

De invloed van ongevoed bewaren op de activiteit van anaeroob slib

Inleiding

Uit resultaten van in ons laboratorium uitgevoerde onderzoeken betreffende de behandeling van het afvalwater van de aardappelmeelindustrie is gebleken dat bij toepassing van een anaeroob filter dit afvalwater tot ca. 90 % kan worden gezuiverd bij toegepaste CZV-belastingen tot ca. 7,5 kg/m³ · d. [1].

Gezien het seizoenkarakter van deze industrie en de lange opstarttijden welke bij anaerobe behandeling in het algemeen nodig zijn, is het duidelijk dat toepassing



DR. IR. G. LETTINGA
Afd. Waterzuivering der
Landbouwhogeschool,
Wageningen



IR. J. STELLEMA
Afd. Waterzuivering der
Landbouwhogeschool,
Wageningen

van methaangisting voor de zuivering van het betreffende afvalwater slechts in aanmerking komt, indien aan het begin van elke campagne een voldoende hoeveelheid, in goede conditie verkerend en geadapteerd, bacteriemateriaal ter beschikking staat.

Over het effect van een langdurige bewaring van anaeroob slib op de activiteit van dit slib is in de literatuur weinig bekend. H. Heukelekian en B. Heinemann [2] vonden dat bij ongevoed bewaren van anaeroob slib gedurende een periode van drie maanden bij 22 °C geen noemenswaardige achteruitgang optreedt in het aantal methaanbacteriën dat kan groeien op resp. azijnzuur, boterzuur en aethylalcohol als substraat. G. J. Stander [3] constateerde dat anaeroob slib, dat was geadapteerd aan afvalwater van een zetmeel-derivaten industrie, geen merkbare achteruitgang in activiteit vertoonde, indien het gedurende een periode van 19 dagen niet werd gevoed.

Van de in de literatuur vermelde gegevens betreffende de kinetische parameters van de methaangisting is onlangs een overzicht van Lawrence en McCarty [4] verschenen. De in dit overzicht vermelde waarden voor de snelheid van afsterving van slib, dat onder verschillende condities is gekweekt, zijn vermeld in tabel I.

Het blijkt dat er in de gevonden waarden van deze grootheid een grote spreiding zit. Ook een eventuele temperatuurafhankelijkheid is onduidelijk. Indien echter de orde

TABEL I - Waarden voor de snelheid van afsterving zoals gevonden bij onderzoek betreffende de kinetiek van methaangisting (4)

substraat	temperatuur in °C	afsterving (1/dag) snelheid van (b)	Literatuur
azijnzuur	20	0,015	O'Rourke [5]
propionzuur	20	0,015	O'Rourke [5]
gemengde zuren	20	0,015	O'Rourke [5]
azijnzuur	25	0,011	Lawrence McCarty [6]
propionzuur	25	0,040	Lawrence McCarty [6]
gemengde zuren	25	0,015	O'Rourke [5]
azijnzuur	30	0,037	Lawrence McCarty [6]
azijnzuur	35	0,015	Lawrence McCarty [6]
propionzuur	35	0,010	Lawrence McCarty [6]
gemengde zuren	35	0,015	O'Rourke [5]

van grootte juist is, zou anaeroob slib bij bewaring op een temperatuur van 20 °C of hoger gedurende een periode van 6 maanden zeer aanzienlijk aan activiteit hebben ingeboet. Neemt men voor de afstervings-snelheid een waarde van bijv. 0,01 dag⁻¹ dan is met behulp van de vergelijking $X/X_0 = \dots$ bt gemakkelijk te berekenen, dat na een bewaarperiode van 120 dagen nog slechts ca 30 % van de oorspronkelijke bacteriemassa (X_0) actief is; na een bewaarperiode van 240 dagen zou nog slechts 9 % actief zijn. Er zijn echter redenen om aan de opgegeven waarden van b te twijfelen. In verband hiermee, en gezien de eerder vermelde noodzaak om anaeroob slib op enigerlei wijze te conserveren, werd besloten met een dergelijk slib een bewaarexperiment uit te voeren.

