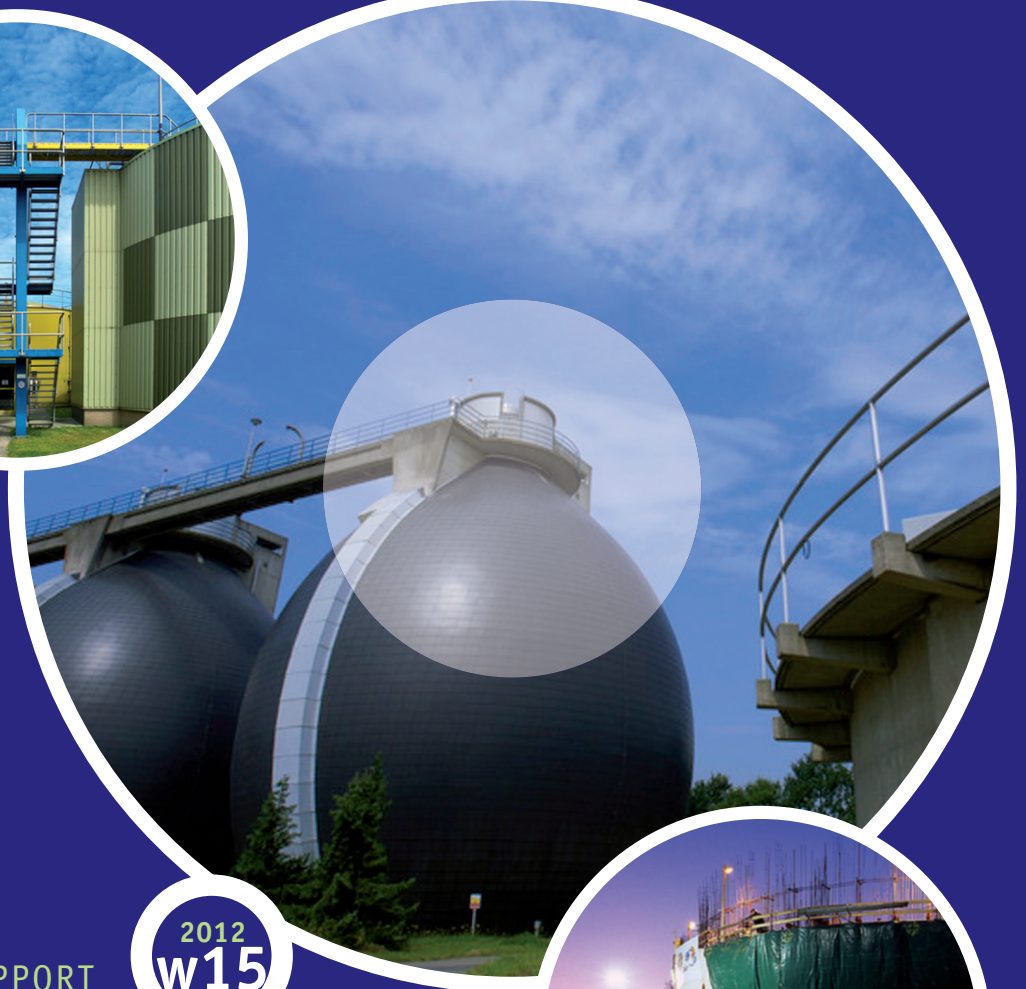


stowa

BUSINESSCASE THERMOFIELE SLIBGISTING



RAPPORT

2012
w15



BUSINESSCASE THERMOFIELE SLIBGISTING

RAPPORT

2012
W15



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

UITVOERING
Peter Hermans (Witteveen+Bos)
Peter Postma (Witteveen+Bos)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE
Eteke Wypkema (Waterschap Brabantse Delta)
Marc Augustijn (Waterschap Scheldestromen)
Inge van der Velde (Waterschap Reest en Wieden)
Victor Claessen (Waterschap De Dommel)
Yede van der Kooij (Wetterskip Fryslan)

FOTO'S OMSLAG
rwzi Amsterdam West (Witteveen+Bos)
rwzi Amstelveen (Witteveen+Bos)
rwzi Amsterdam in aanbouw (Witteveen+Bos)
rwzi Hengelo (Witteveen+Bos)

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2012-W15

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.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

BUSINESSCASE THERMOFIELE SLIBGISTING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
2	ACHTERGRONDEN THERMOFIELE SLIBGISTING	2
2.1	Literatuurscan thermofiele slibgisting	2
2.1.1	Geschiedenis	2
2.1.2	Kenmerken thermofiele gisting	2
2.1.3	Verschil thermofiele en mesofiele gisting	3
2.1.4	Voor- en nadelen thermofiele slibgisting versus mesofiele gisting	3
2.2	Praktijkinstallaties in het buitenland	5
2.2.1	Ervaringen Duitsland	5
2.2.2	Ervaringen Denemarken	7
2.2.3	Ervaringen Verenigde Staten	7
2.3	Ontwerpmodellen	8
2.4	Beschouwing	10
3	UITGANGSPUNTEN BUSINESSCASE	11
3.1	Schaalgrootte en varianten	11
3.2	Biogasproductie	11
3.3	Ontwateringseigenschappen uitgegist slib	12
3.4	Rejectiewaterbehandeling	13
3.5	Vier varianten-kenmerken	13
3.5.1	Mesofiele slibgisting	13
3.5.2	Thermofiele slibgisting	14
3.5.3	Thermofiele slibgisting + benutting restcapaciteit	14
3.5.4	Thermische slibontsluiting en thermofiele slibgisting+	15

3.6	Berekening drogestofafbraak	16
3.7	Energie en warmtebalans	18
3.8	Financieel-economische uitgangpunten	19
3.9	Gevoeligheidsanalyse	20
4	RESULTATEN	21
4.1	Warmte en energie	21
4.2	Bouw- en investeringskosten	22
4.3	Jaarlijkse kosten en baten	23
4.4	Gevoeligheidsanalyse	24
5	CONCLUSIES	26
5.1	Mesofiel versus thermofiel	26
5.2	Benutting restcapaciteit met thermofiele gisting	26
5.3	Benutting restcapaciteit met thermofiele gisting en thermische slibontsluiting	27
5.4	Vergelijk tussen de varianten	27
5.5	Aanbeveling	27
6	REFERENTIES	28
	BIJLAGEN	
I	PROCESBESCHRIJVING RWZI BATH	31
II	UITGANGSPUNTEN WARMTE- EN ENERGIEBALANS	35
III	KOSTENBEREKENING SCHAALGROOTTE 150.000 I.E.	37
IV	KOSTENBEREKENING SCHAALGROOTTE 490.000 I.E.	39
V	RESULTATEN WARMTE- EN ENERGIEBALANS	41
VI	RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE	43
VII	DIMENSIONERING SLIBLIJN RWZI BATH EN SCHAALGROOTTE 150.000 I.E.	45

1

INLEIDING

In vrijwel alle uitgevoerde energiefabriekonderzoeken is de optimalisatie van de slibgisting een belangrijk aandachtspunt. Veel aandacht is in de afgelopen jaren besteed aan de voorbehandeling van slib, en dan vooral slibhydrolyse bij hoge druk en temperatuur (continu of discontinu). Hierbij is het toepassen van thermofiele gisting (52 - 55 °C) in plaats van mesofiele gisting (30 - 33 °C) onderbelicht gebleven.

In Nederland wordt thermofiele slibgisting (nog) niet toegepast, maar in het buitenland wel. In de jaren zeventig en tachtig is de perceptie ontstaan dat thermofiele gisting minder stabiel is en economisch niet rendabel in Nederland. Echter, in een tijdsbestek van ruim 25 jaar zijn efficiënte vormen van warmteterugwinning ontwikkeld. Daarnaast laat de buitenlandse praktijk zien dat thermofiele gisting een veel toegepast en stabiel proces is.

Een belangrijke eigenschap van thermofiele bacteriën is dat hun maximale groeisnelheden hoger zijn dan van mesofiele bacteriën. Daardoor kunnen de slibvergisters hoger belast worden. Ook wordt bij thermofiele vergisting meer biogas geproduceerd bij een gelijke verblijftijd (5-30 %) en lijkt het digestaat beter ontwaterbaar. Vanuit energetisch oogpunt gezien is het tevens aantrekkelijk om thermofiele gisting te combineren met voorgeschakelde slibhydrolyse/ontsluiting omdat bij deze voorbehandeling het te vergisten slib/water mengsel al een hoge temperatuur heeft.

Om inzicht te krijgen in technische en financiële meerwaarde van thermofiele gisting is een businesscase uitgewerkt uitgaande van de rwzi Bath met een schaalgrootte van 490.000 i.e. à 136 g TZV. Daarnaast is een kleinere schaalgrootte beschouwd van 150.000 i.e. à 136 g TZV.

De volgende varianten zijn vergeleken:

1. mesofiele gisting (basisvariant);
2. thermofiele gisting, zonder extra capaciteitsbenutting;
3. thermofiele gisting, met extra capaciteitsbenutting;
4. thermofiele gisting, met voorgeschakelde thermische slibontsluiting en extra capaciteitsbenutting.

LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt nader ingegaan op de achtergronden van de toepassing van thermofiele gisting. De uitgangspunten voor de businesscase zijn opgenomen in hoofdstuk 3. De resultaten van de kostenberekeningen zijn samengevat in hoofdstuk 4. Meer details over de kostenberekeningen zijn opgenomen in bijlage III en IV van dit rapport. Tenslotte worden in hoofdstuk 5 de belangrijkste conclusies gepresenteerd.

2

ACHTERGRONDEN THERMOFIELE SLIBGISTING

2.1 LITERATUURSCAN THERMOFIELE SLIBGISTING

2.1.1 GESCHIEDENIS

Onderzoek naar thermofiele vergisting begon al voor 1930 toen Rudolfs en Heukelekian de invloed van de temperatuur op de vergisting van primair slib onderzochten [1]. Zij concludeerden dat de verblijftijd aanzienlijk verkort kon worden bij vergisting bij hogere temperaturen met als optimum een verblijftijd van 11 dagen bij een temperatuur van 55 °C. Sinds 1949 wordt thermofiele anaerobe slibgisting op praktijkschaal toegepast [2,3]. In Nederland wordt thermofiele slibgisting (nog) niet toegepast. Rwwi Echten verwacht in 2013 een thermofiele slibgisting operationeel te hebben. In de industrie en bij GFT-verwerking wordt thermofiele gisting al langer toegepast.

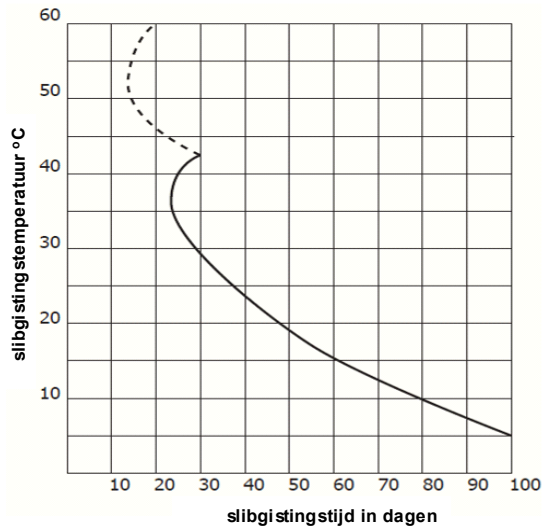
In 1985 is een STORA-rapport 'optimalisatie gistingsgasproductie' verschenen. De conclusie toen was dat thermofiele gisting zonder warmteterugwinning financieel ongunstig is en dat het gistingproces minder stabiel is in vergelijking met mesofiele gisting. Inmiddels zijn we 25 jaar verder en zijn door nieuwe ontwikkelingen, met name in het buitenland, de inzichten in de toepassing van thermofiele gisting van communalal slib verbeterd.

2.1.2 KENMERKEN THERMOFIELE GISTING

De meeste bacteriën zijn mesofiel. Dat wil zeggen, hun optimale activiteit vertonen ze in het temperatuurgebied van 28 tot 40 °C. Er zijn andere bacteriën die bij hogere temperaturen, van circa 45 tot 70 °C en nog wel hoger, de hoogste activiteit vertonen: de thermofiele bacteriën. Deze bacteriën hebben, inherent aan de hoge temperaturen, een hogere activiteit dan mesofiele bacteriën. Hierdoor kan de verblijftijd verkort worden bij gelijkblijvende omzetting van organische stof en daarmee ook de biogasopbrengst [4]. In afbeelding 2.1 is de geadviseerde slibgistingstijd tegen de slibgistingstemperatuur uitgezet [18].

Er zijn verschillende uitvoeringsvarianten van thermofiele gisting. Er zijn 1-traps en 2-traps systemen. De 2-traps installaties bestaan doorgaans uit een thermofiele vergisting met een nageschakelde mesofiele gisting, maar ook mesofiel-thermofiel komt voor. Soms is de verblijftijd in de eerste trap zo kort dat hierin vooral verzuring zal optreden. Het effect van voorverzuring wordt zowel voor mesofiele als thermofiele omstandigheden onderzocht [5].

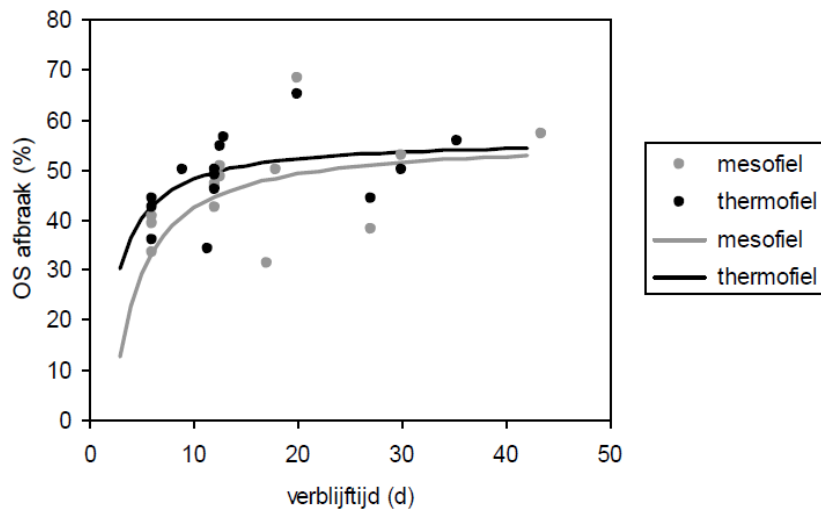
AFBEELDING 2.1 SLIBGISTINGSTIJD VERSUS DE SLIBGISTINGSTEMPERatuur (— = MESOFIEL, - - - = THERMOFIEL)



2.1.3 VERSCHIL THERMOFIELE EN MESOFIELE GISTING

In het handboek slibgisting [4] is een vergelijking van de organisch drogestof (ods) afbraak uit de literatuur en op basis van theoretische modellen gegeven (afbeelding 2.2). In de grafiek is de ods-afbraak uitgezet tegen de verblijftijd voor mesofiele en thermofiele slibgisting. Op basis van modellering wordt een verbetering van de afbraak voorspeld bij thermofiele gisting. De relatieve verbetering is het grootst bij lagere verblijftijden en neemt af bij stijging van de verblijftijd.

AFBEELDING 2.2 THEORETISCHE AFBRAAK (LIJNEN) VAN ORGANISCHE STOF (%) EN PRAKTIJKWAARDEN (PUNTEN) UITGEZET TEGEN DE VERBLIJFTIJD [4]



2.1.4 VOOR- EN NADELEN THERMOFIELE SLIBGISTING VERSUS MESOFIELE GISTING

VERBETERING SLIBAFBRAAK EN BIOGASPRODUCTIE

Als gevolg van hogere reactiesnelheden bij de omzetting van koolstofverbindingen naar methaangas en CO₂ kan de verblijftijd gereduceerd worden van > 20 dagen tot ca. 12 dagen waardoor meer slib kan worden behandeld en veel meer biogas wordt geproduceerd. Bij gelijkblijvende verblijftijd wordt uit het bestaande slibaanbod meer drogestof afgebroken en meer gas geproduceerd.

De gehele gasbehandelingsinstallatie (condensors; flair; wkk) moet mogelijk worden aangepast op de hogere biogasproductie.

VERHOOGDE AFBRAAK VAN PATHOGENEN

Een belangrijke reden in het buitenland om thermofiel te vergisten is dat slib gepasteuriseerd wordt. In landen als Denemarken en de VS is dit een voorwaarde voor afzet in de landbouw. Afzet in de landbouw is veel goedkoper dan verbranding.

VERBETERDE ONTWATERBAARHEID

Over de ontwaterbaarheid is de literatuur niet eenduidig. Er zijn weinig praktijkreferenties bekend waarin een onderbouwde en objectieve vergelijking is gemaakt. Op de Hulseby Strand WWTP [13] is een verhoging van het einddrogestofgehalte waargenomen van 18-20% ds (mesofiel) naar 24-25% ds (thermofiel). Laboratoriumexperimenten laten zowel betere [19] als mindere resultaten zien [20]. In deze labonderzoeken wordt vaak de Capillary Suction Time gebruikt als maat voor de ontwaterbaarheid. Het is niet duidelijk of de resultaten van deze labonderzoeken 'vertaalbaar' zijn naar ontwateringsapparatuur (met PE-dosering) op praktijkschaal.

HOGERE WARMTEBEHOEFTE

Bij thermofiele gisting moet rekening gehouden worden met een hogere warmtebehoefte ten opzichte van mesofiele gisting. Rwzi-specifieke omstandigheden - type warmtewisselaar, omgevings- en ingaande slibtemperatuur en isolatiedikte - bepalen of de geproduceerde warmte in de WKK voldoende is om het gistingproces op temperatuur te houden. In koude periodes kan de warmtebalans negatief zijn, hetgeen opgelost kan worden door warmterugwinning uit het vergiste slib of, als het meer incidenteel is, het bijstoken van biogas of aardgas.

VERMINDERDE STABILITEIT THERMOFIELE GISTING

Een van de conclusies uit het rapport 'optimalisatie gistinggasproductie' (STORA-1985-02) en van andere literatuur in die tijd (U.S. EPA, 1989) is dat de stabiliteit van het thermofiele gistingproces lager zou zijn dan mesofiele gisting. Andere literatuur laat zien dat het thermofiele gistingproces wel stabiel is en geen operationele problemen optreden [3][8][11][12]. De gemeten concentraties vluchtige vetzuren en ammonium zijn hoger in thermofiel uitgesteerd slib als gevolg van een verdergaande afbraak van organische stof. Ook is de pH doorgaans iets hoger (7,2 - 7,5) in vergelijking met mesofiele gisting. Er is ondertussen voldoende bewijs dat thermofiele vergisting stabiel is. Oude rapporten die het tegendeel beweren kunnen als achterhaald worden beschouwd.

MEER STIKSTOF EN FOSFAAT IN RETOURESTOMEN

Als gevolg van een verhoogde afbraak van organische stof komt meer stikstof (ammonium) en fosfaat vrij. Dit vereist gerichte aanpassingen in de deelstroombehandeling of rwzi om aan de effluenteisen te kunnen blijven voldoen.

