NN31085.90-03

Rgo-03

VERGISTING VAN AËROOB GESTABILISEERD SLIB

UITWATERENDE SLUIZEN
Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen
in Kennemerland en West Friesland

postbus 15, 1135 ZH edam 02993 60611

DBW/RIZA

rijkswaterstaat
dienst binnenwateren/riza

postbus 17, 8200 AA lelystad 03200-70411

stora

stichting toegepast onderzoek
reiniging afvalwater

postbus 80200, 2508 GE den haag 070-512710

AM 31 0[illegible]90-03

Toek ioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectleiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70467

BIBLIOTHEEK
STARINGGEBOUW

VERGISTING VAN AEROOB GESTABILISEERD SLIB

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS
0000 0781 3211

auteur(s):
DHV:
ir. H.F. van der Roest

17 SEP. 1997

RWZI 2000 90-03

Het onderzoek "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000"
is een samenwerkingsverband van de STORA en Rijkswaterstaat (DBW/RIZA).

INHOUDSOPGAVE blz

	VOORWOORD		3
	SAMENVATTING		5
1	INLEIDING		9
2	LITERATUURONDERZOEK		11
	2.1	Algemeen	11
	2.2	Literatuuroverzicht	11
	2.3	Nederlands onderzoek	15
	2.4	Conclusies	17
3	OPZET EN UITVOERING VAN HET PRAKTIJKONDERZOEK		19
	3.1	Algemeen	19
	3.2	Praktijkonderzoek	20
	3.2.1	Proefinstallatie	20
	3.2.2	Analyse- en meetprogramma	25
	3.2.3	Start	26
	3.2.4	Fasering	28
	3.3	Slibontwateringsonderzoek	30
	3.3.1	Aanleiding	30
	3.3.2	Proefopstelling en uitvoering	30
4	RESULTATEN VAN HET PRAKTIJKONDERZOEK		33
	4.1	Algemeen	33
	4.2	Slibgistingsonderzoek	33
	4.2.1	Resultaten opstartfase (fase 0)	33
	4.2.2	Resultaten fase I	37
	4.2.3	Resultaten fase II	40
	4.2.4	Resultaten fase III	43
	4.2.5	Resultaten fase IV	48
	4.2.6	Resultaten fase V	57
	4.2.7	Bijzonderheden	58
	4.3	Slibontwateringsonderzoek	60
	4.3.1	Aanleiding	60
	4.3.2	Resultaten	60

VERVOLG INHOUDSOPGAVE blz

5	OVERZICHT EN EVALUATIE	63
6	CONCLUSIES	69
7	LITERATUUR	71
8	AFKORTINGEN	73

BIJLAGEN

1	Onderzoeksteam	75
2	Bedrijfs- cq processchema fase 0 t/m III	77
3	Bedrijfs- cq processchema fase IV	79
4	Gegevens decanteercentrifuge	81

VOORWOORD

Het voor u liggend rapport geeft de resultaten van een literatuurstudie en een semi-praktijkonderzoek naar de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib. Het onderzoek is in 1987 en 1988 uitgevoerd door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland in samenwerking met DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV.

Aanleiding tot het onderzoek was de uitbreiding van de rwzi Beemster (type Carrousel) door het verhogen van de slibbelasting. Het gevolg hiervan is dat het slib in de aëratietank niet vergaand gemineraliseerd wordt en derhalve anaëroob gestabiliseerd dient te worden. Doel van het onderzoek was de dimensioneringsgrondslagen nader te bepalen, de gevoeligheid voor instabiliteit na te gaan en inzicht te verkrijgen in de ontwateringseigenschappen. Vergisting vond plaats bij verblijftijden van 12, 20 en 30 dagen en bij organische- drogestofbelastingen variërend van 0,5 tot 5,3 kg/(m3.d).

In dit project van het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland werd vanwege de meer dan regionale betekenis van de resultaten geparticipeerd door RWZI-2000.
De evaluatie is uitgevoerd door DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (ir. H.F. van der Roest en dr. ir. W.C. Witvoet) in samenwerking met ir. S.B. Gaastra, ing. P.J.C. Kuiper en ir. W. van Starkenburg.

Lelystad, augustus 1990

Voor de Stuurgroep RWZI-2000

dr. J. de Jong
(voorzitter)

SAMENVATTING

In het kader van de uitbreiding van de rioolwaterzuiveringsinrichting (rwzi) Beemster is van 16 juli 1987 tot 16 juni 1988 door het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland (US) en DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (DHV) een onderzoek uitgevoerd naar de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib.

Het onderzoek beoogde de mogelijkheden na te gaan aëroob gestabiliseerd slib te vergisten en het vaststellen van de ontwerpgrondslagen voor het proces. Daarnaast is aandacht besteed aan het analyseren van de gevoeligheden en de instabiliteitsrisico's. Ten slotte zijn globaal de ontwateringsmogelijkheden van het uitgegiste slib bepaald.

In eerste instantie werd een verkennende literatuurstudie verricht, die mede richting gaf aan het praktijkonderzoek op de rwzi Beemster. Daarvoor werd door US een slibgistingsinstallatie gebouwd, met een gistingstank en een gashouder van respectievelijk 83 en 6 m3. De slibgistingstank werd (semi-)continu gevoed, volledig gemengd en onder mesofiele condities (30 - 35 °C) bedreven.

Gedurende de eerste zeven maanden van het onderzoek is de slibgistingsinstallatie gevoed met gravitatie-ingedikt spuislib uit de slibindikkers van de rwzi Beemster. Daarna is overgegaan op slib dat mechanisch was ingedikt met behulp van een decanteercentrifuge. Daarbij is zowel met als zonder toevoeging van een vlokhulpmiddel gewerkt.

Het onderzoek is onderverdeeld in een aantal fasen, waarvan de karakteristieke gegevens in tabel 1 zijn gegeven.

Tabel 1 Indeling slibgistingsonderzoek

periode	HVT *	duur	slibindikking
fase 0 (opstartfase)	20 d	4 wk	gravitatie
fase I	20 d	4 wk	idem
fase II	30 d	4 wk	idem
fase III	30 ===> 12 d	13 wk	idem
fase IV	25 ===> 12 d	18 wk	mechanisch
fase V (uitloopfase)	∞	4 wk	n.v.t.

*) hydraulische verblijftijd

In vergelijkend pilot-plantonderzoek is oriënterend gekeken naar de verschillen in ontwateringseigenschappen van het uitgegiste en het gravitatie-ingedikte slib bij lagunering.

De literatuur geeft aan dat weinig onderzoek is verricht naar de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib. Het relatief kleine aantal referenties levert de volgende conclusies op:

- aëroob gestabiliseerd slib kan in principe worden vergist;
- de specifieke gasproduktie en de afbraak van organische drogestof zijn afhankelijk van de procesomstandigheden en de samenstelling van het uitgangsmateriaal en kunnen aanzienlijk variëren;
- de processtabiliteit is het grootst bij lange hydraulische verblijftijden in het mesofiele temperatuurbereik;
- een korte onderbreking van de voeding heeft geen nadelige gevolgen voor het verloop van het slibgistingsproces;
- er dient rekening te worden gehouden met een verminderde ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib en de mogelijkheid van schuimvorming.

De belangrijkste resultaten van het praktijkonderzoek worden in tabel 2 weergegeven.

Tabel 2 Resultaten slibgistingsonderzoek

parameter	eenheid	I	II	III	IV-1	IV-2
ds-belasting	kg/(m3.d)	0,9	0,8	1,6	4,6	7,0
ods-belasting	kg/(m3.d)	0,6	0,5	1,1	3,5	5,3
HVT	d	23,4	29,4	13,5	14,8	10,9
ods-afbraakperc.	%	56	50	32	47	44
gem. gasproduktie	m3/d	10,3	8,7	20,4	72,2	90,2
specifiek (toegevoerd)	l/kg ods	200	200	210	250	210
idem (afgebroken)	l/kg ods'	360	400	660	530	470

IV-1 : mechanische indikking zonder toepassing van PE
IV-2 : mechanische indikking met toepassing van PE

Het slibgistingsonderzoek leidt tot de volgende conclusies:

- vergisting van aëroob gestabiliseerd slib is technisch mogelijk. De in tabel 2 onder fase IV weergegeven belastingen zijn te realiseren met behulp van mechanische slibindikkings-apparatuur. Overigens zijn tijdens het onderzoek de maximale hydraulische en (organische-) drogestofbelasting niet vastgesteld;

- het proces verloopt onder alle onderzochte omstandigheden stabiel en kan in korte tijd herstellen van temperatuurwisselingen en hydraulische- en biologische schokbelastingen. Bovendien is gebleken dat na enkele weken substraatonthouding de activiteit niet verloren gaat;

- de gasproduktie per kg verwijderd CZV bedraagt 300 tot 330 liter bij een CZV-afbraakpercentage van ruim 30 %;

- de samenstelling van het geproduceerde gistingsgas wijkt niet af van het bij een conventioneel gistingsproces geproduceerde gas;

- met behulp van een gasinblaassysteem kan de slibgistingstank bij hoge drogestofconcentraties (tot ruim 5 %) goed worden gemengd. Schuimvorming kan bij intermitterende bedrijfsvoering (lage frequentie) in de hand worden gehouden;

- uitgegist slib ontwatert in een lagune tot een drogestofgehalte dat vergelijkbaar is met het praktijkresultaat dat op de rwzi Beemster wordt bereikt met ingedikt aëroob gestabiliseerd slib. Gezien het oriënterende karakter van de proef en de resultaten van CST-proeven is nader onderzoek gewenst;

- het uitgegiste slib bezit de kenmerkende gronderige geur van conventioneel uitgegist slib. Daarvan is bekend dat in het algemeen geen stankhinder wordt ondervonden.

Voor het gistingsproces van aëroob gestabiliseerd slib is een organische-drogestofbelasting van ruim 5 kg/(m3.d) in combinatie met een hydraulische verblijftijd van 10 dagen mogelijk. De maximale hydraulische en (organische-) drogestofbelasting zijn niet vastgesteld.

Voor de bepaling van de dimensioneringsgrondslagen van een praktijkinstallatie dient rekening te worden gehouden met een zekere mate van flexibiliteit. Deze flexibilitiet is nodig als er sprake is van een onvoorziene tijdelijke overbelasting van het gistingsproces, een vermindering van het netto gistingsvolume door bezinking van zwaar materiaal of onvoldoende menging en calamiteiten met remmende en/of toxische stoffen.

1 INLEIDING

In de afgelopen twee decennia is in Nederland en ook daarbuiten een groot aantal oxydatiesloten gebouwd. In de loop der jaren zijn op het concept van Pasveer verschillende uitvoeringsvormen ontwikkeld, en is de oorspronkelijk voor kleine gemeenschappen bedoelde "sloot" ook geschikt gemaakt voor de afvalwaterbehandeling van grote gemeenschappen en industrieën.

De ontwikkelde systemen zijn robuust en worden gekenmerkt door eenvoud in de bedrijfsvoering en een grote mate van processtabiliteit. Bovendien zijn de systemen uitermate geschikt voor vergaande stikstofverwijdering.
Met het geproduceerde slib worden echter problemen ondervonden. Zo wordt bij lagunering regelmatig een aanzienlijke geuremissie waargenomen, die wordt veroorzaakt door de verdergaande afbraak van organische stof. Daarnaast is ook de vrij matige mechanische ontwaterbaarheid van "oxydatieslootslib" bekend.

Een mogelijke oplossing voor deze problematiek zou gevonden kunnen worden in een nageschakelde anaërobe stabilisatie. De vraag is echter of met aëroob gestabiliseerd slib een slibgistingsproces kan worden onderhouden. Met deze vorm van slibgisting is tot op heden weinig tot geen praktijkervaring opgedaan. Algemeen wordt aangenomen dat problemen kunnen ontstaan als er onvoldoende te vergisten materiaal in het reeds aëroob gestabiliseerde slib aanwezig is. De mate van stabilisatie die is bereikt tijdens het aërobe zuiveringsproces zou hierdoor mede bepalend zijn voor de mogelijkheid ook nog een aanvullend slibgistingsproces toe te passen.

Indien echter mogelijkheden voor dit proces aanwezig zijn, zou in principe naast een potentiële oplossing voor de geurproblematiek, ook een mogelijkheid aanwezig zijn om zonder vergaande aanpassingen, de capaciteit van een rwzi aanzienlijk te vergroten. De voor aërobe slibstabilisatie benodigde slibleeftijd is immers niet meer maatgevend, zodat de slibbelasting kan worden opgevoerd. Naast deze overwegingen speelt ook mee dat energie kan worden gewonnen, en de uiteindelijk af te zetten drogestofhoeveelheid kan worden beperkt.

In het kader van de uitbreiding van de rwzi Beemster (oxydatiesloot van het type Carrousel) is in samenwerking tussen het Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland (US) en DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV (DHV) een onderzoek uitgevoerd naar de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib.

In de voorliggende rapportage is praktijkonderzoek naar de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib beschreven. Dit onderzoek is uitgevoerd van 16 juli 1987 tot 16 juni 1988 op de rwzi Beemster en voorafgegaan door een verkennende literatuurstudie.

De doelstelling van de literatuurstudie was na te gaan in hoeverre mogelijkheden aanwezig zijn aëroob gestabiliseerd slib te vergisten en daarbij de gevoeligheden en risico's in te schatten.

De doelstelling van het praktijkonderzoek was het vinden van de juiste ontwerpgrondslagen en het analyseren van de gevoeligheden en de instabiliteitsrisico's van het proces. Daarnaast was ten doel gesteld binnen de randvoorwaarden van de uitbreiding van de rwzi Beemster summier de indikkings-eigenschappen van het uitgegiste slib bij lagunering te onderzoeken.

Gedurende het onderzoek is een groot aantal analyse- en meetgegevens verzameld. Tevens zijn deelonderzoeken verricht, die buiten het kader liggen van het in deze rapportage besproken onderwerp. De voor het onderwerp representatieve gegevens zijn geselecteerd en ten behoeve van de overzichtelijkheid voornamelijk op grafische en tabellarische wijze weergegeven. Voor de gedetailleerde onderzoeksgegevens wordt verwezen naar de meetrapporten [1,2].

De onderliggende rapportage start met een samenvatting van het onderzoek. In hoofdstuk 2 zijn de resultaten van de literatuurstudie weergegeven, waarna in hoofdstuk 3 opzet en uitvoering van het praktijkonderzoek worden besproken. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. Er is een onderverdeling gemaakt naar de verschillende fasen van het praktijkonderzoek. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten samengevat en geëvalueerd. Op basis daarvan zijn in hoofdstuk 6 de conclusies geformuleerd. In hoofdstuk 7 zijn de referenties opgenomen, en tenslotte is in hoofdstuk 8 een lijst met afkortingen gepresenteerd, waarvan in deze rapportage veelvuldig gebruik is gemaakt.

2 LITERATUUROVERZICHT

2.1 Algemeen

Raadpleging van verschillende internationale data-banken resulteert in de selectie van slechts zeven artikelen, die raakpunten hebben met de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib of secundair slib (afkomstig uit aëratietank, zonder primair slib). In een aantal van deze artikelen komt het onderwerp slechts zijdelings aan bod, meestal in het kader van een omvangrijker, op een ander doel gericht onderzoek. Vaak wordt gebruik gemaakt van aëroob gestabiliseerd slib of secundair slib vanwege het feit dat geen ander primair slib voorhanden is. Het betreft bovendien meestal kortlopende onderzoeken op kleine schaal. Uit de beschikbare informatie zijn de representatieve gegevens geselecteerd. Deze zijn weergegeven in paragraaf 2.2.

Ook in Nederland is door verschillende waterkwaliteitsbeheerders onderzoek verricht naar de mogelijkheden van vergisting van aëroob gestabiliseerd slib. Deze onderzoeken hadden ten doel na te gaan of volledig of gedeeltelijk aëroob gestabiliseerd slib tezamen met primair slib op financieel aantrekkelijke wijze zou kunnen worden vergist. In paragraaf 2.3 wordt ingegaan op onderzoeksresultaten van het Hoogheemraadschap van Rijnland, de Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost-Brabant en de Gemeenschappelijke Technologische Dienst van de Zeeuwse Waterschappen.

2.2 Literatuuroverzicht

In het kader van een grootschalig onderzoek van de Los Angeles County Sanitation Districts (LACSD) naar de verwerkingsmogelijkheden van actiefslib, afkomstig van een zuiver-zuurstofsysteem is de vergisting van secundair slib bestudeerd [3].

In een slibgistingstank met een volume van 473 m3 is in eerste instantie de mesofiele vergisting (35 °C) bestudeerd met slib afkomstig van een "normale" actiefslibinrichting.
In het kader van het onderzoek is na een voldoende lange aanloopperiode 100 % secundair slib verwerkt. De hydraulische verblijftijd is achtereenvolgens ingesteld op 46 en 21 dagen, hetgeen resulteerde in een belasting van respectievelijk 0,96 en 2,00 kg o.d.s./(m3.d).
De organische drogestofafbraak was in beide perioden nagenoeg gelijk en bedroeg ongeveer 40 %. In verband met een defecte gasmeter konden geen gasprodukties worden vastgesteld.
In tweede instantie is onderzoek verricht naar de vergisting van secundair slib afkomstig van een zuiver zuurstofsysteem. Hiervoor is een reactor gebouwd met een volume van 45,4 m3.

Bij een procestemperatuur van 35 °C, een hydraulische verblijftijd van 22 d en een belasting van 1,36 kg o.d.s./(m3.d) bedroeg het organische-drogestofafbraakpercentage 32 % en de gasproduktie 0,92 m3/kg o.d.s. afgebroken (60 % CH4).

In de volgende fase is de reactor bedreven bij een procestemperatuur van 49 °C. Bij een hydraulische verblijftijd van 21 d en een belasting van 1,23 kg o.d.s./(m3.d) bedroeg de organische-drogestofafbraak 39 % en de gasproduktie 1,10 m3/kg o.d.s. afgebroken (60 % CH4).

Zowel bij het mesofiele als bij het thermofiele slibgistingsproces zijn geen problemen ondervonden. Wel is door de auteurs geconstateerd dat in secundair slib de afbraak van organische stof langzamer verloopt dan in primair slib. Volgens hen speelt hierin de hoge ammoniumconcentratie (1.100 tot 1.500 mg/l) bij de thermofiele gisting waarschijnlijk een ondergeschikte rol.

In het kader van onderzoek naar mogelijke vormen van twee-traps aërobe-anaërobe slibstabilisatie beschrijft Dichtl [4] onder meer een slibgistingsonderzoek, uitgevoerd met zeer ver aëroob gestabiliseerd slib.
Gedurende een periode van drie maanden is onderzoek verricht met slib afkomstig van een zeer laagbelaste actiefslibinrichting (0,03 kg BZV/(kg d.s.d)) en met een gloeirest van 47 %.

Het onderzoek is uitgevoerd in tanks met een inhoud van 1,0 m3 bij hydraulische verblijftijden van 15 en 20 dagen en een procestemperatuur van 35 °C. Bij een belasting van respectievelijk 0,87 en 1,16 kg o.d.s./(m3.d) bedraagt de specifieke gasproduktie in beide gevallen 115 l/kg o.d.s. toegevoerd. Uitgaande van de gegeven afbraakpercentages van respectievelijk 36 en 25 % ligt de specifieke gasproduktie per kg afgebroken o.d.s. op respectievelijk 320 en 470 l.

Brijers et al [5] beschrijven een studie naar de thermofiele vergisting van secundair slib. De studie is gericht op de resultaten van het slibgistingsproces als functie van de hydraulische verblijftijd en de (o.d.s.)belasting.
In een gistingstank van 20 l zijn gedurende een periode van 70 dagen vier verschillende proefomstandigheden onderscheiden. De procestemperatuur is 55 °C en de gistingstank is continu gevoed. Het slib is afkomstig van een rwzi, waar simultane precipitatie van fosfaat met ijzerzouten werd toegepast. In tabel 3 zijn de onderzoeksresultaten weergegeven.

Tabel 3 Resultaten onderzoek thermofiele vergisting secundair slib [3]

proefperiode	Dagnummer	HVT [d]	ods-Belasting [kg/(m3.d)]	gasproduktie [l/kg ods]
A	08 - 18	15,0	1,1	480
B	22 - 32	9,3	1,5	545
C	44 - 54	10,0	2,5	370
D	59 - 69	7,5	3,0	440

Bij de interpretatie van de resultaten dient rekening te worden gehouden met het feit dat alle proefperioden te kort zijn om van een stabiel gistingsproces te kunnen spreken. Bovendien ontbreken teveel gegevens om een volledig beeld van de onderzoekresultaten te kunnen krijgen.

Malina [6,7] beschrijft in twee artikelen de effecten van de procestemperatuur op het slibgistingsproces.
In 1961 voert hij in 12 l tanks een groot aantal (continue) laboratoriumproeven uit en gebruikt daarvoor in alle gevallen secundair slib (gloeirest 32 %). Ook voor de enting wordt gebruik gemaakt van secundair slib.
Malina verricht zes experimenten bij verblijftijden van 6 en 12 dagen, gecombineerd met drie belastingen van 1,6 tot 4,8 kg o.d.s./(m3.d) en drie verschillende procestemperaturen (32,5 - 42,5 - 52,5 °C).

