

# Anaërobe zuivering van het afvalwater van de bietsuikerindustrie (2)\*

Experimenten uitgevoerd met bietsuiker extrakt oplossingen, waarvan de resultaten onlangs zijn gepubliceerd (1), hebben aangetoond dat de toepassing van anaërobe gisting als zuiveringsmethode voor het afvalwater van de bietsuikerindustrie gunstige perspectieven biedt. Dit lijkt in het bijzonder het geval indien de eerste fase van het gistingsproces, de verzuring van het suiker, reeds grotendeels heeft plaatsgevonden vóórdat het afvalwater de anaërobe reaktor wordt binnengeleid. Er kan dan bij een zuiveringspercentage

niet *geadapteerd* slib vooral de afbraak van propionzuur moeilijk op gang komt, en dat andere vluchtige vetzuren (o.a. azijnzuur en boterzuur) hierop een sterk remmende werking uitoefenen. In verband hiermee moet het gistingsproces worden gestart bij een lage slibbelasting (nl.  $< 0,12 - 0,15$  kg CZV/kg slib/d) en mag de CZV-belasting pas worden opgevoerd indien propionzuur goed wordt afgebroken. Bij gebruik van *geadapteerd* entmateriaal en verzuurd suikerextrakt kan het proces daarentegen bij een hoge aanvangsslibbelasting (tot 0,9 kg CZV/kg/d) wel goed op gang worden gebracht. De in dit artikel beschreven experimenten hebben voornamelijk ten doel een beter inzicht te verkrijgen in het verloop van de slibadaptatie, indien gestart wordt met *niet geadapteerd* slib en met verzuurd suikerextrakt als voeding. Voorts is getracht vast te stellen of het anaërobe proces bestand is tegen een langdurige hoge belasting.

## Experimenteel

### Proefopstelling

Bij de uitvoering van de experimenten is getracht de situatie zoals die tegenwoordig veelal in de praktijk wordt aangetroffen te simuleren. De gebruikte proefopstelling is schematisch weergegeven in afb. 1. De opstelling bestaat uit een anaërobe reaktor (1), een overstortbak van 10 l inhoud (9) waarin een gekoncentreerde suikerextrakt-oplossing wordt toegevoegd, een bezinker met een inhoud van 60 l (10) en een buffervat (13) waarin de temperatuur van het water op 8°C of lager wordt gebracht. De anaërobe reaktor (inhoud 30 l) bestaat uit een perspex cilinder (d; 190 mm, h 1000 mm), beneden voorzien van een conisch toelopende bodem. In de reaktor is een roerder

(3) geplaatst. De roermotor (7) is aangesloten op een tijdschakelaar (8) zodat roertijd en roerfrequentie kunnen worden ingesteld. Bij de experimenten werd 1 - 2 sec per 2 - 4 minuten geroerd. De reaktor wordt opwaarts doorstroomd; vrijkomende gassen worden m.b.v. een op de roeras bevestigde gasgeleider (4) in de gasruimte (5) opgevangen en van hieruit via een waterslot (18) en een gasmeter (19) afgevoerd. Het effluent verlaat de reaktor via de centrale afvoerpijp, doorloopt de bezinker (6) en wordt opgevangen in overstortvat (9). De inhoud van de bezinker bedraagt 2,5 l; bezonken slib kan van hieruit terugvallen in de reaktor. Vanuit (9), de gesimuleerde fabriek, stort de oplossing over in de grote bezinker (10). De oplossing wordt d.m.v. pomp (11) hierin 9 à 10 maal per dag via (9) rondgepompt, een situatie die ongeveer overeenkomt met die op een suikerfabriek. Vanuit de bezinker wordt de oplossing rechtstreeks of via het slibveld (13), waarin een buffervolume van minimaal 50 l en maximaal 250 l werd aangehouden, naar de reaktor geleid. De uitgevoerde experimenten zijn vermeld in tabel I.

### Gebruikte entslib

Bij de eerste twee experimenten werd vers anaëroob slib, afkomstig uit een slijkgistingsinstallatie te Ede, als entmateriaal gebruikt, in beide gevallen ongeveer 600 g. In het derde experiment werd 450 g slib afkomstig uit de reaktor na afloop van exp. 2, aangevuld met 90 g aan vluchtige vetzuren geadapteerd slib, gebruikt.

### Voeding

Bij de experimenten werd een geconcentreerde suikerextrakt oplossing met een CZV van 120 - 150 g/l als uitgangsvoeding



DR. IR. G. LETTINGA  
Landbouwhogeschool  
Wageningen



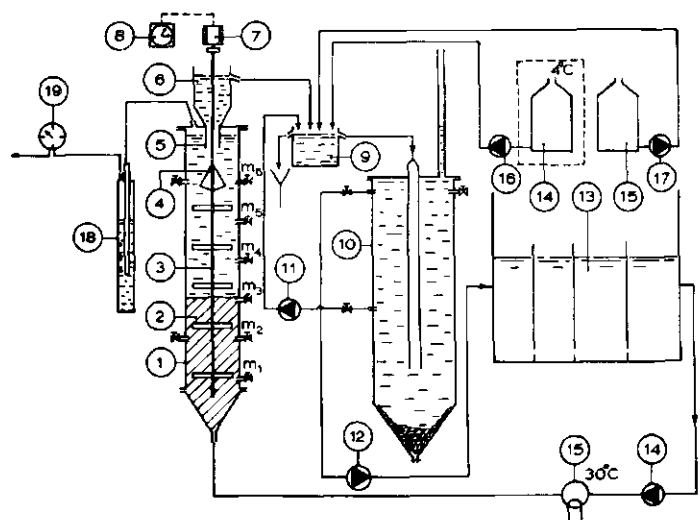
J. VAN DER SAR  
Landbouwhogeschool  
Wageningen