Uitvoering

Vier porties anaeroob slib met een droge stof gehalte van 27 g/l, afkomstig uit een der experimentele anaerobe filters voor de behandeling van aardappelvruchtwater (AVW) werden op 19 maart 1972 onder stikstof weggezet in flessen van 3 liter. De bewaartemperatuur bedroeg respectievelijk 4 °C, 20 °C en 30 °C, terwijl een fles werd weggezet in een ruimte waarin de buitentemperatuur heerste.

a. Experimenten met ladingsgewijze voeding (bewaarperiode van het gebruikte slib 6 maanden)

De bij deze experimenten gebruikte opstelling bestond uit acht reactievaatjes van 500 ml, waarvan de inhoud door middel van magnetische roerders werd gemengd. De vaatjes waren voorzien van een gasafvoer, aangesloten op een meetvat (fles van Mariotte), een monsteraftap en een toevoerbuise aangesloten op een scheitrechter voor de voeding. Bij deze experimenten werd als volgt te werk gegaan.

Achtereenvolgens werden in het reactievaatje gebracht: 260 ml van een 0,008 M oplossing van NaHCO₃, ongeveer 50 ml polytheenkorrels (ca. 3 mm in diameter) en 75 ml van het betreffende slibmonster. Direct hierna werd stikstof doorgeblazen, waarna het reactievaatje werd afgesloten van de buitenlucht. Vervolgens werd via een scheitrechter het substraat toegevoegd, bestaande uit 20 of 30 ml geconcentreerd AVW, en hierna nog 5 ml 0,1 N HCl. Dit laatste had tot doel enig CO₂ gas uit de oplossing vrij te maken. De polytheenkorrels werden toegevoegd om de vorming van een drijf- en schuimlaag zoveel mogelijk tegen te gaan.

In één serie experimenten (t.w. serie Ia¹) werd met het toedienen van het substraat

TABEL II - Uitgevoerde ladingsgewijze experimenten **)

Experiment no.	I-a ¹	I-b ¹	I-a ² *)	I-b ² *)	I-c	I-d
Hoeveelheid CZV (mg/l) toegevoegd	1018	1018	1527	1527	1527	1300 ¹⁾ 1400 ²⁾
Ouderdom AVW opl. (dagen)	3	4	10	17	28	3
Eind volume (ml)	360	390	390	390	390	360

*) Experimenten I-a² en I-b² zijn voortzetting experimenten I-a¹ en I-b¹ (2e voeding).

***) In alle experimenten werd 75 ml geconcentreerde sliboplossing toegevoegd. De slibconcentratie in deze oplossing was als volgt:

Sliboplossing 4 °C : 24,62 g/l Sliboplossing 20 °C: 21,34 g/l
Sliboplossing buiten: 23,34 g/l Sliboplossing 30 °C: 21,40 g/l

¹⁾ Slib 4 °C en buitentemperatuur.

²⁾ Slib 20 °C en 30 °C.

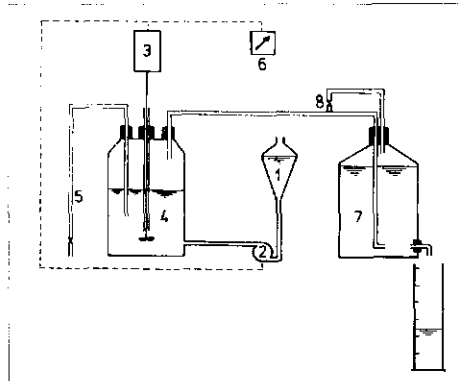
24 uur gewacht, zodat het slib zich eerst aan de hogere temperatuur kon aanpassen. Het verloop van de gisting werd gevolgd met behulp van gaschromatografische bepaling van de vluchtige vetzuren in gefiltreerde monsters van ca. 1 ml van de inhoud van de reactievatjes, alsmede door meting van de gasproductie. Aan het einde van het experiment werd de samenstelling van het ontwikkelde gas gemeten en de CZV van het gecentrifugeerde reactiemengsel bepaald.

Een overzicht van de uitgevoerde experimenten is gegeven in tabel II.

b. *Experimenten met continue voeding* (bewaarpriode van het gebruikte slib 7,5 maanden)