Uit zijn studie blijkt een duidelijke invloed van de temperatuur op het verloop van het gistingsproces. Bij een procestemperatuur van 42,5 °C ligt de specifieke gistingsgasproduktie aanzienlijk lager dan bij procestemperaturen van 32,5 en 52,5 °C.

In 1964 gaat Malina nogmaals in op de invloed van de temperatuur op het slibgistingsproces [7]. Er wordt een serie batch-proeven uitgevoerd bij verblijftijden van 10 tot 50 d.
Uit de resultaten blijkt dat de specifieke gasproduktie bij een procestemperatuur van 30 tot 35 °C hoger is dan bij 40, 45 en 55 °C.
Afhankelijk van de hydraulische verblijftijd en de procestemperatuur worden o.d.s.-afbraakpercentages gevonden van 16 tot 55 %. Malina merkt echter op dat de resultaten per charge slib aanzienlijk uiteenlopen, zonder daarvoor een plausibele verklaring te geven.
Uit de gemeten vetzuurconcentraties blijkt dat de stabiliteit van het gistingsproces het grootst is bij procestemperaturen in het mesofiele gebied en (in mindere mate) bij langere hydraulische verblijftijden.

In de publicaties van Malina wordt geen melding gemaakt van procestechnologische problemen. Door Tavery en Nelson [8] worden daarentegen bij de gecombineerde (praktijk)vergisting van primair- en secundair slib wel problemen geconstateerd.
Op de centrale rwzi van het Metropolitan Denver Sewage Disposal District (zuivere zuurstof) functioneren zes gistingstanks met een volume van ieder circa 7.000 m3 bij een procestemperatuur 30 tot 35 °C. De voeding van deze tanks bestaat voor circa 1/3 volumedeel uit primair slib en voor 2/3 volumedeel uit secundair slib.
Sinds 1977 is de rwzi in bedrijf en zijn problemen opgetreden door onvoldoende indikking van het uitgegiste slib en overmatige schuimvorming.

Het probleem van de slechte indikbaarheid is uiteindelijk ondervangen door het uitgegiste slib na toevoeging van onder meer ijzerchloride mechanisch te ontwateren.
Naar de oorzaak van de overmatige schuimvorming is mede gezien de kostbare schoonmaakwerkzaamheden veel onderzoek verricht. De exorbitante schuimontwikkeling bleek niet te worden veroorzaakt door de samenstelling van het afvalwater, niet te liggen aan de procesvoering (temperatuur, menging en belasting) en evenmin aan specifieke organismen in het gistend slib. Het probleem bleek zo hardnekkig dat met de meest uiteenlopende anti-schuimmiddelen geen verbetering werd bereikt.
Bijzonder onbevredigend voor de betrokken onderzoekers verdween het probleem vier jaar na de inbedrijfstelling van de rwzi zonder dat men hiervoor ooit een verklaring heeft kunnen vinden.

In [8] wordt tevens melding gemaakt van een kort onderzoek naar een gelijksoortige problematiek bij andere rwzi's in de omgeving. Uit dit onderzoek bleek dat schuimontwikkeling met name werd geconstateerd als naast primair slib ook secundair slib werd vergist.
Voorafgegaan aan de inbedrijfstelling van de centrale rwzi van het Metropolitan Denver Sewage Disposal District is op 400 liter schaal onderzoek uitgevoerd naar de vergisting van uitsluitend primair slib, uitsluitend secundair slib en combinaties daarvan. Ook bij dit laboratoriumonderzoek kwam de hiervoor beschreven problematiek reeds naar voren. Hieraan werd echter toentertijd geen aandacht geschonken, omdat men ervan uitging dat de problemen te wijten waren aan de schaalgrootte.

In de "Process Design Manual Sludge Treatment and Disposal" van de EPA [9] wordt een aantal van de hiervoor genoemde studies geëvalueerd. In de manual wordt de mogelijkheid van gisting van uitsluitend secundair slib onderkend. Daarbij wordt echter ook opgemerkt dat ontwatering van het uitgegiste slib moeizaam verloopt.

2.3 Nederlands onderzoek

Het Hoogheemraadschap van Rijnland heeft in 1983 onderzoek uitgevoerd naar de vergisting van secundair slib uit de rwzi Zwaanshoek [11].
Dit slib, afkomstig uit de aëratietank die werd bedreven bij een slibbelasting van 0,08 kg BZV/(kg d.s.d), had een gloeirest van 26 %. Bij de opzet van de batch-proef is uitgegaan van 45 l uitgegist primair slib dat in eerste instantie gedurende 20 d van voeding is onthouden. Hierdoor ontstond na enige tijd een constante lage gasproduktie die voor de resterende proefperiode als referentie-waarde is aangehouden. Na 20 d is kort na elkaar 2 maal 5 l secundair slib aan het systeem toegevoerd.
Blijkens het verloop van de gasproduktie is het grootste gedeelte van het aanwezige organische materiaal binnen 10 d afgebroken. De gasproduktie bedraagt na verdiscontering van de "basis gasproduktie" 230 l/kg o.d.s. toegevoerd. Met een o.d.s.-afbraakpercentage van 45 % kan een specifieke gasproduktie op basis van afgebroken o.d.s. van 515 l/kg worden berekend. De gloeirest van het secundaire slib steeg van 26 naar 39 % (berekend).

Volgens dezelfde procedure heeft het Hoogheemraadschap van Rijnland getracht een soortgelijke proef op te starten voor het secundaire slib van de rwzi Haarlem Waarderpolder.
Na voeding met het secundaire slib bleek het slibgistingsproces echter niet meer te functioneren. Hoewel men niet de exacte reden kon achterhalen, wordt door het Hoogheemraadschap vermoed dat het uitgangsmateriaal (primair slib) reeds te ver was gestabiliseerd. De hydraulische verblijftijd van dit slib bedroeg 60 tot 70 dagen alvorens de proef startte.

Gemeenschappelijke Dienst Oost-Brabant heeft reeds in 1978 en '79 een aantal proeven uitgevoerd met het secundaire slib van de rwzi's Den Bosch, Schijndel, Asten en Vinkel [12].

De proeven zijn uitgevoerd in vergisters van 3 tot 9 l bij een procestemperatuur van 32 - 33 °C. Het te vergisten materiaal is éénmaal per dag toegevoerd. De proeven duurden, na een korte opstartperiode (enkele dagen) één hydraulische verblijftijd, namelijk 20 d. De gloeirest van het uitgangsmateriaal varieerde tussen 20 en 24 %.De resultaten zijn weergegeven in tabel 4.

Tabel 4 Resultaten onderzoek GTD [12]

rwzi	HVT [d]	ods-Belasting [kg/(m3.d)]	gasproduktie [l/kg ods] toegevoerd	afgebroken	ods-afbraak [%]
Den Bosch	20	0,34	160	---	--
Schijndel	20	0,88	325	600	54
Asten	20	0,86	400	925	44
Vinkel	20	1,01	305	660	46

Opvallend is de lage gasproduktie uit het secundaire slib van de rwzi Den Bosch. De oorzaak hiervoor is tijdens het onderzoek niet vastgesteld, maar zal vermoedelijk samenhangen met de lage o.d.s.-belasting en de samenstelling van het slib (aandeel bierbrouwerijen).

Na een periode van twee weken is bij alle proefnemingen, met uitzondering bij het slib van de rwzi Den Bosch, de toevoer van het secundaire slib gedurende 4 dagen gestopt.
De gasproduktie daalde direct maar was enkele dagen nadat de normale aanvoer weer was gestart weer tot het oude niveau gestegen.

In 1981 en '82 is door de Technologische Dienst Zeeuwse Waterschappen (TDZW) een onderzoek uitgevoerd naar de effecten van de behandeling van cokes-afvalwater op het nitrificatieproces in een tweetraps actiefslibinrichting [13]. In dat kader is tevens de werking van het slibgistingsproces onderzocht.

Tijdens het onderzoek heeft men in drie fasen op semi-technische schaal (300 l) gedurende een periode van drie maanden de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Hulst (gemiddelde gloeirest 32 %) bestudeerd. Het slibgistingsproces is bedreven bij een procestemperatuur van 32 °C. De resultaten zijn weergegeven in tabel 5.

Tabel 5 Resultaten onderzoek TDZW [13]

periode	I	II	III
hydraulische verblijftijd [d]	20	20	10
ods-belasting [kg/(m3.d)]	0,9	1,7	2,3
ods-afbraak [%]	28	26	28
gasproduktie [l/(m3.d)]	300	450	660
idem toegevoerd [l/kg ods]	330	270	290
idem afgebroken [l/kg ods]	1180	1050	1050

2.4 Conclusies

Naar de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib is tot op heden weinig onderzoek verricht. Toch kunnen op basis van de resultaten van de literatuurstudie de volgende trends worden geconstateerd:

- aëroob gestabiliseerd slib kan in principe worden vergist;
- de gasproduktie is afhankelijk van de procesomstandigheden en de samenstelling van het slib en varieert globaal van 100 tot 400 l/kg o.d.s. toegevoerd en van 300 tot 1000 l/kg o.d.s. afgebroken;
- de organische drogestofafbraakpercentages liggen tussen 20 en 50 %;
- De processtabiliteit is het grootst in het mesofiele temperatuurgebied bij lange hydraulische verblijftijden, echter ook korte hydraulische verblijftijden zijn goed mogelijk.
- een korte onderbreking van de voeding heeft geen nadelige gevolgen op het verloop van het slibgistingsproces;
- er dient rekening te worden gehouden met een verminderde ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib en de mogelijkheid van schuimvorming.

3 OPZET EN UITVOERING VAN HET PRAKTIJKONDERZOEK

3.1 Algemeen

In de oorspronkelijke opzet van het praktijkonderzoek is uitgegaan van een onderverdeling in vijf fasen en een onderzoeksperiode van 26 weken.

Al in een vroeg stadium van het onderzoek blijkt echter dat de indikkingsgraad van het ingedikte slib (gravitatie-indikking) achterblijft bij de verwachting. Hierdoor is de maximaal te bereiken (organische) drogestofbelasting van het slibgistingsproces beperkt. Na zeven maanden is daarom afgestapt van het gravitatie-indikkingsproces en is overgegaan op het mechanische-indikkingsproces met behulp van een decanteercentrifuge. De oorspronkelijke opzet is door deze maatregel gewijzigd en de onderzoeksperiode is met ruim 20 weken verlengd.

Tijdens het praktijkonderzoek is op semi-technische schaal ook een vergelijkend slibontwateringsonderzoek uitgevoerd. Dit korte deelonderzoek had tot doel de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib in lagunes te vergelijken met de ontwaterbaarheid van het ingedikte spuislib in lagunes.

Tijd en budget stelden aan de opzet en uitvoering van het onderzoek de volgende randvoorwaarden:

Opzet van de proefinstallatie:

- uitvoering op semi-praktijkschaal teneinde schaaleffecten te verkleinen;
- realisatie met zoveel mogelijk bij US reeds aanwezige materialen en middelen;
- vergaande automatisering van de installatie;
- aanwezigheid van noodzakelijke meet-, registratie- en analyseapparatuur op de rwzi Beemster.

Uitvoering van het onderzoek:

- bedrijfsvoering door stagiaires (HTS - TU/LU niveau);
- begeleiding door werkgroep (zie bijlage 1);
- gekenmerkt door flexibiliteit op basis van onderzoekresultaten.

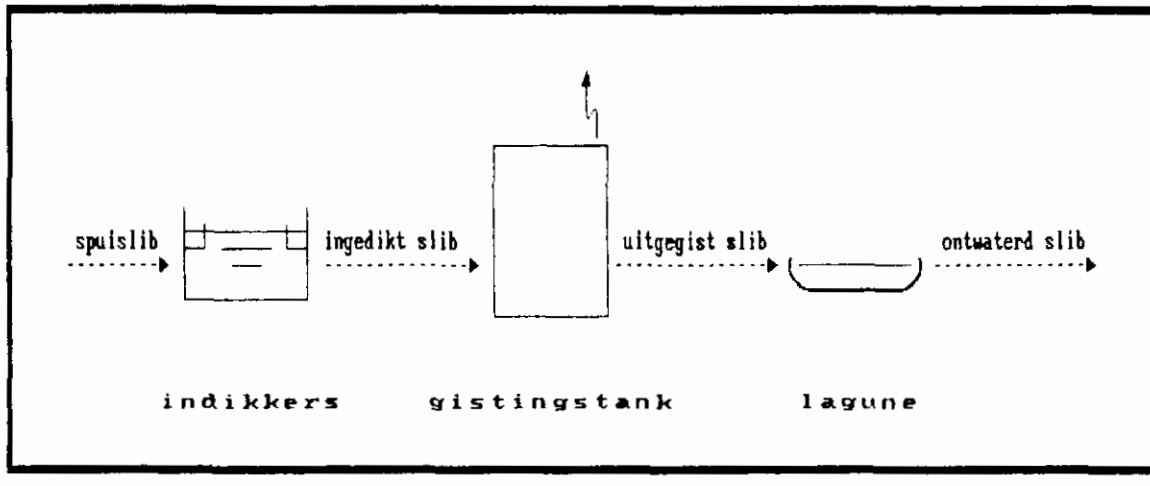
In dit hoofdstuk komen achtereenvolgens aan de orde:

- de proefinstallatie (paragraaf 3.2.1);
- het analyse- en meetprogramma (paragraaf 3.2.2);
- de enting van het slibgistingsproces (paragraaf 3.2.3);
- de verschillende onderzoeksfasen (paragraaf 3.2.4);
- het vergelijkend slibontwateringsonderzoek (paragraaf 3.3).

3.2 Praktijkonderzoek

3.2.1 Proefinstallatie

De proefinstallatie is opgebouwd uit bij US reeds aanwezige en beschikbare middelen en materialen. Alleen de bouw van de gashouder en de isolatie van de installatie is uitbesteed.
In figuur 1 is de installatie schematisch weergegeven. Het processchema is opgenomen in bijlage 2.



Figuur 1 Schema onderzoeksinstallatie

Tijdens de normale bedrijfsvoering wordt op de rwzi Beemster het spuislib via de slibkelder verpompt naar de slibindikker. Na een hydraulische verblijftijd van één dag wordt het slib overgebracht naar de slibbuffertank. Deze tank is qua uitvoering identiek aan de slibindikker. Na nogmaals een verblijftijd van één dag wordt het ingedikte slib verpompt naar de indiklagunes.

Ten behoeve van het praktijkonderzoek is voor de voeding van de gistingstank een aparte monopomp opgesteld. Met deze pomp is het ingedikte slib semi-continu onder in de gistingstank gepompt.

Voor de menging van de inhoud van de gistingstank zijn twee centrifugaalpompen geinstalleerd. Daarmee is het gistend slib onderuit de gistingstank onttrokken en bovenin de gistingstank teruggepompt. Het slib is verwarmd met behulp van een warmtewisselaar die via een warmwatercircuit is verbonden met een oliegestookte ketel. Het uitgegiste slib stroomt via de overloop uit de gistingstank naar één van de op de rwzi Beemster aanwezige lagunes. Het geproduceerde gistingsgas is opgevangen in een natte gashouder en vervolgens verbrand in een gasfakkel.

De werking van de installatie is volledig geautomatiseerd, doch er kon eventueel per procesonderdeel op handbediening worden overgeschakeld. De slibrecirculatiepompen, de warmtewisselaar, de olieketel en de elektrische installatie zijn in een aparte container ondergebracht.

In tabel 6 zijn de belangrijkste ontwerpgegevens van de proefinstallatie vermeld.

Tabel 6 Ontwerpgegevens van de proefinstallatie

parameter	dimensie	grootheid
afmetingen tanks:		
gistingstank, rond, geisoleerd		
- netto volume	[m3]	82,9
- netto hoogte	[m]	4,12
- diameter	[m]	5,06
gashouder, nat		
- netto volume	[m3]	6,0
procesomstandigheden:		
- temperatuur	[°C]	33
- gasdruk	[mmWk]	220
pompcapaciteiten:		
- ingedikt slib	[m3/h]	5,4
- menging/verwarming	[m3/h]	66
- slibrecirculatie	[m3/h]	59
verwarming:		
- vermogen olieketel	[kW]	200

Na de start van het onderzoek bleek al snel dat de inhoud van de gistingstank sterk ontmengde. Onderin de tank bevond zich gistend slib met een duidelijk hogere drogestofconcentratie en lagere gloeirest dan in het gedeelte daarboven.
Na intensief onderzoek bleek de oorzaak te moeten worden gezocht in de plaatsing van de in- en uitstroomopeningen van de slibrecirculatieleidingen en de capaciteiten van de twee slibrecirculatiepompen. Ook bleek de toevoerleiding voor het ingedikte slib niet optimaal te zijn gesitueerd. Het ingedikte slib werd onverwarmd onderin de gistingstank gebracht.

Omdat de invloed van het mengprobleem op het slibgistingsproces duidelijk merkbaar was, is begin september het invoerpunt voor het ingedikte slib naar boven verplaatst. Tevens werd een derde mengpomp met een relatief hoge capaciteit geïnstalleerd. Ofschoon deze oplossing niet als optimaal kon worden aangemerkt, was een positieve invloed merkbaar.

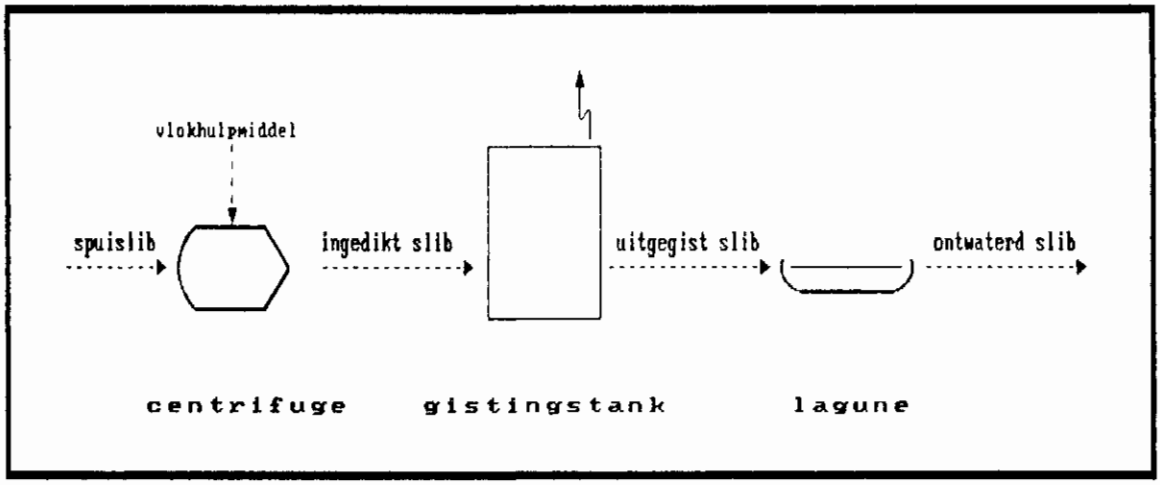
In een later stadium van het onderzoek is besloten het spuislib met behulp van een decanteercentrifuge mechanisch in te dikken. Omdat hierdoor de drogestofconcentratie van het materiaal in de gistingstank aanzienlijk zou toenemen, is ten behoeve van een goede menging een gascompressor geplaatst. Na uitvoering van deze maatregel bleek geen merkbare ontmenging meer op te treden.

De gegevens van de decanteeercentrifuge zijn weergegeven in bijlage 4. De machine zou gedurende het gehele onderzoek worden bedreven zonder toepassing van een vlokhulpmiddel. De maximale capaciteit van de centrifuge was echter eerder bereikt dan de maximale belasting van het slibgistingsproces. Daarom is later alsnog besloten voor het gebruik van een vlokhulpmiddel. Daartoe is een PE-aanmaak en -doseerinrichting geïnstalleerd. Daarmee werd het vlokhulpmiddel online verdund met leidingwater en vervolgens aan het spuislib gedoseerd.

De hydraulische capaciteit van de centrifuge is zodanig ingesteld dat een (semi-) continue toevoer van ingedikt slib naar de slibgistingstank kon worden gerealiseerd.

In figuur 2 is een schema weergegeven van de gewijzigde installatie. In bijlage 3 is het processchema opgenomen.

Om een indruk te geven van de grootte en de opbouw van de installatie zijn op de volgende pagina's enige foto's van de onderzoeksinstallatie opgenomen.