IR. J. VAN DER BEN  
Landbouwhogeschool  
Wageningen

van ca. 90 % een organische belasting tot minimaal 9 kg CZV/m<sup>3</sup>/d worden toegepast, terwijl met niet verzuurd suikerextrakt als voeding bij 90 % zuivering maximaal een volumebelasting van 4-4,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d kon worden bereikt. Aangezien men in de praktijk te maken heeft met afvalwater waarin de vervuiling hoofdzakelijk bestaat uit vluchtige vetzuren, vooral bij bedrijven waar recirculatie van het water wordt toegepast, behoort een toepasbare belasting van ca. 9 kg CZV/m<sup>3</sup>/d bij een zuiveringseffekt van 85 - 95 % tot de mogelijkheden. Het is duidelijk dat aan de hand van onderzoek op kleine semi-technische schaal op een aantal punten nadere informatie kan worden verkregen, zoals met betrekking tot de vraag hoe het systeem zich gedraagt bij langdurige hoge belasting, alsmede hoe uitgaan van niet geadapteerd entmateriaal de gisting het snelst op gang kan worden gebracht en welke factoren hierop van invloed zijn. Bij de experimenten met niet verzuurd suikerextrakt is gebleken dat met

Afb. 1 - Gebruikte laboratoriumopstelling.



\* Het onderzoek werd uitgevoerd in samenwerking met de heren ir. R. de Vletter en E. Wind van de CSM. Het eerste artikel over dit onderwerp verscheen in H<sub>2</sub>O (8) 1975, (26) 530.

TABEL I - Experimenten uitgevoerd in de grote proefopstelling.

exp. no.	duur van het exp. (dagen)	max. toegepaste belasting kg CZV/m <sup>3</sup> /d	hydraulische belasting m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> /d	opmerking
1	12	9,8 (dag 6)	2	zonder slibveld
2	34	10,6 (dag 17)	2	zonder slibveld
3	208	± 15 (dag 116)	1-2	met en zonder slibveld

TABEL II - Eerste experiment met het afvalwatercircuit (zonder slibveld).

(Extrakt dosering gestopt op dag 6).  
Entmateriaal anaërobie reaktor: 600 g uitgegist slijk.  
Toegepaste hydraulische belasting: 2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d.

dag no.	Influent		% Reduktie											
	Totaal CZV* mg/l	Vetz. CZV mg/l	C <sub>2</sub>	Vetz. conc. als mg CZV/l		C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> tot.	C <sub>5</sub> tot.	CZV-be- lasting kg/m <sup>3</sup> /d	CZV- totaal	Vetz. CZV	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
3	2720	2720	1333	816	544	30	5,4	41	51	82	50	7	-76	
5	4200	4480	1702	1748	544	492	8,4	24	15	33	-2	-5	38	
8	4400	3650	950	1496	473	693	8,8	12	-15	3	-26	-24	-15	
9	3880	2800	784	1176	224	616	7,8	6	13	35	15	-63	17	
12	3440	2240	470	918	180	672	6,9	4	34	34	32	10	41	

\* gecentrifugeerd

gebruikt. Deze oplossing werd met behulp van doseerpomp (16) uit voorraadvat (14) in de 'fabriek' (9) gedoseerd. Doordat het water gemiddeld minimaal 1 dag in het circuit verblijft, alvorens het de reaktor wordt binnengeleid, bestaat het influent, in tegenstelling tot de vroeger uitgevoerde experimenten, uit vrijwel volledig verzuurd suikerextrakt. Voor zover nodig is uit voorraadvat (15) een oplossing van NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> aan het circuit afvalwater toegevoegd. Biocarbonaat alkaliteit werd toegevoegd indien de nuttige buffercapaciteit van het circuitwater was gedaald tot minder dan 5 à 10 meq HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/l.

#### Uitgevoerde analyses

Een aantal analyses werd zoveel mogelijk dagelijks uitgevoerd, nl. gasproductie + gassamenstelling, pH van het influent en het effluent, CZV en conc. aan vluchtige vetzuren in het in- en effluent. Voorts werden gedurende bepaalde onderzoekperiodes dagelijks ook TOC-metingen uitgevoerd op gecentrifugeerde (15 min. bij 6000 g) en gefiltreerde monsters. De concentraties aan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N en PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P werden incidenteel bepaald. De slibuitspoeling, bepaald door infiltratie van een monster door een vouwfilter (S&S nr. 595), werd gedurende het onderzoek regelmatig bepaald.

#### Resultaten

De resultaten van het eerste experiment, waarbij het CZV van het circuitwater zeer snel werd opgevoerd, en daarmee ook (hydraulische belasting was constant 2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d) de organische belasting van de reaktor, zijn vermeld in tabel II. De gisting bleek hier aanvankelijk wel op gang te komen (15 - 16 liter CH<sub>4</sub> op dag 4 en 5),

maar nam op dag 6 plotseling af tot vrijwel nul. De dosering van suikerextrakt werd daarom op die dag gestaakt. Gedurende de zes dagen waarin het experiment nadien nog met het circuitwater werd voortgezet, kwam de gasproductie niet weer op gang. In het tweede experiment werd het CZV van het circuitwater en dus ook de organische belasting van de reaktor (hydraulische belasting was weer 2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d) aanzienlijk langzamer opgevoerd. De resultaten van dit experiment zijn vermeld in tabel III. De gasproductie kwam ook in dit experiment aanvankelijk wel op gang;

TABEL III - Tweede experiment met afvalwatercircuit (zonder slibveld).

(Extrakt dosering gestopt op dag 17.)  
Entmateriaal van de anaërobie reaktor: 600 g uitgegist slijk.  
Toegepaste hydraulische belasting: 2 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d.

dag no.	Influent		% Reduktie										
	Totaal CVZ mg/l	Vetz. CZV mg/l	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> tot.	C <sub>5</sub> tot.	CZV-be- lasting kg/m <sup>3</sup> /d	CZV- totaal	Vetz. CZV	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
3	490	170	—	—	—	—	0,98	29	84	—	—	—	—
5	750	480	211	250	14	5	1,50	52	45	80	70	58	100
9	1850	2000	880	940	80	60	3,70	29	47	66	35	-18	30
13	3350	3400	1802	986	374	238	6,70	18	24	32	13	17	11
17	5300	5400	2430	1296	846	702	10,60	6	2,5	2,3	2	2	2
19	4900	3780	1775	945	538	540	9,80	3	-11	-6,5	-6	-25	-13
23	3750	3520	1619	915	281	704	7,5	7	6,5	22	-1	-17	35

TABEL IV - Parallel proef met 1-1 upflow reaktor vanaf dag 26 tijdens exp. 2.