De bij deze experimenten gebruikte opstelling is schematisch weergegeven in afb. 1. Het reactievatje (4) is aangesloten op een fles van Mariotte (7) en voorzien van een mechanische roerder (3) en een effluentaflaathevel (5). Het substraat, in dit geval bestaande uit verdund AVW met een CZV van 6500 mg/l, wordt met behulp van een slangenpompje (2) vanuit een scheitrichter (1) toegevoegd. Eens per dag werd in de scheitrichter 350 ml verse voeding gebracht. De dosering van de voeding gebeurde intermitterend, t.w. 4 min. per uur, met behulp van een tijdreliasschakelaar. Ook de roermotor is op de tijdreliasschakelaar aangesloten, zodat alleen tijdens het toedienen van het substraat is geroerd. Het slib behoudt hierdoor zijn goede bezinkeigenschappen. Voor ieder slibmonster werd een dergelijke opstelling gebruikt, alle bediend door hetzelfde tijdreliasschakelaar. De procedure was verder als volgt: achtereenvolgens werd in het reactievatje (inhoud 2 l) 340 ml van een 0,007 M NaHCO_3 oplossing, 100 ml polytheenkorrels en 150 ml slib gebracht. Vervolgens werd stikstof doorgeblazen en, na afsluiten van het reactievatje van de buitenlucht, 10 ml 0,1 N HCl toegevoegd. Direct hierna werd met de voeding gestart, t.w. 350 ml/dag overeenkomend met een vloeistofverblijftijd van 3,3 dag. De toegepaste volume-CZV-belasting bedroeg $1,93 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{d}$. en de aanvangs-CZV-slibbelasting $0,44 - 0,50 \text{ kg/kg} \cdot \text{d}$. Effluent werd eens per dag afgelaten met behulp van hevel (5) door op het gas in de fles van Mariotte een geringe overdruk te zetten en kraan (8) te openen. Het afhevelen van effluent gebeurde ongeveer 45 min. nadat voor het laatst was geroerd; het slib is dan goed bezonken, zodat er slechts weinig slib uit het reactievatje verdwijnt.

Op het effluent werden dagelijks de volgende analyses uitgevoerd: hoeveelheid en samenstelling van de vluchtige vetzuren,



Afb. 1 - Proefopstelling bij de experimenten met continue voeding.

CZV, pH en alkaliteit. Voorts werd dagelijks de gasproductie gemeten. De gassamenstelling van het over de gehele periode (13 dagen) opgevangen gas is aan het einde van het experiment gemeten. Zowel de experimenten met ladingsgewijze als met continue voeding zijn uitgevoerd in een 30° kamer.

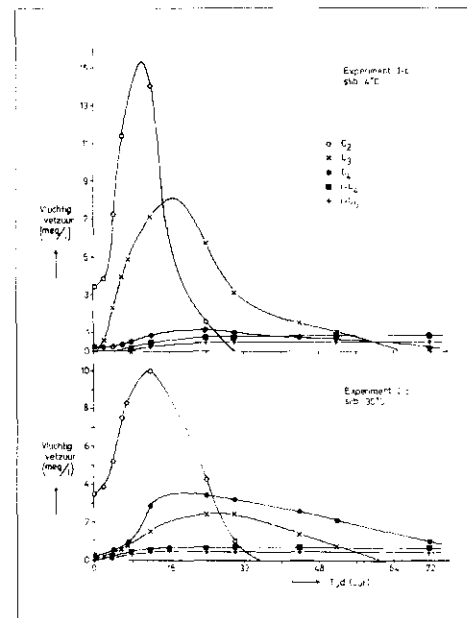
Resultaten

Experimenten met ladingsgewijze voeding

In afb. 2 is voor experiment Ic voor de slibmonsters bewaard bij 4°C en 30°C het verloop van de concentratie van de verschillende vetzuren als functie van de tijd uitgezet. Soortgelijke afb. werden voor de andere slibmonsters en in de overige experimenten verkregen.

Uit de gemeten vetzuurconcentratie is met behulp van de in tabel III vermelde theoretische CZV-waarden van de verschillende vetzuren de totaal vetzuur-CZV berekend. In afb. 3 zijn voor experiment Ic

Afb. 2 - Verloop van de concentratie van vluchtige vetzuren.



de aldus berekende waarden voor totaal vetzuur-CZV als functie van de tijd uitgezet. Tevens is in deze figuur het verloop van de substraatconcentratie (uitgedrukt in mg CZV/l) weergegeven.

TABEL III - Theoretische CZV-waarden van vluchtige vetzuren.

