

NN31085.92-05

e

g e n e r a l e r i o o l w a t e r -
z u i v e r i n g s i n r i c h t i n g e n

rwzi
2000

R 92-05

ANAEROBE BEHANDELING VAN STEDELIJK AFVALWATER IN NEDERLAND

covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991



**Ministerie van Volkshuisvesting,
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer**

Directoraat-Generaal Milieubeheer
Postbus 450, 2260 MB Leidschendam



RIZA

**Rijkswaterstaat
Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer
en Afvalwaterbehandeling**

Postbus 17, 8200 AA Lelystad

stowa

**Stichting Toegepast Onderzoek
Waterbeheer**

Postbus 8090, 3503 RB Utrecht

NA 31005, 92.05

ratie rioolwaterzuiveringsinrichtingen RWZI 2000

projectleiding en secretariaat: postbus 17, 8200 AA Lelystad 03200 - 70411



ANAEROBE BEHANDELING VAN STEDELIJK AFVALWATER IN NEDERLAND

Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991

auteur(s) :

LU - Wageningen :
prof.dr.ir. G.Lettinga

Haskoning B.V. :
ir. W. van Starckenburg



RWZI 2000 92-05 2 9 SEP. 1993

INHOUDSOPGAVE	blz.
VOORWOORD	3
1 INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK	5
2 TOEPASSING VAN ANAËROBE ZUIVERINGSTECHNOLOGIE	7
2.1 Grondslagen van het anaërobe gistingproces	7
2.2 Toepassingsgebied	7
2.3 Technologische uitvoeringsvormen	8
3 ONDERZOEK AAN STEDELIJK AFVALWATER	11
3.1 Samenstelling van het afvalwater	11
3.2 Resultaten	
3.2.1 Ruw rioolwater	11
3.2.2 Voorbezonken rioolwater	13
4 KOSTENASPECTEN VAN ANAËROBE ZUIVERING VAN STEDELIJK AFVALWATER	15
5 EVALUATIE EN TOEKOMSTPERSPECTIEVEN	17
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	21
7 LITERATUUR	23
BIJLAGE	
1 Anaerobe zuivering van ruw rioolwater met behulp van korrelslib UASB-reactoren.	25
2 Anaerobe behandeling van voorbezonken rioolwater met het geëxpandeerde korrelslibbed (EGSB)- en fluidised bed (FB)-proces.	33

VOORWOORD

In het kader van het onderzoekprogramma RWZI-2000 en de Stimuleringsregeling Milieutechnologie (VROM, V en W en LNV) is onderzocht in hoeverre de anaërobe procestechnologie kan worden toegepast als voorzuivering bij een rioolwaterzuiveringsinrichting.

De toepassing van anaërobe zuivering als onderdeel van het zuiveringsproces (anaëroob-aëroob) heeft ten opzichte van volledig aërobe behandeling een aantal potentiële voordelen, te weten:

- lagere totale energiebehoefte;
- lage slibproductie van het anaërobe deel; hierdoor is de totale slibproductie lager;
- geringer ruimtebeslag.

Een belangrijk aspect bij het anaërobe zuiveringsproces is dat de organische stof voor een behoorlijk deel wordt verwijderd en stikstof en fosfaat in geringe mate. In de periode 1995-1998 worden in Nederland nieuwe effluenteisen van kracht voor stikstof en fosfaat. Hierdoor is aanmerkelijk minder behoefte aan zuiveringssystemen die uitsluitend organische stof verwijderen dan in het verleden.

In de periode 1976-1991 is de anaërobe zuiveringstechnologie onderzocht. Dit onderzoek is uitgevoerd aan de Landbouwniversiteit Wageningen. Het onderzoek stond onder leiding van prof. dr. ir. G. Lettinga en is in hoofdzaak verricht door ir. A.W.A. de Man en ir. A.R.M. van der Last. Het onderzoek is begeleid door een begeleidingscommissie.

De begeleidingscommissie was als volgt samengesteld:

ir. W.G. Werumeus Buning (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden); ir. W. van Starckenburg (RIZA, thans HASKONING); ing. G.B.J. Rijs (RIZA); ir. P.C. Stamperius (STOWA); ir. A.J. van der Vlugt (VROM, voorzitter); ir. A.E. van Giffen (Hoogheemraadschap West-Brabant); ir. A. Mulder (MT-TNO); ir. P.J.F.M. Hack (Paques B.V.); dr. A.M. Breure (RIVM).

In voorliggende covernota is getracht de relevantie van het onderzoek voor het Nederlandse waterkwaliteitsbeheer aan te geven.

Lelystad, mei 1992

Voor de Stuurgroep RWZI 2000

dr. J. de Jong (voorzitter)

1 INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK

Bij het handhaven en verbeteren van de kwaliteit van het milieu draagt de zuivering van afvalwater in belangrijke mate bij. Binnen het wettelijk kader van de WVO zijn sinds 1970 meer dan 500 zuiveringsinrichtingen gebouwd. Hiermee wordt vrijwel alle stedelijk afvalwater uit gerioleerde gebieden, dit is rond 90% van de totale produktie, gezuiverd.

Belangrijke nadelen bij de aërobe zuivering van afvalwater zijn:

- de hoogte van energiekosten;
- de produktie van zuiverings-slib.

Door de inzet van anaërobe voorzuivering zou een deel van deze problemen kunnen worden verminderd. De anaërobe omzetting van organische stof levert energie in de vorm van biogas. De slibproduktie is bij anaërobe processen aanzienlijk lager dan bij aërobe omzetting. In het anaërobe proces wordt stikstof nauwelijks verwijderd. Er zal daarom altijd sprake zijn van een combinatie met aërobe zuivering. De slibproduktie van de gecombineerde zuiveringsinrichting zal lager zijn dan indien sprake is van volledig aërobe zuivering. Hiermee zou het totale slibprobleem verminderen.

Om deze redenen is onderzoek verricht naar de mogelijke toepasbaarheid van het anaërobe zuiveringsproces als voorzuivering bij de behandeling voor stedelijk afvalwater. In de periode 1976-1991 is aan de Landbouwuniversiteit Wageningen onderzoek uitgevoerd teneinde inzicht te verkrijgen in:

- de maximaal om te zetten en/of te verwijderen hoeveelheid organisch materiaal in de anaërobe voorzuivering;
- het anaëroob proces dat kan worden toegepast;
- het bedrijven van het anaërobe proces met en zonder voorbezinking;
- de reacties van het anaërobe proces op de Nederlandse afvalwateromstandigheden (dag- en nachtritme, temperatuur, RWA/DWA verhouding);
- de dimensioneringsgrondslagen voor het proces.

De onderzoeken zijn in rapporten vastgelegd [1,2]. In bijlage 1 en 2 zijn de samenvattingen van deze onderzoeken opgenomen. Voor ligt een samenvattende nota over de mogelijkheden en restricties om de anaërobe zuiveringstechnologie in het Nederlandse waterkwaliteitsbeheer in te zetten. Hiertoe zijn de gegevens uit de onderzoeken samengevat en geëvalueerd. Vervolgens is aangegeven welke conclusies hieruit voor de praktijk getrokken kunnen worden.

2 TOEPASSING VAN ANAËROBE ZUIVERINGSTECHNOLOGIE

2.1 Grondslagen van het anaërobe gistingproces

Bij het anaërobe zuiveringsproces van biologisch afbreekbaar organisch materiaal wordt biodegradeerbare organische stof grotendeels omgezet in de gasvormige eindproducten methaan en kooldioxide. Deze omzetting wordt bewerkstelligd door een zeer complex consortium van anaërobe organismen, waarbij het eindproduct van het ene organisme dikwijls fungeert als substraat voor een ander. Bij anaërobe gisting heeft men derhalve te maken met een keten van biologische omzettingsprocessen. De langzaamste stap in deze keten van processen bepaalt de snelheid van het totale omzettingsproces.

Bij de anaerobe omzetting van complex (niet opgelost) materiaal kunnen globaal vier deelprocessen worden onderscheiden:

- hydrolyse (vervloeiing) van het complexe materiaal onder invloed van uitgescheiden exo-enzymen;
- fermentatie, waarbij opgeloste complexe verbindingen onder andere worden omgezet in vluchtige vetzuren, alcoholen, waterstof, CO_2 ;
- acetogenese, waarbij (uit de produktie van de fermentatie) azijnzuur, H_2 en CO_2 worden gevormd;
- methanogenese, waarbij gevormde vluchtige vetzuren, waterstof en eenvoudige alcoholen worden omgezet in methaan en kooldioxyde.

Voornameijk door de laatste stap wordt CZV uit de waterige oplossing verwijderd.

Gezien de geringe netto energie-opbrengst van deze omzettingen wordt slechts een klein deel van de afbreekbare organische stof omgezet in nieuw bacteriemateriaal. Vooral de groei-opbrengst van de methanogene organismen is uiterst laag. Met name hierdoor worden nauwelijks nutriënten uit het systeem verwijderd. Stikstofverwijdering door nitrificatie/denitrificatie treedt, in tegenstelling tot het aërobe proces, niet op. De anaërobe behandeling van afvalwater is daarom alleen effectief voor de verwijdering van organische stoffen. Organische-stikstof wordt omgezet in NH_4^+ , organisch-fosfaat in PO_4^{3-} en SO_4^{2-} wordt omgezet in S^2 . Deze omzettingsprodukten kunnen uitsluitend uit het afvalwater worden verwijderd door nabehandeling.

