

# Belastbaarheid en biokinetiek van het anaerobe tweetrapsproces in vergelijking met het eentrapsproces

## Inleiding

In voorgaande publikaties [1, 2] werd een onderzoek beschreven waarin werd nagegaan in hoeverre de anaerobe zuivering van glucosehoudend afvalwater d.m.v. een zgn. tweetrapsproces uitvoerbaar was. Bij dit experiment werd het influent eerst verzuurd in een verzuringsreaktor en vervolgens omgezet in methaan en  $\text{CO}_2$  in een methaanreaktor.

De anaerobe zuivering d.m.v. zo'n tweetrapsproces kan een aantal voordelen bieden boven het tot nu toe meestal toegepaste

schillende substraten [5, 6]. Door de relatief hoge groeisnelheid van de meeste zuurvormers is in principe vrij snelle vorming van een specifieke bacteriepopulatie mogelijk, wanneer de samenstelling van het influent verandert. Indien de produkten van de verzuringsreaktor beperkt blijven tot vnl. vluchtige vetzuren, fungeert de verzuringsreaktor als 'buffer' voor de methaanreaktor.

Als algemene nadelen van de toepassing van het tweetrapsproces kunnen worden genoemd:

1. *Uitbreiding technologie.* Toepassing van afzonderlijke voorverzuring brengt met zich mee dat de installatie complexer wordt, waardoor meer know-how vereist is en de kans op bedrijfsstoringen toeneemt. Doordat toepassing van tweetrapsbehandeling een reductie in totaal installatievolume met zich mee kan brengen hoeft een tweetrapsinstallatie niet noodgedwongen duurder te zijn dan een eentrapsinstallatie voor de behandeling van dezelfde afvalwaterstroom.

2. *Extra kosten voor loog- en zuurgebruik.* Bij onvoldoend bufferend vermogen van het afvalwater dient aan de verzuringsreaktor

loog- en eventueel aan de methaanreaktor zuur gedoseerd te worden.

Het verdient enige nadruk dat bovengenoemde mogelijkheden en bezwaren voor een groot deel slechts op aanwijzingen berusten en dus op dit moment nog vrij speculatief zijn. Het onderzoek van onze werkgroep stelt zich tot doel om m.b.t. bovengenoemde punten voor de praktijk bruikbare informatie te verzamelen.

Het ruimtelijk scheiden van de zuurvormende bacteriën en de methaanbacteriën heeft tot gevolg dat het verloop en de produktvorming van de verzuringsfase anders is dan in het eentrapsysteem. Eén van de belangrijkste oorzaken van deze verandering is de ophoping van moleculaire waterstof door de zuurvormende bacteriën tijdens de verzuring van koolhydraten in afwezigheid van methaanbacteriën. Als gevolg hiervan kan vorming optreden van belangrijke hoeveelheden propionzuur en boterzuur, terwijl deze verbindingen in een eentrapsproces een ondergeschikte rol spelen en azijnzuur hier het belangrijkste produkt is [7, 8, 9]. Doordat de produkten van de verzuringsfase veranderen door het tot stand brengen van de fasenscheiding, zal het verloop van het methaanvormingsproces ook moeten veranderen.



DRS. A. COHEN  
Laboratorium voor Microbiologie  
Amsterdam



A. M. BREURE  
Laboratorium voor Microbiologie  
Amsterdam



IR. R. J. ZOETEMEYER  
Laboratorium voor Chemische  
Technologie  
Amsterdam

eentrapsproces, waarbij de verzuringsbacteriën gekombineerd in één ruimte voorkomen.

Als potentiële voordelen van het tweetrapsproces kunnen genoemd worden:

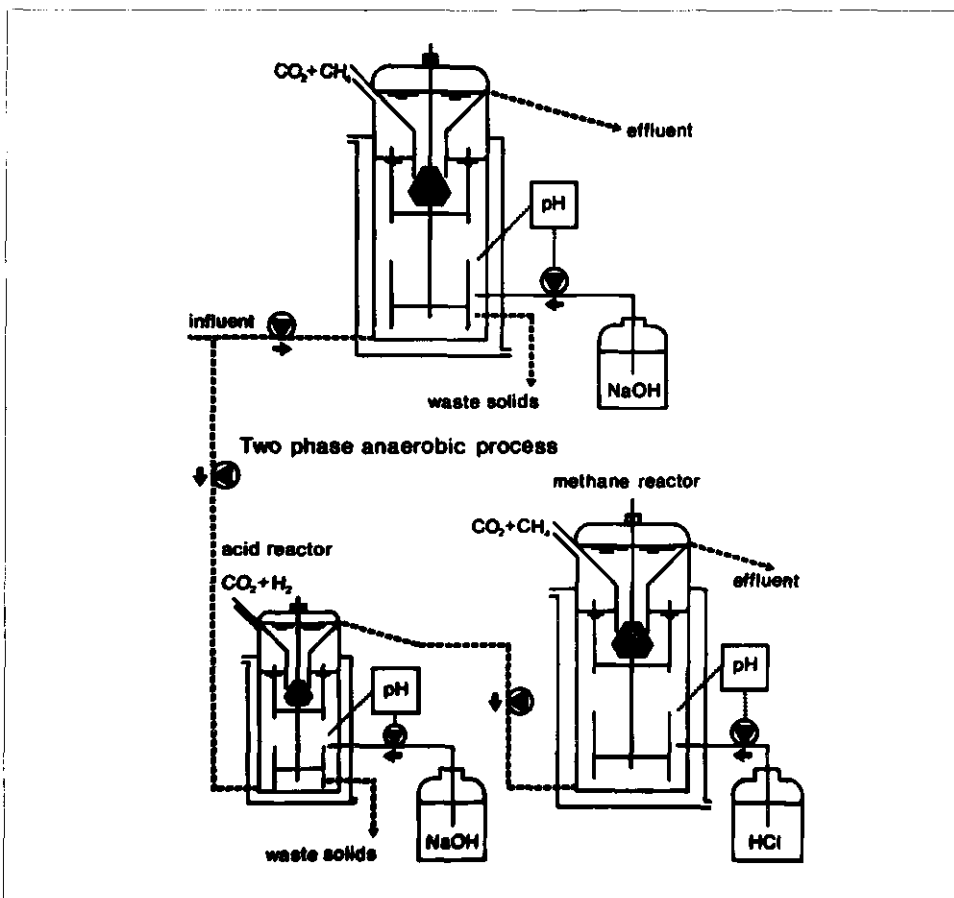
1. *Optimalisering.* In resp. de verzuringsreaktor en de methaanreaktor kunnen de optimale omstandigheden voor de resp. bacteriegroepen worden ingesteld. Hierdoor kan het totale proces aanzienlijk sneller verlopen, hetgeen reductie inhoudt van het totale reaktorvolume [3, 4].