TOENAME SILOXAANGEHALTE BIOGAS

Siloxanen komen voor in biogas. Tijdens de verbranding van biogas worden siloxanen omgezet naar siliciumdioxide. Deze deeltjes blijken zich af te zetten op onderdelen van de eindgebruikersapparatuur, bijvoorbeeld gasmotoren. Dit leidt tot verhoogde slijtage. Onbekend is wat het effect van temperatuur en afbraak is op het siloxaangehalte in biogas, zodat niet bekend is of dit meer of minder zal worden bij thermofiele gisting. Aannemelijk is dat er meer verdamping optreedt als gevolg van een hogere temperatuur, waardoor de vracht aan opgeloste siloxanen in de dampfase toeneemt.

Opgemerkt wordt dat in diverse gistinginstallaties in Nederland (o.a. rwzi's Haarlem, Velsen, Nieuwveer, Deventer, Kampen, Utrecht en Amersfoort) actief koolfiltratie toegepast wordt voor het afvangen van siloxanen in biogas.

TOENAME H₂S EN VOCHTGEHALTE VAN HET BIOGAS

Door de hogere temperatuur en de hogere afbraak zal het vochtgehalte en het H₂S gehalte in het biogas toenemen. Indien in de situatie met mesofiele gisting de voorzieningen voor verwijdering hiervan al te wensen over laten is het raadzaam deze voor thermofiele gisting wel goed te realiseren.

2.2 PRAKTIJKINSTALLATIES IN HET BUITENLAND

In Nederland wordt thermofiele gisting van zuiveringsslib niet toegepast. Redenen hiervoor zijn divers. Zo is de capaciteit van de bestaande gistinginstallaties veelal voldoende¹. Ook staat de regelgeving in Nederland niet toe om uitgegist slib als meststof voor de landbouw te gebruiken waardoor een hygiëniserende of pasteurisatiestap niet noodzakelijk is [9]. Wel wordt thermofiele gisting voorbereid op rwzi Echten.

In landen als Duitsland, Verenigde Staten en Denemarken wordt thermofiele slibgisting wel toegepast. Als reden hiervoor wordt uitbreiding van de slibgistingcapaciteit, hygiëniserende en vermindering van de afzet van uitgegist slib genoemd.

2.2.1 ERVARINGEN DUITSLAND

In Duitsland worden thermofiele installaties hoofdzakelijk bedreven als 2-traps installaties (thermofiel-mesofiel). De eerste trap met een verblijftijd van 3-5 dagen en de tweede trap met een verblijftijd van 14 tot 21 dagen. Tabel 2.1 presenteert procesgegevens van vier slibgistinginstallaties [10].

TABEL 2.1 PROCESGEGEVENS 2-TRAPS SLIBGISTINGSINSTALLATIES IN DUITSLAND

rwzi	slib voeding				gistingproces							
	vracht	volume	ds	ods	HVT Th-M ¹	ds	ods	ods verw	gas prod.	spec. gas prod.	spec. gas prod.	
	[kg/d]	[m ³ /d]	[kg/m ³]	[%]	[d]	[kg/m ³]	[%]	[%]	[m ³ /d]	[m ³ /kg ods in]	[m ³ /kg ods verw.]	
Auenheim	2.450	40	55-65	65	3-Th 15-M	30-45	45	60	450	0,28	0,47	
Erkelenz	3.528	84	35-50	60	2,6-Th 19-M	20-25	45	60	550	0,26	0,43	
Köln-Stam.	120.600	2.010	60	60	5,5-Th 21-M	31	46	60	32.106	0,45	0,74	
Osterode	1.880	63	25-35	75	4-Th 14-M	20-25	45	55	755	0,53	0,97	

De tabel laat een grote spreiding zien in de specifieke gasproductie, waardoor deze gegevens als niet betrouwbaar worden beschouwd (beperkte spreiding is wel mogelijk als gevolg van de samenstelling van het slib). De ods-afbraak is wel stabiel en bedraagt zo'n 60 %. In het artikel wordt niet vermeld of dit primair en/of secundair slib is, hierdoor is niet te zeggen of dit hoger is dan wat verwacht wordt van mesofiele gisting.

1 Veel aerob gestabiliseerd slib van installaties zonder gisting wordt niet vergist. Als gevolg van energiedoelstellingen verandert dit en wordt gekeken of dit slib niet meevergist kan worden.

RWZI WILHELMSHAVEN EN RWZI STEINHOF-BRAUNSCHWEIG

Op de rwzi Wilhelmshaven wordt primair en secundair slib (verhouding 2:1) vergist in een 2-traps thermofiel-mesofiele installatie. De thermofiele trap (800 m³) wordt bedreven bij 55 °C met een verblijftijd van circa 3 dagen. De mesofiele trap (3.600 m³) wordt bedreven bij 35 °C bij een verblijftijd van circa 14 dagen. Op basis van recent contact met de beheerder van de zuivering zijn de volgende gegevens verkregen (tabel 2.2) [11].

TABEL 2.2 PROCESGEGEVENS (2011) 2-TRAPS GISTING RWZI WILHELMSHAVEN

slib voeding		gistingsproces								
vracht	volume	DS	ods	HVT Th-M		DS verw.	ods verw.	gas prod.	spec. gasprod.	spec. gasprod.
[kg/d]	[m ³ /d]	[kg/m ³]	[%]	[d]		[%]	[%]	[m ³ /d]	[m ³ /kg ods in]	[m ³ /kg ods verw.]
8.910	270	33	73,8	3-Th	13.5-M	40	54	3850	0,59	1,08

De beheerder geeft aan dat het gistingproces stabiel verloopt mits de verhouding primair slib / secundair slib niet te veel verandert. Daarnaast wordt vermeld dat problemen door schuimvorming optreden bij een te hoge vetbelasting.

Het uitgegiste slib wordt ontwaterd in een centrifuge (Fa. Hiller) tot een drogestofgehalte van gemiddeld 24 %. Het polymeerverbruik ligt hierbij op 8,63 kg/ ton drogestof.

De slibgisting op rwzi Steinhof-Braunschweig is in het verleden omgebouwd tot 2-traps thermofiel-mesofiele gisting maar wordt sinds enige tijd bedreven als 1-traps thermofiele gisting met een verblijftijd van circa 20 dagen bij 55 °C. Als reden voor de omschakeling van 2-traps naar 1-traps wordt het verkrijgen van een zo hoog mogelijke gasproductie en drogestofreductie genoemd. Onderstaande tabel presenteert enkele kengetallen [12].

TABEL 2.3 PROCESGEGEVENS (2011) 1-TRAPS GISTING RWZI STEINHOF-BRAUNSCHWEIG

ods [% van ds]	volume gisting [m ³]	HVT [d]	ods verwijdering [%]	spec. gasproductie [m ³ /kg ods aanvoer]	spec. gasproductie [m ³ /kg ods verwijderd]
80-82	11.000	20	55	0,55	1,00

Met betrekking tot operationele aspecten en de verwerking van uitgegist slib wordt het volgende vermeld:

- het thermofiele gistingsproces verloopt zeer stabiel;
- pH fluctuaties treden niet op;
- bij een daling van de temperatuur tot 50 °C verloopt het proces nog stabiel met een goede gasopbrengst;
- de verblijftijd kan met circa 3 tot 5 dagen verkort worden ten opzichte van mesofiele gisting zonder dat de specifieke biogasproductie daalt;
- na ontwatering in een centrifuge wordt een ds-gehalte bereikt van circa 28 %;
- het ammoniumgehalte in het rejectewater bedraagt ca. 1.400 mg/l en is hoger in vergelijking met mesofiele gisting.

De ds-percentages bij de eindontwatering liggen hoger dan wat gemiddeld in Nederland bij mesofiele gisting behaald wordt. De afbraakpercentages liggen eveneens hoger.

2.2.2 ERVARINGEN DENEMARKEN

Denemarken is het enige land in Europa waar meer thermofiele dan mesofiele gistinginstallaties staan (2001). Het gaat hierbij niet alleen om slibgistinginstallaties, maar ook co-vergistingen. Hieronder worden ervaringen van enkele thermofiele slibgistinginstallaties genoemd. Vaak zijn dit installaties die ooit mesofiel zijn ontworpen, maar door capaciteitsproblemen of om hygiëniseringsdoeleinden omgebouwd zijn naar thermofiel [13].

RWZI HOLBÆK

De slibgisting van rwzi Holbæk (biologisch-chemische SBR) is in 1995 overgeschakeld naar thermofiele bedrijfsvoering (54°C, HRT 12 dagen) wegens overbelasting onder mesofiele omstandigheden. De belangrijkste resultaten zijn:

- 25 % meer biogas t.o.v. mesofiele bedrijfsvoering;
- ods reductie bedraagt 40 - 45 %, ds reductie is circa 30 %;
- ontwatering met kamerfilterpers resulteert in een drogestofgehalte van 30 %;
- circa 70 % van de vrijgekomen warmte wordt benut voor opwarming van slib in slib-slib warmtewisselaars. Alleen in erg koude periodes is een beperkte toevoeging van externe warmte nodig.

RWZI ÅBY

De rwzi Åby (actiefslibstelsysteem met bio-P verwijdering) geeft als reden voor omschakeling naar thermofiele gisting de noodzaak om de slibvracht te reduceren. Onder mesofiele omstandigheden werd maximaal 19 % DS in een membraanfilterpers behaald. In 1998 was de opstart van de thermofiele gisting (HRT 11-12 dagen), waarna een drogestofgehalte van circa 23 % wordt behaald. De totale drogestofreductie bedraagt meer dan 40 %. Verder blijkt uit laboratoriumtesten dat de HRT verlaagd kan worden tot circa 8 dagen bij gelijkblijvende biogasopbrengst.

RWZI AALBORG-WEST

Op de rwzi Aalborg-West werd tot 1997 alleen primair slib vergist. Uitgestort primair slib werd met ingedikkt secundair slib ontwaterd tot 20 % drogestof. Na opstart van de thermofiele gisting (primair + secundair slib) bedraagt het gemiddelde drogestofgehalte na ontwatering 25 %. De totale slibafzet is met 35 % gereduceerd. Opgemerkt wordt dat het polymeerverbruik voor ontwateren van uitgestort slib met circa 40 % is toegenomen.

RWZI HUNSEBY STRAND

De slibgisting op de rwzi Hunseby werd tot 1997 bedreven als mesofiele installatie voor alleen primair slib. Uitgestort slib werd als meststof in de landbouw gebruikt. Echter vanwege een te hoog nikkelgehalte moet het slib nu naar een stortplaats gebracht worden. Om de afzetkosten te reduceren is overgegaan naar thermofiele bedrijfsvoering waarbij tevens secundair slib vergist wordt. Het belangrijkste resultaat is dat de slibvracht met 35 % is afgenomen. Het drogestofgehalte na ontwatering is gestegen van 18-20 % tot 24-25 %.

De ervaringen Denemarken laten een duidelijke verbetering van slibafbraak en ontwaterbaarheid zien. Daarnaast wordt er een 1-traps thermofiele gisting stabiel bedreven met een HRT van 11-12 dagen.

2.2.3 ERVARINGEN VERENIGDE STATEN

De meest bekende 2-traps (thermofiel-mesofiele) slibgistinginstallatie is de Hyperion WWTP in Los Angeles. Diverse pilot- en fullscale studies zijn uitvoerig beschreven in de literatuur [2,3]. Een overzicht met kenmerken van de Hyperion WWTP en een aantal andere vergisters is gepresenteerd in tabel 2.4 [7].

TABEL 2.4 PROCESGEGEVENS 2-TRAPS GISTINGSINSTALLATIES IN DE VERENIGDE STATEN¹

rwzi	type slib primair (PS) surplus(SS)	HVT Th-M2 (dagen)	temperatuur (°C)	wijze van voeden	ods reductie thermofiel (%)	ods reductie mesofiel (%)
WLSSD, Duluth, MN	SS	8-Th 23-M	55-Th 37-M	continu	46	40
King Co., WA Renton (Pilot Scale)	PS+SS	8-Th 16-M	55-Th 37-M	vrijwel continu	68	58
Neenah-Menasha, WI	PS+SS	16-Th 16-M	55-Th 36-M	vrijwel continu	58	50
Madison, WI Pilot (Lab Scale)	PS+SS	5-Th 15-M	55-Th 35-M	discontinu	64	58
City of Los Angeles Hyperion WWTP (pilot-scale)	PS+SS	10-Th 7-M	55-Th 35-M	discontinu	66	48
Sturgeon Bay, Wisconsin	PS+SS	~ 17-Th > 20-M	55-Th 35-M	discontinu	65	62

¹ Enkele meetwaarden voor ods afbraak zijn hoog. Of deze meetwaarden ook representatief zijn voor de Nederlandse situatie is mede afhankelijk van het aandeel primair slib en de samenstelling van het secundair slib in relatie tot het toegepaste type zuivering.

² Hydraulische verblijftijd thermofiel (Th)- mesofiel (M).

De tabel laat zien dat in de slibgistingen met primairslib fors meer organische stof wordt afgebroken dan in de slibgisting met alleen surplusslib. In de eerste thermofiele trap wordt het grootste gedeelte van de organische stof afgebroken (ca. 65 %).

2.3 ONTWERPMODELLEN

Van de verschillende ontwerpmodellen die voorhanden zijn om een slibgisting te dimensioneren wordt het model van Chen en Hashimoto [17] het meest toegepast. In dit model worden voor de reductie van organische stof door gisting voor primair en surplusslib verschillende relaties aangehouden. De anaërobe afbraak wordt beschreven met:

$$\frac{R}{B} = \frac{\Theta - 1}{\Theta - 1 + K}$$

waarin:

R = het percentage afbraak van de organische stof

B = het maximum haalbare percentage afbraak

Θ = de relatieve slibleeftijd (slibleeftijd gedeeld door minimum slibleeftijd voor methaangisting)

K = de afbraakconstante

De temperatuursafhankelijke minimale slibleeftijd wordt als volgt berekend [23]:

$$SLT_T = 2.85 * MAX((1.08^{(T-30)} - 1.35^{(T-40)}), (1.08^{(T-42)} - 1.35^{(T-57)}))^{-1}$$

De functies tussen de haken beschrijft de afbraakcurve voor het mesofiele (links) en het thermofiele bereik.

De waarden voor de verschillende parameters voor primair en surplusslib bij mesofiele gisting zijn samengevat in tabel 2.5. Deze waarden zijn goed in overeenstemming met praktijkwaarden. De maximale reductie kan lager zijn:

- voor primair slib kan hydrolyse in aanvoerstelsels een verlaging geven;
- voor secundair slib is de aerobe slibverblijftijd van belang. Hoe verder het slib gemineraliseerd is hoe lager de afbreekbaarheid.

TABEL 2.5

PARAMETERS VOOR DE BEREKENING VAN HET PERCENTAGE AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF VOOR MESOFIELE VERGISTING [4]

parameter	eenheid	primair slib	secundair slib
minimale sibleeftijd bij 30°C	d	2,9	2,9
maximale reductie	%	65	40
afbraakconstante	-	1,0	1,5

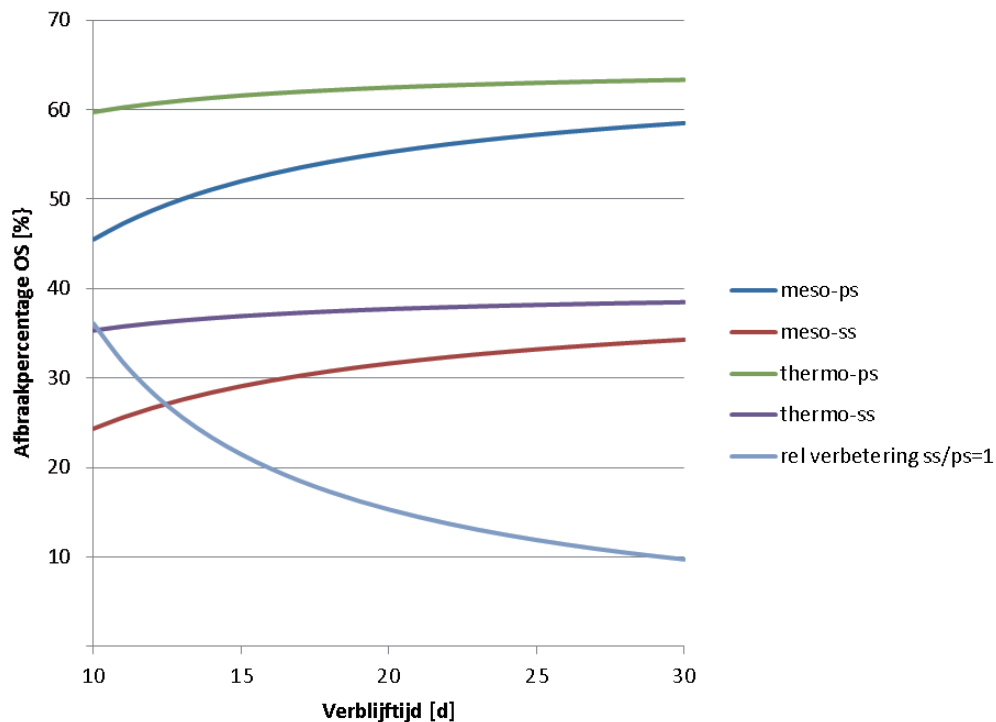
Het model kent geen parameters voor thermofiele gisting. Op basis van de volgende aannames zijn deze herleid:

- de gisting kan met de helft van de verblijftijd stabiel worden bedreven. Dit wordt veroorzaakt door de grotere groeisnelheid bij hogere temperaturen;
- de minimale slibverblijftijd bij 55 °C wordt daarmee ingeschat op 1,5 dag;
- de afbraaksnelheid wordt ook verhoogd met een factor 2 waardoor de afbraakconstante voor secundair slib 0,75 en voor primair slib 0,5 wordt.

Afbeelding 2.3 toont de afbraakpercentages van de verschillende slibsoorten als functie van de verblijftijd.

Vooral bij kortere verblijftijden geeft thermofiele slibgisting een veel hoger rendement dan bij mesofiele slibgisting, maar binnen de bandbreedte van de Nederlandse bedrijfsvoering is een verbetering van minimaal 13 % in drogestof afbraak en biogasproductie mogelijk.

AFBEELDING 2.3 AFBRAAKPERCENTAGE ORGANISCHESTOF ALS FUNCTIE VAN DE VERBLIJFTIJD



2.4 BESCHOUWING

Thermofiele gisting wordt veel toegepast in het buitenland en het thermofiele gistingproces verloopt stabiel. Uit de praktijkreferenties blijkt dat thermofiele gisting veelvuldig wordt toegepast, vooral in landen als Denemarken, Duitsland en de VS. De organische droge stof afbraak ligt tussen 55 en 70 %. De afbraakpercentages liggen daarbij hoger dan wat in Nederland behaald wordt met mesofiele gisting met een gemiddelde van 42 %. De gerapporteerde biogasproducties zijn als te onbetrouwbaar beoordeeld om conclusies uit te kunnen trekken. Een groot deel van de praktijkinstallaties rapporteert een verbetering van de ontwaterbaarheid.

Het literatuuronderzoek heeft geen extra inzicht opgeleverd in een objectieve vergelijking tussen mesofiele en thermofiele gisting. Om deze reden kan op basis van de buitenlandse praktijkgegevens geen voorspelling gemaakt worden voor de Nederlandse situatie. Wel is op basis van ontwerpmodellen te voorspellen dat de verbetering groter zal zijn bij lage verblijftijd, terwijl het aandeel primair en secundair slib minder uitmaakt voor de absolute verbetering. Op basis van conservatieve aannames kan met het Chen & Hashimoto ontwerpmodel een minimale verbetering van 13 % van de ods-afbraak worden berekend.