2.2 Toepassingsgebied

Het principe van het anaërobe zuiveringsproces is reeds lang bekend. Reeds eeuwen geleden werd biogas gewonnen uit moerassen. Eerst in deze eeuw is dit principe omgezet in technologische methoden voor de zuivering van afvalwater. Er is inmiddels een groot aantal uitvoeringsvormen ontwikkeld. De afvalstromen die behandelbaar zijn in anaërobe processen hebben met elkaar gemeen dat anaëroob afbreekbare organische stof aanwezig is. Anaërobe processen verlopen beter bij temperaturen tussen de 20-35°C dan wanneer de temperatuur ver beneden de 20°C ligt. Hierdoor zijn het vooral de industriële afvalwaterstromen geweest die op succesvolle wijze anaëroob kunnen worden behandeld. In eerste instantie bij de bedrijfstakken die agrarische produkten verwerken. De bietsuikerindustrie is hiervan het meest markante voorbeeld. Later zijn hier afvalstromen van buiten de agrarische sector, zoals van de gist- en spiritusfabricage en de chemische industrie bijgekomen. De anaërobe vergisting van zuiveringsslib wordt in Nederland (in totaal gemengde systemen) op circa 200 lokaties toegepast.

Het betreft in alle gevallen mesofiele gisting (30-35°C). Gisting bij hogere temperatuur wordt in Nederland op praktijkschaal niet toegepast. In Nederland wordt het anaërobe gistingsproces gebruikt bij de verwerking van afval van een groenteveiling. Verder zijn er enkele grootschalige en kleinschalige mestvergisters in gebruik.

Voor de behandeling van rioolwater staat de anaërobe zuiveringstechnologie nog in de kinderschoenen. Na oriënterend onderzoek in Zuid-Afrika en de VS is het onderzoek op dit terrein pas echt goed van de grond gekomen in de tweede helft van de jaren zeventig in Nederland. Resultaten verkregen in UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) proefinstallaties van 0,06-6 m³ reactorinhoud gaven aan dat het systeem interessante perspectieven als voorzuiveringsmethode zou kunnen bieden in tropische (ontwikkelings)landen. Deze verwachtingen zijn bevestigd in een door het Ministerie van Ontwikkelingssamenwerking gesubsidieerd onderzoek met een 64 m³ UASB-installatie te Cali (Colombia). Dit onderzoek is uitgevoerd gedurende de periode 1983-1989.

Op basis van de in Cali verkregen resultaten zijn later praktijkinstallaties gebouwd in India (Kanpur), Colombia (Cali, Bucaramanga) en in Brazilië (enige tientallen). De resultaten [4] geven aan dat de temperatuur voor goede resultaten boven 20°C moet liggen. Het dalen van de temperatuur tot 14-16°C doet het BZV-afbraakrendement met tientallen procenten afnemen.

Een andere belangrijke parameter is de hydraulische verblijftijd (HVT). De ééntraps UASB-reactor in Kanpur, India (1200 m³) functioneerde met een HVT van zes uur. Dit liep bij regenwateraanvoer terug tot vier uur. Ondanks het feit dat de UASB-reactor een dergelijke fluctuatie kon verwerken, is toepassing van dit systeem aan te bevelen bij gescheiden stelsels. De behaalde zuiveringsrendementen zijn:

Totaal-CZV	50 - 75%
Totaal-BZV	70 - 90%
Zwevende stof	60 - 85%

De eerste ervaringen met de grote UASB-reactoren in de tropen zijn over het algemeen zeer goed. Een belangrijke voorwaarde is een goed ontwerp. Een aantal slechte ervaringen blijkt terug te voeren op fouten in het ontwerp, fouten bij de bouw of verkeerde keuze van materialen. Hierdoor laten in enkele gevallen de resultaten te wensen over. Soms kan dit ook worden toegeschreven aan onvoldoende onderhoud en controle.

In Nederland is onderzoek gedaan naar de toepassing van de anaërobe zuivering in gemodificeerde UASB-tanks voor zeer kleine eenheden [3]. Met deze systemen zijn in vergelijking met conventionele septictanks betere resultaten bereikbaar.

2.3 Technologische uitvoeringsvormen

De toepassing van anaërobe zuivering voor de behandeling van afvalwater heeft men aanvankelijk trachten te realiseren met behulp van anaërobe actief-slibsystemen. Dit zijn installaties bestaande uit een geroerde reactor gecombineerd met slibafscheidings- en retoursystemen. Voor de behandeling van meer geconcentreerde industriële afvalwaterstromen zijn hiermee redelijke resultaten bereikt.

Voor laag geconcentreerd industrieel afvalwater (CZV < circa 3 g/l) zijn deze systemen niet succesvol gebleken. Dit moet voornamelijk worden toegeschreven aan de grote moeilijkheden bij de slib-waterscheiding. Voor toepassing van de gewenste hoge volumebelastingen is het essentieel dat het afvalwater in goed contact wordt gebracht met een grote hoeveelheid slib. Dit moet worden gerealiseerd in een qua investering zo goedkoop mogelijke, en een in bedrijf zo eenvoudig mogelijke installatie.

Sinds begin jaren zestig is onderzoek naar de ontwikkeling van dit soort systemen op gang gekomen. Dit heeft in de VS geresulteerd in de ontwikkeling van het zogenaamde anaërobe filtersysteem (bestaande uit een opwaarts doorstroomde reactor gevuld met pakkingmateriaal). In het begin van de jaren zeventig werd in Nederland het UASB-systeem ontwikkeld. Op het ogenblik kan het UASB-systeem worden aangemerkt als verreweg het meest populaire en waarschijnlijk het meest veelbelovende reactorconcept. Dit proces wordt toegepast voor de behandeling van een grote verscheidenheid aan industriële afvalwaterstromen, variërend van zeer verdund (CZV circa 1000 mg/l) tot relatief geconcentreerd (CZV > 20.000 mg/l) afvalwater. Deze methode is in vergelijking met conventionele aërobe methoden aanzienlijk goedkoper en gezien de veel geringere ruimtebehoefte aantrekkelijk. Er zijn voor zover bekend op dit moment circa 250 UASB-installaties voor de behandeling van industrieel afvalwater in bedrijf. Inmiddels zijn andere - in bepaalde opzichten verbeterde - versies van het UASB-concept geïntroduceerd, ondermeer systemen die gebruik maken van korrelig slib onder toepassing van hogere opwaartse vloeistofsnelheden.

De toepassingsvormen die onderzocht zijn voor de zuivering van stedelijk afvalwater in Nederland zijn hier aangegeven.

a. Anaërobe slibdekenreactor (UASB)

De meest gebruikelijke uitvoeringsvorm is de opwaarts doorstroomde slibdeken, veelal kortweg naar de Engelse afkorting UASB genoemd. Het slib in de UASB-reactor komt in twee soorten voor. Enerzijds in de vorm van korrelslib, anderzijds als vlokkig slib. Bij korrelslib vormen de micro-organismen onder gunstige omstandigheden korrels met een diameter van 1-5 mm. Voor de vorming van korrels worden geen stoffen expliciet aan het systeem toegevoegd. De twee slibsoorten komen in aparte lagen in de reactor voor. De slibkorrels op de bodem en het vlokkig slib in een laag daarboven. Het surplusslib kan vanuit de vlokkige laag separaat uit de installaties worden afgelaten.

Door een selectie met als stuwende kracht de opwaartse snelheid (0,5-1,5 m/h) tengevolge van de hydraulische belasting en de gasproductie, wordt het fijn gedispergeerde slib uitgespoeld en blijven uiteindelijk de zwaardere slibkorrels over. In de praktijk komt het voor dat dergelijke korrels een inerte kern van zand of klei hebben. Het bed wordt in beweging en in gemengde toestand gehouden door de opwaartse snelheid van het afvalwater en door de gasontwikkeling. Over de hoogte van de reactor is sprake van een aanmerkelijk verschil in slibconcentratie. Dit is een wezenlijk verschil met het gefluïdiseerde bed waar de slibconcentratie over de hoogte van het bed nagenoeg gelijk is. De vorming van korrelslib bepaalt het succes van deze reactor. Ook bij het achterwege blijven van korrelslib is echter een goede zuivering mogelijk.

Over het algemeen is het wel zo dat de maximaal toepasbare volumebelasting bij een UASB-reactor met vlokkig slib veel lager is dan bij een reactor met korrelslib.