Figuur 2 Schema gewijzigde onderzoeksinstallatie

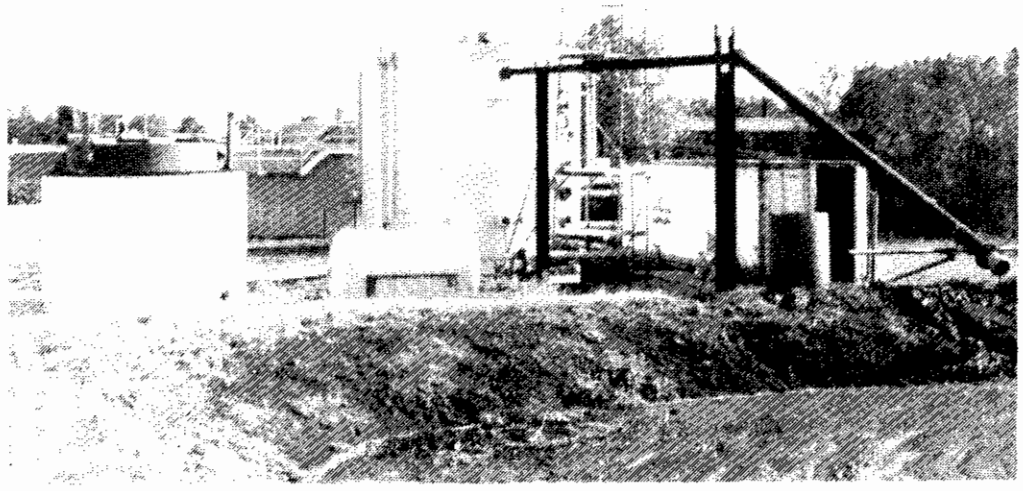


Foto 1 Overzicht van de proefopstelling

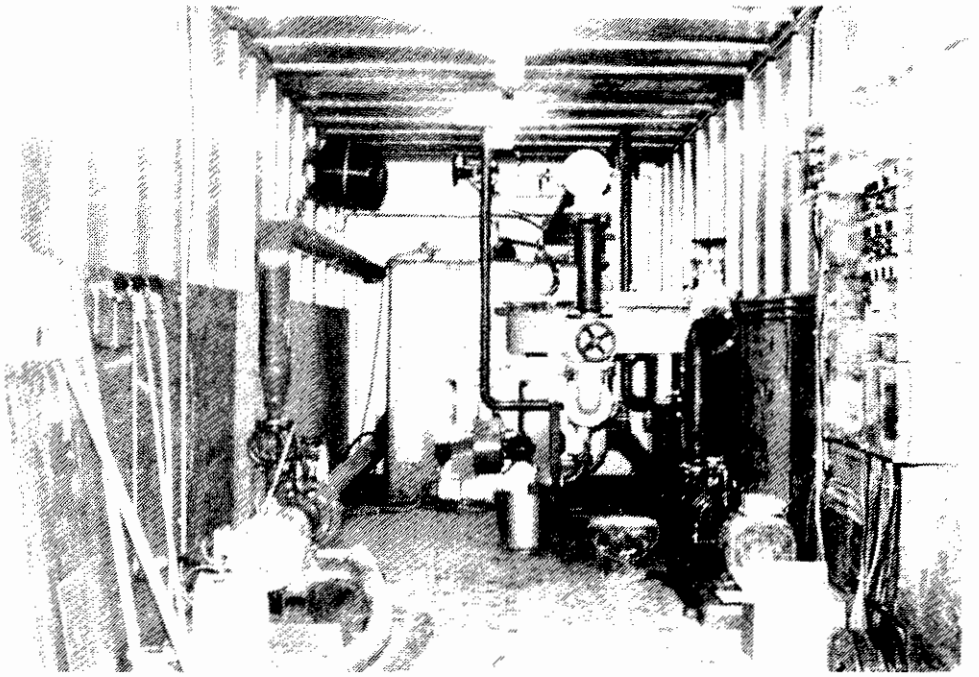


Foto 2 Interieur van de container (warmtewisselaar, leidingen en pompen, elektrische installatie, etc.)

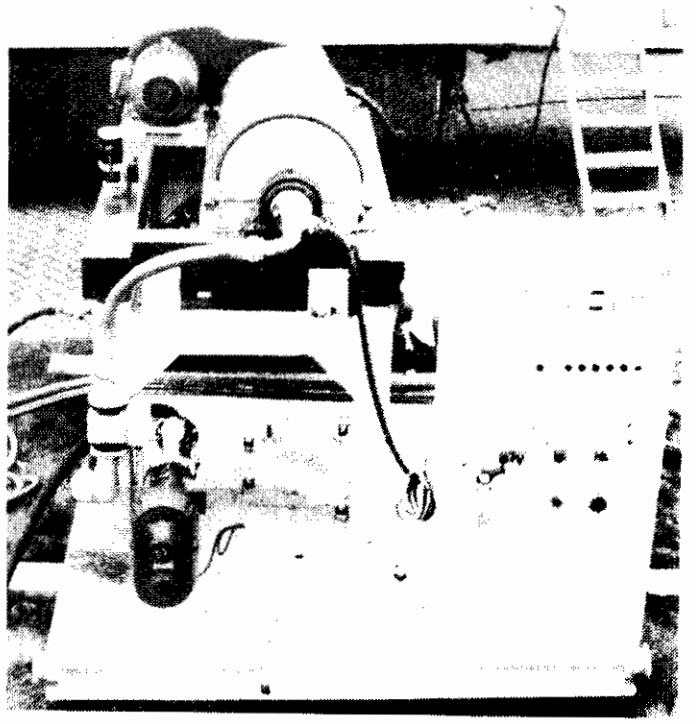


Foto 3 Centrifuge tijdens oriënterende proeven (later ingebouwd)

3.2.2 Analyse- en meetprogramma

Teneinde representatieve onderzoeksgegevens te kunnen verkrijgen, is op de rwzi Beemster een laboratorium ingericht en is door de stagiaire(s) dagelijks een groot aantal metingen en analyses verricht. Deze metingen en analyses hadden gedurende de periode waarin met via gravitatie ingedikt slib is gewerkt betrekking op:
- de ingedikt-slibstroom;
- de uitgegist-slibstroom;
- de inhoud van de slibgistingstank (vijf verschillende punten over de hoogte);
- het warmwatercircuit;
- de gistingsgasstroom.

Nadat de proefinstallatie was uitgebreid met een decanteercentrifuge, zijn de volgende stromen bemeten en geanalyseerd:
- de inhoud van de Carrousel;
- de spuislibstroom;
- de ingedikt-slibstroom vanuit de indikkers;
- de ingedikt-slibstroom vanuit de centrifuge;
- de centraatstroom van de centrifuge;
- de uitgegist-slibstroom;
- de inhoud van de slibgistingstank (vijf verschillende punten over de hoogte);
- het warmwatercircuit;
- de gistingsgasstroom.

Mede aan de hand van de standen van de debiet- en urentellers is van de stromen dagelijks het debiet berekend.
Concentratiemetingen aan het gistingsgas (CH_4, CO_2) zijn door DHV en AGA uitgevoerd. Regelmatig is met behulp van een Dräger-apparaat de H_2S-concentratie gemeten.
Daarnaast zijn door het regio-laboratorium van US op de rwzi Beverwijk aanvullende analyses verricht op het ingedikte slib, het uitgegiste slib en het centraat:
- CZV;
- BZV;
- Nkj;
- Ptot;
- indamprest en/of droogrest;
- gloeirest.

In het regio-laboratorium werden tevens de contra-analyses uitgevoerd als controle op de door de stagiaires verkregen resultaten.

Na beëindiging van het onderzoek is van de inhoud van de gistingstank een aantal monsters genomen en door DHV geanalyseerd op verschillende zware metalen.

Door het regio-laboratorium is tenslotte de zandrest bepaald van een monster vlak boven de bodem van de gistingstank. Deze analyses zijn verricht in verband met vragen welke voortvloeiden uit de verwerking van de meetresultaten. Hierop wordt in hoofdstuk 5 nader ingegaan.

3.2.3 Start

Gezien het relatief geringe volume van de slibgistingstank (82,9 m3) is voor de start van het slibgistingsproces besloten om de tank volledig te vullen met gistend slib uit een andere rwzi.

Op basis van de in te stellen belasting in de opstartfase (fase 0) is gekozen voor slib afkomstig van de rwzi Beverwijk-Zaanstreek (laagbelaste actiefslibinrichting met voorbezinktank en slibgisting). In tabel 7 zijn enige kentallen van het slibgistingsproces van deze rwzi weergegeven.

Tabel 7 Kentallen slibgistingsproces van de rwzi Beverwijk-Zaanstreek

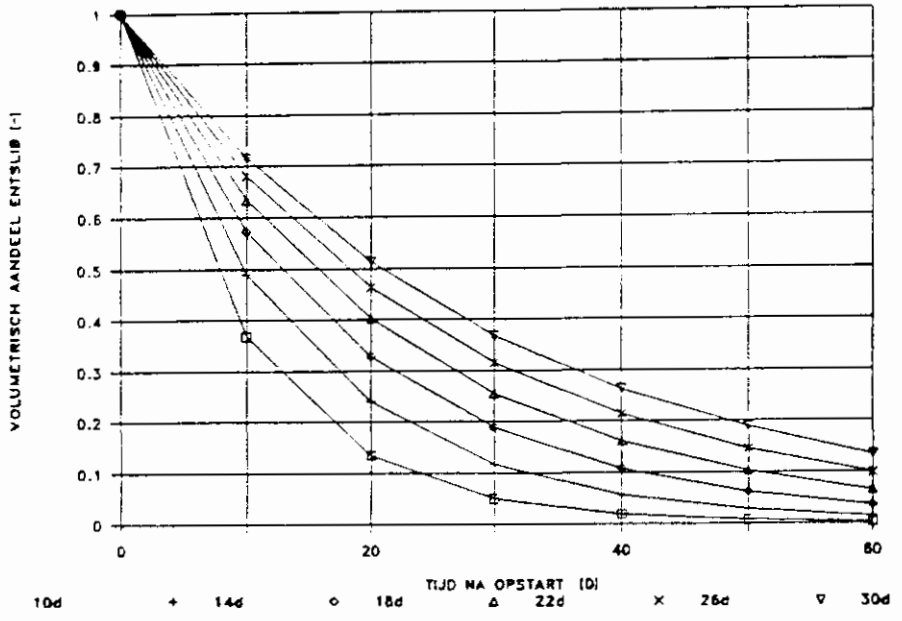
parameter	eenheid	waarde
hydraulische verblijftijd	[d]	19
drogestofbelasting	[kg ds/(m3.d)]	1,74
indamprest ingedikt slib	[%]	3,3
gloeirest	[%]	25,2
alkaliteit gistingstank	[meq/l]	22
vetzuurgehalte gistingstank	[mg/l]	197
zuurgraad gistingstank	[pH]	6,9
temperatuur gistingstank	[°C]	33
indamprest uitgegist slib	[%]	1,9
gloeirest	[%]	36,0
specifieke gasproduktie	[l/kg ods]	380
idem per kg afgebroken ods	[l/kg ods']	780

Op basis van de in tabel 7 weergegeven kentallen en de "conventionele" ontwerpparameters van slibgistingstanks zijn voor de opstartfase (fase 0) in het onderzoeksprogramma de volgende procescondities vastgesteld.

Tabel 8 procescondities fase 0		
hydraulische verblijftijd	[d]	20
ds-concentratie	[%]	2,5 - 3,0
ds-belasting	[kg ds/(m3.d)]	1,3 - 1,5
ds-gehalte gistingstank	[%]	1,7 - 2,0

In figuur 3 is de relatie aangegeven tussen het volumetrisch aandeel van het "entslib" in de gistingstank en het tijdsbestek na de start. Tevens is de afhankelijkheid van de hydraulische verblijftijd opgenomen. Bij de berekening is uitgegaan van ideale menging.
Uit de weergegeven figuur blijkt dat bij de procescondities van fase 0 (HVT = 20 d) na één maand nog 20 tot 25 % (18 - 22 d) van de inhoud van de (volledig gemengde) slibgistingstank wordt ingenomen door "entslib".

Normalerwijs wordt voor het bereiken van een stationaire evenwichtsituatie een periode aangehouden van drie maal de HVT (= 60 d). Vanwege de noodzakelijke voortgang van het project is echter gekozen voor een opstartfase van circa 1,5 HVT.



Figuur 3 Relatie volumetrisch aandeel entslib versus tijd na enting

3.2.4 Fasering

Fase I:

De procescondities in fase I zijn gelijk gehouden aan die in de opstartfase. Op deze wijze kon de werking van het slibgistingsproces onder "conventionele" belasting- en procescondities worden bestudeerd. In verband met de voortgang van het project is besloten voor een tijdsbestek van vier weken.
Uitgaande van figuur 3 is het oorspronkelijk aandeel entslib aan het eind van fase I gedaald tot 5 à 10 % van de inhoud van de gistingstank. Het tijdsbestek van fase 0 en I beslaat acht weken, hetgeen ongeveer gelijk is aan drie maal de hydraulische verblijftijd.

Tabel 9 procescondities fase I

hydraulische verblijftijd	[d]	20
ds-concentratie	[%]	2,5 - 3,0
ds-belasting	[kg ds/(m3.d)]	1,3 - 1,5

Fase II:

Vanaf het begin van het onderzoeksproject is de vraag gesteld in hoeverre het slibgistingsproces kan functioneren bij zeer lage (o.d.s.) belastingen. Deze vraag was van praktisch belang in verband met de aanvangsbelasting van de te realiseren gistingstank op de rwzi Beemster
In fase II is dit nader onderzocht door de HVT te verlengen tot 30 dagen. In tabel 10 zijn de in het onderzoeksprogramma vastgestelde procescondities voor fase II weergegeven.

Tabel 10 procescondities fase II

hydraulische verblijftijd	[d]	30
ds-concentratie	[%]	2,5 - 3,0
ds-belasting	[kg ds/(m3.d)]	0,8 - 1,0

In verband met de lange HVT was het tijdsbestek van fase II oorspronkelijk op acht weken gepland. Vanwege de integratie van de centrifuge moest het onderzoeksprogramma worden gewijzigd (zie fase IV), en werd fase II verkort tot een periode van vier weken. Op deze wijze kon de noodzakelijke belastingverhoging tussen fase II en fase IV geleidelijk worden gerealiseerd. Bovendien bleek dat in fase II reeds na enkele weken de dagelijkse gasproduktie constant bleef.

Fase III:

Uit de verrichte literatuurstudie was gebleken dat het slibgistingsproces met aëroob gestabiliseerd slib bij relatief korte HVT's zou kunnen plaatsvinden. In fase III (gravitatie-slibindikking) is derhalve de HVT sterk gereduceerd, teneinde de overgang naar een drie- tot viervoudige o.d.s.-belasting zo goed mogelijk te laten verlopen. In tabel 11 zijn de procescondities aangegeven die aan het eind van fase III moesten worden bereikt.
Om praktische redenen (beschikbaarheid personeel) besloeg fase III een relatief lange periode van circa dertien weken.

Tabel 11 procescondities fase III (eind)

hydraulische verblijftijd	[d]	12
ds-concentratie	[%]	2,5 - 3,0
ds-belasting	[kg ds/(m3.d)]	2,1 - 2,5

Fase IV:

In fase IV is de gravitatie-indikking vervangen door een mechanische indikking met een decanteercentrifuge. De capaciteit van de centrifuge was daarbij afgestemd op de verwachte capaciteit van het slibgistingsproces.

Fase IV is in twee deel-fasen gesplitst: fase IV-1 waarin de centrifuge zonder vlokhulpmiddelen is bedreven en fase IV-2 waarin de centrifuge met vlokhulpmiddelen is bedreven.

De begincondities voor fase IV zijn gebaseerd op de eindcondities van fase III. Daarbij is het volgende uitgangspunt aangehouden:

$$\text{HVT begin fase IV} = \text{HVT eind fase III} * \frac{[\text{d.s.-centrifuge}]}{[\text{d.s.-indikker}]}$$

Op grond van de resultaten ten aanzien van de geleidelijke verkorting van de hydraulische verblijftijd in fase III is voor fase IV een periode van acht weken aangehouden om opnieuw een HVT van 10 tot 12 dagen te bereiken. Vervolgens is gedurende 20 tot 30 dagen (2 tot 3 HVT's) een zo constant mogelijke procesvoering nagestreefd om een betrouwbaar beeld van de resultaten te verkrijgen onder de in tabel 12 vermelde omstandigheden.

Tabel 12 procescondities fase IV (eind)		
hydraulische verblijftijd	[d]	10 - 12
ds-concentratie	[%]	6,5 - 7,5
ds-belasting	[kg ds/(m3.d)]	5,4 - 7,5

Fase V:

In fase V is de voeding naar de gistingstank gestopt. Vervolgens is gedurende vier weken een (beperkt) meet- en analyseprogramma uitgevoerd teneinde de afbreekbaarheidsgrens van de organische stof te kunnen schatten.
Na deze vier weken is éénmalig een forse slibhoeveelheid naar de gistingstank gevoerd. Aangezien de centrifuge reeds buiten bedrijf was gesteld, vond de toevoer plaats vanuit de indikker(s). Deze laatste actie van het onderzoek was bedoeld om na te gaan, of het slibgistingsproces na een lange "onthoudingsperiode" weer snel zou opstarten.

3.3 Slibontwateringsonderzoek

3.3.1 Aanleiding

Eén van de conclusies van de literatuurstudie betrof de mogelijk verminderde ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib. Vanzelfsprekend is de ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib van belang voor de verdere verwerking van het materiaal.
Gedurende fase III zijn regelmatig CST-proeven uitgevoerd op zowel ingedikt- als uitgegist slib. De resultaten van deze proeven en de bovenstaande conclusie uit het literatuuronderzoek waren aanleiding voor de uitvoering van een vergelijkend onderzoek naar de ontwaterbaarheid van uitgegist slib en gravitatie-ingedikt spuislib.
Omdat het onderzoek gericht was op de situatie op de rwzi Beemster vond het ontwateringsonderzoek plaats in proeflagunes.

3.3.2 Proefopstelling en uitvoering

De proefnemingen zijn uitgevoerd in twee vierkante houten bakken met een hoogte van 0,90 m en een breedte en een lengte van 1,50 m. In de beide bakken is boven een centrale drainageleiding een zandlaag aangebracht van 0,20 m. Via de drainageleiding(en) kon percolatiewater worden afgevoerd.
De bakken zijn gevuld met uitgegist- en gravitatie-ingedikt spuislib.

Vervolgens is gedurende circa vier weken het indikproces van de beide bakken gevolgd. Daarbij zijn de volgende procesparameters opgenomen:

- niveaudaling [cm]
- volume percolatiewater [l/d]
- neerslag [mm/d]
- temperatuur [°C]
- gemiddelde indamprest [%]
- gloeirest [%]
- zuurgraad [pH]
- alkaliteit [meq/l]
- vetzuurgehalte [mg/l]

Op drie verschillende hoogten in de proeflagunes zijn monsters onttrokken, die vervolgens zijn gemengd om een zo representatief mogelijk monster voor de indamprestbepaling te verkrijgen.

4 RESULTATEN VAN HET PRAKTIJKONDERZOEK

4.1 Algemeen

In dit hoofdstuk zijn de onderzoeksresultaten van de in hoofdstuk 3 beschreven fasen opgenomen. Per fase is een aantal tabellen weergegeven waarin balansen en belangrijke parameters zijn gepresenteerd. De in de balansen gepresenteerde cijfers van de aanvoer en afvoer van (organische) drogestof zijn berekend aan de hand van de dagelijkse metingen en uitgevoerde analyses.
Het o.d.s.-afbraakpercentage is in de balansen tweemaal berekend. Eénmaal op basis van de drogestofbalans en éénmaal op basis van de organische-drogestofbalans.
Verder wordt per fase gebruik gemaakt van twee (standaard) grafieken waarin de volgende relaties zijn weergegeven:
- de (organische) drogestofbelasting in kg/(m3.d) versus de tijd;
- de gasproduktie in m3/d versus de tijd.

4.2 Slibgistingsonderzoek

4.2.1 Resultaten fase 0

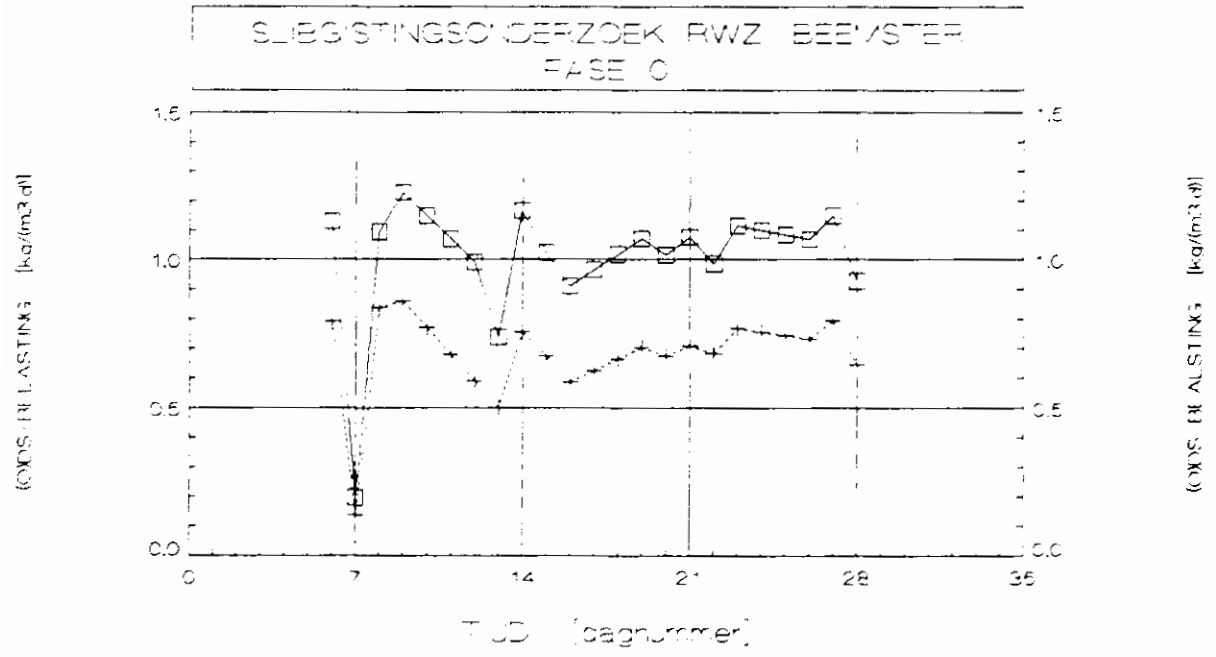
Op 16 juli 1987 (dagnummer 1) is de gistingstank volledig gevuld. In tabel 13 is de samenstelling van het "entslib" weergegeven.