2. *Verhoogde stabiliteit.* Wanneer tijdelijk verlies in activiteit van de methaanbacteriën optreedt kan verzuring van de methaanreaktor worden voorkomen door het afsluiten van de toevoer naar de methaanreaktor.

3. *Afzonderlijke slijbspui.* Relatief snelgroeiend zuurvormend slijb kan worden gespuid zonder verlies van methaanslijb.

4. *Aanpassing op afvalwaterstromen van wisselende samenstelling.* De hydrolyse en verzuring kan worden uitgevoerd door een groot aantal bacteriesoorten met uiteenlopende specifieke activiteiten t.a.v. ver-

Afb. 1 - Schema van het eentrapsproces (boven) en het tweetrapsproces.



Propionzuur en boterzuur kunnen slechts door methaanbacteriën worden omgezet met behulp van een aparte groep van bacteriën, die de *intermediaire zuurvormende bacteriën* worden genoemd [9, 10]. Het zal duidelijk zijn dat het eentrapproces en het tweetrapsproces in fysiologisch opzicht twee volkomen van elkaar verschillende processen zijn, en dat een eentrapproces niet kan worden voorgesteld als de som van de verzuringsfase en de methaanvormingsfase uit het tweetrapsproces.

### Doel en opzet

Door het optreden van de genoemde fysiologische verschillen kan men verwachten dat ook enkele voor de praktijk belangrijke karakteristieken zoals maximale slibbelasting, slibstructuur en -samenstelling en stabiliteit van het gehele proces in beide gevallen van elkaar zullen verschillen. Het door ons uitgevoerde laboratoriumonderzoek had tot doel inzicht te verkrijgen in de invloed die de fasenscheiding uitoefent op enkele van deze grootheden.

Een een- en een tweetrapsysteem (afb. 1) werden gevoed met een influent dat in beide gevallen een identieke samenstelling had. De overige proefomstandigheden werden dusdanig gedefinieerd en aan elkaar gelijk gehouden, dat kan worden gesproken over een vergelijkend onderzoek. In deze publicatie wordt de verzuringsfase van het tweetrapsysteem verder buiten beschouwing gelaten. Voor gegevens betreffende de verzuring wordt verwezen naar de literatuur [1, 2] en toekomstige publicaties. Bij gebruik van glucose als substraat wordt het methaanvormingsproces als snelheidsbeperkend beschouwd, de vergelijking tussen het een- en tweetrapsproces betreft hier dus eigenlijk een vergelijking tussen het eentrapproces en de methaanreaktor van het tweetrapsproces. De beide opstellingen werden gedurende lange tijd continu gevoed, waarbij de hydraulische verblijftijd geleidelijk verlaagd werd. Na het bereiken van de maximale belasting tijdens continue voeding werden een aantal ladingsgewijze voedingen toegepast om enkele kinetische aspecten van de vetzuurafbraak te bestuderen.

Na afloop van alle experimenten werd de totale inhoud van de reaktoren gevriesdroogd en de hoeveelheid en de samenstelling van het slib nauwkeurig vastgesteld.

### Materiaal en methoden

#### a. Het eentrapproces

De opstelling bestond uit een glazen up-flowreaktor met een inhoud van 1100 ml. De reaktor was voorzien van een verwarmingsmantel, een mechanische roerinrichting en een interne nabezinker. De reaktor

werd d.m.v. een thermostaatbad op 30 °C gehouden en de inhoud werd geroerd met een snelheid van  $\pm 150$  r.p.m. De pH werd konstant gehouden op  $7,2 \pm 0,1$  d.m.v. een 2 N NaOH-oplossing en met behulp van een pH-meter gekoppeld aan een automatische titrator. Het gevormde gas werd opvangen in een gas-verzamelruimte onder de interne nabezinker en verliet de reaktor aan de bovenkant. Dit gas werd na droging in een CaCl<sub>2</sub>-buisje door een U-buis met CO<sub>2</sub>-absorptiemiddel (Natronkalk in korrelvorm, Merck art. 6839) geleid. De hoeveelheid gevormde CO<sub>2</sub> werd bepaald door weging van de U-buis. Na de U-buis passeerde het gas via een tweede CaCl<sub>2</sub>-buisje een natte gasmeter (Meterfabriek Dordrecht), waarmee de hoeveelheid methaan-gas werd bepaald. Het influent bevatte 1 % glucose-monohydraat en voedingszouten in overmaat. Het medium werd gesteriliseerd in vaten van 20 l. De reaktor werd gevuld met 500 ml slib uit de 200 m<sup>3</sup> proefreaktor van de CSM te Halfweg. Dit slib kreeg gedurende enkele maanden de gelegenheid zich aan te passen aan het influent en de proefomstandigheden, waarbij de hydraulische verblijftijd gaandeweg verkort werd.

Dagelijks werd de gasproductie gemeten en de vetzuurconcentratie in de reaktor bepaald. De verlagingen van de hydraulische verblijftijd vonden plaats met minimaal 4 dagen tussenruimte om het slib de gelegenheid te geven zich aan de hogere belasting aan te passen. Pas toen gedurende deze perioden voortdurend aanzienlijke concentraties vetzuren in de reaktor te meten waren werd aangenomen dat de maximale belasting van het systeem bereikt was en werd de toevoer van het medium stopgezet. Vervolgens werd een pulsbelasting gegeven met glucose met een beginconcentratie van 0,5 % in de reaktor. De vorming en afbraak van de vetzuren werd in de tijd gevolgd evenals de gasproductie. Na volledige afbraak van de gevormde vetzuren werd de reaktor vier dagen continu gevoed bij een belasting van 0,176 g CZV/g org. stof/dag. Vervolgens werd de toevoerpomp afgezet en op gelijke wijze een tweede glucosepuls gegeven. Na afbraak van de vetzuren werd de totale hoeveelheid slib in de reaktor afgecentrifugeerd (1 uur, 10.000 g) en na 1 x wassen gevriesdroogd. Het droge slib werd bewaard voor verdere analyses.