Een goede influentverdeling van het afvalwater is in praktijkopstellingen noodzakelijk gebleken. Een goede verdeling wordt bereikt door de invoer van het water via een aantal inlaatpunten op de bodem van de reactor. De UASB reactor is vooral door Nederlands onderzoek tot ontwikkeling gekomen.

b. Geëxpandeerd bed reactor (EGSB)

Bij een geëxpandeerd bed wordt gebruik gemaakt van korrelslib. Het korrelslib komt in de reactor tot ontwikkeling of wordt betrokken van een andere korrelslibreactor. Het bed wordt geëxpandeerd door een hoge opwaartse vloeistofsnelheid (4-8 m/h). Dit kan worden bereikt door toepassing van een effluentrecirculatie of door hoge reactoren.

De bed-expansie wordt zodanig geregeld dat het geëxpandeerde bed binnen de reactor blijft. Voordelen van de bed-expansie zijn onder andere het zeer goede slib-watercontact, de geringere gevoeligheid voor toxische stoffen (als stootbelasting), een betere pH neutralisatie (minder chemicaliën) en de afvlakking van hoge organische belastingen. Een nadeel is dat voor deze bedrijfsvoering een grotere pompcapaciteit is vereist dan bij het UASB-systeem.

c. Gefluïdiseerd bed (FB)

De micro-organismen hebben zich bij een gefluïdiseerd bed reactor gehecht op inerte media als zand of basalt. De opwaartse snelheid die moet worden toegepast is hoog (> 12 m/h). Dit is te bereiken door een hoge recirculatie-graad. Het contact tussen micro-organismen en het water is bij een gefluïdiseerd bed zeer goed. De deeltjes hebben geen vaste plaats in het bed. De biofilmdikte tracht men onder controle houden door de grootte en dichtheid van de gebruikte media te combineren met de verticale snelheid. De hogere energielasten als gevolg van het pompen zijn een groot nadeel.

In het gefluïdiseerd bed is het moeilijk de dikte van de biofilm goed te regelen. Hierdoor kunnen deeltjes ontstaan met biolagen van verschillende dikten. De kans op uitspoeling van actief bacteriemateriaal wordt hierdoor vergroot.

3 ONDERZOEK AAN STEDELIJK AFVALWATER

3.1 Samenstelling van het afvalwater

Er is onderzoek uitgevoerd met zowel ruw als voorbezonden afvalwater. De schaalgrootte van de onderzochte systemen varieerde van enkele liters tot proefinstallaties van 6 en 20 m³. Er is gewerkt met UASB-, FB- en EGSB-systemen.

Het onderzoek naar de behandelbaarheid van ruw rioolwater is uitgevoerd met afvalwater van zowel een gemengd (Bergambacht, Bennekom) als van een gescheiden (Lelystad) rioolstelsel. Voorbezonden afvalwater is uitsluitend onderzocht in Bennekom.

Bennekom

Het Bennekomse rioolwater wordt aangevoerd via een gemengd rioolstelsel. De verblijftijd van het water in het riool bedraagt naar schatting enige uren. De spreiding in CZV is zeer groot. Tijdens regenweer bedraagt de totaal-CZV circa 50-300 mg/l en tijdens droog weer 350-800 mg/l. De gemiddelde CZV van het ruw influent bedraagt circa 520 mg/l; hiervan is circa 200 mg/l in opgeloste, circa 100 mg/l in kolloïdale vorm en circa 200 mg/l in vaste vorm. Circa 30% van de opgeloste CZV is reeds verzuurd. De CZV/BZV-verhouding bedraagt 2-2,5.

Bergambacht

Het rioolwater in Bergambacht wordt aangevoerd via een gemengd rioolstelsel. Als gevolg van lekkages in het rioolstelsel vindt verdunning met grondwater plaats. De gemiddelde totaal CZV van dit rioolwater is 370 mg/l en de gefiltreerde CZV 137 mg/l. De CZV/BZV-verhouding bedraagt gemiddeld 3,3. Dit wijst erop dat het afvalwater sterk aangerot is.

Lelystad

Het rioolwater in Lelystad wordt aangevoerd via een gescheiden rioolstelsel. De vuilvrachtgehalten in dit rioolwater zijn aanzienlijk hoger en minder onderhevig aan fluctuaties dan het rioolwater van een gemengd rioolstelsel. Daarnaast daalt de temperatuur in de winter minder sterk. De CZV varieert van 700-1300 mg/l. Circa 30-55% van de totaal-CZV is filtreerbaar. Circa 10-25% van de gefiltreerde CZV is reeds verzuurd. De gemiddelde totaal-CZV bedraagt 890 mg/l en de gefiltreerde CZV 385 mg/l. De CZV/BZV-verhouding is gemiddeld 2,5.

3.2 Resultaten

3.2.1 Ruw rioolwater

Laboratorium experimenten

De onderzoeken met de proefinstallaties zijn in alle gevallen voorafgegaan en ondersteund door laboratoriumexperimenten. Deze experimenten geven een goede indicatie van hetgeen op grotere schaal maximaal te verwachten zou zijn.

- * gefiltreerd is de fractie > 4 µm
- * kolloïdaal is de fractie 0,45 - 4 µm
- * opgelost is de fractie < 0,45 µm

Als entslib is zowel vlokkig slib (uitgegist rioolslib) als korrelslib (afkomstig van een industriële zuiveringsinrichting) gebruikt. Uit de resultaten van het laboratoriumonderzoek bleek dat van de kolloïdale fractie bij 20°C maximaal 80-100% kon worden verwijderd. De verwijdering daalt bij lagere temperaturen. Opgeloste CZV wordt bij 20°C voor maximaal 55-70% verwijderd. Vluchtige vetzuren worden volledig omgezet.

Pilotplant onderzoek

Het pilotplant onderzoek is uitgevoerd met UASB-reactoren met zowel vlokkig als korrelslib.

UASB met vlokkig slib

De prestaties van de onderzochte ééntraps reactoren blijken ondermeer sterk afhankelijk van de watertemperatuur en verblijftijd. Bij temperaturen in de orde van 18-20°C en een verblijftijd van 8 uur (belasting van 1,5-2 kg CZV/m³.dag) wordt een verwijdering op basis van totaal-CZV bereikt van circa 60%. Tevens treedt dan een vergaande slibstabilisatie op. Het blijkt dat bij 20°C circa 45% van de ingevoerde totaal-CZV in biogas wordt omgezet. De gasproductie wordt bepaald door de combinatie belasting en temperatuur. Bij lagere temperaturen (tot circa 12°C) neemt de gasproductie af. Er moeten langere verblijftijden worden toegepast om een vergelijkbaar resultaat te verkrijgen. Bij verblijftijden in de orde van 8 uur en een temperatuur van 12°C zal het systeem overbelast raken. Dit resulteert ondermeer in een snel afnemende slibstabiliteit een verhoogde slibproductie, een lagere specifieke gasproductie en een lagere zuiveringsgraad.

De onderzoeksresultaten geven aan, dat het zuiveringsrendement zeer negatief wordt beïnvloed door de aanwezigheid van slecht bezinkend gesuspendeerd materiaal. Uitspoeling van dit materiaal (het wordt niet afgevangen in het slibbed) vormt de hoofdoorzaak voor de slechtere resultaten. Filtratie zou de resultaten sterk verbeteren.

De proeven zijn uitgevoerd met vlokkig slib. Het blijkt dat vlokkig slib bruikbaar is voor de toepassing in een ééntraps UASB-systeem. Het onderzoek heeft tevens aangetoond dat het ontwerp van de reactor een doorslaggevende rol in de resultaten kan spelen. Dit betreft met name het invoersysteem (slib-watercontact) en de hoogte van de reactor.

UASB met korrelslib

Het onderzoek met UASB-reactoren met korrelslib is uitgevoerd met afvalwater van Bennekom, Bergambacht en Lelystad. Er is gewerkt met een 6 m³ (alleen Bennekom) en een 20 m³ reactor. De resultaten van de proeven in Bergambacht zijn negatief beïnvloed door de relatief lage organische-stofgehalten (CZV van gemiddeld 370 mg/l en een CZV/BZV- verhouding van 3,3). Onder deze omstandigheden is anaërobe voorzuivering niet aantrekkelijk. De gasproductie blijft laag. Aangezien een hoog percentage gas bij deze temperaturen (13-19°C) oplost, is de hoeveelheid biogas die vrijkomt onvoldoende om het slib voldoende gemengd te houden.

Een bijkomend punt is het sterk teruglopen van de methanogene activiteit van het slib. De resultaten van Lelystad geven aan dat het rendement op basis van totaal-CZV bij 13-19°C 40-45% bedraagt, bij een hydraulische verblijftijd van 13-14 uur. Bij lagere temperaturen liep de activiteit van het slib zeer sterk terug (van 0,55 naar 0,06-0,15 kg CH₄-CZV/kg.org.st. dag). Experimenten in een 120 l reactor met dit afvalwater waren aanmerkelijk beter.

Dit wijst erop dat het vloeistofmenggedrag in de grote reactor onvoldoende is geweest. Dit is bevestigd met behulp van tracerexperimenten. Door de grotere hoogte van de 20 m³ reactor is ook sprake van hogere opwaartse snelheden. Bij UASB-reactoren beïnvloedt dit het contact tussen korrelslib en vloeistof negatief.