Uit tabel 13 blijkt dat het entslib enigzins afwijkt van de in tabel 7 weergegeven samenstelling. Het drogestofgehalte ligt hoger, namelijk 2,5 ten opzichte van 1,9 %. De gloeirest van het entslib ligt enigzins lager in vergelijking met het in tabel 7 weergegeven cijfer.

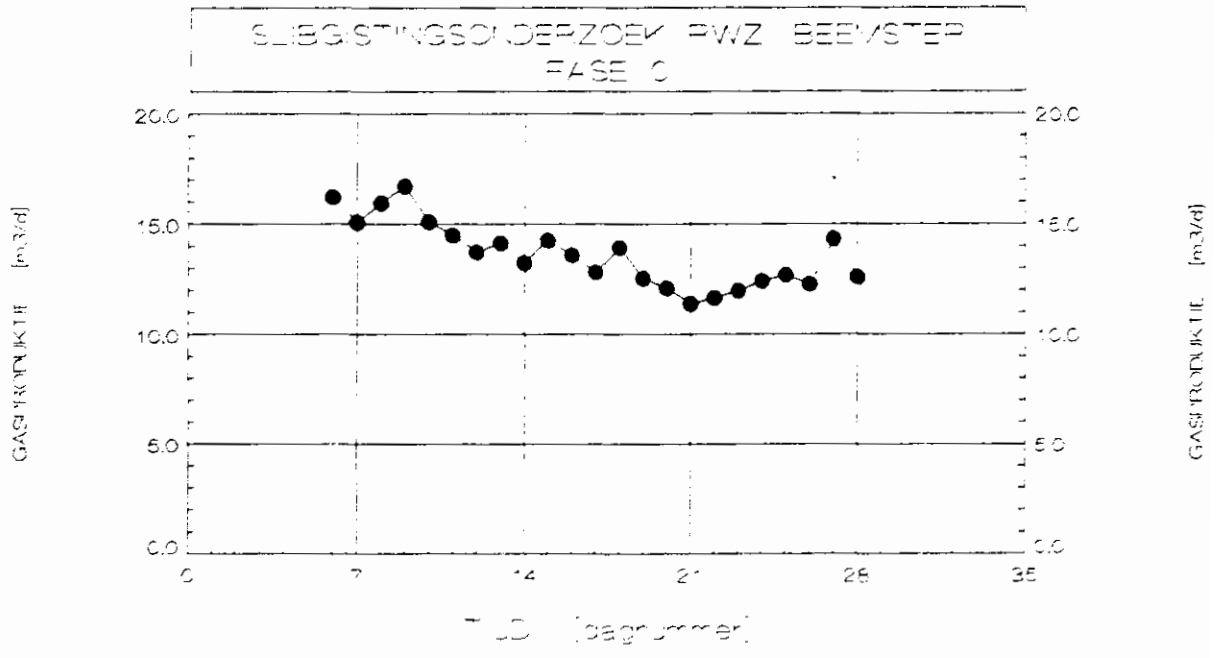
Tabel 13 Samenstelling van entslib

parameter	dimensie	waarde
indamprest	[%]	2,5
gloeirest	[%]	34,3
zuurgraad	[pH]	6,9
alkaliteit	[meq/l]	17,6
vetzuurgehalte	[mg/l]	205

De resultaten van fase 0 zijn weergegeven in de figuren 4 en 5. In tabel 14 zijn de drogestof- en organische-drogestofbalans weergegeven. In tabel 15 zijn de belangrijkste kentallen van het slibgistingsproces in fase 0 samengevat.



Figuur 4 (O.)d.s.-belasting versus de tijd (fase 0)



Figuur 5 Gasproduktie versus de tijd (fase 0)

Tabel 14 Balansberekeningen van fase 0

FASE 0 (Opstartfase)					
periode van 16-07-1987 tot 12-08-1987 (28 dagen) *					
inhoud tank aanvang		1592 kg ds		1001 kg ods	
inhoud tank eind		1426 kg ds		897 kg ods	
verschil	-/-	7,2 kg ds/d	-/-	4,5 kg ods/d	
aanvoer		83,8 kg ds/d		56,5 kg ods/d	
afvoer		72,6 kg ds/d		45,7 kg ods/d	
verschil		11,2 kg ds/d		10,8 kg ods/d	
afbraak		18,4 kg ds/d		15,3 kg ods/d	
ods-afbraakpercentage		33 %		27 %	
gasproduktie				13,6 m3/d	
spec. gasproduktie per kg ods toegevoerd				240 l/kg ods	
spec. gasproduktie per kg ods afgebroken **				810 l/kg ods'	
aanvoer		3,9 m3/d			
hydraulische verblijftijd		21,6 d			
drogestofbelasting		1,0 kg ds/(m3.d)			
organische ds-belasting		0,7 kg ds/(m3.d)			
* Berekeningen gebaseerd op 23 meetdagen					
** Berekend met behulp van gemiddelde ods-afbraakpercentage					

Uit de genoemde figuren, tabellen en andere waarnemingen blijkt dat:
- de gasproduktie binnen vier weken is gedaald van circa 20 m3/d tot circa 12 m3/d. Deze daling lijkt aan het eind van de opstartfase tot stilstand te zijn gekomen;
- de stabiliteit van het systeem is gehandhaafd. De zuurgraad bleef rond pH 7,0 en varieerde slechts in geringe mate. Het vetzuurgehalte lag met concentraties < 350 mg/l op een laag niveau;
- gedurende fase 0 het gemiddelde afbraakpercentage van organische stof circa 30 % bedroeg. De verschillen die voortkomen uit de berekeningen van de drogestof- en organische-drogestofbalans zijn hoofdzakelijk te wijten aan:

. onnauwkeurigheden in analyses (gloeirestbepaling is gevoelig);
. het achterblijven van zand in de gistingstank (zie bespreking bijzonderheden);
. minder goede menging in de slibgistingstank waardoor onnauwkeurigheden optreden in de berekening van de gemiddelde drogestofconcentratie;

- de (organische-) drogestofbelasting van het systeem lag circa 30 % tot 50 % lager dan de bedoeling was. Dit was het gevolg van de lage drogestofconcentratie van het gravitatie ingedikte slib, dat gemiddeld net boven 2 % uitkwam;
- bij een sterke verandering van de procescondities tijdelijk enige schuimvorming kon worden waargenomen. Dit veroorzaakte echter geen ernstige problemen in de bedrijfsvoering.

Tabel 15 Meetgegevens van fase 0

FASE 0 (Opstartfase)				
periode van 16-07-1987 tot 12-08-1987 (28 dagen) *				
		gem.	min.	max.
ingedikt slib				
indamprest	[%]	2,18	0,41	2,42
gloeirest	[%]	32,1	29,9	35,7
zuurgraad	[pH]	6,6	6,4	6,7
uitgegist slib				
indamprest	[%]	1,89	1,63	2,65
gloeirest	[%]	37,2	35,0	40,5
zuurgraad	[pH]	7,0	6,9	7,3
inhoud gistingstank (gemiddelde over vijf meetpunten)				
indamprest	[%]	1,68	1,46	1,87
gloeirest	[%]	39,0	36,6	42,3
zuurgraad	[pH]	7,0	6,9	7,2
temperatuur	[°C]	33,7	33,1	34,3
* Berekeningen gebaseerd op 23 meetdagen				

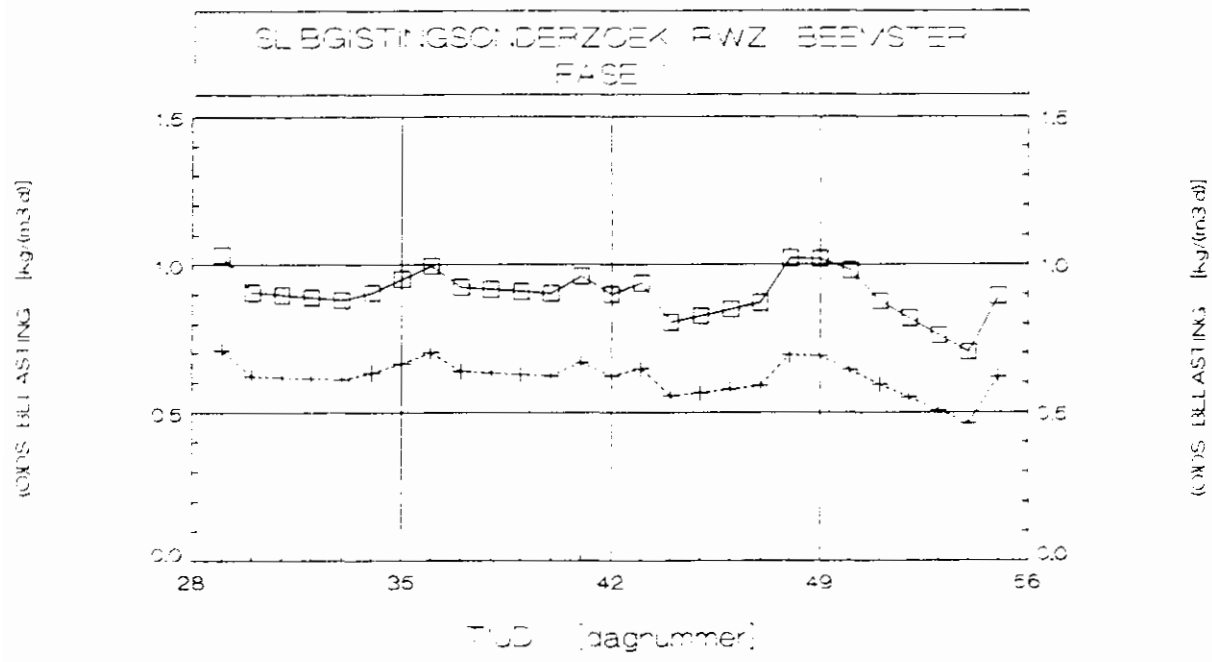
4.2.2 Resultaten fase I

In fase I zijn dezelfde procescondities als in fase 0 gehandhaafd. Fase 0 en 1 beslaan samen een periode van 3 HVT's, zodat het einde van fase 1 representatief mag worden geacht voor de vergisting van aëroob gestabiliseerd slib van de rwzi Beemster.

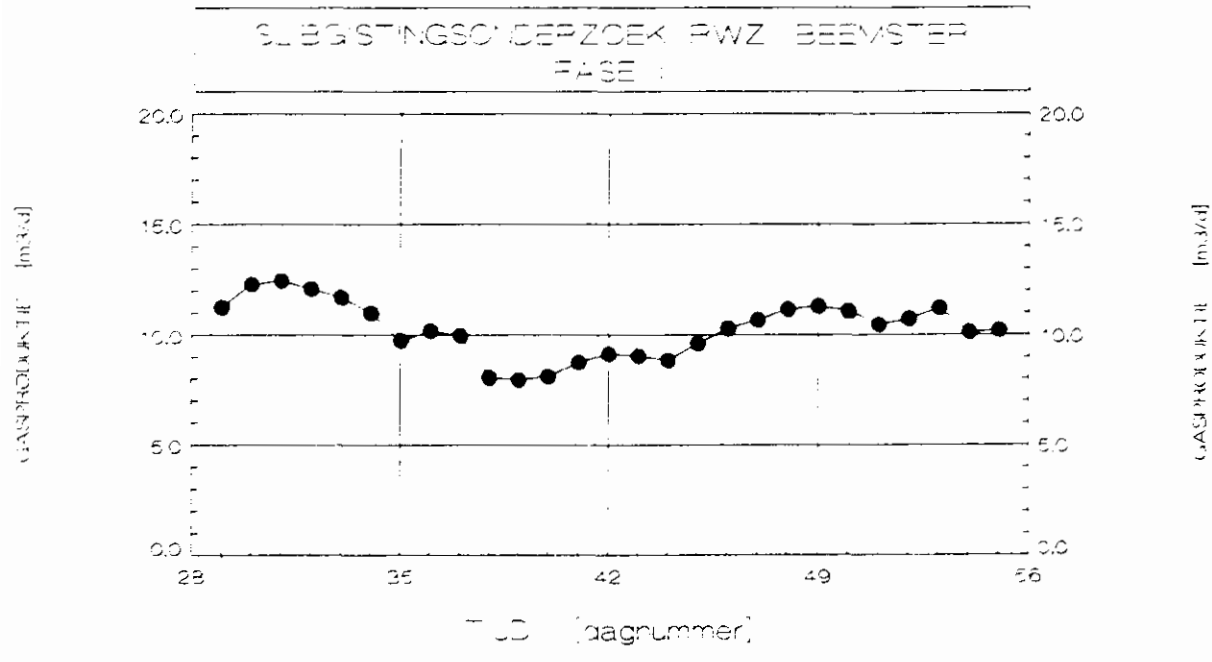
De resultaten van fase I zijn grafisch weergegeven in de figuren 6 en 7. In tabel 16 zijn de drogestof- en organische-drogestofbalans weergegeven. In tabel 17 zijn de belangrijkste kentallen van het slibgistingsproces samengevat.

Tabel 16 Berekeningen van fase I

FASE I					
periode van 13-08-1987 tot 09-09-1987 (28 dagen)					
inhoud tank aanvang		1472 kg ds		906 kg ods	
inhoud tank eind		1198 kg ds		738 kg ods	
verschil	-/-	9,8 kg ds/d	-/-	6,0 kg ods/d	
aanvoer		75,0 kg ds/d		51,4 kg ods/d	
afvoer		52,4 kg ds/d		32,3 kg ods/d	
verschil		22,6 kg ds/d		19,1 kg ods/d	
afbraak		32,4 kg ds/d		25,1 kg ods/d	
ods-afbraakpercentage		63 %		49 %	
gasproduktie				10,3 m3/d	
spec. gasproduktie per kg ods toegevoerd				200 l/kg ods	
spec. gasproduktie per kg ods afgebroken				360 l/kg ods'	
aanvoer		3,5 m3/d			
hydraulische verblijftijd		23,4 d			
drogestofbelasting		0,9 kg ds/(m3.d)			
organische ds-belasting		0,6 kg ds/(m3.d)			



Figuur 6 (O.)d.s.-belasting versus de tijd (fase I)



Figuur 7 Gasproduktie versus de tijd (fase I)

Tabel 17 Meetgegevens van fase I

FASE I				
periode van 13-08-1987 tot 09-09-1987 (28 dagen)				
		gem.	min.	max.
ingedikt slib				
indamprest	[%]	2,17	1,70	2,48
gloeirest	[%]	31,5	29,4	34,4
zuurgraad	[pH]	6,6	6,3	6,7
uitgegist slib				
indamprest	[%]	1,42	1,12	1,94
gloeirest	[%]	38,3	35,8	42,3
zuurgraad	[pH]	6,9	6,8	7,0
inhoud gistingstank				
indamprest	[%]	1,55	1,37	1,80
gloeirest	[%]	38,6	36,9	40,7
zuurgraad	[pH]	6,9	6,8	7,0
temperatuur	[°C]	33,2	32,7	33,7

Uit de genoemde figuren, tabellen en andere waarnemingen blijkt dat:
- de gasproduktie binnen twee weken na het begin van fase I ruim 30 % is gedaald van circa 12 m3/d tot circa 8 m3/d. Deze daling bleek niet een gevolg van een lagere belasting te zijn, doch werd veroorzaakt door de slechte menging in de slibgistingstank. Onderin de gistingstank bedroeg de drogestofcencentratie circa 2,5 %, terwijl in het midden en bovenin de gistingstank drogestofconcentraties van 0,5 tot 1,5 % werden gemeten. Bovendien daalde de procestemperatuur onderin de gistingstank met circa 2 tot 3 °C. Na een wijziging van de slibinvoerconstructie bleek de gasproduktie zich te herstellen. De inhoud van de slibgistingstank bleef echter ontmengd, zij het in mindere mate dan voorheen. De in tabel 16 weergegeven procesresultaten zijn derhalve niet bereikt onder optimale condities;
- ondanks de vermelde mengproblemen de stabiliteit van het systeem gehandhaafd bleef. De pH daalde 0,2 eenheid, doch herstelde zich na wijziging van de slibinvoerconstructie tot pH 6,9. Het vetzuurgehalte bleef met een concentratie < 400 mg/l op een laag niveau;

- gedurende fase I de gemiddelde afbraak van organische stof ruim 50 % bedroeg. De verschillen die voortkomen uit de berekeningen van de drogestof- en organische-drogestofbalans zijn besproken bij fase 0.
  Het vrij grote verschil tussen de afbraakpercentages van fase 0 en I is wellicht verklaarbaar vanuit de overgang van primair/secundair naar alleen secundair slib (adaptatie aan andere substraatsamenstelling);
- het slibgistingsproces snel reageert op wisselingen in substraataanbod;
- als gevolg van een matig functionerend gravitatie-indikkingsproces de (organische-) drogestofbelasting van het systeem evenals in fase 0 circa 30 % tot 50 % lager was dan de bedoeling; -gedurende fase 1 geen schuimproblemen zijn waargenomen.

4.2.3 Resultaten fase II

In fase II is de HVT verlengd van 20 naar 30 dagen. Deze overgang vond binnen enkele dagen plaats. Ofschoon in eerste instantie voor deze fase acht weken waren gereserveerd, werden in verband met de integratie van de centrifuge hiervan slechts vier weken benut. Ondanks deze relatief korte periode (één HVT) bleek uit de resultaten dat een snelle "stabilisatie" optrad.

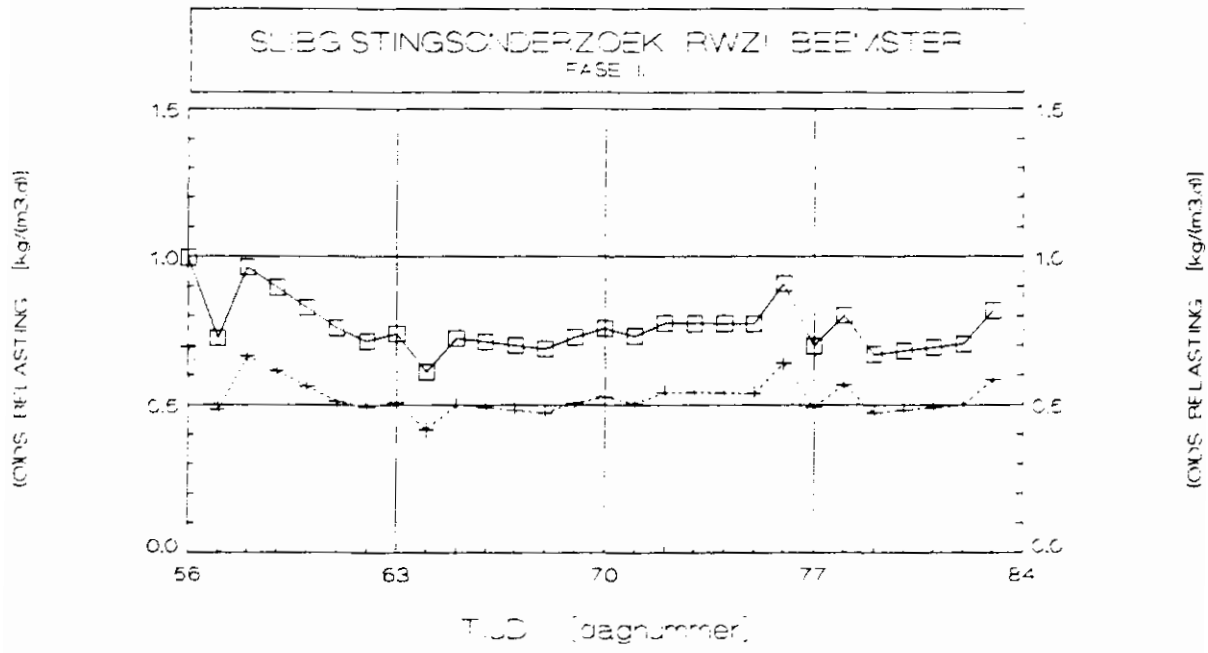
De resultaten van fase II zijn grafisch weergegeven in de figuren 8 en 9. In tabel 18 zijn weergegeven de drogestof- en organische-drogestofbalans. In tabel 19 zijn de belangrijkste kentallen van het slibgistingsproces samengevat.