#### b. Het tweetrapsproces

Voor een beschrijving van de gebruikte verzuringsreaktor en de proefomstandigheden kan worden verwezen naar vorige publicaties [1, 2]. De verzuringsreaktor was van het chemostaattype (CFSTR) en werkte bij een pH van 6 en 30 °C. Het influent had

dezelfde samenstelling als bij het eentrapproces werd beschreven. Het effluent werd verzameld in vaten van 10 l en opgeslagen bij 8 °C. Voor het gebruik werd het effluent ontdaan van verzuringsbacteriën door centrifugering (1 uur, 10.000 g). In het verzuurde influent voor de methaanreaktor was geen glucose aantoonbaar. De samenstelling van het influent tijdens de periode van de maximale belasting was als volgt: azijnzuur: 1670 mg/l, propionzuur: 960 mg/l, boterzuur: 1340 mg/l, valeriaanzuur: 40 mg/l, totaal: 5760 mg CZV/l.

De gebruikte methaanreaktor was identiek aan de reaktor van het eentrapssysteem, evenals de experimentele procedure (zie a.). Voor het konstant houden van de pH in de reaktor werd getitreerd met een 4 N HCl-oplossing. Bij de pulsbelastingen werden vetzuurmengsels aan de reaktor gegeven van  $\pm 1000$  mg azijnzuur,  $\pm 1000$  mg propionzuur en  $\pm 1000$  mg boterzuur. Na toevoegen van de vetzuurmengsels aan de reaktor werd de pH op 7,2 gebracht met een 2 N NaOH-oplossing.

Tussen de eerste en de tweede pulsbelasting werd de reaktor gedurende twee dagen gevoed bij een belasting van 0,753 g CZV/g org. stof/dag.

#### c. Analyses

**Monstername.** Monsters van 2 ml werden dagelijks of meer genomen uit het inwendige van de reaktor. De monsters werden direkt afgecentrifugeerd (6', 24.000 g) op een microcentrifuge (Quickfit, Engeland). Na bepaling van het vetzuurgehalte werden de monsters ingevroren.

**Vluchtige vetzuren.** In het supernatant werd na verdunning tot 15 % mierzuur gaschromatografisch de concentratie ethanol en vluchtige vetzuren bepaald. (Chromosorb 101, 80/100 mesh, 200 cm, 170 °C).

**Glucose.** Glucosebepalingen werden uitgevoerd met glucose oxidase (Glox Novum, A. G. Kabi, Zweden) volgens voorschrift van de fabrikant.

**Asgewicht.** Het asgewicht van de drooggevroren slibmonsters werd bepaald d.m.v. koude verassing met geactiveerde zuurstof, en wel net zo lang tot de gewichtsafname minimaal was. (Plasmamachine 1001B, Int. Plasma Corp. Druk: 77,4 Pa).

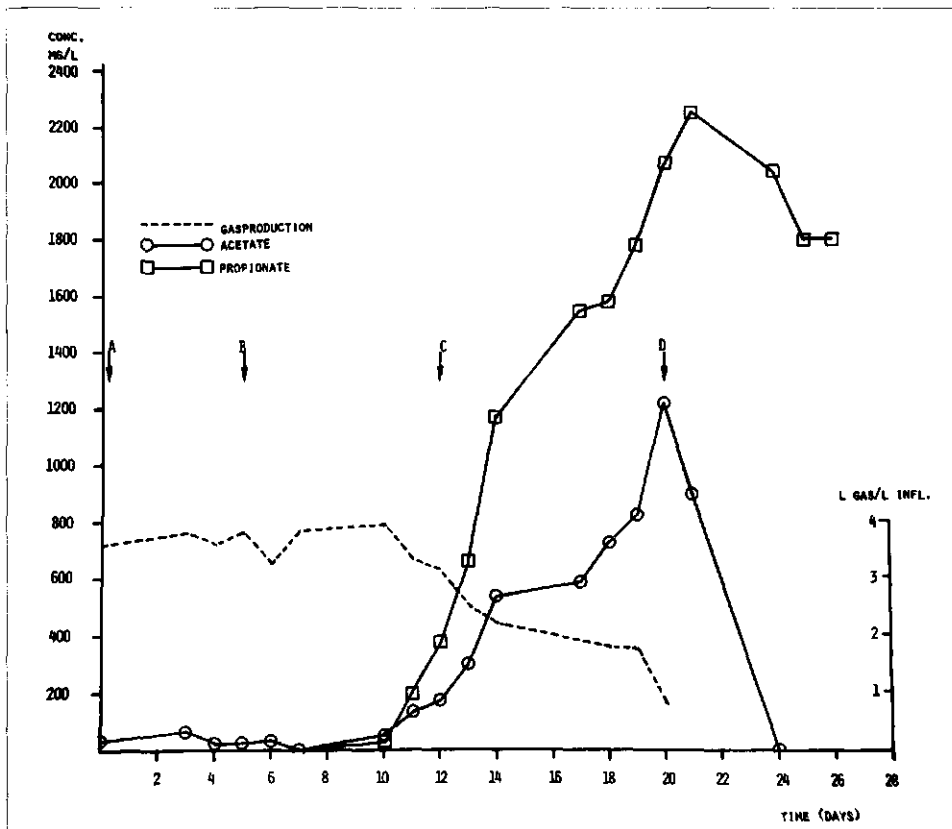
**Totaal stikstofbepalingen.** Stikstofbepalingen werden uitgevoerd volgens Dumas in een Nitrogen Analyzer (Coleman, model 29) [11] en volgens Kjeldahl [12].

De bepaling van lactaat, totaal organisch en anorganisch koolstof werd uitgevoerd zoals voorgaand beschreven [1, 2].