De beperkende factor bij de onderzoeken met UASB-reactoren bleek de verwijdering van slecht bezinkend gesuspendeerd materiaal. Naarmate de temperatuur daalt, neemt de omzetting van gesuspendeerd materiaal af. Het gesuspendeerd materiaal wordt verwijderd door afvangen en vasthouden in het slibbed.

Experimenten met in serie geschakelde UASB-reactoren geven 10-15% hogere totaal CZV-reducties dan de ééntraps UASB-reactoren bij dezelfde HVT. In dergelijke gevallen fungeert de eerste UASB-trap voor de afvangst van het grootste deel van het gesuspendeerd materiaal en, afhankelijk van de temperatuur, als vervloeiings- en verzuringsreactor. De tweede trap zorgt voor de verwijdering van de opgeloste en kolloïdale CZV-fractie. De in serie geschakelde reactoren zijn uitsluitend op 120 l en 240 l schaal onderzocht. Uit deze experimenten kon worden geconcludeerd dat deze serieschakeling het eindresultaat aanzienlijk verbetert.

3.2.2 Voorbezonken rioolwater

Laboratoriumexperimenten

De onderzoeken met de proefinstallaties zijn voorafgegaan en ondersteund door laboratoriumexperimenten.

De laboratoriumresultaten gaven aan dat met zowel UASB als EGSB goede resultaten zijn te behalen. Met EGSB is een totaal-CZV verwijdering van maximaal 78% bereikt bij een temperatuur van 12-20°C. Opgelost materiaal werd bij DWA voor maximaal 54% verwijderd, bij RWA voor maximaal 22%. Nader onderzoek heeft aangetoond dat de afbreekbaarheid van aanwezige organische stof bij RWA lager is dan bij DWA. De verwijdering van gesuspendeerd materiaal is bij de EGSB slecht, vanwege de toegepaste hoge opwaartse snelheden. Verbetering kan worden verkregen door de EGSB-reactor uit te rusten met een verbreed type bezinker boven de reactor. UASB onderzoek heeft aangetoond dat maximaal 80% totaal-CZV is te verwijderen.

Dergelijke getallen gelden ook voor de kolloïdale fractie. Bij lagere temperatuur daalt de verwijdering.

Pilotplant onderzoek

Het onderzoek is op grotere schaal uitgevoerd met EGSB- en FB-reactoren met een volume van maximaal 120 l.

In de FB-reactoren zijn met zand of basalt als drager gebruikt. Gebleken is dat vorming van een kwalitatief uitstekend korrelslib (0,48 kg CH₄-CZV/kg.org.st.dag) mogelijk is bij een opwaartse snelheid zoals die wordt toegepast onder EGSB-omstandigheden. Het onderzoek heeft aangetoond dat FB-reactoren voor de zuivering van stedelijk afvalwater niet geschikt zijn. Dit geldt zelfs bij watertemperaturen van 18-20°C. Wel kan in een snelle verzuring (HVT van 2,6 uur) een verzuringsrendement van circa 67% worden bereikt.

Met een EGSB-systeem kan tot circa 45% van de opgeloste CZV worden verwijderd bij temperaturen boven 13°C en HVT-waarden van 2 uur. De haalbare zuivering is afhankelijk van het type toegepast korrelslib. Met korrelslib gekweekt op rioolwater kan zelfs bij HVT van minder dan één uur een dergelijke CZV-reductie worden bereikt. Op basis van totaal-CZV kan 30-35% worden verwijderd bij een HVT van 2-3 uur. Tweetraps EGSB-systemen zijn aanzienlijk effectiever. Onder DWA-condities wordt 55% van de totaal-CZV verwijderd. Dat is vooral te danken aan de zeer goede verwijdering van kolloïdaal en fijn gesuspendeerd materiaal in de tweede trap. Het EGSB-concept zou verder kunnen worden verbeterd door de reactor uit te voeren met een verbreed type bezinker om een betere retentie van afgevangen vlokkig materiaal in de reactor te bewerkstelligen.

4 KOSTENASPECTEN VAN ANAËROBE ZUIVERING VAN STEDELIJK AFVALWATER

Naast technologische aspecten vormen de kosten een belangrijk criterium bij de toepassing van een nieuw (deel)systeem voor de zuivering van stedelijk afvalwater.

De anaërobe (voor)zuivering van rioolwater zou economisch een aantrekkelijk alternatief kunnen zijn voor conventionele zuiveringssystemen [5]. Uit kostentechnisch oogpunt is ten opzichte van de conventionele rwzi's winst te behalen door het laten vervallen van de voorbezinking, een reductie van de beluchtingsruimte en van de exploitatiekosten (energie- en slibverwerkingskosten). De beluchting kan slechts gedeeltelijk worden gereduceerd omdat het effluent van een anaërobe (voor)zuivering nog verder behandeld dient te worden alvorens het op oppervlaktewater kan worden geloosd. De scherpere eisen ten aanzien van fosfaat en stikstof zijn in de kostenbeoordeling meegenomen.

De consequenties van toepassing van anaërobe (voor)zuivering op praktijkschaal bij de behandeling van ruw huishoudelijk afvalwater zijn doorgerekend.

Hierbij worden de kosten van anaërobe voorzuivering in combinatie met aërobe nabehandeling vergeleken met die van volledig aërobe systemen met een ontwerpcapaciteit van 10.000, 50.000 en 100.000 i.e.

Op basis van de studie kunnen de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van de kostentechnische aspecten van anaërobe voorzuivering van huishoudelijk afvalwater met een UASB-systeem in Nederland.

- Anaërobe voorzuivering kan voor kleine zeer laagbelaste systemen, zoals een oxydatiesloot aantrekkelijk zijn. De lagere bedrijfskosten zijn hiervoor verantwoordelijk.
- Voor rwzi's met een grotere capaciteit biedt anaërobe voorzuivering kostentechnisch weinig perspectief. De capaciteitsgrens wordt in hoofdzaak bepaald door de factoren die bij conventionele aërobe rwzi's ook de keuze tussen bijvoorbeeld een oxydatiesloot en actief-slibinstallatie bepalen. Anaërobe voorzuivering blijft dus aantrekkelijk voor rwzi's tot circa 40.000 i.e. De eis tot vergaande P- en N-verwijdering in de toekomst kan deze grens evenwel nog naar beneden verschuiven.
- Toepassing van anaërobe voorzuivering bij actief-slibinstallaties is bij een vergelijkbaar zuiveringsrendement kostentechnisch slechts mogelijk bij systemen met een volumebelasting hoger dan 3-6 kg CVZ/m³.d. Bij goedkopere anaërobe reactoren kan de volumebelasting lager zijn.

5 EVALUATIE EN TOEKOMSTPERSPECTIEVEN

De anaërobe processen zijn alleen geschikt voor de omzetting van een groot deel van de organische verontreinigingen. Bij de zuivering van afvalwater betekent dit in de praktijk dat naast de anaërobe reactor nog een tweede proces moet worden nageschakeld. Dat proces zal het restant van de organische stof, de stikstof en fosfaat en eventueel andere verontreinigingen moeten verwijderen. De geringe verwijdering van fosfaat en stikstof is voor een groot deel het gevolg van de geringe groei van de micro-organismen. Het voordeel van de lagere slibproductie is, gezien vanuit de verwijdering van stikstof en fosfaat, een nadeel.

De toekomstige lozingseisen in Nederland zijn zodanig dat moet worden voldaan aan strenge stikstof- en fosfaateisen. Stikstofverwijdering is een biologisch proces. Het bestaat uit een aërobe nitrificatie en een anaërobe denitrificatie. De anaërobe stap heeft bij de omzetting van nitraat naar stikstofgas organische stof nodig. Anaërobe voorzuivering zou er toe kunnen leiden dat een gebrek aan organische stof optreedt. Dit is een belangrijk aspect bij de beoordeling van de anaërobe zuiveringstechnologie voor toepassing bij stedelijk afvalwater in Nederland.

Het uitgevoerde onderzoek was bedoeld om vast te stellen of het anaërobe proces als voorzuivering binnen een geïntegreerde anaëroob-aërobe zuiveringsinrichting in Nederland een rol zou kunnen spelen.

Het onderzoek is gestart toen nog geen sprake was van de stringente stikstof- en fosfaateisen zoals die in de naaste toekomst voor de effluenten van zuiveringsinrichtingen zullen gelden. Om die reden mag gesteld worden dat de doelstelling van het project door de nieuwe eisen enigszins is achterhaald.

Bij de beoordeling van de resultaten moet onderscheid gemaakt worden tussen de verwijderingsprestaties voor:

- de opgeloste organische stof;
- de kolloïdale fractie;
- de gesuspendeerde fractie.

Het zuiveringsrendement wordt bepaald door de rendementen, waarmee de afzonderlijke onderscheiden fracties (kunnen) worden verwijderd. Een goed inzicht in de mechanismen welke hieraan ten grondslag liggen, is belangrijk. Vastgesteld moet worden in hoeverre er sprake is van fysische, fysisch-chemische en biologische conversieprocessen. Voor zover organische stoffen door middel van anaërobe gisting volledig worden omgezet in de eindproducten CH_4 en CO_2 is er sprake van een definitieve verwijdering van deze organische verontreiniging uit de waterfase. Overigens moet er in dit verband op gewezen worden dat bij de heersende watertemperaturen een aanzienlijke hoeveelheid koolstof in de vorm van CH_4 in het gezuiverd afvalwater aanwezig kan zijn.