Uit de genoemde figuren, tabellen en andere waarnemingen blijkt dat:
- de gasproduktie in korte tijd is gedaald tot een min of meer stabiele waarde van 9 m3/d. De daling van de gasproduktie aan het einde van fase II bleek een gevolg te zijn van een niet representatieve gasdebietmeting. De specifieke gasproduktie bleef in vergelijking met fase I op een min of meer gelijk niveau.
  De ontmenging van de inhoud van de slibgistingstank bleef ook in fase II bestaan, zodat de in tabel 18 berekende procesresultaten niet als optimaal mogen worden beschouwd;
- ondanks de vermelde mengproblemen de stabiliteit van het systeem gehandhaafd bleef. De zuurgraad bleef stabiel rond pH 6,9. Het vetzuurgehalte en de alkaliteit van het systeem bleven in vergelijking tot fase 1 op een gelijk en constant niveau;
- gedurende fase II de gemiddelde afbraak van organische stof ongeveer 50 % bedroeg. De verschillen die voortkomen uit de berekeningen van de drogestof- en organische-drogestofbalans zijn besproken bij fase 0;

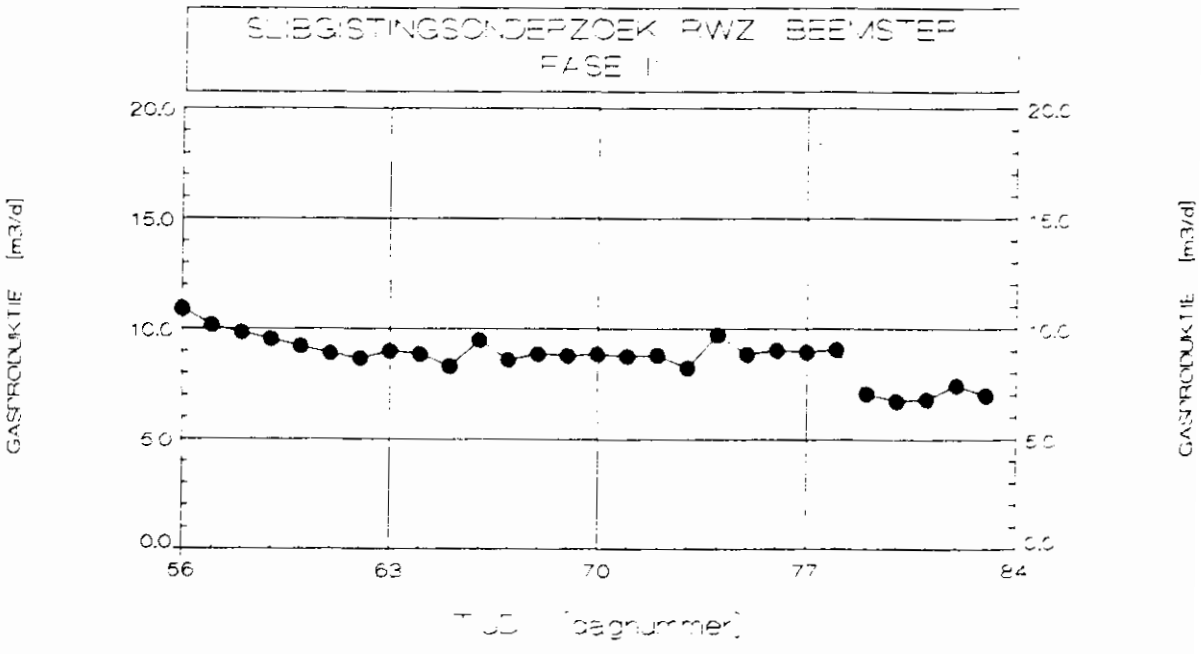
- de gasproduktie kan worden gecorreleerd aan de (organische-) drogestofbelasting van het slibgistingsproces;
- de (organische-) drogestofbelasting op het systeem evenals in fase 0 en I circa 30 % tot 50 % lager was dan de bedoeling;
- geen procestechnische problemen zijn opgetreden.

Tabel 18 Berekeningen van fase II

FASE II		
periode van 09-09-1987 tot 06-10-1987 (28 dagen)		
inhoud tank aanvang	1198 kg ds	736 kg ods
inhoud tank eind	1202 kg ds	738 kg ods
verschil	0,1 kg ds/d	0,1 kg ods/d
aanvoer	63,2 kg ds/d	43,9 kg ods/d
afvoer	39,1 kg ds/d	24,0 kg ods/d
verschil	24,1 kg ds/d	19,9 kg ods/d
afbraak	24,0 kg ds/d	19,8 kg ods/d
ods-afbraakpercentage	55 %	45 %
gasproduktie		8,7 m3/d
spec. gasproduktie per kg ods toegevoerd		200 l/kg ods
spec. gasproduktie per kg ods afgebroken		400 l/kg ods'
aanvoer	2,8 m3/d	
hydraulische verblijftijd	29,4 d	
drogestofbelasting	0,8 kg ds/(m3.d)	
organische ds-belasting	0,5 kg ds/(m3.d)	



Figuur 8 (O.)d.s.-belasting versus de tijd (fase II)



Figuur 9 Gasproduktie versus de tijd (fase II)

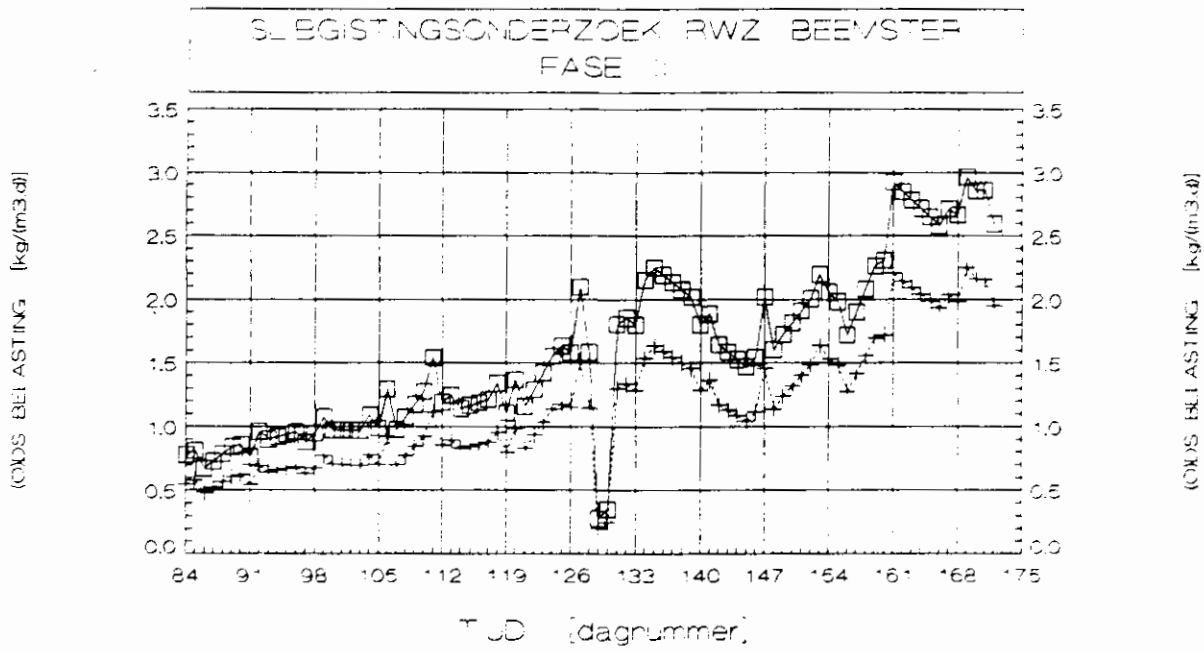
Tabel 19 Meetgegevens van fase II

FASE II				
periode van 09-09-1987 tot 06-10-1987 (28 dagen)				
		gem.	min.	max.
ingedikt slib				
indamprest	[%]	2,23	1,86	2,57
gloeirest	[%]	30,6	28,5	33,2
zuurgraad	[pH]	6,6	6,5	6,8
uitgegist slib				
indamprest	[%]	1,33	1,20	1,52
gloeirest	[%]	37,8	36,4	41,4
zuurgraad	[pH]	6,9	6,8	6,9
inhoud gistingstank				
indamprest	[%]	1,43	1,20	1,59
gloeirest	[%]	39,4	38,5	41,4
zuurgraad	[pH]	6,9	6,8	7,0
temperatuur	[°C]	34,3	33,1	35,2

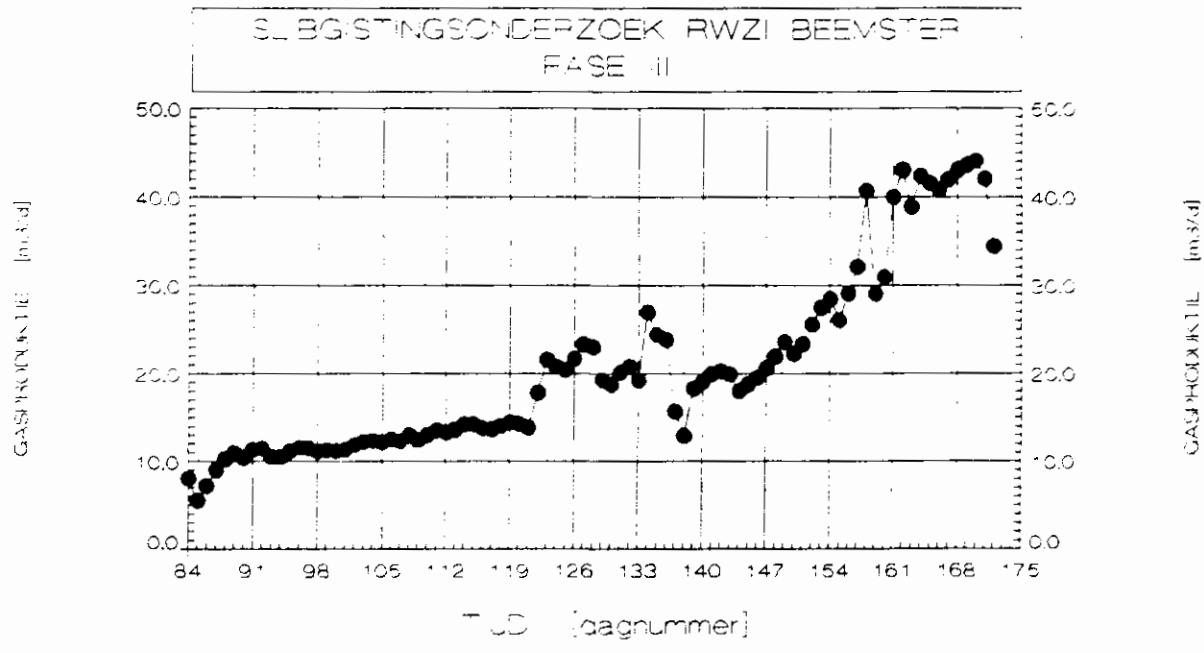
4.2.4 Resultaten fase III

In fase III is de HVT in zeven weken geleidelijk gereduceerd van ongeveer 30 tot ongeveer 10 dagen. De gewenste verhoging van de o.d.s. -belasting ten behoeve van de overgang van de vergisting van gravitatie-slib naar de vergisting van mechanisch ingedikt slib was daarmee bereikt. De in het onderzoeksprogramma vastgestelde resterende onderzoeksperiode voor fase III van circa zes weken bleek echter onvoldoende om in deze fase nog een evenwichtstoestand te bereiken. Uit de resultaten blijkt evenwel dat het slibgistingsproces bij een gemiddelde HVT van 10 dagen nog steeds goed functioneert.

De resultaten van fase III zijn grafisch weergegeven in de figuren 10 en 11. In tabel 20 zijn de drogestof- en organische drogestofbalans weergegeven. In tabel 21 zijn de belangrijkste kentallen van het slibgistingsproces samengevat.



Figuur 10 (O.)d.s.-belasting versus de tijd (fase III)



Figuur 11 Gasproduktie versus de tijd (fase III)

Tabel 20 Berekeningen van fase III

FASE III				
periode van 07-10-1987 tot 05-01-1988 (91 dagen)				
inhoud tank aanvang	1173	kg ds	745	kg ods
inhoud tank eind	1724	kg ds	1178	kg ods
verschil	6,1	kg ds/d	4,8	kg ods/d
aanvoer	130,3	kg ds/d	95,2	kg ods/d
afvoer	92,9	kg ds/d	61,3	kg ods/d
verschil	37,4	kg ds/d	33,9	kg ods/d
afbraak	31,3	kg ds/d	29,1	kg ods/d
ods-afbraakpercentage	33	%	31	%
gasproduktie			20,4	m3/d
spec. gasproduktie per kg ods toegevoerd			210	l/kg ods
spec. gasproduktie per kg ods afgebroken			660	l/kg ods
aanvoer	6,1	m3/d		
hydraulische verblijftijd	13,5	d		
drogestofbelasting	1,6	kg ds/(m3.d)		
organische ds-belasting	1,1	kg ds/(m3.d)		

Uit de genoemde figuren, tabellen en andere waarnemingen blijkt dat:
- de gasproduktie tijdens fase III is gestegen van circa 10 m3/d tot ruim 40 m3/d. Deze stijging is recht evenredig met de organische-drogestofbelasting. De lage gasproduktie aan het begin van fase III bleek een gevolg te zijn van een niet geheel representatieve gasdebietmeting (zie ook bespreking resultaten fase II). De gemiddelde specifieke gasproduktie op basis van toegevoerde organische drogestof bleef in vergelijking met fase I en II op een min of meer gelijk niveau;
- ondanks de mengproblemen de stabiliteit van het systeem gehandhaafd bleef. De pH bleef stabiel rond 6,9. Het vetzuurgehalte van het systeem bleef op een laag niveau met concentraties < 500 mg/l en de alkaliteit steeg enigzins;
- gedurende fase III de gemiddelde afbraak van organische stof circa 30 % bedroeg. De verschillen die voortkomen uit de berekeningen zijn eerder bij de resultaten van fase 0 besproken;

De afbraak van organische stof in de loop van fase III nam geleidelijk af van circa 50 % (einde fase II) tot circa 25 % aan het einde van fase III. Het relatief lage afbraakpercentage van 25 % is hoogstwaarschijnlijk mede veroorzaakt door de combinatie van een zeer snelle stijging van de belasting en een korte HVT (circa 10 d) tijdens de laatste twee weken van fase III. Met uitzondering van deze periode bedroeg het gemiddelde afbraakpercentage over de eerste elf weken van fase III 35 tot 40 %;

- de (organische) drogestofbelasting van het systeem evenals in fase 0, I en II circa 30 % tot 50 % lager was dan verwacht. Dit werd nog steeds veroorzaakt door de lage drogestofconcentratie van het gravitatie-ingedikte slib. Gedurende de laatste twee weken van fase III nam het drogestofgehalte van het gravitatie-ingedikte slib toe tot ruim 2,5 %, zodat de belasting op de gistingstank bij gelijkblijvende HVT evenredig toenam;
- de gasproduktie kan worden gecorreleerd aan de (organische-) drogestofbelasting van het slibgistingsproces.

Tabel 21 Meetgegevens van fase III

FASE III				
periode van 07-10-1987 tot 05-01-1988 (91 dagen)				
		gem.	min.	max.
ingedikt slib				
indamprest	[%]	2,17	1,44	3,04
gloeirest	[%]	27,3	24,1	29,5
zuurgraad	[pH]	6,6	6,2	6,9
uitgegist slib				
indamprest	[%]	1,55	1,35	2,27
gloeirest	[%]	34,1	30,5	37,8
zuurgraad	[pH]	6,9	6,7	7,0
inhoud gistingstank				
indamprest	[%]	1,45	1,10	2,09
gloeirest	[%]	35,3	31,1	39,3
zuurgraad	[pH]	6,9	6,8	7,0
temperatuur	[°C]	34,1	32,6	35,4

Met het oog op een goede menging van de inhoud van de slibgistingstank is tegen het eind van fase III een gascompressor in bedrijf genomen. De capaciteit van deze compressor was voldoende om een specifieke gasinbreng van 4 Nm3/(m2.h) te realiseren.

In eerste instantie werd het aantal draaiuren op 24 h/d vastgesteld. Al vrij snel daarna ontstond er op de gistende massa een "mousse" met een soortelijke massa van 0,65 kg/l. Op basis van deze constatering werd het aantal draaiuren drastisch verminderd.

Aan het begin van fase IV bleek echter dat de mousse-vorming zich had voortgezet en het gistingsgas via de afvoeropening van het uitgegist slib ontsnapte, waardoor de druk van het systeem verdween. Na dit voorval is het aantal draaiuren van de compressor nog verder gereduceerd tot slechts twee maal 10 minuten per dag. De problemen van schuimvorming hebben zich daarna niet meer gemanifesteerd, terwijl de inhoud van de gistingstank goed gemengd bleef. Daarbij dient echter te worden opgemerkt dat de twee mengpompen continu in bedrijf bleven. De gasinblazing vond plaatst op één punt onderin de gistingstank.

In fase III is verschillende malen een aantal analyses uitgevoerd op het gravitatie-ingedikte- en uitgegiste slib. In tabel 22 zijn de resultaten samengevat. De weergegeven cijfers zijn afgerond. In tabel 22 is uitgegaan van de door DHV en AGA bepaalde (gemiddelde) gassamenstelling.

Op basis van de gegevens in tabel 22 kan worden berekend dat in fase III de specifieke gasproduktie 470 l gistingsgas of 300 l CH_4 per kg verwijderde CZV bedroeg bij een CZV-omzetting van circa 30 %. Het aandeel N_2 in het gistingsgas bedroeg circa 2 %.

Tabel 22 Analysegegevens van fase III

FASE III			
periode van 07-10-1987 tot 06-01-1988 (91 dagen)			
10 monsters		ingedikt	uitgegist
CZV	[mg/l]	23.800	15.700
Nkj concentratie	[mg/l]	1.400	1.200
Ptot concentratie	[mg/l]	460	420
spec. CZV inhoud	[g/kg ods]	1.550	1.550
spec. Nkj inhoud	[g/kg ods]	90	120
spec. Ptot inhoud	[g/kg ods]	30	40
aanvoer CZV-ods	[kg/d]	148	
afvoer CZV-ods	[kg/d]	95	
berging CZV-ods	[kg/d]	7	
afbraak CZV-ods	[kg/d]	45 =======> 31%	
gasproduktie	[m3/d]	20,4	
CH4-gehalte	[%]	65 (55 - 81)	
spec. CH4-prod.	[l/kg CZV']	300	

4.2.5 Resultaten fase IV

In fase IV is voor de indikking van het spuislib een decanteercentrifuge toegepast. Gedurende drie maanden is deze centrifuge bedreven zonder toepassing van een vlokhulpmiddel (fase IV-1). Om de capaciteit van de centrifuge te verhogen, is nog anderhalve maand met een vlokhulpmiddel gewerkt (fase IV-2).

Bij aanvang van fase IV is de (organische-) drogestofbelasting van het slibgistingsproces gelijk gehouden aan de belasting op het einde van fase III. Dit resulteerde in een verhoging van de HVT van circa 10 tot 25 à 30 dagen.
Daarna is in principe getracht de belasting op het slibgistingsproces met een constante snelheid te verhogen. Gedurende een periode van acht weken werd een stijging van circa 3 tot circa 6 kg d.s./(m3.d) gerealiseerd. Na deze periode was de maximale capaciteit van de centrifuge onder de gegeven condities bereikt. Daarna is gedurende een periode vier weken de gemiddelde belasting min of meer constant gehouden.

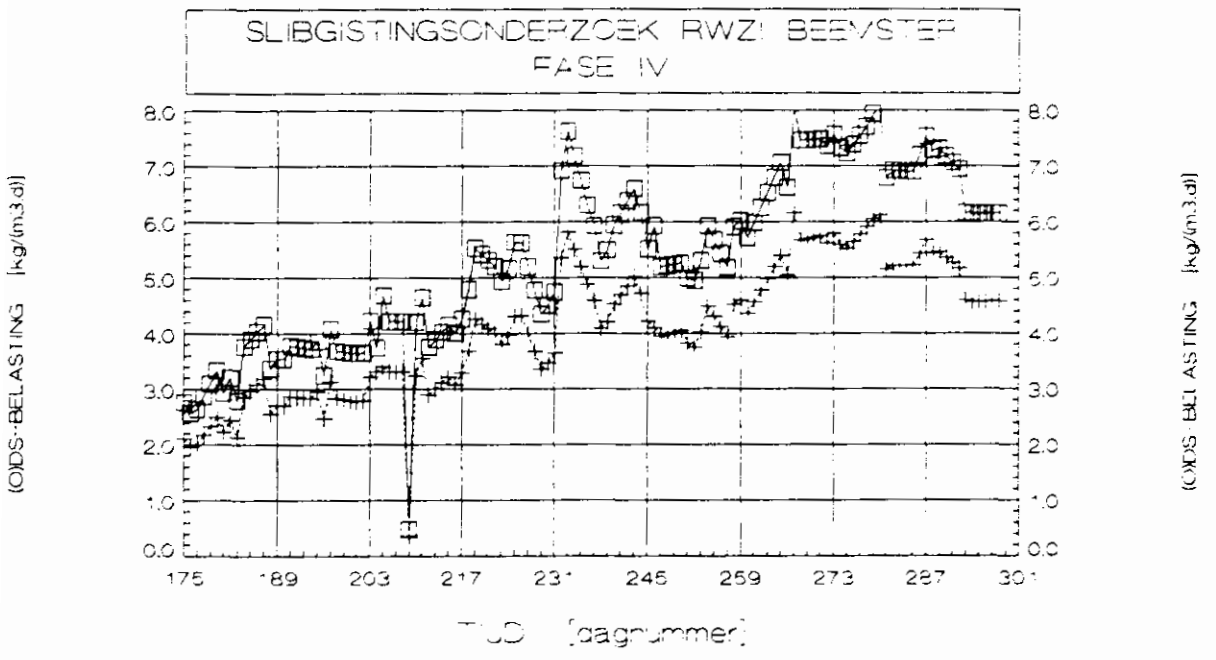
Van een stabiele evenwichtssituatie kon echter niet worden gesproken aangezien de opbouw van (organische-) drogestof in de slibgistingstank tijdens deze periode nog niet was geëindigd. Hiermee is bij de opstelling van alle balansen rekening gehouden.