3

UITGANGSPUNTEN BUSINESSCASE

3.1 SCHAALGROOTTE EN VARIANTEN

Bij de uitwerking van de businesscase is gekozen voor een opzet met een slibsamenstelling die representatief is voor de Nederlandse praktijksituatie [4], zodat de uitkomsten van deze studie vertaald kunnen worden naar andere rwzi's. Daarbij wordt uitgegaan van gravitaire indikking van primair slib, mechanische indikking van surplusslib en eventueel extra verwerking van extern - mechanisch ingedikt - surplusslib. De rwzi Bath voldoet aan deze basisopzet en is als referentie gebruikt, zie tabel 3.1. In bijlage I is een beschrijving van deze installatie opgenomen.

TABEL 3.1 VERGELIJKING SLIBSAMENSTELLING LANDELIJK EN RWZI BATH

kenmerk	eenheid	primair slib (PS)		secundair slib (SS)		totaal rwzi Bath gemiddeld
		range	gemiddeld	range	gemiddeld	
PS gravitair	%	2,0 -10,0	4,0			5,4
SS mechanisch met PE	%			4,0 - 8,0	6,0	6,0
organisch-stofgehalte	% van ds	60-80	70	50-85	65 - 70	65
vergistbaarheid bij een HVT van 20-25 dagen	% van ods	50-60	55	25-50	30	41

De rwzi Bath (490.000 i.e.) is een van de grotere slibverwerkingsinstallaties in Nederland waarbij naast het slib van de rwzi-locatie ook extern slib verwerkt wordt. Om het effect van de schaalgrootte inzichtelijk te maken is ook een schaalgrootte van 150.000 i.e. beschouwd. Hierbij is uitgegaan van dezelfde opzet en slibsamenstelling als bij de rwzi Bath maar is de verwerkingscapaciteit evenredig gereduceerd. De verhouding primair/ secundair slib draagt voor Bath een factor 1 (-). Deze verhouding is ook aangehouden voor de schaalgrootte van 150.000 i.e.

3.2 BIOGASPRODUCTIE

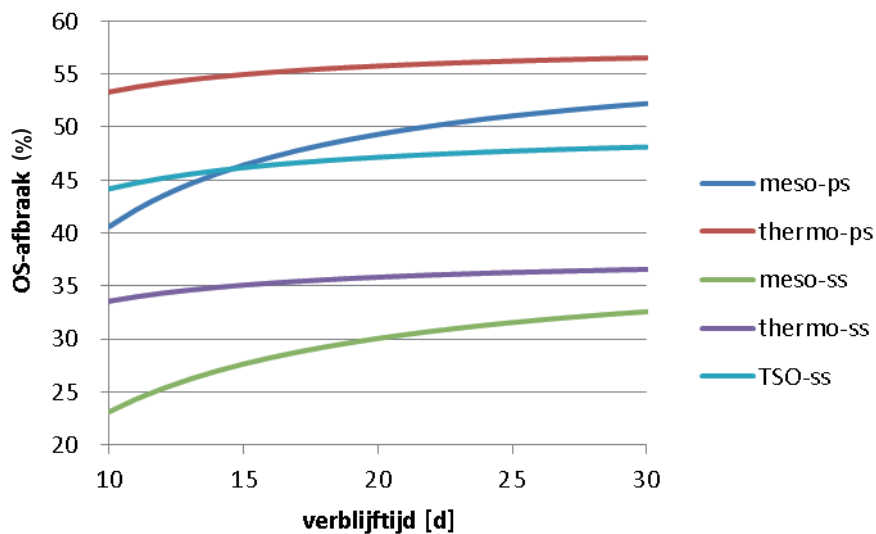
In lijn met de gepresenteerde inzichten in paragraaf 2.3. wordt voor de berekening van de drogestofafbraak en biogasproductie onder meso- en thermofiele omstandigheden uitgegaan van het Chen & Hashimoto model (1986). Met het model kan rekenkundig voorspeld worden hoeveel extra ods-afbraak met de overgang van mesofiele naar thermofiele gisting bereikt kan worden. De resultaten hiervan zijn weergegeven in afbeelding 3.1. Voor de case van Bath (tabel 3.1) en parameters uit literatuur (tabel 2.5) wordt ca. 13 % meer organische drogestof afbraak berekend.

Het Chen & Hashimoto model (1986) is oorspronkelijk ontwikkeld voor mesofiele gisting en heeft een verminderde betrouwbaarheid voor het thermofiele gebied. De berekende extra ds-afbraak ten opzichte van mesofiele gisting - een aanname voor deze studie - is behoudend in het licht van de beschikbare (beperkte) praktijkreferenties. Deze overweging geldt ook voor de aanname dat thermofiele gisting niet leidt tot verbetering van de ontwateringseigenschappen. Ook dit is een behoudende aanname.

MODELLERING CHEN & HASHIMOTO EN PRAKTIJKGEGEVENS BATH

Het model van Chen & Hashimoto is gecalibreerd op basis van de gemeten drogestofafbraak en biogasproductie van rwzi Bath. Daartoe zijn de defaultwaarden aangepast voor de mesofiele variant door de maximale afbraak te verlagen, zijnde 58 % voor primair slib en 38 % voor secundair slib [22]. De lagere maximale afbreekbaarheid van het primair slib wordt door hydrolyse van materiaal in het lange aanvoerstelsel van de rwzi Bath met hoge afvalwatertemperaturen. Op basis van de modelparameters zijn de uitkomsten bepaald voor de thermofiele varianten. De variant met thermische slibontsluiting is gefit op basis van de toegenomen drogestofafbraak zoals gebleken uit pilotstudies. Omdat de bacteriën niet sneller werken als gevolg van TSO moet de maximale afbreekbaarheid van het secundair slib verhoogd worden van 38 naar 50 % (dit geeft bij 20 dagen verblijftijd een 30 % hogere ods-afbraak). Afbeelding 3.1. presenteert de gemodelleerde drogestofafbraak in het mesofiele en thermofiele bereik als functie van de verblijftijd.

AFBEELDING 3.1 AFBRAAK ORGANISCHESTOF (%) UITGEZET TEGEN DE VERBLIJFTIJD IN DE GISTING



3.3 ONTWATERINGSEIGENSCHAPPEN UITGEGIST SLIB

De praktijkreferenties wijzen niet eenduidig op verbetering van de ontwateringseigenschappen als gevolg van thermofiele gisting. Voor een aantal referenties, die vergelijkbaar zijn met de Nederlandse situatie, is een verbetering van de ontwaterbaarheid met 20 % vastgesteld. Voor deze studie wordt bij toepassing van thermofiele gisting uitgegaan van ontwateringseigenschappen die overeenkomen met die bij mesofiele gisting. Dit is een conservatieve benadering. In de gevoeligheidsanalyse worden de effecten van verbeterde slibontwatering doorgerekend.

Uit pilotstudies met thermische slibontsluiting blijkt na mesofiele gisting dat het ontwateringsresultaat significant hoger ligt in vergelijking met mesofiele gisting zonder voorgeschakelde thermische slibontsluiting [24]. De verbeterde ontwaterbaarheid wordt onder andere behaald door de hogere fractie van inert materiaal in het uitgegiste slib als gevolg van een hogere afbraak van organisch materiaal. Over het algemeen kan gesteld worden dat slibben met een hoge inerte fractie beter ontwaterbaar zijn. Hiertoe is in de businesscase met thermofiele slibontsluiting uitgegaan van een verbetering van de ontwaterbaarheid ten opzichte van de basisvariant.

3.4 REJECTIEWATERBEHANDELING

Door toepassing van thermofiele gisting - al dan niet in combinatie met thermische slibontsluiting - wordt meer drogestof afgebroken en ontstaat er een hogere stikstofconcentratie in het rejectiewater. Bij de kostenraming is uitgegaan van toepassing van deelstroombehandeling om de extra stikstofvracht te verwerken. Hiertoe is uitgegaan van een eentraps anammox reactor[16].

Fosfaat komt in mindere mate vrij, omdat een deel vastgelegd wordt in de sliblijn door ijzerdosering. Veelal is in bestaande installaties voldoende capaciteit beschikbaar om een geringe verhoging van de P-belasting op te vangen door extra ondersteunende chemische P-verwijdering.

Opgemerkt moet worden dat nutriëntenterugwinning aantrekkelijker wordt ten opzichte van mesofiele gisting door de hogere concentraties ammonium en fosfaat in het rejectiewater.

3.5 VIER VARIANTEN-KENMERKEN

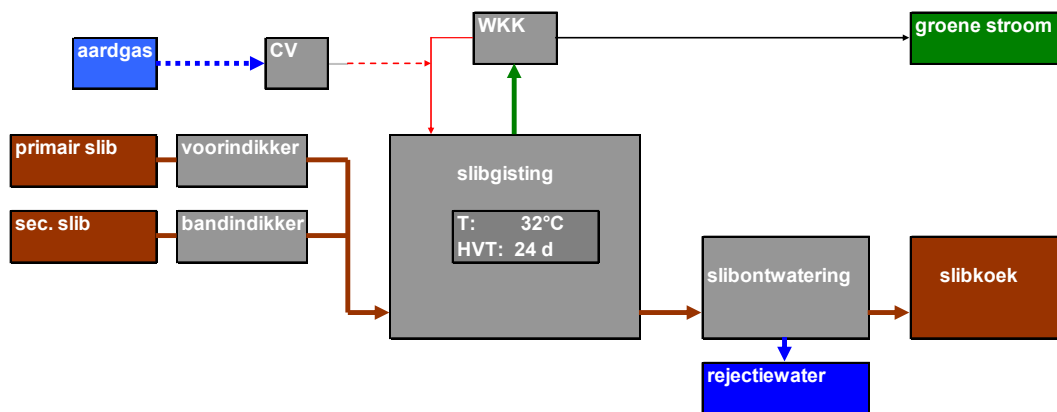
De volgende concepten worden doorgerekend voor zowel de grote als kleine schaal:

1. mesofiel: deze variant omvat de huidige situatie met de gemiddelde gemeten drogestofafbraak en biogasproductie;
2. thermofiel: vergisten van het huidige slibaanbod. Door thermofiele gisting nemen de drogestofafbraak en gasproductie toe;
3. thermofiel+: gebruikmakend van de hogere omzettingssnelheden kan de verblijftijd verkort worden en ontstaat ruimte in de gisting voor extra slibverwerking. Deze wordt benut door toevoer van extern surpluslib. De drogestofafbraak (in %) en specifieke biogasproductie blijven gelijk ten opzichte van mesofiele gisting;
4. TSO (thermische slibontsluiting) / thermofiel+: door het kraken van organisch materiaal onder hoge druk en temperatuur wordt het aandeel vergistbaar organische stof vergroot. Dit levert een hogere gasproductie en een hogere droge stof afbraak op. Door de combinatie met thermofiele gisting ontstaat extra ruimte om extern slib te vergisten ten opzichte van de variant thermofiel+.

3.5.1 MESOFIELE SLIBGISTING

Afbeelding 3.2 presenteert op hoofdlijnen het processchema van de slib- en gaslijn van de referentie rwzi. Een uitgebreide beschrijving van het mesofiele gistingsproces is beschreven in bijlage I.

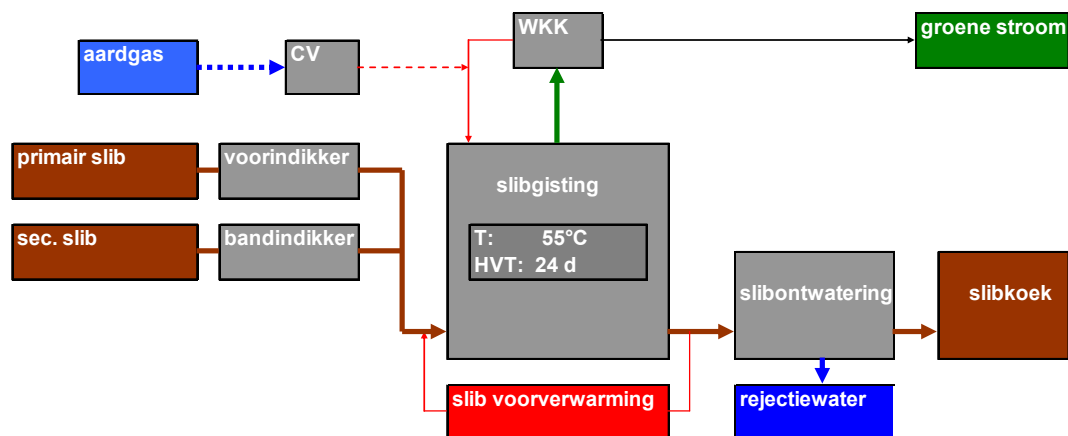
AFBEELDING 3.2 PROCESSHEMA HUIDIGE MESOFIELE GISTING



3.5.2 THERMOFIELE SLIBGISTING

In deze variant is de bedrijfsvoering van de sliblijn gelijk aan die voor mesofiele gisting. Doordat de gistingsprocessen sneller verlopen, wordt bij gelijke hydraulische verblijftijd een verdergaande omzetting van organische stof bereikt. Om de gisting op 55 °C te kunnen bedrijven moet de warmtewisselaar in de recirculatieleiding worden vervangen door een slib-slib warmtewisselaar. Door deze vorm van warmteterugwinning wordt een forse besparing gerealiseerd op de warmtebehoefte om het ingaande slib op te warmen naar 55 °C. Ook is in de wintermaanden voldoende warmte van de WKK beschikbaar om de thermofiele gisting op temperatuur te houden.

AFBEELDING 3.3 PROCESSHEMA THERMOFIELE GISTING



SPECIFIEKE MAATREGELEN RWZI 150.000 EN 490.000

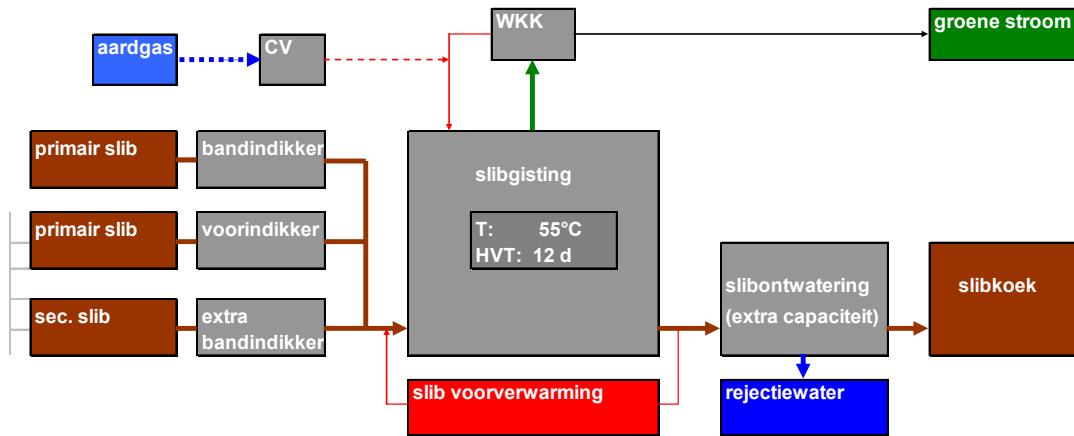
Thermofiele gisting leidt tot een 13 % hogere ds-afbraak (zie tabel 3.3) en daarmee een 13 % hogere biogasproductie. Deze toename van de gasproductie wordt opgevangen binnen de aanwezige capaciteit van de voorzieningen in de gaslijn en de bestaande WKK-installatie.

3.5.3 THERMOFIELE SLIBGISTING + BENUTTING RESTCAPACITEIT

Bij thermofiele gisting kan de slibverblijftijd worden verkort naar 12 dagen. Als gevolg hiervan ontstaat ruimte om extra (extern) slib te vergisten. Uitgegaan is van een maximale drogestof- en volumebelasting van de gisting door aanvoer van surplusslib van elders en vergaande indikking op lokatie tot 7% ds. Omdat de restcapaciteit van de bestaande installatie volledig

wordt benut ontstaat in deze situatie procentueel minder extra ds-afbraak of extra biogasproductie ($\text{m}^3 \text{ gas} / \text{kg ds}$ verwijderd) ten opzichte van thermofiele gisting. Wel wordt in deze situatie meer slib verwerkt en dus ook veel meer biogas geproduceerd in absolute hoeveelheden. Deze toename van de gasproductie wordt opgevangen binnen de aanwezige capaciteit van de voorzieningen in de gaslijn en de bestaande WKK-installatie.

AFBEELDING 3.4 PROCESSHEMA THERMOFIELE GISTING MET BENUTTING RESTCAPACITEIT



SPECIFIEKE MAATREGELEN RWZI 150.000 EN 490.000

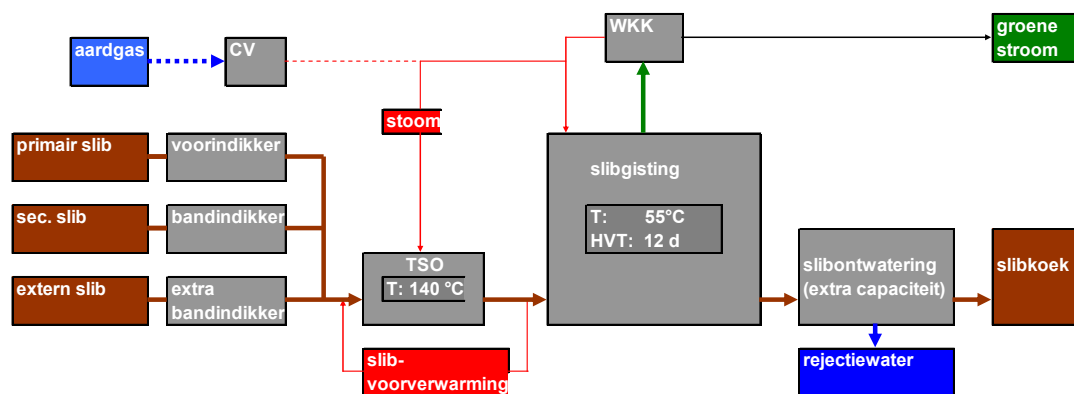
De volgende aanpassingen zijn voorzien:

- nieuwe buffertank en voedingspomp voor extern slib;
- het plaatsen van slib-slib warmtewisselaars om de ingaande stroom voor te verwarmen met de uitgeste stroom;
- extra indik- en ontwateringscapaciteit voor het externe slib.

3.5.4 THERMISCHE SLIBONTSLUITING EN THERMOFIELE SLIBGISTING+

Bij thermofiele gisting in combinatie met voorgeschakelde thermische slibontsluiting kan de slibverblijftijd worden verkort naar 12 dagen. Tegelijkertijd neemt de specifieke droge-stofafbraak en daarmee de gasproductie toe [15]. Als gevolg hiervan ontstaat ruimte om extra (extern) slib te vergisten ten opzichte van de thermofiel+ variant. Uitgegaan is van een minimale drogestof- en een maximale volumebelasting van de gisting door aanvoer van surpluslib van elders met gelijke eigenschappen als het surpluslib van de referentie rwzi.