Behalve tot een zo hoog mogelijk zuiveringseffect, zal het systeem daarnaast in staat moeten zijn een gestabiliseerd slib af te leveren, en dan bij voorkeur in een zo gering mogelijk volume. Vanzelfsprekend wordt gestreefd naar een slib dat met eenvoudige middelen tot het gewenste drogestofgehalte is te ontwateren.

Het onderzoek geeft aan dat ééntraps UASB-systemen bij Nederlandse temperaturen tot circa 1 kg CZV/m³.dag kunnen worden belast. Bij temperaturen tussen 12-20°C zal bij DWA 40-65% en bij RWA 25-45% van de totaal-CZV worden verwijderd. Voorwaarde is evenwel dat het slib niet te zeer in activiteit terugloopt. Bij de proeven met rioolwater van Lelystad in de 20 m³ UASB reactor was dat wel het geval. Hierdoor liepen het rendement en de slibstabilisatie terug. Beneden 15°C bleek ook bij een HVT van 8 uur de slibstabilisatie onvoldoende. Het slib in EGSB-systemen behield wel voldoende activiteit (Bennekom).

Oriënterende kostenberekeningen geven aan dat, afgezien van stikstof- en fosfaatverwijdering, anaërobe voorzuivering bij kleine zuiveringsinrichtingen rendabel lijkt. Indien ook stikstof- en fosfaatverwijdering noodzakelijk is, is anaërobe voorzuivering met de onderzochte eentraps-systemen, ook als stap om uitsluitend organische stof te verwijderen, niet interessant. Dit betekent dat voor de korte termijn geen perspectieven voor een succesvolle toepassing aanwezig zijn. Verbetering van de reactorconfiguraties is te bereiken door een gunstige hoogte/diameterverhouding, de toepassing van modulair uitgevoerde reactoren en verbeterde invoersystemen. Betere resultaten zijn hierdoor zeker te verwachten.

De belangrijkste limiterende factor bij de werking van ééntraps UASB en EGSB-systemen voor de behandeling van ruw en voorbezonden rioolwater in vergelijking met aërobe processen is de relatief zeer slechte verwijdering van fijn gesuspendeerd en kolloïdaal materiaal.

Indien op een technisch eenvoudige wijze zou kunnen worden gezorgd voor de effectieve verwijdering van deze fracties, kan een UASB- of EGSB-systeem in combinatie met zo'n methode een vergaande zuivering van organische stof geven.

Voor de middellange termijn is toepassing van het anaërobe proces voor het verzuren van het influent of een deel hiervan een mogelijkheid. Het verzuurde afvalwater kan worden gebruikt om het biologische defosfateringsproces in slibsystemen te activeren. De verzuringsprodukten kunnen ook worden ingezet als substraat voor defosfateringsslib of in de denitrificatiestap van de zuiveringsinrichting. Bij de verzuring wordt nauwelijks organische stof uit het systeem verwijderd.

Het voordeel van een dergelijke systeem is:

- voor de biologische defosfatering hoeft, om fosfaat in de sliblijn te verwijderen geen vetzuur te worden ingekocht;
- de anaërobe of anoxische zone van de aëratietank kan bij biologische defosfatering kleiner zijn of kan achterwege blijven;
- de denitrificatie kan nauwkeurig worden gestuurd op behoefte aan snel omzetbare organische stof. Hierdoor kan mogelijk de denitrificatiezone kleiner worden.

Een andere mogelijkheid is om in plaats van conventionele bezinkers een - eventueel in bepaalde opzichten gemodificeerd - ééntraps UASB-systeem in de praktijk als voorbezinker toe te passen. Weliswaar is - zoals hiervoor opgemerkt - met deze systemen geen volledige verwijdering van het gesuspendeerde materiaal te realiseren, maar ze zijn in dit opzicht wel aanzienlijk effectiever dan conventionele bezinkers. Mogelijk is hun effectiviteit in dit opzicht nog te verbeteren.

Voor de lange termijn is het belangrijk vast te stellen in hoeverre de anaërobe zuiveringstechniek een rol kan spelen bij bijvoorbeeld het hergebruik van grondstoffen, het verminderen van het broeikas-effect, het zuiniger omgaan met energie, of het nuttig gebruik van reststoffen. Hierbij spelen zaken als het terugwinnen van grondstoffen uit het afvalwater. In principe zal de combinatie anaëroob-aëroob zuiveringsinrichting minder CO₂-uitstoot geven dan een volledig aëroob inrichting. Hierbij moeten ook aspecten als CO₂-emissie bij de produktie van energie een rol spelen. Zuiniger omgaan met energie betreft vooral zuiniger omgaan met de energie-inhoud van organische stoffen of nutriënten. Dit kan betekenen dat voor de reststoffen een nuttig gebruik wordt gevonden.

6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De volgende conclusies kunnen aan het onderzoek worden verbonden.

- 1 Toepassing van anaërobe voorzuivering vormt op dit moment uit technologisch en kostentechnisch oogpunt geen optie bij grote (> 40.000 i.e.) conventionele zuiveringssystemen onder Nederlandse omstandigheden, aangezien uitsluitend organische stof wordt verwijderd zonder vergaande verwijdering van stikstof en fosfaat. Gewijzigde reactorconfiguraties of andere zuiveringssystemen kunnen in deze situatie verandering brengen.
- 2 Voor Nederlandse klimatologische condities kunnen één-traps UASB-systemen voor de verwijdering van organische vervuiling uit ruw rioolwater alleen effectief zijn, wanneer de reactorhoogte maximaal 3 m bedraagt en de reactoren zijn uitgerust met een efficiënt invoersysteem en de voorwaarden uit conclusie 1 in acht worden genomen.
Op grond van de resultaten van de uitgevoerde kleinschalige UASB experimenten kan worden gesteld dat in dat geval een totaal-CZV reductie tot 55-70% bij DWA mogelijk is bij een verblijftijd van 6-10 uur. Voor het bereiken van vergelijkbare resultaten onder wintercondities dient de verblijftijd circa 10 uur te bedragen. Kortere verblijftijden leiden tot afname van de methanogene activiteit van het slib.
Bij RWA is een CZV-reductie van 30-55% haalbaar bij een verblijftijd van minimaal 3-5 uur.
- 3 De beperkende stap bij de CZV-reductie is de verwijdering van de kolloïdale fractie.
- 4 Een aanzienlijke verbetering van de effectiviteit van een anaëroob zuiveringssysteem kan worden bereikt door met gemoduleerde (meertraps) reactoren te werken. Hierbij kan de tweede of derde module na een UASB-reactor een EGSB-systeem zijn.
- 5 UASB-systemen kunnen gedurende de koudere perioden van het jaar alleen dan een voldoende slibstabilisatie geven, indien de hydraulische verblijftijd minstens 8-12 uur is en de koude periode niet langer dan een aantal weken duurt. Vanuit het uitgevoerde onderzoek is de lengte van de koude periode niet aan te geven.
- 6 Technisch gezien bieden EGSB-systemen, met name in een meertraps configuratie, perspectieven voor toepassing op voorbezonden rioolwater, of voor ruw rioolwater als tweede of derde module na een UASB-reactor. Er kan in deze systemen worden gewerkt met een verblijftijd van 1-3 uur en bij opwaartse snelheden van 4-6 m/h. De verkregen resultaten geven aan dat bij verbeterde ontwerpen ook de kolloïdale fractie vergaand kan worden verwijderd. Het bleek in het onderzoek dat in een EGSB-systeem zich een relatief hoogwaardig korrelslib ontwikkelt.
- 7 Conventionele FB-systemen bieden voor de anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater geen perspectief. De toepassingsmogelijkheid bij voorverzuring kan pas na nader onderzoek worden vastgesteld.

Het onderzoek leidt tot de volgende aanbevelingen:

- 1 De conventionele anaërobe zuiveringstechnologie kan een rol spelen bij de biologische stikstof- en fosfaatverwijdering, wanneer zij wordt ingezet bij de verzuring van het influent.
- 2 Het vervangen van de voorbezinktank door een anaërobe reactor kan voordelen bieden voor het totale zuiveringsproces.
- 3 Op langere termijn kan de anaërobe zuiveringstechnologie een rol spelen, wanneer het urgenter wordt geacht te streven naar een hoger hergebruik van reststoffen, besparing van grondstoffen en energie, of terugdringing van het broeikaseffect.