Nadat er een PE-installatie was aangesloten, kon de belasting op het slibgistingssysteem verder worden opgevoerd tot maximaal 8 kg d.s./(m3.d). In verband met de beperkte tijd kon de maximale capaciteit van het slibgistingsproces niet worden vastgesteld.

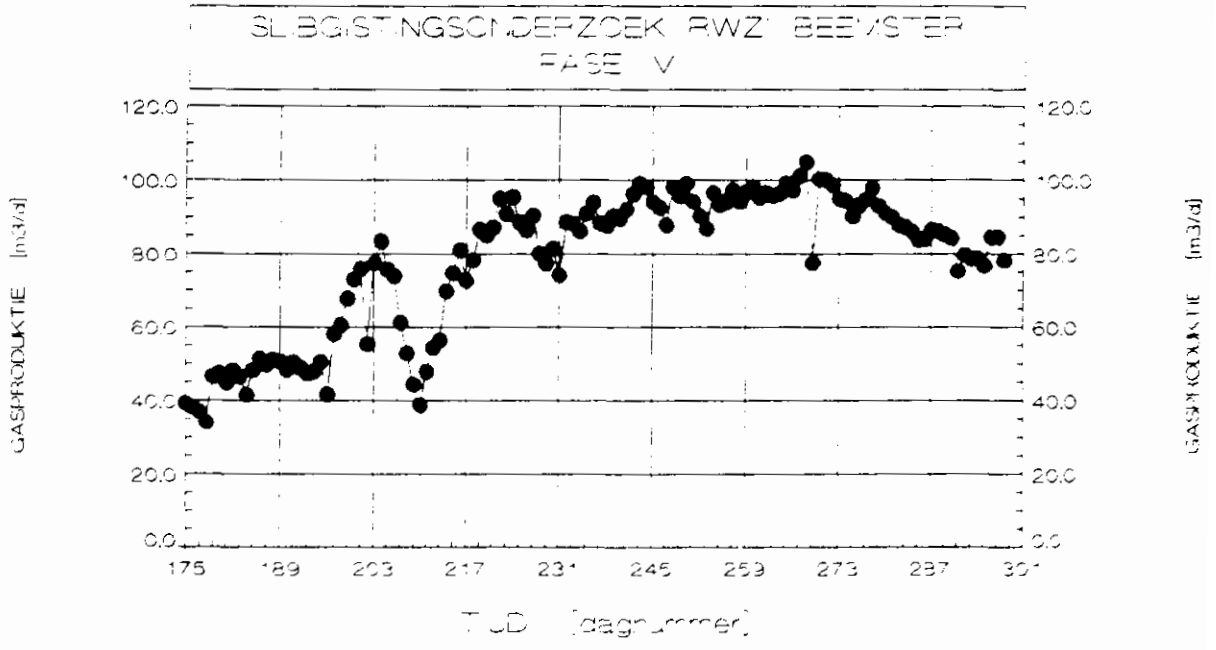
De resultaten van fase IV-1 zijn grafisch weergegeven in de figuren 12 en 13. In tabel 23 zijn de drogestof- en organische-drogestofbalans en in tabel 24 zijn de kentallen van het slibgistingsproces over de periode zonder PE weergegeven.

Tabel 23 Berekeningen van fase IV-1

FASE IV (zonder toepassing van PE)		
periode van 06-01-1988 tot 29-03-1988 (84 dagen)		
inhoud tank aanvang	1716 kg ds	1181 kg ods
inhoud tank eind	3730 kg ds	2574 kg ods
verschil	24,0 kg ds/d	16,6 kg ods/d
aanvoer	380,3 kg ds/d	291,1 kg ods/d
afvoer	213,5 kg ds/d	146,4 kg ods/d
verschil	166,8 kg ds/d	144,7 kg ods/d
afbraak	142,8 kg ds/d	128,1 kg ods/d
ods-afbraakpercentage	49 %	44 %
gasproduktie		72,2 m3/d
spec. gasproduktie per kg ods toegevoerd		250 l/kg ods
spec. gasproduktie per kg ods afgebroken		530 l/kg ods'
aanvoer	5,6 m3/d	
hydraulische verblijftijd	14,8 d	
drogestofbelasting	4,6 kg ds/(m3.d)	
organische ds-belasting	3,5 kg ds/(m3.d)	



Figuur 12 (O.)d.s.-belasting versus de tijd (fase IV)



Figuur 13 Gasproduktie versus de tijd (fase IV)

Tabel 24 Meetgegevens van fase IV-1

FASE IV (zonder toepassing van PE)			
periode van 06-01-1987 tot 30-03-1988 (84 dagen)			
	gem.	min.	max.
aktief slib (Carrousel)			
droogrest [g/l]	3,01	1,65	4,66
gloeirest [%]	25,4	22,7	28,0
verdunde slibindex [ml/g]	240	160	440
spuislib (retourslibvijzels)			
droogrest [g/l]	4,23	2,66	5,39
zuurgraad [pH]	7,1	6,7	7,3
ingedikt slib (indikkers)			
indamprest [%]	2,03	0,48	3,72
ingedikt slib (centrifuge)			
indamprest [%]	7,29	4,11	9,97
gloeirest [%]	23,6	22,5	27,5
centraat			
droogrest [g/l]	0,60	0,01	2,44
uitgegist slib			
indamprest [%]	3,86	2,05	5,15
gloeirest [%]	31,4	29,8	33,0
inhoud gistingstank			
indamprest [%]	3,66	2,09	4,59
gloeirest [%]	31,6	30,2	33,1

In tabel 25 zijn de drogestof- en organische-drogestofbalans weergegeven en in tabel 26 zijn de kentallen van het slibgistingsproces over de periode met toepassing van PE samengevat.

Tabel 25 Berekeningen van fase IV-2

FASE IV (met toepassing van PE)				
periode van 30-03-1988 tot 09-05-1988 (40 dagen)				
inhoud tank aanvang	3797	kg ds	2643	kg ods
inhoud tank eind	3925	kg ds	2720	kg ods
verschil	3,2	kg ds/d	1,9	kg ods/d
aanvoer	578,0	kg ds/d	437,8	kg ods/d
afvoer	369,4	kg ds/d	256,8	kg ods/d
verschil	208,6	kg ds/d	181,0	kg ods/d
afbraak	205,4	kg ds/d	179,1	kg ods/d
ods-afbraakpercentage	47	%	41	%
gasproduktie			90,2	m3/d
spec. gasproduktie per kg ods toegevoerd			210	l/kg ods
spec. gasproduktie per kg ods afgebroken			470	l/kg ods'
aanvoer	7,6	m3/d		
hydraulische verblijftijd	10,9	d		
Drogestofbelasting	7,0	kg ds/(m3.d)		
organische ds-belasting	5,3	kg ds/(m3.d)		

Uit de genoemde figuren, tabellen en andere waarnemingen blijkt dat:
- de gasproduktie tijdens fase IV is gestegen tot ruim 100 m3/d, hetgeen overeenkomt met ruim 1,2 m3 per m3 inhoud per dag. De stijging van de gasproduktie loopt recht evenredig met de stijging van de (organische-) drogestofbelasting. De gemiddelde specifieke gasproduktie op basis van toegevoerde organische drogestof steeg *in vergelijking met fase I t/m III circa 20 %. Deze stijging is* hoogstwaarschijnlijk veroorzaakt door:

  . een betere mechanische menging van de inhoud van de gistingstank door de plaatsing van een gascompressor (ondanks lage frequentie) en een betere "biologische" menging als gevolg van de hoge gasproduktie in de tank. De gasproduktie is in vergelijking tot de fasen I t/m III in fase IV toegenomen met een factor 2 tot 10;

. een niet geheel correcte meting van de spuislibconcentratie, en derhalve een foute berekening van de (organische-) drogestofbelasting van de decanteercentrifuge en het gistingsproces.

De meting van de spuislibconcentratie vond in eerste instantie plaats bij een speciaal daarvoor aanwezige constructie op de centrifuge. Omdat deze voorziening aanleiding gaf tot twijfel omtrent de representativiteit van de meting is ter controle een bemonsteringsapparaat bij de retourslibvijzels geïnstalleerd. Uit de vergelijking van de resultaten bleek de spuislibconcentratie circa 10 % hoger te zijn dan werd aangenomen. Dit verschil is overigens om reden van vergelijkbaarheid met andere metingen niet meer verwerkt in de gepresenteerde tabellen, maar betekent concreet:

+ dat meer slibdrogestof naar de gistingstank is gevoerd, die derhalve een hogere belasting heeft verwerkt;
+ de afbraak van organische-drogestof hoger en de specifieke gasproduktie lager ligt dan is berekend in tabel 23 en 25;

- in de laatste periode van fase IV waarin een vlokhulpmiddel is toegepast, de specifieke gasproduktie is gedaald van ruim 250 naar 210 l/kg o.d.s. toegevoerd. Ondanks een hogere belasting bleek zelfs de absolute gasproduktie te zijn gedaald. Bij dit verschijnsel wordt het volgende verondersteld 1):
  . in de eerste periode van fase IV is een aanzienlijke hoeveelheid organisch materiaal dat tijdens de voorgaande fasen als gevolg van de slechte menging was bezonken, "extra" vergist.
  . de micro-organismen dienen een zekere periode te gewennen aan het toegevoerde vlokhulpmiddel;
  . de viscositeit van het gistend materiaal is als gevolg van de vlokhulpmiddeldosering toegenomen, zodat de micro-organismen het substraat minder gemakkelijk kunnen bereiken;

- de stabiliteit van het proces gedurende geheel fase IV gehandhaafd is. De pH bleef stabiel rond 7,0, terwijl het vetzuurgehalte van het gistend slib continu op een laag niveau bleef. Zelfs bij hydraulische overbelastingen en sterk wisselende temperaturen bleef het systeem stabiel functioneren;

---

1) In verband met het strakke tijdschema kon geen van de veronderstellingen meer worden getoetst. Onderzoek hieromtrent is echter uitgevoerd door Kapp in Duitsland [14], die desgevraagd de hiervoor weergegeven veronderstellingen bevestigde.

- gedurende fase IV de gemiddelde afbraak van organische stof circa 45 % bedroeg.
  De verschillen die voortkomen uit de berekeningen van de drogestof- en organische-drogestofbalans zijn besproken bij fase 0. Opvallend is dat de afbraak van organische stof in de loop van fase IV vrij constant is gebleven, ondanks de sterk opgevoerde (organische-) drogestofbelasting.

Bij de aanvang van fase IV werd omgeschakeld van gravitatie-ingedikt slib op mechanisch ingedikt slib. De toevoer van gravitatie-ingedikt slib vond rechtstreeks plaats bovenin de gistingstank. Het mechanisch ingedikte slib werd in verband met de hoge concentratie via de slibrecirculatieleiding vóór de warmtewisselaar in de gistingstank gebracht.

Deze wijziging had tot gevolg dat in de eerste week van fase IV de temperatuurregeling moest worden bijgesteld om de beoogde procestemperatuur van 33 °C te kunnen handhaven. Voordat dit was geregeld bleek de procestemperatuur binnen enkele dagen achtereenvolgens te zijn gestegen van 33 tot 39 °C, te zijn gedaald tot 29 °C, om uiteindelijk weer op 33 °C te eindigen.
Ondanks deze grote temperatuurschommelingen konden geen nadelige consequenties worden geconstateerd.

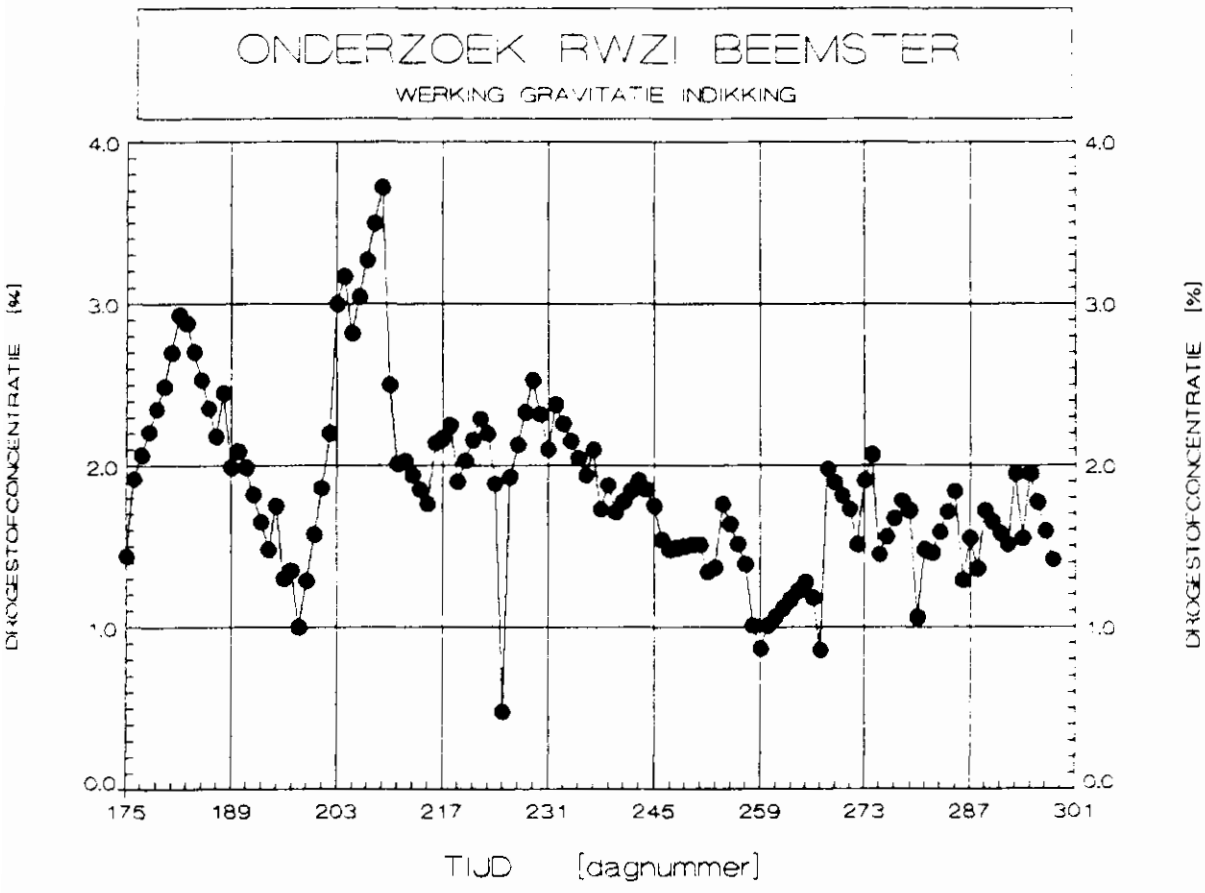
Als gevolg van sliboverstorten uit de nabezinktanks van de rwzi Beemster varieerde regelmatig de actiefslibconcentratie en dientengevolge ook de spuislibconcentratie. Aangezien de instelling van de centrifuge (verschiltoerental) handmatig werd verzorgd, kon in sterk wisselende situaties niet altijd een optimaal resultaat worden verkregen. Als gevolg van bijvoorbeeld een langdurige regenbui in een weekend nam de spuislibconcentratie zover af, dat de drogestofconcentratie van het ingedikt slib nog maar 2 tot 4 % bedroeg in plaats van de beoogde 7 tot 8 %. Daardoor nam het ingedikt-slibdebiet toe met een factor 2 tot 4 en nam de ingestelde HVT met een factor 2 tot 4 af. Tijdens het onderzoek is een soortgelijke situatie een aantal keren opgetreden en spoelde een aanzienlijk percentage van de in de slibgistingstank aanwezige biomassa uit.
Desondanks was het slibgistingsproces iedere keer weer in staat om binnen enkele dagen een dergelijke hydraulische overbelasting te verwerken.

In figuur 14 zijn voor de volledigheid de resultaten van de gravitatie-indikking tijdens fase IV weergegeven. Daaruit blijkt dat met uitzondering van de beginperiode van fase IV de indikking als zeer matig moet worden bestempeld. Het gemiddelde drogestofgehalte lag tussen 1,5 en 2,0 %.

Dit betekent dat bij een gelijke HVT het benodigde slibgistingsvolume bij toepassing van mechanisch indikking slechts 25 % bedraagt van het benodigde gistingsvolume bij gravitatie indikking.

Tabel 26 Meetgegevens van fase IV-2

FASE IV-2 (met toepassing van PE)				
periode van 30-03-1987 tot 09-05-1988 (40 dagen)				
		gem.	min.	max.
aktief slib				
droogrest	[g/l]	3,91	2,97	5,02
gloeirest	[%]	26,8	25,2	29,9
verdunde slibindex	[ml/g]	280	200	350
spuislib				
droogrest	[g/l]	4,91	3,87	5,36
zuurgraad	[pH]	6,9	6,9	7,1
ingedikt slib (indikkers)				
indamprest	[%]	1,53	0,86	2,07
ingedikt slib (centrifuge)				
indamprest	[%]	7,64	6,89	8,82
gloeirest	[%]	24,3	23,3	25,7
centraat				
droogrest	[g/l]	0,23	0,03	0,90
uitgegist slib				
indamprest	[%]	4,82	4,49	5,06
gloeirest	[%]	30,5	29,4	31,6
inhoud gistingstank				
indamprest	[%]	4,88	4,56	5,12
gloeirest	[%]	30,6	29,4	32,0



Figuur 14 Resultaat gravitatie-indikking versus de tijd (fase IV)

In fase IV is 15 maal een uitgebreid analysepakket uitgevoerd op het mechanisch ingedikte- en op het uitgegiste slib. In tabel 27 zijn de resultaten samengevat. De weergegeven cijfers zijn afgerond. In tabel 27 is uitgegaan van de door DHV en AGA bepaalde (gemiddelde) gassamenstelling.

Op basis van de gegevens in tabel 27 kan worden berekend dat in fase IV de specifieke gasproduktie 500 l gistingsgas of 330 l CH_4 per kg verwijderde CZV bedroeg bij een CZV omzetting van ruim 30 %. Het aandeel N_2 in het gistingsgas bedroeg circa 2 %. Dit resultaat komt overeen met het resultaat van fase III (zie tabel 22).

Tabel 27 Analysegegevens van fase IV

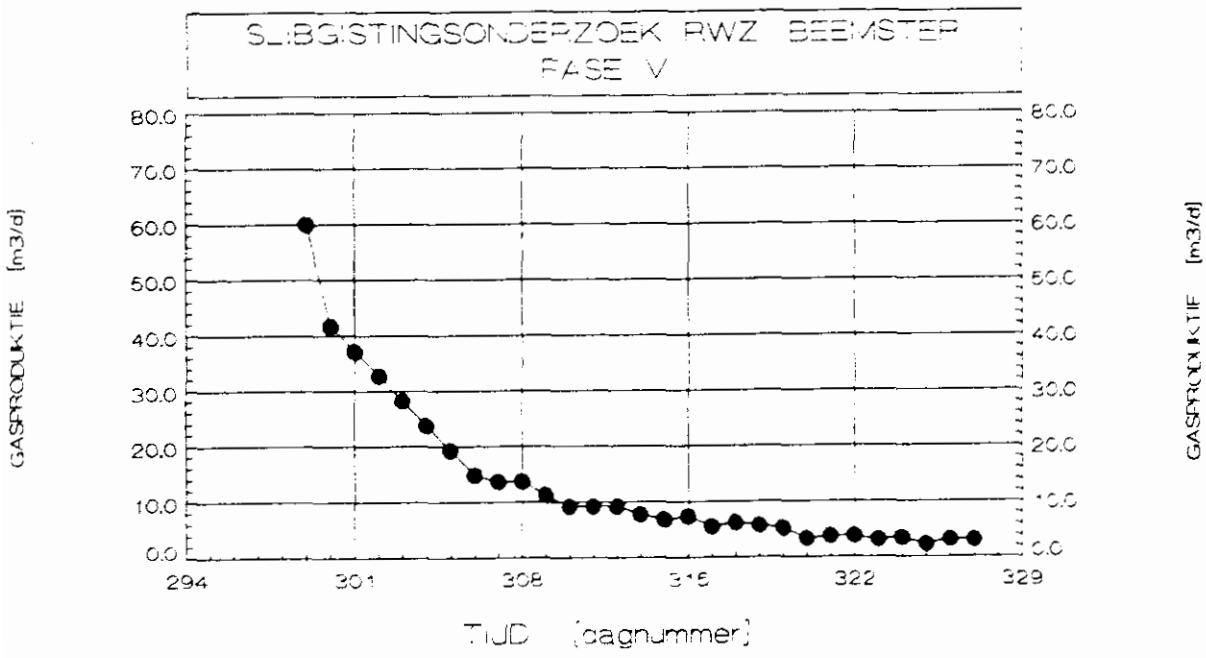
FASE IV			
periode van 06-01-1988 tot 09-05-1988 (124 dagen)			
15 monsters		ingedikt	uitgegist
CZV	[mg/l]	83.100	47.700
Nkj concentratie	[mg/l]	4.000	3.300
Ptot concentratie	[mg/l]	1.300	1.150
spec. CZV inhoud	[g/kg ods]	1.400	1.600
spec. Nkj inhoud	[g/kg ods]	70	110
spec. Ptot inhoud	[g/kg ods]	20	40
aanvoer CZV-ods	[kg/d]	462	
afvoer CZV-ods	[kg/d]	288	
berging CZV-ods	[kg/d]	20	
afbraak CZV-ods	[kg/d]	155	=======> 33%
gasproduktie	[m3/d]	78,0	
CH4-gehalte	[%]	65	
spec. CH4-produktie	[l/kg CZV]	330	

4.2.6 Resultaten fase V

Na fase IV is de toevoer naar de gistingstank gestopt. Gedurende vier weken is het slibgistingsproces gevolgd, zij het minder intensief dan in de fasen daarvoor.
De resultaten van fase V zijn grafisch weergegeven in figuur 15. In tabel 28 zijn de drogestof- en de organische-drogestofbalans van fase V weergegeven.

