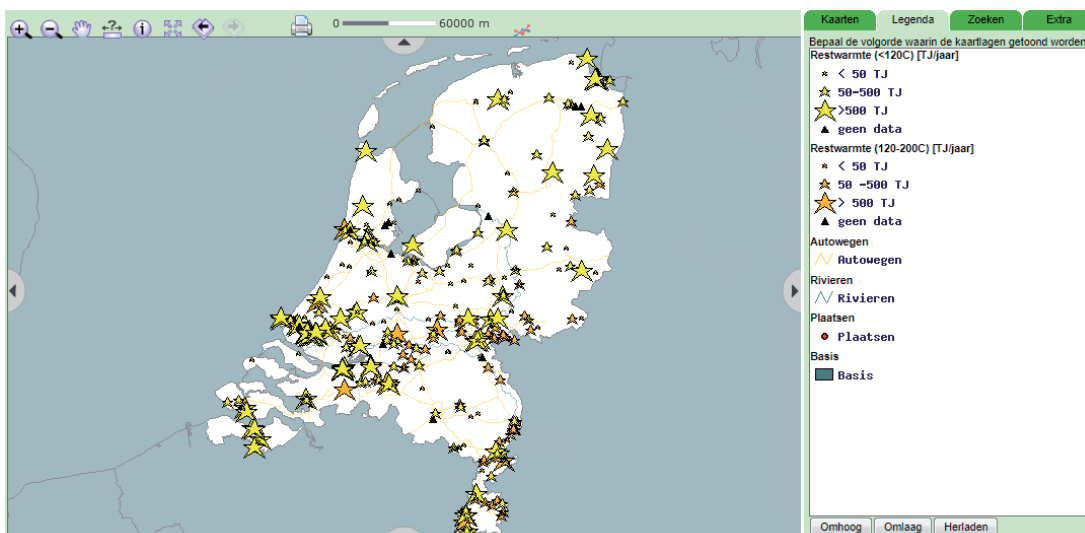
Mechanisch ontwateren levert een slibkoek met een constante kwaliteit en een eenduidige bedrijfsvoering. Dat is voor het transport en ook voor de eindverwerkers met een gewenste constante aanvoer en kwaliteit aantrekkelijk. Daarmee is mechanische ontwatering de standaard geworden en overall ingeburgerd.

Echter, de tarieven van de slibeindverwerking worden bepaald per ton slibkoek (inclusief water) en daardoor is het grote voordeel van slibdroogbedden: een forse volumereductie tegen lage kosten en weinig energie nog steeds aantrekkelijk. Ten opzichte van slibdroogbedden hebben kassen daarbij het voordeel dat de weersinvloeden beperkt zijn. Regen wordt buitengesloten, wind en lucht worden gecontroleerd benut en de zon wordt maximaal ingezet. Verontreiniging van de bodem is uitgesloten door het toepassen van een dichte bodem. Geur kan (indien nodig) worden beheerst door het toepassen van compostfilters. Meestal wordt trouwens uitgegaan van gestabiliseerd slib, waardoor de geuremissie beperkt is.

3.6 DE POTENTIE VAN RESTWARMTE IN NEDERLAND EN MJA3

In Nederland worden grote hoeveelheden restwarmte geloosd. De hoeveelheden zijn enorm, per jaar wordt door de industrie 100 PJ aan warmte actief weggekoeld. Ter vergelijking, om de hele slibvoorraad in Nederland te drogen, is jaarlijks 0,7 PJ nodig.

FIGUUR 3.4 WARMTEATLAS VAN NEDERLAND (AGENTSCHAPNL)



Een groot deel van deze warmte bestaat uit laagwaardige warmte. Dat is warmte met een temperatuur van 80 - 120 °C, maar vaak slechts van 35 - 40 °C, die bijna niet kan worden benut. Ondanks veel onderzoek naar mogelijkheden van deze restwarmte, wordt er maar nauwelijks gebruik van gemaakt. Belangrijke belemmeringen zijn de hoge eisen met betrekking tot

het financieel rendement voor warmtenetten en de onderlinge afhankelijkheid van de aanbieder en de afnemer. Belangrijke technische voorwaarden voor warmtebenutting zijn gelijktijdigheid van warmtevraag en aanbod. Economische kansen worden vooral door de transportafstand bepaald.

Met de warmteatlas van AgentschapNL (figuur 3.4) kunnen locaties worden opgezocht die potentie hebben voor slibdroging met restwarmte.

In het werkprogramma Warmte op Stoom [15] is als ambitie vastgelegd dat overal waar het rendabel is in 2020 restwarmteprojecten zijn gerealiseerd. Restwarmtebenutting telt in energiebesparingsconvenanten mee als besparing. In het Sectorakkoord Energie [17] wordt de verwachting uitgesproken dat de jaarlijkse afzet van collectieve warmteprojecten kan toenemen tot 70 PJ in 2020, waarvan 30% duurzaam opgewekt. Dit moet 25 PJ energiebesparing en 21 PJ duurzame warmte opleveren. In bijlage 4 wordt beschreven hoe restwarmte voor de waterschappen kan worden meegenomen in de Meerjarenafspraken Energie Zuiveringsbeheer (MJA3). In tegenstelling tot de situatie in sommige Europese landen (zoals Denemarken) wordt voorlopig in Nederland geen wetgeving verwacht die de lozing van restwarmte zal beperken.

Op dit moment wordt in Nederland nog maar weinig restwarmte nuttig toegepast. Dit komt met name, omdat het in de praktijk moeilijk is aan cruciale voorwaarden van gelijktijdigheid, gelijkwaardigheid (temperatuur en druk) en nabijheid te voldoen. Bij slibdrogen in kassen met restwarmte is het voldoen aan de bovengenoemde voorwaarden geen groot issue. Een tijdelijke storing in warmteaanvoer is door het grote oppervlak nauwelijks merkbaar. Bovendien kan een tijdelijke vermindering van de warmteaanvoer worden gecompenseerd door een tijdelijke grotere aanvoer in de periode daarna. Het droogstelsel kan worden toegepast bij lage restwarmtetemperaturen (80 °C). Daarnaast kan een kassencomplex worden gebouwd in de buurt van de restwarmtestroom (centrale of AVI). Het voordeel van de benutting van restwarmte moet dan wel opwegen tegen de extra transportbewegingen van ontwaterd slib naar de restwarmtelocatie.

In bijlage 4 beschrijft Agentschap NL in hoofdlijnen hoe binnen de MJA bij de jaarlijkse monitoring omgegaan wordt met de inzet van (rest)warmte voor slibdroging. Als er in de nieuwe situatie geen/minder aardgas (energie) nodig is om te drogen dan in de huidige situatie mag de bespaarde energie worden opgevoerd als KE-maatregel (ketenmaatregel). Indien dit aangevoerd wordt van elders, moet dit opgenomen worden in de monitoring (ingekochte warmte). Deze hoeveelheid komt dan bij het totale energiegebruik van de MJA-deelnemer en hierdoor wordt het besparingspercentage lager! Dit zelfde geldt voor e-gebruik van de apparatuur, dit komt ook bij de monitoring terug als extra gebruikte energie en dus een hoger totaalenergiegebruik.

Als de slibeindverwerker geen MJA/MEE deelnemer is mag de bespaarde energie voor 100% worden opgevoerd, anders 50%. Vermijden transporten tellen ook mee. Uiteraard moet het energieverbruik van de benodigde apparatuur (banddroger of apparatuur in kassen) in mindering worden gebracht. Bij de berekening van KE-maatregelen moet steeds worden uitgegaan van de werkelijke situatie (verschil nieuw – oud), waardoor een inschatting van het effect voor heel Nederland niet direct kan worden vastgesteld.

4

ONTWIKKELING VAN EEN NEDERLANDS REKENMODEL

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt het door Wageningen UR ontwikkelde rekenmodel toegelicht.

In Duitsland is veel wetenschappelijk onderzoek verricht naar het fenomeen slibdrogen in kassen. Daarbij zijn diverse modellen ontwikkeld [3, 4, 5, 6]. Naast de informatie uit deze modellen en andere Duitse literatuur, is gebruik gemaakt van het in Nederland (Wageningen UR) ontwikkelde kasklimaat simulatiemodel KASPRO [18]. Hiermee is de specifieke Nederlandse klimaatsituatie qua zonne-uren en luchtvochtigheid ingebracht.

Al deze informatie samen heeft geleid tot een kassenrekenmodel specifiek voor de Nederlandse situatie. De Nederlandse klimatologische omstandigheden zitten er in, evenals de verschillende kassystemen, zowel het batchsysteem met de elektrische mol als het continue systeem met de Wendewolf, ventilatiecapaciteiten, restwarmte, start- en eind drogestofgehalte, investerings- en jaarlijkse kosten, etc.

In de volgende paragrafen worden een aantal onderdelen uit het rekenmodel nader toegelicht:

- De ventilatiecapaciteit;
- De verdamping per m³ slib over het jaar
- Verdamping als functie van het drogestofgehalte
- Slibdroging over het hele jaar

In de laatste paragraaf wordt met een stappenplan en kengetallen/vuistregels aangegeven hoe het oppervlak en de indicatieve kosten van de kassen kunnen worden ingeschat.

4.2 VENTILATIECAPACITEIT

Een kasconstructie geeft de gewenste combinatie van functies aan een oppervlak dat voor de droging van slib gebruikt wordt, omdat de glazen overkapping het zonlicht grotendeels doorlaat, terwijl de regen wordt tegengehouden. De kasconstructie moet goed geventileerd worden, of er moeten grote open oppervlakken in de gevels zitten, omdat anders het vocht ophoopt en de zonne-energie voornamelijk in de vorm van voelbare warmte aan de omgeving wordt afgegeven.

Uit de studie van Seginer & Bax [4] volgt dat 50 tot 100 m³/(m² uur) gebruikelijke hoeveelheden voor de ventilatiecapaciteit zijn. Bij nog hogere luchtdebieten blijft de vochttafvoer wel toenemen, maar met een afnemend effect. Zo volgt uit de door hen gepresenteerde formules

dat de stap van 50 naar 100 m³/(m² uur) gemiddeld 33% extra drogingsnelheid oplevert, terwijl de volgende 50 m³/(m² uur) (dus naar 150 m³/(m² uur) in 19% extra drogingsnelheid resulteert. Daarom wordt in het model uitgegaan van een maximale ventilatiecapaciteit van 100 m³/(m² uur).

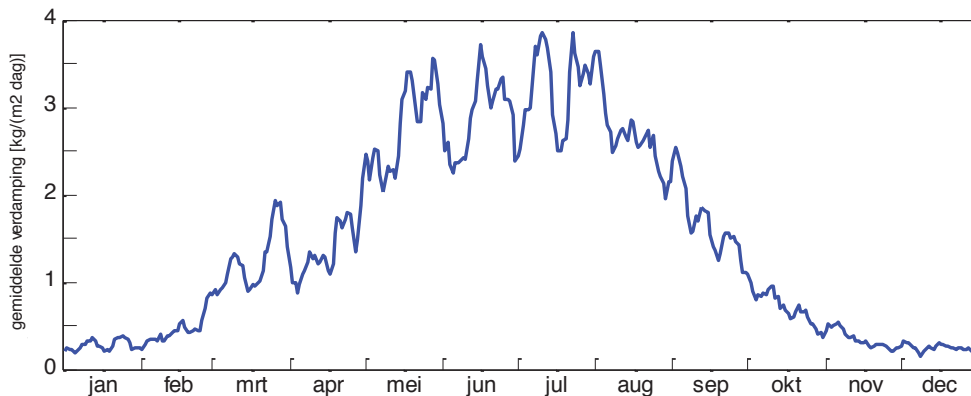
4.3 VERDAMPING PER M3 SLIB OVER HET JAAR

Anders dan bij gebruik van stook- of restwarmte, waar het benodigde oppervlak bepaald wordt door de gebruikte techniek, is het beschikbare oppervlak bij gebruik van zonlicht voor de droging van slib de belangrijkste variabele. Overzichtsliteratuur noemt een verdampingscapaciteit per m² kasoppervlak. Deze varieert van 0,5 tot 1 m³ water per m² kasoppervlak per jaar voor kassen die uitsluitend op basis van zonne-energie het slib drogen (Bennamoun [3]). Een artikel over een droogfaciliteit op Palma de Mallorca (Socias, [6]) geeft data die leiden tot een wateronttrekking van 0,88 m³ water per m² kas uit 4.200 MJ zonlicht per m² in de kas. De verkennende studie over slibdroging bij rwzi Horstermeer [0] rekent met een verdamping van 0,65 m³ water per m² kas uit 2.500 MJ zonlicht per m² in de kas. Wanneer voor deze beide situaties wordt berekend welk deel van het zonlicht wordt omgezet in warmte dan komt dit op 50%.

Wegens de relatie tussen verdamping en zonlichtintensiteit is het genoemde verdampingspotentieel van 0,65 m³ water per m² kas ongelijk verdeeld over het jaar. Bijna de helft van de verdamping valt in de drie zomermaanden. In de drie wintermaanden wordt nog geen 10% van de jaar-som verdampt. Het kasklimaatmodel KASPRO (de Zwart [18]) berekent hoe deze 0,65 m³ waterverdamping is verdeeld over het jaar. Het simulatiemodel rekent de verdamping van minuut tot minuut uit door de massaflux te bepalen vanuit een verdampend bodemoppervlak dat verwarmd wordt door de zon en deze energie-input aan de kaslucht afgeeft in de vorm van voelbare en latente warmte. Het model houdt rekening met de bufferende werking van de ondergrond zodat de grondmassa overdag langzaam opwarmt en 's nachts langzaam afkoelt. Ook houdt het model rekening met de luchtvochtigheid van de omgevingslucht.

De combinatie van berekeningen met KASPRO en het door leveranciers genoemde verdampingspotentieel voor de Nederlandse situatie levert het volgende verloop van de gemiddelde verdamping uit slib met een 65% drogestofpercentage over het jaar (figuur 4.1).

FIGUUR 4.1 VERDAMPINGSPOTENTIEEL VANUIT EEN KAS VOOR SLIB MET EEN 65% DROGESTOFGEHALTE ONDER GEMIDDELTE NEDERLANDSE OMSTANDIGHEDEN



4.4 VERDAMPING ALS FUNCTIE VAN HET DROGESTOFGEHALTE

De meeste literatuurreferenties, en ook het simulatiemodel KASPRO, houden geen rekening met het feit dat de verdamping van water uit het slib langzamer zal verlopen naarmate het slib droger wordt. Het artikel van Seginer *et.al.* [5] onderkent dit feit en stelt een verdampingsbeperkings-functie voor van de vorm:

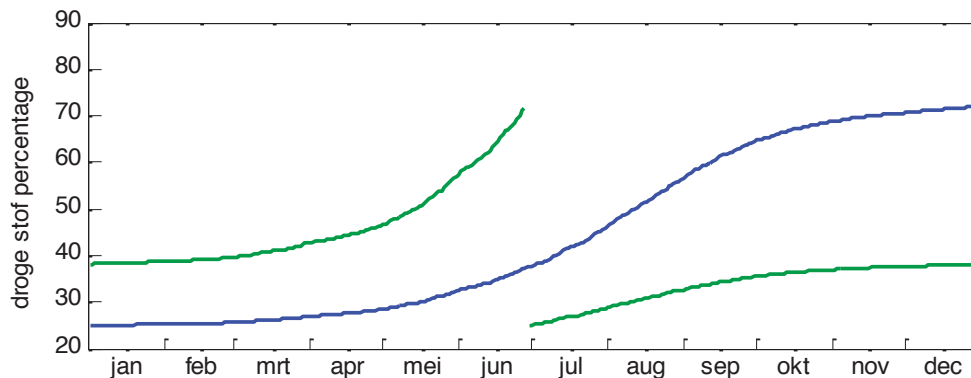
$$\text{Verdampingsreductie} = 1,23 \cdot (1 - \exp(-5 \cdot (1 - \sigma))) \quad [\text{vgl. 1}]$$

waarin σ het drogestofpercentage voorstelt in kg ds/kg slib. Deze vergelijking betekent dat slib bovengemiddeld snel droogt, wanneer het minder dan 65% drogestof bevat en dat de uitdroging gaat afnemen als het slib droger wordt. De verdamping uit slib dat naar 80% is ingedroogd is gereduceerd tot 0,77 maal de gemiddelde verdamping en slib dat tot 90% is gedroogd, verdampt volgens deze formule nog maar 0,45 maal de gemiddelde verdamping. Uiteraard is de verdamping uit slib met een 100% drogestofpercentage nul.

4.5 DROGING VAN SLIB OVER HET JAAR

Met bovenstaand verdampingspotentieel, gecombineerd met de verdampingsreductiefunctie (vergelijking 1) kan de droging van een hoeveelheid slibkoek in de tijd worden berekend. Figuur 4.2 toont de theoretisch berekende toename van het drogestofgehalte van een m³ slib dat met een begin drogestofpercentage van 25% op 1 m² kas wordt ingebracht. Er staan twee lijnen in de grafiek, waarbij de ene lijn het drogingsproces toont van een hoeveelheid slib die in januari wordt ingereden en eind december uit de kas wordt gehaald. De andere lijn geldt voor een m³ slibkoek die begin juli wordt ingebracht en er eind juni van het volgende jaar wordt uitgehaald.

FIGUUR 4.2 DROGING VAN SLIBKOEK GEDURENDE EEN JAAR VANUIT EEN BEGIN DROGESTOFPERCENTAGE VAN 25%. DE EERSTE HOEVEELHEID SLIBKOEK WORDT OP 1 JANUARI (BLAUWE LIJN) INGEBRACHT EN DE ANDERE HOEVEELHEID OP 1 JULI (GROEN LIJN DIE NA DECEMBER DOORLOOPT AAN DE LINKERKANT VAN DE GRAFIEK IN JANUARI)



Beide hoeveelheden slibkoek verliezen over het jaar per m³ 650 liter vocht en komen op een drogestofgehalte van iets boven de 70% uit. De getoonde grafiek heeft evenwel een nogal theoretisch karakter. In de eerste plaats betekent een m³ slib op een m² kas een vulhoogte van 1 meter, wat ver af staat van de praktijk van slibdroging in kassen waar met vulhoogtes van 30 tot 60 cm wordt gewerkt.

In de tweede plaats zal het niet zo zijn dat een kasoppervlak in één keer wordt vol gelegd om vervolgens een jaar met rust te worden gelaten. Een kassendroogcomplex zal een min of meer continue aanvoer van slib hebben (met mogelijk een seizoensafhankelijke variatie) en een continue, of batchgewijze afvoer van gedroogd slib. De zeer ongelijke verdampingscapaciteit van de kas zal dan betekenen dat er een dynamisch verloop van storthoogte en drogestofgehalten zal optreden. In de navolgende paragrafen zal aan de hand van concrete casestudies de interactie van kasoppervlak en aan- en afvoerprofielen op de drogingscapaciteit van een kas in beeld worden gebracht. Op grond hiervan kan het benodigd kasoppervlak voor elke gewenste kwaliteit van het eindproduct worden bepaald.

4.6 STAPPENPLAN ONTWERP EN KOSTEN

Het rekenmodel kon in het tijdsbestek van dit project niet tot een gebruikersvriendelijk en fail-safe softwarepakket worden verwerkt. Vanuit het uitgebreide model kunnen echter een paar eenvoudige kengetallen worden opgesteld waarmee een redelijk nauwkeurige inschatting van het benodigde oppervlak en de kosten van een kassendroogstelsysteem te geven is. Het startpunt van deze grove berekening is de bepaling van de hoeveelheid water die men wil verdampen. Dit hangt af van het uitgangsdrogestofpercentage, de hoeveelheid ontwaterd slib en het gewenste einddrogestofpercentage.

De hoeveelheid af te voeren water door middel van verdamping volgt uit:

$$\text{Verdampte water} = \text{ton Slibkoek} * (1 - DS_{\text{begin}}/DS_{\text{eind}}) \quad [\text{m}^2]$$

Indien dit watergeheel met zonne-energie wordt afgevoerd, is een vuistregel, dat elke m^2 kas $0,60 \text{ m}^3$ water per jaar verdampt. Deze $0,60$ is lager dan de $0,65 \text{ m}^3$ water die theoretisch per m^2 per jaar uit een kas kan worden verdampt, maar zoals in het volgende hoofdstuk zal blijken, moet er in bijna alle casussen extra ruimte worden aangehouden om de slibkoekdikte niet te hoog te laten oplopen. Een eerste schatting voor het benodigde kasoppervlak is dan:

$$\text{Kasoppervlak} = \text{Verdampte water} / 0,60 \quad [\text{m}^2]$$

Als er daarnaast ook restwarmte wordt gebruikt, neemt het benodigde kasoppervlak af met het deel van de verdamping dat de restwarmte voor z'n rekening neemt. Als richtgetal kan worden gehanteerd, dat elke GJ restwarmte in een eenvoudige droogruimte zoals een kas $0,2 \text{ m}^2$ water kan verdampen. Toepassing van restwarmte laat het benodigde kasoppervlak dus afnemen volgens:

$$\text{Kasoppervlak} = (\text{Verdampte water} - GJ_{\text{restwarmte}} * 0,2) / 0,60 \quad [\text{m}^2]$$

Deze laatste formule kan natuurlijk ook worden gebruikt om een inschatting te maken van de hoeveelheid restwarmte die nodig is om het kasoppervlak te beperken tot een bepaald maximum.

Een vuistregel voor de investeringskosten voor een kassendroogstelsysteem kan worden afgeleid uit de casussen die in hoofdstuk 5 worden besproken. Het blijkt dat de kassen, inclusief de omwoel-installaties, ongeveer 600 euro per m^2 kosten, maar dat de m^2 -prijs afneemt met de schaalgrootte met $0,9 \text{ cent per m}^2$. Een droogkas van 1.000 m^2 kost dus ongeveer 590 euro per m^2 en een droogkas van 2 hectare kost 420 euro per m^2 . Dus:

$$\text{Investering} = \text{Kasoppervlak} * 600 - 0,009 * \text{Kasoppervlak}^2$$

De jaarkosten van de investering zijn bepaald op basis van de casussen in hoofdstuk 5. Deze bedragen circa 13% van de investering (afschrijving, rente en onderhoud). De variabele kosten voor arbeid en elektra voor het drogen bedragen ongeveer € 7,50 per ton te drogen slib. Een ruwe schatting van de jaarkosten van een kassendroogstelsel is dus de som van:

- 1 Kapitaalkosten: 13% van de investeringen
- 2 Kosten voor arbeid en elektriciteit: € 7,50 per ton te drogen slibkoek.
- 3 Kosten voor de restwarmte, bijvoorbeeld € 5,- per GJ

De kosten die deze droging met kassen met zich meebrengen, moeten opwegen tegen de vermindering van de afzetkosten die optreden door de volumevermindering en mogelijk ook door een verhoogde waardering van gedroogd slib vanwege de verhoging van de verbrandingswaarde (en dus lagere afzetkosten van het gedroogde slib).

5

CASUSSEN SLIBDROGING IN KASSEN IN NEDERLAND

5.1 INLEIDING

Om een beeld te krijgen van de mogelijkheden van slibdroging in kassen voor de Nederlandse situatie zijn in dit hoofdstuk vier verschillende casussen met behulp van het rekenmodel doorgerekend. De casussen zijn op technische en economische aspecten uitgewerkt en becommentarieerd.

In paragraaf 5.2 worden eerst de uitgangspunten besproken, de casussen beschreven en een schatting gegeven van de verwerkingskosten van gedroogd slib. In de paragrafen 5.3 tot en met 5.7 worden de casussen uitgewerkt en beschreven. In de paragrafen 5.8 en 5.9 worden de energiebalans en de uitwerking daarvan op de MJA3 uitgewerkt. In paragraaf 5.10 tenslotte wordt ingegaan op de invloed van kassendroging op de CO₂ uitstoot.

5.2 UITGANGSPUNTEN

De volgende 4 casussen worden uitgewerkt:

- 1 **Rwzi Ameland:** kleinschalig, rwzi zonder extern slib, voorontwatering, alleen zonlicht, afvoer éénmaal per jaar
- 2 **Rwzi Echten:** grootschalig, rwzi met centrale slibverwerking, alleen zonlicht, afvoer in zomermaanden
- 3 **Awzi Dronten:** kleinschalig, rwzi zonder extern slib, droging met zonlicht, aangevuld door restwarmte WWK, afvoer in zomermaanden
- 4 **Wetterskip Fryslân:** grootschalig, centrale slibverwerking bij warmtebron, met slibtransport naar drooglocatie, onbeperkte restwarmte met een beetje zonlicht, afvoer gedurende het hele jaar.

Bij de kostenramingen zijn de bouwkosten verhoogd met een toeslagfactor van circa 1,7 om rekening te houden met BTW, bouwrente, vergunningen, onvoorzien, kosten waterschap, etc. De jaarlijkse kosten voor afschrijving zijn gebaseerd op een rente van 4 %. De annuïteitfactoren zijn dan voor 10 jaar 0,123, voor 15 jaar 0,090, voor 20 jaar 0,074 en voor 30 jaar 0,058.

Bij de verschillende casussen zijn kosten van grond en de kosten van een eventuele luchtbehandeling niet meegenomen, omdat deze locatiespecifiek zijn. In paragraaf 5.7 wordt hierop nog nader ingegaan.

Slibtransport speelt alleen een rol bij casus 4, waarbij het ontwaterde slib van een centrale slibontwatering wordt getransporteerd naar een leverancier van restwarmte [2].

Bij het doorrekenen van het rekenmodel zijn kosten aangenomen voor de afzet van het gedroogde slib. Deze afzetkosten zijn indicatief bepaald aan de hand van interpolatie van enkele marktprijzen (all in, inclusief BTW en transport). Hierbij is uitgegaan van 70 euro per ton ontwaterd slib van 40 %, 40 euro per ton voor de afzet van biologisch gedroogd slib van 70 % en 30 euro per ton granulaat van 80 %. Tabel 5.1 is een interpolatie. Deze prijzen zijn indicatief omdat deze in de praktijk variëren per slibcontract.