7 LITERATUUR

- 1 Man, A.W.A. de
Anaërobe zuivering van ruw rioolwater met behulp van korrelslib
UASB-reactoren.
I. Werkrapport
II. Samenvattend rapport
LU Wageningen, Wageningen, 1990.
- 2 Last, A.R.M. van der
Anaërobe behandeling van voorbezonken rioolwater met het geëxpan-
deerde korrelslibbed (EGSB)- en fluidised bed (FB)-proces.
I. Werkrapport
II. Samenvattend rapport
LU Wageningen, Wageningen, 1991.
- 3 Bogte, J.J., A.M. Breuze, J.G. van Andel en G. Lettinga
Kleinschalige anaërobe zuivering van huishoudelijk afvalwater. Prak-
tijkproef met drie UASB-reactoren.
RIVM-Bilthoven, nota 738518005, 1989
- 4 Alaerts, G.J. et al.
Feasibility of Anaerobic sewage treatment in sanitation strategies
in developing countries.
IHE, Delft, 1990
- 5 Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst. Een haalbaar-
heidsonderzoek.
I. Eindrapport
II. Werkrapport
DBW/RIZA - STORA, Lelystad, 1986

BIJLAGE 1

ANAËROBE ZUIVERING VAN RUW RIOOLWATER MET BEHULP VAN KORRELSLIB UASB-REAKTOREN

**EEN ONDERZOEK OP SEMI-TECHNISCHE SCHAAL
NAAR DE MOGELIJKHEDEN VAN
ANAËROBE ZUIVERING OP DRIE RWZI'S IN NEDERLAND**

**IR. A.W.A. DE MAN, LUW
VAKGROEP WATERZUIVERING**

Samenvatting

Doel

Het doel van het project was het vaststellen van de juiste dimensioneringsgrondslagen en bedrijfsvoering van een anaërobe korrelslibreactor, teneinde een zo vergaand mogelijke zuivering van ruw huishoudelijk afvalwater onder Nederlandse klimatologische condities te bereiken. Het spuislib diende gestabiliseerd te zijn.

Onderzoek LUW

Sinds 1976 verricht de vakgroep waterzuivering van de landbouwuniversiteit onderzoek naar de toepassing van anaërobe zuivering van ruw huishoudelijk afvalwater.

Korrelslib

Voor dit project is als entmateriaal gekozen voor korrelslib, dat is gekweekt op afvalwater van een papierfabriek. Het korrelslib heeft een hoog organisch-stofgehalte en maakt daarmee hoge reactorbelastingen mogelijk. Gelet op de lage temperatuur van het rioolwater in de winter, lijkt dit slib in Nederland geschikt voor deze toepassing. In voorgaande onderzoeken is gebruik gemaakt van slijkgistingsslib.

Verloop van het project

Bij de opzet van het project is uitgegaan van onderzoek op semi-technische en praktijkschaal met een 20 m³ UASB-reactor op de RWZI Bergambacht. De volgende uitgangspunten zijn aangehouden. Bij temperaturen hoger dan 10°C werd gestreefd naar een BZV-verwijderingsrendement van 70% en bij temperaturen lager dan 10°C van 55%. De hydraulische verblijftijden (HVT) in de anaërobe reactor bij droogweer- (DWA) en regenweeraanvoer (RWA) waren 8,7 en 2,8 uur. Gedurende het vooronderzoek op semi-technische schaal (20 m³) te Bennekom (april 1985 tot september 1985) en Bergambacht (september 1985 tot juni 1986) is echter vastgesteld dat onvoldoende hoge rendementen behaald konden worden. Om deze reden is besloten af te zien van de bouw van een 550 m³ praktijk UASB-installatie en het onderzoek op semi-technische schaal met de 20 m³ reactor voort te zetten te Lelystad. Lelystad heeft in tegenstelling tot Bennekom en Bergambacht een gescheiden rioolstelsel. Het rioolwater is in Lelystad meer geconcentreerd, hoger in temperatuur en minder onderhevig aan debietfluctuaties zoals deze voorkomen bij de overgang van DWA naar RWA.

In Bennekom is gewerkt aan de ontwikkeling van een nieuw type gemodificeerde UASB-reactor voor de behandeling van rioolwater. Gezien de omstandigheid dat er bij het onderzoek in Lelystad een zeer sterke activiteitsdaling optrad van het korrelslib, is er additioneel onderzoek uitgevoerd naar dit fenomeen. Tevens is er aandacht besteed aan het vloeistofmenggedrag in de diverse reactoren. Daarnaast is er een kostentechnische evaluatie uitgevoerd. De resultaten van het onderzoek met korrelslibreactoren (120 l, 240 l, 6 en 20 m³) zijn vergeleken met die van het voorgaande LU-onderzoek met vlokkig slib reactoren. Het onderzoek is in februari 1989 beëindigd. In het navolgende zijn de resultaten van het onderzoeksproject beknopt weergegeven.

Bennekom

Uit kleinschalige haalbaarheidsstudies (6 l schaal) is gebleken dat het maximale rendement bepaald wordt door de CZV-waarden in het influent. Met anaërobe voorzuivering van rioolwater van een gescheiden en een gecombineerd rioolstelsel kunnen maximale (CZV-)rendementen behaald worden van respectievelijk 80% en 50 tot 70%. Bij lagere temperaturen neemt de verwijderingssnelheid van opgelost en kolloïdaal CZV af en zijn langere contacttijden vereist om de maximale rendementen te behalen.

De werking van de 120 l statische korrelslibreactor is vastgesteld bij verschillende belastingen. Bij temperaturen van 12 tot 20°C wordt bij een hydraulische verblijftijd van 7 uur een rendement behaald van 50 tot 60% onder DWA-omstandigheden.

Beneden 12°C dient de HVT verlengd te worden tot circa 9-14 uur.

Onder RWA-condities daalt het rendement tot 30%. Bij belastingen lager dan 1,5 kg CZV/m³.dag wordt circa 40 tot 80% van de verwijderde CZV omgezet in gas. De slibproductie bedraagt circa 10 kg DS/i.e. jaar.

Bij hogere belastingen neemt de slibproductie aanzienlijk toe.

In een geëxpandeerde korrelslibreactor worden aanzienlijk hogere verwijderingssnelheden bereikt voor opgelost CZV dan in een statische korrelslibreactor. De werking van een statische korrelbedreactor wordt nadelig bepaald door het voorkomen van interne en externe diffusielimitatie. Door expansie van het korrelbed worden deze effecten in belangrijke mate opgeheven.

Bij de toegepaste methode van opschaling van 120 l naar 240 l, 6 m³ en 20 m³ trad een daling op van het rendement. Hiervoor kunnen twee oorzaken worden aangegeven. In de grotere (hogere) reactoren is de opwaartse vloeistofsnelheid hoger dan in de 120 l reactor. Bij snelheden hoger dan 0,5 m/h trad verhoogde slibuitspoeling op. De verdeling van het influent in de grotere reactoren is minder goed dan in de 120 l reactor. Dit laatste heeft onvolledige biomassabenutting en overbelasting tot gevolg.

Met een meertrapssysteem blijkt een betere processtabiliteit bereikt te kunnen worden dan met een ééntrapssysteem.

Bergambacht

De 20 m³ installatie is uitgetest bij variabele belastingen. Bij DWA was de HVT 8,7 uur en bij RWA 2,8 uur.

Het rioolwater in Bergambacht heeft een hoge CZV (350 mg CZV/l) en is septisch (CZV/BZV-verhouding 3,5).

Ook in Bergambacht werd een duidelijke positieve correlatie gevonden tussen de CZV- en BZV-waarden in het influent en het rendement. De gemiddelde CZV-rendementen varieerden van 44 tot 54% bij temperaturen tussen de 13 en 17°C en verblijftijden van 8,7 en 15 u. Toepassing van hoge debietfluctuaties gaf aanleiding tot overmatige uitspoeling van vlokkig slib en daling van het rendement. Volledige RWA-aanvoer zal derhalve niet verwerkt kunnen worden.

Lelystad

In Lelystad is de 20 m³ korrelslibreactor tot tweemaal toe opgestart. In beide proefperioden trad een zeer drastische activiteitsdaling op van het korrelslib. Een dergelijke daling is tijdens de andere onderzoeksperioden in Bergambacht en Bennekom niet waargenomen. Deze activiteitsdaling zou veroorzaakt kunnen zijn door een irreversibele adsorptie van kolloïdale en/of gesuspendeerde stoffen aan het korrelslib.

Bij de relatief hoge gehalten aan deze stoffen zoals deze voorkomen in het

rioolwater van een gescheiden rioolstelsel, kan de adsorptie dermate hoog zijn dat op den duur afsluiting van het korrelslib op kan treden.

Uit laboratoriumexperimenten is gebleken dat de activiteitsdaling bij circa 15°C veel minder is. Waarschijnlijk is de afbraaksnelheid van de adsorberende stoffen bij 15°C en hoger voldoende hoog om afsluiting te voorkomen.

Daarnaast is de eventuele aanwezigheid van toxische stoffen in het rioolwater ter plaatse van de zuivering niet uitgesloten.

Vloeistofmenggedrag

Voor een goede werking van het anaërobe zuiveringssysteem bij de heersende lage temperaturen en substraatconcentraties in het influent dient voldaan te worden aan een aantal randvoorwaarden.

Het slib/water contact moet optimaal zijn en de oppervlaktebelasting dient lager dan 0,5 m/h te zijn. Een propstroommenggedrag leidt bovendien tot een efficiënt reactorgebruik.