Tabel 28 Berekeningen van fase V

FASE V (Uitloopperiode)				
periode van 10-05-1988 tot 07-06-1988 (24 dagen)				
inhoud tank aanvang		3936 kg ds	2705	kg ods
inhoud tank eind		1940 kg ds	1239	kg ods
verschil = afbraak	-/-	83,2 kg ds/d	61,1	kg ods/d
ods-afbraakpercentage		74 %	54 %	



Figuur 17 Gasproduktie versus de tijd (fase V)

Uit figuur 17 en tabel 28 blijkt dat een nog aanzienlijke reduktie van organische drogestof plaatsvindt. Dit resultaat geeft aan dat bij lange HVT's hoge afbraakpercentages haalbaar zijn.
De verschillen die voortkomen uit de berekeningen van de drogestof- en organische-drogestofbalans komen in tabel 28 sterk tot uiting (zie bespreking bij resultaten fase 0 en paragraaf 4.2.7).

Gedurende fase V is de pH van het systeem langzaam gestegen van 7,1 naar 7,3.

4.2.7 Bijzonderheden

Substraat onthouding:

Na fase V is het systeem nogmaals gevoed met gravitatie ingedikt slib vanuit de slibindikker(s). De dosering was daarbij globaal gebaseerd op een HVT van 10 dagen, d.w.z. 8,3 m3 slib. Daarna is met behulp van een beperkt aantal metingen en analyses de reactie van het slibgistingsproces bestudeerd.

Uit de directe toename van de gasproduktie kon worden afgeleid dat het proces na de voeding weer functioneerde. Dit betekent dat het gistend slib (een deel van) zijn activiteit had behouden.

Zwavelwaterstof:

Na de beëindiging van het onderzoek is de inhoud van de gistingstank tweemaal geanalyseerd op zware metalen. Uit deze analyses bleek dat zich in het slib zeer hoge concentraties bevonden van:

- ijzer	10.000 - 12.000 mg/kg d.s.
- aluminium	9.000 - 11.000 mg/kg d.s.
- magnesium	5.500 - 5.800 mg/kg d.s.

Na inspectie van de lege aluminum gistingstank bleek de binnenwand evenals de slibtoevoerleiding te zijn aangetast.

Het bovenstaande is waarschijnlijk de verklaring voor het feit dat gedurende het gehele onderzoek het H2S gehalte in het gistingsgas niet hoger is geweest dan ± 500 ppm. Het zwavel is waarschijnlijk in vaste vorm als metaal-sulfide met het uitgegiste slib naar de lagunes afgevoerd.

Bezinking:

Tijdens de eerste drie fasen van het slibgistingsonderzoek is de slechte menging in de gistingstank een belangrijk aandachtspunt geweest. Bij de beoordeling van de onderzoeksresultaten is hierop ook gewezen. Zo zijn de uitkomsten van de drogestof- en organisch-drogestofbalans erdoor beïnvloed.

Als bezinking van zwaar anorganisch materiaal (zand) heeft plaatsgevonden, zijn de uitkomsten van de gepresenteerde balansen daaraan onderhevig via een niet juist gemeten gloeirest van het uitgegiste slib (te laag).

Na het slibgistingsonderzoek is de gistingstank leeg gemaakt en is het bodemresidu bemonsterd. Dit monster is geanalyseerd op indamprest, gloeirest en zandrest. Onderstaand zijn de uitkomsten van deze analyse weergegeven:

- indamprest	:	15,1 %
- gloeirest	:	76 % van de indamprest
- zandrest	:	57 % van de gloeirest

Uitgaande van de genoemde gloeirest, een dikte van de bodemsliblaag van circa 0,20 - 0,40 m en een oppervlak van de gistingstank van 20 m2 kan een bezonken hoeveelheid anorganisch materiaal van 460 tot 920 kg worden berekend. Ruim de helft van deze hoeveelheid wordt ingenomen door zand. De invloed daarvan op de uitkomsten van de gloeirestbepaling en derhalve de weergegeven (d.s.-) balansen is aanzienlijk.

4.3 Vergelijkend slibontwateringsonderzoek

4.3.1 Algemeen

Op 28 maart 1988 is bak A gevuld met circa 1.400 l. uitgegist slib. Op 5 april 1988 is bak B gevuld met circa 1.575 l. gravitatie-ingedikt slib. Teneinde de vergelijking zo representatief mogelijk te maken, is getracht de indikkingsgraad van het ingedikte slib zo hoog mogelijk te krijgen. Dit bleek in de praktijk als gevolg van het matige verloop van de gravitatie-indikking niet haalbaar.

Al vrij snel na aanvang van de proefneming bleek dat er geen percolatiewater vrijkwam en dat de verdere slibontwatering zou worden bepaald door verdamping (en neerslag).

De indamprest- en gloeirest van het slib in bak A bleek in de praktijk niet goed meetbaar. Als gevolg van de vorming van een bezinklaag en een drijflaag kon geen representatief monster worden verkregen. Derhalve zijn de berekeningen gebaseerd op de goed meetbare daling van de slibspiegel.
Visueel kon worden vastgesteld dat in bak A enige nagisting plaatsvond. Wellicht is dat ook de reden geweest van de drijflaagvorming. Deze drijflaag droogde snel in waardoor het verdampingsproces werd gehinderd.

4.3.2 Resultaten

In tabel 29 zijn de resultaten van het vergelijkend slibontwateringsonderzoek samengevat.

Uit de resultaten van het onderzoek kan worden geconcludeerd dat het uitgegiste en het ingedikte slib beide ontwateren tot een drogestofgehalte van circa 8 %. Dit resultaat stemt voor wat betreft het ingedikte slib overeen met de praktijkresultaten op de rwzi Beemster. Het genoemde resultaat dient vanwege de opzet en het verloop van de proef als indicatief te worden beschouwd.

Tabel 29 Samenvatting resultaten vergelijkend slibontwateringsonderzoek

SAMENVATTING VERGELIJKEND SLIBONTWATERINGSONDERZOEK			
periode van 28-03-1988 tot 02-06-1988			
		lagune A	lagune B
drogestofgehalte begin proef	[%]	4,5	1,3
volume begin proef	[l]	1395	1575
hoogte slibmassa	[cm]	62	70
volume einde proef	[l]	745	270
hoogte slibmassa	[cm]	33,5	12
volume afname percolatiewater	[l]	0	0
volume toename regenwater	[l]	165	165
volume afname verdamping	[l]	805	1470
berekend ds-geh. einde proef	[%]	8,3	7,6
gemeten ds-geh. einde proef	[%]	5	6
lagune A : uitgegist slib lagune B : ingedikt slib			

In fase III is regelmatig de CST (18 mm) bepaald van zowel gravitatie-ingedikt slib als uitgegist slib. De meetresultaten zijn samengevat in tabel 30.

Tabel 30 Samenvatting resultaten CST-proeven

SAMENVATTING RESULTATEN CST PROEVEN			
		ingedikt	uitgegist
drogestofgehalte	[%]	1,5 - 2,2	1,4 - 1,6
gemiddeld drogestofgehalte	[%]	1,9	1,5
gloeirest	[%]	27 - 29	33 - 36
gemidelde gloeirest	[%]	28	34
CST waarde	[s]	22 - 48	67 -119
gemiddelde CST waarde	[s]	33	83

Op basis van de uitkomsten van de CST proeven dient rekening te worden gehouden met een verminderde ontwaterbaarheid van het uitgegiste slib. Daarbij dient echter te worden opgemerkt dat bij de CST proef geen vlokhulpmiddel werd gebruikt, zodat over de mechanische ontwaterbaarheid nog niets definitief kan worden voorspeld.

Gezien de uitkomsten van het vergelijkend slibontwateringsonderzoek lijkt de verwerking van het uitgegiste slib in de lagunes in eerste instantie geen problemen op te leveren.

5 OVERZICHT EN EVALUATIE

Slibgistingsonderzoek

In tabel 31 zijn de belangrijkste resultaten van het praktijkonderzoek samengevat. In figuur 16 en 17 zijn de resultaten grafisch weergegeven.

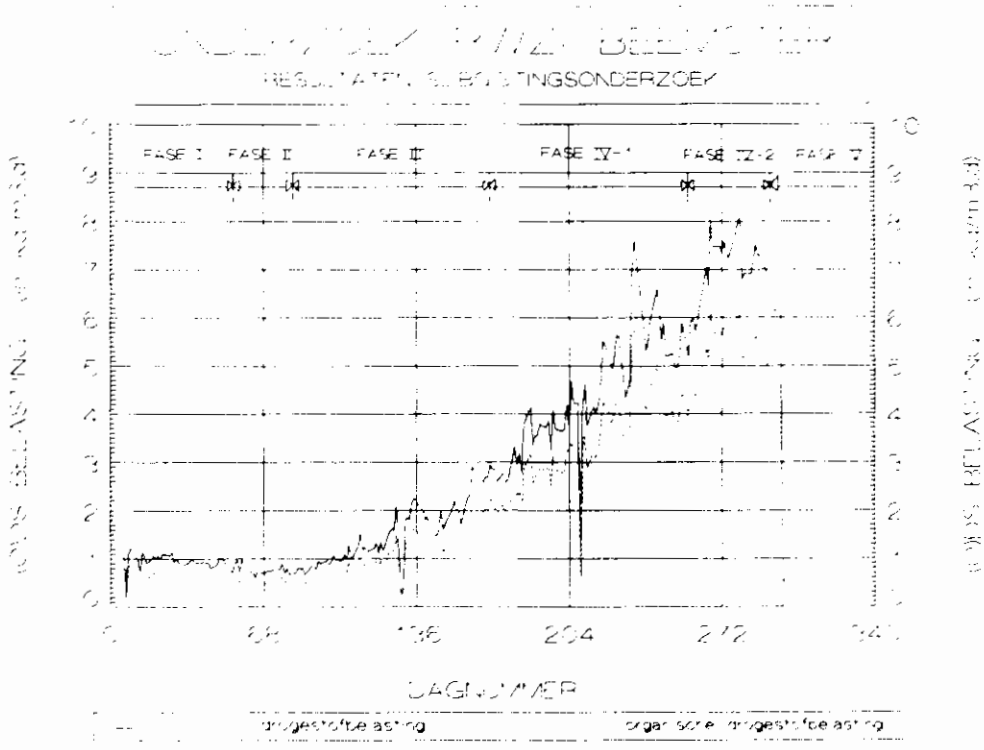
Tabel 31 Samenvatting resultaten slibgistingsonderzoek

SAMENVATTING FASE I t/m IV						
periode van 13-08-1987 tot 10-05-1988 (243 dagen)						
		* I	II	III	IV-1	IV-2
ds-belasting	kg/(m3.d)	0,9	0,8	1,6	4,6	7,0
ods-belasting	kg/(m3.d)	0,6	0,5	1,1	3,5	5,3
HVT	d	23,4	29,4	13,5	14,8	10,9
ods-afbraakperc.	%	56	50	32	47	44
gem. gasproduktie	m3/d	10,3	8,7	20,4	72,2	90,2
specifiek	l/kg ods	200	200	210	250	210
idem	l/kg ods'	360	400	660	530	470
ingedikt slibconc.	%	2,2	2,2	2,2	7,3	7,6
gloeirest	%	31,5	30,6	27,3	23,6	24,3
inh. gistingstank	%	1,5	1,4	1,5	3,7	4,9
gloeirest	%	38,5	38,6	34,7	31,5	30,5

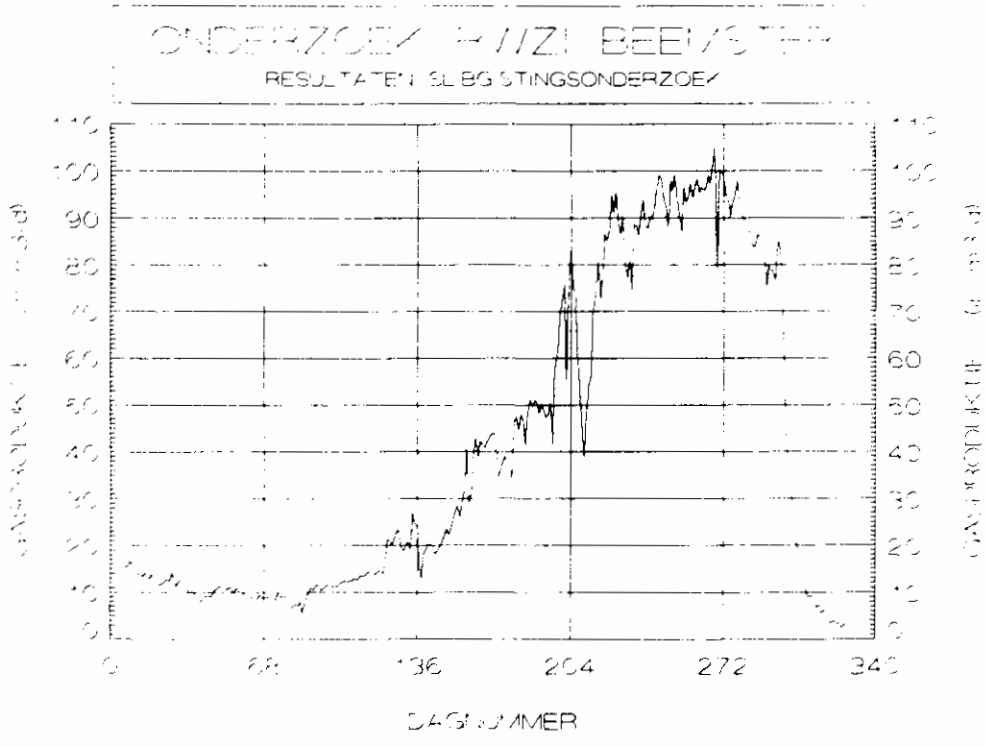
*) I t/m III : gravitatie indikking
IV-1 : mech. spuislibindikking zonder toepassing van PE
IV-2 : mech. spuislibindikking met toepassing van PE

Onder de in tabel 31 weergegeven procescondities wordt circa 40 tot 50 % van de toegevoerde organische drogestof afgebroken, terwijl de gasproduktie ongeveer 200 liter per kg toegevoerde organische drogestof en circa 400 tot 600 liter per kg afgebroken organische drogestof bedraagt.

Bij de interpretatie van de in tabel 31 gepresenteerde informatie dient rekening te worden gehouden met het feit dat de resultaten zijn beïnvloed door een slechte menging in de slibgistingstank. Als gevolg van bezinking van zwaar anorganisch materiaal is met name de gemeten gloeirest van het uitgegiste slib te laag.

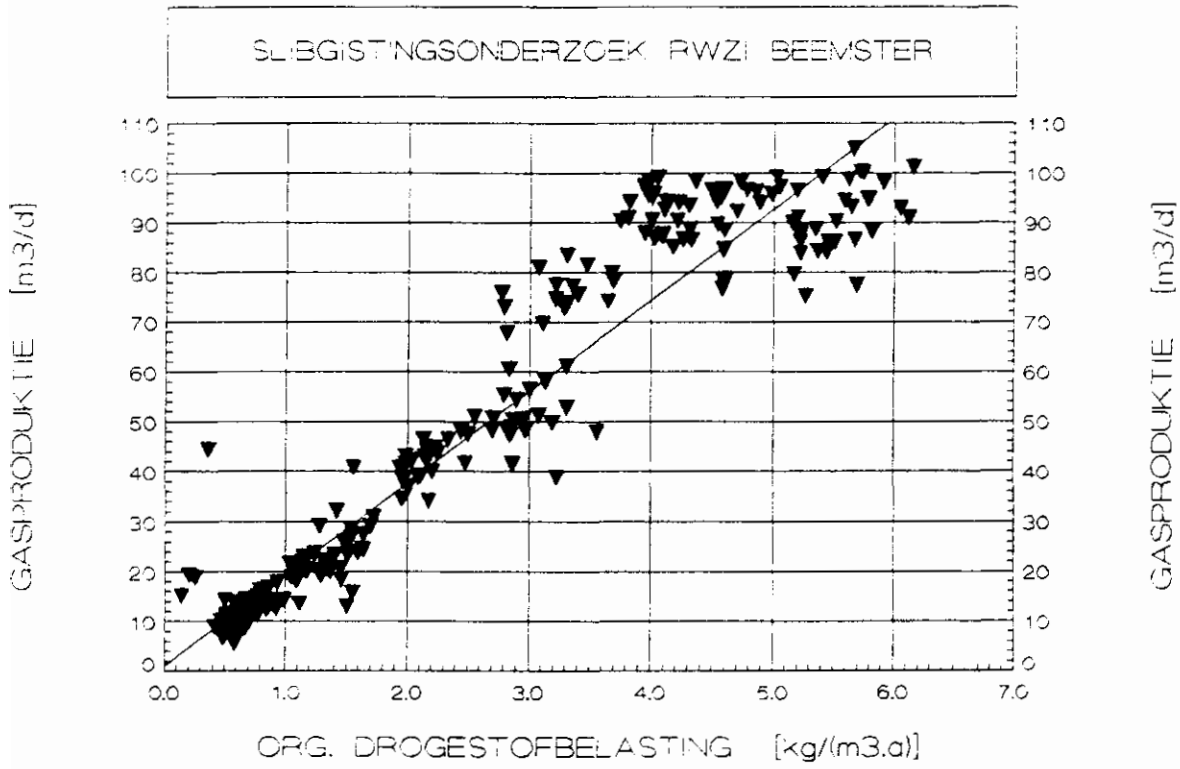


Figuur 16 Relatie (organische-) drogestofbelasting versus de tijd



Figuur 17 Relatie gasproduktie versus de tijd

In figuur 18 is de dagelijkse gasproduktie uitgezet als functie van de organische-drogestofbelasting. Uit deze figuur blijkt duidelijk dat bij een belasting van 3 tot 5 kg o.d.s./(m3.d) - de situatie in fase IV-1 - een extra gasproduktie plaatsvond als gevolg van de betere menging en opwoeling van "oud" substraat.



Figuur 18 Gasproduktie versus organische-drogestofbelasting

De weergegeven gasprodukties liggen op ongeveer 50 % van de gasprodukties die worden gevonden bij conventionele slibgistingsprocessen [15]. Het organische-drogestofafbraakpercentage van aëroob gestabiliseerd slib ligt gemiddeld op ruim 40 %, hetgeen overeen komt met het afbraakpercentage bij een conventioneel slibgistingsproces.

Tijdens het onderzoek is aangetoond dat het slibgistingsproces met secundair slib onder alle beproefde omstandigheden stabiel verloopt en zich in een korte tijd kan herstellen van temperatuurwisselingen en hydraulische en biologische schokbelastingen. Na een lange periode van substraatonthouding gaat de activiteit niet verloren.