TABEL 5.1 INDICATIEVE AFZETKOSTEN VAN GEDROOGD SLIB ALS FUNCTIE VAN DROGESTOFGEHALTE (INCLUSIEF BTW EN TRANSPORT)

Drogestofgehalte slib (%)	Kosten (€ per ton gedroogd slib)
40	70
50	55
70	40
90	20

5.3 CASUS 1 SLIBDROGING OP AMELAND

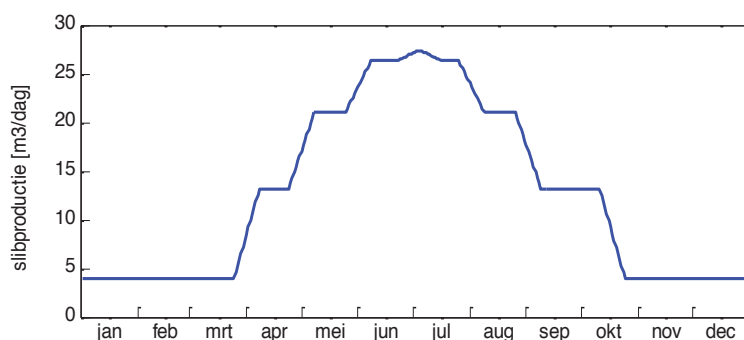
5.3.1 UITGANGSPUNTEN

De rioolwaterzuiveringsinstallatie op Ameland produceert per jaar 4.800 ton dun (niet uitgest) slib met een drogestofgehalte van 4%. In eerste instantie is gekeken naar het drogen van ingedikt slib in de kas, zonder ontwateringstap, maar daarmee is een groot kasoppervlak nodig (circa 7.500 m²). Daarom is bij deze casus gekozen voor een ontwatering met een schroefpers. Er is namelijk regelmatig iemand aanwezig voor beheer en onderhoud, waardoor dit mogelijk is. Dit systeem lijkt ten opzichte van alternatieven weinig kritisch te zijn qua beheer en onderhoud. Met de schroefpers kan deze 4% drogestof worden verhoogd naar circa 19% droge stof, waardoor het volume gereduceerd wordt naar 1.000 ton slibkoek per jaar.

Dit betekent dat er 1.000 ton slibkoek via de kas wordt gedroogd. Het is de wens om voor de rwzi in Ameland het slib te drogen naar 70% om de het transport per boot te verminderen. Aangezien er op Ameland geen restwarmtestromen voorhanden zijn, zal de droging geheel door zonne-energie plaatsvinden. Dit gebeurt in een potstalconcept waarbij het slib wordt opgepot in de kassen. Het gedroogde slib wordt vervolgens eenmaal per jaar afgevoerd naar het vaste land.

Het aanbod varieert sterk met het vakantie seizoen. In de periode van 1 oktober tot 1 maart komt slechts 20% van het jaartotaal vrij, in april en september elk 10% van het jaartotaal en in de zomerperiode van mei tot en met augustus de resterende 60%. Voor de berekeningen wordt uitgegaan van het onderstaande verloop zoals weergegeven in figuur 5.1.

FIGUUR 5.1 GESCHATTE SLIBPRODUCTIE PER DAG DOOR DE RWZI AMELAND



Omdat het slib op het vaste land verwerkt wordt, vergt het op dit moment veel transport (per schip). Bij 4% droge stof betekent de slibafvoer een transport dat voor 96% uit water bestaat. Een schroefpers reduceert het volume met een factor 4 (van 4.000 ton naar 1.000 ton/jaar), maar ook dan bestaat het transport nog steeds voor het overgrote deel uit het transport van water (81%).

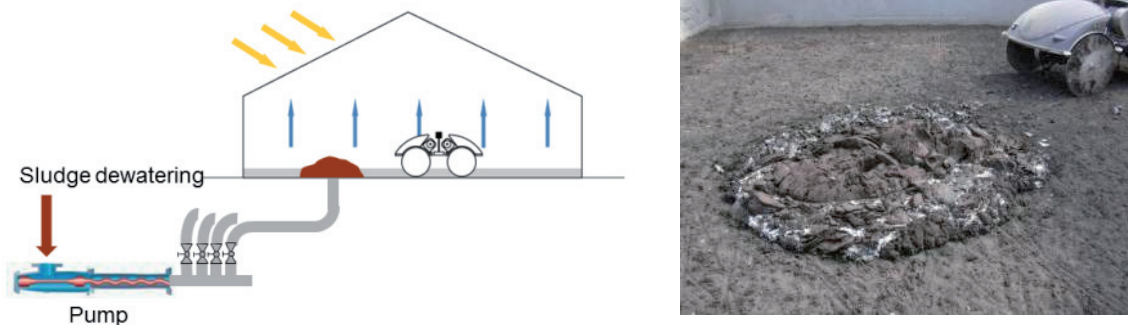
Indien het slib met behulp van een droogkas verder wordt gedroogd naar 70% droge stof, neemt het slibvolume nog eens af met 73% tot 274 ton. Deze hoeveelheid kan gemakkelijk éénmaal per jaar met één scheepslading worden vervoerd (potentieel circa 400 ton per lading).

Modelberekeningen geven aan dat het leeghalen van de kas het beste begin april kan plaatsvinden, vóór het moment dat het toerisme naar het eiland een grote vlucht gaat nemen. In de berekeningen wordt daarom verondersteld dat het droogcomplex op 1 april leeg is.

5.3.2 BEDRIJFSVOERING KAS

Bij het concept voor Ameland wordt gewerkt via het potstalconcept, dat wil zeggen dat het slib na (voor)ontwateren en de schroefpers naar de kas wordt verpompt en zich voortdurend gedurende het jaar ophoopt, en één maal per jaar wordt gelegeerd en afgevoerd per schip, zie figuur 5.2.

FIGUUR 5.2 TOEVOERWIJZE VAN HET ONTWATERDE SLIB (POTSTALCONCEPT)



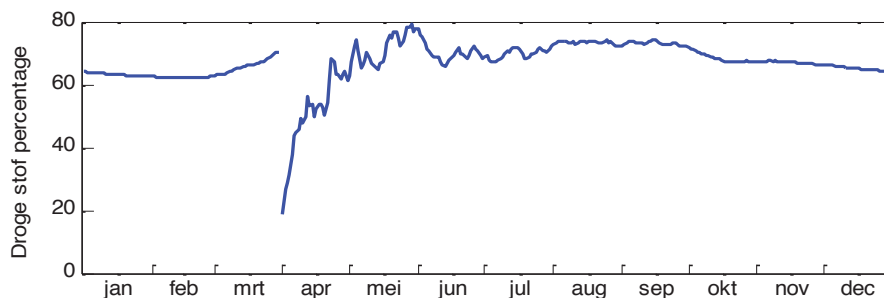
Er wordt bij deze cases uitgegaan van het batch concept van Thermo-System met de elektrische mol voor het omwoelen, omdat dit geschikt is voor het potstalconcept en ook dunnere slibgehalten aankan. Bij de berekeningen wordt verondersteld dat het nieuwe slib door de elektrische mol steeds helemaal wordt vermengd met het reeds aanwezige slib. Het verpompen of schroeven van het ontwaterde vergt nog de nodige aandacht.

5.3.3 MODELBEREKENINGEN

In de modelberekeningen leidt een bepaalde slibaanvoer gedeeld door het kasoppervlak tot een bepaalde drogestof- en wateraanvoer per m^2 per dag. Deze water- en drogestofaanvoer komt bovenop de op die dag reeds aanwezige hoeveelheid water en drogestof. Dit resulteert in een drogestofpercentage van het mengsel en met dit percentage kan het verdampingspotentieel voor die dag worden berekend (de combinatie van figuur 4.1 en vergelijking 1 uit paragraaf 4.4). Het netto resultaat leidt er dan toe dat het slib op die dag droger is geworden (als het een zonnige dag is), of natter op een donkere dag. Op zo'n dag wordt er meer water per m^2 aangevoerd met het nieuwe slib dan er door de zon wordt verdampt.

Figuur 5.3 toont de ontwikkeling van het drogestofgehalte van het slib wanneer de slibproductie van de rwzi Ameland in een kas van 1.300 m² wordt gedroogd.

FIGUUR 5.3 BEREKEND VERLOOP VAN HET DROGESTOFGEHALTE VAN DE SLIBKOEK VAN DE RWZI AMELAND BIJ GEBRUIK VAN EEN DROOGKAS VAN 1.300 M²

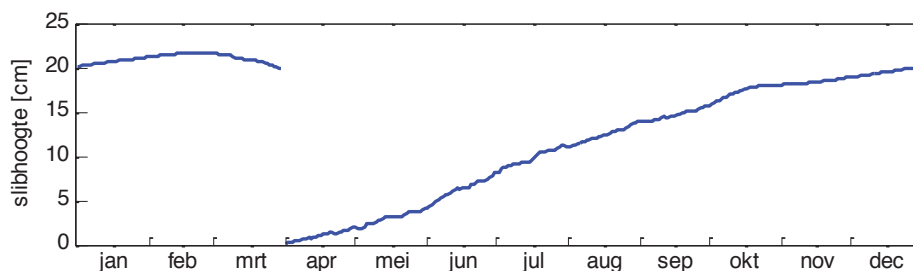


Figuur 5.3 laat zien dat gedurende de zomer het drogestofgehalte tot 80% oploopt, vervolgens in de winter enigszins daalt en daarna in maart, vlak voordat de kas wordt leeggehaald, weer toeneemt tot de beoogde eindwaarde van 70%. Dit komt doordat in de zomer ongeveer 4,5 m³ water per dag wordt aangevoerd, terwijl de verdampingscapaciteit van een kas van 1.300 m² op zonnrijke dagen volgens figuur 4.1 in dezelfde orde grootte ligt. In de winter is de aanvoer van water in het geperste slib laag, ongeveer 0,75 m³ per dag, maar is de verdampingscapaciteit van de kas vaak nog kleiner (0,25 kg/(m² dag) en dat is op 1.300 m² nog geen 0,3 m³ water per dag).

Hierdoor daalt het drogestofgehalte van de slibkoek gestaag. In maart zijn er onder gemiddelde omstandigheden altijd wel een paar mooie dagen die nog een duidelijke extra droging van de dan aanwezige slibkoek opleveren. Het eind drogestofgehalte wordt berekend op 71%, zodat bij toepassing van een kas van 1.300 m² nog slechts 260 ton hoeft te worden afgevoerd.

Uit de bovenstaande gegevens kan worden afgeleid dat er bij gebruik van een kas van 1.300 m² per jaar $1.000 - 260 = 740$ m³ water wordt verdampt. Dit is een beetje minder dan de $1.300 \cdot 0,65 = 845$ m³ die verwacht mag worden op grond van de gemiddelde verdamping uit kassen onder Nederlandse omstandigheden. Dit verschil komt doordat de droogpotentie van de zomer niet altijd maximaal gebruikt kan worden, omdat er af en toe minder water wordt aangevoerd dan de kas potentieel zou kunnen verdampen. Op die dagen wordt het slib zo droog dat de verdamping wordt geremd. De sliblaag zal over het algemeen vrij dun zijn. Figuur 5.4 toont de berekende gemiddelde slibhoogte in cm.

FIGUUR 5.4 BEREKEND VERLOOP VAN DE GEMIDDELDE SLIBHOOGTE IN DE KAS



Wegens de geringe slibdikte en het potstalconcept is voor de casus Ameland de elektrische mol de meest geschikte machine om het slib om te woelen. Daardoor zal er in de praktijk veel variatie zitten in de slibdikte. De verdamping zou daarom in de praktijk wat minder efficiënt kunnen verlopen dan volgens de berekeningen, waar drogestof en water steeds goed gemengd worden verondersteld. In de zomer is de sliblaag relatief dun en heeft dus het meeste nadeel van een onevenwichtige verdeling van vocht. Toch zal dit geen grote invloed op de droogcapaciteit hebben omdat het droogstelsel juist in de zomer minstens 10 % overcapaciteit heeft. Het is vooral de periode november tot en met maart waar het volledige kasoppervlak nodig is om het aangevoerde water kwijt te raken.

5.3.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Als het kasoppervlak kleiner wordt gekozen, neemt het eindvolume uiteraard toe, maar bij een grotere kas neemt het volume nauwelijks verder af omdat het grootste deel van die 260 ton uit drogestof bestaat en niet uit water, zie tabel 5.2.

TABEL 5.2 RELATIE TUSSEN KASOPPERVLAK EN EIND DROGESTOFGEHALTE EN RESTERENDE AFVOER DROOG SLIB

Kasoppervlak (m ²)	Eind ds-gehalte (%)	Af te voeren hoeveelheid (ton/jaar)
1.000	55	330
1.100	61	300
1.200	66	275
1.300	71	260
1.400	74	245
1.500	78	235

5.3.5 KOSTEN

De casus op Ameland wordt uitgevoerd volgens het systeem met de elektrische mol van Thermo-System, 2 stuks, kosten 140 kEuro per stuk (inclusief toeslagen en BTW). In tabel 5.3 zijn de investeringskosten weergegeven. De kosten van de schroefpersen en transportpompen zijn niet meegenomen omdat de toepassing van zo'n schroefpers sowieso interessant is voor de rwzi Ameland¹ en dus niet relevant is voor de huidige onderzoeksvraag.

TABEL 5.3 INVESTERINGSKOSTEN DROOGKAS BIJ DE RWZI AMELAND

Kosten installatie	waarde	prijs/eenh (ex. BTW)	kosten (+ 70%)	Afschr. en annuïteit	Onderhoud	Jaarkosten
Kasopstand + onderbouw	1300 m ²	150 €/m ²	332 k€	20 jr 0,074	2 %	31,2 k€
Bedrijfsruimte	50 m ²	250 €/m ²	21 k€	20 jr 0,074	3 %	2,2 k€
Klimaatregeling (50 k€ + 50 k€/ha)			67 k€	15 jr 0,090	1 %	6,7 k€
Gevelventilatoren (incl montage)	5 stuks	800 €/stuk	7 k€	15 jr 0,090	2 %	0,7 k€
Circulatieventilatoren	(1 per 200 m ²)	300 €/stuk	2 k€	10 jr 0,123	1 %	0,3 k€
Omwoelmachines		160 k €	272 k€	10 jr 0,123	3 %	41,6 k€
Totaal			0,70 m€			90 k€
			539 €/m²			

1 Een schroefpers van de benodigde capaciteit (pieklast zomer 25 m³/d) kost ongeveer 200 k€ en bespaart bij slib-afzetkosten van 100 euro per ton 300 k€ per jaar en is dus binnen een jaar terugverdiend

TABEL 5.4

DE TOTALE JAARLIJKSE KOSTEN INCLUSIEF DE AFZETKOSTEN VAN HET GEDROOGDE SLIB

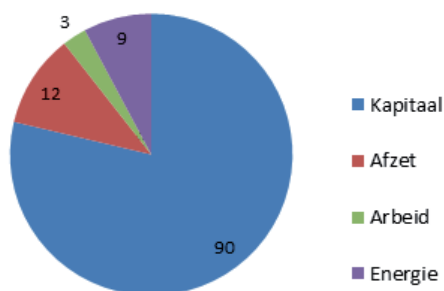
Variabele kosten		prijs/eenh (ex. BTW)	k€/j (incl BTW)
Arbeid	63 uur	50 €/uur	3 *
elektra ventilatoren	42 MWh	150 €/MWh	8
elektra spitmachines	7 MWh	150 €/MWh	1
Afzetkosten	260 ton	38,8 €/ton	12
Vaste kosten			90
Totale kosten voor slibverwerkingsysteem			114 k€ per jaar
			114 €/ton

* ex BTW

De arbeidskosten zijn ingeschat door uit te gaan van eenmalig leegmaken van de droogruimte en een wekelijkse inspectieronde. De totale jaarlijkse kosten voor het drogen van de 1.000 ton slibkoek naar 260 ton gedroogd slib bedragen voor de casus rwzi Ameland 114.000 euro per jaar (24 kEuro variabele kosten en 90 kEuro kapitaalkosten), zie tabel 5.4. Voor de verdeling van de kosten over de verschillende parameters, zie figuur 5.5.

FIGUUR 5.5

KOSTENVERDELING IN K€ PER JAAR VOOR DE SLIBDROGING RWZI AMELAND



5.3.6 CONCLUSIES

Zoals altijd bij installaties die intensief gebruik maken van zonne-energie vormen de kapitaalkosten de belangrijkste kostenpost.

De jaarlijkse kosten van kassendroging (na een schroefpers) bedragen dus circa 114.000 euro per jaar, inclusief afzet, maar exclusief één maal transport naar het vasteland.

Deze kosten worden vergeleken met de huidige slibverwerkingskosten en de huidige 12 keer transport per schip per jaar. Door de vermindering van het transportvolume zullen de transportkosten behoorlijk dalen. De huidige slibverwerkingskosten op Ameland bedragen: transport 87.000 euro per jaar, ontwatering circa 14.000 (tot 25 % drogestof in Heerenveen) en eindafvoer naar Swiss Combi: 64.000 euro per jaar, totaal 165.000 euro per jaar. Met een kostenverschil van 165.000-114.000 = 51.000 euro is de terugverdientijd 14 jaar. Ondanks de hoge prijs per ton koek van 114 euro is slib drogen met kassen (na een schroefpers) goedkoper dan de huidige manier van slibverwerking².

2 Het installeren van een ontwatering met schroefpers zou de eerste stap moeten zijn. Daarmee wordt al fors op kosten bespaard. De logistiek van ontwaterd slib vergt dan echter weer de nodige aandacht. Van gedroogd slib lijkt dit juist weer eenvoudiger. Deze afwegingen zijn echter geen onderdeel van deze studie.

5.4 CASUS 2 RWZI ECHTEN

5.4.1 UITGANGSPUNTEN

De rioolwaterzuiveringsinstallatie in Echten produceert jaarlijks 25.000 ton slibkoek met een drogestofgehalte van 25%. De slibproductie is min of meer evenredig over het jaar verdeeld zodat er 480 m³ slib per week, ofwel 68,5 m³ per dag vrijkomt. Drogen van dit slib door middel van kassen zal de transportkosten verlagen.

Voor de rwzi Echten is aangegeven dat gestreefd wordt naar een drogestofpercentage van tenminste 50%. Het slib wordt vervolgens biologisch verder gedroogd in Zutphen.

5.4.2 BEDRIJFSVOERING KAS

De min of meer constante aanvoer van het steekvaste slib maakt dat het voor deze casus aannemelijk is dat het slib een paar keer per week met een shovel naar het droogcomplex wordt gereden waar dit vervolgens via een portaal-omwoel en verdeelmachine over het droogoppervlak wordt verdeeld. Denk hierbij aan de systemen van Wendewolf of Huber. Deze machines bewerken een oppervlak van 10 meter breed en maximaal zo'n 120 meter lang ofwel 1 machine per 1.200 m².

Deze portaal machines kunnen het slib over het oppervlak verdelen, omwoelen en naar achter schuiven, waarbij er ook nog een verschil in werking kan worden aangebracht tussen de vulkant van de installatie waar de slibkoek wordt aangevoerd en de afvoerkant van de installatie waar het gedroogde slib wordt afgevoerd. Het "natte deel" kan dus over een zo groot mogelijk oppervlak worden verdeeld, terwijl slib dat voldoende gedroogd is op een hoop naar de achterkant kan worden geschoven.

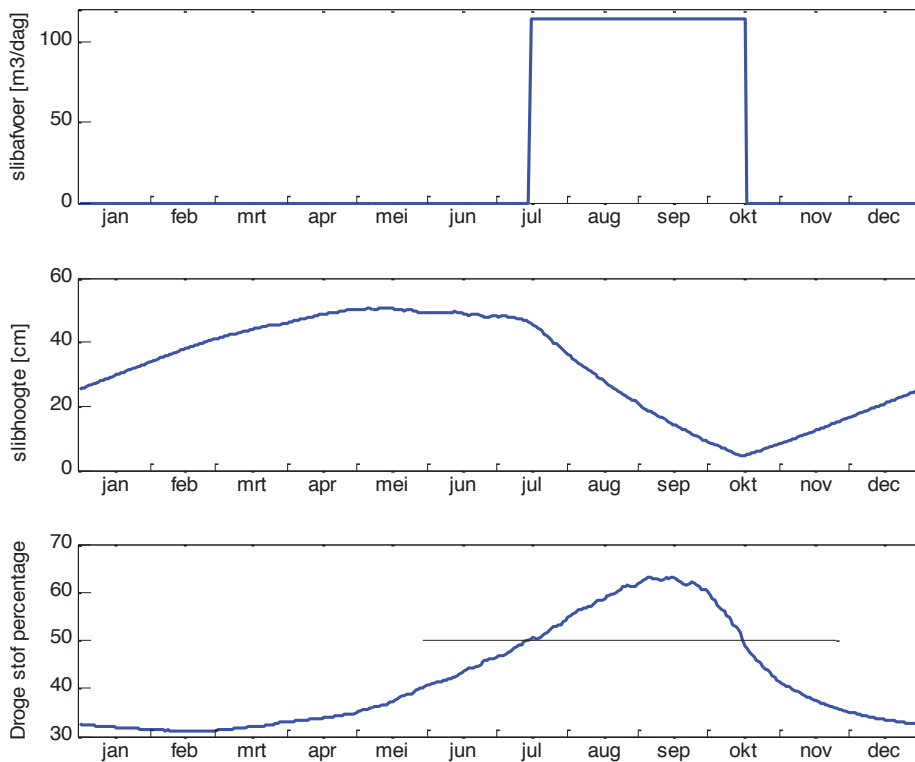
Voor de rwzi Echten is aangegeven dat gestreefd wordt naar een ds-percentage van tenminste 50%. Deze 50% ligt nog ruim onder de 65% waarboven er duidelijk sprake is van reductie van de verdampingssnelheid. Dit betekent dat het geen probleem is om het nieuw aangevoerde slib steeds te vermengen met het al aanwezige slib.

5.4.3 MODELBEREKENINGEN

De modelmatige aanpak begint vergelijkbaar met de modellering van de casus op Ameland. De dagelijkse aanvoer van slibkoek wordt vermengd met de reeds aanwezige hoeveelheid droger slib en geeft daarmee een verlaging van het drogestofgehalte. Er wordt echter ook elke dag een hoeveelheid water verdampt, waardoor het drogestofgehalte toeneemt. In tegenstelling tot de situatie bij rwzi Ameland wordt er bij de rwzi Echten niet eenmalig slib afgevoerd. In de berekeningen is er van uitgegaan dat er steeds slib wordt afgevoerd als het slib droger is dan 50% ds, waarbij er gemiddeld 120 m² gedroogd slib per dag wordt afgevoerd.

Figuur 5.6 laat zien hoe onder die uitgangspunten de afvoer van slib vanuit het droogcomplex bij Echten plaatsvindt indien de kas 22.000 m² groot is. Bij dit kasoppervlak is de droogcapaciteit in de winter te klein om de zich ophopende koek te drogen. De dagelijkse aanvoer van 50 m³ water, is meer dan de verdamping uit een 22.000 m² kas in de winter. Pas halverwege juli voldoet het slib dat zich vanaf november in het voorafgaande jaar heeft opgehoopt aan het criterium van een drogestofgehalte boven de 50%. Op dat moment wordt begonnen met het leegrijden van de kassen.

FIGUUR 5.6 AFVOERPATROON, SLIBHOOGTE EN DROGESTOFFERCENTAGE VAN GEDROOGD SLIB VANAF DE RWZI ECHTEN BIJ GEBRUIK VAN 22.000 M² OPPERVLAK DROOGKASSEN



In totaal wordt er 10.000 m³ afgevoerd en omdat dit met gemiddeld 120 m³ per dag gebeurt, beslaat de afvoerperiode 90 dagen. Op het moment dat het afvoeren begint, ligt de kas erg vol met slib (ruim 50 cm slibhoogte) dus het uitrijden gebeurt in een lange aaneengesloten periode. Tot begin september is de aanvoer van water met het nieuwe slib kleiner dan de verdamping vanuit de kas (hoog zomer), zodat gedurende die periode het drogestofgehalte stijgt tot maximaal zo'n 62% in de eerste week van september. In de periode van half september tot eind oktober daalt het drogestofpercentage, omdat de aanvoer van water groter is dan de afvoer. Eind oktober is de kas nog niet helemaal leeg, maar omdat vanaf oktober tot en met februari de benodigde afvoer van water (34 m³ per dag) groter is dan de verdamping die de kas kan realiseren (die is in de winter gemiddeld zo'n 0,6 liter per m³ per dag = 13 m³ voor een kas van 22.000 m²) kan er geen slib worden afgevoerd dat aan het gestelde criterium van 50% drogestof voldoet. Vanaf begin maart begint het drogestofgehalte weer op te lopen totdat het begin juli weer aan het afvoercriterium voldoet.

De conclusies van de modelberekeningen voor de situatie in Echten is dus, dat er bij gebruik van een kas van 22.000 m² voldaan kan worden aan de eis om het slib af te voeren met een drogestofgehalte van meer dan 50%. De afvoer is echter niet continue over het jaar, maar geconcentreerd in 90 dagen rondom 1 september.

5.4.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Indien de slibafvoer meer verspreid over de tijd uitgesmeerd wordt, dan wordt de maximale afvoer per dag verlaagd. Het simulatiemodel laat zien dat ook als er bijvoorbeeld maximaal 60 m³ per dag wordt afgevoerd, voldaan kan worden aan de drogingseis.

Het 'afvoerblok' zoals dat in figuur 5.6 wordt getoond, wordt dan half zo hoog en grofweg twee keer zo breed en loopt dan van juni tot en met half december. Indien het kasoppervlak niet vergroot wordt, neemt de gemiddelde slibkoekhoogte in de kas dan echter toe van de 30 cm die in figuur 5.6 te zien is naar gemiddeld 80 cm (variërend tussen 70 en 90 cm). In feite wordt de dikte van de slibkoek gebruikt als opslagbuffer om de onevenwichtigheid tussen aanbod en afvoer op te vangen. Het is niet waarschijnlijk dat de machine die de koek omwoelt en verplaatst met zo'n dikke koek overweg kan. Als er meer spreiding van de afzet in de tijd gewenst is, zonder dat er gebufferd kan worden 'in de diepte', zal er gebufferd worden 'in de breedte' en dus een groter kasoppervlak nodig zijn. Dat is kostenverhogend. Neveneffect is dan dat het slib gemiddeld nog wat droger wordt.