Entmateriaal in de anaërobie reaktor: 20 g uitgegist slib.  
Toegepaste hydraulische belasting: 0,53 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/d.

dag no.*	Influent		% Reduktie									
	Totaal CZV mg/l	Vetz. CZV mg/l	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> tot.	C <sub>5</sub> tot.	CZV	Vetz. CZV	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>
5 (30)	2700	1798	996	570	72	160	69	61	84	55	0	-25
7 (32)	2600	1504	892	480	72	160	76	61	70	69	-50	62
10 (35)	2120	1630	848	465	117	200	83	78	75	95	62	60
13 (38)	—	1743	785	420	218	320	—	86	95	93	67	69

\* De dagnummers tussen haakjes hebben betrekking op exp. 2.

op dag 13 werd ca. 14 liter CH<sub>4</sub>-gas gevormd. Na dag 13 nam de gasproductie echter plotseling af tot 7 l/d op dag 15, 2 l/d op dag 17 en tot vrijwel nul op dag 19. De suikerextrakt dosering werd gestaakt op dag 17. Het experiment werd hierna nog ca. 2 weken voortgezet, maar evenals in exp. 1 kwam de gasproductie niet weer op gang.

Om na te gaan waarin de oorzaak van deze verschijnselen moest worden gezocht, werd vanaf dag 26 met het circuitwater een parallel experiment in een 1-liter upflow reaktor uitgevoerd. Deze reaktor was gevuld met 20 g van het zelfde slib als gebruikt in de grote reaktor.

In tegenstelling tot de grote reaktor werd gestart bij een lage belasting van max. 1,3 kg CZV/m<sup>3</sup>/d. Uit de verkregen resultaten (tabel IV) blijkt dat de gisting nu goed op gang komt; reeds na 10 dagen wordt een zuiveringseffect van meer dan 80 % bereikt en na 12 dagen van 90 %.

In het derde experiment met de grote reaktor, gestart ca. 3 weken na beëindiging van exp. 2, werd de CZV-belasting nog langzamer opgevoerd. Het derde experiment is opgesplitst in drie onderzoekperiodes. Iedere onderzoekperiode werd gestart met vers leidingwater in het circuit (zie tabel V). De resultaten van onderzoekperiode I zijn vermeld in tabel VI. Bij de toegepaste aanvangsvolumebelasting van 2,0 - 3,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d (slibbelasting ca. 0,14 kg CZV/kg/d) blijkt reeds na 3 - 4 weken een goede verwijdering van vetzuren te worden bereikt; de zuivering op CZV-basis komt

TABEL V - Onderzoek perioden bij experiment 3.

Periode	begin	en	einde	
Ia	0		32	met slibveld (200 l), Hydraul. bel. 1,5
Ib	32		80	zonder slibveld, Hydraul. bel. 1,5 - 1,6
IIa	84		151	met slibveld (45 - 65 l), Hydraul. bel. 1,1 - 2,0
IIb	151		182	met slibveld + aldolietkolom, Hydraul. bel. 2,0 - 2,1
III	194		207	met slibveld + pH-regelsysteem, hydr. bel. 2,1

TABEL VI - Derde experiment met afvalwatercircuit, met slibveld tot dag 32 en zonder slibveld van 32 - 82. Resultaten periode I.

dag no.	Influent					C <sub>0</sub>	% Reduktie									
	CZV tot.	Vetz. CZV	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> als mg	n-C <sub>4</sub> n-C <sub>5</sub> CZV/l		CZV bel. tot.	Vetz. CZV	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>			
1	2400	780	382	172	226	0	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	
3	2800	1400	672	252	448	14	2,8	13	-3	-26	-15	49	—	—	—	
7	3320	2640	871	422	739	185	3,3	—	—	—	—	—	—	—	—	
9	3160	1720	516	189	413	103	3,2	16	40	6	12	46	0	90	—	
11	2640	2240	538	157	470	269	2,6	29	34	-54	-88	65	29	76	—	
13	2200	2120	572	212	466	148	445	2,2	44	34	0	-67	74	-2	100	
15	2760	2120	381	254	615	339	403	2,7	56	66	62	69	95	90	100	
19	1650	1400	350	336	238	280	210	1,65	93	92	94	74	100	95	100	
24	—	1702	631	385	481	105	—	ca. 3	—	83	74	71	96	100	—	
28	1390	930	377	309	153	43	—	2,1	70	73	65	65	98	100	—	
31	1540	1439	593	430	186	75	—	2,3	78	96	94	97	97	100	—	
35	2135	1929	873	485	371	126	—	3,2	81	77	73	72	84	100	—	
37	2670	1876	976	303	357	127	—	3,9	74	79	79	81	91	100	—	
39	2015	1900	922	333	308	121	108	3,0	79	90	88	86	100	100	100	
44	1800	1498	763	201	284	118	73	2,7	75	85	82	84	98	90	—	
51	1200	891	378	253	120	43	—	1,8	—	—	—	—	—	—	—	
53	2640	2147	955	480	504	139	—	3,96	74	93	91	89	100	100	—	
56	3610	3410	1576	526	997	284	—	5,60	59	73	60	52	96	95	—	
58	4665	3665	1811	704	733	261	—	7,2	47	54	48	17	94	76	—	
60	3570	2966	1577	606	538	176	—	5,7	51	71	62	65	100	100	—	
65	3120	1928	802	576	217	157	—	5,0	51	48	38	26	97	98	—	
70	2547	2013	1043	244	557	143	—	4,1	66	97	97	94	100	100	—	
73	3098	2420	1322	230	664	117	—	5,0	60	75	70	45	98	100	—	
77	4524	3941	1924	1024	746	116	—	7,2	28	37	27	34	74	53	—	
79	3592	2148	1356	555	86	48	—	5,7	25	32	47	16	90	66	—	