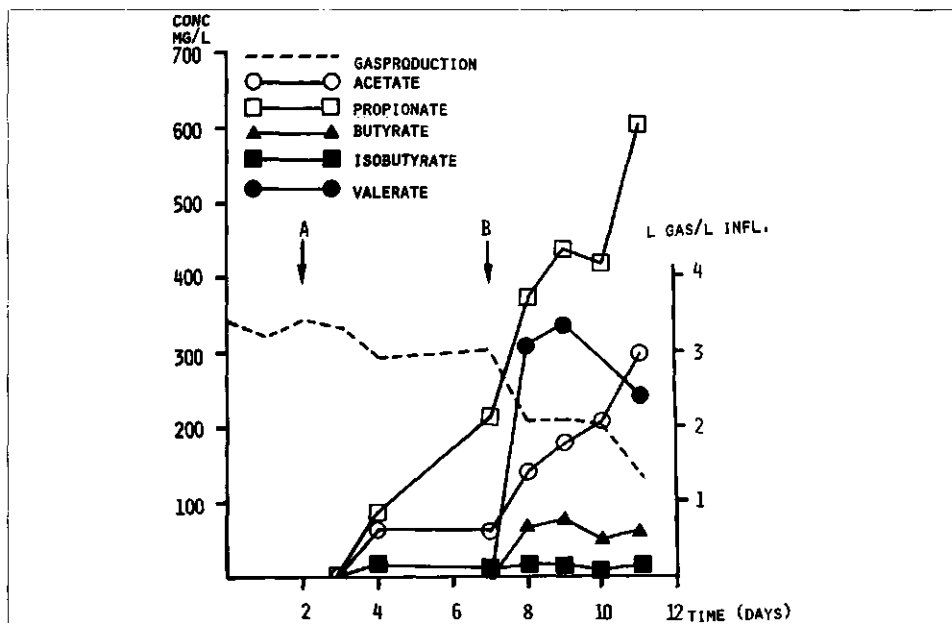
### Resultaten

#### a. Continue belasting

In afb. 2 en afb. 3 is het verloop van de



Afb. 2 - Verloop van de vetzuurconcentratie in de eentrapsreactor bij geleidelijk verhogen van de hydraulische belasting. A, B en C: verhogingen van de belasting. D: Toevoerpomp afgezet.



Afb. 3 - Verloop van de vetzuurconcentratie in de methaanreactor van het tweetrapsstelsel bij geleidelijk verhogen van de hydraulische belasting. A en B: verhogingen van de belasting.

vetzuurconcentraties in de reaktoren van resp. het één- en het tweetrapsstelsel grafisch weergegeven. Als de hoogste continue belasting van de beide systemen werd die belasting gekozen waarbij nog juist géén accumulatie van vetzuren in de reactor plaatsvond. Opvallend zijn de vetzuursamenstellingen bij overbelasting van de

beide reaktoren: bij overbelasting van het eentrapsstelsel treedt alleen ophoping van het propionzuur en azijnzuur op, terwijl in de methaanreactor van het tweetrapsstelsel ook ophoping van valeriaanzuur en boterzuur plaatsvindt. De valeriaanzuurconcentratie in de reactor was bij overbelasting vele malen hoger dan de

influentconcentratie van dit zuur, dit zuur moet dus gevormd zijn uit andere vetzuren. In tabel I zijn de belangrijkste karakteristieken van het eentraps- en de methaanreactor van het tweetrapsstelsel weergegeven. De maximale slijbelasting van het tweetrapsstelsel was ruim 3 maal zo hoog als die van het eentrapsstelsel.

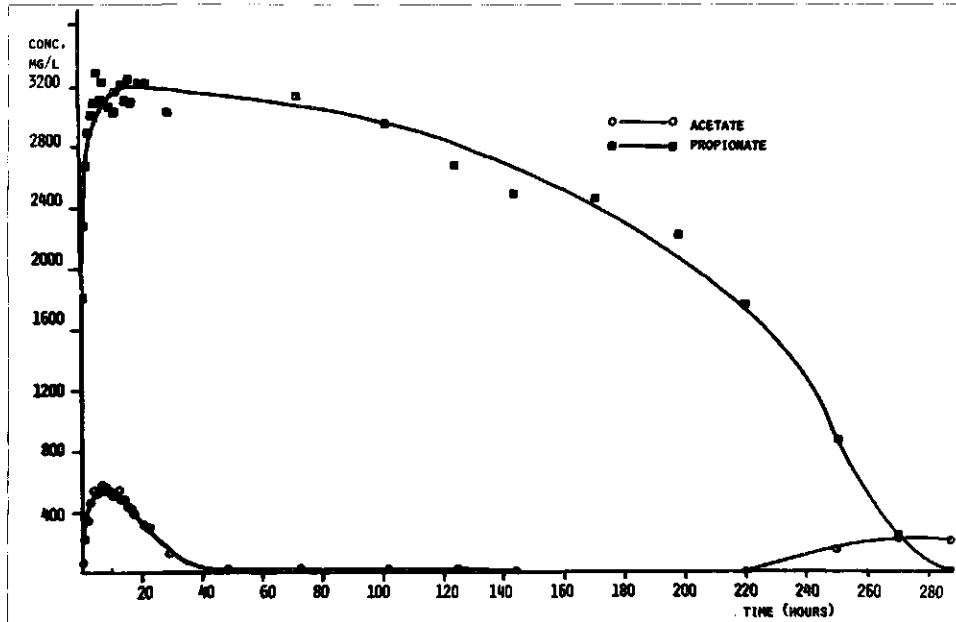
TABEL I - Karakteristieken van het eentrapsstelsel en de methaanreactor van het tweetrapsstelsel bij maximale continue belasting.

|                                       | eentrapsstelsel | tweetrapsstelsel |
|---------------------------------------|-----------------|------------------|
| Influent CZV (mg/l)                   | 9670            | 5760             |
| Gasproductie (l per l influent)       | 3,92            | 2,93             |
| Gassamenstelling (% methaan)          | 77              | 71               |
| Max. slijbelasting (g CZV/g org st/d) | 0,454           | 1,482            |
| Minimale verblijftijd (uur)           | 69              | 27               |
| Zuivering bij maximale belasting (%)  | 100             | 96               |
| Opbrengst koolstofbalans (%)          | 72,3            | 92,1             |
| Hoefvelheid slijb in de reactor (g)   | 21,0            | 5,15             |
| Organische stofgehalte (%)            | 39,79           | 73,38            |