In tabel 5.5 wordt de relatie tussen het kasoppervlak, het aantal afvoerdagen en totale afvoer getoond voor vier kasoppervlakken. De tabel laat ook zien dat met een toenemend kasoppervlak de slibkoek steeds droger wordt afgeleverd.

TABEL 5.5 RELATIE TUSSEN KASOPPERVLAK, AFVOERPERIODE EN HAALBARE DROGESTOFGEHALTE VOOR HET DROOGPROCES BIJ RWZI ECHTEN

kasoppervlak	Lengte afvoerperiode	Af te voeren hoeveelheid	Gemiddeld drogestofgehalte
20.000 m ²	70 dagen	11.850 ton	53%
22.000 m ²	90 dagen	10.800 ton	57%
24.000 m ²	180 dagen	10.300 ton	60%
26.000 m ²	250 dagen	9.870 ton	63%

5.4.5 KOSTEN

Het droogproces in Echten wordt uitgevoerd met het omwentelingsysteem van Wendewolf. Voor een kasoppervlakte van 22.000 m² zijn de volgende uitgangswaarden gehanteerd:

Aantal benodigde Wendewolf systemen:	18
Kosten per systeem:	200 kEuro
Totaal aantal arbeidsuren per jaar	1.520 uren per jaar
Stroomverbruik	184 MWh

In tabel 5.6 zijn de investeringskosten van de totale installatie weergegeven.

TABEL 5.6 INVESTERINGSKOSTEN VAN DE KASSENDROGING RWZI ECHTEN

Kosten installatie	waarde	prijs/eenh (ex. BTW)	kosten (+ 70%)	Afschr. en annuïteit	Onderhoud	Jaarkosten
Kasopstand + onderbouw	22000 m ²	120 €/m ²	4488 k€	20 jr 0,074	2 %	421,9 k€
Bedrijfsruimte	50 m ²	250 €/m ²	21 k€	20 jr 0,074	3 %	2,2 k€
Klimaatregeling (50 k€ + 50 k€/ha)			194 k€	15 jr 0,090	1 %	19,4 k€
Gevelventilatoren (incl montage)	74 stuks	800 €/stuk	101 k€	15 jr 0,090	2 %	11,1 k€
Circulatieventilatoren	(1 per 200 m ²)	300 €/stuk	33 k€	10 jr 0,123	1 %	4,4 k€
Omwoelmachines		2160 k €	3672 k€	10 jr 0,123	3 %	561,8 k€
Totaal			8,51 m€			1106 k€
			387 €/m²			

In tabel 5.7 worden de jaarlijkse kosten gepresenteerd. De totale jaarlijkse kosten van het slibverwerkingssysteem bij rwzi Echten bedragen 1.977 kEuro per jaar. Dit betekent dat de afzetkosten uitgaande van de slibkoek 79 €/ton slibkoek (25.000 ton, 25% droge stof) zijn.

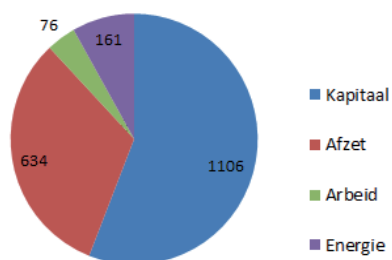
TABEL 5.7 DE JAARLIJKSE KOSTEN INCLUSIEF DE AFZETKOSTEN VAN HET GEDROOGDE SLIB

Variabele kosten		prijs/eenh (ex. BTW)	k /j (incl BTW)
Arbeid	1520 uur	50 €/uur	76 *
elektra ventilatoren	704 MWh	150 €/MWh	128
elektra spitmachines	184 MWh	150 €/MWh	33
Afzetkosten	10800 ton	48,5 €/ton	634
Vaste kosten			1106
Totale kosten voor slibverwerkingsysteem			1977 k€ per jaar
			79 €/ton

* ex. btw

Voor de verdeling van de kosten over de verschillende parameters, zie figuur 5.7.

FIGUUR 5.7 VERDELING KOSTEN OVER DE VERSCHILLENDE PARAMETERS IN K€ PER JAAR VOOR DE SLIBVERWERKING OP RWZI ECHTEN



5.4.6 CONCLUSIES

Omdat het watergehalte van het uitgangsmateriaal in Echten al lager is dan in de vorige casus en het gemiddelde drogestofgehalte van het gedroogde materiaal lager is (57% procent in plaats van 71%) is de volumereductie voor de casus Echten niet zo groot en vormt de afzet van het slib nog steeds een forse kostenpost.

De integrale kosten voor de afvoer van het slib na droging in kassen is 79 €/ton slibkoek. Het huidige tarief van de slibeindverwerking bij GMB bedraagt 93 euro/ton koek, all in [3]. Droging in kassen voor de situatie in Echten geeft dus een verlaging van de afzetkosten met 14 euro per ton koek en levert dus ruim 350 kEuro aan besparingen op de afzetkosten per jaar. Bij de berekende investering van 8,5 Meuro betekent dit een terugverdientijd van 24 jaar. De terugverdientijd is dus te lang, zeker gezien de huidige marktontwikkelingen met dalende slibverwerkingstarieven. Een kassencomplex met alleen zonlicht (zonder restwarmte) bij de rwzi Echten is dus niet haalbaar.

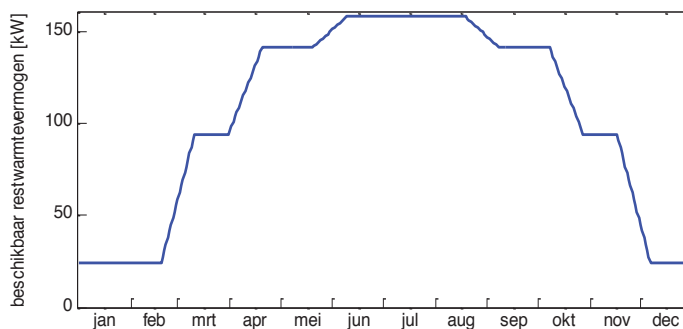
5.5 CASUS 3 AWZI DRONTEN

5.5.1 UITGANGSPUNTEN

De afvalwaterzuiveringsinstallatie in Dronten produceert met 2.500 ton slibkoek per jaar met een redelijk hoog drogestofgehalte (24%). Ook hier zal het drogen het transportvolume reduceren en de (verbrandings)waarde van het afgevoerde slib vergroten. Voor de droging van het slib heeft de rwzi naast zonlicht ook een hoeveelheid restwarmte vanuit een WKK-installatie. Deze levert 3.3 TJ aan restwarmte per jaar (aanname: variërend over het jaar). In deze casus wordt het slib op-gepot in de winter en minimaal gedroogd tot 70% drogestof in de zomer.

Voor de berekeningen in deze studie wordt de onderstaande verdeling van het WKK restwarmtevermogen over het jaar verondersteld (figuur 5.8). Het maximale vermogen is 160 kW in de zomer en in de winter is het restwarmtevermogen beperkt tot 20 kW.

FIGUUR 5.8 VERONDERSTELD PATROON IN RESTWARMTEBESCHIKBAARHEID UIT DE WKK OVER HET JAAR. DIT PATROON BETEKENT OP JAARBASIS 3,3 TJ, WAARVAN 2 TJ IN DE PERIODE VAN 1 MEI TOT 1 OKTOBER



5.5.2 BEDRIJFSVOERING KAS

De bedrijfsvoering komt overeen met die bij rwzi Echten. De constante aanvoer van het steekvaste slib maakt dat het slib een paar keer per week met een shovel naar de voorkant van de kas wordt gereden, waar dit vervolgens via een portaalomwoel- en verdeelmachine over het drogoppervlak wordt verdeeld; Het concept van Wendewolf.

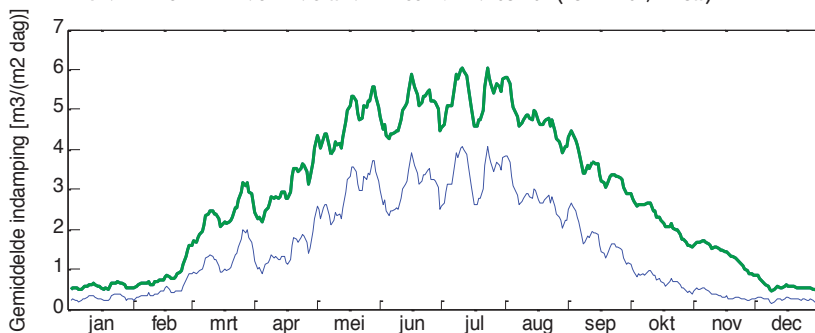
5.5.3 MODELBEREKENINGEN

Op grond van de literatuur (onder andere Bennamoun, 2012 [3]) blijkt dat bij gebruik van rest-warmte voor de bevordering van droging vanuit kassen ervan uitgegaan kan worden dat 45% van de energie uit zo'n restwarmtebron wordt omgezet in verdamping en de overige 55% in de vorm van voelbare warmte wordt afgezet. Dit betekent dat de restwarmte uit de WKK goed is voor $3,3 \cdot 10^{12} \times 45\% / 2,4 \cdot 10^9 = 624 \text{ m}^3$ waterverdamping. De reductie van het drogestofpercentage van 2.500 ton slibkoek van 24 % naar bijvoorbeeld 50% vereist de verdamping van 1.300 m³ water zodat bij droging van het slib met de combinatie van zonne-energie en restwarmte ongeveer de helft van de energie uit de zon en de andere helft uit de overtollige WKK-warmte plaatsvindt.

Aangezien een kas gemiddeld 0,65 m³ water per m² per jaar verdampt, komt een eerste schatting voor het benodigd kasoppervlak op 1.000 m². In werkelijkheid moet de kas groter zijn omdat er buffercapaciteit nodig is wegens het grote verschil in energieaanvoer tussen zomer en winter. Deze onevenwichtigheid wordt door het gebruik van WKK restwarmte

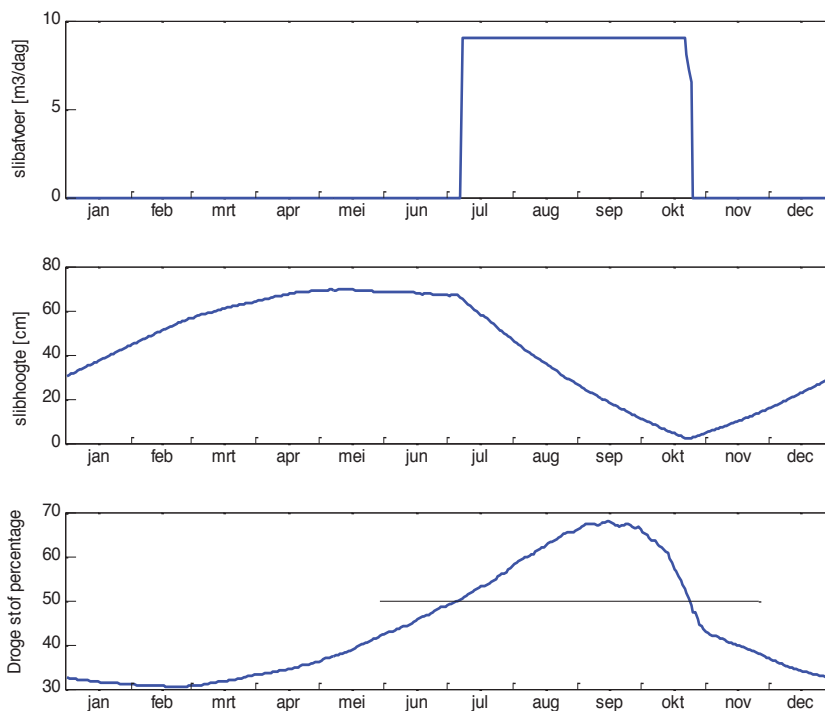
zoals verderop blijkt (zie figuur 5.9) zelfs nog groter dan in de vorige casussen, omdat een WKK in de zomer meer restwarmte levert dan in de winter. In de winter wordt een deel van de WKK-restwarmte namelijk al gebruikt voor de verwarmingsvraag van andere processen. De beschikbaarheid van dit restwarmtevermogen, die voor 45% wordt omgezet in verdampingsenergie, in combinatie met de drogingscapaciteit door het zonlicht (zie figuur 4.1) levert het onderstaande profiel op voor de drogingscapaciteit per m² kas over de loop van het jaar. In Figuur 5.9 is uitgegaan van een kasoppervlak van 1.300 m².

FIGUUR 5.9 GEMIDDELDE VERDAMPING VANUIT EEN DROOG-KAS VAN 1.300 M² BIJ DE AWZI DRONTEN (DIKKE LIJN, GROEN) EN, TER VERGELIJKING DE VERDAMPING INDIEN ER GEEN RESTWARMTE BESCHIKBAAR ZOU ZIJN (DUNNE LIJN, BLAUW)



Gebruik van hetzelfde simulatiemodel als voor de vorige casussen wijst uit dat er 1.300 m² kasoppervlak nodig is om het slib naar tenminste 50% te kunnen terug te drogen, en er tevens voor te zorgen dat de slibkoekhoogte niet teveel oploopt. Figuur 5.10 laat zien dat de slibhoogte bij dit kasoppervlak maximaal 70 cm wordt, wat waarschijnlijk nog net mogelijk is voor de gebruikelijke slibverwerkingsmachines

FIGUUR 5.10 AFVOERPATTERN, SLIBHOOGTE EN DS-GEHALTE VAN GEDROOGD SLIB OP DE AWZI DRONTEN BIJ GEBRUIK VAN 1.300 M² DROOGKASSEN, WAARBIJ RESTWARMTE VAN EEN WKK ALS ADDITIONEEL DROOGVERMOGEN WORDT GEBRUIKT



Het gemiddelde drogestofpercentage van het afgevoerde slib bedraagt 61%, waardoor de totaal af te voeren hoeveelheid door het droogcomplex is teruggebracht van 2.500 ton naar iets minder dan 1.000 ton. Dit is een volumereductie van iets meer dan 60%.

5.5.3 KOSTEN

De casus awzi Dronten wordt uitgevoerd met het omwoelsysteem Wendewolf en verwarmd met zonnewarmte en een restwarmtehoeveelheid van 3,3 MWh per jaar. Voor een kasoppervlakte van 1.300 m² zijn de volgende uitgangswaarden gehanteerd:

Aantal benodigde Wendewolf systemen:	1
Kosten Wendewolf systeem:	145 kEuro
Totaal aantal arbeidsuren per jaar	150 uren per jaar
Stroomverbruik	10 MWh

In tabel 5.8 zijn de investeringskosten van de totale installatie weergegeven.

TABEL 5.8 INVESTERINGSKOSTEN VAN DE INSTALLATIE

Kosten installatie	waarde	prijs/eenh (ex. BTW)	kosten (+ 70%)	Afschr. en annuïteit	Onderhoud	Jaarkosten
Kasopstand + onderbouw	1300 m ²	120 €/m ²	332 k€	20 jr 0,074	2 %	31,2 k€
Loods-opstanden	200 m ²	230 €/m ²	78 k€	20 jr 0,074	2 %	7,4 k€
Bedrijfsruimte	50 m ²	250 €/m ²	21 k€	20 jr 0,074	3 %	2,2 k€
Klimaatregeling (50 k€ + 50 k€/ha)			67 k€	15 jr 0,090	1 %	6,7 k€
Warmtewisselaars (incl montage)	6 stuks	1500 €/stuk	15 k€	10 jr 0,123	2 %	2,2 k€
Gevelventilatoren (incl montage)	5 stuks	800 €/stuk	7 k€	15 jr 0,090	2 %	0,7 k€
Circulatieventilatoren	(1 per 200 m ²)	300 €/stuk	2 k€	10 jr 0,123	1 %	0,3 k€
Schroefpers			0 k€	15 jr 0,090	3 %	0,0 k€
Omwoelmachines		120 k €	204 k€	10 jr 0,123	3 %	31,2 k€
Totaal			0,73 m€ 558 €/m²			89 k€

In tabel 5.9 zijn de jaarlijkse kosten weergegeven. De totale kosten van het slibverwerkingssysteem zijn voor de awzi Dronten 163 k€/ per jaar. Dit betekent dat de afzetkosten, uitgaande van de slibkoek, uitkomen op 65 €/ton slibkoek.

TABEL 5.9 DE VARIABELE KOSTEN INCLUSIEF DE AFZETKOSTEN VAN HET GEDROOGDE SLIB

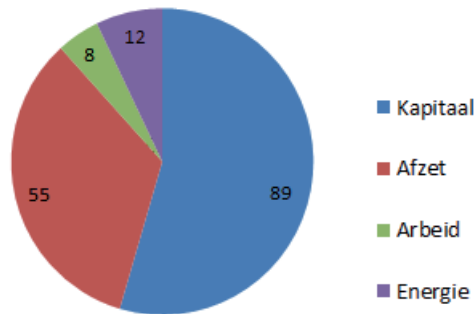
Variabele kosten		prijs/eenh (ex. BTW)	k€/j (incl BTW)
Arbeid	150 uur	50 €/uur	8 *
elektra ventilatoren	54 MWh	150 €/MWh	10 k€
elektra spitmachines	10 MWh	150 €/MWh	2 k€
Afzetkosten	1000 ton	45,5 €/ton	55 k€
Vaste kosten			89 k€
Totale kosten voor slibverwerkingssysteem			163 k€
			65 €/ton

* ex BTW

Voor de verdeling van de kosten over de verschillende parameters, zie figuur 5.11.

FIGUUR 5.11

VERDELING VAN DE KOSTEN IN K PER JAAR VOOR DE SLIBVERWERKING OP AWZI DRONTEN



5.5.5 CONCLUSIES

In de casus van de awzi Dronten zijn de kosten per ton slibkoek (65 €/ton) beduidend lager dan in de casus in Echten (79 €/ton) en Ameland (114 €/ton). Dit komt vooral doordat de inzet van restwarmte het benodigde kasoppervlak per ton waterverdamping kleiner maakt. Ten opzichte van de huidige afzetkosten van 68 euro per ton koek is de besparing echter slechts 3 euro per ton en de jaarlijkse besparing is daarmee 7.500 euro. De terugverdientijd voor de investering van 730.000 euro is dan bijna 100 jaar en dus veel te lang.

5.6 CASUS 4 WETTERSKIP FRYSLÂN

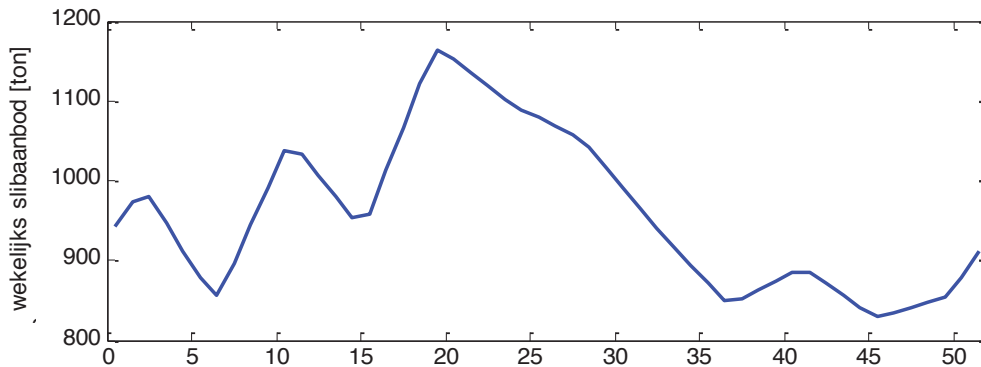
5.6.1 UITGANGSPUNTEN

Het Wetterskip Fryslân zamelt het slib centraal in, jaarlijks 50.000 ton slibkoek met een drogestofgehalte van 25%. Op dit moment is dat op de rwzi Heerenveen. Het is de wens dit slib te drogen naar 85%. Dit betekent dat er 35.300 m³ water wordt verdampt, waarmee het afzetvolume met 71% wordt gereduceerd. Voorbeelden van locaties waar dit zou kunnen plaatsvinden: REC in Harlingen of Attero in Wijster, waar in principe onbeperkt laagwaardige restwarmte van minimaal 120 °C beschikbaar is. In het model is gerekend met een restwarmte-temperatuur van 80 °C. Aangenomen is dat de kosten van de restwarmte 50% van de industriële aardgasprijs is (daarin zitten dan al de kosten van het transport van de warmte naar de locatie van kassen verwerkt). De afzet is continu en het gedroogde slib wordt afgevoerd als secundaire brandstof.

Een eenvoudig rekensommetje leert dat wanneer de bovengenoemde hoeveelheid water met alleen zonne-energie zou worden verdampt er in de Nederlandse situatie een kasoppervlak nodig is van tenminste $35.300/0,65 = 55.000 \text{ m}^2$ (dat zal in de praktijk nog groter zijn, omdat als het slib droger wordt, het droogproces langzamer gaat). Dit oppervlak is onrealistisch groot. Bovendien is er bij Attero of de REC voldoende industriële restwarmte beschikbaar tegen acceptabele kosten.

Op grond van de statistieken die door het Wetterskip Fryslân zijn aangeleverd, verloopt het aanbod van het slib over het jaar volgens het profiel, zoals weergegeven in figuur 5.12. Bij de modelberekeningen is hiermee gerekend.

FIGUUR 5.12 AANVOERPATROON VAN HET TOTALE SLIB VAN HET WETTERSKIP FRYSLÂN



5.6.2 BEDRIJFSVOERING KAS

Met voldoende beschikbare restwarmte kan een droogstelsel worden opgezet dat vergelijkbaar is met het kassendroogcomplex in Friesoythe, Duitsland (zie bijlage 1). Dit stelsel bestaat uit droogruimten die dagelijks met een shovel volgereden worden met slib en dan in een week tijd worden gedroogd, om vervolgens weer te worden uitgereden en afgevoerd.

Er wordt bij deze casus uitgegaan van het batch concept van Thermo-System met de elektrische mol voor het omwoelen.

Wanneer wordt aangenomen dat er elke dag één droogcompartiment wordt gelegeerd en weer gevuld, dan moet er elke dag ruimte zijn voor 1/5 deel van de weekproductie, uitgaande van 5 werkdagen per week. Dit betekent dat de maximale hoeveelheid die per dag in een droogruimte wordt ingebracht 230 ton bedraagt. Wanneer dit gestort wordt met een storthoogte van 25 cm is hier een oppervlak van bijna 1.000 m² voor nodig. In de berekeningen wordt daarom verder gewerkt met cellen van 1.000 m² als rekeneenheid.

5.6.3 MODELBEREKENINGEN

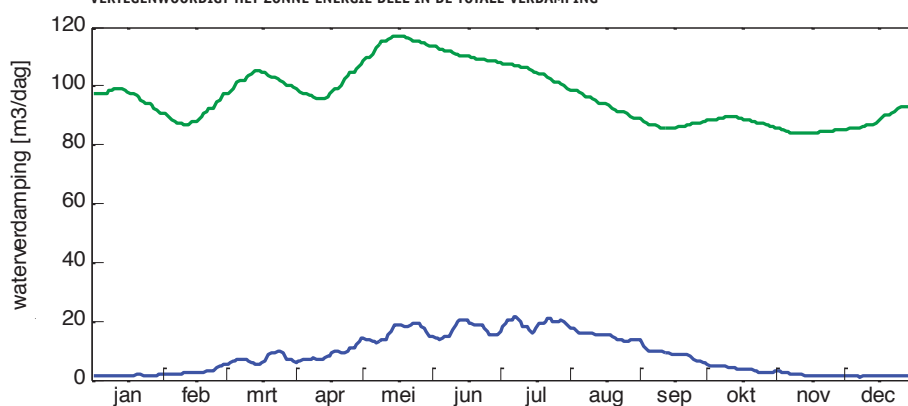
Uitgaande van de gewenste droging van 25% drogestof naar 85% drogestof wordt er op de momenten met hoogste slibaanvoer (230 ton per cel) 162 ton water uit de droogkamer afgevoerd. Als dit in een week tijd plaatsvindt, betekent dit dat er gemiddeld ongeveer 1 m³ water per uur uit de cel verdampt wordt, ofwel 1 liter per m² per uur.

Op de zonnigste dagen verdampt een kassendroogstelsel ongeveer 4 liter per dag per m², dus is het duidelijk dat bij toepassing van het “Friesoythe-concept” de bijdrage van de zonne-energie heel beperkt is. Gemiddeld over het jaar is de zongedreven verdamping $650/365/24 = 0,07$ liter per m² per uur. De gemiddelde gewenste waterverdamping is $35.300/365/24 = 4$ m³ per uur en als dit uit 5 cellen van 1.000 m² plaatsvindt, verdampen die cellen gemiddeld 0,8 liter per m² per uur. Gemiddeld over het jaar doet de zon hiervan nog geen 10%, zodat veruit het grootste deel van de verdampingsenergie uit de restwarmtelevering moet komen. Het gemiddelde gebruikte restwarmtevermogen verdampt $0,8 \cdot 0,07 = 0,056$ liter water per m². Met de eerder genoemde efficiëntie van 45% omzetting van warmte naar verdamping zou dit een verwarmingsvermogen betekenen van $0,056 \cdot 2,4 / 0,45 / 3,6 = 0,77$ kWh/m² (2,4 is de verdampingswarmte van water in MJ per liter en 3,6 is de omrekeningsfactor van kWh naar MJ).