AFBEELDING 3.5 PROCESSHEMA VARIANT MET THERMISCHE SLIBONTSLUITING EN THERMOFIELE GISTING MET BENUTTING RESTCAPACITEIT



SPECIFIEKE MAATREGELEN RWZI 150.000 EN 490.000

De volgende aanpassingen zijn voorzien:

- nieuwe buffertank en voedingspomp voor extern slib;
- toevoegen van het TSO-proces inclusief warmteterugwinning;
- uitbreiden van de WKK-capaciteit;
- extra indik- en ontwateringscapaciteit voor het externe slib.

Voor de uitwerking van de voorzieningen voor de thermische sibontsluiting is uitgegaan van het Stowa werkrapport 2011-W-03.

3.6 BEREKENING DROGESTOFAFBRAAK

Tabel 3.2 presenteert een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten om de drogestof afbraak per variant te berekenen.

TABEL 3.2 OVERZICHT UITGANGSPUNTEN BIJ DE VERSCHILLENDE VARIANTEN

variant	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO / thermofiel+
aanvoer extern slib	nee	nee	ja	ja
verblijftijd (d)	24	24	12	12
temperatuur (°C)	32	55	55	55
primair slib (% ds) /(%)	5,4/ 66,6	5,4/ 66,6	5,4/ 66,6	5,4/ 66,6
secundair slib (% ds) ¹ /(%)	6,0/ 64	6,0/ 64	7,0/ 63,5	7,0/ 63,5
extern secundair slib (% ds) ¹ /(%)	-	-	7,0/ 65	7,0/ 65
totaal naar TSO (% ds)	-	-	-	7,0
totaal naar gisting (% ds) /(% ods)	5,7	5,7	6,6	6,1 ²
organische stof naar gisting (% van ds)	65,1	65,1	65,0	65,0
minimale SLT	2,7	1,3	1,3	1,3
maximale afbreekbaarheid SS/PS	38/58	38/58	38/58	50/58
afbraaksnelheid SS/PS	1,5/1	0,75/0,5	0,75/0,5	0,75/0,5
ontwaterd slib concentratie (% ds)	21,6	21,6	21,6	28,1
verhouding primair/secundair (ds)	1	1	0,2	0,2

Toelichting:

- ¹ Het ds-gehalte van surplusslib in de varianten zonder externslib is gebaseerd op de huidige indikgraad van de bandindikers op rwzi Bath. In de variant thermofiel+ is uitgegaan van een maximale aanvoer van extern slib en maximale ds-belasting van de slibgisting. Hiertoe is gerekend met een (maximale) indikgraad van 7 % ds. Als gevolg van de hogere indikgraad is een verhoging van het specifieke PE-verbruik van 1 g/kg ds gehanteerd om van 6 % naar 7 % ds te komen.
- ² Door toepassing van stoominjectie voor opwarming van de TSO-proces daalt het drogestofgehalte. Hierbij is uitgegaan van een watertoevoeging (gecondenseerde stoom) van 10 % van de ingaande stroom (opgave Sustec Consulting & Contracting).

Tabel 3.3 presenteert de gehanteerde drogestofafbraak en organischestofafbraak per deelstroom. Deze (afgeronde) waarden volgen uit het gefitte Chen&Hashimoto-model.

TABEL 3.3 DROGESTOFAFBRAAK (ORGANISCHESTOFAFBRAAK) PER VARIANT VOLGENS CHEN&HASHIMOTO (VOLGEND UIT TABEL 3.2)

parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/ thermofiel+
primair slib	% ds (ods)	32 (49)	37 (56)	36 (55)	36(55)
surplusslib	% ds (ods)	18 (34)	19 (36)	18 (35)	24(46)
extern surplusslib ¹	% ds (ods)	-	-	23 (35)	30(46)
totaal ds afbraak	% ds (ods)	25 (42)	28(48)	25 (39)	30 (48)

Toelichting:

- ¹ De aanwezigheid van chemisch slib in het secundaire slib van de rwzi Bath verklaart het verschil in drogestofafbraak tussen extern slib en secundair slib van rwzi Bath voor de varianten thermofiel+ en TSO/thermofiel+. Voor het externe slib is geen aandeel chemisch slib opgenomen.

De tabellen 3.4 en 3.5 presenteren de drogestofbalans voor respectievelijk 150.000 en 490.000 i.e.

TABEL 3.4 DROGESTOFBALANS SCHAALGROOTTE 150.000 I.E.

parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/ thermofiel+
slibvracht naar gisting					
primair slib	kg/d	4.342	4.342	4.342	4.342
surplusslib	kg/d	4.378	4.378	4.378	4.378
extern surplusslib	kg/d			11.111	9.703
totaal	kg/d	8.720	8.720	19.830	18.422
slib naar ontwatering					
vracht	kg/d	6.543	6.264	14.947	12.913
debiet	m ³ /d	153	153	302	302
gehalte	% ds	4,3	4,1	5,0	4,3
ontwaterdslib					
ds gehalte	%	21,6	21,6	21,6	28,1
hoeveelheid	m ³ /d	30,3	29,0	69,2	46,0
besparing t.o.v. huidige situatie					
slibafvoer rwzi	m ³ /d	30,3	30,3	30,3	30,3
slibafvoer extern slib	m ³ /d			51,4	44,9
totale slibafvoer	m ³ /d	30,3	30,6	81,7	75,2
reductie slibafzet	m ³ /d	-	1,3	12,5	29,2
reductie slibafzet	ton nat slib /jr	-	472	4.574	10.667

TABEL 3.5 DROGESTOFBALANS SCHAALGROOTTE 490.000 I.E.

parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/ thermofiel+
slibvracht naar gisting					
primair slib	kg/d	13.025	13.025	13.025	13.025
surplusslib	kg/d	13.134	13.134	13.134	13.134
extern surplusslib	kg/d			33.332	29.108
totaal	kg/d	26.159	26.159	59.491	55.267
slib naar ontwatering					
vracht	kg/d	19.629	18.791	44.840	38.739
debiet	m ³ /d	460	460	905	905
gehalte	%	4,3	4,1	5,1	4,3
ontwaterslib					
ds gehalte ¹	%	21,6	21,6	21,6	28,1
debiet	m ³ /d	90,9	87,0	207,6	138,0
besparing afzet slib t.o.v. huidige situatie					
slibafvoer rwzi ²	m ³ /d	90,9	90,9	90,9	90,9
Slibafvoer extern slib ³	m ³ /d			154,3	
Totale slibafvoer huidig	m ³ /d	90,9	90,9	245,2	225,6
reductie slibafzet ⁴	m ³ /d	-	3,9	37,6	87,7
reductie slibafzet	ton nat slib /jr	-	1.417	13.722	32.001

Toelichting:

- ¹ Gerekend is met het huidige gemiddelde ontwateringsresultaat van de rwzi Bath. Alleen in de variant met thermische slibontsluiting is gerekend met een verbetering van de ontwaterbaarheid met 30%. Dit is gebaseerd op het pilotonderzoek op rwzi Amersfoort [15]. Hierbij wordt opgemerkt dat de ontwaterbaarheid afhankelijk is van de verhouding primair en secundair slib en de mate van aerobe stabilisatie.
- ² Het ontwaterd slibdebiet van het slib afkomstig van de eigen rwzi bij mesofiele gisting.
- ³ Het ontwaterd slibdebiet van het externe slib dat in de huidige situatie niet vergist wordt. Gerekend is met een drogestofgehalte na ontwatering gelijk aan de rwzi Bath (21,6% ds.).
- ⁴ De reductie van het slibdebiet is berekend als het verschil tussen de huidige situatie en het resultaat na ontwatering per variant.

3.7 ENERGIE EN WARMTEBALANS

Voor de berekening van de energiebalans bij de verschillende varianten is gebruik gemaakt van een door Witteveen+Bos ontwikkeld warmte- en energiemodel (WEM). Dit model presenteert de warmtebalans op maandniveau, uitgaande van de beschikbare energie uit biogasproductie en de warmtebehoefte van de slibgisting. De warmtebehoefte wordt berekend op basis van maandgemiddelde temperaturen van slib, omgeving en bodem. De uitgangspunten en kengetallen die gehanteerd zijn in de berekening van de afzonderlijke warmtestromen zijn opgenomen in bijlage II en de resultaten in bijlage V. Alleen in de variant TSO/Thermofiel+ is er een warmte tekort vanwege de extra energie/warmte behoefte voor de stoomproductie en is hiervoor een directe CV ketel voorzien. In de massabalans is rekening gehouden met het benutten van de uitgaande restwarmte. Warmtebalans technisch is dit echter niet noodzakelijk en wordt voor alle overige varianten ook zonder warmteterugwinning een netto warmteoverschot berekend. Een slib warmtewisselaar is echter wel gewenst, omdat dan de bestaande warmtewisselaar niet hoeft te worden aangepast en het systeem minder gevoelig is bij uitval van een WKK. Ook is het afkoelen van het uitgeste slib gewenst t.b.v. de slibontwatering.

3.8 FINANCIËEL-ECONOMISCHE UITGANGPUNTEN

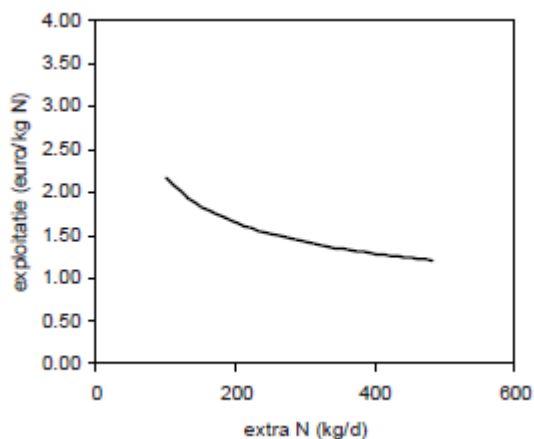
Tabel 3.6 presenteert de uitgangspunten en rekenwaarden voor de berekening van de jaarlijkse kosten. De kosten voor energie, slibverwerking en slibafzet en de mate van slibindiking voor gisting zijn van grote invloed op de totale jaarlijkse kosten. Om deze reden is een gevoeligheidsanalyse opgesteld voor genoemde kostenposten (§ 4.4).

TABEL 3.6 OVERZICHT FINANCIËLE EN ECONOMISCHE UITGANGSPUNTEN

parameter	waarde	eenheid
energieprijs	0,125	EUR/kWh
aardgasprijs	0,5	EUR/m ³
polymeerkosten	3,5	EUR/kg actief PE
variabele kosten slibeindverwerking	30	EUR/ton ontw. slib
all in kosten behandeling toegenomen N-vracht	afbeelding 3.6	EUR/ kg N
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	4	EUR/draaiuur
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	6	EUR/draaiuur
onderhoudskosten TSO	2	% van bouwkosten
personeel	45.000	EUR/fte
reële rente	4,75 %	%
afschrijving civiel	40	jaar
annuïteit civiel	0,0563	-
afschrijving werktuigbouw	15	jaar
annuïteit werktuigbouw	0,0947	-
afschrijving elektrotechnisch	15	jaar
annuïteit elektrotechnisch	0,0947	-
staatkostenfactor (BTW, bijkomende kosten en 10 % onvoorzien)	1,5	-

Afbeelding 3.6 presenteert de exploitatiekosten voor de deelstroombehandeling van de toegenomen stikstofvracht.

AFBEELDING 3.6 EXPLOITATIEKOSTEN VOOR DE BEHANDELING VAN DE STIKSTOFVRACHT IN EEN EENTRAPS ANAMMOX REACTOR ALS FUNCTIE VAN DE VRACHT [16]



3.9 GEVOELIGHEIDSANALYSE

Voor de volgende aspecten is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd:

1. verbetering van ontwateringseigenschappen van het uitgegiste slib in de thermofiele varianten (+10 %);
2. stijging van de energieprijis (van EUR 0,125 naar EUR 0,20/kWh). Het bedrag van 20 eurocent wordt vaak gebruikt om na te gaan of technieken in de verdere toekomst interessant kunnen zijn;
3. invloed van losse contracten voor de slibafzet, waardoor de totale slibafzetkosten kunnen worden berekend van EUR 30,00 naar EUR 50,00/ ton nat ontwaterd slib.

Op basis van de theoretische afbraak is inzichtelijk gemaakt welke aspecten een significante invloed hebben op de organischestofafbraak en wat hiervan het effect is op de businesscase.

4

RESULTATEN

De gedetailleerde resultaten van de uitwerking van de varianten en bijhorende kostenramingen zijn opgenomen in bijlage III en IV. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste resultaten samengevat.

4.1 WARMTE EN ENERGIE

Tabel 4.1 geeft de energiebalans op hoofdlijnen weer, evenals de periodiek benodigde inkoop van aardgas en de elektriciteitsproductie uit biogas. De uitgebreide balans is opgenomen in bijlage V.

TABEL 4.1 WARMTE- EN ENERGIEBALANS PER SCHAALGROOTTE

onderdeel	variant	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TS0/ thermofiel+
schaalgrootte 490.000 i.e.		eenheid			
biogasproductie	m ³ /jr	2.085.000	2.361.000	4.350.000	4.866.000
warmte beschikbaar uit WKK	TJ/jr	47,9	54,3	100,0	111,9
energie behoefte	TJ/jr	27,8	27,2	52,0	170,8
restwarmte	TJ/jr	20,2	27,1	48,0	59,0-
aanvullend benodigd aardgas voor stoomopwekking	m ³ /jr	-	-	-	400.000
elektriciteitopbrengst uit bestaande WKK	MWh/jr	4.529	5.129	9.468	10.466
elektriciteitopbrengst uit nieuwe WKK	MWh/jr	-	-	-	98
toegenomen opbrengsten	MWh/jr	-	600	4.939	6.035
schaalgrootte 150.000 i.e.					
biogasproductie	m ³ /jr	695.000	787.000	1.450.000	1.622.000
warmte beschikbaar uit WKK	TJ/jr	16,0	18,1	33,3	37,3
energie behoefte	TJ/jr	9,5	9,6	17,9	57,6
restwarmte	TJ/jr	6,5	8,5	15,4	20,3-
aanvullend benodigd aardgas voor stoomopwekking	m ³ /jr	-	-	-	134.000
elektriciteitopbrengst uit bestaande WKK	MWh/jr	1.510	1.710	3.156	3.489
elektriciteitopbrengst uit nieuwe WKK	MWh/jr	-	-	-	33
toegenomen opbrengsten	MWh/jr	-	200	1.646	2.012

Toelichting bij de warmte- en energiebalans:

- in alle concepten wordt op jaarbasis restwarmte geproduceerd. Dit betekent dat op jaarbasis voldoende energie uit biogas beschikbaar is voor opwarming van de slibgisting;
- in de variant met thermische slibontsluiting ontstaat periodiek een warmtetekort als gevolg van de spreiding in biogasproductie in combinatie met temperatuursdaling van slib, omgeving en bodem. Dit warmtetekort wordt gecompenseerd door efficiënte benutting van aardgas in een HR-ketel. Hierbij wordt opgemerkt dat in de onderhavige case studie wordt uitgegaan van een relatief laag ingaand ds-gehalte. Bij verhoging van het

ingaaud ds-gehalte (tot max. 12 %) ontstaat een (veel) gunstigere uitgangssituatie voor de warmtehuishouding en is geen extra warmte input nodig;

- door warmteterugwinning uit de uitgeste slibstroom via slib-slib warmtewisselaars wordt 60 % van de energiebehoefte voor het opwarmen van slib weggenomen. Dit verklaart de lagere energiebehoefte bij thermofiele gisting (HVT 24 d) in vergelijking met mesofiele gisting.

4.2 BOUW- EN INVESTERINGSKOSTEN

De kosten voor aanpassingen van de huidige gisting naar thermofiele gisting omvatten het vervangen van de bestaande warmtewisselaars en het toevoegen van slib-slib warmtewisselaars.

Voor de variant met thermische slibontsluiting zijn kostenopgaven van de firma Sustec gebruikt. Deze kosten omvatten de bouw en inpassing in de bestaande situatie.

Door de optimale benutting van de aanwezige restcapaciteit bij de variant met thermische slibontsluiting wordt veel extra biogas geproduceerd. Om dit te verwerken is voor zowel de kleinere als grote schaal uitgegaan van de bouw van extra wkk-capaciteit en uitbreiding van de biogas lijn.

Tabel 4.2 geeft een overzicht van de bouw- en investeringskosten per schaalgrootte.

TABEL 4.2 BOUW- EN INVESTERINGSKOSTEN PER SCHAALGROOTTE (EUR)

onderdeel	thermofiel	thermofiel+	TSO/ thermofiel+
	(EUR)	(EUR)	(EUR)
schaalgrootte 150.000 i.e.			
extra voorindik- en ontwateringscapaciteit	-	300.000	300.000
aanpassingen t.b.v. wamteterugwinning	100.000	150.000	150.000
thermische slibontsluiting	-	-	1.420.000
WKK ¹⁾	-	-	4.000
voorzieningen ontvangst- en ontwatering extern slib	-	200.000	200.000
deelstroombehandeling	67.000	412.000	479.000
totaal bouwkosten	167.000	1.062.000	2.553.000
investeringskosten	250.500	1.593.000	3.829.500
schaalgrootte 490.000 i.e.			
extra voorindik- en ontwateringscapaciteit	-	600.000	600.000
aanpassingen voor thermofiele gisting	250.000	400.000	400.000
thermische slibontsluiting	-	-	2.840.000
WKK ¹⁾	-	-	13.000
voorzieningen ontvangst en ontwatering extern slib	-	400.000	400.000
deelstroombehandeling	165.000	824.000	996.000
totaal bouwkosten	415.000	2.224.000	5.249.000
investeringskosten	622.500	3.336.000	7.873.500

1 De huidige WKK-capaciteit op de rwzi Bath is ruim gedimensioneerd voor de huidige mesofiele bedrijfsvoering. Bij de thermofiele bedrijfsvoering met thermische slibontsluiting is slechts een geringe uitbreiding van de WKK-capaciteit noodzakelijk. Dit verklaart de relatief lage investeringskosten voor wkk-capaciteit bij de schaalgrootte 490.000 i.e. Met oog op de kostenvergelijking is dit uitgangspunt ook toegepast op de kleinere schaalgrootte.

4.3 JAARLIJKSE KOSTEN EN BATEN

Tabel 4.3 en 4.4 presenteren de jaarlijkse kosten en baten ten opzichte van de huidige situatie (zie bijlage III en IV voor de gedetailleerde berekeningen).

De belangrijkste kostenposten zijn het polymeerverbruik, de kosten voor deelstroombehandeling (indien van toepassing) en de kapitaalslasten voor thermische slibontsluiting. De elektriciteitsproductie uit biogas levert de belangrijkste besparing. Maar ook de verminderde afzetkosten van uitgestort en ontwaterd slib levert een forse besparing. De terugverdientijden liggen voor alle varianten, voor zowel de grote als de kleinere schaal, ruim binnen de technische levensduur van de installatie. Daarmee is de businesscase positief.