De concentratie aan i C<sub>4</sub> was steeds < 100 mg CZV/l, meestal 20 - 50 mg CZV/l.  
De concentratie aan i C<sub>5</sub> was steeds < 80 mg CZV/l, meestal 30 - 50 mg CZV/l.

echter nauwelijks boven 80 %. Na dag 54 werd de CZV-belasting opgevoerd tot meer dan 5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d. Deze belastingverhoging heeft een sterke daling van het zuiveringseffekt tot gevolg. De afbraak van boterzuur (C<sub>4</sub>) en valeriaanzuur (C<sub>5</sub>) blijft echter goed, ondanks het feit dat met name de concentratie van C<sub>4</sub> in het influent sterk is gestegen. De methaangasproductie vertoonde t.o.v. de voorafgaande periode enige stijging, nl. van 1,8 - 2,3 kg CH<sub>4</sub>-CZV\*/m<sup>3</sup>/d vóór dag 54, tot 2,7 - 3,5 kg CH<sub>4</sub>-CZV/m<sup>3</sup>/d in de periode 56 - 64.

Gedurende de laatste dagen van periode I treedt een scherpe daling van het zuiveringseffekt op. De oorzaak hiervan moet waarschijnlijk vooral worden gezocht in de groei van slijmvormend bacteriemateriaal, met name na dag 67, tengevolge waarvan het circuitwater zeer visceus werd. In het circuitwater bleek zich in de loop van de tijd bovendien een grote hoeveelheid (ca. 5 g/l) fijn ge-

dispergeerd materiaal, d.w.z. niet affiltreerbaar door een vouwfilter, te hebben opgehoopt. In verband hiermee werd het experiment op dag 80 onderbroken om het circuitwater te vervangen door leidingwater. Tevens werd aan de reaktor ca. 250 g vers entslib toegevoegd.

De experimenten werden weer gestart op dag 84 (periode II). Aanvankelijk werd een CZV-belasting van max. 4,5 kg/m<sup>3</sup>/d toegepast, vanaf dag 107, na een onderbreking van 6 dagen, werd de belasting opgevoerd tot 7 kg/m<sup>3</sup>/d en gedurende een paar dagen zelfs tot meer dan 15 kg/m<sup>3</sup>/d (dagen: 114, 115). Bij beschouwing van de resultaten (zie fig. 2) over de eerste vijf weken van deze onderzoeksperiode, (84 - 121) blijkt dat tot een belasting van ca. 8 kg/m<sup>3</sup>/d een zuiveringseffekt van 70 - 80 % op CZV-basis mogelijk is. De zuivering berekend op vetzuur-CZV basis ligt ruim 10 % hoger. Tijdens de twee dagen (114, 115) met zeer hoge belasting liep, mogelijk mede als

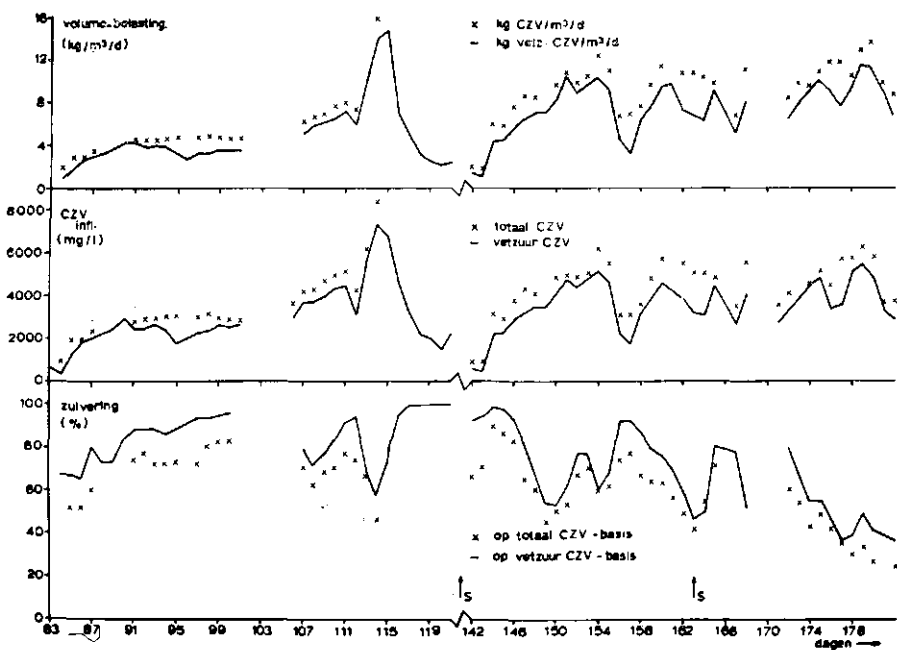
TABEL VII - Hoeveelheid niet-vetzuur in het influent en effluent.

dag no.	influent mg/l	effluent mg/l
85	625	425
91	325	400
97	725	675
107	525	525
111	1000	875
141	150	275
145	650	375
149	1100	675
153	350	750
161	1375	1200
165	375	625
175	375	475
179	525	1250

gevolg van een lage influent-pH (nl. ca. 5,4), het zuiveringseffekt scherp terug. Overigens is, zoals blijkt uit tabel VII, een relatief grote hoeveelheid 'niet vetzuur-CZV' in het circuitwater aanwezig. Het is niet onmogelijk dat een groot gedeelte hiervan bestaat uit niet of slecht afbreekbare materialen.