Voor de modelmatige berekening aan deze casus is de situatie gesimuleerd dat er op elke werkdag een vijfde deel van het betreffende weekvolume in een afdeling van 1.000 m² wordt gestort. Van elke storting kan aan de hand van het begin en eind drogestofgehalte worden berekend hoeveel water er moet worden verdampt. Vervolgens is berekend welke inzet van restwarmte nodig is om het verdampingspotentieel van de zon aan te vullen zodat de beoogde hoeveelheid water in de 7 opeenvolgende dagen verdampt kan worden. Hierbij is rekening gehouden met de afnemende verdampingsefficiëntie volgens vergelijking 1 (paragraaf 4.4).

Met het gegeven dat er elke werkdag 1 cel wordt leeggehaald en weer wordt gevuld, zijn er bij gebruik van het Friesoythe-concept in totaal 5 afdelingen nodig en beslaat het droogcomplex dus 5.000 m². Figuur 5.13 toont de totale waterverdamping vanuit dit complex en het aandeel wat daarin door de zon wordt geleverd.

FIGUUR 5.13 WATERVERDAMPING VANUIT HET DROOGCOMPLEX VOLGENS HET FRIESOYTHE-CONCEPT. HET OPPERVLAK ONDER DE BLAUWE LIJN VERTEGENWOORDIGT HET ZONNE-ENERGIE DEEL IN DE TOTALE VERDAMPING



5.6.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Wanneer het kassencomplex wordt vergroot door meer, of grotere cellen te plaatsen zal het aandeel zonne-energie toenemen en de hoeveelheid restwarmte die nodig is afnemen. Tabel 5.10 toont deze relatie.

TABEL 5.10 RELATIE TUSSEN HET KASOPPERVLAK EN DE BENODIGDE RESTWARMTE VOOR HET DROGEN VAN HET SLIB VAN HET WETTERSKIP FRYSLÂN

Kasoppervlak (m ²)	Benodigde hoeveelheid restwarmte (TJ/jaar)
5.000	162
10.000	147
15.000	131
20.000	116

Ook bij een droogkas van 20.000 m² is nog steeds een substantiële hoeveelheid restwarmte nodig om de gewenste droging te laten plaatsvinden, zelfs in de zomer. In de hierboven getoonde range van kasoppervlakken neemt de behoefte aan restwarmte lineair af met 3,1 GJ per m² extra kasoppervlak.

5.6.5 KOSTEN

De casus Wetterskip Fryslân gaat uit van het batchsysteem en de elektrische mol van Thermo-System. Het slib wordt gedroogd met een restwarmtehoeveelheid van 162 TJ per jaar en aangevuld door zonlicht. Voor het kasoppervlak van 5.000 m² zijn de volgende uitgangswaarden gehanteerd:

Aantal benodigde mollen:	10
investeringskosten mollen	968 kEuro
Totaal aantal arbeidsuren per jaar	2.500 uren per jaar
Stroomverbruik	175 MWh

In tabel 5.11 zijn de investeringskosten en de jaarkosten van de totale installatie weergegeven.

TABEL 5.11 INVESTERINGSKOSTEN VAN DE DROOGKASSEN VOOR WETTERSKIP FRYSLÂN

Kosten installatie	waarde	prijs/eenh (ex. BTW)	kosten (+ 70%)	Afschr. en annuïteit	Onderhoud	Jaarkosten
Kasopstand + onderbouw	5000 m ²	150 €/m ²	1275 k€	20 jr 0,074	2 %	119,9 k€
Loods-opstanden	500 m ²	230 €/m ²	196 k€	20 jr 0,074	2 %	18,4 k€
Bedrijfsruimte	50 m ²	250 €/m ²	21 k€	20 jr 0,074	3 %	2,2 k€
Klimaatregeling (50 k€ + 50 k€/ha)			91 k€	15 jr 0,090	1 %	9,1 k€
Warmtewisselaars (incl montage)	204 stuks	1500 €/stuk	520 k€	10 jr 0,123	2 %	74,4 k€
Gevelventilatoren (incl montage)	17 stuks	800 €/stuk	23 k€	15 jr 0,090	2 %	2,5 k€
Circulatieventilatoren (1 per 200 m ²)		300 €/stuk	8 k€	10 jr 0,123	1 %	1,0 k€
Omwoelmachines		800 k €	1360 k€	10 jr 0,123	3 %	208,1 k€
Totaal			3,49 m€			470 k€
			699 €/m²			

In tabel 5.12 worden de jaarlijkse kosten gepresenteerd. De totale kosten van het slibverwerkingssysteem voor al het slib van het Wetterskip Fryslân zijn 2.011 kEuro per jaar. Dit betekent dat de afzetkosten uitkomen op 40 €/ton slibkoek (50.000 ton, 25% droge stof).

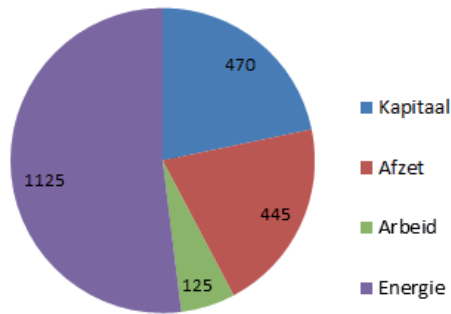
TABEL 5.12 DE VARIABELE KOSTEN INCLUSIEF DE AFZETKOSTEN VAN HET GEDROOGDE SLIB

Variabele kosten		prijs/eenh (ex. BTW)	k€/j (incl BTW)
Arbeid	2500 uur	50 €/uur	125 *
restwarmte	162000 GJ	5 €/MWh	980 k€
elektra ventilatoren	760 MWh	150 €/MWh	138 k€
elektra spitmachines	37 MWh	150 €/MWh	7 k€
Afzetkosten	14700 ton	25,0 €/ton	445 k€
Vaste kosten			470 k€
Totale kosten voor slibverwerkingssysteem			2165 k€ per jaar
			43 €/ton

* ex BTW

Voor de verdeling van de kosten over de verschillende parameters, zie figuur 5.14.

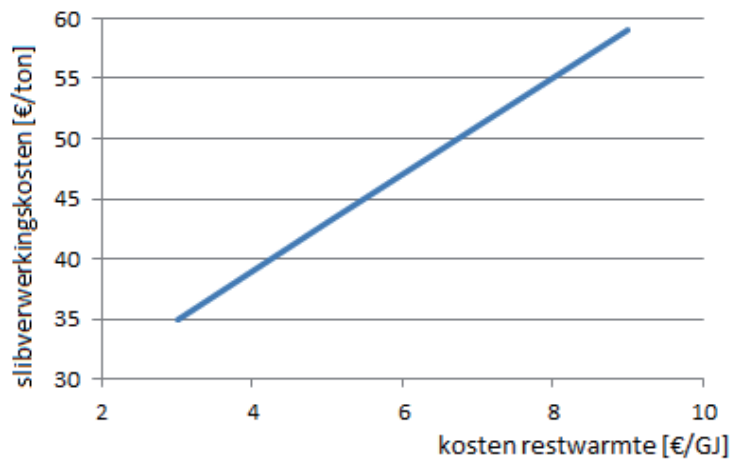
FIGUUR 5.14 KOSTENVERDELING IN K€ PER JAAR VOOR DE KASSEN VOOR HET SLIB VAN HET WETTERSKIP FRYSLÂN



5.6.6 GEVOELIGHEIDSANALYSE KOSTEN RESTWARMTE

Het grootste deel van de kosten wordt bepaald door de energie-inkoop en die wordt weer voor het grootste deel gevormd door de aankoop van restwarmte. De kosten voor de restwarmte zijn gesteld op 5 €/GJ. De invloed van de kosten van restwarmte op de uiteindelijke verwerkingskosten per ton slibkoek zijn in figuur 5.15 weergegeven.

FIGUUR 5.15 VERWERKINGSKOSTEN SLIBKOEK WETTERSKIP FRYSLÂN ALS FUNCTIE VAN DE KOSTEN VAN RESTWARMTE



5.6.7 CONCLUSIES

De kosten per ton slibkoek voor de casus Wetterskip Fryslân zijn met 43 €/ton koek verreweg het laagste van de 4 casussen in het onderzoek. De combinatie van een aanvoer van slib met een droge stofgehalte van 25 %, het gebruik van restwarmte en de lagere afzetkosten van droog slib (85% ds) maken het drogen van slib met behulp van kassen tot een veel betere business case dan het huidige traject.

Bij deze casus moet nog wel rekening gehouden worden met het transport van het ontwaterde slib van een centrale ontwateringslocatie naar een locatie met restwarmte. Uit de literatuur [2] kan worden afgeleid dat deze kosten circa 6 euro per ton koek zullen bedragen (inclusief BTW). Het all-in tarief is dan 49 euro per ton koek.

Ten opzicht van de huidige slibverwerkingskosten van 100 euro per ton koek [2] worden de afzetkosten van het slib met 51 euro per ton slibkoek verlaagd. Bij het gegeven volume van 50.000 ton slib per jaar betekent dit een besparing van 2,5 miljoen euro per jaar. Afgezet tegen de investering van 3 miljoen euro zou dit betekenen dat het droogstelsel in binnen twee jaar terugbetaald zou zijn.

Ook met de verwachte slibverwerkingstarieven in de toekomst van 60 euro per ton koek is slibdroging in kassen met restwarmte nog steeds een aantrekkelijke optie. Met een verschil van 11 euro per ton koek is de terugverdientijd circa 6 jaar en dat is nog steeds aantrekkelijk. Bij de plannen voor nieuwe slibverwerkingscontracten is het zeker aan te bevelen deze optie in de afwegingen mee te nemen.

5.7 SAMENVATTING VIER CASUSSEN

In de tabel 5.13 een overzicht van de vier casussen weergegeven met daarbij de verwerkingskosten van het kassendroogstelsel per ton slibkoek. In tabel 5.14 is een overzicht gegeven van de huidige slibverwerkingskosten en de terugverdientijd bij toepassing van kassen.

TABEL 5.13 OVERZICHT VIER CASUSSEN MET DE VERWERKINGSKOSTEN SLIBDROGING MET KASSEN

rwzi	Slibkoek (ton)	Kasoppervlakte (m ²)	Restwarmte (TJ)	Verwerkingskosten per ton slibkoek (€/ton)*
Rwzi Ameland	1.000	1.300	0	114
Rwzi Echten	25.000	22.000	0	79
Awzi Dronten	2.500	1.300	3,3	65
Wetterskip Fryslân	50.000	5.000	162	49

* Genoemde prijzen zijn inclusief BTW. Transportkosten van het ontwaterd slib zijn alleen van belang bij de centrale droging bij het Wetterskip Fryslan [2] en zijn daarin meegenomen (zie tekst).

TABEL 5.14 OVERZICHT VIER CASUSSEN MET DE HUIDIGE SLIBVERWERKINGSKOSTEN

rwzi	Slibkoek (ton)	Verwerkingskosten (€)	Verwerkingskosten per ton slibkoek (€/ton)*	Terugverdientijd (jaren)
Rwzi Ameland	1.000	165.000**	165	14***
Rwzi Echten	25.000	2.325.000	93	24
Awzi Dronten	2.500	170.000	68	97
Wetterskip Fryslân	50.000	5.000.000	100	< 2

* Genoemde prijzen zijn inclusief BTW en transportkosten

** Verwerkingskosten zijn opgebouwd uit transport (87.000 euro per jaar), ontwatering (14.000 euro per jaar) en verwerkingskosten (64.000 euro per jaar) gebaseerd op 25 % drogestof uit SO Heerenveen.

*** Bij de vergelijking moet rekening gehouden worden, dat bij SO Heerenveen verdergaand wordt ontwaterd (25 %), dan op Ameland zelf zou plaatsvinden (aannee 19 % ds). In dat geval zouden de verwerkingskosten bij Swiss Combi 100.000 euro per jaar zijn en is de terugverdientijd 8 jaar.

De kosten van grond en eventuele luchtbehandeling zijn in de bovenstaande tarieven nog niet verwerkt. Uitgaande van een grondprijs van 80 euro per m² moet rekening gehouden worden met een kostentoeename van enkele euro's per ton koek. Bij toepassing van restwarmte is deze bijdrage door het relatief kleine oppervlak het kleinste (< 1 euro per ton koek). Ook het toepassen van luchtbehandeling is niet op kosten gezet. Op basis van leveranciers informatie [19] kan dit een kostentoeename opleveren van enkele euro's per ton slibkoek.

Uit de tabellen 5.13 en 5.14 is af te leiden dat er een duidelijk schaaffect is om kassendroging succesvol te laten zijn en dat het gebruik van restwarmte cruciaal is om de verwerkingskosten van de slibkoek zodanig te verlagen dat het concurrerend is. Vooral de casus Wetterskip Fryslân, waar het hele jaar door genoeg restwarmte beschikbaar is, leidt tot lage verwerkingskosten.

De terugverdientijd die met de toepassing van kassendroogsystemen wordt gerealiseerd, hangt af van de uiteindelijke verwerkingskosten, maar natuurlijk ook van de markttarieven waarvoor de rwzi's nu hun ontwaterd slib kunnen afzetten. Awzi Dronten heeft op dit moment bijvoorbeeld een gunstiger contract dan bijvoorbeeld de rwzi Echten, waardoor de terugverdientijd voor een kassendroogstelsel in Dronten veel langer is dan die in Echten, ondanks de lagere overall verwerkingskosten in Dronten.

5.8 ENERGIEBALANS

In deze paragraaf wordt de energiebalans van slib drogen in kassen bepaald. Het verbranden van gedroogd slib (50-80 % ds) levert meer warmte dan wanneer ontwaterd slib (19-30 % ds) wordt verbrand. De energiewaarde van de slibkoek wordt verhoogd. Het droogproces zelf kost echter ook energie. De omwoelinstallaties en ventilatoren gebruiken stroom die een deel van de energiewinst door de droging weer teniet doen. Het gebruik van restwarmte wordt net als het gebruikte zonlicht als duurzame energie gezien. Deze wordt wel meegenomen in de balans, maar wordt anders beschouwd dan de primaire energie van gebruikte elektriciteit. In deze paragraaf wordt voor de vier genoemde casussen berekend hoe de energiebalans voor de vier bestudeerde casussen uitpakt.

Uitgangspunt van de berekening is dat slib een bepaalde verbrandingswaarde heeft die afhangt van het drogestofgehalte. Die verbrandingswaarde wordt gegeven volgens

$$H_{\text{slib}} = (\text{org}\% * H_{\text{org.}}) * \text{ds}\% - H_{\text{verdamp. water}} * (1 - \text{ds}\%)$$

Met:

H_{slib}	= stookwaarde in MJ per kg slibmateriaal
$H_{\text{org.}}$	= 21.318 MJ/kg org.
org%	= organisch gehalte in droge stof
ds%	= droge stof gehalte van het slib (materiaal)
$H_{\text{verdamp. water}}$	= 2.258 MJ/kg (verdampingswarmte van water)

Er wordt verondersteld dat gedroogd slib circa 60% organische stof bevat. In tabel 5.15 is de verbrandingswaarde van het slib voor en na de kassendroging voor de 4 verschillende casussen weergegeven. In deze tabel is bij de omrekening van elektriciteitsverbruik naar primaire energie (verbrandingswaarde) het gemiddelde Nederlandse centralerendement gebruikt, wat op dit moment op 43% ligt.

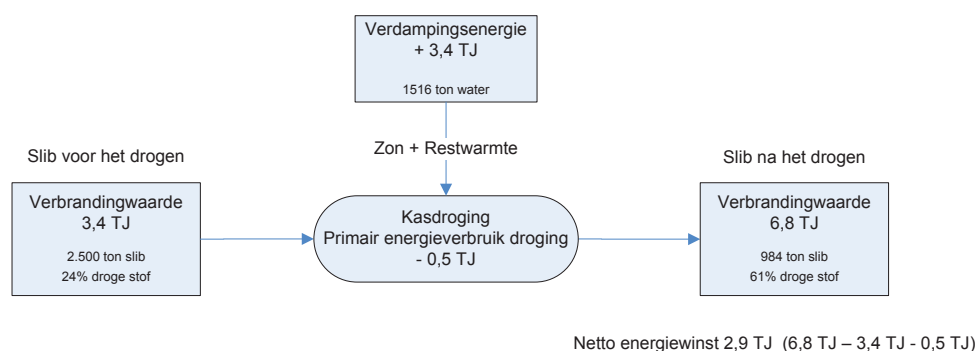
De conclusie uit de tabel is dat droging van slib een netto toename van de verbrandingswaarde van het slib oplevert. In de casus Ameland neemt de netto verbrandingswaarde met 1,2 TJ toe ten opzichte van de 0,6 TJ die de slibverbranding oplevert bij het oorspronkelijke drogestofgehalte van 19%. Dit is 2 keer de oorspronkelijke verbrandingswaarde. In de andere gevallen, waar het uitgangsmateriaal al aanzienlijk minder water bevat, is de toename procentueel minder spectaculair, maar toch nog minimaal 64% (Echten). In de economisch meest aantrekkelijke situatie (Wetterskip Fryslân) neemt de netto verbrandingswaarde met 71,9 TJ toe. Ten opzichte van de 75,2 TJ die voor de uitgangssituatie geldt, bedraagt de toename 95%.

TABEL 5.15 VERBRANDINGSWAARDE VAN HET SLIB VOOR EN NA DE KASSENDROGING

	Ameland	Echten	Dronten	Wetterskip Fryslân
Slibhoeveelheid voor drogen [ton]	1.000	25.000	2.500	50.000
ds% voor drogen	19	25	24	25
Verbrandingswaarde voor drogen [TJ]	0,6	37,6	3,4	75,2
Hoeveelheid verdampt water [ton]	732	14.035	1.516	35.294
Slibhoeveelheid na drogen [ton]	268	10.965	984	14.706
ds% na drogen	71%	57%	61%	85%
Verbrandingswaarde na drogen [TJ]	2,3	69,3	6,8	154,9
Toename verbrandingswaarde [TJ]	1,7	31,7	3,4	79,7
Elektriciteitsverbruik bij drogen [MWh]	49	891	64	935
Primair energieverbruik droging [TJ]	0,4	7,5	0,5	7,8
Netto energie-winst [TJ]	1,2	24,2	2,9	71,9

In figuur 5.16 is als voorbeeld voor de awzi Dronten schematisch weergegeven wat er gebeurt. De verbrandingswaarde van slib wordt verhoogd van 3,4 TJ naar 6,8 TJ door met 3,4 TJ zonlicht en restwarmte water te verdampen. Dat proces kost 0,5 TJ aan primaire energie.

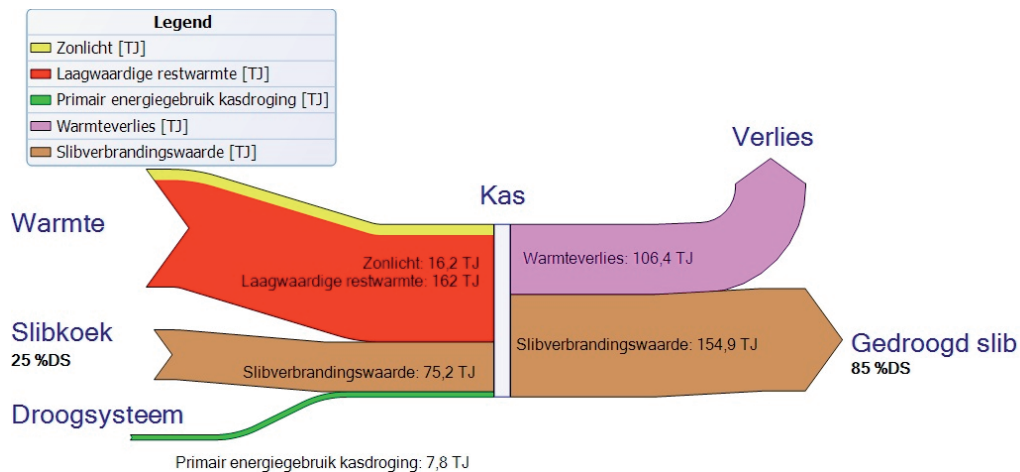
FIGUUR 5.16 ENERGIEBALANS AWZI DRONTEN



Met een Sankey diagram is dit nog beter inzichtelijk te maken, zie figuur 5.17 met een voorbeeld diagram voor het Wetterskip Fryslân. Hierin is ook het totaal aan zonlicht + restwarmte weergegeven wat nodig is om het slib te kunnen drogen, evenals de primaire energie die nodig is voor ventilatie en overige procesonderdelen en de energie die daarbij nog als laagwaardige warmte (afgifte aan de buitenlucht) verloren gaat. Aangezien zowel zonlicht als de (laagwaardige) restwarmte voor de primaire energie niet meetellen, wordt het gedroogde slib beschouwd als secundaire brandstof. Hiermee kan weer hoogwaardige energie opgewekt worden.

FIGUUR 5.17

ENERGIEBALANS MET SANKEY DIAGRAM WETTERSKIP FRYSLÂN



5.9 EFFECTEN OP MJA3

In het energieconvenant MJA3 (Meerjarenafspraken) hebben de waterschappen afgesproken om van 2005 tot en met 2020 30 % energie te besparen. Zoals in paragraaf 3.6 en bijlage 4 is beschreven, kan bij de inzet (rest)warmte voor slibdroging als door de bespaarde energie geen/-minder aardgas (energie) nodig is om te drogen dan in de huidige situatie de bespaarde energie soms deels soms geheel worden opgevoerd als KE-maatregel voor MJA3 (ketenmaatregel). Indien de warmte aangevoerd wordt van elders moet dit opgenomen worden in de monitoring (ingekochte warmte). Deze hoeveelheid komt dan bij het totale energiegebruik van de MJA-deelnemer en hierdoor wordt het besparingspercentage lager. Dit zelfde geldt voor het energieverbruik van de apparatuur, dit komt ook bij de monitoring terug als extra gebruikte energie en dus een hoger totaalenergieverbruik. Als de eindverwerker of warmteleverancier ook MJA/MEE deelnemer is mag 50 % worden meegenomen. Als de slibeindverwerker geen MJA/MEE deelnemer is mag de bespaarde energie voor 100% worden opgevoerd. Vermeden transporten tellen ook mee. Uiteraard moet het energieverbruik van de benodigde apparatuur (banddroger of apparatuur in kassen) in mindering worden gebracht. Bij de berekening van KE-maatregelen moet steeds worden uitgegaan van de werkelijke situatie (verschil nieuw - oud) en het effect voor heel Nederland kan daarom niet met een paar richtgetallen worden vastgesteld.

In de onderstaande alinea wordt de MJA3 situatie voor het Wetterskip Fryslân besproken. Het totale energieverbruik van het Wetterskip Fryslân inclusief en transport en slibontwatering is 327 TJ/jaar primaire energie. Bij het drogen van het slib van Wetterskip Fryslân tot 95 % ds wordt nu 4,5 miljoen m aardgas gebruikt (ofwel 142,43 TJ). Deze warmte krijg je deels weer terug als je het gedroogde slib gebruikt als biobrandstof. In de situatie van kassen met restwarmte wordt deze hoeveelheid energie uitgespaard, want het slib wordt gedroogd met zonlicht en restwarmte. Als de leverancier niet meedoet met MJA3 kan deze besparing voor 100% aan MJA3 worden toegerekend. De ingenomen/ingekochte restwarmte is 162 TJ en energiegebruik van de apparatuur is 7,8 TJ. Totaal e-gebruik wordt dan $327 + 162 + 7,8 = 497$ TJ. Het besparingspercentage van de maatregel wordt dan $(142 - 7,8) / 497$ is circa 27%. (of 13 % indien 50% mag worden toegerekend). Dit is een zeer significante bijdrage aan de MJA3 doelstellingen. Uitgangspunt bij de berekeningen is, dat bij de uiteindelijke verbranding de opbrengst aan energie gelijk is, dit moet in de daadwerkelijke berekening van de maatregel worden meegenomen. Zeker indien dit een heel andere partij is, moet dat worden uitgezocht.

5.10 CO₂ BALANS

De toename van de netto verbrandingswaarde van het slib kan ook worden uitgedrukt in vermeden CO₂ uitstoot. In die berekening wordt bepaald hoeveel extra elektriciteit er door de verbranding van het gedroogde slib kan worden geproduceerd in vergelijking met de situatie waarin niet-gedroogd slib wordt verbrand. Deze vermeden CO₂-uitstoot kan gemakkelijk worden bepaald vanuit het gegeven dat elke GJ extra verbrandingswaarde van het gedroogde slib 100 kWh extra elektriciteit op kan leveren. Aangezien een kolencentrale 0,85 kg fossiele CO₂ per kWh uitstoot, is er een lineaire relatie van 85 ton vermeden CO₂ emissie per TJ extra (netto) verbrandingswaarde. Tabel 5.16 toont de voor de 4 casussen de CO₂-emissiereductie die door de droging in kassen, al dan niet met restwarmte, gerealiseerd kan worden.

TABEL 5.16 VERMEDEN FOSSIELE CO₂ UITSTOOT DOOR DROGING IN KASSEN, AL DAN NIET MET RESTWARMTE

RWZI	Toename netto verbrandingswaarde (TJ)	Vermeden fossiele CO ₂ uitstoot (ton)
Ameland	1,2	106
Echten	24,2	2.060
Dronten	2,9	246
Wetterskip Fryslân	71,9	6.109

Naast de vermeden CO₂ uitstoot door verbranding of vergassing van slib voor energieopwekking wordt ook CO₂ bespaard door een kleiner aantal transportbewegingen. De afzet van het gedroogde slib is op dit moment nog niet bekend en daarmee ook niet de afstand van het transport. Om toch een idee te krijgen van de verhoudingen van de vermeden CO₂ van transport ten opzichte van het verbranden van gedroogd slib volgt hieronder een indicatieve berekening voor de rwzi Echten. Hierbij wordt aangenomen dat de transportafstand gelijk blijft maar dat de transportbewegingen worden gereduceerd door volumevermindering door het drogen.

Eén gemiddeld huishouden stoot per jaar 8,5 ton CO₂ uit. Met de kassendroging van het Wetterskip Fryslân worden dus 719 gemiddelde huishoudens gecompenseerd.