Zuur	Mol. gewicht	CZV-waarde	
		mg/mg	mg/mol.
azijnzuur	60	1,06	64
propionzuur	74	1,51	112
boterzuur	88	1,82	160
valeriaanzuur	102	2,04	208

De substraatconcentratie is berekend op basis van de betrekking:

$$(\text{Substraat verwijderd})_{t=t} =$$

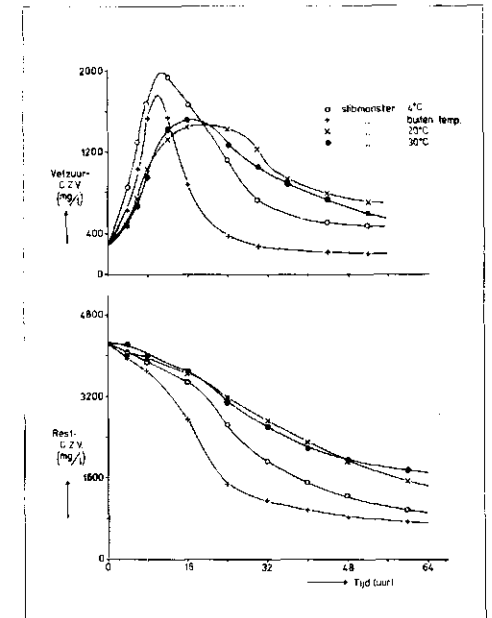
$$\frac{\text{CH}_4\text{-productie na } t=t}{\text{CH}_4\text{-productie na } t=8} \times$$

$$\text{CH}_4\text{-productie na } t=8$$

(omgezette hoeveelheid substraat na $t=8$).

Aangezien in deze experimenten de totale hoeveelheid gas is gemeten ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) en de samenstelling van het gas alleen werd bepaald aan het einde van het experiment is de berekening van de substraatconcentratie uitgevoerd op basis van de totale gasproductie i.p.v. de CH_4 -productie. Deze werkwijze is wel geoorloofd daar slechts ca. 10% van het gevormde gas uit CO_2 bestaat. Bovendien bleek bij de experimenten waarin de methaangisting niet direct op gang kwam (exp. Ia en Ib met slib van 30°) dat er vrijwel geen gas wordt geproduceerd gedurende de periode waarin nog geen methaangisting plaatsvindt. Bij de berekening is verder aangenomen dat na 8 dagen 90% van de toegevoegde

Afb. 3 - Verloop van de vetzuur-CZV en de rest-CZV in experiment Ic.



hoeveelheid substraat is omgezet. Dit is zeker het geval, daar aan het eind van de proefperiode vrijwel geen vetzuren meer in de oplossing voorkomen en een hoeveelheid CH₄ is gevormd die minimaal 75 % van de toegevoegde CZV vertegenwoordigt (1 liter CH₄ van 0 °C en 760 mm Hg komt overeen met 2,85 g CZV).

Analytisch is de restant hoeveelheid substraat in het systeem niet te bepalen, omdat het zowel in de oplossing als in het slib aanwezig kan zijn. Bovendien is het slib, vanwege de zeer fijn gedispergeerde vorm waarin het in de oplossing voorkomt, moeilijk af te scheiden. Hoewel dus de berekende waarden voor de substraatconcentratie niet exact juist zijn, zullen ze hiervan toch niet veel afwijken. Bij de experimenten waar gaslekkages zijn geconstateerd zijn de berekeningen uiteraard niet uitgevoerd.

Uit het verloop van de verkregen curven kan een redelijk betrouwbare indruk worden verkregen van de waarde van de maximale substraatverbruikssnelheid onder de betreffende experimentele condities, door bepaling van de maximale waarde van de helling van de curven. Waarden voor de methaanproductiesnelheid zijn hieruit te berekenen op basis van het feit dat ca. 80% van de geëlimineerde CZV wordt teruggevonden in het methaangas. (1 gr CZV komt overeen met 350 ml CH₄-gas van 760 mm en 0 °C). De uit de verschillende experimenten verkregen gegevens zijn samengevat in tabel IV. Bij beschouwing van deze tabel blijkt:

1. Het vetzuur-CZV-maximum wordt het eerste bereikt bij de slibmonsters bewaard bij 4 °C en buitentemperatuur; met de beide andere slibmonsters wordt het vetzuur-CZV-maximum aanzienlijk later bereikt. Een belangrijke invloed op het verloop van de gisting moet worden toegeschreven aan de 'versheid' van het AVW. Dit blijkt o.a. uit een vergelijking van de resultaten van experiment Ic, waarin met een ca. 28 dagen oude, bij 4 °C bewaarde, AVW-oplossing werd gevoed, en experiment Id, waarin vers bereid AVW werd gebruikt. In het laatste geval worden met de slibmonsters, die

TABEL V - Waarden van substraat verbruikssnelheid gevonden in kinetische onderzoeken

	mg/l	8550	5000	17100	4420
CZV _{voeding}	mg/l	640	560	9000	2700
CZV _{effluent}	dagen	11,1	9,8	10,7	8,9
Vloeistof/slib verblijftijd	g CZV/g · d.	0,84	0,91	1,25	2,04
Substraat verbruikssnelheid	g CZV/g · d.	0,76	0,80	0,50	0,65
Slibbelasting	g CZV omgezet	0,167	0,21	0,40	0,32
Y	stationair	stationair	niet	niet	stationair
Toestand systeem				stationair	stationair