Na een onderbreking van 17 dagen (121 - 138) is de belasting vanaf dag 142 voortdurend boven 5 kg/m<sup>3</sup>/d gehouden. Aangezien in de periode 144 - 151 de influent pH herhaaldelijk tot pH 5,4 - 5,6 was gedaald, werd het influent vanaf dag 151 via een kolom gevuld met akdoliet (marmor)-korrels (inhoud kolom 0,8 liter) naar de reaktor geleid, waardoor de pH gemakkelijk op een waarde van ca. 6,3 kon worden gehandhaafd. Uit de resultaten (afb. 2 en tabel VIII) blijkt dat aanvankelijk d.w.z. vanaf dag 142 tot 146 (CZV-bel. ca. 7 kg/m<sup>3</sup>/d) de zuivering goed is, maar daarna scherp daalt tot 50 - 55 % op dag 150. Dit gaat gepaard met een daling van de CH<sub>4</sub>-productie nl. van 5,5 kg CH<sub>4</sub>-CZV/m<sup>3</sup>/d op 147 tot 5,2 kg CH<sub>4</sub>-CZV/m<sup>3</sup>/d op dag 151. Mogelijk is gedurende deze dagen de pH onder in de reaktor iets aan de lage kant geweest. In ieder geval blijkt na het inschakelen van de akdolietkolom op dag 151 de CH<sub>4</sub>-productie op te lopen tot bijna 7 kg CH<sub>4</sub>-CZV/m<sup>3</sup>/d op dag 155. Een dergelijke hoge methaangasproductie wordt nogmaals bereikt op de dagen 159 en 160. Nadien is er sprake van een duidelijke teruggang. De toevoeging van 100 g vers slib op dag 163 resulteert slechts in een zeer tijdelijke verbetering van de zuiveringsefficiëntie en methaangasproductie. De oorzaak van het sterke teruglopen van de gisting moet zeer waarschijnlijk vooral worden gezocht in een gebrek aan fosfaat. Op dag 179 bleek in het totaal slechts 0,22 mg/l PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P in oplossing aanwezig te zijn; na filtratie van de oplossing door een membraanfilter (0,45 μ) kon geen fosfaat meer worden aangetoond.

\* 1 kg CZV komt overeen met 350 liter CH<sub>4</sub> (0 °C, 760 mm).



Afb. 2 - Resultaten van onderzoeksperiode II van het derde experiment.

TABEL VIII - Afbraak van verschillende vetzuren (exp. 3, periode IIb).

dag no.	Influent vetzuur concentraties als mg CZV/l						CZV-bel. kg/m <sup>3</sup> /d	Afbraak van vetzuren %					
	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	i C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>		C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	i C <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	i C <sub>5</sub>	C <sub>5</sub>
147	1050	330	91	1380	16	240	8,6	82	73	90	100	50	100
149	480	520	166	1350	75	790	9,0	21	6	40	96	-250	75
153	650	850	169	1130	365	1560	10,4	—	—	—	—	—	—
155	810	1180	58	950	108	1480	11,0	46	34	-41	84	-108	98
159	1280	1410	56	530	47	480	9,6	72	83	80	98	83	100
161	1150	1350	—	670	—	820	10,8	54	59	—	100	—	100
163	850	1580	73	450	120	250	10,6	40	47	62	100	-14	100
165	930	1760	44	500	165	950	9,8	67	73	66	98	67	96
171	1130	1310	46	270	149	400	±6,0	90	83	70	100	90	100
175	1480	1546	31	620	122	950	10,8	32	42	-52	92	-18	91
177	930	1570	36	300	98	600	11,8	27	45	89	98	-33	90
179	960	2390	87	630	157	1130	12,9	-4	68	42	91	-38	87
181	770	1720	58	140	161	370	13,5	-4	37	38	93	25	92

TABEL IX - Resultaten verkregen tijdens onderzoeksperiode III.

no. dag	kg CZV/m <sup>3</sup> /d CZV-belasting	Influent niet vetz.		% zuivering op Vetz. CZV	Effluent niet vetz. CZV mg/l	Hoeveelheid CZV gesuspendeerd	
		CZV (gecentrifugeerd) mg/l	CZV mg/l			influent mg/l	effluent mg/l
195	4,15	1967	255	85	80	136	775
196	—	—	—	92,5	—	29	1100
197	10,3	4880	960	84	74	615	1720
198	11,7	5526	940	68	62	647	1280
199	—	—	—	64	—	235	2760
200	11,6	5513	—	75	65,5	513	2725
201	11,2	5303	595	73	64	661	3962
202	10,6	5000	893	4	10	537	2583
203	11,6	5514	462	57	56	284	3253
204	11,3	5369	251	57	47	655	3659
205	8,2	3887	130	74	56	860	3847
206	6,0	2848	410	84	61	703	3187

De oorzaak van het fosfaatgebrek is waarschijnlijk gelegen in de precipitatie van het onoplosbare hydroxy-apatiet, bijv. in de akdolietskolk. Eén en ander is verder

niet onderzocht. Behalve door fosfaatgebrek zou een andere mogelijke oorzaak voor het teruglopen van de gisting kunnen zijn gelegen in een accumulatie van toxische

afbraakproducten en/of in een remmende werking van het geaccumuleerde fijn gedispergeerde organische materiaal. Van laatstgenoemd materiaal was op dag 174 in het circuitwater, en óók in het effluent van de reaktor, 4 g CZV/l aanwezig.

In de derde onderzoeksperiode, gestart op dag 194, werd de pH d.m.v. een pH-regelsysteem op een waarde van 6,5 - 6,7 gehouden. Gedurende deze onderzoeksperiode werd de reaktor zeer hoog belast. Uit de verkregen resultaten (tabel IX) blijkt dat aanvankelijk ongeveer 7 kg CZV/m<sup>3</sup>/d kan worden verwijderd. Het zeer lage zuiveringseffect op dag 202 is te wijten aan een storing in het pH-regelsysteem als gevolg waarvan gedurende ongeveer 4 uur influent met een pH van 12,4 de reaktor werd binnengeleid. De pH van de reaktorinhoud bereikte hierdoor een waarde van ca. 10,7. De gasproductie kwam hierdoor volkomen stil te liggen. Nadat de pH op het goede niveau was teruggebracht, kwam de gisting snel, d.w.z. binnen 4 uur, weer op gang. Hoewel het bereikte zuiveringseffect na deze storing wel iets lager is, bereikt de CH<sub>4</sub>-productie op dag 204 - 205 niettemin weer een waarde van meer dan 7 kg CZV/m<sup>3</sup>/d. Wat betreft de aanwezigheid van fijn gedispergeerd materiaal in het circuitwater van de reaktor blijkt er ook nu sprake te zijn van een snelle ophoping. Dit materiaal wordt in de reaktor nauwelijks tegengehouden.