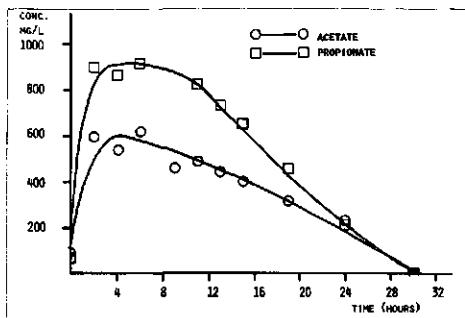
#### b. Schokbelastingen

Nadat het eentrapsstelsel overbelast was geweest werd de toevoer van het influent stopgezet (afb. 2, punt D), de azijnzuurconcentratie nam onmiddellijk af, maar de propionzuurconcentratie bleef gehandhaafd op 1800 mg/l. Na 6 dagen werd een glucosepuls gegeven tot een concentratie van 4400 mg/l in de reactor. De opnamesnelheid van de glucose kon worden berekend als 124 mg/g.slijb.uur (= 3,17 g CZV g.slijb.dag). In afb. 4 is het verloop van de vetzuursamenstelling in de reactor grafisch weergegeven. De propionzuurconcentratie steeg onmiddellijk van 1800 naar 3200 mg/l, ophoping van azijnzuur trad nauwelijks op. Het propionzuur werd gedurende een periode van 12 dagen met toenemende snelheid afgebroken. Dit doet vermoeden dat hier sprake was van een adaptatieverschijnsel, dat verklaard zou kunnen worden door groei van propionzuur afbrekende bacteriën. Opvallend is de vorming van azijnzuur op het moment dat de afbraaksnelheid van propionzuur maximaal is. De koolstofopbrengst bij deze puls was 78,0 % aan gasvormige producten.

Bij de tweede puls aan de reactor bedroeg de beginconcentratie aan glucose 4857 mg/l in de reactor. De opnamesnelheid van glucose was gelijk aan die bij de eerste puls. Het verloop van de azijnzuurconcentratie na deze puls was vrijwel identiek aan die van de eerste puls, maar de propionzuurconcentratie werd ditmaal niet hoger dan 900 mg/l, terwijl de afbraak simultaan verliep met die van azijnzuur. (afb. 5). Deze snelle propionzuurafbraak in vergelijking met de eerste puls toont aan, dat het slijb bij de tweede puls aan de afbraak van



Afb. 4 - Verloop van de vetzuursamenstelling in de eentrapreaktor na de eerste schokbelasting met glucose.



Afb. 5 - Verloop van de vetzuursamenstelling in de tweede schokbelasting met glucose.

propionzuur geadapteerd was en dus niet meer de karakteristiek vertoonde van 'eentrapsslib', dat volgens afb. 4 niet aan de afbraak van propionzuur was aangepast. Na dit experiment werd de inhoud van de reaktor gevriesdroogd.

Na overbelasting van het tweestapstelsel werd de toevoer van het influent stopgezet, waarna de vetzuren in de reaktor werden afgebroken. Vervolgens werd een pulsbelasting van ± 3000 mg vetzuren/l aan de reaktor gegeven. Na afbraak van de vetzuren en een korte periode van submaximale continuebelasting werd een tweede puls aan

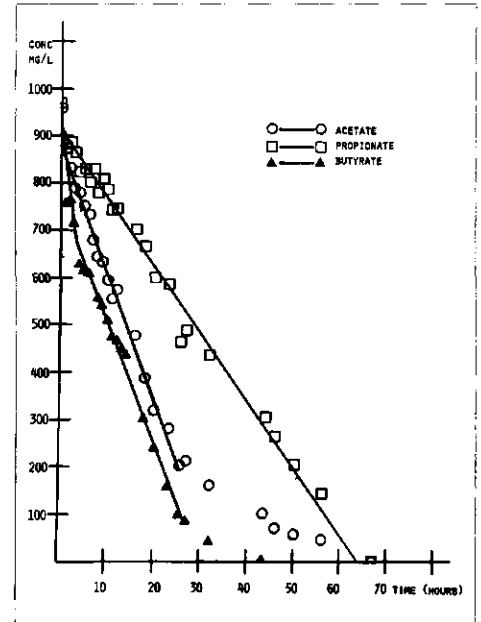
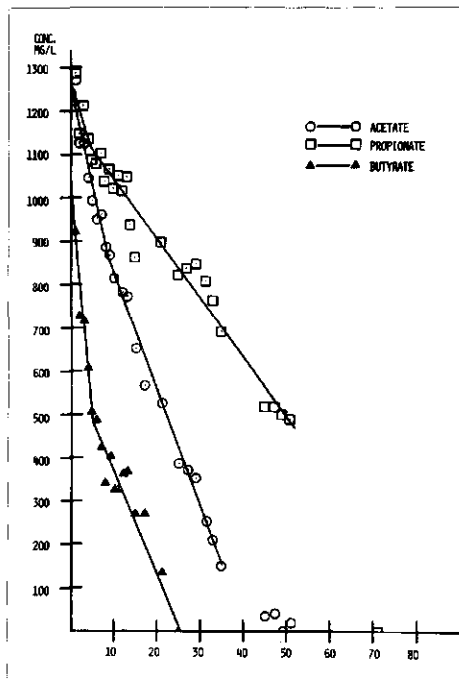
TABEL II - Belastingen en afbraaksnelheden van de pulsbelastingen aan de methaanreaktor van het tweestapstelsel.

| Vetzuur     | Beginkoncentratie puls <sup>1</sup> |         | Afbraaksnelheid <sup>2</sup> |         |
|-------------|-------------------------------------|---------|------------------------------|---------|
|             | 1e puls                             | 2e puls | 1e puls                      | 2e puls |
| Azijnzuur   | 1139                                | 938     | 171                          | 173     |
| Propionzuur | 1131                                | 990     | 86                           | 90      |
| Boterzuur   | 1066                                | 957     | 149                          | 159     |

<sup>1</sup> In mg/l.  
<sup>2</sup> In mg/g org. stof/dag.

de reaktor gegeven. De resultaten van de beide pulsen zijn weergegeven in tabel II en afb. 6 en 7. Vooral bij de eerste puls werd direct na de toevoeging van de vetzuren een verhoogde vetzuuropnamesnelheid gemeten; het is niet duidelijk of het hier gaat om actieve opname van vetzuren of dat het een feitelijk omzettingproces in methaan en CO<sub>2</sub> betreft. De vetzuurafbraaksnelheden in tabel II werden berekend uit het tweede, lineaire deel van de kurven in afb. 6 en 7.

Afb. 6 - Verloop van de vetzuursamenstelling in de methaanreaktor van het tweestapstelsel na de eerste vetzuurpulsbelasting.