TABEL 4.3 JAARLIJKSE KOSTEN, BATEN VOOR SCHAALGROOTTE 150.000 I.E (EURO)

	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/ thermofiel+
kosten				
kapitaalslasten extra voorindik- en ontwateringsapparatuur	-	-	43.000	43.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	-	14.000	21.000	21.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	-	-	-	202.000
kapitaalslasten investeringen WKK	-	-	-	-
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	-	-	11.000	11.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	-	9.000	55.000	64.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	-	4.000	28.000	32.000
polymeerdosering	65.000	64.000	68.000	62.000
extra personeel	-	-	5.000	18.000
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	-	-	-	28.400
onderhoud nieuwe WKK	-	-	-	48.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	-	-	-	67.000
totaal jaarlijkse kosten	65.000	91.000	231.000	596.400
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)	65.000	68.000	101.000	255.400
opbrengsten				
opbrengsten elektriciteitsproductie	189.000	214.000	395.000	440.000
opbrengsten verminderde slibafzet	-	14.000	137.000	320.000
totaal opbrengsten	189.000	228.000	532.000	760.000
totaal netto opbrengsten	124.000	160.000	431.000	504.600
Besparing t.o.v. mesofiel		36.000	307.000	380.600
Terugverdientijd (jaar)		7,0	5,2	10,1

TABEL 4.4 JAARLIJKSE KOSTEN, BATEN VOOR SCHAALGROOTE 490.000 I.E. (EURO)

kostenpost	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/ thermofiel+
kosten				
kapitaalslasten extra voorindik- en ontwateringsapparatuur		-	85.000	85.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	-	36.000	57.000	57.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	-	-	-	404.000
kapitaalslasten investeringen WKK	-	-	-	1.000
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	-	-	23.000	23.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling		22.000	110.000	133.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	-	11.000	55.000	67.000
polymeerdosering	196.000	191.000	203.000	185.000
extra personeel		-	5.000	18.000
onderhoudskosten thermische slibontsluiting				56.800
onderhoud nieuwe WKK		-		32.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	-	-		200.000
totaal jaarlijkse kosten	196.000	260.000	538.000	1.261.800
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)	196.000	202.000	263.000	558.800
opbrengsten				
opbrengsten elektriciteitsproductie	566.000	641.000	1.184.000	1.320.000
opbrengsten verminderde slibafzet	-	43.000	412.000	960.000
totaal opbrengsten	566.000	684.000	1.596.000	2.280.000
totaal netto opbrengsten	370.000	482.000	1.333.000	1.721.200
Besparing t.o.v. mesofiel		112.000	963.000	1.351.200
Terugverdientijd (jaar)		5,6	3,5	5,8

4.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse zijn samengevat in tabel 4.5 en 4.6. (zie bijlage VI voor de gedetailleerde berekeningen).

Uit de tabellen blijkt dat als de kosten voor de gevoeligheidsaspecten energie en slibafzet stijgen de businesscase nog positiever uitkomt. Dit effect geldt ook voor de thermofiele varianten bij stijging van de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib.

TABEL 4.5 GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR DE SCHAALGROOTE 150.000 I.E., UITGEDRUKT IN EEN TERUGVERDIEN TIJD EN DE JAARLIJKSE BESPARING

Variant	waarde	thermofiel		thermofiel+		TSO/ thermofiel+	
		TVT (jaar)	besparing (EUR/jaar)	TVT (jaar)	besparing (EUR/jaar)	TVT (jaar)	besparing (EUR/jaar)
basis variant		7,0	36.000	5,2	307.000	10,1	380.600
ontwaterbaarheid ¹	+10%	4,1	64.000	4,3	375.000	-	-
energiekosten ²	€ 0,20/ kWh	4,9	51.000	2,7	430.000	6,4	531.600
afzetkosten slib ³	€ 50,00/ ton slib	5,4	46.000	2,9	399.000	5,7	593.600

TABEL 4.6 GEVOELIGHEIDSANALYSE VOOR DE SCHAALGROOTTE 490.000 I.E., UITGEDRUKT IN EEN TERUGVERDIENTTIJD (JAAR) EN DE JAARLIJKSE BESPARING

variant	waarde	thermofiel		thermofiel+		TSO/ thermofiel+	
		TVT (jaar)	besparing (EUR/jaar)	TVT (jaar)	besparing (EUR/jaar)	TVT (jaar)	besparing (EUR/jaar)
basis variant		5,6	112.000	3,5	963.000	5,8	1.351.200
ontwaterbaarheid ¹	+10%	3,4	196.000	2,9	1.166.000	-	-
energiekosten ²	€ 0,20/ kWh	4,6	134.000	2,7	1.223.000	4,7	1.671.200
afzetkosten slib ³	€ 50,00/ ton slib	4,4	140.000	2,7	1.237.000	4,0	1.991.200

Toelichting:

- ¹ De uitkomsten zijn gebaseerd op een verbetering van de ontwaterbaarheid met 10% ten opzichte van de basisvariant. Deze gevoeligheid is alleen toepast op de varianten zonder voorgeschakelde thermische slibontsluiting. In de variant met thermische slibontsluiting is al gerekend met een verbetering van de ontwaterbaarheid met 30% ten opzichte van mesofiele gisting [15].
- ² Voor de energiekosten is uitgegaan van een stijging met 0,075 euro/ kWh ten opzichte van de basisvariant.
- ³ Voor de afzetkosten van slib is gerekend met een stijging van de variabele afzetkosten voor slib van 30,00 naar 50,00 euro per ton nat (ontwaterd) slib.

Van de berekeningen van de ods-afbraak en de biogasproductie volgens Chen&Hashimoto, zijn de volgende gevoeligheden relevant:

- verbetering van de maximale afbraak in de variant thermofiele vergisting. Op lab-schaal wordt een sterk verbeterde afbraak gemeten en ook de praktijkinstallaties laten hogere afbraakpercentages zien dan waarmee in deze case gerekend is. Nu wordt een verbetering van 13 % berekend bij een verblijftijd van 20 - 25 dgn. Indien een hogere ods-afbraak wordt gerealiseerd heeft dit een (zeer) gunstig effect op de terugverdiëntijd van de benodigde investeringen;
- de verhouding primair/secundair slib is onder de gegeven afbraakconstanten nauwelijks van invloed op de verbetering van ods-afbraak. De verhouding is wel van grote invloed op de netto afbraak, omdat secundair slib minder vergaand afbreekt dan primair slib.

5

CONCLUSIES

5.1 MESOFIEL VERSUS THERMOFIEL

1. Voor het overschakelen van mesofiele gisting naar thermofiele gisting zijn extra voorzieningen nodig om de warmtehuishouding aan te passen. Deze investering levert besparingen op door een afname van de slibafzetkosten en toename van de eigen elektriciteitsproductie. De totale besparing bedraagt bij een rwzi capaciteit van 490.000 i.e. 112.000 euro/jaar en voor de kleinere schaal van 150.000 i.e. 36.000 euro/jaar.
2. De terugverdientijd van de extra voorzieningen voor thermofiele gisting ligt bij een rwzi capaciteit van 490.000 i.e. tussen 5 tot 6 jaar. Voor de toepassing op kleinere schaal van 150.000 i.e. bedraagt de terugverdientijd 7 jaar.
3. Indien wordt uitgegaan van een verbetering van de ontwaterbaarheid met 10 % neemt de terugverdientijd zeer sterk af naar ruim 3 jaar voor de schaalgrootte van 490.000 i.e. en 4 jaar voor de kleinere schaal. De besparingen nemen respectievelijk toe tot 196.000 en 64.000 euro/jaar.
4. Bij verhoging van de energiekosten van 0,125 naar 0,20 euro/ kWh neemt de terugverdientijd af tot ruim 4 jaar voor de schaalgrootte van 490.000 i.e en circa 5 jaar voor de schaalgrootte 150.000 i.e. De besparingen nemen toe tot respectievelijk 134.000 en 51.000 euro/jaar.
5. Stijging van de afzetkosten van 30,00 naar 50,00 euro/ton ontwaterd slib resulteert in een afname van de terugverdientijd tot ruim 4 jaar voor de schaalgrootte van 490.000 i.e. en ruim 5 jaar voor de schaalgrootte van 150.000 i.e. De netto besparingen bedragen respectievelijk 140.000 en 46.000 euro/jaar.

5.2 BENUTTING RESTCAPACITEIT MET THERMOFIELE GISTING

1. De benutting van de restcapaciteit door extra verwerking van extern secundair slib leidt bij de toepassing van thermofiele gisting op grote schaal van 490.000 i.e. tot een daling van de terugverdientijd tot ruim 3 jaar, met een jaarlijkse besparing van 963.000 euro/jaar. Bij de kleine schaal van 150.000 i.e. resulteert dit in een terugverdientijd van 5 jaar. De besparing bedraagt 307.000 euro/jaar.
2. Indien de slibafzetkosten stijgen tot 50,00 euro/ton ontwaterd slib, de ontwaterbaarheid verbetert met 10 % of de energiekosten stijgen, daalt de terugverdientijd tot nog geen 3 jaar voor de grote schaal en tussen 3 en 4 jaar voor de kleine schaal. De besparingen bedragen, ruim 1,1 miljoen euro voor de grote schaal en tussen 0,3 en 0,4 miljoen euro/jaar voor de kleinere schaal.

5.3 BENUTTING RESTCAPACITEIT MET THERMOFIELE GISTING EN THERMISCHE SLIBONTSLUITING

1. Als de extra gistingcapaciteit, die ontstaat door invoering van thermische slibontsluiting gevolgd door thermofiele gisting effectief benut wordt, bedraagt de terugverdientijd ruim 5 jaar voor de grote schaal en ruim 10 jaar voor de kleine schaal. De jaarlijkse besparing bedraagt voor deze basisvarianten 1.351.000, respectievelijk 381.000 euro per jaar.
2. Bij stijging van de energieprijzen naar 0,20 euro/ kWh of stijging van de afzetkosten naar 50,00 euro/ton slib daalt de terugverdientijd tot circa 4,5 jaar voor de grote schaal van 490.000 i.e. en tot 6 jaar voor de kleinere schaal van 150.000 i.e. De besparingen bedragen respectievelijk ruim 1,7 tot 1,9 miljoen euro en circa 530.000 tot 590.000 euro per jaar in de scenario's met thermische slibontsluiting gevolgd door thermofiele gisting.

5.4 VERGELIJK TUSSEN DE VARIANTEN

Alle varianten hebben een positieve terugverdientijd ten opzichte van mesofiele gisting. De variant thermofiele gisting met benutting restcapaciteit lijkt het meest interessant maar indien thermofiele gisting een hogere afbraak realiseert is dit even interessant. Daarnaast is er niet altijd voldoende (extern) slib beschikbaar om de variant met maximale benutting van de restcapaciteit uit te voeren.

Grootste voordeel van thermische drukhydrolyse is de verbeterde ontwaterbaarheid. Er is echter een hoge investering nodig en het proces verbruikt stoom. Hierbij dient te worden opgemerkt dat in de businesscase is uitgegaan van een sub-optimale uitgangssituatie voor de warmtehuishouding. Indien van een hoger ingaand ds-gehalte wordt uitgegaan, 12 % ds in plaats van 6 %, zal er geen extra energie input voor de stoomproductie nodig zijn. In deze businesscase gaat de voorkeur uit naar thermofiel+, maar in de praktijk zal vooral de verbetering van de ontwaterbaarheid nader moeten worden geverifieerd en uiteindelijk de doorslag geven welke techniek de voorkeur krijgt.

5.5 AANBEVELING

De businesscase laat zien dat de omschakeling van mesofiele gisting naar thermofiele gisting leidt tot een netto besparing ten opzichte van de huidige mesofiele gisting. De mate van deze daling- en daarmee de potentie van deze toepassing - wordt bepaald door de gehanteerde uitgangspunten voor de extra biogasproductie en de mogelijke verbetering van de slibontwateringseigenschappen. Vanwege beperkte beschikbare referenties zijn deze uitgangspunten voor deze studie behoudend gekozen. Aanbevolen wordt nader onderzoek uit te voeren op (semi) praktijkschaal of full scale voor een nadere onderbouwing van deze cruciale uitgangspunten, zodat met een hogere mate van zekerheid de businesspotentie van de toepassing van thermofiele gisting van communaal zuiverings-slib kan worden vastgesteld.

6

REFERENTIES

1. Rudolfs, W., Heukelekian, H. (1930) Thermophilic digestion of sewage solids. Preliminary paper. Ind. Eng. Chem. 22, 96.
2. Garber, W.F. (1954). Plant-scale studies of thermophilic digestion at Los Angeles. Sewage Ind. Wastes. 26, 1202.
3. Garber, W.F., Ohara, G.T., Colbaugh, J.E., Raksit, S.K. (1975) Thermophilic digestion at the Hyperion treatment plant. J. Water Pollut. Control Fed. 47, 5, 951-961.
4. STOWA. Handboek slibgisting. STOWA rapport 2011-16.
5. Schafer, P., et al; Advanced Anaerobic Digestion Performance Comparisons; Proceedings WEFTEC 2002 Conference; 2002.
6. Buhr, H.O. and Andrews, J.F. (1977) Thermophilic anaerobic digestion process. Water Research 11 (2), 129-143.
7. Oles, J., Dichtl, N., Niehoff, H.H. (1997) Full scale experience of two stage thermophilic/mesophilic sludge digestion. Water Sci. Technol. 36, 6/7, 449-456.
8. De Baere, L. (2000) Anaerobic digestion of solid waste: state-of-the-art. Water Science and Technology 41 (3), 283-290.
9. RWZI 2000. Een vergelijking tussen mesofiele en thermofiele gisting, STOWA rapport 1992-02.
10. Mittsdorffer, R., Demharter, W. (1990). Zweisufig-thermophile/mesophile Faulung-Betriebsergebnisse. Abwassertechnik, 41, 2, p. 32, 34-38.
11. Kaemmerer, T. Beheerder Klaranlage Wilhelmshaven. Email contact, 20-10-2011.
12. Siemers, J.C. Beheerder Klaranlage Steinhof. Email contact, 24-10-2011.
13. Nielsen, B. and Petersen G.. (2000). Thermophilic anaerobic digestion and pasteurization: practical experience from Danish wastewater treatment plant. Water Science and Technology, Vol 42 No 9 pp65-72.
14. Agentschap NL (SenterNovem). UT580-1-1 Inventarisatie biogas rwzi's, 2009.
15. Sustec Consulting & Contracting BV (2011), TurboTec® Pilot onderzoek op rwzi Amerfoort.
16. STOWA. Sharon-Anammox-Systemen. STOWA rapport 2008-18, p. 26.
17. Chen Y R & A G Hashimoto 1980. Substrate utilization model for biological treatment systems. Biotechnology & Bioengineering 22: 2081-2095.
18. Andreoli, C.V., von Sperling, M., Fernandes, F., 2007, Sludge Treatment and Disposal, Biological Wastewater Treatment Series, Volume 6, ISBN: 1 84339 166 X, ISBN 13: 9781843391661.

19. Amani, T, Nosrati, M. and Sreekrishnan, T. R., 2011. A Precise Experimental Study on Key Dissimilarities between Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge. *Int. J. Environ. Res.*, 5(2):333-342.
20. S.I. Perez-Elvira. (2011) Enhancement of the conventional anaerobic digestion of sludge: comparison of four different strategies. *Water Science & Technology* Vol 64 No 2 pp 375–383 © IWA Publishing.
21. STORA. Optimalisatie gistingsgasproductie. STORA-rapport 1985-02.
22. STOWA. Slibdesintegratie. STOWA rapport 2008-10, p. 93.
23. STOWA. Slibketenstudie II. STOWA rapport 2010-33, p 47.
24. Waterschap Regge & Dinkel, Thermische slibontsluiting rwzi Hengelo, pilotonderzoek 2011.

BIJLAGE I

PROCESBESCHRIJVING RWZI BATH

I.1. PROCESBESCHRIJVING RWZI BATH

De rwzi Bath is in 1983 in bedrijf gesteld. De installatie zuivert het afvalwater dat wordt aangevoerd door de leiding Moerdijk-Bath (AWP) waarop een aantal woonkernen en industrie-terreinen in westelijk Noord-Brabant zijn aangesloten.

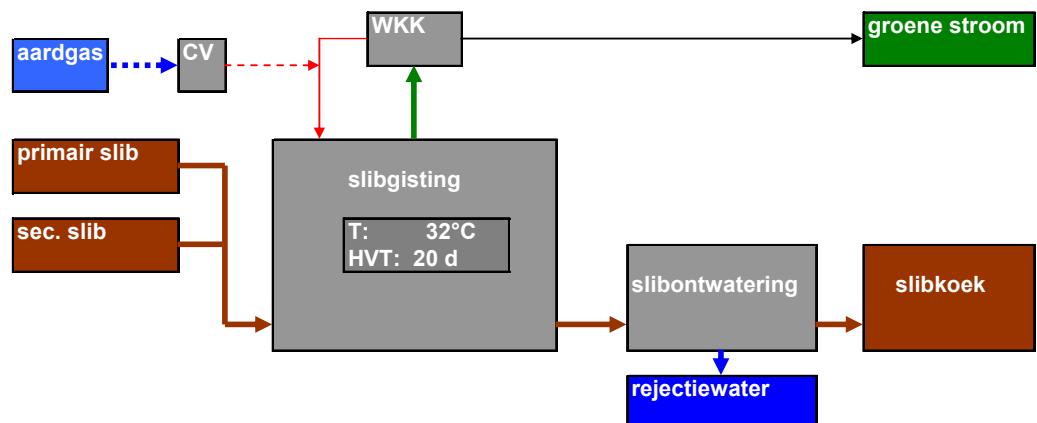
De waterlijn bestaat in hoofdlijn uit: voorbezinktanks, beluchtingtanks, nabezinktanks, en een effluentgemaal. De installatie heeft een totale ontwerpcapaciteit van 23.600 kg BZV/dag en 20.000 m³/h. Het gereinigde water wordt nabij Waarde op de Westerschelde geloosd.

De slibverwerking van de rwzi Bath verwerkt het slib van de eigen rwzi. Het slib van de rwzi's Ossendrecht, Putte, Willemstad, Dinteloord, Nieuw Vossemeer en Halsteren wordt via de persleiding AWP aangevoerd naar de rwzi. De slibbehandelingsinstallatie bestaat uit een voorindikker, twee bandindikers, twee gistingstanks, een slibvoorraadtank en een slibontwateringsinstallatie. De slibontwatering die bestaat uit 4 zeefbandpersen, 2 ontwaterd-slib-pompen en 2 slibkoeksilo's is in juni 1991 in bedrijf genomen. De slibkoek wordt afgevoerd naar de slibverbrander van SNB te Moerdijk.

I.2. PROCESBESCHRIJVING SLIBLIJN RWZI BATH

De slibgisting is schematisch weergegeven in afbeelding I.1.

AFBEELDING I.1 PROCESSCHEMA SLIBLIJN RWZI BATH



SLIBAANVOER

Slib wordt aangevoerd naar de gistingstanks vanuit de primair slibindikker en de bandindikker. Hiertoe staan in de kelder van het flotaatgebouw drie slibvoedingspompen (SVP-1 t/m 3) opgesteld: één pomp voor het ingedikte primaire slib, één pomp voor het ingedikte secundaire slib en één pomp als wederzijdse reserve. De capaciteit van de SVP-pompen bedraagt circa 30 m³/uur. De toevoer van ingedikte primair, respectievelijk secundair slib naar de gistingstanks dient evenredig te worden verdeeld. Dit wordt gestuurd op basis van een instelbaar volume (dus tijd) waarbij tank 1 en tank 2 gelijktijdig gevoed worden met respectievelijk primair en secundair slib. Na het bereiken van het ingestelde debiet wordt automatisch omgeschakeld waarbij tank 1 en 2 gevoed worden met respectievelijk secundair en primair slib.