*Afbraak over de hoogte van de reaktor*

Tijdens het onderzoek werden op de dagen 92, 99, 107 en 147 monsters over de hoogte van de reaktor genomen en geanalyseerd op het gehalte aan vluchtige vetzuren. De uit deze metingen verkregen gegevens zijn samengevat in tabel X. Uit deze tabel blijkt dat het overgrote deel van de CZV-verwijdering plaatsvindt beneden het eerste aftappunt. De afbraak van de hogere vluchtige vetzuren, met name n-C<sub>4</sub>, blijkt zeer snel te verlopen. Op de dagen 99, 107 en 147, met respectievelijk 570, 974 en 1376 mg C<sub>4</sub>-CZV/l in het influent, is dit zuur na het eerste aftappunt reeds bijna volledig afgebroken. Hetzelfde geldt op deze dagen, zij het in iets mindere mate, ook voor n-C<sub>5</sub>. Op dag 92 is het systeem nog onvoldoende ingesteld op de afbraak van deze beide zuren. Zo wordt n-C<sub>5</sub> beneden het eerste aftappunt nog vrijwel niet afgebroken, terwijl boven dit punt een daling t.o.v. de influentconcentratie (157 - 169 mg C<sub>5</sub>-CZV/l over de dagen 91 en 92) van 65 % blijkt plaats te vinden. Van het n-C<sub>4</sub> is op het eerste aftappunt die dag 60 % afgebroken, terwijl op het derde aftappunt nog slechts 7 % van de influent-

TABEL X - *Afname vetzuren CZV t.o.v. influent CZV over de hoogte van de reaktor.*

dag	92	99	107	147
CZV-belasting (kg/m <sup>3</sup> /d)	3,8	3,6	5,1	6,3
influent Vetz. CZV (mg/l)	2820	2970	4161	4295
hoogte monsteraftappunt (cm)		relatieve Vetz. CZV		
10	0,53	0,145	0,36	0,23
25	0,23	0,154	0,36	0,21
40	0,22 <sup>8</sup>	0,129	0,33	0,11
55	0,18 <sup>8</sup>	0,117	0,28	0,10
70	0,15 <sup>1</sup>	0,109	0,27	0,11
85	0,14 <sup>1</sup>	0,105	0,27	0,10
effluent	0,11	0,097	0,69*	0,10

\* Lage waarde waarschijnlijk als gevolg van het feit dat de reaktor nog slechts een halve dag weer in bedrijf is.

concentratie (394 mg C4-CZV/l) resteert. Aangezien deze beide zuren pas vanaf dag 89-90 in het influent in betrekkelijk hoge concentratie voorkomen, is de gekonstaterde minder goede afbraak op dag 92 verklaarbaar.

#### *Slibconcentratie in de reaktor en slibuitspoeling*

In de reaktor blijkt bij een goed verlopende gisting max. 350 - 400 g slib te kunnen worden gehandhaafd, hetgeen neerkomt op een gemiddelde slibconcentratie over de reaktor van 12 - 14 g/l. In afwezigheid van gisting klinkt het slibbed in tot minder dan de helft van het volume.

De resultaten van d.s.-analyses over de hoogte van de reaktor, uitgevoerd op de dagen 92 en 99 (zie tabel XI) geven resp. een beeld van de toestand waarbij het slibbed over het gehele reaktorvolume is geëxpandeerd (dag 92) en waarbij het zich beneden de gasafscheider bevindt (dag 99). Indien het slibbed zich bij een goed verlopende gisting niet tot helemaal boven in de reaktor uitstrekt, schommelt de slibuitspoeling tussen 50 en 250 mg/l affiltreerbaar slib.

Het slib bestaat uit vezelige — in gistende toestand tamelijk volumineuze — snel bezinkende en goed filtreerbare vlokken. De slib-index bedraagt ca. 30. Bij roeren vallen slib-

vlokken gemakkelijk uiteen, maar na het stoppen van het roeren vormen zich snel weer goed bezinkende vlokken.

#### **Bespreking van de resultaten**

De verkregen resultaten zijn in sterke mate beïnvloed door een aantal storende factoren waarmee men in de praktijk zelden of nooit te maken zal/behoeft te krijgen, zoals het optreden van een sterke slijmvorming, accumulatie van fijn gedispergeerd organisch materiaal, fosfaatgebrek, te hoge en te lage influent-pH, alsmede een ophoping van mogelijk toxische afbraakprodukten. Genoemde factoren hebben in meer of mindere mate een ongunstige invloed op de gisting. Als gevolg hiervan zijn wij in de oorspronkelijke opzet van de experimenten niet volledig geslaagd, zoals m.b.t. het vaststellen van het met suikerafvalwater maximaal toepasbare belastingniveau bij meerdere maanden continue bedrijf. Anderzijds hebben de experimenten hierdoor een aantal — ook voor de praktijk — interessante additionele resultaten opgeleverd.