Afb. 7 - Verloop van de vetzuursamenstelling in de methaanreaktor van het tweestapstelsel na de tweede vetzuurpulsbelasting.

Men dient zich te realiseren, dat de afbraaksnelheden van azijnzuur zoals deze werden berekend geen feitelijke afbraaksnelheden zijn maar veeleer een resultante van vormingssnelheden en afbraaksnelheden van dit zuur.

**Diskussie**

*a. Continue belasting*

De door dit onderzoek verkregen resultaten omtrent maximale belastbaarheid van het één- en het tweestapstelsel werden in deze publikatie weergegeven als *slibbelasting* uitgedrukt in gram CZV/gram organische stof/dag. Deze maat is als biologische eenheid gehanteerd uiterst zinvol, doch heeft voor de praktijk slechts een beperkte betekenis. De voor de praktijk belangrijke parameters zoals volumebelasting en minimale vloeistofverblijftijd worden in hoge mate bepaald door factoren die buiten het veld van ons laboratoriumonderzoek liggen en dus niet direct uit deze gegevens kunnen worden afgeleid. Tot deze factoren kunnen worden gerekend de bezinksnelheid en het organische stofgehalte van het slib, de samenstelling en de concentratie van het afvalwater, de constructie van de reaktor en — daarmee samenhangend — de kwaliteit van de slibretentie. Het zal duidelijk zijn, dat het specificeren van volumebelasting en minimale verblijftijd bij proeven met synthetisch afvalwater en geroerde laboratoriumreactoren geen zinvolle gegevens oplevert. Echter gekombineerd met gegevens uit de praktijk komen wij tot het volgende overzicht (tabel III): Het feit dat bij toepassing van volledige

TABEL III - *Vergelijking van de experimentele resultaten met gegevens uit de praktijk.*

| Proces          | Maximale slibbelasting<br>(g CZV/g org. st./dag) | Maximale volumebelasting <sup>1</sup><br>(kg CZV/m <sup>3</sup> /dag) |
|-----------------|--|---|
| eentrapproces   | 0,45   | 13,5  |
| tweetrapsproces | 1,5  | 45  |
| CSM [13]        | 0,8—1,1  | 30  |
| IBVL [14]       | 1,1—1,2 <sup>2</sup><br>1,5 <sup>3</sup>         | 12<br>25—45   |

<sup>1</sup> Berekend op basis van 30 kg org. stof/m<sup>3</sup> [13].

<sup>2</sup> Bij toepassing van soda voor pH-kontrolle, temperatuur 35 °C.

<sup>3</sup> Bij toepassing van kalk voor pH-kontrolle, temperatuur 35 °C.

voorverzuring een slibbelasting haalbaar is die ruim driemaal zo hoog is als bij vergisting van onverzurd influent is opvallend. Uiteraard houdt dit verband met het feit dat — zoals in de inleiding werd aangegeven — er sprake is van twee verschillende processen en mogelijk voor een deel van verschillende bacteriepopulaties.

Bij het zoeken naar een verklaring voor de sterke verschillen in maximale slibbelasting kan worden gedacht aan de verschillen in de aard en de energie-inhoud van de tussenproducten welke van de verzuringsbacteriën op de methaanvormende bacteriën worden overgedragen, maar alle mogelijke verklaringen in deze richting zijn op dit moment nog zeer speculatief.

Uit tabel III blijkt verder, dat praktijkinstallaties bij de CSM en het IBVL, die gevoed werden met gedeeltelijk verzuurd afvalwater, eveneens een hoge stabiliteit en een belastbaarheid vertonen, die onze resultaten met het tweetrapsstelsel benaderen [13, 14].

Experimenten die bij ons werden uitgevoerd met gedeeltelijk verzuurd afvalwater tonen aan, dat voor het bereiken van hoge slibbelastingen volledige voorverzuring niet noodzakelijk is. Een dergelijk systeem vertoont karakteristieken die sterk aan het tweetrapsstelsel deden denken. In een toekomstige publikatie zullen wij nader op deze experimenten ingaan.

#### b. Schokbelastingen

Bij de schokbelastingen met glucose op het eentrapssysteem zagen we dat glucose snel werd afgebroken en propionzuur zich in de reaktor ophoopte. Ook bij overbelasting van het eentrapssysteem onder continue voeding ontstond propionzuur dat niet werd omgezet.

Uit deze resultaten blijkt dat bij diskontinue voeding en overbelasting een verbinding gevormd wordt die onder stationaire omstandigheden niet vrij aanwezig is. Er zijn nu twee mogelijkheden: a. propionzuur wordt onder stationaire omstandigheden niet gevormd en niet omgezet;

b. propionzuur wordt onder stationaire omstandigheden wel gevormd, maar even snel omgezet als het gevormd wordt. Het feit dat het slib na vorming van propionzuur niet geadapteerd bleek te zijn aan de afbraak van dit zuur maakt de tweede mogelijkheid onwaarschijnlijk, waaruit we kunnen konkluderen dat we te doen hebben met een proces dat onder niet-stationaire omstandigheden anders verloopt dan tijdens een steady-state. Dit betekent dat we te doen hebben met een proces dat gekenmerkt wordt door een *lage stabiliteit* in fysiologisch opzicht; bij iedere tijdelijke instabiliteit die optreedt in het proces wordt een produkt gevormd dat niet direkt kan worden omgezet en dus accumuleert, en bij voortdurende ophoping een remmend effect zou kunnen veroorzaken.

Bij de schokbelastingen met de vetzuurmengsels op de methaanreaktor van het tweetrapsstelsel kwam de afbraak van ieder vetzuur onmiddellijk op gang. Dit is op zichzelf een vanzelfsprekend resultaat, want het systeem was permanent geadapteerd aan de afbraak van de drie vetzuren. We zien dus dat de aard van de processen die optreden niet essentieel verandert door diskontinuiteiten in de voeding. Bij overbelasting tijdens continue voeding ontstond weliswaar vrij veel valeriaanzuur (afb. 3), doch dit werd na het afzetten van de toer pomp onmiddellijk afgebroken. Uit het voorgaande kunnen we dus konkluderen dat we te maken hebben met een fysiologisch *stabiel* proces.