TABEL VI - Substraatverbruikssnelheid berekend uit experimenten met het anaerobe filter

CZV-belasting v/h filter g/l · d	CZV-slibbelasting g/g · d	CZV infl. mg/l	Substraatverbruikssnelheid g/g · d	Y g slib CZV omgezet
2,76	0,79	4375	0,68	0,083
2,76	0,65	2555	0,62	0,122
5,52	0,95	4340	0,87	0,155
10,5	1,56	9105	1,23	0,226
9,65	1,38	7835	1,21	0,240
9,10	1,02	7360	0,93	0,240

bewaard zijn op 4 °C en bij buitentemperatuur, aanzienlijk lagere waarden voor het vetzuur-CZV-maximum bereikt dan met de oude AVW-oplossing. Met de beide andere slibmonsters zijn de verschillen veel geringer.

2. In alle gevallen wordt azijnzuur in de hoogste concentratie (meq/l) gevormd, terwijl dit zuur eveneens het snelst een maximale waarde bereikt. Voor de monsters bewaard op 4 °C, buitentemperatuur 20 °C, komt na azijnzuur, wat betreft hoeveelheid en vormingssnelheid, propionzuur. Met slib bewaard op 30 °C is dit in de experimenten Ic en Id boterzuur. In alle experimenten worden voorts steeds isoboterzuur en isovaleriaanzuur aangetroffen, zij het in betrekkelijk geringe concentraties, t.w. kleiner dan 1,1 meq/l. Met boterzuur worden deze zuren met de geringste snelheid afgebroken. Dit is in overeenstemming met resultaten van eerder in ons laboratorium uitgevoerde experimenten [7].

3. De hoogste waarden voor de maximale substraatverbruikssnelheid (en dus methaanproductiesnelheid) en de hoeveelheid substraat die gedurende de eerste dag wordt omgezet, worden gevonden voor de monsters bewaard bij 4 °C en buitentemperatuur. De beide andere slibmonsters zijn duidelijk

minder actief, in het bijzonder het monster bewaard bij 30 °C. Voor dit slib worden in een aantal gevallen zeer lage waarden gevonden voor de hoeveelheid substraat die gedurende de eerste dag wordt omgezet. Nadat de methaangisting eenmaal op gang is gekomen worden echter ook met dit slib voor de maximale substraatverbruikssnelheid niet veel lagere waarden gevonden dan met de beide andere slibmonsters. Wordt een tweede dosis substraat toegevoegd zoals in de experimenten Ia² en Ib², dan blijkt de max. substraatverbruikssnelheid te zijn gestegen van 0,2 - 0,4 kg/kg · d tot 0,4 - 0,5 kg/kg · d.

De verkregen resultaten geven aan dat alle slibmonsters nog in goede conditie verkeren. De iets minder goede resultaten met de slibmonsters bewaard bij 20 °C en 30 °C vinden hun oorzaak waarschijnlijk vooral in het feit dat hier de hydrolyse + vetzuurvorming minder snel op gang komen. Indien deze monsters worden gevoed met een betrekkelijk oude AVW-oplossing, waarin hydrolyse + vetzuurvorming reeds in enige mate is begonnen, komt de gisting ook hier snel op gang.

Een vergelijking van de gevonden waarden voor de substraatverbruikssnelheid met die welke zijn verkregen in eerder uitgevoerde