Uit het onderzoek naar het vloeistofmenggedrag is vastgesteld dat in de grote reactoren aanzienlijke kanaalstroming en dode ruimten optreden. Daarnaast vertonen de grote reactoren met een relatief lage hoogte/diameter verhouding minder propstroming dan kleine reactoren met een hoge hoogte/diameter verhouding.

Vlokkig slib en korrelslib

Teneinde bij temperaturen van 12°C en lager voldoende zuivering te bereiken bij een gemiddelde belasting van 1,5 kg CZV/m³.dag is men aangewezen op korrelslib. Essentieel bij de keuze van het type slib is de benodigde hoeveelheid biomassa en de methanogene activiteit bij de laagste temperaturen. Boven 12°C kan tevens gebruik worden gemaakt van vlokkig slib. In vlokkig slibreactoren is de kans op inefficiënt slib/water contact en diffusielimitatie minder groot dan in korrelslibreactoren. De adsorptie van kolloïdale stof aan slib kan bij korrelslib eerder aanleiding geven tot volledige afsluiting dan bij vlokkig slib.

Het korrelslib was afkomstig van een anaërobe installatie die werd belast met gemakkelijk afbreekbaar industrieel afvalwater. Uit recent onderzoek is gebleken dat tevens korrelslibvorming op rioolwater kan optreden. De methanogene activiteit van dit eigen gekweekte korrelslib is aanzienlijk hoger dan van het korrelslib dat is verkregen op ander afvalwater en langere tijd is belast met rioolwater.

Samenstelling van het anaëroob effluent

Het anaërobe effluent is nog samengesteld uit rest-CZV, ammonium en fosfaat en moet nog aëroob nabehandeld worden.

Kostenonderzoek

Anaërobe voorzuivering is alleen economisch aantrekkelijk als een constant (CZV-)rendement behaald kan worden van 60% bij een hydraulische verblijftijd van 8 uur gedurende het gehele jaar. Ondanks een optimaal reactorontwerp en temperaturen hoger dan 12°C was dit echter niet mogelijk.

Het proces is daarmee vooralsnog financieel (nog) niet aantrekkelijk. De processtabiliteit dient aanzienlijk verbeterd te worden.

Integratiemogelijkheden van anaërobe zuivering en N- en P-verwijdering

De mogelijkheden van biologische P- en N-verwijdering worden in belangrijke mate bepaald door de aanwezigheid van gemakkelijk verzuurbare componenten in het rioolwater. Door toepassing van hoge volumebelastingen van 4 tot 6 kg CZV/m³.dag zal de anaërobe reactor voornamelijk dienst doen als verzuringsreactor. De vrijkomende vetzuren kunnen de biologische N- en P-verwijdering stimuleren. Deze procesvoering (AnDeNiFo) minimaliseert het chemicaliënverbruik.

Conclusies

Met de korrelslibinstallatie met een inhoud van 120 l, werd een rendement van 50 tot 60% op basis van totaal CZV behaald onder DWA-omstandigheden. Bij RWA-condities daalt het rendement tot 30%. Bij temperaturen lager dan 12°C dient de verblijftijd verlengd te worden tot 9-14 uur.

De streefwaarden, te weten een BZV-rendement van 70% bij 10°C en hoger en 55% bij temperaturen beneden 10°C, zijn dus niet behaald.

De belangrijkste dimensioneringsgrondslagen zijn:

verblijftijd	:	8 uur (12 tot 20°C) en 14 uur (onder 12°C);
CZV-belasting	:	1,5 en 0,8 kg CZV/m ³ .dag;
oppervlaktebelasting	:	max. 0,5 m/h;
aantal invoerpunten	:	1 tot 2 per m ² reactorbodempoppervlak;
volume	:	50% slibvolume, 30% expansieruimte en 20% bezinkerruimte;
slibsoort	:	korrelslib voor temperatuur lager dan 12°C en vlokkig slib voor temperatuur hoger dan 12°C;
kompartimentering	:	hoogte/diameter verhouding van 7.

Aanbevelingen voor verder onderzoek

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat voor succesvolle toepassing van het anaërobe zuiveringsproces in Nederland nog verder onderzoek nodig is. Hierbij kan gedacht worden aan

- verder onderzoek naar de vorming van korrelslib op ruw rioolwater bij lage temperaturen;
- integratie van anaërobe voorzuivering en biologische defosfatering, het zogenaamde AnDeNiFo-proces;
- aanvullend onderzoek naar de mogelijkheden van nazuivering van het anaërobe effluent;
- onderzoek naar verbetering van verwijdering van kolloïdale en slecht bezinkbare stof;
- uittesten van een nieuw reactorsysteem, waarin wordt voldaan aan een aantal kritische voorwaarden die in dit onderzoek zijn opgesteld voor de anaërobe zuivering van rioolwater en andere verdunde en koude complexe afvalwatertypen;
- ontwikkeling van een systeem waarbij een betere processtabiliteit is gegarandeerd. Hierbij kan gedacht worden aan een combinatie van een UASB- en een EGSB-reactor;
- inpassing van anaërobe voorzuivering in bestaande overbelaste rwzi's.

BIJLAGE 2

ANAËROBE BEHANDELING VAN VOORBEZONKEN RIOOLWATER MET HET GEËXPANDEERDE KORRELSLIBBED (EGSB)- EN FLUIDISED BED (FB)-PROCES

**EEN ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN
VAN OPWAARTS DOORSTROOMDE REACTORKOLOMMEN,
BEDREVEN BIJ HOGERE SUPERFICIËLE VLOEISTOFSNELHEDEN,
IN NEDERLAND**

**IR. A.R.M. VAN DER LAST, LUW
VAKGROEP MILIEUTECHNOLOGIE**

Samenvatting

Doelstelling van het onderzoek

Het onderzoek heeft zich gericht op het vaststellen van de praktische toepasbaarheid van geëxpandeerde korrelslibbed (EGSB)- en fluidised bed (FB)-systemen op voorbezonken rioolwater in het temperatuursgebied 6-20°C, te weten:

1. Vaststelling maximaal mogelijke zuiveringsrendementen bij DWA met behulp van de ondersteunende batchexperimenten.
 2. Haalbare zuiveringsrendementen voor de opgeloste CZV-fractie, (η_{sol}) en de totale CZV ($\eta_{re\ddot{e}l}$) boven een temperatuur van 13°C (zomercondities) bij DWA in:
 - ééntraps FB-systemen;
 - ééntraps EGSB-systemen;
 - tweetraps systemen;
 - behandeling ruw rioolwater in EGSB-systemen.
 3. Haalbare zuiveringsrendementen, in afhankelijkheid van:
 - variatie in de CZV-waarde (bij DWA en RWA);
 - temperatuur (zomer: 15-20°C, winter: 6-9°C).
 4. Ontwikkeling in de hoedanigheid van de biomassa, voor wat betreft:
 - opstartprocedure en benodigde opstarttijd voor een FB-reactor;
 - verloop methanogene activiteit bij een langdurige toepassing van het proces;
 - optreden van erosie/aangroei/vorming van korrelslib en/of vlokkelig slib.
 5. Mogelijkheden voor de nabehandeling van anaëroob voorbehandeld rioolwater.
- ad 1 Vaststelling van maximaal mogelijke zuiveringsrendementen en biologische afbreekbaarheden bij DWA:

De uitgevoerde ondersteunende batchexperimenten hebben zich gericht op het vaststellen van de aërobe en anaërobe biologische afbreekbaarheid van voorbezonken rioolwater uit Bennekom, alsmede de toepasbaarheid van anaërobe zuivering ten behoeve van de verwijdering van CZV uit voorbezonken rioolwater.

Gebleken is dat:

- van het maximaal mogelijke CZV-verwijderingsrendement met behulp van biologische zuivering, de zogenaamde biologische zuiveringswaarde (BZW) onder aërobe condities 78% en onder optimale anaërobe UASB- en EGSB-condities respectievelijk 73% en 42% bedraagt. Het verwijderingsrendement op basis van de totale CZV in EGSB-reactoren bedraagt dus maximaal 42%, in UASB-reactoren maximaal 73%. Deze waarden zullen verder als basis dienen bij de beoordeling van de resultaten;
- de biologische afbreekbaarheid, uitgedrukt als percentage van de totale CZV (%BCZV) onder aërobe condities 61% en onder anaërobe condities 53% bedraagt. In het laatste geval wordt -betrokken op de

totale CZV- 7,7% omgezet in sulfide-CZV, 44,8% in CH₄-CZV. De hoeveelheid van de totale CZV, die wordt omgezet in sulfide-CZV is uiteraard afhankelijk van het sulfaatgehalte in het afvalwater;

- onder DWA-condities maximaal 54% zuivering op basis van de opgeloste CZV-fractie ($\eta_{sol,max}$) bereikt kan worden.

ad. 2 Haalbare zuiveringsrendementen bij $T > 13^{\circ}C$ en DWA in continu bedreven reactorsystemen:

- Eéntraps FB-systemen:

Bij de behandeling van voorbezonden rioolwater in FB-systemen met zilverzand als drager, vindt bij hydraulische verblijftijden van 0,6 tot 6 h en bij temperaturen tot 20°C onvoldoende ingroei plaats van acetotrofe methanogene bacteriën (voor de omzetting van azijnzuur in CH₄). Een en ander blijkt uit de zeer lage methanogene activiteit van het slib, de afwezigheid van vrije biogasproductie, het verkregen zeer lage zuiveringsrendement van de opgeloste CZV-fractie alsmede de optredende verhoging van het lagere vetzurengehalte in het effluent. De reactor doet in feite voornamelijk dienst als verzuringsreactor. Bij toepassing van hydraulische verblijftijden van 2,6 h en 0,67 h, kan na een opstartperiode van 105 dagen in FB-systemen een verzuring worden verkregen van respectievelijk 67% en 52% van de maximaal haalbare verzuring. De dikte van de aangegroeide biofilms bleek sterk toe te nemen door aangroei en aanhechting van gesuspendeerd en kolloïdaal materiaal (waaronder vetdeeltjes), bij HVT=0,67 h. Doordat hierdoor het soortelijk gewicht van de partikels sterk afneemt, werd het na verloop van tijd noodzakelijk de superfiële vloeistofsnelheid beneden 7 m/h te houden, omdat het begroeide dragermateriaal anders uit de reactor wordt gespoeld.