AANNAME SLIBTRANSPORT (REKENVOORBEELD)

- Slib wordt nu van Echten naar GMB gebracht, afstand circa 100 km. 1 rit is 200 km
- Slibhoeveelheid per vracht is 40 ton.
- Uitstoot per km 1,010 kg CO₂ per km¹
- Afvoer ontwaterd slib is 25.000 ton per jaar, 625 vrachten per jaar, 125.000 km
- Afvoer gedroogd slib is 10.800 ton per jaar, 270 vrachtwagens per jaar, 54.000 km

Afname van het aantal kilometers per jaar is (125.000 – 54.000) = 71.000 km. Dit betekent een CO₂ reductie van 72 ton per jaar door vermindering van het vrachtverkeer. In verhouding is dit 3,5 % van de vermeden fossiele CO₂ uitstoot door omzetting van slib in elektriciteit.

1 CO₂ emissiefactoren Milieubarometer 2011, CO₂ factoren zijn overgenomen of afgeleid uit de gezamenlijke lijst van emissiefactoren die is vastgesteld door Stimular, SKAO en Connekt

6

GEUREMISSIES

6.1 INLEIDING

Bij het referentieonderzoek (zie hoofdstuk 2) was nergens een geurbehandeling aanwezig. Sommige kassen zijn zelfs voor en achter volledig open. Bij het locatiebezoek aan Frysoithe (zie bijlage 1) vóór uitvoering van het referentieonderzoek bleek dat er wel een geurbehandeling aanwezig is: compostfilters met een stand-by gaswasser. Na toelichting van Thermo-System bleek men deze te hebben om ook verse slibben (primair slib) te kunnen drogen. In dat geval lijkt een geurbehandeling niet te vermijden. Voor uitgegist en gestabiliseerd slib lijkt het niet nodig.

Uit de literatuur vormt geur (volgens de ervaringen van Duitse en Zwitserse gebruikers) geen probleem [14]. Volgens een Duits onderzoek aan de Universiteit in Stuttgart is gebleken dat de maximale geuremissie ruim onder de grens voor een agrarisch bedrijf blijft. Hoe zit dat dan voor Nederland? In dit hoofdstuk wordt zowel gekeken naar de NeR (paragraaf 6.2) als naar Duitse emissiecijfers (paragraaf 6.3) om de risico's van geurknelpunten van slib drogen in kassen in Nederland in kaart te brengen.

Van de vier casussen die in hoofdstuk 5 worden beschreven, zijn de casussen rwzi Echten en awzi Dronten gekozen om uitgaande van de Duitse emissiekengetallen het effect op de geurcontouren door te rekenen. Deze twee casussen zijn naar verwachting qua geurproblematiek het meest gevoelig: de rwzi Echten (paragraaf 6.4) heeft namelijk de grootste kas en de awzi Dronten (paragraaf 6.5) ligt in bebouwd gebied. Detailinformatie over de berekeningen is weergegeven in bijlage 2. Er is uitgegaan van indicatieve berekeningen, waarbij ervan uitgegaan is dat de wind voornamelijk uit de zuidwest-hoek komt en dat de kassen op het geurzwaartepunt van de rwzi liggen. In de praktijk zal dit via uitgebreide geuremissieberekeningen verder in detail moeten worden berekend.

6.2 UITGANGSPUNTEN NER

Geuremissies worden in Nederland vastgesteld via de Nederlandse emissierichtlijn (NeR), zie tabel 6.1. In de NeR zijn geen waarden vastgesteld voor geuremissies van drogen van slib in kassen. De geuremissiekengetallen die worden gegeven zijn voor onderdelen in de rwzi. De normen die gelden voor de opslag van ontwaterd uitgegist slib in een opslagtank komen dan in principe het meest in de buurt van relevante emissies bij slibdroging in kassen: $1,75 \text{ Ou/s.m}^2$.

Echter: droog slib heeft veel minder geuremissie dan ontwaterd slib. De geuremissiefactoren uit tabel 6.1 zijn daardoor een overschatting van de werkelijke geuremissie. In de NeR is aangegeven dat als geuremissiefactoren niet bekend zijn deze door metingen bepaald moeten worden.

TABEL 6.1

EMISSIEFACTOREN SLIBLIJN RWZI'S NER*

Onderdeel	Slibkwaliteit				Eenheid
	vers	aëroob	anaëroob	gemengd	
voorindikker	8	3,95		8	ou/s per m ²
naindikker			3,05		ou/s per m ²
uitgegist slibbuffer			3,05		ou/s per m ²
slibindiklagune		4,05	1,75	4,35	ou/s per m ²
filterpers		-	-	-	
zeefbandpers		4,05	1,75	4,35	ou/s per m ²
centrifuge		-	-	-	
afvoer en opslag		4,05	1,75	4,35	ou/s per m ²
fosfaatbezinktank		3,95			ou/s per m ²
strippertank		3,95			ou/s per m ²
slibindikker		3,95			ou/s per m ²
flocculatietank		3,95			ou/s per m ²

* Eén Europese odour unit per kubieke meter (ouE per m³ is de concentratie geurstoffen die door een gemiddeld persoon nog net kan worden geroken. 0,5 odour unit is gelijk aan 1 GE (zoals deze vroeger in Nederland werd gebruikt, de Duitse GE is gelijk aan de Europese = 1 ou).

In artikel 3.5b van het Activiteitenbesluit NeR staan de normen waaraan de geuremissie bij rwzi's wordt getoetst:

- 1 De geurbelasting als gevolg van een zuiveringstechnisch werk is ter plaatse van geurgevoelige objecten niet meer dan 0,5 odour unit per kubieke meter lucht als 98-percentiel.
- 2 In afwijking van het eerste lid is de geurbelasting als gevolg van een zuiveringstechnisch werk ter plaatse van geurgevoelige objecten gelegen op een gezondeerd industrieterrein, een bedrijventerrein danwel buiten de bebouwde kom, niet meer dan 1 odour unit per kubieke meter lucht als 98-percentiel.

6.3 DUITSE EMISSIEMETINGEN

In Duitsland is praktijkonderzoek verricht aan de geuremissies van slib in kassen. In de installatie van Füssen (uitgegist slib) zijn in 2003 in een kas van 2.000 m² de geuremissies gemeten [11,12]. Bij de ventilatieopeningen zijn waarden gemeten van 101 ou/m³ tot 128 ou/m³. Bij de daarbij aanwezige ventilatiecapaciteit van 19.500 m³/hr is dit een geuremissie van 2,0- 2,5 Mou_E/hr. Voor de kas van 2.000 m² in Füssen is dat dus 0,35 ou/(s.m²). Dat is dus fors lager dan de waarde voor ontwaterd slib uit de NeR (1,75 ou/(s.m²)). Of de resultaten van de Duitse geurmeting direct kunnen worden overgenomen in de Nederlandse emissienorm moet worden beoordeeld door de NeR.

Uit het referentieonderzoek bleek dat vooral in warme dagen in de zomer het net aangeleverde slib met een laag drogestofgehalte in de onderlagen nog een anaerobe werking kan hebben waardoor de geur onder die omstandigheden sterker is. Meteen na aanvang van het droogproces neemt deze geurvorming echter drastisch af en bij een drogestofgehalte van 40% is het slib bijna geurloos. Aangezien de geur tijdens het droogproces direct afneemt, is het kennelijk van belang rekening te houden met zogenaamde piekgeuremissies. Door het vullen zo gelijkmatig mogelijk te doen, kunnen deze pieken worden beperkt.

In uitgestigt slib komt ook ammonium voor. In de Duitse literatuur [11] blijkt deze ammoniakemissie klein, in ieder geval fors kleiner dan bij landbouwbedrijven. In Europa heeft men Natura 2000 gebieden aangewezen. Natura 2000 is de benaming voor een Europees netwerk van natuurgebieden waarin belangrijke flora en fauna voorkomen. In dergelijke gebieden stelt men eisen aan de maximale ammoniakdepositie. In dergelijke gebieden kan de ammoniakemissie van kassen een aandachtspunt zijn.

6.4 GEURBEREKENINGEN RWZI ECHTEN

De huidige geurcontour van de rwzi in Echten is weergegeven in figuur 6.1.

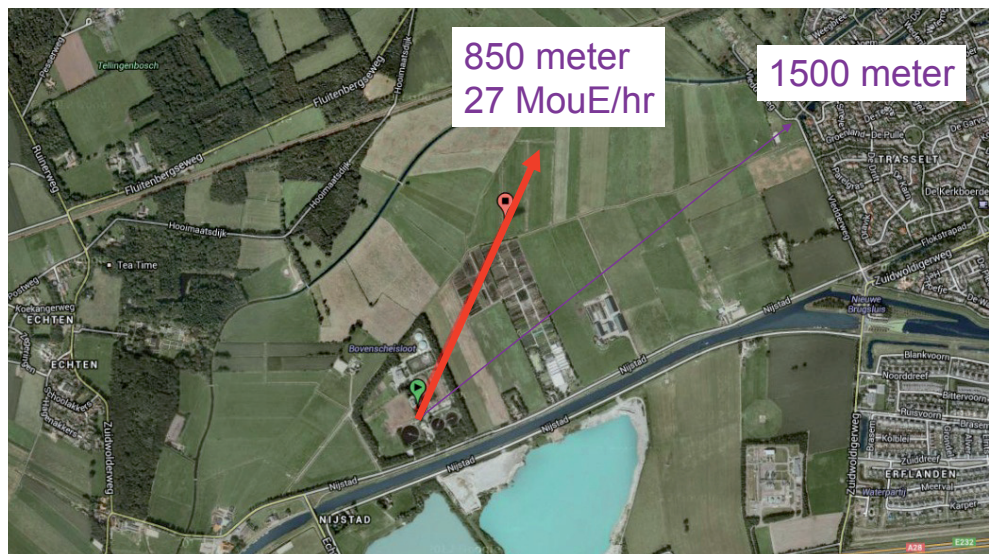
FIGUUR 6.1 GEURCONTOUREN RWZI ECHTEN MET DE MAATGEVENDE CONTOURLIJN (BUITENSTE LIJN MET WAARDE 1)



Voor de geurberekeningen is uitgegaan van in Duitsland gemeten emissies ($0,35 \text{ Ou/s.m}^2$). Hiermee is nu een nieuwe geurcontour berekend. Het plaatsen van een kas met een oppervlakte van 22.000 m^2 levert een geuremissie van $0,35 * 22.000 * 3.600 = 27,5 \text{ Mou}_E/\text{hr}$ op. De huidige geuremissie van de rwzi is nu $35 \text{ Mou}_E/\text{hr}$. Met de Duitse emissiewaarden wordt de totale geuremissie $62,5 \text{ Mou}_E/\text{hr}$.

De maatgevende geuremissie voor kwetsbare objecten zoals woningen liggen op dit moment in Echten op circa 600 meter. Met de nieuwe geuremissie van $62,5 \text{ Mou}_E/\text{hr}$ wordt de afstand van de bepalende geuremissiecontour in dit geval 850 meter (98 percentiel $0,5 \text{ ou/h}$). In Echten zorgt dit op het eerste gezicht niet voor problemen, de dichtstbijzijnde woningen liggen op 1.500 meter van de rwzi (figuur 6.2).

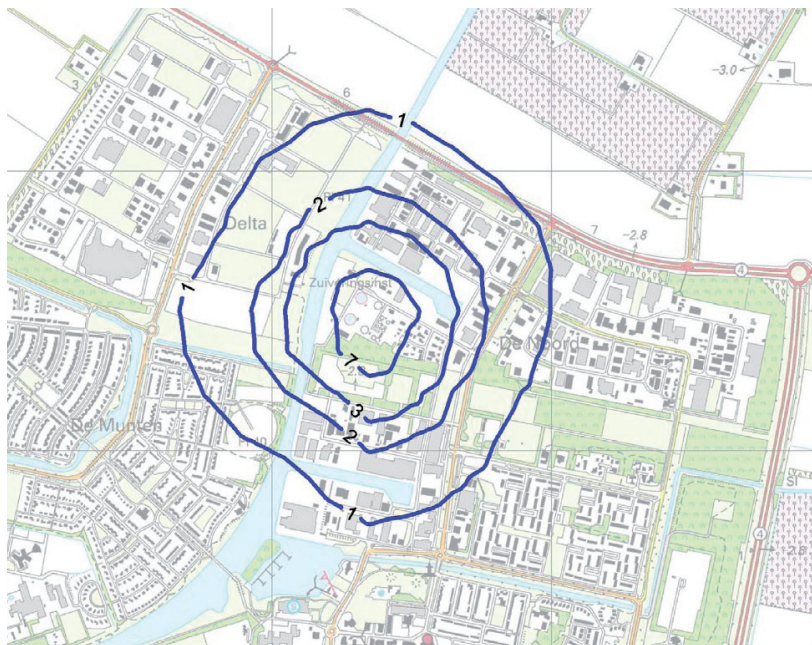
FIGUUR 6.2 RWZI IN ECHTEN MET DE RODE PIJL HET BEREIK VAN DE GEURCONTOUR MET 22.000 M² KASOPPERVLAKTE. DE AFSTAND TOT DE WOONWIJK IS HIER 1.500 METER



6.5 GEURBEREKENINGEN AWZI DRONTEN

De tweede casus voor de geurberekening is de awzi Dronten. Doordat de awzi dicht bij een woonwijk ligt, is de geuremissiecontour kritischer dan die in vergelijking met de rwzi Echten. In figuur 6.3 zijn de huidige geuremissiecontouren van de awzi Dronten weergegeven.

FIGUUR 6.3 GEURCONTOUREN AWZI DRONTEN MET DE MAATGEVENDE CONTOURLIJN (BUITENSTE LIJN MET WAARDE 1)



De huidige geuremissie in Dronten is 74 Mou_E/hr . In de casusberekening in paragraaf 5.5 is een kasoppervlakte berekend van 1.300 m^2 . De geuremissie van deze kas is 1,6 Mou_E/hr . Daarmee komt de totale geuremissie op 75,6 Mou_E/hr . De zeer geringe toename van de geuremissie betekent een kleine verschuiving van de maatgevende geurcontour van circa 10 tot 20 meter.

Of deze verschuiving een knelpunt oplevert, is niet exact vast te stellen. Op het eerste gezicht lijkt uitbreiden van de awzi Dronten met een droogkas van 1.300 m² niet kritisch. Alleen met een uitgebreide geurcontourberekening waarbij precies de locatie van de kassen bekend is, kan hierover uitsluitel gegeven worden.

6.6 CONCLUSIES GEURBEREKENINGEN

In Nederland zijn er geen geuremissiefactoren bekend voor de slibdroging in kassen. De NeR emissiewaarden van opslag van ontwaterd slib zijn te grof, omdat droog slib minder geur produceert dan ontwaterd slib. In Duitsland zijn wel geurmetingen gedaan. Als de geuremissiefactoren uit Duitsland worden overgenomen, dan kan voorzichtig worden gesteld dat bij een kassenoppervlak van 2,2 hectare in Echten de geurcontour geen direct gevolg heeft voor de vergunbaarheid van de rwzi.

De geuremissie is recht evenredig met het kasoppervlak. Een kleinere kas zoals in Dronten heeft dus een hele beperkte geuremissie (1,6 Mou_E/hr). In combinatie met de geuremissie van de bestaande installatie speelt dit maar een kleine rol (2 %).

De NeR geeft aan dat bij onbekende objecten met een zogenaamde geurmeting de emissiefactor moet worden bepaald. Of de resultaten van de Duitse geurmeting direct kunnen worden overgenomen in de Nederlandse emissienorm moet worden beoordeeld door de NeR. Wellicht zijn er extra praktijkmetingen nodig.

Vooralsnog wijzen de eerste verkennende berekeningen voor twee casussen er op dat de geuremissies van kassendroging geen belemmering zijn. Uiteraard zullen deze per locatie zorgvuldig moeten worden beschouwd.

7

DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 DISCUSSIE

KASSENDROGING IN HET BUITENLAND

Uit het referentieonderzoek is gebleken, dat in het buitenland slibdroging in kassen veelvuldig wordt toegepast, met name in Duitsland, maar ook over de hele wereld. Er zijn drie verschillende systemen, die voor specifieke situaties het beste passen. De drie leveranciers zijn alle drie van Duitse oorsprong. Soms wordt restwarmte gebruikt, maar meestal is zonlicht de voornaamste energiebron. Met deze kassen wordt het slibvolume op jaarbasis fors verminderd en wordt daarmee op kosten bespaard. Het systeem is simpel, vergt weinig onderhoud en weinig bediening. Het gedroogde slib kan qua hoeveelheden en drogestofgehalte over het jaar heen variëren, maar blijkt in veel gevallen voor de eindverwerkers (bv bruinkoolcentrales) geen probleem. Bij slibverwerkingskosten boven de 60 euro per ton koek, wegen doorgaans de kosten op tegen de baten. Bij toepassen van restwarmte is de business case nog gunstiger. Kassen zijn duurzaam. Geur en ruimte zijn geen issue.

KANSEN IN NEDERLAND

Waarom is deze techniek in Nederland niet toegepast? In Nederland levert het reduceren van het slibvolume door kassendroging wegens het aandeelhouderschap en langjarige contracten de waterschappen geen tot weinig kostenvoordeel op. Daar komt bij dat de slibeindverwerkers scherpe eisen stellen aan een constante aanvoer en samenstelling. De laatste tijd is er echter meer aandacht voor duurzaamheid en ook studies bevestigen kansen voor lage temperatuurdroging (LTD), wat goed gecombineerd kan worden met zonlicht in kassen. Slib drogen is voor bijna alle toekomstscenario's, behalve voor superkritisch vergassen, een no regret maatregel, waardoor een alternatief met kassendroging voor Nederland een serieuze optie is. Er is in Nederland veel restwarmte beschikbaar, wat nog maar weinig wordt benut. Daar liggen ook nog diverse kansen, omdat ten opzichte van de beschikbaarheid in Nederland nog geen 1% daarvan nodig is voor slibdroging. Bovendien is leveringszekerheid geen kritisch punt en kunnen in sommige gevallen drooginstallaties in de buurt van de restwarmteleveranciers gebouwd worden.

NEDERLANDS MODEL VOOR DROGING IN KASSEN

Er is in Nederland veel kennis op het gebied van kassenbouw. Samen met kennis uit de beschikbare Duitse literatuur is er een model gemaakt, waarmee kassendroging kan worden doorgerekend. Dat model is geschikt voor alle typen slibdroogkassen, onder de Nederlandse klimatologische omstandigheden en voor elke input en output qua drogestofgehalte en geeft ook de investeringen en jaarlijkse kosten. Met dit model zijn vier casussen doorgerekend. Het model maakt ook inzichtelijk wat er bij elke casus in de kas door het jaar heen gebeurt.

Het model kon binnen het tijdsbestek van dit project niet gebruiksvriendelijk en fail-safe gemaakt worden om het voor gebruik door derden te verspreiden. Wel is aan de hand van de modelresultaten in dit rapport een set vuistregels opgesteld waarmee de afmetingen en kosten van kassendroging geraamd kunnen worden.

UITGEWERKTE CASUSSEN

1. **Rwzi Ameland:** op Ameland is een kasoppervlakte van 1.300 m² voldoende om de slibkoek (die eerst met bijvoorbeeld een (nog niet aanwezige) schroefpers uit ingedikt slib is gemaakt) met een drogestofgehalte van 19% te drogen naar 57%. De totale slibafvoer wordt daarmee gereduceerd van 1.000 ton koek per jaar naar 260 ton droog slib per jaar. Dat kan in één keer per boot getransporteerd worden naar het vaste land. De kosten zijn ingeschat op 114 €/ton slibkoek. Daarmee zijn de kosten lager dan de huidige kosten. De terugverdientijd wordt geraamd op 14 jaar.
2. **Rwzi Echten:** de conclusie van de modelberekeningen aan de situatie in rwzi Echten is dat er bij gebruik van een kas van 22.000 m² voldaan kan worden aan de eis om het slib af te voeren met minimaal 50% droge stof. Het kasoppervlak is groot omdat geen restwarmte wordt ingezet. Door de droging in de kas wordt het volume gereduceerd van 25.000 ton naar 11.000 ton en zakken de kosten van de slibeindverwerking naar 79 euro per ton koek. De terugverdientijd is met 24 jaar te lang, zeker als de tarieven voor de slibeindverwerking de komende jaren gaan dalen.
3. **Awzi Dronten:** bij de awzi Dronten is er een kleine hoeveelheid restwarmte beschikbaar. Dat heeft direct een positief effect op het oppervlak en de kosten. Hierdoor dalen de overall slibverwerkingskosten naar 65 € per ton slibkoek. Op dit moment heeft de awzi Dronten echter een gunstig slibafzetcontract waarbij het ontwaterde slib voor 68 euro per ton kan worden afgezet. De 3 euro voordeel die kassendroging hierdoor oplevert, is veel te weinig om de investering te laten renderen, waardoor dit geen positieve businesscase oplevert.
4. **Wetterskip Fryslân:** wanneer slib in een kas met de intensieve inzet van restwarmte wordt gedroogd, komen de integrale kosten, inclusief transport en BTW op 49 €/ton slibkoek. Hiermee is dit veruit de gunstigste situatie van de vier casussen die in dit onderzoek zijn bestudeerd. De ruime beschikking over restwarmte maakt het ook mogelijk dat de kasruimte en de installaties intensief, en dus zeer kosteneffectief kunnen worden benut. Bij een aangenomen kostprijs voor restwarmte van 5 €/GJ (dat is de helft van de industriële gasprijs) is de kosten-daling zodanig dat de installatie binnen 2 jaar zou zijn terugverdiend.

Samenvattend: de hier uitgevoerde studie naar vier casussen laat zien dat onder de gestelde aannamen het drogen van slib in kassen in de meeste gevallen tot lagere exploitatiekosten leidt, maar dat alleen de casus waarbij zeer intensief gebruik wordt gemaakt van restwarmte (Wetterskip Fryslân) de benodigde investeringen voldoende snel worden terugverdiend.

GEURPROBLEMATIEK

Nederland heeft een eigen emissierichtlijn (NeR) waarin geuremissie is beschreven. Voor slibdroging in kassen is hier geen kengetal in opgenomen. Als de geuremissiefactoren uit Duitsland worden overgenomen kan voorzichtig worden gesteld dat bij een kassenoppervlakte van 22.000 m² in Echten de geurcontour geen direct gevolg heeft voor de vergunbaarheid van de rwzi mét drooginstallatie. De kleinere kas in Dronten ligt in bebouwd gebied, maar heeft een hele beperkte geurcontour waardoor de geuremissie nauwelijks wordt beïnvloed. Wellicht zullen in de praktijk nog metingen gedaan moeten worden. Vooralsnog lijkt geur geen knelpunt op te leveren.

ENERGIE EN CO₂ BESPARING EN MJA3

Droging van slib in kassen verhoogt de verbrandingswaarde van het slib en draagt daarmee bij aan een efficiëntere energiehuishouding. Als het slib wordt gebruikt voor de productie van elektriciteit leidt de droging van het slib tot een hogere energieproductie uit het slib. Het benodigde primaire energieverbruik van ventilatoren en omwoelmachines om het slib te drogen bedraagt circa 5 tot 20% van de bruto energiewinst. De vermeden CO₂ uitstoot loopt parallel aan de verbetering van de verbrandingswaarde en bedraagt 80 tot 125 kg vermeden CO₂-emissie per ton slibkoek. Daarnaast levert de slibdroging in kassen met of zonder restwarmte een positieve bijdrage aan MJA3. Als de leverancier van restwarmte niet meedoet met MJA3 kan deze besparing voor 100% aan MJA3 worden toegerekend. Dat is op het totale verbruik van Wetterskip Fryslân een MJA3 bijdrage van circa 27 %. Dit is een zeer significante bijdrage aan de MJA3 doelstellingen. Voor andere waterschappen kan dit anders zijn, afhankelijk van de huidige verwerkingsroute, maar ook daar kan een significante bijdrage aan de MJA3 doelstellingen worden geleverd.

7.2 CONCLUSIES

TECHNISCH

- In het buitenland wordt slibdroging met kassen veelvuldig toegepast voor volume- en kostenreductie bij de slibafzet bij de eindverwerker. Ontwaterd slib (vanaf 20 % ds) en in één concept ook ingedikt slib (10-15 %) worden gedroogd in een range van 50 % tot 85 % ds (afhankelijk van de specifieke omstandigheden). Het systeem is simpel en de baten wegen op tegen de kosten.
- Er zijn verschillende leveranciers en uitvoeringsvormen die allen specifieke voor- en nadelen hebben. Voor elke situatie is een maatoplossing te bedenken. Dat geldt ook voor het transport naar de kas.
- In het buitenland worden de kassen meestal alleen met zonlicht bedreven. De bedrijfsvoering is divers: in de winter drogen tot 50 % ds en in de zomer tot 85 % ds, of oppotten in de kas in de winter en afvoer april-oktober. De afname van gedroogd slib met variërende ds gehalten door de eindverwerker is doorgaans geen probleem.
- Bij toepassing van restwarmte (LTD) wordt het volume van de kas fors kleiner, de bijdrage van zonlicht op de droging is dan minder.
- Op basis van de onderhavige studie is een keuzeschema met vuistregels en kengetallen beschikbaar om de afmetingen en kosten en benodigde restwarmte voor slibdroging in kassen te kunnen bepalen.
- Het (primaire) energieverbruik van de ventilatoren en omwoelapparatuur varieert van 5 tot 20 % van de energiewaarde van het gedroogde slib.

DUURZAAMHEID

- Door het drogen krijgt het slib een hogere energiewaarde, waarmee bij (co)verbranding elektriciteit kan worden opgewekt. Dat is duurzaam en leidt tot vermeden CO₂.
- Slib drogen in kassen levert een ketenbijdrage aan MJA3. Deze ketenbijdrage hangt af van de huidige slibeindverwerking (en indien van toepassing de warmteleverancier). Deze bijdrage kan enkele tientallen procenten bedragen.
- Technieken voor Lage Temperatuur Droging (LTD) in het algemeen zijn kansrijk, omdat ze goed scoren op kosten en duurzaamheid. Toepassing van restwarmte bij kassendroging is een vorm van LTD. Er is in Nederland ruim voldoende restwarmte van T > 80 °C aanwezig.
- Geur lijkt geen groot knelpunt op basis van metingen in Duitsland. Nader onderzoek is nodig voor de Nederlandse situatie.
- Ruimte kan zeker in sommige delen van het land (vooral in de Randstad) een probleem zijn. Dat geldt echter niet voor heel Nederland. Rwzi's liggen vaak aan de rand van steden-/industrieterreinen, waar nog ruimte aanwezig is. Dit zal per geval moeten worden bekeken.