#### *Het starten*

Uit de verkregen resultaten is duidelijk dat voor het snel op gang komen van de gisting bij gebruik van *niet geadapteerd* entmateriaal omzichtig te werk moet worden gegaan. Hoewel verzuurd suikerextract voor de methaangisting als een weinig

TABEL XI - *Slibgehalte over de hoogte van de reaktor.*

hoogte vanaf onderkant (cm)	dag 92 d.s. in g/l	dag 99
10	22	21
25	27	20,5
40	19,5	20
55	18,5	11
70	16,5	8
85	13	7,5
effluent	4,2	0,2

complex substraat kan worden beschouwd, komt de gisting hiermee niet of nauwelijks sneller op gang dan met complexere substraten, zoals niet verzuurd suikerextract en ondermelkpoeder (zie tabel XII). Een zeer belangrijke faktor voor het op gang komen is, zoals de hier beschreven experimenten duidelijk hebben aangetoond, de hoogte van de toegepaste aanvangs-slibbelasting. Indien de slibbelasting lager wordt gehouden dan ca. 0,14 kg CZV/kg slib/dag, zoals in experiment 3 (zie tabel VI) dan komt de gisting snel op gang. Wordt daarentegen de slibbelasting binnen 14 dagen opgevoerd tot ca. 0,60 kg CZV/kg slib/dag, zoals in exp. 1 en 2, dan komt de gisting binnen kortere of langere tijd geheel stil te liggen. Wat hiervan de oorzaak is, valt op dit moment nog moeilijk te zeggen. De verkregen resultaten bieden echter wel een aantal aanknopingspunten, nl.:

- In exp. 1 blijkt na het stoppen van de gasproductie bij passage van de oplossing door de reaktor toch nog een daling van het vetzuur-CZV op te treden; het totaal CZV van de oplossing verandert echter nauwelijks, hetgeen in overeenstemming is met de zeer geringe gasproductie. Op dag 12 bestaat nog slechts 65 % van het CZV van het circuitwater uit vluchtige vetzuren, terwijl aanvankelijk (vóór dag 6) het CZV voor vrijwel 100 % uit de vluchtige vetzuren C2 t/m C6 bestond. In het effluent van de reaktor dragen de vluchtige vetzuren op dag 12 zelfs nog maar voor 45 % bij aan het CZV! In exp. 2 is waarschijnlijk eveneens sprake

TABEL XII - *Duur van de aanlooperperiode voor het verkrijgen van 80 - 90 % zuivering voor verschillende typen afvalwater.*

Type afvalwater	Aanvangsvolume-belasting kg CZV/m <sup>3</sup> /d	Aanvangsslib-belasting kg CZV/kg/d	Influent CZV mg/l	Duur van de aanlooperperiode weken	Type reaktor	Ref.
<i>Niet geadapteerd entmateriaal</i>						
ondermelk opl.	2,5	0,3—0,4	1500	5	upflow 17,7	1 [2]
suiker opl.	1,2—1,4	0,13	5400—6500	2	upflow 60	1 [1]
suiker opl.	1,2	0,19	4500—5500	> 4	upflow 60	1 [1]
verzuurd suiker (exp. 1)	0,4—10,2 (dag 6)	0-min. 0,6 <sup>2</sup> (dag 6)	200—5000	geen gisting	upflow 30	1 *
verzuurd suiker (exp. 2)	0,5—9 (dag 15)	0-min. 0,6 <sup>2</sup> (dag 15)	250—4500	geen gisting	upflow 30	1 *
verzuurd suiker (exp. 3)	2,4	0,14	2400—3200	4	upflow 30	1 *
<i>Geadapteerd entmateriaal</i>						
aardappel	1,0	1,3	6000	4	an. filter 24	1 [3]
verzuurd suiker	8—10	1,8	2500—3500	5—6	filter/upflow 10,4	1 [1]

<sup>1</sup> Geen C3 afbraak na 4 weken.

<sup>2</sup> In verband met onbekende slibuitgisting 'geschat'.

\* Ref.: zie onderhavige artikel.

van een omzetting van vluchtige vetzuren in verbindingen die d.m.v. de gebruikte G.L.C.-methode niet worden bepaald.

2. Na het stoppen van de gasproductie kan met slib uit de reaktor binnen enige dagen een redelijke afbraak van C2 en C3 worden bereikt, indien het slib wordt gevoed met een oplossing bestaande uit alleen C2 en C3 (1000 mg/l van ieder zuur). Eén en ander is gebleken in een parallel-experiment in een één-liter upflow reaktor tijdens exp. 2. Bij een toegepaste slibbelasting van 0,3 kg/kg/d werd met slib dat op dag 18 uit de grote reaktor was afgetapt na 3 dagen reeds 55 % van het C2 en 20 % van het C3 verwijderd; na 18 dagen was dit opgelopen tot resp. 65 % en 75 %. Vanaf dag 30 werd behalve C2 en C3 ook 200 mg/l C4 aan het influent toegevoegd; één en ander resulteerde in een sterk verminderde afbraak van C3, nl. van 100% vóór dag 30 tot slechts ca. 40 % in de eerste week daarna (zie tabel X in [1]).

3. De hogere vluchtige vetzuren, met name C4, blijken in de beide eerste experimenten in de reaktor slecht te worden verwijderd. Elders in het circuit schijnt, gezien de betrekkelijk snelle lading van de concentratie in het circuitwater, wel een aanzienlijke afbraak van C4 plaats te vinden. Een en ander wijst er op dat de aanwezigheid van relatief hoge concentraties aan hogere vluchtige vetzuren een nadelig effect heeft op het op gang komen van de gisting. De mate waarin dit het geval is, wordt thans in ons laboratorium onderzocht.

Uit de verkregen resultaten kan voorts worden afgeleid dat bij een systeem dat wel de gelegenheid heeft gekregen om goed te adapteren, zonder bezwaar een slibbelasting van ca. 0,5 kg CZV/kg slib/dag kan worden toegepast. Immers, een goed zuiveringseffect en een stabiele gisting bleek mogelijk tot een volumebelasting van zeker 6 - 7 kg CZV/m<sup>3</sup>/dag; aangezien bij een goed verloopende gisting maximaal ca. 400 g slib in de reaktor kon worden gehandhaafd, bedraagt de slibbelasting ongeveer 0,5 kg CZV/kg slib/dag. Bij gebruik van geadapteerd slib als entmateriaal kan in overeenstemming hiermee, en zoals we in eerder beschreven experimenten hebben geconstateerd [1], de belasting wel snel tot hoge waarden worden opgevoerd (zie tabel XII). Bij een goed verloopende gisting worden de hogere vluchtige vetzuren zeer goed afgebroken, óók indien ze in hoge concentratie in het influent aanwezig zijn (zie o.a. tabellen VI en VIII). De afbraak van deze vetzuren komt — mits althans de belasting niet te snel wordt opgevoerd — betrekkelijk snel op gang (tabel VI). De metingen uitgevoerd over de

hoogte van de reaktor wijzen er op dat de afbraak van deze zuren boven in het slibbed begint. In de experimenten met niet verzuurd suikerextract werden m.b.t. de afbraak van C3 soortgelijke aanwijzingen verkregen [1].