SLIBVERWARMING

De slibgisting wordt bedreven bij een temperatuur van 32 °C. Om het gistingproces onder alle omstandigheden op deze temperatuur te houden wordt slibverwarming toegepast. Hiervoor zijn in het energiegebouw twee warmtewisselaars en drie slibcirculatiepompen opgesteld.

- slibcirculatiepomp 1 circuleert het slib via warmtewisselaar SWW-1 naar gistingstank 1;
- slibcirculatiepomp 2 circuleert het slib via warmtewisselaar SWW-2 naar gistingstank 2;
- slibcirculatiepomp 3 fungeert als wederzijdse reserve, die handmatig ingezet kan worden in geval van storing of onderhoud aan een der beide pompen.

De vrijgekomen warmte uit het koelwater van de TE-units wordt gebruikt voor het verwarmen van het slib. Hiertoe is elke warmtewisselaar uitgevoerd met een warmwatercircuit. De temperatuur wordt geregeld op basis van een temperatuuropnemer in de slibgistingstank en een driewegklep in het warmwatercircuit.

MENGING

Gasinblazing wordt toegepast om het verse inkomende slib te mengen met het reeds gistende slib en om bezinking te voorkomen. De gasmenging wordt verzorgd door twee gasmengcompressoren, die elkaars reserve zijn. De gasmengcompressoren zuigen aan vanuit een gasdome bovenin de gistingstank en blazen het opnieuw in via inblaaslansen onder in de tank.

Gasmenging gebeurt discontinu. In een cyclus worden beurtelings de beide gistingstanks én de slibvoorraadtank ingeblazen.

De gasmenginstallatie is voorzien van twee waterafscheiders die staan opgesteld in de kelder van het gasmengcompressorgebouw. Deze waterafscheiders zijn uitgevoerd met een niveauschakelaar. Bij aanspreken van een niveauschakelaar wordt de op dat moment in bedrijf zijnde gasmengcompressor automatisch gestopt.

IJZERCHLORIDE DOSERING

Het zwavelwaterstofgehalte in het gistingsgas kan zo hoog zijn, dat toepassing van dit gas in de gasmotoren niet verantwoord is. Om het H₂S-gehalte te verlagen wordt ijzerchloride gedoseerd.

De doseerinstallatie bestaat uit een ijzerchloridetank (inhoud 20.000 liter) en een doseerpompinstallatie opgebouwd uit twee identieke pompen.

SLIBVOORRAADTANK

Om weekend- en feestdagen alsmede stagnatie van de slibontwatering te kunnen overbruggen is er een slibvoorraadtank met een inhoud 1500 m³. Het overstortende uitgegiste slib vanuit de gistingstanks loopt naar deze slibvoorraadtank.

De slibvoorraadtank is gasdicht uitgevoerd. Doordat het gascompartiment van deze tank in verbinding staat met de gascompartimenten van de slibgistingstanks wordt ook het in de slibvoorraadtank vrijkomende biogas afgevoerd naar de gashouders. Fluctuaties in de slibspiegel worden gevolgd door suppletie of verdringing van biogas.

CONDENSWATERAFVOER

Naast de twee genoemde waterafscheiders in het gasmengcompressorgebouw kan nog op vier andere plaatsen condens worden afgetapt, te weten:

- via de watersloten in de condensvaten, die in de toe-/afvoerleiding van beide gashouders zijn opgenomen (via overdruk);
- via een waterslot in toe-/afvoerleiding van de slibvoorraadtank (via overdruk);
- een handbediende condens-aftap in de toevoerleiding naar generator 1.

De condensputten van de gashouders en de slibvoorraadtank liggen beneden maaiveld en worden regelmatig handmatig worden leeggepompt.

GASHOUDERS EN WKK INSTALLATIE EN FLAIR

Het geproduceerde biogas wordt opgevangen in twee gashouders met een netto inhoud van 650 m³ per stuk. Vanuit de gashouders worden twee gasmotoren gevoed met maximaal 275 m³/h voor de productie van elektriciteit (geïnstalleerd vermogen: 600 kWh_e) en warmte (800 kWh_t).

BIJLAGE II

UITGANGSPUNTEN WARMTE- EN ENERGIEBALANS

De warmtebalans is als volgt samengevat in formulevorm:

$$Q_{\text{beschikbaar uit wkk}} + Q_{\text{cv-ketel}} = (Q_{\text{slibopwarming}} - Q_{\text{terugwinning}}) + Q_{\text{verliezen (wand, dak en bodem)}} + Q_{\text{rest}} \text{ [kW]}$$

Tabel II.1 en II.2 presenteren de uitgangspunten en kengetallen die gehanteerd zijn in de berekening van de afzonderlijke warmtestromen.

TABEL II.1 UITGANGSPUNTEN EN REKENWAARDEN WARMTE- EN ENERGIEBALANS

uitgangspunt	eenheid	waarde
Rendement (bestaande) cv-installatie	%	95
E-Rendement WKK	%	34
W- Rendement WKK	%	46
Omrekeningsfactor Mj->kW	-	0,278
Methaan gehalte biogas	%	65
Calorische waarde biogas	MJ/m ³	23
Warmte doorgangscoefficiënt wand	W/m ² .K	0,4
Warmte doorgangscoefficiënt dak	W/m ² .K	0,4
Warmte doorgangscoefficiënt bodem	W/m ² .K	0,3
Soortelijke massa slib	kg/m ³	1.000
Warmtecapaciteit slib	kJ/kg.K	4,2
Warmteterugwinning	%	60

TABEL II.2 MAANDGEMIDDELTE TEMPERATUUR VAN OMGEVING, GROND EN SLIB EN HET VERLOOP VAN DE BIOGASPRODUCTIE

	temperaturen (oC)			factor biogasproductie
	Omgeving	Grond	Slib	
Januari	5,0	6,0	10,0	1,0
Februari	8,0	10,0	11,0	1,0
Maart	11,0	11,0	12,0	1,0
April	13,0	15,0	14,0	1,1
Mei	15,0	16,0	16,0	1,1
Juni	18,0	17,0	17,0	1,1
Juli	20,0	18,0	18,0	0,9
Augustus	19,0	17,0	19,0	0,9
September	16,0	16,0	18,0	0,9
Oktober	14,0	16,0	17,0	0,9
November	10,0	10,0	15,0	1,1
December	6,0	8,0	13,0	1,0

BIJAGE III

KOSTENBEREKENING SCHAALGROOTTE

150.000 I.E.

rwzi 150.000 i.e. - basis

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,125
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten aanvoer extern slib (o.b.v. gem. 30 km)	EUR/m ³	1,75
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% van bouwkosten	2,00
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit M		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	4.342	4.342	4.342	4.342
aanvoer SS (kg/d)	4.378	4.378	4.378	4.378
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	11.111	9.703
totaal aanvoer (kg/d)	8.720	8.720	19.830	18.422
biogasproductie (Nm ³ /d)	1.905	2.156	3.973	4.444
% ds slibkoek	21,6%	21,6%	21,6%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	30	29	69	46
reductie afzet externslib		1	13	29
a.g.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

	0	1	2	3
Bouwkosten				
extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			300.000	300.000
aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		100.000	150.000	150.000
thermische slibontsluiting		-	-	1.420.000
WKK		-	-	4.000
coorzieningen ontvangst extern slib			200.000	200.000
deelstroombehandeling		67.000	412.000	479.000
totaal bouwkosten		167.000	1.062.000	2.553.000
investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		250.500	1.593.000	3.829.500

Berekening jaarlijkse eenheden

	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+	
energieproductie van bestaande WKK (kWh _e)	kWh/jaar	1.509.187	1.708.726	3.156.100	3.488.589
	kWh/jaar		0	0	32.644
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK	kWe		0	0	4
ontwaterd slib	ton/jaar	11.056	10.584	25.257	16.785
polymeerverbruik ¹	kg/jaar	18.668	18.148	19.307	17.628
extra inzet personeel	fte	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	kg N/j	0	4.471	36.802	53.337

1) polymeerverbruik daalt voor de varianten als gevolg van extra afbraak van ds

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra voorindik- en ontwateringsapparatuur	EUR/jaar	-	-	43.000	43.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	14.000	21.000	21.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	202.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	-
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	11.000	11.000
kapitaalslasten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	9.000	55.000	64.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	4.000	28.000	32.000
polymeerdosering	EUR/jaar	65.000	64.000	68.000	62.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	28.400
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	48.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	67.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	65.000	91.000	231.000	596.400
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)	EUR/jaar	65.000	68.000	101.000	255.400
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	189.000	214.000	395.000	440.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	14.000	137.000	320.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	189.000	228.000	532.000	760.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	124.000	160.000	431.000	504.600
Besparing t.o.v. mesofiel			36.000	307.000	380.600
Terugverdientijd	jaar		7,0	5,2	10,1

BIJLAGE IV

KOSTENBEREKENING SCHAALGROOTTE

490.000 I.E.

rwzi 490.000 i.e. - basis

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde	
energiekosten	EUR/kWh	0,125	
aargasprijs	EUR/m ³	0,5	
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5	
kosten aanvoer extern slib (o.b.v. gem. 30 km)	EUR/m ³	1,75	
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30	
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4	
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6	
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% bouwkosten TSO	2	
personeel	EUR/fte	45.000	
reële rente	%	4,75%	
afschrijving C	jaar	40	
annuïteit C		0,0563	
afschrijving M	jaar	15	
annuïteit W		0,0947	0,089
afschrijving E	jaar	15	
annuïteit E		0,0947	
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5	

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	13.025	13.025	13.025	13.025
aanvoer SS (kg/d)	13.134	13.134	13.134	13.134
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	33.332	29.108
totaal aanvoer (kg/d)	26.159	26.159	59.491	55.267
biogasproductie	5.714	6.469	11.919	13.331
% ds slibkoek	21,6%	21,6%	21,6%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	91	87	208	138
reductie afzet externslib		4	38	88
a.g.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

	0	1	2	3
Bouwkosten				
extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			600.000	600.000
aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		250.000	400.000	400.000
thermische slibontsluiting (TurboTec)		-	-	2.840.000
WKK		-	-	13.000
voorzieningen ontvangst extern slib			400.000	400.000
deelstroombehandeling		165.000	824.000	996.000
totaal bouwkosten		415.000	2.224.000	5.249.000
investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		622.500	3.336.000	7.873.500

Berekening jaarlijkse eenheden

	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
energieproductie van bestaande WKK (kWh _e)	4.527.562	5.126.178	9.468.300	10.465.767
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _e)		0	0	97.932
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK		0	0	11
ontwaterd slib	33.169	31.753	75.772	50.355
polymeerverbruik ¹	56.004	54.443	57.920	52.884
extra inzet personeel	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	0	13.414	110.405	160.012

1) polymeerverbruik daalt voor de varianten als gevolg van extra afbraak van ds

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra indik- en ontwateringscapaciteit	EUR/jaar		-	85.000	85.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	36.000	57.000	57.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	404.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	1.000
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	23.000	23.000
kapitaalslasten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	22.000	110.000	133.000
deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	11.000	55.000	67.000
polymeerdosering	EUR/jaar	196.000	191.000	203.000	185.000
extra personeel	EUR/jaar		-	5.000	18.000
onderhoud thermische slibontsluiting					56.800
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar		-	-	32.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	200.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	196.000	260.000	538.000	1.261.800
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)		196.000	202.000	263.000	558.800
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	566.000	641.000	1.184.000	1.320.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	43.000	412.000	960.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	566.000	684.000	1.596.000	2.280.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	370.000	482.000	1.333.000	1.721.200
Besparing t.o.v. mesofiel			112.000	963.000	1.351.200
Terugverdientijd	jaar		5,6	3,5	5,8

BIJLAGE V

RESULTATEN WARMTE- EN ENERGIEBALANS

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 150.000 i.e. mesofiel

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens slibgisting (zie tabblad "Slibgisting"):

Aantal tanks	2	Warme biogas:	
Tank hoogte	10,4 [m]	- Totaal beschikbaar	695.147 [m3/jaar]
Tank diameter	14,9 [m]	- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas	4.441.220 [kW/jaar]
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	1.322 [m2]	- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas	15.988.392 [MJ/jaar]
Oppervlakte bodem	349 [m2]	- Aantal dagen	16,0 [TJ/jaar]
Warme doorgangscoefficient wand	0,4 [W/m2.K]	- Jaargemiddelde per dag	365 [dagen/jaar]
Warme doorgangscoefficient dak	0,4 [W/m2.K]	- Calorische waarde biogas	12.168 [kW/dag]
Warme doorgangscoefficient bodem	0,3 [W/m2.K]	- Calorische waarde biogas	0,04 [TJ/dag]
Temperatuur slibgistingstank	32 [°C]	- Calorische waarde biogas	6,39 [kW/m3]
Soortelijke massa slib	1.000 [kg/m3]		23,0 MJ/m3
Warmtecapaciteit slib	4,2 [kJ/kg.K]		
Slibcapaciteit	0,0018 [m3/s]		
WKK -installatie	46% [%]		

Warmtemodel

	Temperaturen [°C]		Warmtebehoefte [kw]			Energiebalans [kWh/mnd]						
	Buiten	Grond	Slib	Slib voorverwarming	Wand+ dak	Bodem	Totaal	Dagen	maandfactor conform opgave WBD	Energie benodigd voor opwarming	Beschikbare energie uit biogas	Restenergie
			a	b	c	d			e	f	g	h
Januari	5,0	6,0	164	0	14	3	181	31	1	292.781	377.199	84.419
Februari	8,0	10,0	157	0	13	2	172	28	1	250.626	340.696	90.070
Maart	11,0	11,0	149	0	11	2	162	31	1	262.685	377.199	114.515
April	13,0	15,0	134	0	10	2	146	30	1,1	228.562	401.535	172.973
Mei	15,0	16,0	119	0	9	2	130	31	1,1	210.184	414.919	204.736
Juni	18,0	17,0	112	0	7	2	121	30	1,1	189.087	401.535	212.448
Juli	20,0	18,0	104	0	6	1	112	31	0,9	181.451	339.480	158.029
Augustus	19,0	17,0	97	0	7	2	105	31	0,9	170.417	339.480	169.062
September	16,0	16,0	104	0	8	2	115	30	0,9	179.237	328.529	149.292
Oktober	14,0	16,0	112	0	10	2	123	31	0,9	198.981	339.480	140.499
November	10,0	10,0	127	0	12	2	141	30	1,1	220.195	401.535	181.340
December	6,0	8,0	142	0	14	3	158	31	1	255.412	377.199	121.788
										2.639.616	4.438.786	1.799.170 kWh/jaar
										9,50	16,0	6,5 Tj/jaar

Verklaring bij verwijzing van items a t/m h:

- a Warmtebehoefte voor het opwarmen van slib met temperatuur x naar de gewenste temperatuur. Berekend o.b.v. debiet, soortelijke massa en warmtecapaciteit van slib.
- b Reductie (-) van de warmtebehoefte voor het opwarmen van slib als gevolg van toepassen van een slib-slib warmte-wisselaars. Berekend o.b.v. een percentage van de warmtebehoefte.
- c Warmtebehoefte voor het compenseren van warmteverliezen via dak en wand van de slibgistinginstallatie. Berekend o.b.v. de specifieke warmte-doorgangscoefficient en het specifieke oppervlak.
- d Warmtebehoefte voor het compenseren van warmteverliezen via de bodem van de slibgistinginstallatie. Berekend o.b.v. de specifieke warmte-doorgangscoefficient en het specifieke oppervlak.
- e Toegepaste factor voor berekening van de gemiddelde biogasproductie in maand x ten opzichte van de jaargemiddelde biogasproductie in m3/d.
- f Benodigde energie voor opwarming en op temperatuur houden van de slibgisting (kWh/mnd). Berekend o.b.v. de totale warmtebehoefte (kW), de maandfactor en het warmterendement van de WKK - installatie.
- g Beschikbare energie uit biogasproductie (kWh/mnd). Berekend o.b.v. de biogasproductie (m3/jr.) en de calorische waarde van biogas (kW/m3).
- h Berekend als het verschil tussen energie productie en energiebehoefte. Bij een negatieve waarde is er sprake van energietekort voor opwarming en dient een externe energiebron (aardgas) aangesproken te worden.

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 150.000 i.e. thermofiel

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens slibgisting (zie tabblad "Slibgisting"):

Aantal tanks	2												
Tank hoogte	10,4	[m]											
Tank diameter	14,9	[m]											
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	1.322	[m ²]											
Oppervlakte bodem	349	[m ²]											
Warmte doorgangscoefficient wand + dak	0,4	[W/m ² .K]											
Warmte doorgangscoefficient bodem	0,3	[W/m ² .K]											
Temperatuur slibgistingstank	55	[°C]											
Soortelijke massa slib	1.000	[kg/m ³]											
Warmtecapaciteit slib	4,2	[kJ/kg.K]											
Slibcapaciteit	0,0018	[m ³ /s]											
Rendement WKK-installatie	46%	[%]											

Warmte biogas:

- Totaal beschikbaar	787.057	[m ³ /jaar]											
- Jaargemiddeld beschikbaar energie biogas	5.028.420	[kW/jaar]											
- Jaargemiddeld beschikbaar energie biogas	18.102.314	[MJ/jaar]											
	18,1	[T J/jaar]											
- Aantal dagen	365	[dagen/jaar]											
- Jaargemiddelde per dag	13.776	[kW/dag]											
	0,05	[T J/dag]											
	6,4	[kW/m ³]											
	23,0	MJ/m ³											
	60%	% van slibverwarming											

Warmtemodel

Temperaturen [°C]	
Buiten	Slib

Januari	5,0	4,0	12,0
Februari	8,0	8,0	12,0
Maart	10,0	12,0	17,0
April	12,0	12,0	17,0
Mei	14,0	12,0	17,0
Juni	18,0	18,0	22,0
Juli	18,0	18,0	22,0
Augustus	18,0	18,0	22,0
September	14,0	14,0	17,0
Oktober	12,0	12,0	17,0
November	10,0	10,0	17,0
December	6,0	4,0	12,0

Warmebehoefte [kw]		
Slib	Wand+ verwarming	Bodem dak

321	192-	26	5	5	160
321	192-	25	5	5	158
283	170-	24	4	4	142
283	170-	23	4	4	141
283	170-	22	4	4	140
246	148-	20	4	4	122
246	148-	20	4	4	122
246	148-	20	4	4	122
283	170-	22	4	4	139
283	170-	23	4	4	141
283	170-	24	5	5	142
321	192-	26	5	5	159

Energiebalans [kW/mnd]		
Energie benodigd	Beschikbare energie	Restenergie

1	258.808	427.071	168.263
1	230.833	385.742	154.909
1	229.060	427.071	198.011
1,1	220.015	454.624	234.609
1,1	225.638	469.778	244.140
1,1	190.727	454.624	263.898
0,9	197.084	384.364	187.280
0,9	197.084	384.364	187.280
0,9	218.032	371.965	153.933
0,9	227.349	384.364	157.015
1,1	221.999	454.624	232.626
1,1	257.953	427.071	169.119
1	2.674.582	5.025.665	2.351.084
1	9,63	18,1	8,5

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 150.000 i.e. thermofiel+

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens slibgisting (zie tabblad "Slibgisting"):