DOELMATIGHEID (ECONOMIE)

- Zonne-energie alleen levert in Nederland onvoldoende kostenbesparingen op om de kassen toe te passen en de slibketen anders in te richten. Toepassing van restwarmte (LTD) levert een positieve business case op.
- De toepassing van restwarmte geeft onder de juiste condities een dusdanige kostenbesparing, dat deze toepassing voor de nabije toekomst kansrijk is. Er is een kostenreductie van 25 tot 50 % op de kosten voor slibeindverwerking mogelijk.

NEDERLANDSE MARKT

- Door de structuur van de markt voor slibeindverwerking in Nederland is (voordrogen) in kassen nooit in beeld gekomen. Nu doelmatigheid en duurzaamheid (en niet alleen afzetzekerheid) bij de waterschappen hoog op de agenda staan, verdient het kassen en LTD concept meer aandacht voor de nieuwe slibcontracten in de (nabije) toekomst.
- Er is in Nederland veel geschikte restwarmte (> 80 °C) die niet wordt benut. Met de benutting van een klein deel daarvan via technieken voor Lage Temperatuur Droging (LTD) kan al het slib in Nederland worden gedroogd.
- Als vorm van LTD zijn kassen een doelmatige en duurzame methode die ook past in de doelstellingen om restwarmte te benutten en voor MJA3.
- Hoewel de ruimte in Nederland in het algemeen beperkt is, is er bij rwzi's aan de rand van steden en industrieterreinen nog ruimte beschikbaar. Zeker ook bij sommige warmtelevanciers (AVT's en centrales) is meer dan genoeg ruimte beschikbaar.

TOEKOMST

- De waterschappen in Nederland willen doelmatiger en duurzamer werken. LTD en kassen passen prima in dat streven.
- Bij de toekomstige ontwikkelingen voor de slibeindverwerking is droging een no-regret maatregel. Alleen als superkritisch vergassen als haalbare, doelmatige en duurzame techniek in beeld komt, past LTD minder. Als dit zo is, zal daar zeker nog 10 jaar overheen gaan. Op korte termijn investeren in droging is dus "altijd goed."
- De waterschappen willen steeds meer gaan samenwerken in de keten (Routekaart 2030) om doelmatiger en duurzamer te werken. Ook met partners in de keten (afvalverwerkers, centrales, etc). Slib drogen in kassen met restwarmte is een daarbij kansrijk.

7.3 AANBEVELINGEN

Als eerste is van belang om via voldoende informatieverstrekking de ketenpartners te overtuigen van de kansrijkheid van slibdrogen in kassen. Dat kan via het STOWA rapport, via publicaties, werkbezoeken en presentaties. Wat verder nodig is, is “durf” om launching customer te zijn. Dat geldt zowel voor de waterschappen om open te staan voor een nieuwe methode voor slibeindverwerking als voor de warmteleveranciers om tegen een aantrekkelijk tarief (laagwaardige of rest)warmte te leveren.

Welke potentiële belemmeringen zijn er om kassen in te zetten voor slibdroging met restwarmte in Nederland

- 1 Onzekerheid of de geuremissie in Nederland een groter knelpunt is dan in Duitsland.
- 2 Onzekerheid over de terugverdientijden door afnemende verwerkingstarieven van alternatieve slibverwerkingsroutes.
- 3 Onzekerheid over de afname van het gedroogde slib zowel qua verwerkingstarieven als de technische mogelijkheden van coverbranding, monoverbranding, mogelijkheden tot fosfaat-terugwinning.
- 4 Onzekerheid over de impact van de bestaande slibcontracten.

Ad 1. De onzekerheid over geuremissies kan worden verminderd door in Duitsland op enkele locaties te gaan meten met de in Nederland gangbare methoden. Beter is om te gaan meten op een “demo-installatie” in Nederland met Nederlands slib.

Ad 2. Ook al dalen de tarieven van de alternatieve verwerkingsmethoden tot 60 euro (all in), de kosten van slib drogen in kassen bij gebruik van niet te dure restwarmte zijn dusdanig laag dat de terugverdientijd wel toeneemt, maar nog steeds acceptabel is (< 6 jaar).

Ad 3. Deze onzekerheden kunnen worden verminderd door concreet met ketenpartners in gesprek te gaan en de (technische) mogelijkheden te bekijken. Een meertraps benadering is denkbaar, bijvoorbeeld eerst focussen op drogen met coverbranden en bij voldoende slib-volume als tweede stap overschakelen op monoverbranding met opwerken van de as om fosfaat terug te winnen.

Ad 4. Het blijkt moeilijk om Nederlands slib uit een slibcontract apart te houden voor een demo-test on site bij een restwarmteleverancier.

Om de ketenpartners in beweging te krijgen is een katalysator nodig. Deze katalysator zou een demo-installatie van een kas bij een restwarmteleverancier kunnen zijn. Deze demo wordt gevoed met een goede afspiegeling van het Nederlandse slib van de toekomst met daarin een bandbreedte (uitgegist slib, TDH slib). Bij deze demo worden diverse zaken gemonitord: slibhandeling, energiekosten, personele inzet, onderhoud, geur, etc. Deze beschikbare praktijkinformatie geeft de ketenpartners in Nederland voldoende basis om de eigen maatoplossingen door te rekenen of een positieve business case mogelijk is.

8

LITERATUUR

- [0] Verslag bezoek slibdroging Duitsland, E. Klaversma, Waternet, 6 november 2008
- [1] STOWA, Slibketenstudie II, 2010 33.
- [2] Reitsma, B, Berg, R, Brandse, F, Geerse, H (2011), Nieuwe slibeindverwerking Noord Nederland, kansen voor slibdroging met restwarmte en een slibenergiefabriek, H2O 19 2011. Achterliggende Tauw rapport van 20 april 2011 nummer: R002-4748020BWP-jmb-V01-NL, te downloaden op hydrotheek <http://edepot.wur.nl/170068>
- [3] Bennamoun, L. 2012, Solar drying of wastewater sludge: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 1, January 2012, Pages 1061–1073
- [4] Seginer, I and M. Bux, 2006, Modeling Solar Drying of Wastewater Sludge, Drying Technology: An international Journal, 24:11, 1353-1363
- [5] Seginer, I, I Islovich and M. Bux, 2007, Optimal Control of Solar Sludge Dryers, Drying Technology: An international Journal, 25:2, 401-415
- [6] Socias, I, 2011, The Solar Drying Plant in Mallorca: the Drying Process in Waste Management, EuroDrying 2011, The European drying conference , 2011, Spain
- [7] Kläranlage Karlsfeld, Herr Oberbauern, Duitsland, Klaeranlage@Karlsfeld.de
- [8] Kläranlage Hagen, Duitsland, gemeinde-hagen-klaeranlage@osnanet.de
- [9] Kläranlage Knittelfeld, Oostenrijk, office@awv-knittelfeld.at
- [10] Wolfgang Brehm [brehm@wendewolf.com], WendeWolf Solar Sludge Drying System
- [11] Kläranlage Füssen, Klaeranlage@fussen.de
- [12] Klärschlamm-trocknungsanlage des Abwasserzweckverbands Füssen, Bayerische Landsamt für Umweltschutz, Augsburg, 2003
- [13] Solare Klärschlamm-trocknung in der Praxis, erfahrungen auf der ARA Glarnerland, Hans-Rudolf Zweifel, 2001
- [14] Messkampagne für eine solare Klärschlamm-trocknungsanlage in Bilten GL, Bundesamtes für Energie, Zwitterland 2009

- [15] Warmte op stoom, werkprogramma voor verduurzaming van de warmte- en koudevoorziening, 2008, min EZ

- [16] M. Boesten, W. Poiesz, D. de Reus, A. Haijer (2012), Gruisontwatering biedt nieuw perspectief op verbeteren slibverwerking, H2O 22

- [17] Sectorakkoord Energie 2008-2020; Convenant tussen Rijksoverheid en energiebranches in het kader van het werkprogramma Schoon en Zuinig (2009)

- [18] De Zwart, H.F., 1996. Analyzing energy-saving options in greenhouse cultivation using a simulation model. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University

- [19] Mailwisseling Steffen Ritterbusch (Steffen.Ritterbusch@thermo-system.com) Thermo System, 9 september 2013 en 28 oktober 2013

- [20] Ketenakkoord fosfaatrecycling 2011, Ministerie van Infrastructuur en Milieu

BIJLAGE 1

REFERENTIEONDERZOEK

REFERENTIEONDERZOEK SLIB DROGEN IN KASSEN

FEBRUARI 2013

A0. AANPAK REFERENTIEONDERZOEK

De systemen van de verschillende producenten hebben diverse voor- en nadelen. De informatie is voornamelijk afkomstig van de fabrikanten zelf waardoor een te eenzijdig beeld kan ontstaan. Ervaringen van gebruikers zijn noodzakelijk om een objectief beeld te krijgen van de kassen-droging. Door benaderen van de gebruikers is meer inzicht verkregen in de kosten, specifieke kenmerken van de kassen en de aspecten bedrijfsvoering en geurbehandeling, eventuele overlast en het benodigde onderhoud.

Bij de benadering van verschillende waterschappen in Duitsland is veel informatie in de vorm van literatuurstudies van kassendroging toegestuurd. Meer persoonlijk contact via telefoon en e-mail bleek erg moeilijk. Hierdoor is er slechts met twee verschillende gebruikers (Duitse waterschap-pen) sprake geweest van ervaringsuitwisseling [7,11]. De rest van de gepresenteerde referentie-informatie is gebaseerd op Duitse onderzoekspublicaties [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 12,13]. Daarnaast is er een Zwitserse publicatie verkregen, die ook veel nuttige informatie bevatte [14].

In tabel A0 zijn de verschillende installaties weergegeven die in het referentieonderzoek zijn beschreven.

TABEL A0

IN HET REFERENTIEONDERZOEK BESCHREVEN INSTALLATIES

Gebruiker	Systeem
Abwasserzweckverband Füssen (Duitsland) [7]	Thermo-System, elektric mole (bouwjaar 1999)
Kläranlage Karlsfeld (Duitsland) [11]	Wendewolf IST
ARA Bilten GL (Zwitserland) [14]	Wendewolf IST

Vóór de uitvoering van het referentieonderzoek is door de uitvoerders van dit onderzoek twee-maal een bezoek gebracht aan de kassendrogininstallatie te Frysoithe in Duitsland (okt 2011 en dec 2012). Dit locatiebezoek was een verkenning om de kansen voor Nederland in te schatting, zonder systematisch onderzoek van de bedrijfsvoering, emissies en kosten. In een aparte paragraaf aan het einde van het referentieonderzoek worden enkele dimensies en foto's van de installatie gegeven met een persoonlijke impressie. Dit is dus formeel geen onderdeel van het referentieonderzoek, maar bevat wel relevante praktijkinformatie over kassen en is daarom wel opgenomen in deze bijlage.

A1. ABWASSERZWECKVERBAND FÜSSEN

De rwzi in Füssen omvat de stad Füssen in Duitsland, gelegen in Zuid Duitsland tegen de Oostenrijkse grens. De stad telt 14.000 inwoners maar is een populair vakantiegebied met ongeveer 2 miljoen overnachtingen per jaar vooral in de zomer. De gemiddelde belasting van de rwzi bedraagt 43.500 i.e. per jaar maar in de piekmaanden is de belasting 140.000 i.e. De informatie van de rwzi Füssen komt van het Abwasserzweckverband Füssen en van een onafhankelijke studie [12] naar vooral de emissies van de kassendrogingssysteem.

FIGUUR A1 DROOGSYSTEEM IN FÜSSEN OP HOOGTE VAN 800 METER

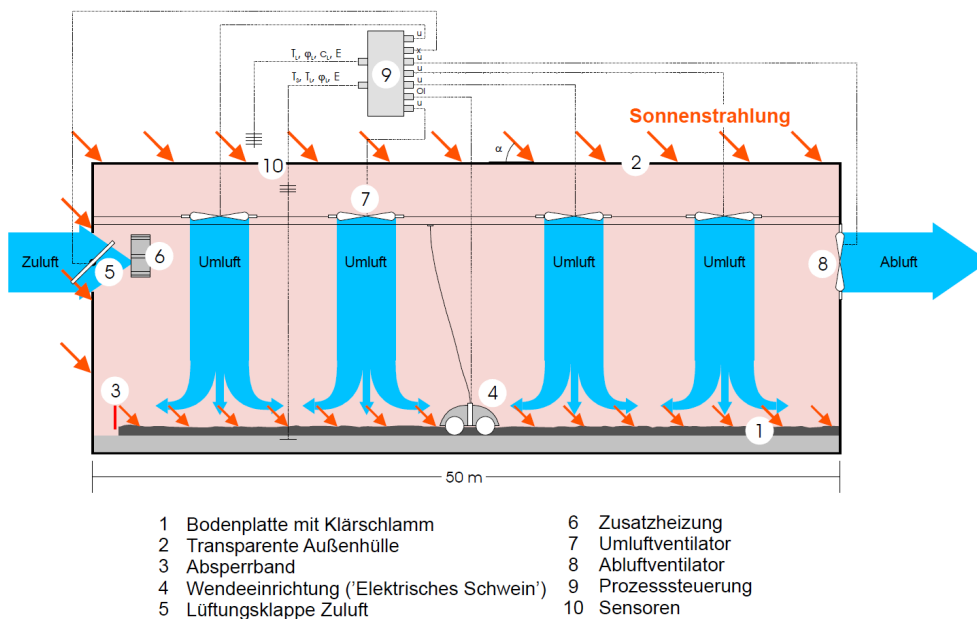


TABEL A1 EIGENSCHAPPEN KASDROOGSYSTEEM

Kasdroging Abwasserzweckverband Füssen

Fabrikant	Thermo System
Methode	Electric Mole
Gebruik restwarmte	Mogelijk, restwarmte van WKK in de zomer
Oppervlakte kassen	4 kassen x 500 m ² , totaal 2000 m ²
Afmeting kassen	10 x 50 m per kas
Maximale vulhoogte	20 tot 30 cm (na droging 15 – 20 cm)
drogestofgehalte slib bij begin droging	28%
Zomer	
Droogtijd	4 – 8 weken
ds- gehalte na drogen	Tot 80%
Winter	
Droogtijd	min 10 weken
ds- gehalte na drogen	Tot 50%

FIGUUR A2 SCHEMATISCHE WEERGAVE KASDROOGSYSTEEM IN FÜSSEN



BEDRIJFSVOERING

Het bedrijven van het kassendroogstelsysteem op zonnwarme is het bereikbare ds- gehalte in het algemeen sterk afhankelijk van de weersomstandigheden. Maar ook de bedrijfsvoering van het systeem heeft invloed op het uiteindelijke drogestofgehalte. In enkele gevallen worden de kassen te laat gelegegd waardoor slib onnodig lang blijft drogen. Daarnaast kan een verkeerde instelling van de regeling/sturing een negatieve invloed hebben op de droogtijd. In het algemeen wordt de installatie zonder problemen bedreven.

ONDERHOUD EN STORINGEN

Het onderhoud aan het systeem is minimaal en beperkt zich tot het onderhouden en schoonmaken van de Elektrische Mole. Storingen van het systeem doen zich gemiddeld 2 x per maand voor en bestaan uit het handmatig verzetten van de Elektrische Mole nadat deze zich heeft vastgereden en uit het opnieuw opstarten van het systeem (bijvoorbeeld nadat een vogel in de hal is terecht gekomen).

STOFEMISSIONS KAS

Bij een drogestofgehalte van circa 75% ontstaat stof, vooral bij het legen van de kas met een shovel. Op dat moment moeten stofbeschermende maatregelen worden getroffen voor de werknemer op de shovel.

GEUR

De geurintensieve stoffen worden sterk gereduceerd in het slib door de anaerobe afbouw van organische componenten (koolhydraten en eiwitten) bij de voorafgaande vergisting. De geurintensieve componenten die overblijven in het slib na anaerobe voorbehandeling zijn voornamelijk:

- Stikstofverbindingen (ammoniak, amine, skatol)
- Zwavelverbindingen (zwavelwaterstoffen, merkaptane)
- Koolwaterstoffen
- Andere verbindingen met functionele groepen (o.a organische zuren)

De geurintensiteit van de aflat van het kassensysteem in Füssen is door de universiteit van Stuttgart onderzocht met een Olfaktometer. Meetdata gaven een geurconcentratie van de aflat van 101 tot 128 GE/m³ (GE = Geuremissie eenheid). In Duitsland is de grens voor agrarische bedrijven vastgesteld op 500 GE/m³. Volgens deze meting liggen de waarden hier ruim onder. Wel is de ervaring dat vooral in warme dagen in de zomer het 'verse' slib met een laag drogestofgehalte in de onderlagen nog een anaerobe nawerking kan hebben waardoor de geur sterker is dan in de wintermaanden. Meteen na aanvang van het droogproces neemt deze geurvorming drastisch af en bij een drogestofgehalte van 40% is het slib bijna geurloos.

ZOMER EN WINTER EFFECTEN

In de zomermaanden wordt de stad Füssen bezocht door vakantiegangers. Het aanbod van slib is in de zomermaanden maximaal. De kassen zijn dan ook volledig gevuld met slib voor het droogproces. Om het proces nog sneller te laten verlopen wordt een deel van de restwarmte van de WKK ingezet. Op deze manier kan in de zomermaanden een maximaal hoeveelheid slib worden verwerkt. In de wintermaanden is de slibaanbod minimaal, het slib wordt tijdelijk opgeslagen in de kassen en heeft een langere droogtijd nodig. Door het lagere aanbod en de langere droogtijd wordt gemiddeld in de winter een drogestofgehalte gehaald van 50%.

A2. KLÄRANLAGE KARLSFELD

Karlsfeld is een gemeente in de Duitse deelstaat Beieren, en maakt deel uit van het Landkreis Dachau. Karlsfeld telt circa 19.000 inwoners. Jaarlijks verwerkt de rwzi circa 3,1 miljoen m³ afvalwater. De rwzi van Karlsfeld heeft 2 kassen met het Wendewolfsysteem. Het systeem is in 2006 in bedrijf genomen. De totale oppervlakte is 1.500 m². Het slib wordt alleen met zonnewarmte gedroogd. Informatie is verkregen van Gemeindewerke Karlsfeld door middel van e-mailcontact.

FIGUUR A3

RWZI KARLSFELD MET TWEE KASSEN VAN TOTAAL 1.488 M²

TABEL A2

EIGENSCHAPPEN KASDROOGSYSTEEM

Kasdroging Karlsfeld	
Fabrikant	IST Anlagebau GmbH
Methode	Wendewolf
Gebruik restwarmte	Geen
Oppervlakte kassen	2 kassen, 1.488 m ²
Afmeting kassen	2 x 12 m x 62 m
Maximale vulhoogte	tot 40 cm in de wintermaanden
drogestofgehalte slib bij begin droging	20 – 28% ds (na centrifuge)
Zomer	
Droogtijd	4 weken
ds- gehalte na drogen	Tot 70%
Winter	
Droogtijd	Wintermaanden alleen aanvoer, geen afvoer
ds- gehalte na drogen	vanaf 60%

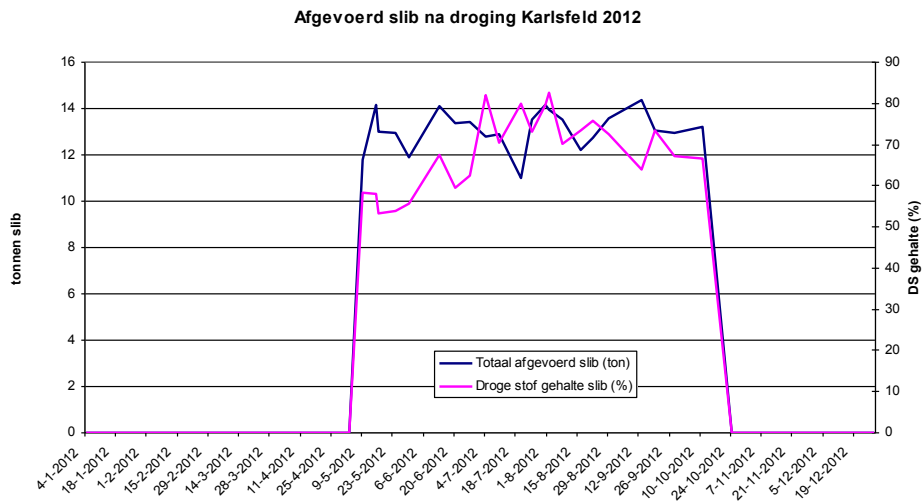
BEDRIJFSVOERING EN ONDERHOUD

Het Wendewolfsysteem is eenvoudig te bedienen en heeft een gemiddelde bedrijfstijd van ongeveer 8 uur per week. Standaard onderhoud van het systeem is oliewisseling, smeren van draaiende onderdelen en het reinigen van de luchtfilters.

WINTER EN ZOMER

Omdat het systeem geen restwarmtebenutting heeft, staat het droogstelsysteem in de winter stil. Door bevriezing van de bovenlaag wordt de Wendewolf geheel stop gezet om beschadiging te voorkomen. Het slib wordt in de wintermaanden opgepot tot een maximale hoogte van 40 cm. Als de temperatuur weer oploopt in april wordt het systeem weer in werking gezet (tot november).

FIGUUR A4 AFVOER VAN SLIB IN TONNEN EN DROGESTOFGEHALTE AFGEVOERDE SLIB IN 2012 OP DE KASSENDROGING IN KARLSFELD. VANAF BEGIN MEI TOT BEGIN NOVEMBER WORDT SLIB AFGEVOERD



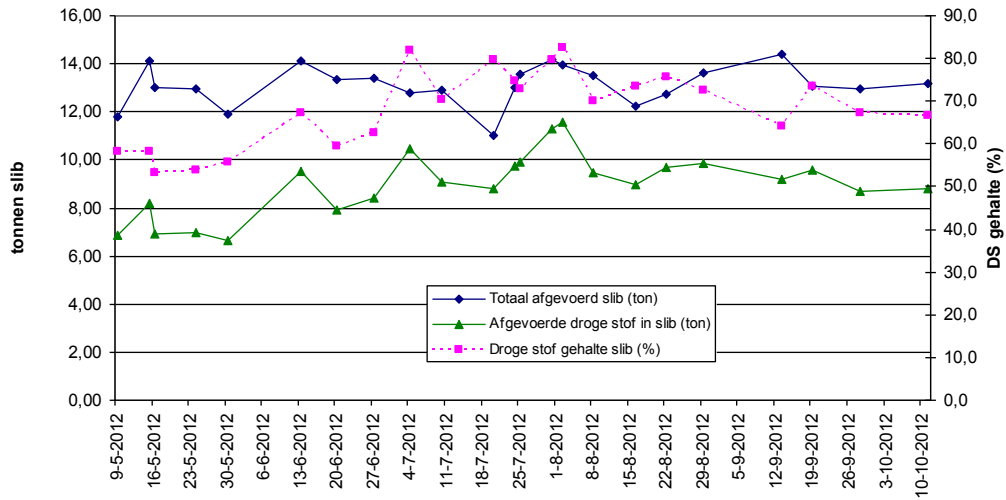
De droging verloopt dan nog erg langzaam. In de maand april en mei wordt het slib dan weer langzamerhand afgevoerd (circa 12 ton per week). Belangrijk is dat deze methode alleen bij een systeem zoals de Wendewolf kan worden toegepast. De Wendewolf kan namelijk een laagdikte aan van maximaal 80 cm, een Electric Mole kan tot maximaal 30 cm.

AFZET VAN SLIB

Uit economische overweging wordt het slib pas afgevoerd bij een minimale drogestofgehalte van 60%, alleen bij knelpunten en bedrijfsproblemen wordt het slib eerder afgevoerd. Het slib wordt naar de afvalverbranding gebracht. De afvalverbrander stelt geen voorwaarden aan het droge-stofgehalte en hanteert een vast tarief per ton slibaanvoer. Het drogen van het slib zorgt voor een kostenreductie doordat het massa wordt gereduceerd en er minder transportbewegingen zijn. De grens ligt daarbij bij minimaal 60 % ds.

In de volgende figuur is een overzicht gegeven van het afgevoerde slib in 2012. Op 9 mei is begonnen met de afvoer van gedroogd slib van circa 60 % droge stof. In de daaropvolgende maanden wordt het opgeslagen slib uit de winter langzaam weggewerkt. Door de kortere droogtijd wordt gemiddeld over de maanden evenveel slib vervoerd. Het droge stofgehalte loopt in de zomermaanden op naar de 80%, gemiddeld over het jaar 2012 is het drogestofgehalte 68,5 %.