TABEL IV - Samenvatting resultaten ladingsgewijze experimenten

Slibmonsters	Experiment I-a ¹			Experiment I-b ¹			Experiment I-c			Experiment I-d			Experiment I-a ²			Experiment I-b ²									
	4	20	30	4	20	30	4	20	30	4	20	30	4	20	30	4	20	30							
t _{max} Vetz. CZV (uur)	<6	<6	∞10	∞10	4,8	5,8	12,8	∞56	10,8	10	18	18	8-16	11	14,6	17	7	7	11,5	15	8,6	9,6	15	17	
Vetzuur CZV _{max} (mg/l)	630	790	870	>1400	2000	1760	1480	1530	—	3140	3240	3420	3000	2880	—	2820	880	710	880	940	1120	1170	1820	1520	
Rest-CZV op t _{max} (mg/l)	2480	2700	2400	∞2740	3710	3500	3460	3400	—	6,4	10	11,6	13,4	7,2	6,0	7,2	10,4	5,0	4,4	5,1	4,5	6,0	6,0	10,7	9,4
t-C ₂ max. (uur)	1,5	13,1	10,7	10,3	10,6	8,4	16,4	11	6,4	10	11,6	13,4	5,5	6,9	10,2	11,2	9,0	6,8	11,4	17	8,8	9,6	16,4	18,8	
t-C ₃ max. (uur)	17,2	11,4	22	28	17,2	11,4	22	28	13,6	14	18,8	20-48	13,6	14	20	26	13,6	14,8	18	28	13,6	14,8	18	28	
C ₂ max. (meq/l)	8,0	6,6	4,2	2,5	2,75	2,9	4,2	1,6	2,75	2,9	4,2	1,6	5,3	3,4	3,7	3,5	5,15	4,9	6,8	5,8	5,15	4,9	6,8	5,8	
t-C ₄ max. (uur)	22	16	28-50	17	22	16	28-50	17	15	14-28	20-52	18-40	13,2	14	20	26	13,2	14	20	26	13,2	14	20	26	
C ₄ max. (meq/l)	0,9	1,0	2,2	3,5	0,9	1,0	2,2	3,5	1,4	0,9	1,5	2,6	0,65	0,96	1	1,4	0,65	0,96	1	1,4	0,65	0,96	1	1,4	
CZV omgezet 1e dag (g/g · d.)	0,30	0,31	0,24	0,08	0,33	0,23	0,19	0,01	0,33	0,57	0,24	0,19	—	0,32	0,22	0,19	0,44	0,53	—	0,39	—	—	—	0,45	0,32
CZV omgezet max. (g/g · d.)	0,34	0,40	0,29	0,23	0,39	0,27	0,23	0,21	0,49	0,77	0,31	0,39	—	0,42	0,33	0,26	0,65	0,73	—	0,48	—	—	—	0,50	0,44

onderzoekingen aangaande de kinetiek van de afbraak van AVW met vers ge-adapteerd slib (zie tabel V) leert dat de slibmonsters wat betreft methaangistings-activiteit allen nog in goede conditie verkeren. Tot dezelfde conclusie komt men bij beschouwing van de waarden van de substraatverbruikssnelheid vermeld in tabel VI, die betrekking hebben op het slib ten tijde dat het zich nog in het anaerobe filter bevond. Deze waarden zijn berekend op basis van de totaal hoeveelheid slib die op een bepaald tijdstip in het filter aanwezig is (berekend met behulp van de materiaalbalans en de achteraf bepaalde hoeveelheid slib in het filter) en de hoeveelheid substraat welke op het betreffende tijdstip wordt omgezet (8).

Op de grote verschillen in de groeiopbrengstfactor Y zal bij de bespreking van de experimenten met continue voeding worden ingegaan.

Experimenten met continue voeding

De resultaten van deze experimenten zijn grafisch weergegeven in de figuren 4a, 4b en 4c en voorts samengevat in tabel VII en VIII. Het verloop van het zuiveringsrendement, berekend op basis van de gecentrifugeerde effluent-CZV en de dagelijks gesuppleerde hoeveelheid CZV, is weergegeven in figuur 4a. In overeenstemming met de ladingsgewijs uitgevoerde experimenten blijken ook hier de slibmonsters bewaard op 4 °C en buitentemperatuur de beste resultaten te geven. Na dag 3 wordt er zelfs gedurende een aantal dagen evenveel CZV geëlimineerd als er gedurende de voorafgaande 24 uur is gesuppleerd. Dit hoge zuiveringsrendement moet worden toegeschreven aan de omstandigheid dat er gedurende de eerste dagen een relatief geringe zuivering plaatsvond, tengevolge waarvan een zekere accumulatie van substraat heeft plaats gevonden. Na dag 2 wordt dit snel geëlimineerd. Hetzelfde verschijnsel doet zich voor bij de andere slibmonsters, zij het dat de geaccumuleerde CZV hier pas na 7 dagen wordt afgebroken. Een en ander is af te leiden uit de sterke daling van de in de effluentoplossing aanwezige CZV (afb. 4b). Aangezien een deel van het substraat (o.a. eiwitten) kan