Wat betreft de samenstelling van het circuitwater blijken er tussen de drie uitgevoerde experimenten grote verschillen te bestaan. In exp. 1 levert C3 de belangrijkste bijdrage aan het vetzuur-CZV (38 - 42 %) en na dag 6 in toenemende mate ook C5 (oplopend van 18 % op dag 6 tot 31 % op dag 12). In exp. 2 bestond aanvankelijk (5 - 9) ca. 55 % van het vetzuur-CZV uit C3, maar na dag 15 nog slechts 25 %. Ook de bijdrage van C5 aan het vetzuur-CZV is lager (max. ca. 18 %). Opvallend is dat in exp. 3, vooral in de startperiode, een relatief hoge concentratie aan C6 voorkomt. Dit zuur was tijdens de eerste twee experimenten niet of nauwelijks in het circuitwater aanwezig. Overigens verschilt het circuitwater wat betreft vetzuursamenstelling tijdens de drie onderzoekperiodes in exp. 3 ook sterk.

#### *Slibretentie en slibleeftijd*

Gebleken is dat het slibbed bij het op gang komen van de gisting expandeert tot 2 à 3 maal het volume in afwezigheid van gisting. Bij een goed verloopende gisting kan gemiddeld 12 - 14 d d.s./l in de gistingsruimte worden gehandhaafd, waarbij beneden in de gistingsruimte de slibconcentratie hoger is dan boven in het slibbed. De slibbedexpansie is het grootst bij het starten van de gisting en bij het verhogen van de belasting. De expansie van het slibbed kan worden gereduceerd door minder in de reaktor te roeren; de mate waarin dit het geval is alsmede het effect hiervan op de zuivering wordt momenteel bestudeerd. De slibuitspoeling bedraagt, indien zich althans niet te veel slib in de reaktor bevindt, niet meer dan 50 - 250 mg/l affiltreerbaar materiaal. De slibleeftijd wordt bepaald door de slibretentie en de slibaanwas. De slibaanwasfactor bedraagt 0,07 - 0,09 g slib CZV/g CZV-omgezet. Bij een dergelijke slibaanwasfactor zal bij een organische belasting van 7,5 kg CZV/m<sup>3</sup>/d en 90 % zuivering de slibleeftijd ca. 30 dagen bedragen, indien 12 - 14 g d.s./l aan slib in de reaktor kan worden gehandhaafd. Voor het in stand houden van een stabiele gisting is dit ruimschoots voldoende.

#### *Maximaal toepasbare volumebelasting*

Het is duidelijk dat aan de hand van de verkregen resultaten aangaande de maximaal toepasbare volumebelasting bij langdurig continu bedrijf nog geen definitieve uitspraken kunnen worden gedaan. De diverse ongunstige factoren in aanmerking

genomen mag echter worden aangenomen dat bij een goed geadapteerd systeem een stabiele gisting gedurende langere tijd mogelijk moet zijn bij een slibbelasting tot ca. 0,7 kg CZV/kg/dag. De maximaal toepasbare volumebelasting hangt dan verder voornamelijk af van de totale hoeveelheid slib die in de reaktor kan worden gehouden. Indien gemiddeld over de totale reaktorinhoud een slibconcentratie van 12 - 14 g d.s./l kan worden gehandhaafd, zoals in de hier beschreven experimenten het geval was, zal zonder bezwaar een volumebelasting van 8,5 - 10 kg CZV/m<sup>3</sup>/d kunnen worden toegepast.

#### **Konklusies**

1. Bij gebruik van niet geadapteerd entslib kan met een verzuurde bietsuikerextraktoplossing als voeding een stabiele gisting worden verkregen, indien:
  - a. de aanvangsslibbelasting lager is dan ca. 0,14 kg CZV/kg slib/dag;
  - b. de slibbelasting pas wordt verhoogd nadat een goed zuiveringseffect (> ca. 80%) is bereikt.
 Een verhoging van de slibbelasting tot meer dan ca. 0,5 kg CZV/kg slib/dag bij een slechte zuivering heeft tot gevolg dat de methaangisting binnen kortere of langere tijd volledig komt stil te liggen. De oorzaak hiervan moet vermoedelijk worden gezocht in de aanwezigheid van te hoge concentraties aan hogere vetzuren (C4 e.d.) in het influent.
2. Indien het bacteriemateriaal de gelegenheid heeft gekregen goed te adapteren, kan zonder bezwaar worden gewerkt bij een silbbelasting tot ca. 0,7 kg CZV/kg/dag. Het hangt dan vooral af van de slibretentie van de reaktor hoe hoog de maximaal toelaatbare volumebelasting van de reaktor kan worden opgevoerd. Indien bij een goed verloopende gisting een slibconcentratie van ca. 15 g slib/l gemiddeld over de gehele reaktorruimte kan worden gehandhaafd, kan bij een belasting van ca. 10 kg/m<sup>3</sup>/d nog een goed zuiveringseffect worden verkregen.
3. Een pH-verhoging van de reaktorinhoud tot een waarde van ca. 10,7 resulteert in een volledig stoppen van de gisting; nadat de pH op het optimale niveau is teruggebracht, komt de gisting snel weer op gang. Van een merkbaar nadelig effect van een dergelijke pH-verhoging (gedurende 6 - 8 uur) is nauwelijks of geen sprake.

#### **Literatuur**

1. Lettinga, G., Jansen, A. G. N., Terpstra, P.; H<sub>2</sub>O 8, 1975.
2. Lettinga, G., Velsen, A. F. M. van; H<sub>2</sub>O 7, 1974, 281.
3. Lettinga, G., Fohr, P. G., Janssen, G. G. W.; H<sub>2</sub>O 5, 1972, 510.