Op basis van de resultaten in fase III en IV is berekend dat de gasproduktie per kg verwijderde CZV 300 tot 330 l bedraagt bij een CZV-afbraakpercentage van ruim 30 %.
Het geproduceerde gistingsgas had globaal de volgende samenstelling:

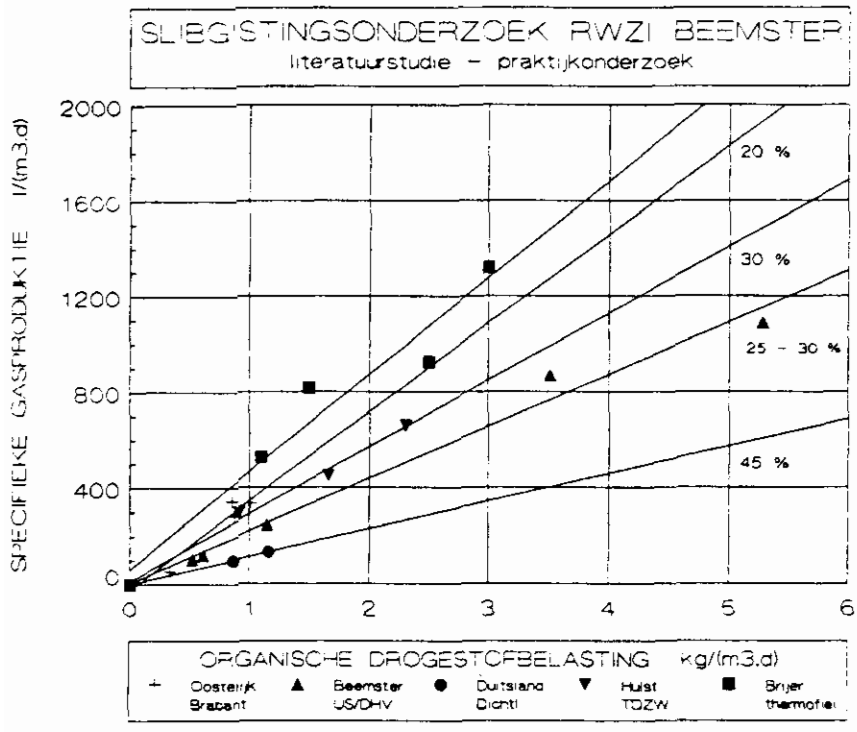
- CH4 - gehalte 60 - 65 %
- CO2 - gehalte 30 - 35 %
- N2 - gehalte ≈ 2 %
- H2S - gehalte ≤ 500 ppm

Daarbij dient te worden opgemerkt dat het relatief lage H2S gehalte waarschijnlijk werd veroorzaakt door de vastlegging van zwavel met zware metalen. De weergegeven samenstelling wijkt niet af van de samenstelling van het gistingsgas dat wordt verkregen bij conventionele slibgistingsprocessen.

In fase IV is aangetoond dat met behulp van gasinblazing de slibgistingstank bij relatief hoge drogestofconcentraties tot ruim 5 % goed kan worden gemengd. De geïnstalleerde inblaascapaciteit bedroeg 4 m3/(m2.h). Schuimvorming kan bij een intermitterende bedrijfsvoering en een lage toepassingsfrequentie in de hand worden gehouden.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat het gebruik van een vlokhulpmiddel mogelijk invloed heeft op de gasproduktie. Deze veronderstelling kon tijdens het onderzoek echter niet meer worden geverifieerd.
Uit onderzoek in Duitsland is bekend dat slibgistingsprocessen een zekere adaptatieperiode nodig kunnen hebben als vlokhulpmiddelen worden toegepast. Na deze periode komt de gasproduktie weer op een normaal niveau. Overigens geldt de beïnvloeding alleen bij bepaalde typen vlokhulpmiddelen.

De hiervoor aangegeven resultaten stemmen goed overeen met de resultaten die zijn verzameld in het kader van de vooraf uitgevoerde literatuurstudie.
In figuur 19 zijn de resultaten van de literatuurstudie gecombineerd met de onderzoekresultaten. Bij een zekere belasting blijkt een groot bereik aan specifieke gasprodukties mogelijk. Duidelijk is dat naarmate de gloeirest van het te vergisten materiaal hoger ligt, oftewel de aërobe stabilisatie verder toeneemt, de specifieke gasproduktie afneemt. Aan de rechterzijde van figuur 19 zijn de gloeiresten van de te vergisten slibben weergegeven.



Figuur 19 Specifieke gasproduktie versus belasting

Ontwerpgrondslagen:

Tijdens het onderzoek is gebleken dat een hydraulische verblijftijd van 10 dagen haalbaar is. Ofschoon in fase IV geen stationaire toestand werd bereikt, bleek uit de dagelijkse (organische-) drogestofbalansen dat het gistingsproces bij de genoemde HVT en een mechanische voorindikking nog volledig functioneerde.
Uit het literatuuronderzoek kwam naar voren dat onder laboratoriumomstandigheden zelfs een hydraulische verblijftijd van 6 dagen (o.d.s.-belasting 3,0 - 3,5 kg/(m3.d)) mogelijk was.

Bij de definitieve bepaling van de hydraulische verblijftijd en de organische-drogestofbelasting dienen echter de nodige reserves in acht te worden genomen. Deze reserves zijn noodzakelijk vanwege het (mogelijk) optreden van:
- een niet optimale menging met als gevolg:
  . temperatuurverschillen in de gistingstank;
  . bezinking van zwaar materiaal, waardoor het netto gistingsvolume afneemt;
- de aanwezigheid van inhibiterende en/of toxische stoffen;
- een (kortdurende) overbelasting als gevolg van onjuiste proces- of bedrijfsvoering van de voorindikking.

Er dient te worden vermeld dat de weergegeven resultaten specifiek zijn voor het slib van de rwzi Beemster. Afhankelijk van met name de specifieke samenstelling van het aangevoerde afvalwater en de procescondities op de rwzi, kan de samenstelling en derhalve de afbreekbaarheid van het aëroob gestabiliseerd spuislib van andere rwzi's aanmerkelijk afwijken (zie figuur 19).

Vergelijkend onderzoek naar de ontwateringseigenschappen van uitgegist en gravitatie-ingedikt slib

Uitgegist slib verliest in een lagune zijn water tot een drogestofgehalte dat vergelijkbaar is met de praktijkresultaten die op de rwzi Beemster worden bereikt met gravitatie-ingedikt spuislib.
Bij lagunering van uitgegist slib vindt enige nagisting plaats, waardoor een drijflaag ontstaat die de verdere ontwatering door verdamping belemmert.
Gezien het oriënterende karakter en de uitvoering van de proef dient het genoemde resultaat als indicatief te worden beschouwd.
Uit vergelijkende CST-proeven (zonder toevoeging van vlokhulpmiddelen) is namelijk gebleken dat uitgegist secundair slib minder goed *ontwatert dan gravitatie-ingedikt spuislib.*
Uit de literatuur is bekend dat door een slibgistingsproces de "deeltjesgrootteverdeling" van het slib verandert. Bij de vergisting van 100 % secundair slib blijkt een verschuiving in deeltjesgrootte op te treden in de richting van meer kleine deeltjes en minder grote deeltjes. Dit in tegenstelling tot de vergisting van primair slib (met eventueel een gering aandeel secundair slib), waarbij een verschuiving naar meer grote en minder kleine deeltjes optreedt [16].
Dit fenomeen heeft tot gevolg dat de ontwaterbaarheid van uitgegist secundair slib mogelijk minder goed zal zijn dan de ontwaterbaarheid van gravitatie-ingedikt slib .

6 CONCLUSIES

Op basis van de onderzoeksresultaten zijn de volgende conclusies geformuleerd.

- Anaërobe stabilisatie van aëroob gestabiliseerd slib is technisch mogelijk. Bij relatief korte hydraulische verblijftijden (10 dagen) en hoge (organische-) drogestofbelastingen (5,5 kg/(m3.d)) kunnen nog hoge o.d.s.-afbraakpercentages worden verkregen. Opgemerkt wordt dat een organische drogestofbelasting van circa 5,5 kg/(m3.d) alleen kan worden bereikt bij de toepassing van mechanische spuislibindikking.

- De specifieke gasproduktie per kg toegevoerde organische drogestof bedraagt ongeveer 200 l. Bij een afbraakpercentage van 40 % bedraagt de specifieke gasproduktie per kg verwijderde organische stof circa 500 l. Uitgedrukt in l per kg verwijderd CZV bedraagt de gasproduktie 300 tot 330 l bij een CZV-afbraakpercentage van ruim 30 %. Het geproduceerde gistingsgas heeft globaal de volgende samenstelling:
  - CH4 - gehalte 60 - 65 %
  - CO2 - gehalte 30 - 35 %
  - N2 - gehalte ≈ 2 %.

- Tijdens het onderzoek is aangetoond dat het slibgistingsproces met secundair slib onder alle onderzochte omstandigheden stabiel verloopt en zich in een korte tijd kan herstellen van temperatuurwisselingen en hydraulische en biologische schokbelastingen. Na een lange periode van substraatonthouding bleek het slib zijn activiteit te hebben behouden.

- Met het onderzoek is aangetoond dat met behulp van gasinblazing de slibgistingstank, ondanks hoge drogestofconcentraties (tot ruim 5 %) goed kan worden gemengd. Schuimvorming is bij intermitterend bedrijf en een lage toepassingsfrequentie in de hand te houden.

- Uitgegist slib ontwatert in een lagune tot een drogestofgehalte dat vergelijkbaar is met de praktijkresultaten die op de rwzi Beemster worden bereikt met gravitatie-ingedikt spuislib. Gezien enerzijds het oriënterende karakter van de proef en anderzijds de uitkomsten van CST-proeven dient het genoemde resultaat als indicatief te worden beschouwd.

7 LITERATUUR

[1] Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland
Eindrapportage: Semi-praktijkonderzoek anaërobe stabilisatie van secundair slib (Deel 1 - Beschrijving onderzoek en resultaten).
Amersfoort, November 1988 (concept)

[2] Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland
Eindrapportage: Semi-praktijkonderzoek anaërobe stabilisatie van secundair slib (Deel 2 - Bijlagen)
Amersfoort, November 1988 (concept)

[3] Garrison, W.E. et al
Pilot-plant study of waste activated sludge processing
Journal WPCF, October 1978, p. 2374 - 2387

[4] Dichtl, N.
Die stabilisation von Klärschlämmen unter besondere Berücksichtigung einer zweistufigen aeroben/anaeroben Prozeßführung
Schriftenreihe Siedlungswasserwirtschaft - SIWAWI
Bochum 1984 - Band 3

[5] Breijers, J.D. et al
Interpretation of thermophilic anaerobic digestion experiments using a dynamic structured model
Conservation & Recycling vol.8, nos. 1/2 1985, p. 251-266

[6] Malina, J.F. jr.
Thermal effects on completely mixed anaerobic digestion
Water & Sewage Works, January 1964, 52-56

[7] Malina, J.F. jr.
The effect on high-rate igestion of activate sludge
Proceedings of the 16 Industrial Waste Conference - 1961

[8] Tavery, M.A. /Nelson, J.
New problems can occur with anaerobic digestion
Waste & Wastes Engineering, December 1979, 14-15-47

[9] EPA
Process Design Manual Sludge Treatment and Disposal

[11] Hoogheemraadschap van Rijnland
Interne notitie: Bepaling van de hoeveelheid methaangas uit surplusslib afkomstig van actiefslibsysteem met verschillende slibbelastingen (1e deelrapportage)
Leiden, 26 mei 1983

[12] GTD Oost-Brabant
Interne notitie aangaande vergisting van secundair slib van de rwzi's Den Bosch, Schijndel, Asten en Vinkel
1978, 1979

[13] Technologische Dienst Zeeuwse Waterschappen
Proefinstallatie Koegorspolder
Interim rapport + bijlagen 1 augustus 1981 t/m 24 januari 1982

[14] Kapp, H.
Der einfluß organischer Flockungshilfmittel auf den anaeroben Abbauvorgang (blz. 242 -248)
Stuttgarter Berichte zur Siedlungswasserwirtschaft nr. 86, 1984

[15] STORA
Energie uit gistingsgas - toetsing van ontwerpgrondslagen
Januari 1983

[16] Lawler, D.F./Chung, Y.J./Hwang, S.J./Hull, B.A.
Anaerobic digestion: Effects on particle size and dewaterability
Journal WPCF, Volume 58, Number 12, December 1986

8 AFKORTINGEN

BZV	=	Biochemisch Zuurstof Verbruik
CST	=	Capillairy Suction Time
CZV	=	Chemisch Zuurstof Verbruik
d.s.	=	drogestof (indamprest)
gem.	=	gemiddelde
HVT	=	hydraulische verblijftijd
l	=	liter
max.	=	maximum
min.	=	minimum
Nkj	=	Kjeldahl stikstof
o.d.s.	=	organische drogestof
PE	=	polyelectroliet (vlokhulpmiddel)
Ptot	=	totaal fosfaat
rwzi	=	rioolwaterzuiveringsinrichting
ss	=	suspended solids (droogrest)

BIJLAGE 1

Samenstelling onderzoekteam

DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV te Amersfoort:

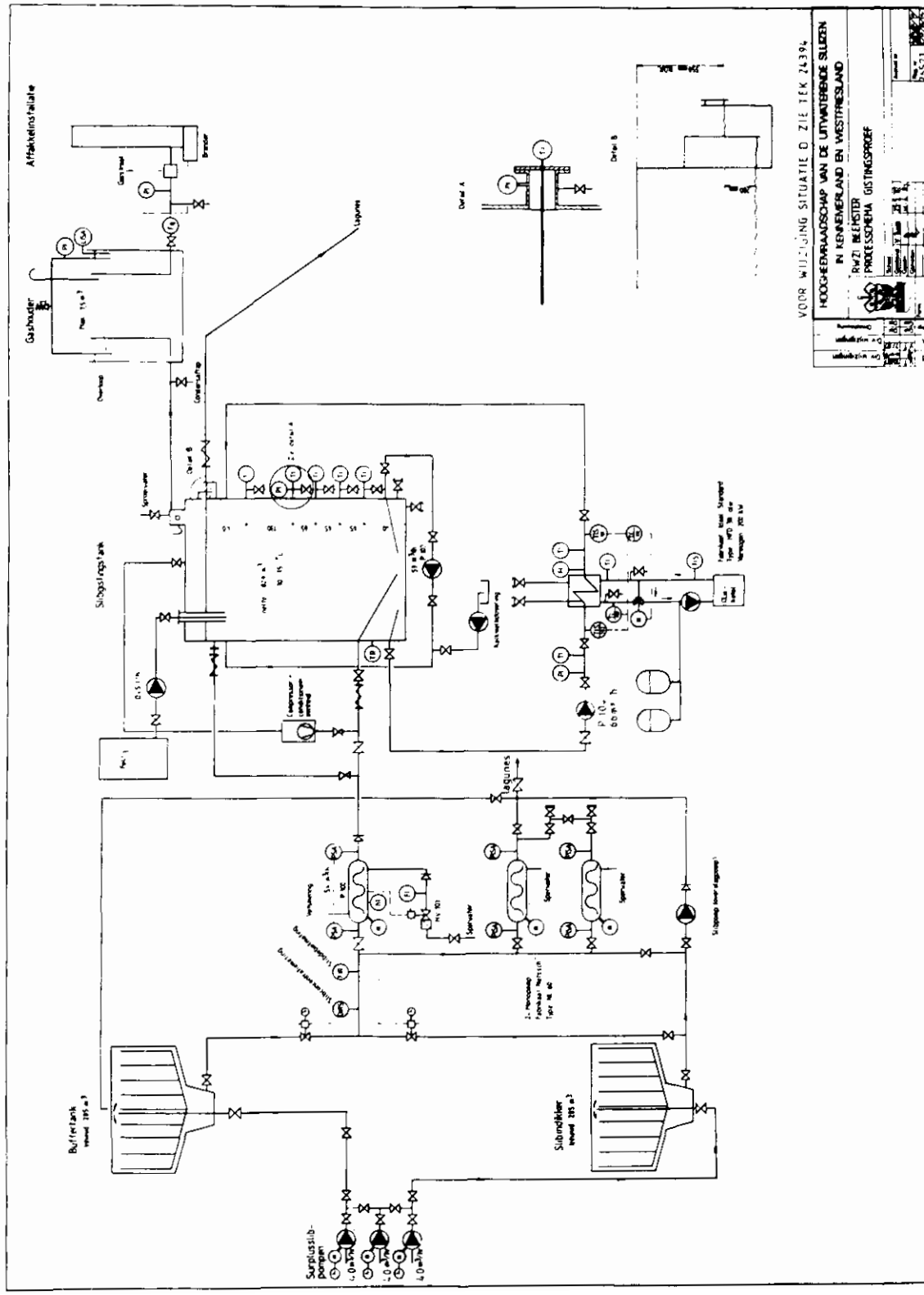
- Ir. H.F. van der Roest	coördinator/technoloog
- Ing. L.B. Koreman	technoloog
- Ing. F.J. van der Schot	technoloog
- Ing. F.H. Delgorge	technoloog
- H.A. Meijer	stagiair (LH - Wageningen)
- A.J.P. op den Brouw	stagiair (TU - Delft)
- A. Roovers	stagiair (HTS - Eindhoven)

Hoogheemraadschap van de Uitwaterende Sluizen in Kennemerland en Westfriesland:

- Ir. S.B. Gaastra	technoloog
- Ing. J.H.M. Pronk	projectleider nieuwbouwproject
- J.D. Schenk	mechanicus
- Ing. E.A.J. de Vries	werktuigbouwkundige
- Ing. H. van Veelen	mechanicus
- Ing. S.G. Verbeek	bouwkundige
- M. Hazebroek	electrotechnicus
- K. Smeets	electrotechnicus
- F. Sas	bedrijfsvoerder rwzi Beemster
- H. Ree	bedrijfsvoerder rwzi Beemster (plv)
- M.M.B. van Uden	beheer rwzi's
- H. van Ruitenbeek	regio-laborant rwzi Beverwijk

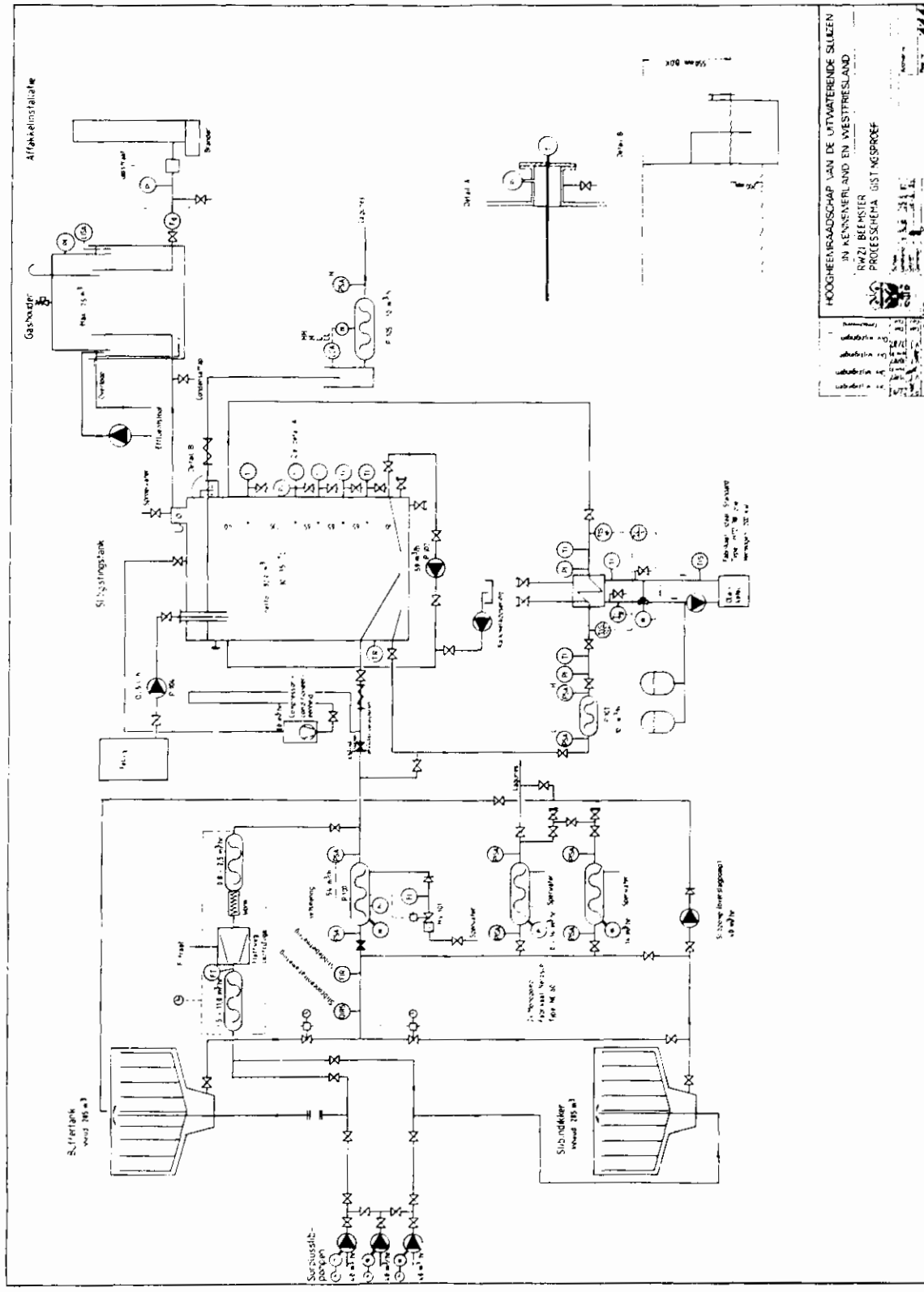
BIJLAGE 2

Bedrijfs- cq processchema fase 0 t/m III



BIJLAGE 3

Bedrijfs- cq processchema fase IV



BIJLAGE 4

Gegevens decanteercentrifuge

parameter	eenheid	
type	[-]	Flottweg Z34-4
trommeldiameter	[mm]	340
trommeltoerental	[tpm]	3000
versnellingskracht	[g]	1700
maximaal verschiltoerental	[tpm]	- 45
keerschijfmaat	[mm]	211/213
motorvermogen aandrijving	[kW]	16,5
max. Stroomopname	[A]	32,5
cos phi factor	[-]	0,86
motorvermogen hydrauliek	[kW]	7,5
max. Stroomopname	[A]	15,5
cos phi factor	[-]	0,84