De vorming van valeriaanzuur zou kunnen optreden d.m.v. een condensatie-reaktie uit azijnzuur en propionzuur tijdens gestagneerde propionzuurafbraak. Deze reaktie is energieleverend door de oxydatie van moleculaire waterstof [15].

Bij de uitgevoerde experimenten (overbelasting, 1e puls en 2e puls) is rekening gehouden met de aanwas van slib in de reaktor. Omdat deze experimenten werden uitgevoerd gedurende een vrij korte periode vóórdat de totale hoeveelheid slib werd vastgesteld, wordt in dit geval aangenomen, dat de aanwas van slib in de reaktor verwaarloosbaar is t.o.v. de totale slibhoeveelheid.

In tabel IV zijn de omzettingssnelheden van het influent samengevat op CZV-basis:

TABEL IV - *Omzettingssnelheden van het influent van het eentrapssysteem en de methaanreaktor van het tweetrapsstelsel uitgedrukt in g CZV/g org. stof/dag.*

|                  | Maximale belasting<br>(continue voeding) | 1e puls | 2e puls |
|------------------|--|---------|---------|
| Eentrapssysteem  | 0,454                                    | —       | —       |
| Tweetrapsstelsel | 1,482                                    | 0,583   | 0,611   |

Het blijkt, dat de afbraaksnelheden bij het tweetrapsstelsel onder continue voeding ongeveer 2,5 x zo hoog zijn als bij de schokbelastingen. Hieruit volgt, dat de ladingsgewijze experimenten een onbetrouwbaar beeld geven van de belastbaarheid van dit systeem onder stationaire omstandigheden.

#### Struktuur en samenstelling van het slib

Aan het vergelijkend onderzoek tussen de beide processen is een onderzoek gekoppeld naar de structuur en samenstelling van het slib zoals het zich in de beide gevallen heeft ontwikkeld in vergelijking met het oorspronkelijke CSM-slib, dat werd gebruikt als uitgangsmateriaal voor onze experimenten. Binnen dit kader kan echter slechts summier op de resultaten van dit onderzoek worden ingegaan.

Het CSM-slib was zwart, korrelig en goed bezinkbaar. Na de experimenten was het eentrapsslib zwart, zeer fijnkorrelig en bezonk slecht. Het tweetrapslib was meer donkergrijs en had een vlokachtige structuur. Ook dit slib bezonk vrij slecht, maar beter dan het eentrapsslib.

In tabel V zijn de gegevens samengevat van de organische stofbepalingen en de stikstofbepalingen aan het slib volgens twee onafhankelijke methoden.

TABEL V - *Organische stof- en stikstofgehalten van de verschillende soorten slib.*

| Slib         | org.stof-<br>gehalte <sup>1</sup><br>(%) | stikstof-<br>gehalte v.d. org.stofrest<br>(%) | org.stofrest<br>(%) |
|--------------|--|---|---------------------|
| CSM-slib     | 79,0                                     | 9,9 <sup>2</sup>                              | 12,0 <sup>3</sup>   |
| eentrapsslib | 39,8                                     | 11,2  | 12,1                |
| tweetrapslib | 73,4                                     | 10,5  | 12,5                |

<sup>1</sup> Berekend uit Drooggewicht - asgewicht.

<sup>2</sup> Volgens Dumas [11].

<sup>3</sup> Volgens Kjeldahl [12].

Opvallend is het lage organische stofgehalte van het eentrapsslib, terwijl het organische stofgehalte van het tweetrapslib vergelijkbaar is met dat van het uitgangsmateriaal. Om te controleren of deze getallen betrekking kunnen hebben op het bacteriegehalte van het slib werden de stikstofgehalten berekend op basis van het organische stofgehalte. Deze getallen vertonen weinig variatie over de drie soorten slib en liggen tussen de 9,9 en 12,5 %. Speece en McCarty [16] vonden bij soortgelijke bepalingen aan glucose-gevoed anaeroob slib een stikstofgehalte dat varieerde tussen de 10,3 en 13,1 %. Herbert [17] vond bij cellen van *Klebsiella aerogenes*, gekweekt onder koolstoflimitatie een stikstofgehalte tussen 12,8 en 14,2 %. Indien we aannemen dat het gehalte aan niet-gehydrolyseerd organisch materiaal in de drie soorten slib verwaarloosbaar is en de gevonden organische

stofgehaltes inderdaad betrekking hebben op de bacteriemassa's in het slib, dan volgt uit deze resultaten de konklusie, dat in het een-trapsslib bacteriën zijn afgestorven of werden uitgespoeld uit de reaktor. (Het influent van de beide systemen bevatte geen onopgelost organisch materiaal omdat gewerkt werd met synthetische media.)

Bij het tweetrapsproces zijn geen bacteriën afgestorven of is de groei van de bacteriën gelijk geweest aan de uitspoeling.

Opvallend is verder de structuurverslechtering van de beide soorten, welke moet worden toegeschreven aan de mechanische roering in de reaktor. Een daling van het droge stofgehalte van het slib door zo'n ingreep met een factor 6 bleek gebruikelijk bij onze experimenten. Tenminste bij het tweetrapsproces heeft mechanische fragmentatie niet geleid tot verlies aan activiteit van de bacteriën, getuige de gegevens over maximale slibbelastingen in niet-geroerde praktijkreactoren.

#### Verder onderzoek

In samenwerking tussen de Centrale Suikermaatschappij, de vakgroepen Microbiologie en Chemische Technologie van de Universiteit van Amsterdam, zal binnenkort worden gestart met een onderzoek naar de tweetrapsvergisting van suikerhoudend afvalwater op semi-technische schaal.

Voor de bestaande 30 m<sup>3</sup> methaanreaktor welke reeds in Breda staat opgesteld zal een verzuringsreaktor worden geplaatst met een werkvolume van 1,8 m<sup>3</sup>. Bij het onderzoek zal speciaal aandacht worden besteed aan het verloop van de verzuringsfase en de produktvorming, waarbij verder ook technologische aspecten zullen worden betrokken. Van belang is ook dat meer gegevens worden verkregen over het loogen- en zuurgebruik bij behandeling van praktijkafvalwater.

#### Samenvatting en konklusies

In een vergelijkend onderzoek tussen de anaerobe vergisting van glucosehoudend afvalwater d.m.v. een een-trapsproces en een tweetrapsproces, werden de een-trapsreaktor en de methaanreaktor van het tweetrapsstelsel aan biokinetische experimenten onderworpen t.a.v. de afbraak van vluchtige vezturen.