Aantal tanks	2		
Tank hoogte	10,4 [m]	1.450.132 [m ³ /jaar]	
Tank diameter	14,9 [m]	9.264.734 [kW/jaar]	
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	1.322 [m ²]	33.353.041 [MJ/jaar]	
Oppervlakte bodem	349 [m ²]	33,4 [TJ/jaar]	
Warme doorgangscoefficient wand	0,4 [W/m ² .K]	365 [dagen/jaar]	
Warme doorgangscoefficient dak	0,4 [W/m ² .K]	25.383 [kW/dag]	
Warme doorgangscoefficient bodem	0,3 [W/m ² .K]	0,09 [TJ/dag]	
Temperatuur slibgistingstank	55 [°C]	6,39 [kW/m ³]	
Soortelijke massa slib	1.000 [kg/m ³]	23,0 MJ/m ³	
Warmtecapaciteit slib	4,2 [kJ/kg.K]	60% van slibverwarming	
WKK - installatie	0,0035 [m ³ /s]		
	46% [%]		

Warmtemodel

Temperaturen [°C]

	Buiten	Grond	Slib
Januari	5,0	6,0	10,0
Februari	8,0	10,0	11,0
Maart	11,0	11,0	12,0
April	13,0	15,0	14,0
Mei	15,0	16,0	16,0
Juni	18,0	17,0	17,0
Juli	20,0	18,0	18,0
Augustus	19,0	17,0	19,0
September	16,0	16,0	18,0
Oktober	14,0	16,0	17,0
November	10,0	10,0	15,0
December	6,0	8,0	13,0

Warmtebehoefte [kw]

	Slib	Slib voor verwarming	Wand+ dak	Bodem	Gebouw	Totaal	Dagen	maandfactor conform opgegeven WBD
Januari	660	-396	26	5	-	296	31	1
Februari	645	-387	25	5	-	288	28	1
Maart	631	-378	23	5	-	280	31	1
April	601	-361	22	4	-	267	30	1,1
Mei	572	-343	21	4	-	254	31	1,1
Juni	557	-334	20	4	-	246	30	1,1
Juli	543	-326	19	4	-	239	31	0,9
Augustus	528	-317	19	4	-	234	31	0,9
September	543	-326	21	4	-	242	30	0,9
Oktober	557	-334	22	4	-	249	31	0,9
November	587	-352	24	5	-	263	30	1,1
December	616	-370	26	5	-	277	31	1

Energiebalans [kW/mnd]

	Energie voor opwarming	Beschikbare energie uit biogas	Restenergie
Januari	477.991	786.868	308.877
Februari	420.235	710.719	290.484
Maart	453.038	786.868	333.830
April	417.750	837.633	419.883
Mei	410.821	865.555	454.734
Juni	385.740	837.633	451.894
Juli	387.230	708.181	320.951
Augustus	378.768	708.181	329.413
September	378.378	685.336	306.958
Oktober	402.189	708.181	305.992
November	411.872	837.633	425.762
December	448.336	786.868	338.532
Totaal	4.972.348	9.259.657	4.287.309
	17,90	33,3	15,4

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 150.000 i.e. TSO/thermofiel+

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens silbisting (zie tabblad "Silbisting"):

Aantal tanks	2
Tank hoogte	10,4 [m]
Tank diameter	14,9 [m]
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	1.322 [m ²]
Oppervlakte bodem	349 [m ²]
Warme doorgangscoefficient wand + dak	0,4 [W/m ² .K]
Warme doorgangscoefficient bodem	0,3 [W/m ² .K]
Temperatuur silbistingstank	55 [°C]
Soortelijke massa silb	1.000 [kg/m ³]
Warmtecapaciteit silb	4,2 [kJ/kg.K]
Silbcapaciteit	0,0035 [m ³ /s]
Rendement WKK-installatie	46% [%]
vermogen stoomopwekking	590 kW
biogasverbruik stoomopwekking	180 m ³ /h

Warmtemodel

Warme biogas:

- Totaal beschikbaar
- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas
- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas
- Aantal dagen
- Jaargemiddelde per dag
- Calorische waarde biogas
- Calorische waarde biogas
- Warmterugwinning

1.621.917	[m ³ /jaar]
10.362.245	[kW/jaar]
37.304.082	[MJ/jaar]
37,3	[TJ/jaar]
365	[dagen/jaar]
28.390	[kW/dag]
0,10	[TJ/dag]
6,4	[kW/m ³]
23,0	[MJ/m ³]
60%	% van warmtebehoefte silbopwarming

	Temperaturen [°C]	
	Buiten	Grond
Januari	5,0	4,0
Februari	8,0	8,0
Maart	10,0	12,0
April	12,0	17,0
Mei	14,0	17,0
Juni	18,0	18,0
Juli	18,0	18,0
Augustus	18,0	18,0
September	14,0	17,0
Oktober	12,0	17,0
November	10,0	10,0
December	6,0	4,0

	Warmtebehoefte [kw]			Totaal
	Silb	Wand+ dak	Bodem	
Januari	631	26	5	874
Februari	631	25	5	872
Maart	557	24	4	841
April	557	23	4	840
Mei	557	22	4	839
Juni	484	20	4	807
Juli	484	20	4	807
Augustus	484	20	4	807
September	557	22	4	839
Oktober	557	23	4	840
November	557	24	5	841
December	631	26	5	873

	Energiebalans [kW/mmd]		Restenergie
	Energie benodigd voor opwarming	Beschikbare energie uit biogas	
Januari	1.413.616	880.081	533.535-
Februari	1.273.885	794.912	478.973-
Maart	1.360.549	880.081	480.468-
April	1.315.004	936.861	378.144-
Mei	1.357.127	968.089	389.038-
Juni	1.263.148	936.861	326.288-
Juli	1.305.253	792.073	513.180-
Augustus	1.305.253	792.073	513.180-
September	1.313.021	766.522	546.499-
Oktober	1.358.838	792.073	566.765-
November	1.316.988	936.861	380.127-
December	1.412.761	880.081	532.680-
15.995.443	10.356.567	5.638.876-	kWh/jaar
57,58	37,3	20,3-	TJ/jaar

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 490.000 i.e. mesofiel

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens silbisting (zie tabblad "Silbisting"):

Aantal tanks	15,0	[m]	2
Tank hoogte	21,5	[m]	
Tank diameter	2,752	[m2]	
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	726	[m2]	
Oppervlakte bodem	0,4	[W/m2.K]	
Warmte doorgangcoëfficiënt wand	0,4	[W/m2.K]	
Warmte doorgangcoëfficiënt dak	0,3	[W/m2.K]	
Warmte doorgangcoëfficiënt bodem	32	[°C]	
Temperatuur silbistingstank	1.000	[kg/m3]	
Soortelijke massa silb	4,2	[kJ/kg.K]	
Warmtecapaciteit silb	0,0053	[m3/s]	
WKK- installatie	46%	[%]	

Warme biogas:

- Totaal beschikbaar	2.065.442	[m3/jaar]
- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas	13.323.660	[kW/jaar]
- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas	47.965.175	[MJ/jaar]
	48,0	[Tj/jaar]
- Aantal dagen	365	[dagen/jaar]
- Jaargemiddelde per dag	36.503	[kW/dag]
	0,13	[Tj/dag]
- Calorische waarde biogas	6,39	[kW/m3]
- Calorische waarde biogas	23,0	[MJ/m3]

Warmtemodel

	Temperaturen [°C]		Silb
	Buiten	Grond	
Januari	5,0	6,0	10,0
Februari	8,0	10,0	11,0
Maart	11,0	11,0	12,0
April	13,0	15,0	14,0
Mei	15,0	16,0	16,0
Juni	18,0	17,0	17,0
Juli	20,0	18,0	18,0
Augustus	19,0	17,0	19,0
September	16,0	16,0	18,0
Oktober	14,0	16,0	17,0
November	10,0	10,0	15,0
December	6,0	8,0	13,0

	Warmtebehoefte [kw]			Dagen	Totaal
	Silb verwarming	Wand+ dak	Bodem		
	a	b	c	d	e
Verwijzing:	492	0	30	6	527
Januari	470	0	26	5	501
Februari	447	0	23	5	475
Maart	403	0	21	4	427
April	358	0	19	3	380
Mei	335	0	15	3	354
Juni	313	0	13	3	329
Juli	291	0	14	3	308
Augustus	313	0	18	3	334
September	335	0	20	3	359
Oktober	380	0	24	5	409
November	425	0	29	5	459
December					

	Energiebalans [kWh/mmd]			Restenergie
	Energie benodigd voor opwarming	Beschikbare energie uit biogas	Energie benodigd voor opwarming	
	e	f	g	h
Verwijzing:	853.085	1.131.598		278.513
Januari	1	1.022.089		290.332
Februari	1	1.131.598		363.309
Maart	1	1.204.605		535.925
April	1,1	1.244.758		630.052
Mei	1,1	1.204.605		650.247
Juni	1,1	1.018.439		485.690
Juli	0,9	1.018.439		519.732
Augustus	0,9	985.586		462.448
September	0,9	1.018.439		438.127
Oktober	1,1	1.204.605		564.058
November	1,1	1.131.598		389.523
December	1	742.075		5.607.956
Totaal	7.708.403	13.316.359	47,9	20,2
			27,75	Tj/jaar

Verklaring bij verwijzing van items a t/m h:

- a Warmtebehoefte voor het opwarmen van silb met temperatuur x naar de gewenste temperatuur. Berekend o.b.v. debiet, soortelijke massa en warmtecapaciteit van silb.
- b Reductie (-) van de warmtebehoefte voor het opwarmen van silb als gevolg van toepassen van een silb-silb warmtewisselaars. Berekend o.b.v. een percentage van de warmtebehoefte.
- c Warmtebehoefte voor het compenseren van warmteverliezen via dak en wand van de silbistinginstallatie. Berekend o.b.v. de specifieke warmte doorgangcoëfficiënt en het specifieke oppervlak.
- d Warmtebehoefte voor het compenseren van warmteverliezen via de bodem van de silbistinginstallatie. Berekend o.b.v. de specifieke warmte doorgangcoëfficiënt en het specifieke oppervlak.
- e Toegepaste factor voor berekening van de gemiddelde biogasproductie in maand x ten opzichte van de jaargemiddelde biogasproductie in m3/d.
- f Benodigde energie voor opwarming en op temperatuur houden van de silbisting (kWh/mmd). Berekend o.b.v. de totale warmtebehoefte (kW), de maandfactor en het warmerendement van de WKK- installatie.
- g Beschikbare energie uit biogasproductie (kWh/mmd). Berekend o.b.v. de biogasproductie (m3/jr.) en de calorische waarde van biogas (kW/m3).
- h Berekend als het verschil tussen energie productie en energiebehoefte. Bij een negatieve waarde is er sprake van energiebron (aardgas) aangesproken te worden.

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 490.000 i.e. thermofiel

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens slibgisting (zie tabblad "Slibgisting"):

Aantal tanks	2					
Tank hoogte	15,0 [m]					
Tank diameter	21,5 [m]					
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	2.752 [m ²]					
Oppervlakte bodem	726 [m ²]					
Warmte doorgangscoefficient wand + dak	0,4 [W/m ² .K]					
Warmte doorgangscoefficient bodem	0,3 [W/m ² .K]					
Temperatuur slibgistingstank	55 [°C]					
Soortelijke massa slib	1.000 [kg/m ³]					
Warmtecapaciteit slib	4,2 [kJ/kg.K]					
Slibcapaciteit	0,0053 [m ³ /s]					
Rendement WKK-installatie	46%					

Warmte biogas:

- Totaal beschikbaar	2.361.171 [m ³ /jaar]	
- Jaargemiddeld beschikbaar energie biogas	15.085.261 [kW/jaar]	
- Jaargemiddeld beschikbaar energie biogas	54.306.941 [MJ/jaar]	
	54,3 [T J/jaar]	
- Aantal dagen	365 [dagen/jaar]	
- Jaargemiddelde per dag	41.329 [kW/dag]	
	0,15 [T J/dag]	
- Calorische waarde biogas	6,4 [kW/m ³]	
- Calorische waarde biogas warmterugwinning	23,0 MJ/m ³	
	60% % van slibverwarming	

Warmtemodel

Temperaturen [°C]

	Buiten	Grond	Slib
Januari	5,0	4,0	12,0
Februari	8,0	8,0	12,0
Maart	10,0	12,0	17,0
April	12,0	12,0	17,0
Mei	14,0	12,0	17,0
Juni	18,0	18,0	22,0
Juli	18,0	18,0	22,0
Augustus	18,0	18,0	22,0
September	14,0	14,0	17,0
Oktober	12,0	12,0	17,0
November	10,0	10,0	17,0
December	6,0	4,0	12,0

Warmtebehoefte [kw]

Slib	Slib voorverwarming	Wand+ dak	Bodem	Gebouw	Totaal	Dagen	maandfactor conform opgave WBD
962	577-	55	11	-	451	31	1
962	577-	52	10	-	447	28	1
850	510-	50	9	-	399	31	1
850	510-	47	9	-	397	30	1,1
850	510-	45	9	-	394	31	1,1
738	443-	41	8	-	344	30	1,1
738	443-	41	8	-	344	31	0,9
738	443-	41	8	-	344	31	0,9
850	510-	45	9	-	394	30	0,9
850	510-	47	9	-	397	31	0,9
850	510-	50	10	-	399	30	1,1
962	577-	54	11	-	450	31	1

Energiebalans [kW/mnd]

Energie benodigd voor opwarming uit biogas	Beschikbare energie	Restenergie
729.210	1.281.214	552.004
652.543	1.157.226	504.682
645.138	1.281.214	636.076
620.881	1.363.873	742.992
638.016	1.409.395	771.320
538.480	1.363.873	825.393
556.429	1.153.093	596.663
556.429	1.153.093	596.663
616.753	1.115.896	499.143
641.577	1.153.093	511.516
625.009	1.363.873	738.864
727.429	1.281.214	553.785
7.547.896	15.076.996	7.529.100
27,17	54,3	27,1
		kWh/jaar
		TJ/jaar

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 490.000 i.e. thermofiel+

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens slibgisting (zie tabblad "Slibgisting"):

Aantal tanks	2
Tank hoogte	15,0 [m]
Tank diameter	21,5 [m]
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	2.752 [m ²]
Oppervlakte bodem	726 [m ²]
Warmte doorgangscoefficient wand	0,4 [W/m ² .K]
Warmte doorgangscoefficient dak	0,4 [W/m ² .K]
Warmte doorgangscoefficient bodem	0,3 [W/m ² .K]
Temperatuur slibgistingstank	55 [°C]
Soortelijke massa slib	1,000 [kg/m ³]
Warmtecapaciteit slib	4,2 [kJ/kg.K]
WKK - installatie	0,0105 [m ³ /s]
	46% [%]

Warmte biogas:

- Totaal beschikbaar	4.350.397 [m ³ /jaar]
- Jaargemiddeld beschikbaar energie biogas	27.794.201 [kW/jaar]
- Jaargemiddeld beschikbaar energie biogas	100.059.123 [MJ/jaar]
	100,1 [TJ/jaar]
- Aantal dagen	365 [dagen/jaar]
- Jaargemiddelde per dag	76.148 [kW/dag]
	0,27 [TJ/dag]
- Calorische waarde biogas	6,39 [kW/m ³]
- Calorische waarde biogas	23,0 [MJ/m ³]
warmterugwinning	60% van slibverwarming

Warmtemodel

Temperaturen [°C]

	Buiten	Grond	Slib
Januari	5,0	6,0	10,0
Februari	8,0	10,0	11,0
Maart	11,0	11,0	12,0
April	13,0	15,0	14,0
Mei	15,0	16,0	16,0
Juni	18,0	17,0	17,0
Juli	20,0	18,0	18,0
Augustus	19,0	17,0	19,0
September	16,0	16,0	18,0
Oktober	14,0	16,0	17,0
November	10,0	10,0	15,0
December	6,0	8,0	13,0

Warmtebehoefte [kw]

Slib	Slib voor verwarming	Wand+ dak	Bodem	Gebouw	Totaal	Dagen	maandfactor conform opgegeven WBD
1.980	-1188	55	11	-	858	31	1
1.936	-1161	52	10	-	836	28	1
1.892	-1135	48	10	-	815	31	1
1.804	-1082	46	9	-	776	30	1,1
1.716	-1029	44	8	-	739	31	1,1
1.672	-1003	41	8	-	718	30	1,1
1.628	-977	39	8	-	698	31	0,9
1.584	-950	40	8	-	681	31	0,9
1.628	-977	43	8	-	703	30	0,9
1.672	-1003	45	8	-	722	31	0,9
1.760	-1056	50	10	-	763	30	1,1
1.848	-1109	54	10	-	803	31	1

Energiebalans [kW/mnd]

	Energie voor opwarming	Beschikbare energie uit biogas	Restenergie
	1.387.070	2.360.603	973.533
	1.221.032	2.132.158	911.125
	1.317.701	2.360.603	1.042.902
	1.215.298	2.512.900	1.297.603
	1.194.971	2.596.664	1.401.693
	1.123.369	2.512.900	1.389.531
	1.128.439	2.124.543	996.104
	1.102.111	2.124.543	1.022.432
	1.099.613	2.056.009	956.396
	1.168.290	2.124.543	956.253
	1.194.629	2.512.900	1.318.272
	1.299.200	2.360.603	1.061.403
14.451.722	27.778.971	13.327.249	14.451.722
	52,0	100,0	48,0
			kWh/jaar
			TJ/jaar

WARMTE- EN ENERGIEBALANS schaalgrootte 490.000 i.e. TSO/thermofiel+

UITGANGSPUNTEN

Basisgegevens silbisting (zie tabblad "Silbisting"):

Aantal tanks	2
Tank hoogte	15,0 [m]
Tank diameter	21,5 [m]
Buitenoppervlak tank (dak + wand)	2.752 [m ²]
Oppervlakte bodem	726 [m ²]
Warme doorgangscoefficient wand + dak	0,4 [W/m ² .K]
Warme doorgangscoefficient bodem	0,3 [W/m ² .K]
Temperatuur silbistingstank	55 [°C]
Soortelijke massa silb	1.000 [kg/m ³]
Warmtecapaciteit silb	4,2 [kJ/kg.K]
Silbcapaciteit	0,0105 [m ³ /s]
Rendement WKK-installatie	46% [%]
vermogen stoomopwekking	1767 kW
biogasverbruik stoomopwekking	180 m ³ /h

Warmtemodel

Warme biogas:

- Totaal beschikbaar
- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas
- Jaargemiddeld beschikbare energie biogas
- Aantal dagen
- Jaargemiddelde per dag
- Calorische waarde biogas
- Calorische waarde biogas
- Warmterugwinning

4.865.750	[m ³ /jaar]
31.086.735	[kW/jaar]
111.912.246	[MJ/jaar]
111,9	[TJ/jaar]
365	[dagen/jaar]
85.169	[kW/dag]
0,31	[TJ/dag]
6,4	[kW/m ³]
23,0	[MJ/m ³]
60% %	van warmtebehoefte silbopwarming

	Temperaturen [°C]		Silb
	Buiten	Grond	
Januari	5,0	4,0	12,0
Februari	8,0	8,0	12,0
Maart	10,0	12,0	17,0
April	12,0	12,0	17,0
Mei	14,0	12,0	17,0
Juni	18,0	18,0	22,0
Juli	18,0	18,0	22,0
Augustus	18,0	18,0	22,0
September	14,0	14,0	17,0
Oktober	12,0	12,0	17,0
November	10,0	10,0	17,0
December	6,0	4,0	12,0