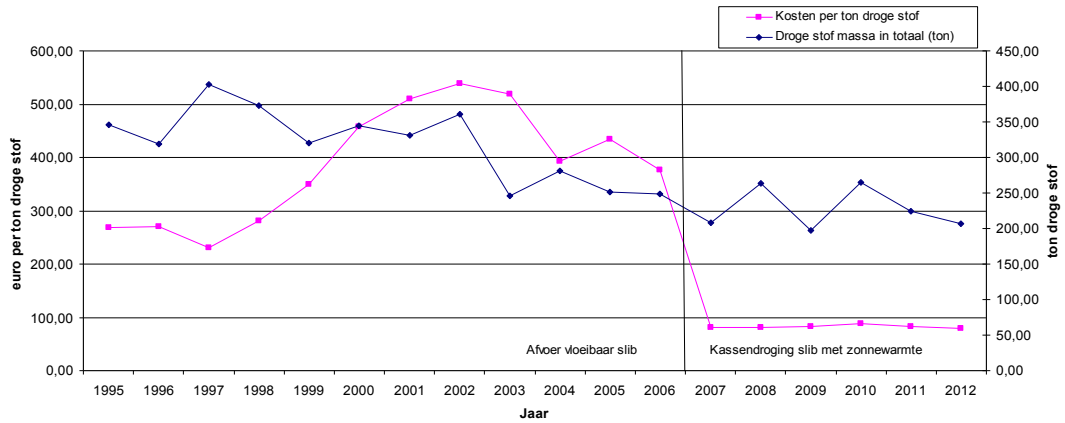
FIGUUR A5 AFGEVOERDE SLIB NA DROGING IN KARLSFELD IN 2012



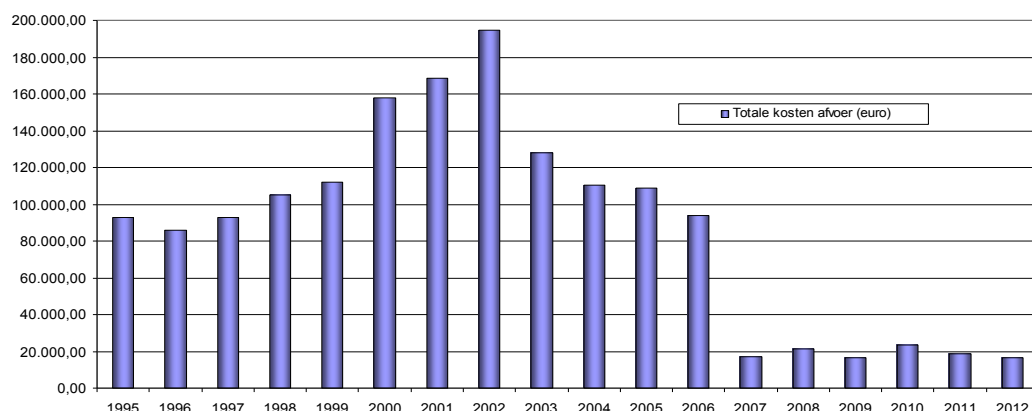
OVERZICHT AFVOERKOSTEN

In figuur A6 is een overzicht van de afvoerkosten weergegeven. Na ingebruikname van de installatie werden de kosten per afgevoerde ton drogestof van circa 400 euro per ton drogestof gereduceerd naar gemiddeld 81 euro per ton droge stof. De totale kosten per jaar (figuur A7) komen daarmee gemiddeld 80.000 euro lager te liggen. De reductie van de transportkosten zitten hier nog niet in. De investeringskosten van het totale kassensysteem zijn circa 1.100.000 euro.

FIGUUR A6 KOSTEN EN AFVOERHOEVEELHEID GEDROOGD SLIB



FIGUUR A7 TOTALE AFVOERKOSTEN KARLSFELD VANAF 1995



A3. ARA BILTEN GL (ZWITSERLAND)

De rwzi in Bilten in Zwitserland heeft sinds 1999 een kassendroogstelsysteem inclusief bodemverwarming met restwarmte. Het systeem maakt gebruik van de Wendewolf van de firma IST. Inmiddels heeft het bedrijf 4 drooghallen met een totaaloppervlakte van circa 3.000 m². Jaarlijks wordt hier 4.000 ton slib met een drogestofgehalte van 22- 25% verwerkt.

In Zwitserland is het sinds 1 mei 2003 verboden om slib uit te rijden op het land. Jaarlijks wordt in Zwitserland 4.000.000 ton slib met 5% drogestofgehalte verwerkt (dus 200.000 ton droge stof). Ongeveer 50% van het slib wordt verwerkt in slibverbrandingsovens, 20% in afvalverbrandings-ovens, 20% in de cementindustrie en ongeveer 10% wordt naar Duitsland getransporteerd en in de bruinkoolcentrales verwerkt.

Het slib van Bilten wordt in de ovens van KVA Niederurnen (afvalverbranding) verwerkt. Het slib mag maximaal een drogestofgehalte hebben van 45%, zodat dit nog met cementpompen kan worden verpompt. De ARA in Bilten levert dan ook het gehele jaar door slib met een drogestofgehalte van 45%.

TABEL A3 EIGENSCHAPPEN KASDROOGSYSTEEM

Kasdroging Bilten	
Fabrikant	IST Anlagebau GmbH
Methode	Wendewolf
Gebruik restwarmte	Bodemverwarming
Oppervlakte kassen	4 kassen, 2.976 m ²
Afmeting kassen	4 x 10 m x 72 m
Maximale vulhoogte	40 cm
drogestofgehalte slib bij begin droging	22 - 25% ds (na centrifuge)
Zomer en winter	
Droogtijd	4 - 8 weken
ds- gehalte na drogen	40 tot 50 %

BEDRIJFSVOERING

Het aangevoerde slib wordt bij de zeefbandpers of bij een stapelbunker opgeslagen en met een lader automatisch voor de keermachine afgeleverd. De keermachine (van Wendewolf) zorgt voor een gelijkmatige verdeling in de kassen. Het vullen van de kassen gebeurt gelijkmatig met het aanbod van het slib. Het proces is volcontinu. De afvoer van het gedroogde slib gebeurt in bulk en op verschillende tijden en is volledig onafhankelijk van het overige proces. In de winter wordt de slib langere tijd in de hallen gehouden. Als het weer gunstig is wordt het proces in werking gesteld en wordt er onregelmatig gedroogd slib afgevoerd. Het systeem is voor 92 % (1.400 MWh / jaar) afhankelijk van zonnewarmte en voor 8% (125 MWh / jaar) van restwarmte.

Direct na inbedrijfname werd het slib aan de rand van de kas droger dan in het midden van de kas. Het verschil kon oplopen tot 15 % van het drogestofgehalte. Dit zogenaamde randeffect had te maken met reflectie van het zonlicht aan de rand van de kassen. Het gevolg is dat in 2001 extra ventilatoren in de hal werden ingezet om een betere verdeling van de warmte te krijgen.

De keermachine (Wendewolf) voert per dag ongeveer 4 wendingen uit in 1 hal. Meer wendingen hebben geen snellere droging tot gevolg. Alleen bij intensieve zonneshijn ($>300 \text{ W/m}^2$) worden 2 tot 3 extra wendingen uitgevoerd. In de winter worden de wendingen gereduceerd of geheel stilgelegd.

GEUR

In de afgelopen jaren is er geen relevante geuremissie vastgesteld (geen hinder). De kassen zijn aan de bovenkant en aan de voorkant open.

FIGUUR A8

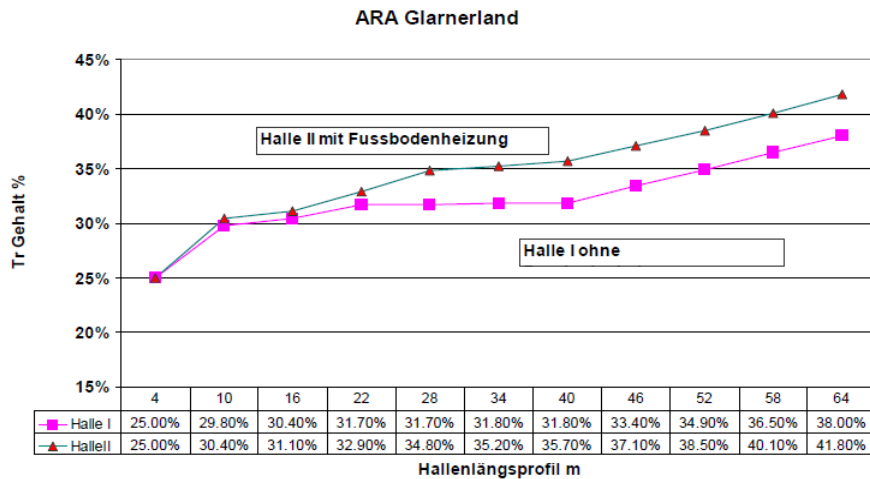
KASSEN IN BILTEN MET EEN GEOPENDE VOOR EN BOVENKANT



BODEMVERWARMING

De bodemverwarming heeft alleen een toegevoegde waarde bij een temperatuur van $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Als de bodemtemperatuur te warm is, dan komt het slib in een “deegfase” waardoor het lastiger wordt het slib door de hal te verplaatsen. Bij een temperatuur $< 28 \text{ }^\circ\text{C}$ heeft de bodemverwarming geen effect meer op het slib. In de volgende figuur zijn de verschillen met en zonder bodemverwarming weergegeven. Aan het eind van de hal (64 meter) is het verschil in drogestofgehalte circa 2,8 %.

FIGUUR A9 VERSCHIL MET BODEMVERWARMING (HALLE 2) EN ZONDER (HALLE 1) WEERGEGEVEN IN HET AANTAL METER IN DE KAS (TOT 64 M)



INVESTERINGSKOSTEN

In tabel A4 een overzicht van de investeringskosten van de 4 hallen weergegeven. Hal 3 en 4 zijn later neergezet (2003) dan hal 1 & 2 (1999). In appendix 1 van deze bijlage zijn de onderliggende cijfers weergegeven.

TABEL A4 INVESTERINGSKOSTEN VAN DE 4 HALLEN (750 M² PER HAL, TOTAAL OPPERVLAKTE 3.000 M²)

Basis kostenberekening	Hal 1 & 2 (1999)		Hal 3 & 4 (2003)	
	Kosten (euro)	Kostendeel (%)	Kosten (euro)	Kostendeel (%)
Bouwwerkzaamheden kas	490.000	43%	572.000	47%
Kasconstructie	269.000	23%	336.000	27%
Kasuitrusting (Wendewolf systeem)	256.000	22%	213.000	17%
Kosten vergunningen, verzekeringen etc.	80.000	7%	52.000	4%
Diversen, niet voorzien	50.000	4%	49.000	4%
Totaal	1.145.000	100%	1.222.000	100%

De investeringkosten komen neer op ongeveer 750 tot 800 euro per m² kassendroogstelsysteem. De verwerkingskosten voor gedroogd slib zijn 164 euro per ton droge stof. De jaarlijkse kosten zijn weergegeven in tabel A5. In totaal wordt er jaarlijks 230.000 euro bespaard door het reduceren van het volume slib. Per jaar levert dit een besparing van 57.000 euro op. Daarnaast wordt nog eens 30% op de vervoerskosten bespaard: 12.000 euro. Totaal 69.000 euro besparing.

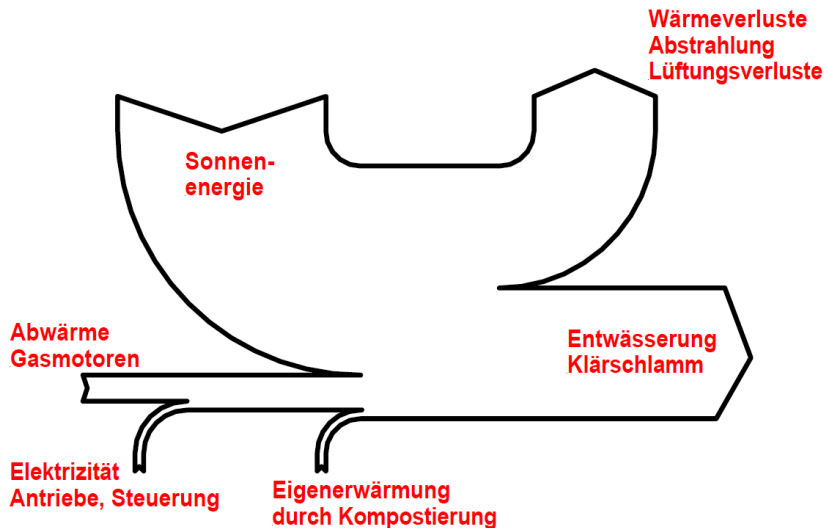
TABEL A5 OVERZICHT JAARLIJKSE KOSTEN HAL 1 EN 2

Kostenpost	Euro per jaar
Kapitaalkosten (annuïteiten 10%)	107.000 euro
Energiekosten (20.000 kWh à 0,16 euro/kWh)	3.000 euro
Personeelskosten (2-3 h per dag, 200 arbeidsuren à 49 euro per uur)	30.000 euro
Onderhoudskosten (3% van de investeringskosten)	33.000 euro
Totaal per jaar	173.000 euro

ENERGIEBALANS

Volgens het onderzoek in Bilten is de energiebalans van dit kassendroogstelsel volgens figuur A10 in te delen. Circa de helft van de zonne-energie gaat verloren aan de omgeving, de andere helft wordt gebruikt voor de verdamping van het water van het slib.

FIGUUR A10 ENERGIEBALANS VAN HET KASSENDROOGSTEL IN BILTEN (ZWITSERLAND)



A4. LOCATIEBEZOeken FRYSOITHE DUITSLAND (OKT 2011 EN DEC 2012)

In oktober 2011 is een bezoek gebracht aan de locatie Frysoithe in Duitsland (Zuiderzeeland, Wetterskip Fryslân en Tauw). In december 2012 is dit bezoek nog eens herhaald met Twence en Tauw).

Op de locatie Frysoithe wordt jaarlijks 40.000 ton ontwaterd slib (20 % ds) gedroogd in 6.000 m² kas (6 straten). Het gedroogde slib (60 % ds) wordt samen met bruinkool verder verwerkt. Het systeem van Frysoithe is een batch systeem met de elektrische mol. Circa 25 % van de droging vindt plaats met zonne-energie en 75 % met restwarmte (80 °C) van een nabijgelegen bedrijf.

Er is een rondleiding verzorgd door Steffen Rittenbusch van de firma Thermo-System.

In elke straat wordt het slib met een shovel ingebracht en is na 6 dagen droog. Het slib wordt er vervolgens ook weer met een shovel uitgereden en afgevoerd. Voor een dergelijke grote installatie is 1 FTE nodig: dat betreft in en uitrijden slib met shovel, beheer en onderhoud, receptie voor de aan en afvoer van slib (wagens).

De kassen zijn dicht. De warmte wordt er met luchtventilatoren van boven ingebracht. Via compostfilters wordt de vocht bevattende lucht afgevoerd. Er staat een gaswasser stand-by. Bij het eerste bezoek was er een duidelijke slibgeur aanwezig. Bij het tweede bezoek was er geen geur. Volgens dhr Rittenbusch is dat afhankelijk van de fractie vers slib die wordt gedroogd. Dat komt niet zo veel voor, meestal verwerkt men gestabiliseerd slib (aeroob of anaeroob). Het systeem werkt verder volledig automatisch.

De persoonlijke perceptie van de bezoekers is er één van eenvoud. Tegelijk heerst ook het gevoel dat voor deze locatie de grootste bijdrage wordt geleverd door de restwarmte en dat de zon minder relevant is. Kassenbouw is dan een goedkope manier van bouwen, waarbij je ook nog gratis (vooral in de zomer) circa 25 % zonlicht cadeau krijgt. Voor andere locaties kan dit weer anders zijn.

In Duitsland zijn geen directe subsidies op het drogen van slib met behulp van kassen en restwarmte. Wel wordt er in sommige gevallen subsidie gegeven op het nuttig gebruik van restwarmte, maar dit geldt niet voor restwarmte uit WKK van rioolslib biogasinstallaties. Dit geldt vooral voor restwarmte uit WKK installaties op biogas uit mestvergisting of stortgas.

Volgens Steffen Ritterbusch van Thermo-system [19] is in Duitsland een droogstelsel op alleen zonne-energie haalbaar bij slibverwerkingskosten van 50 tot 60 euro per ton slib. Als er naast zonnepwarmte gebruik kan worden gemaakt van gratis restwarmte neemt de haalbaarheid aanzienlijk toe.

Het locatiebezoek is zeker een eye opener geweest om deze manier van voordrogen verder te onderzoeken. Het is opmerkelijk dat in bijna elk Europees land deze techniek wel wordt toegepast.

EÉN VD STRATEN MET VENTILATORS EN MOL



BEZOEK UIT NEDERLAND



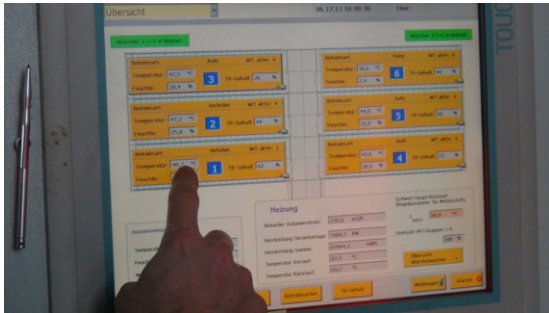
SLIB NA EEN AANTAL DAGEN



DE ELEKTRISCHE MOL



BEELDSCHERMBEDIENING



DE SHOVEL



SCHAKELKASTEN



STAND-BY GASWASSER MET COMPOSTBEDDEN



A5. CONCLUSIES

KOSTENREDUCTIE DOOR (VOOR)DROGEN IN DUITSLAND

In Duitsland is er meer variatie in slibeindverwerkers dan in Nederland. Sommige afnemers zoals afvalverbrandingsinstallaties stellen geen harde eisen aan het drogestofgehalte van het aangevoerde slib en berekenen een prijs per ton koek. Reductie daarvan door (voor)drogen, levert dan direct een besparing aan slibverwerkings- en transportkosten op. Het kasoppervlakte wordt dan bepaald op het drogestofgehalte dat het rendabel wordt (bijvoorbeeld 60 % ds). De investeringskosten van de kassen liggen rond de 500 tot 1.000 euro per m² kasoppervlakte voor het volledige systeem (afhankelijk van de grootte van de kas en het systeem). Het gedroogde slib is in Duitsland inzetbaar als secundaire brandstof. In Duitsland is een droogstelsel op alleen zonne-energie haalbaar bij slibverwerkingskosten van 50 tot 60 euro per ton slib [19]. Als er naast zonnewarmte gebruik kan worden gemaakt van goedkope restwarmte ($T > 80$ °C) neemt de haalbaarheid toe (de verwerkingskosten dalen). In Duitsland zijn er geen subsidies op het drogen van slib met behulp van kassen en restwarmte [19]. Wel wordt er in sommige gevallen subsidie gegeven op het nuttig gebruik van restwarmte, maar dit geldt niet voor restwarmte uit WKK van biogasinstallaties op rwzi's. Dit geldt vooral voor restwarmte uit WKK installaties op biogas uit mestvergisting of stortgas.

ZON EN/OF RESTWARMTE ?

In Duitsland staan veel kassen waarbij slib hoofdzakelijk wordt gedroogd met zonnewarmte. Dit betekent dat het droogproces in de winter erg traag is of geheel stil staat. De droogtijd in de winter is gemiddeld 10 weken en het maximaal haalbare droge stofgehalte van het slib is dan 50% ds. In veel gevallen wordt in de winter het slib opgepot. De voorraad wordt in de zomermaanden dan weer weggewerkt.

PERSONELE INZET

Uit de ervaringen van de gebruikers en de literatuuronderzoeken is gebleken dat het kassendroogstelsysteem eenvoudig te bedienen is. De bedrijfsvoering kost relatief weinig tijd voor het personeel. Er is een verschil tussen het batch systeem en het continue systeem. Bij het batch-systeem vergt het rijden met de shovel meer personele inspanning, maar de rest gaat automatisch, terwijl bij de Wendewolf en het Hubert systeem tijdens het drogen meer toezicht nodig is. Daarnaast is er (zeker bij de installaties met weinig restwarmte) een grote seizoensafhankelijkheid, waardoor er in de winter minder werk is dan in de zomer.

Voor de kas in Bilten van 3.000 m² (systeem van Wendewolf met alleen zonne-energie) zijn de arbeidsuren circa 2 uur per dag. Dat is dus circa 10 uren per week. Bij het grote systeem van Frysoithe (6.000 m² met restwarmte en 40.000 ton koek /jaar) is circa 1 FTE nodig.

BEHEER EN ONDERHOUD

Het onderhoud van de systemen is minimaal en zit hem vooral in het onderhouden van het omwentelingsstelsysteem (smeren van draaiende delen en olie verversen) en het schoonhouden van luchtfilters en ventilatiesystemen. In de zomer waarbij meer stof gevormd wordt, moeten de filters vaker worden verschoond of vervangen. Storing treedt zelden op, bij de elektrische mol van Thermo-System kan het soms voorkomen (1 à 2 maal per maand) dat de mol zich klem zet en handmatig weer op weg moet worden geholpen. Een continu systeem draait bij goed onderhoud continu door. Belangrijk is dat het aangevoerde slib daarbij niet een te laag drogestofgehalte heeft (> 20 % ds). Bovendien moet voorkomen worden dat in de winter het slib bevriest. In dat geval moet de installatie uitgezet worden. Bij een drogestofgehalte van circa 75% ontstaat stof. Dit vormt vooral een probleem als het droge slib bij het batchproces uit de kas wordt gereden. Op dat moment moeten stofbeschermende maatregelen worden getroffen voor de werknemer op de shovel.

APPENDIX 1

INVESTERINGSKOSTEN SOLARE TROCKNUNG ARA BILTEN GL (ZWITSERLAND) [14]

Solare Trocknungsanlage	Nur Presse bei thermischer Entsorgung	Solare Trocknung mit Presse bei therm. Entsorgung
Größe [m ²]		1980
Erd- u. Betonarbeiten		170 000,0
Stahlbau + Eindeckung		205 000,0
Maschinelle Einrichtung		105 000,0
Regelung		55 000,0
Nebenkosten + Engineering		15 000,0
Gesamt €		550 000,0
€/m²		277,8
Lade- u. Zugfahrzeug		50 000,0
Entwässerung		
Siebbandpresse Pocking komplett	220000	220000
Erd- + Betonarbeiten + Schlammzufuhr	40000	40000
Nebenkosten + Engineering	20000	20000
Gesamt €	280 000,0	280 000,0
Investitionen gesamt	280 000,0	880 000,0
Maschinelle Einrichtung gesamt	220000	430 000,0
Gebäude u. sonstiges gesamt	40000	415 000,0
Nebenkosten + Sonstige	20000	35 000,0
Schlammmenge nach Prozeß pro a	1926	500,0
Entwässerungskosten [€/a]	32 000,0	32 000,0
Trocknungskosten [€/a]	entfällt	51 000,0
Entsorgungskosten [€/a]	127 000,0	32 500,0
Jährl. Gesamtkosten [€/a]	159 000,0	115 500,0

Solare Trocknung Stadt Pocking

- Wirtschaftlichkeit der solaren Trocknung bei vorhandener Presse -

PLANUNGSGRUNDLAGEN			
Jahresdurchsatz	[t/a]		1 926,00
TS Anfang	mittel [%]		20,00
TS Ende	mittel [%]		70,00
Entsorgungskosten	Anfang [Euro/m ³]		66,00
	Ende [Euro/m ³]		66,00

BERECHNUNGEN			
Gutfeuchte U	Anfang [%]		80,00
	Ende [%]		30,00
Wassergehalt X	Anfang [°]		4,00
	Ende [°]		0,43
Durchsatz	Nassschlamm [t/d]		5,28
	Trockenmasse [t/a]		385,20
Masse Wasser	Anfang [t]		1 540,80
	Ende [t]		165,09
	Differenz [t]		1 375,71
			89,29
	Leistung [t/d]		3,77
Masse Schlamm	Anfang [t]		1 926,00
	Ende [t]		492,51

Trockenmasseabbau!

Leistung			
Wasserentzug	[t/a]		1 375,71

Kostenstruktur Solaranlage			
Maschinentechnische Einrichtung	Euro		210 000,00
Gebäude	Euro		375 000,00
Nebenkosten	Euro		15 000,00
Gesamt*	Euro		600 000,00

*Mit Ladefahrzeug

FIXE KOSTEN - Gebäude			
Datengrundlagen			
Zinsfaktor	[-]		1,05
Nutzungsdauer	[a]		30,00
Kosten Instandhaltung	[%/a]		0,25
Restwert nach Nutzungsdauer	[Euro]		0,00

Berechnung:			
Gesamtkosten Gebäude	[Euro]		375 000,00
Anzahl	[Euro/a]		25 331,79
Fixe Stückkosten	[Euro/t H2O]		18,41

FIXE KOSTEN - Maschinentechnik			
Datengrundlagen			
Zinsfaktor	[-]		1,05
Nutzungsdauer	[a]		15,00
Kosten Instandhaltung	[%/a]		0,50
Restwert nach Nutzungsdauer	[Euro]		0,00

Berechnung:			
Gesamtkosten Maschinen	[Euro]		210 000,00
Anzahl	[Euro/a]		21 281,88
Fixe Stückkosten	[Euro/t H2O]		15,47

FIXE KOSTEN - Sonstige Kosten / Nebenkosten			
Datengrundlagen			
Zinsfaktor	[-]		1,05
Nutzungsdauer	[a]		30,00
Kosten Instandhaltung	[%/a]		0,00
Restwert nach Nutzungsdauer	[Euro]		0,00

Berechnung:			
Gesamtkosten	[Euro]		15 000,00
Anzahl	[Euro/a]		975,77
Fixe Stückkosten	[Euro/t H2O]		0,71

FIXE KOSTEN - Gesamt			
Berechnung:			
Gesamtkosten Anlage	[Euro]		600 000,00
Anzahl	[Euro/a]		46 613,67
Fixe Stückkosten	[Euro/t H2O]		34,59

VARIABLE KOSTEN			
Berechnung			
Strompreis	[Euro/kWh]		0,10
Elektrischer Energiebedarf	[kWh/t a]		20,00
Energiekosten	[Euro/a]		2 751,43
Mindestzyklen pro Jahr			6,00

Arbeit (Befüllung/Entnahme)	[h/Zyklus]		4,00
Kosten (incl. Maschine)	[Euro/h]		35,00
Arbeits- + Maschinenkosten	[Euro/a]		840,00

Variable Kosten (gesamt)	[Euro/a]		3 591,43
Variable Stückkosten	[Euro/t H2O]		2,41

EINSPARUNG ENTSORGUNGSKOSTEN			
Gewichtsreduktion	[t/a]		1 375,71
Entsorgungskosten bisher	[Euro/a]		127 116,00
Entsorgungskosten nachher	[Euro/a]		32 505,38
Minderausgaben (massebez.)	[Euro/a]		94 610,62

TROCKNUNGSKOSTEN			
Fixe Kosten	[Euro/a]		46 613,67
Variable Kosten	[Euro/a]		3 591,43
Gesamtkosten	[Euro/a]		50 205,10
	[Euro/t H2O]		36,49
	[Euro/t TS]		130,34

BETRIEBSKOSTEN			
Trocknungskosten	[Euro/a]		50 205,10
Entsorgungskosteneinsparung	[Euro/a]		-94 610,62
Ausgabensaldo	[Euro/a]		-44 405,53

EINSPARUNG	[Euro/t Schlamm]		+23,08
-------------------	-------------------------	--	---------------

BIJLAGE 2

ONDERBOUWING INDICATIEVE GEURBEREKENINGEN

GEURBEREKENINGEN SLIB DROGEN IN KASSEN

MEI 2013

A1. UITGANGSWAARDEN GEUREMISSIE KASSEN:

In Duitsland is praktijkonderzoek verricht aan de geuremissies van slib in een kas. In de installatie van Füssen zijn in 2003 (van uitgegist slib) de geuremissies gemeten in een kas van 2.000 m² [11,12]. Bij verschillende metingen van de installatie zijn bij de ventilatieopening waarden gemeten van 101 ou/m³ tot 128 ou/m³. Overigens zijn de Duitse Geruch Emissionen identiek aan de Ou eenheid; in Nederland is de oude geureenheid (GE) gelijk aan 0,5 Ou. Bij de daarbij aanwezige ventilatiecapaciteit van 19.500 m³/hr is dit een geuremissie van 2,0- 2,5 Mou_E/hr. Voor de kas van 2.000 m² in Füssen is dat dus 0,35 ou/s.m². Dat is dus fors lager dan de waarde voor ontwaterd slib uit de NeR. Of de resultaten van de Duitse geurmeting direct kunnen worden overgenomen in de Nederlandse emissienorm moet worden beoordeeld door de NeR. Bij de uitgevoerde geurberekeningen is uitgegaan van de Duitse emissies, omdat dat op basis van het huidige kennisniveau volgens de uitvoerders de meest reële benadering is

Van de vier casussen zijn de casussen rwzi Echten en awzi Dronten gekozen om door te rekenen, omdat deze qua geurproblematiek het meest gevoelig zijn.