TABEL VIII - Toegepaste slibbelasting en berekende substraatverbruikssnelheid

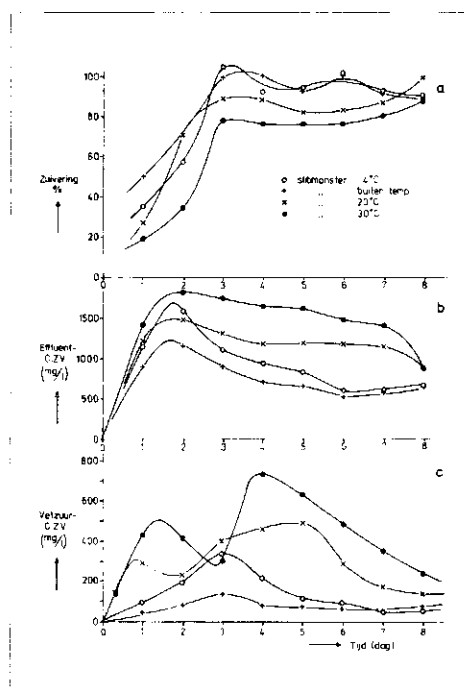
Slibmonsters	dag no.	1	2	3	4	5	6	7	8
4 °C	Slibbelasting g/g/d	0,53	0,505	0,48	0,46	0,44	0,42	0,41	0,39
	Substraatverbruikssnelheid g/g/d	0,19	0,29	0,51	0,43	0,41	0,43	0,37	0,34
Buiten temp.	Slibbelasting g/g/d	0,56	0,53	0,50	0,47 ^b	0,45	0,43	0,41	0,39
	Substraatverbruikssnelheid g/g/d	0,28	0,38	0,49	0,47	0,42	0,43	0,37	0,35
20 °C	Slibbelasting g/g/d	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40
	Substraatverbruikssnelheid g/g/d	0,18	0,40	0,47	0,44	0,38	0,37	0,36	0,40
30 °C	Slibbelasting g/g/d	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40
	Substraatverbruikssnelheid g/g/d	0,11	0,31	0,41	0,38	0,36	0,35	0,34	0,35

zijn geprecipiteerd en/of aan het slib kan zijn gesorbeerd, geven de berekende zuiveringseffecten een wat te rooskleurig beeld. Dat dit het geval is blijkt uit de waarden van de methaanopbrengstfactor (ml CH₄ per gram CZV omgezet) en/of groeiopbrengstfactor die op dag 4, 8 en 13 uit de materiaalbalans zijn berekend. De uitkomsten van deze berekeningen zijn vermeld in tabel VII. Het blijkt dat vooral aanvankelijk, en dan met name voor de slibmonsters bewaard bij 20 ° en 30 °C, lage waarden voor de methaanopbrengstfactor (en dus hoge waarden voor de slib-

opbrengstfactor) worden gevonden. Op dag 13, nadat gedurende vier dagen niet meer is gevoed, liggen de betreffende waarden al dicht bij elkaar. Maar in de slibmonsters bewaard bij 20 ° en 30 °C is ook dan kennelijk nog een geringe hoeveelheid substraat in het slib aanwezig. Gezien een en ander is het duidelijk dat de berekende waarden voor de substraatverbruikssnelheid (t.w. op basis van de uit de oplossing verdwenen CZV) over de eerste dagen eveneens een geflatteerd beeld geven, met name voor de slibmonsters bewaard op 20 ° en 30 °C. (tabel VIII). De hoge waarden voor de groeiopbrengstfactor gevonden onder omstandigheden van hoge slibbelastingen in de kinetische experimenten (tabel V) en in het anaerobe filter (tabel VI) zijn waarschijnlijk eveneens het gevolg van een precipitatie en/of sorptie van substraat in het slib.

Enige nadere informatie over het verloop van de gisting kan voorts worden verkregen uit figuur 4c, waarin de vetzuur-CZV is uitgezet als functie van de tijd. Het opvallende is dat een tweetal maxima in de vetzuur-CZV maxima worden gevonden bij de slibmonsters bewaard op 20 ° en 30 °C tegen slechts een maximum bij de beide andere slibmonsters. De verklaring hiervoor moet waarschijnlijk worden gezocht in een aanzienlijk verschil in de hydrolyse + vetzuurvormingsactiviteit tussen de monsters bewaard bij 20 ° en 30 °C enerzijds en bij 4 °C en buitentemperatuur anderzijds. De resultaten van de ladingsgewijs uitgevoerde experimenten en de boven gesignaleerde verschillen in de methaanopbrengstfactor wijzen eveneens in deze richting. Bij de monsters bewaard op lage temperatuur wordt eventueel geprecipiteerde organische

Afb. 4 - Resultaten van de experimenten met continue voeding.