Het tweetrapsstelsel vertoonde zowel bij continue als bij een pulsbelasting een hoge stabiliteit en vertoonde geen achteruitgang in activiteit bij een tweede pulsbelasting. Het een-trapsstelsel bleek gevoelig voor diskontinuiteiten in de voeding en overbelasting onder continue voeding. Onder deze omstandigheden hoopte zich propionzuur op, dat niet direkt kon worden afgebroken. Een relatief lange adaptatieperiode

bleek noodzakelijk voordat de omzetting van propionzuur op gang kwam.

Bij continue voeding vertoonde het tweetrapsproces een maximale slibbelasting die ruim drie maal zo hoog was als de maximale slibbelasting van het een-trapsproces. Het slib van het een-trapsproces vertoonde een daling in het biomassagehalte terwijl het biomassagehalte van het tweetrapsmethaanslib nagenoeg konstant bleef t.o.v. dat van het uitgangsmateriaal.

#### Tot slot

Bij het tot stand komen van deze publikatie gaat onze hartelijke dank uit naar het Laboratorium West (Hoofdafdeling Rioeringen en Waterbeheersing) van de Publieke Werken van Amsterdam voor het uitvoeren van de Kjeldahl-bepalingen en naar de heer J. Kroonen (Laboratorium voor Analytische Scheikunde, Universiteit van Amsterdam) voor het uitvoeren van de koude verassingsen van de slibmonsters.

#### Literatuur

1. Cohen, A., Zoetemeyer, R. J. en Andel, J. G. van (1977), H<sub>2</sub>O (10) nr. 13, p. 296.
2. Cohen, A., Zoetemeyer, R. J. Deursen, A. v. en Andel, J. G. van, Water Res. (in press).
3. Ghosh, S., Conrad, J. R. en Klass, D. L. (1975), J. Wat. Poll. Contr. Fed. 47 (1), p. 30-45.
4. Pohland, F. G. en Ghosh, S. (1971), Envir. Letters, 1, 4, p. 255.
5. Mah, R. A. en Sussman, C. E. (1967), Appl. Microbiol., 16, 358-361.
6. Toerien, D. F. (1970), Water Res., 4, p. 129-148.
7. Rufener, W. H. (1968), Appl. Microbiol. 16, p. 1955-1956.
8. Wolin, H. J. (1974), Am. J. Clin. Nutrition, 27, p. 1320-1328.
9. Cohen, A. (1976), Scriptie Anaerobe Afvalwaterbehandeling, Univ. v. Amsterdam.
10. Mah, R. A., Ward, D. M., Baresi, L. en Glass, T. L. (1977), Ann. Rev. Microbiol. 31, p. 309-341.
11. Fieser, L. F. en Fieser, M. (1958), Org. Chemistry, 3rd. ed. Reinhold publ. Corp. (eds.), p. 14-15.
12. Nederlandse Norm (Nessler), NEN 3235,6.1.1. nr. 7.
13. Lettinga, G., Pette, K. Ch., Vletter, R. de, Wind, E. (1977), H<sub>2</sub>O (10), 23, p. 526-530.
14. Versprille, A. I. (1978), De Ingenieur, Jrg. 90, nr. 40, p. 762-765.
15. Thauer, R. K., Jungermann, K. en Decker, K. Bact. Rev. 41, 1, p. 100-180.
16. Speece, R. E. en McCarty, P. L. (1962), Proc. Int. Conf. Wat. Poll. Res. 1962.
17. Herbert, D. (1975), Continuous Culture 6: Applications and New Fields. A. C. R. Dean, D. C. Ellwood, C. G. T. Evans, J. Melling (eds), Ellis Horwood Ltd. Chichester, U.K.



## Opleiding waterleidingkaarttekenaar

In overleg met de VEWIN heeft PBNA besloten de opleiding waterleidingkaarttekenaar uit haar pakket te halen. Sinds 1 september 1979 is het dan ook niet meer mogelijk om ingeschreven te worden voor deze opleiding.

Voor de ingeschreven cursisten is het wel mogelijk de cursus af te maken. Voorwaarde is wel dat het studietempo niet te veel afwijkt van het normale tempo. De Commissie voor de Examens in Waterleidingstechniek (CEW) zal in het voorjaar van 1980 bepalen hoe vaak nog gelegenheid zal worden geboden examens voor dit diploma te doen en wanneer het laatste examen zal worden afgenomen. De veranderingen hangen direct samen met het feit dat PBNA met ingang van 1 november 1979 een nieuwe opleiding aan haar pakket toevoegt, namelijk de opleiding leidingenteekenaar. Deze opleiding is tot stand gekomen in overleg tussen VEWIN, VEGIN, VEEN en PTT. Het examen zal, onder toezicht van deze participanten, door PBNA worden afgenomen. (Zie ook het artikel op de volgende pagina).

## Grondwater voor koeldoeleinden

In verband met het streven het gebruik van grondwater voor koeldoeleinden te (gaan) beperken is begin 1976 overleg gestart tussen de gezamenlijke provinciale waterstaatsdiensten, het RID en het Bureau Milieuhygiëne van de Raad van Nederlandse Werkgeversbonden om de activiteiten op het gebied van onderzoek naar het industrieel koelwaterverbruik zoveel mogelijk te coördineren. Het accent is daarbij tot nu toe vooral gelegd op het verbruiken van (zoet) grondwater voor koeldoeleinden. Het overleg heeft de naam Coördinatiegroep Industrieel Koelwaterverbruik gekregen. Inmiddels is een rapport gepubliceerd waarin een interimverslag is opgenomen van de werkzaamheden van de coördinatiegroep. Verder geeft het rapport een overzicht van de koelwatergegevens zoals de Vereniging Krachtwerktuigen die in opdracht van de coördinatiegroep heeft verzameld.

In het rapport worden o.a. de mogelijkheden aangegeven om tot vermindering te komen van het verbruik van (zoet) grondwater voor koeldoeleinden. In verband daarmee wordt ook de samenhang met de procesvoering en de mogelijke energiebesparing besproken.

Het rapport kost f 10,— (incl. BTW) en kan schriftelijk worden besteld bij de afdeling documentatie van het VNO (Prinses Beatrixlaan 5, 2509 AB Den Haag).