A2. RWZI ECHTEN

De huidige geurcontourlijn van de rwzi Echten is weergegeven in figuur A1 (1 GE/h = 0,5 ou/h).

FIGUUR A1

HUIDIGE GEURCONTOUREN RWZI ECHTEN MET DE MAATGEVENDE CONTOURLIJN (BUITENSTE LIJN MET WAARDE 1)



Met de gegevens uit het Duitse geuronderzoek [11] is nu een nieuwe geurcontour berekend. Het plaatsen van een kas met een oppervlakte van 22.000 meter levert een geuremissie van $0,35 \cdot 22.000 \cdot 3.600 = 27,5 \text{ Mou}_E/\text{hr}$ op. De huidige geuremissie van de rwzi is nu $35 \text{ Mou}_E/\text{hr}$. Met de Duitse emissiewaarden wordt de totale geuremissie $62,5 \text{ Mou}_E/\text{hr}$.

Uitgangspunten voor de indicatieve geuremissieberekening van de rwzi Echten:

- Geuremissie huidige rwzi + kas: 62,5 M oue/uur vol continue;
- Emissiebron op 1,5 m hoogte, puntbron (diameter 1 meter en zeer laag debiet);
- Warmte = 0 MW, minst gunstigste Meteo scenario;
- 98 percentiel = Geurbelasting voorkomend in 2% van de tijd (maatgevend);
- 99,99 percentiel = Geurbelasting voorkomend in 0,01% van de tijd.

Hierin is ervan uitgegaan dat de wind voornamelijk uit de zuidwesthoek komt en dat de kassen op het geurzwaartepunt van de rwzi liggen. In de praktijk zal dit via een uitgebreide geuremissieberekening verder moeten worden gedifferentieerd.

De geurbelasting is uitgezet tegen de afstand (25 tot 3.000 meter vanaf de bron), zie voor de berekende punten figuur A 2 en de geurberekening tabel A1.

FIGUUR A2 DE PUNTEN VOOR DE GEURBEREKENING VAN RWZI ECHTEN



De maatgevende geuremissie voor kwetsbare objecten zoals woningen liggen op dit moment in Echten op circa 600 meter. Met de nieuwe geuremissie van 62,5 M_{ouE}/hr wordt de afstand van de bepalende geuremissiecontour in dit geval 850 meter (98 percentiel 0,5 ou/h). In Echten zorgt dit op het eerste gezicht niet voor problemen, de dichtstbijzijnde woningen liggen op 1.500 meter van de rwzi (zie hoofdstuk 4).

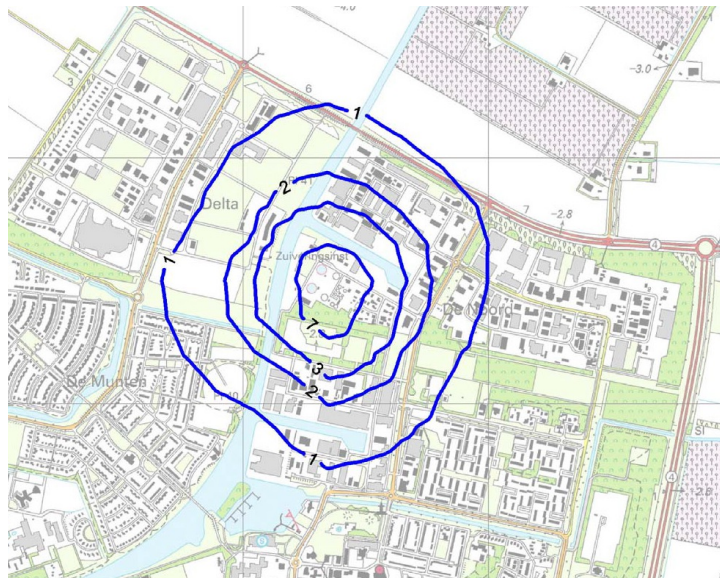
TABEL A1 BEREKENDE GEURCONTOUREN RWZI ECHTEN

Concentratie Geurbron: afstand	x	y	p98 100 M	p99,99 100 M	62,5 M Oue/uur	
					p98 var	p99,99 var
25	224495	525341	275,5	1254,5	172,2	784,0
50	224512	525358	97,3	528,6	60,8	330,4
75	224530	525376	48,7	294,9	30,4	184,3
100	224548	525394	29,7	193,0	18,5	120,6
150	224583	525429	14,9	107,0	9,3	66,9
200	224618	525464	9,2	69,1	5,8	43,2
250	224654	525500	6,3	48,8	3,9	30,5
300	224689	525535	4,6	36,8	2,9	23,0
400	224760	525606	2,9	24,2	1,8	15,1
500	224831	525677	2,0	17,3	1,3	10,8
600	224901	525747	1,5	13,1	0,9	8,2
700	224972	525818	1,2	10,3	0,7	6,5
800	225043	525889	0,9	8,4	0,6	5,3
900	225113	525959	0,8	7,1	0,5	4,4
1000	225184	526030	0,7	6,0	0,4	3,7
1250	225361	526207	0,5	4,2	0,3	2,6
1500	225538	526384	0,3	3,3	0,2	2,0
1750	225714	526560	0,3	2,5	0,2	1,6
2000	225891	526737	0,2	2,1	0,1	1,3
2250	226068	526914	0,2	1,7	0,1	1,1
2500	226245	527091	0,2	1,5	0,1	0,9
2750	226422	527268	0,1	1,3	0,1	0,8
3000	226598	527444	0,1	1,1	0,1	0,7

A3. AWZI DRONTEN

De huidige geurcontourlijn van de awzi Dronten is weergegeven in figuur A2 (1 GE/h = 0,5 ou/h).

FIGUUR A2 GEURCONTOUREN AWZI DRONTEN MET DE MAATGEVENDE CONTOURLIJN (BUITENSTE LIJN MET WAARDE 1)



Met de gegevens uit het Duitse geuronderzoek [11] is nu een nieuwe geurcontour berekend. Het plaatsen van een kas met een oppervlakte van 1.300 meter levert een geuremissie van $0,35 \cdot 1.300 \cdot 3.600 = 1,6 \text{ Mou}_E/\text{hr}$ op. De huidige geuremissie van de rwzi is nu $74,9 \text{ Mou}_E/\text{hr}$. Met de Duitse emissiewaarden wordt de totale geuremissie $76,5 \text{ Mou}_E/\text{hr}$.

Uitgangspunten voor de indicatieve geuremissieberekening van de awzi Dronten:

- Geuremissie huidige rwzi + kas: 76,5 M oue/uur vol continue;
- Emissiebron op 1,5 m hoogte, puntbron (diameter 1 meter en zeer laag debiet);
- Warmte = 0 MW, minst gunstigste Meteo scenario;
- 98 percentiel = Geurbelasting voorkomend in 2% van de tijd (maatgevend);
- 99,99 percentiel = Geurbelasting voorkomend in 0,01% van de tijd.

Hierin is ervan uitgegaan dat de wind voornamelijk uit de zuidwesthoek komt en dat de kassen op het geurzwaartepunt van de rwzi liggen. In de praktijk zal dit via een uitgebreide geuremissieberekening verder moeten worden gedifferentieerd. Zie voor de geurberekening tabel A2.

TABEL A2 BEREKENDE GEURCONTOUREN AWZI DRONTEN

afstand	Concentratie Geurbron:		76,5 M Oue/uur			
	x	y	p98 100 M	p99,99 100 M	p98 var	p99,99 var
25	224495	525341	275,5	1254,5	210,7	959,7
50	224512	525358	97,3	528,6	74,5	404,4
75	224530	525376	48,7	294,9	37,2	225,6
100	224548	525394	29,7	193,0	22,7	147,7
150	224583	525429	14,9	107,0	11,4	81,9
200	224618	525464	9,2	69,1	7,1	52,9
250	224654	525500	6,3	48,8	4,8	37,3
300	224689	525535	4,6	36,8	3,5	28,1
400	224760	525606	2,9	24,2	2,2	18,5
500	224831	525677	2,0	17,3	1,5	13,3
600	224901	525747	1,5	13,1	1,1	10,0
700	224972	525818	1,2	10,3	0,9	7,9
800	225043	525889	0,9	8,4	0,7	6,4
900	225113	525959	0,8	7,1	0,6	5,4
1000	225184	526030	0,7	6,0	0,5	4,6
1250	225361	526207	0,5	4,2	0,4	3,2
1500	225538	526384	0,3	3,3	0,3	2,5
1750	225714	526560	0,3	2,5	0,2	1,9
2000	225891	526737	0,2	2,1	0,2	1,6
2250	226068	526914	0,2	1,7	0,1	1,3
2500	226245	527091	0,2	1,5	0,1	1,2
2750	226422	527268	0,1	1,3	0,1	1,0
3000	226598	527444	0,1	1,1	0,1	0,9

BIJLAGE 3

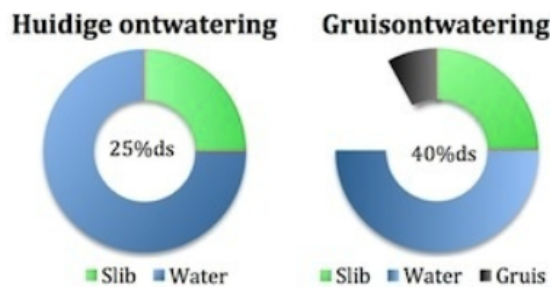
VERKENNING GRUISONTWATERING NAAST OF IN COMBINATIE MET KASSENDROGING

A1. INLEIDING

Een andere techniek die op dit moment in de belangstelling staat als alternatieve manier om het transportvolume te verkleinen en de verbrandingswaarde van slib te verhogen, is de toepassing van gruisontwatering [16]. In deze bijlage is een verkenning van deze toepassing weergegeven.

Door het toevoegen van kolengruis blijkt het slib beter te ontwateren. Er is een toename mogelijk naar 40% ds, zie figuur A1. Met de huidige ontwateringstechnologie (centrifuge, membraanfilterpers) blijft er per kilogram slib ongeveer drie kilogram water achter in de slibkoek (zie de linker afbeelding). Door kolengruis aan het slib toe te voegen blijft er slechts twee kilogram water per kilogram slib over. Hierdoor hoeft er dus 30 procent minder water verdampt te worden en gaat de stookwaarde van het slib omhoog. De hoeveelheid drogestof neemt wel met 30 % toe, maar de afname van de hoeveelheid water is “effectief” groter. Daarmee wordt al een forse stap gezet naar het drogen van slib als onderdeel van de slibeindverwerking. Dit zou ook effectief gecombi-neerd kunnen worden met kassendroging: gruisontwatering als eerste stap en kassendroging als tweede stap.

FIGUUR A1 VERSCHIL GRUISONTWATERING EN GEWONE ONTWATERING



In deze bijlage wordt de gruisontwatering op twee manieren beschouwd:

1. in plaats van kassen: met gruis haal je er al veel water uit;
2. als eerste stap vóór de kassen: wordt het dan goedkoper?

A2. GRUISONTWATERING IN PLAATS VAN KASSEN

In tabel A1 is aangegeven wat er met het verwerkingstarief gebeurt als kolengruis aan de slib-ontwatering wordt toegevoegd. De tarieven per ton koek zijn gebaseerd op hoeveelheid koek zonder gruis. Door de kleinere hoeveelheid koek kun je kosten besparen. Hierbij is uitgegaan van 70 euro per ton koek als een reële prijs voor de nabije toekomst (inclusief BTW en transport). Voor het niet vergiste slib van Ameland is uitgegaan van een maximaal haalbaar drogestofgehalte van 30 % (haalbare drogestofgehalte met gruis zonder gisting is nog niet bekend).

TABEL A1 TARIEVEN SLIBVERWERKING NA GRUISONTWATERING GEBASEERD OP KOEK ZONDER GRUIS

Casus	slibkoek (ton/jaar)	ds gehalte (%)	slib ds (ton/jaar)	gruis (ton/jaar)	ds na gruis (%)	gruiskoek (ton/jaar)	tarief SNB Eur/ton koek	besparing* Eur/ton koek	restant tarief Eur/ton koek	na droging kassen Eur/ton koek
rwzi Ameland**	1.000	19	190	57	30	823	70 +PM	10	60+PM	114
rwzi Echten	25.000	25	6.250	1.875	40	20.313	70	9	61	79
awzi Dronten	2.500	25	625	188	40	2.031	70	9	61	65
Wetterskip Fryslân	50.000	25	12.500	3.750	40	40.625	70	9	61	43

* uitgaande van 50 euro per ton gruis, gebaseerd op hoeveelheid koek zonder gruis

** kosten van verwerking en transport van Ameland zijn veel hoger, vergelijking is obv deze tabel niet goed mogelijk, zie hoofddekt in rapport

In tabel A1 is te zien dat er circa 10 euro per ton koek kan worden bespaard. Hierbij is uitgegaan van 50 euro per ton kolengruis. Bij toepassing van restwarmte kan met kassen nog meer worden bespaard. Daarbij moet de terugverdientijd wel in ogenschouw worden genomen.

A3. DROGING NA ONTWATERING MET KOLENGRUIS

Tabel A2 toont het effect van de toevoeging van gruis voor drie van de vier genoemde casussen. De casus 'Ameland' ontbreekt in dit rijtje omdat het minder voor de hand ligt eerst het kolengruis per schip naar Ameland te transporteren. Bovendien is nog niet duidelijk welk type ontwateringsmachines hiermee kunnen werken. Er zijn ervaringen met membraanfilterpersen, die voor een locatie als Ameland, waar de personele inzet beperkt is, minder voor de hand liggen.

TABEL A2 EFFECT VAN GRUISONTWATERING OP HET SLIBAANBOD VOOR DRIE CASUSSEN

	Echten	Dronten	Wetterskip Fryslân
Hoeveelheid nat slib [ton]	25.000	2.500	50.000
ds percentage uitgangsmateriaal	25%	24%	25%
Hoeveelheid ds in slib [ton]	6.250	600	12.500
Toevoeging gruis [ton]	1.875	180	3.750
Totaal ds naar centrifuge	8.125	780	16.250
ds percentage na centrifuge	40%	40%	40%
onttrokken water [ton]	6.563	730	13.125
Resterende waterhoeveelheid [ton]	12.188	1.170	24.375
Totaal koek na gruisontwatering [ton]	20.313	1.950	40.625

Tabel A2 laat zien, dat het te verwerken slibvolume door de gruisontwatering met ongeveer 20% afneemt. Wanneer dit slib met 40% drogestof verder gedroogd wordt met behulp van een kasdroogstelsel (al dan niet ondersteund met restwarmte) dan zal de benodigde capaciteit dus aanzienlijk afnemen. Die afname is veel meer dan de 20% van het gerealiseerde volume omdat de relatie tussen waterhoeveelheid en drogestofgehalte een "rationale functie" is en dus niet-lineair. Als uitgegaan wordt van dezelfde drogestofgehalten die in de verschillende casussen zonder gruisontwatering werden gerealiseerd, dan kan worden berekend hoeveel water er dan nog uit het slib/gruis mengsel moet worden verdampt, zie tabel A3.

TABEL A3

BENODIGDE VERDERE DROGING NA GRUISONTWATERING VOOR DE DRIE CASUSSEN

	Echten	Dronten	Wetterskip Fryslân
waterhoeveelheid voor droging	12.188	1.170	24.375
droog slib + gruis [ton]	8.125	780	16.250
drogestofpercentage eind	57%	61%	85%
slibhoeveelheid na droging [ton]	14.254	1.279	19.118
waterhoeveelheid na droging [ton]	6.129	499	2.868
benodigde verdamping [ton]	6.058	671	21.507

De hoeveelheid te verdampen water door de gruisontwatering in Echten en Dronten neemt met zo'n 57% af en voor het Wetterskip Fryslân neemt de hoeveelheid water die verdampt moet worden met 39% af. Het feit dat de vermindering van de te verdampen hoeveelheid in dat laatste geval een stuk kleiner is dan voor de andere twee casussen, komt doordat het eind drogestofpercentage dat bij Wetterskip Fryslân wordt nagestreefd een stuk hoger is dan in de andere twee casussen.

Op grond van de fors afgenomen verdampingsbehoefte is de eerste verwachting dat door de gruisontwatering het benodigd kasoppervlak voor Echten en Dronten meer dan zal halveren. Berekeningen met het model geven echter aan dat het benodigd oppervlak in Echten toch nog 14.000 m² bedraagt en voor de casus Dronten 700 m². In beide gevallen is de oppervlaktevermindering dus minder dan de helft, wat wordt veroorzaakt door het feit dat ook in de situatie met gruisontwaterd slib de droogcapaciteit in de winter te klein is om de wateraanvoer te compenseren. Het kasoppervlak heeft daarmee behalve een droogfunctie ook een bufferfunctie en die legt een ondergrens aan het benodigde oppervlak. Het verhoudingsgewijs grotere oppervlak zorgt er overigens voor dat bij gebruik van gruisontwaterd slib het gemiddelde einddrogestof gehalte voor de casus Echten en Dronten hoger zal zijn (respectievelijk 61 en 65%).

Het kasoppervlak voor het Wetterskip Fryslân wordt 20% kleiner omdat het kasoppervlak in dat geval gebaseerd was op de realisatie van een haalbare laagdikte bij het uitrijden van 1/5 deel van het maximale weekaanbod in een droogcel.

Doordat de benodigde kasoppervlakken niet zoveel afnemen als de vermindering van de verdampingsbehoefte doet vermoeden, lopen de investeringskosten voor de kasdroogsystemen bij gebruik van gruisontwatering terug met 35% (Echten), 29% (Dronten) en 22% (Wetterskip Fryslân).

De operationele kosten voor arbeid en energie nemen in alle casussen af door de verminderde hoeveelheden slib en de verminderde verdampingsbehoefte, maar de afzetkosten lopen op doordat het toegevoegde gruis ook weer afgevoerd moet worden.

Alle beschreven effecten staan samengevat in tabel A4.

TABEL A4

OVERZICHT KOSTENEFFECT GRUISONTWATERING BIJ EEN AANGENOMEN GRUISPRIJS VAN 50 EURO PER TON

	Echten	Dronten	Wetterskip Fryslân
jaarkosten zonder gruisontw. [kEuro]	1.977	163	2165
kapitaal	1106	89	470
arbeid en energie	237	19	1250
afzet	634	55	445
jaarkosten met gruisontw [kEuro]	1675	152	1913
kapitaal	767	76	362
arbeid en energie	169	14	880
gruis (à 50 euro per ton)	94	9	188
afzet	739	62	671
Besparing [kEuro per jaar]	302	11	252

Tabel A4 laat zien dat gruisontwatering bij veronderstelde gruiskosten van 50 euro per ton in alle gevallen de jaarkosten doet dalen. Voor de casus 'Echten' lopen de jaarkosten met 10% terug. Voor de casus 'Dronten' lopen de jaarkosten met 7% terug en voor de casus 'Wetterskip Fryslân' lopen de overall kosten met 11% terug.

Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat de extra ontwatering met gruis de business-casussen zal verbeteren (aangenomen dat het gruis niet te duur is), maar dat dit niet van doorslaggevend belang zal zijn voor de toepassing van droging door kassen. De casus 'Wetterskip Fryslân' was al perspectiefrijk en kan door de toepassing van gruisontwatering nog iets gunstiger uitpakken, maar kan bij een te hoge gruisprijs ook achterwege gelaten worden.

De lange terugverdientijd die voor een kassendroogstelsel voor de casus 'Echten' was berekend, blijft ook bij de toepassing van gruis onacceptabel lang en dat geldt zeker ook voor de casus 'Dronten'. De casus Wetterskip Fryslân was al interessant en wordt met toepassing van gruis nog gemakkelijker terug te verdienen. Zelfs bij een verdubbeling van de kostprijs van gruis naar 100 euro per ton zullen de jaarlijkse kosten voor de droging en afzet van slib met behulp van gruisontwatering afnemen.

BIJLAGE 4

MJA3 EN RESTWARMTE

Reitsma, Berend

Van: Boswinkel, ing. A.J. (Arné) [arne.boswinkel@agentschapnl.nl]
Verzonden: donderdag 17 oktober 2013 11:11
Aan: 'Klaas Jan Agema'; Reitsma, Berend
CC: Meddeler, Barry
Onderwerp: RE: Eindrapport Slibdroging kassen
Opvolgingsmarkering: Opvolgen
Markeringsstatus: Voltooid

Beste Berend en Klaas-Jan,

Onderstaand in hoofdlijnen de wijze waarop binnen de MJA bij de jaarlijkse monitoring omgegaan zal worden met de inzet van (rest)warmte voor slibdroging.

Bij de monitoring moet zowel de uitgevoerde maatregel worden opgegeven als het werkelijke energiegebruik. Hieronder worden de effecten van slibdroging op beide beschreven, in eerste instantie vanuit de case dat de restwarmte tot op heden niet nuttig werd ingezet (of misschien zelfs (ten dele) werd weggekoeld) zoals situatie 1 en 2. Opmerking: mocht er warmte worden weggekoeld dan mag je de koelenergie meenemen in de berekening !

1. Gebruikte warmte voor de slibdroging is afkomstig vanuit de eigen inrichting (restwarmte WKK/warmte uit influent/effluent) : warmte was reeds voorhanden: effect op monitoring: percentage nuttig gebruikte warmte van WKK wordt hoger.
2. Gebruikte warmte is afkomstig van elders waar de warmte tot dusver niet nuttig werd gebruikt (restwarmte). Effect op de monitoring: de ingekochte/ingenomen warmte moet worden gerapporteerd bij de monitoring (inkoop warmte), tevens moet worden verklaard waar deze warmte voor wordt gebruikt. (opmerking, dit kan op verschillende manieren, aanpak in overleg met de sector (actieteam).
3. Slibdroging op de zuivering: energiegebruik van de apparatuur (banddroger of apparatuur in kassen) moet worden meegenomen in de monitoring (zal iha elektriciteit zijn)
4. Bij de huidige slibeindverwerking wordt het slib met aardgas gedroogd alvorens het kan worden verbrand. Als er in de nieuwe situatie geen/minder aardgas (energie) nodig is om te drogen dan mag de bespaarde energie worden opgevoerd als KE-maatregel. Het effect van de hele maatregel wordt daarbij in 1 keer doorgerekend, als de gebruikte warmte eerder niet nuttig werd toegepast (situatie 1 en 2) dan hoeft deze bij de berekening van de maatregel niet te worden afgetrokken van de besparing in de slibeindverwerking. Dus: extra ingenomen restwarmte 100 TJ, bespaard aardgas in slibeindverwerking 200 TJ, benodigd energiegebruik apparatuur op de zuivering bij het drogen 10 TJ, KE-maatregel is 190 TJ besparing ! En indien slibeindverwerker geen MJA/MEE deelnemer is: mag voor 100% worden opgevoerd, anders 50%. (opm. ook in de situatie waarbij je een nieuwe partij zoekt die slib rechtstreeks verbrand mag je 100% naar jezelf toerekenen).
5. Huidige slibverwerking is anders bijvoorbeeld compostering, dan ook weer kijken naar verschil tussen nieuwe en oude situatie: stel nieuwe situatie is direct (mee)verbranden wat direct energie oplevert dan mag deze energieopbrengst worden opgevoerd als KE-maatregel.
6. Daarnaast kan er nog een aparte KE-maatregel worden opgevoerd mbt vermeden transporten (gedroogd slib veel minder volume dus transporten).

Let op: bij de berekening van KE-maatregelen wordt steeds uitgegaan van de werkelijke situatie (verschil nieuw – oud), hiermee svp rekening houden bij potentieelberekeningen voor heel NL.