TABEL VII - Materiaalbalans na 4, 8 en 13 dagen (Continu exp.)

Slibmonster	na 4 dagen				na 8 dagen				na 13 dagen			
	4	buiten	20	30	4	buiten	20	30	4	buiten	20	30
CZV omgezet (mg)	6480	7130	6270	5100	14874	15315	13950	13142	16895	17570	16470	15250
CZV CH ₄ (mg)	5850	5750	4410	3500	12980	12600	10500	9450	14840	15395	13995	13160
CZV nieuw slib (mg)	630	1380	1860	1600	1894	2715	3451	3692	2050	2175	2475	2365
Y	0,098	0,193	0,297	0,314	0,127	0,177	0,248	0,280	0,121	0,123	0,150	0,152
mlCH ₄ /g* Y omgezet	316	284	247	240	306	288	264	252	308	308	298	297

*) ml CH₄ 0°C, 760 m

stof snel vervloeid en dan vervolgens snel omgezet in vetzuren. Nadat de methaan-gisting eenmaal op gang is gekomen zien we de vetzuren snel verdwijnen. De twee maxima bij de beide andere slibmonsters worden zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de navolgende factoren:

a. De activiteit van de methaanbacteriën is vooral aanvankelijk (de eerste twee dagen) zeer gering waardoor met het influent aangevoerde *) en hieruit in het reactievat gevormde vetzuren niet in hetzelfde tempo worden afgebroken als ze worden geproduceerd.

b. De hydrolyse en vetzuurvorming in het reactievat komt pas na ca. 3 dagen goed op gang. Pas daarna kan de in het slib en in de oplossing aanwezige niet-vetzuur-CZV snel worden omgezet in vetzuren tengevolge waarvan de vetzuurconcentratie tijdelijk weer stijgt.

Wat betreft de gevormde vetzuren bleek dat de monsters bewaard bij 4 °C en buitentemperatuur C₂, C₃, i-C₄ en i-C₅ hun maximum waarde bereikten op het vetzuur CZV-maximum. Het maximum in de C₄-concentratie werd een aantal dagen later bereikt.

De beide iso-zuren worden na het bereiken van hun maximum-waarde snel afgebroken, de concentratie van de andere zuren neemt betrekkelijk langzaam af.

In de experimenten met de slibmonsters bewaard op 20 ° en 30 °C wordt het eerste maximum in de vetzuur-CZV voornamelijk veroorzaakt doordat C₂, C₃ en C₄ hun maximum-waarde bereiken, terwijl het tweede maximum ontstaat doordat de i-C₄ en i-C₅ hun maximale waarde bereiken. Ook hier worden de beide iso-zuren na het bereiken van het maximum snel afgebroken.

Conclusie

Uit dit onderzoek kan de conclusie worden getrokken dat anaeroob slib, dat is ge-adapteerd aan aardappelvruchtwater, na een bewaarperiode van ca. 7 maanden, waarin niet is gevoed, conditioneel nog dusdanig goed is, dat hiermee, bij opnieuw continu belasten met afvalwater van de aardappelmeelindustrie tot een slib-CZV-belasting van 0,4 en 0,5 kg CZV/kg slib/dag, snel goede zuiveringsresultaten zullen worden verkregen. Het slib blijft in de beste conditie door het te bewaren bij een temperatuur van 16 °C of lager.

Literatuur

1. G. Lettinga, P. G. Fohr, G. G. W. Janssen, H₂O 5, no. 22, 510, 1972.

2. H. Heukelekian, B. Heinemann, Sew. Works J. 11, 436, 1939.
3. G. J. Stander, P. G. J. Meiring, J. Hemens, Starch, Water and Waste Treatment, May/June 1962, 16 - 18.
4. A. W. Lawrence, P. L. McCarty, J. San. Div., 96, SA-3, 757, 1970.
5. J. F. O'Rourke, Thesis Stanford University, California, 1968.
6. A. W. Lawrence, P. L. McCarty, J. Water Poll. Contr. Fed. 41, R-1, 1969.
7. J. G. ten Wolde, Verslag ingenieurs onderzoek, Waterzuivering, Wageningen 1972.
8. K. E. de Korte, Verslag ingenieurs onderzoek, Waterzuivering, Wageningen 1973.



*) Aangezien het influent gedurende 24 uur bij 30 °C wordt opgeslagen is de vetzuurvorming hierin in de loop van de dag reeds in enige mate gestart.