	Warmtebehoefte [kW]			Totaal	Dagen maandfactor conform opgave WBD	Beschikbare energie	Restenergie
	Silb wekking	stoomop voorverwar ming	Wand+ Bodem dak				
Januari	1.892	1.767	1.135	2.590	31	4.188.782	1.548.539
Februari	1.892	1.767	1.135	2.586	28	3.777.318	1.392.582
Maart	1.672	1.767	1.003	2.495	31	4.034.752	1.394.509
April	1.672	1.767	1.003	2.492	30	3.901.152	1.090.571
Mei	1.672	1.767	1.003	2.490	31	4.027.629	1.123.362
Juni	1.452	1.767	871	2.397	30	3.751.050	940.468
Juli	1.452	1.767	871	2.397	31	3.876.085	1.499.866
Augustus	1.452	1.767	871	2.397	31	3.876.085	1.499.866
September	1.672	1.767	1.003	2.490	30	3.897.024	1.597.457
Oktober	1.672	1.767	1.003	2.492	31	4.031.191	1.654.972
November	1.672	1.767	1.003	2.495	30	3.905.281	1.094.699
December	1.892	1.767	1.135	2.589	31	4.187.001	1.546.758
						47.453.350	16.383.649
						170,83	59,0
						31.069.701	111,9
							16.383.649- kWh/jaar
							59,0- TJ/jaar

BIJLAGE VI

RESULTATEN GEVOELIGHEIDSANALYSE

rwzi 150.000 i.e. - verbeterde ontwatering

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,125
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten aanvoer extern slib (o.b.v. gem. 30 km)	EUR/m ³	1,75
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% van bouwkosten	2,0
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit M		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	4.342	4.342	4.342	4.342
aanvoer SS (kg/d)	4.378	4.378	4.378	4.378
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	11.111	9.703
totaal aanvoer (kg/d)	8.720	8.720	19.830	18.422
biogasproductie	1.905	2.156	3.973	4.444
% ds slibkoek	21,6%	23,8%	23,8%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	30	26	63	46
reductie afzet externslib		4	19	29
a.o.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

Bouwkosten	0	1	2	3
Extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			300.000	300.000
Aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		100.000	150.000	150.000
Thermische slibontsluiting		-	-	1.420.000
WKK		-	-	4.000
Voorzieningen ontvangst extern slib			200.000	200.000
deelstroombehandeling		75.000	434.000	479.000
totaal bouwkosten		175.000	1.084.000	2.553.000
Investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		262.500	1.626.000	3.829.500

Berekening jaarlijkse eenheden

	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
energieproductie van bestaande WKK (kWh _a)	1.509.187	1.708.726	3.156.100	3.488.589
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _a)		0	0	32.644
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK		0	0	4
Ontwaterd slib	11.056	9.622	22.961	16.785
polymeerverbruik	18.668	18.148	19.307	17.628
extra inzet personeel	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	0	5.242	38.660	53.337

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra voorindik- en ontwateringsapparatuur	EUR/jaar	-	-	43.000	43.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	14.000	21.000	21.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	202.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	-
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	11.000	11.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	10.000	58.000	64.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	5.000	29.000	32.000
polymeerdosering	EUR/jaar	65.000	64.000	68.000	62.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	28.400
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	48.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	67.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	65.000	93.000	235.000	596.400
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)	EUR/jaar	65.000	69.000	102.000	255.400
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	189.000	214.000	395.000	440.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	43.000	206.000	320.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	189.000	257.000	601.000	760.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	124.000	188.000	499.000	504.600
Besparing t.o.v. mesofiel	EUR/jaar		64.000	375.000	380.600
Terugverdientijd	jaar		4,1	4,3	10,1

rwzi 150.000 i.e. - verhoging energiekosten

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,2
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten aanvoer extern slib (o.b.v. gem. 30 km)	EUR/m ³	1,75
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% van bouwkosten	2,0
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit W		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

	0	1	2	3
variant	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	4.342	4.342	4.342	4.342
aanvoer SS (kg/d)	4.378	4.378	4.378	4.378
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	11.111	9.703
totaal aanvoer (kg/d)	8.720	8.720	19.830	18.422
biogasproductie	1.905	2.156	3.973	4.444
% ds slibkoek	21,6%	21,6%	21,6%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	30	29	69	46
reductie afzet externslib		1	13	29
a.o.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

	0	1	2	3
Bouwkosten				
Extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			300.000	300.000
Aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		100.000	150.000	150.000
Thermische slibontsluiting		-	-	1.420.000
WKK		-	-	4.000
Voorzieningen ontvangst extern slib			200.000	200.000
deelstroombehandeling		67.000	412.000	479.000
totaal bouwkosten		167.000	762.000	2.253.000
Investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		250.500	1.143.000	3.379.500

Berekening jaarlijkse eenheden

	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+	
energieproductie van bestaande WKK (kWh _e)	kWh/jaar	1.509.187	1.708.726	3.156.100	3.488.589
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _e)	kWh/jaar		0	0	32.644
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK	kWe		0	0	4
Ontwaterd slib	ton/jaar	11.056	10.584	25.257	16.785
polymeerverbruik	kg/jaar	18.668	18.148	19.307	17.628
extra inzet personeel	fte	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	kg N/j	0	4.471	36.802	53.337

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra voorindik- en ontwateringsapparatuur	EUR/jaar	-	-	43.000	43.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	14.000	21.000	21.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	202.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	-
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	11.000	11.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	9.000	55.000	64.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	4.000	28.000	32.000
polymeerdosering	EUR/jaar	65.000	64.000	68.000	62.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	28.400
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	48.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	67.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	65.000	91.000	231.000	596.400
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)	EUR/jaar	65.000	68.000	101.000	255.400
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	302.000	342.000	631.000	704.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	14.000	137.000	320.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	302.000	356.000	768.000	1.024.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	237.000	288.000	667.000	768.600
Besparing t.o.v. mesofiel	EUR/jaar		51.000	430.000	531.600
Terugverdientijd	jaar		4,9	2,7	6,4

rwzi 150.000 i.e. - verhoging kosten voor slibafzet

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,125
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten aanvoer extern slib (o.b.v. gem. 30 km)	EUR/m ³	1,75
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% van bouwkosten	2,0
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit M		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	4.342	4.342	4.342	4.342
aanvoer SS (kg/d)	4.378	4.378	4.378	4.378
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	11.111	9.703
totaal aanvoer (kg/d)	8.720	8.720	19.830	18.422
biogasproductie	1.905	2.156	3.973	4.444
% ds slibkoek	21,6%	21,6%	21,6%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	30	29	69	46
reductie afzet externslib		1	13	29
a.o.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

Bouwkosten	0	1	2	3
Extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			300.000	300.000
Aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		100.000	150.000	150.000
Thermische slibontsluiting		-	-	1.420.000
WKK		-	-	4.000
Voorzieningen ontvangst extern slib			200.000	200.000
deelstroombehandeling		67.000	412.000	479.000
totaal bouwkosten		167.000	762.000	2.253.000
Investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		250.500	1.143.000	3.379.500

Berekening jaarlijkse eenheden

	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
energieproductie van bestaande WKK (kWh _a)	1.509.187	1.708.726	3.156.100	3.488.589
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _a)		0	0	32.644
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK		0	0	4
Ontwaterd slib	11.056	10.584	25.257	16.785
polymeerverbruik	18.668	18.148	19.307	17.628
extra inzet personeel	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	0	4.471	36.802	53.337

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra voorindik- en ontwateringsapparatuur	EUR/jaar	-	-	43.000	43.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	14.000	21.000	21.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	202.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	-
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	11.000	11.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	9.000	55.000	64.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	4.000	28.000	32.000
polymeerdosering	EUR/jaar	65.000	64.000	68.000	62.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	28.400
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	48.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	67.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	65.000	91.000	231.000	596.400
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)	EUR/jaar	65.000	68.000	101.000	255.400
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	189.000	214.000	395.000	440.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	24.000	229.000	533.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	189.000	238.000	624.000	973.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	124.000	170.000	523.000	717.600
Besparing t.o.v. mesofiel	EUR/jaar		46.000	399.000	593.600
Terugverdientijd	jaar		5,4	2,9	5,7

rwzi 490.000 i.e. - verbeterde ontwatering

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,125
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% bouwkosten TSO	2
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit W		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	13.025	13.025	13.025	13.025
aanvoer SS (kg/d)	13.134	13.134	13.134	13.134
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	33.332	29.108
totaal aanvoer (kg/d)	26.159	26.159	59.491	55.267
biogasproductie	5.714	6.469	11.919	13.331
% ds slibkoek	21,6%	23,8%	23,8%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	91	79	189	138
reductie afzet externslib		12	56	88
a.q.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

Bouwkosten				
Extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			600.000	600.000
Aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		250.000	400.000	400.000
Thermische slibontsluiting (TurboTec)		-	-	2.840.000
WKK		-	-	13.000
Voorzieningen ontvangst extern slib		-	400.000	400.000
deelstroombehandeling		195.000	869.000	996.000
totaal bouwkosten		445.000	2.269.000	5.249.000
Investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		667.500	3.403.500	7.873.500

Berekening jaarlijkse eenheden

		mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
energieproductie van bestaande WKK (kWh _e)	kWh/jaar	4.527.562	5.126.178	9.468.300	10.465.767
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _e)	kWh/jaar		0	0	97.932
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK	kWe		0	0	11
Ontwaterd slib	ton/jaar	33.169	28.866	68.884	50.355
polymeerverbruik	kg/jaar	56.004	54.443	57.920	52.884
extra inzet personeel	fte	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	kg N/j	0	15.725	115.981	160.012

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra indik- en ontwateringscapaciteit	EUR/jaar	-	-	85.000	85.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	36.000	57.000	57.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	404.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	1.000
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	23.000	23.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	26.000	116.000	133.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	13.000	58.000	67.000
polymeerdosering	EUR/jaar	196.000	191.000	203.000	185.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoud thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	56.800
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	32.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	200.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	196.000	266.000	547.000	1.261.800
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)		196.000	204.000	266.000	558.800
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	566.000	641.000	1.184.000	1.320.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	129.000	618.000	960.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	566.000	770.000	1.802.000	2.280.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	370.000	566.000	1.536.000	1.721.200
Besparing t.o.v. mesofiel	EUR/jaar		196.000	1.166.000	1.351.200
Terugverdientijd	jaar		3,4	2,9	5,8

rwzi 490.000 i.e. -verhoging kosten energie

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,2
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	30
onderhoudskosten WKK groot > 500 kW	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kW	EUR/draaiuur	6
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% bouwkosten TSO	2
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit W		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	13.025	13.025	13.025	13.025
aanvoer SS (kg/d)	13.134	13.134	13.134	13.134
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	33.332	29.108
totaal aanvoer (kg/d)	26.159	26.159	59.491	55.267
biogasproductie	5.714	6.469	11.919	13.331
% ds slibkoek	21,6%	21,6%	21,6%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	91	87	208	138
reductie afzet externslib		4	38	88
a.q.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

Bouwkosten				
Extra voorindik- en ontwateringscapaciteit			600.000	600.000
Aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting	-	250.000	400.000	400.000
Thermische slibontsluiting (TurboTec)		-	-	2.840.000
WKK		-	-	13.000
Voorzieningen ontvangst extern slib			400.000	400.000
deelstroombehandeling		165.000	824.000	996.000
totaal bouwkosten		415.000	2.224.000	5.249.000
Investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		622.500	3.336.000	7.873.500

Berekening jaarlijkse eenheden

		mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
energieproductie van bestaande WKK (kWh _e)	kWh/jaar	4.527.562	5.126.178	9.468.300	10.465.767
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _e)	kWh/jaar		0	0	97.932
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK	kWe		0	0	11
Ontwaterd slib	ton/jaar	33.169	31.753	75.772	50.355
polymeerverbruik	kg/jaar	56.004	54.443	57.920	52.884
extra inzet personeel	fte	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	kg N/j	0	13.414	110.405	160.012

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra indik- en ontwateringscapaciteit	EUR/jaar	-	-	85.000	85.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	36.000	57.000	57.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	404.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	1.000
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	23.000	23.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	22.000	110.000	133.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	11.000	55.000	67.000
polymeerdosering	EUR/jaar	196.000	191.000	203.000	185.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoud thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	56.800
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	32.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	200.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	196.000	260.000	538.000	1.261.800
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)		196.000	224.000	373.000	691.800
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	906.000	1.025.000	1.894.000	2.113.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	43.000	412.000	960.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	906.000	1.068.000	2.306.000	3.073.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	710.000	844.000	1.933.000	2.381.200
Besparing t.o.v. mesofiel	EUR/jaar		134.000	1.223.000	1.671.200
Terugverdientijd	jaar		4,6	2,7	4,7

rwzi 490.000 i.e. - verhoging kosten slibafzet

versie: 060912

Uitgangspunten kostenberekening

parameter	eenheid	waarde
energiekosten	EUR/kWh	0,125
aargasprijs	EUR/m ³	0,5
polymeerkosten	EUR/kg actief PE	3,5
kosten slibverwerking	EUR/ton ontw. slib	50
onderhoudskosten WKK groot > 500 kWe	EUR/draaiuur	4
onderhoudskosten WKK klein < 500 kWe	EUR/draaiuur	6
onderhoudskosten thermische slibontsluiting	% bouwkosten TSO	2
personeel	EUR/fte	45.000
reële rente	%	4,75%
afschrijving C	jaar	40
annuïteit C		0,0563
afschrijving M	jaar	15
annuïteit W		0,0947
afschrijving E	jaar	15
annuïteit E		0,0947
staartkostenfactor (incl. BTW en 10 % onvoorzien)	-	1,5

variant	0	1	2	3
type gisting	mesofiel	thermofiel	thermofiel	thermofiel
verblijftijd	24	24	12	12
extern slib	nee	nee	ja	ja
TSO	nee	nee	nee	ja
% drogestof in	5,7%	5,7%	6,6%	6,1%
aanvoer PS (kg/d)	13.025	13.025	13.025	13.025
aanvoer SS (kg/d)	13.134	13.134	13.134	13.134
aanvoer SS _{extern} (kg/d)	0	0	33.332	29.108
totaal aanvoer (kg/d)	26.159	26.159	59.491	55.267
biogasproductie	5.714	6.469	11.919	13.331
% ds slibkoek	21,6%	21,6%	21,6%	28,1%
slibafzet (ton slib/d)	91	87	208	138
reductie afzet externslib		4	38	88
a.q.v. vergisting				

Bouw- en investeringskosten

Bouwkosten				
Extra voorindik- en ontwateringscapaciteit		-	600.000	600.000
Aanpassingen t.b.v. thermofiele gisting		250.000	400.000	400.000
Thermische slibontsluiting (TurboTec)		-	-	2.840.000
WKK		-	-	13.000
Voorzieningen ontvangst extern slib			400.000	400.000
deelstroombehandeling		165.000	824.000	996.000
totaal bouwkosten		415.000	2.224.000	5.249.000
Investeringskosten (=bouwkosten * investeringsfactor (1,5))		622.500	3.336.000	7.873.500

Berekening jaarlijkse eenheden

		mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
energieproductie van bestaande WKK (kWh _e)	kWh/jaar	4.527.562	5.126.178	9.468.300	10.465.767
extra energieproductie van nieuwe WKK (kWh _e)	kWh/jaar		0	0	97.932
nieuw opgesteld elektrisch vermogen WKK	kWe		0	0	11
Ontwaterd slib	ton/jaar	33.169	31.753	75.772	50.355
polymeerverbruik	kg/jaar	56.004	54.443	57.920	52.884
extra inzet personeel	fte	0	0	0,1	0,4
toegenomen N-vracht deelstroombehandeling	kg N/j	0	13.414	110.405	160.012

Berekening jaarlijkse kosten

Parameter	eenheid	mesofiel	thermofiel	thermofiel+	TSO/thermofiel+
kosten					
kapitaalslasten extra indik- en ontwateringscapaciteit	EUR/jaar		-	85.000	85.000
kapitaalslasten investeringen thermofiele gisting	EUR/jaar	-	36.000	57.000	57.000
kapitaalslasten investeringen thermische druk hydrolyse	EUR/jaar	-	-	-	404.000
kapitaalslasten investeringen WKK	EUR/jaar	-	-	-	1.000
kapitaalslasten investering ontvangst extern slib	EUR/jaar	-	-	23.000	23.000
kapitaalslasten investering deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	22.000	110.000	133.000
bedrijfskosten deelstroombehandeling	EUR/jaar	-	11.000	55.000	67.000
polymeerdosering	EUR/jaar	196.000	191.000	203.000	185.000
extra personeel	EUR/jaar	-	-	5.000	18.000
onderhoud thermische slibontsluiting	EUR/jaar	-	-	-	56.800
onderhoud nieuwe WKK	EUR/jaar	-	-	-	32.000
aardgas inkoop voor o.a. warmte tekort en stoomopwekking	EUR/jaar	-	-	-	200.000
totaal jaarlijkse kosten	EUR/jaar	196.000	260.000	538.000	1.261.800
totaal jaarlijkse kosten (excl. kapitaalslasten)		196.000	202.000	263.000	558.800
opbrengsten					
opbrengsten elektriciteitsproductie	EUR/jaar	566.000	641.000	1.184.000	1.320.000
opbrengsten verminderde slibafzet	EUR/jaar	-	71.000	686.000	1.600.000
totaal opbrengsten	EUR/jaar	566.000	712.000	1.870.000	2.920.000
totaal netto opbrengsten	EUR/jaar	370.000	510.000	1.607.000	2.361.200
Besparing t.o.v. mesofiel			140.000	1.237.000	1.991.200
Terugverdientijd	jaar		4,4	2,7	4,0

BIJLAGE VII

DIMENSIONERING SLIBLIJN RWZI BATH EN SCHAALGROOTTE 150.000 I.E.

procesonderdeel	eenheid	rwzi 150.000	rwzi 490.000
<u>voorindikker voor primair slib:</u>			
type	-	gravitair	gravitair
aantal	stuks	1	1
drogestofbelasting	kg ds/(m ² .d)	57,2	57,2
indikgraad	% ds	5,4	5,4
<u>voorindikking surpluslib:</u>			
type	-	bandindikker	bandindikker
aantal	stuks	1	2
PE-verbruik	g/kg ds	4	4
indikgraad	% ds	6,0	6,0
<u>slibgistinginstallatie:</u>			
aantal	stuks	1	2
volume	m ³ /st.	1810	5.430
ontwerpverblijftijd	d	20	20
<u>gashouder en WKK-installatie:</u>			
gashouder aantal	stuks	1	2
gashouder netto inhoud	m ³ /st.	217	650
aantal WKK installaties	stuks	1	2
elektrisch vermogen	kWhe/st.	200	600
thermisch vermogen	kWh/st.	267	800
maximaal verbruik biogas	m ³ /h/st.	183	275
<u>Slibvoorraadtank</u>			
aantal	stuks	1	1
volume	m ³	500	1.500
<u>Slibontwatering</u>			
type	-	zeefbandpers	zeefbandpers
aantal	stuks	2	4
capaciteit	m ³ /h/st.	15	30
huidige ontwateringsgraad	% ds	21,6	21,6
PE verbruik	g/kg ds	5,1	5,1
<u>slibsilos:</u>			
aantal	stuks	2	2
volume (bruto)	m ³	33,3	100
opslagperiode	d	2,1	2,1