Bij de opstart van een ééntraps-FB-reactor met basalt als dragermateriaal vindt, bij een hydraulische verblijftijd van 6 h, bij superfiële vloeistofsnelheden van 9-13 m/h en een temperatuur van 20-23°C, wel een ontwikkeling van een methanogeen actieve biomassa plaats. Dankzij dit werd een η_{sol} van 33% bij DWA (= 61% van maximaal mogelijke η_{sol}) bereikt en een totale CH₄-productie van 0,42 kgCH₄-CZV/m³.dag (bijbehorende volumebelasting: 1,8 kg CZV-totaal/m³.dag). De gemiddelde η_{reel} bedroeg 44% (= 105% van de maximaal mogelijke η_{reel}).

Gedurende de experimenten, waarbij het FB-systeem werd geënt met voorbegroeid basalt uit de methanogene trap van de praktijkinstallatie van Gist-brocades, werd gebruik gemaakt van een 14 liter en een 205 liter reactor.

In de 14 liter reactor (HVT= 1,2-1,5 h, v_s = 13 m/h) werden van dag 25-40 goede zuiveringsresultaten bereikt (η_{sol} 31%, η_{reel} 29%). Daarna spoelde het begroeide dragermateriaal uit de reactor, als gevolg van een slechte gasafgifte door het biomateriaal en door de hoge superfiële vloeistofsnelheid bezijden de gaskap. Deze reactor bezit geen verbreed bezinkgedeelte.

Het experiment in de 205 liter reactor (HVT= 2,0-2,5 h, v_s =9 m/h; mét verbreed bezinkgedeelte) is opgestart in een voor Nederland abnormaal lange regenperiode (de totale CZV was over 90 dagen gemiddeld 250 mg/l) en een temperatuur van 10-12°C. In de daaropvolgende gunstige periode van 27 dagen herstelde de reactor zich niet.

- Ééntraps EGSB-systemen:

Bij de behandeling van voorbezonden rioolwater in EGSB-systemen met op papierafvalwater gekweekt korrelslib (Bührmann Tetterode), wordt, bij DWA, temperaturen boven 13°C en een hydraulische verblijftijd van 2 h een zuivering op basis van de opgeloste CZV-fractie, η_{sol} , bereikt van 84% van de maximaal bereikbare waarde ($\eta_{sol,max}=54\%$). Met korrelslib uit de UASB-praktijkinstallatie van Industrierwater b.v. in Eerbeek wordt onder dezelfde omstandigheden een η_{sol} bereikt van 73% van de maximaal mogelijke waarde.

Met zelfgekweekt korrelslib is zelfs bij een hydraulische verblijftijd van 0,8 h een η_{sol} te bereiken van 79% van de genoemde maximale waarde ($\eta_{sol,max}$).

De zuivering op basis van de totale CZV, $\eta_{re\ddot{e}el}$, bedraagt bij DWA bij een hydraulische verblijftijd van 3 h circa 35% en bij een hydraulische verblijftijd van 2 h circa 30%, zowel in een EGSB-reactor met op papierafvalwater gekweekt korrelslib als met zelfgekweekt korrelslib. Deze waarden bedragen respectievelijk 84% en 72% van het maximale CZV-verwijderingsrendement onder optimale EGSB-condities.

Wat betreft het ontwerp van een EGSB-reactor is het momenteel niet zeker of de installatie van een verbreed bezinkgedeelte bovenin de kolom gunstig is of dat dit beter in een nageschakelde trap zou moeten. Gebleken is dat er bij inbouw van zo'n verbreed bezinkgedeelte problemen kunnen optreden als gevolg van accumulatie van gesuspendeerd materiaal en daardoor opdrijven van het korrelslib in de reactor.

- Tweetrapssystemen:

Wat betreft de behandeling van voorbezonden rioolwater blijken tweetrapssystemen aanzienlijk betere perspectieven te bieden dan ééntraps EGSB-reactoren. Weliswaar worden voor η_{sol} in tweetrapssystemen (zowel FB-EGSB als EGSB-EGSB) waarden behaald die bij dezelfde hydraulische verblijftijden ook bereikt worden in een ééntraps EGSB-reactor, maar de $\eta_{re\ddot{e}el}$ in de tweetrapssystemen is veel hoger door de betere verwijdering van zowel grof gesuspendeerd als van kolloïdaal materiaal in de tweede trap. Met een FB-EGSB-systeem werd een $\eta_{re\ddot{e}el}$ behaald van 41-48%, met een tweetrap EGSB-EGSB-systeem 55%, vergeleken met een $\eta_{re\ddot{e}el}$ van 30-35% in de ééntraps EGSB-reactor.

- Behandeling van ruw rioolwater in een ééntraps EGSB-reactor:

Bij de behandeling van ruw rioolwater in een ééntraps EGSB-reactor met aan voorbezonden rioolwater geadapteerd korrelslib kan bij T=20°C en een hydraulische verblijftijd van 2,6 uur een η_{sol} worden behaald van 51% bij DWA (=94% van $\eta_{sol,max}$). De standaard acetotrofe methanogene activiteit nam gedurende de experimentele periode van 41 dagen af van 0,257 tot 0,193 kg CH₄-CZV/kg.org.st.dag.

ad. 3 Haalbare zuiveringsrendementen in afhankelijkheid van afwijkende weersomstandigheden:

- Invloed van variatie in de CZV-waarde:

Bij DWA zijn de verkregen zuiveringsrendementen (zowel van de totale CZV als de opgeloste CZV-fractie) aanzienlijk hoger dan die bij RWA, hoewel de effluent-CZV-waarden van een EGSB-reactor bij DWA overigens wel hoger zijn dan bij RWA.

Bij RWA (CZV < 250 mg/l) wordt een duidelijk lagere gemiddelde η_{sol} in de 120 liter EGSB-reactor waargenomen, tot ten hoogste 22%. De slechts geringe toename van η_{sol} bij opvoering van de HVT van 1 tot 7 h, laat duidelijk zien dat bij RWA procentueel minder afbreekbaar materiaal in het rioolwater aanwezig is.

- Invloed van de temperatuur op de zuiveringsprestaties:

Beneden 10°C neemt η_{sol} in een EGSB-reactor, bedreven bij een hydraulische verblijftijd van 2 uur, af. Uit ondersteunende batchexperimenten bleek dat bij 8°C aanzienlijk minder van het voorbezonken rioolwater omzetbaar is in CH₄, te weten 19% tegen 45% bij 20°C.

ad. 4 Ontwikkeling in de hoedanigheid van de biomassa:

- Opstartprocedure voor FB-systemen met onbegroeid dragermateriaal en de benodigde opstarttijd:

In de FB-systemen met onbegroeid zilverzand en opgestart bij een HVT van 2,6 en 0,67 uur, werd gestart met superficiële vloeistofsnelheden van 24 m/h om het zilverzand voor 100% te fluïdiseren. Gedurende het experiment werd de superficiële vloeistofsnelheid geleidelijk verlaagd tot 12 respectievelijk 10 m/h.

In het FB-systeem, opgestart bij een HVT 6 uur, werd gedurende het gehele experiment een superficiële vloeistofsnelheid toegepast van circa 12 m/h. In de eerste twee experimenten werd wel de groei van biomateriaal waargenomen, maar echter onvoldoende ingroei van methanogene bacteriën. De opstartprocedure van een anaërobe ééntraps FB-reactor met onbegroeid zilverzand kan dus niet beschouwd worden als voltooid.

De FB-reactor, opgestart met basalt bij een HVT van 6 h, werd bedreven met een superficiële vloeistofsnelheid van 9-13 m/h. Na 88 dagen werd wat betreft de CH₄-productie min of meer een evenwichtssituatie bereikt.

- Verloop van de methanogene activiteit:

In alle onderzochte goed functionerende ééntraps EGSB-reactoren (drie), was sprake van een toename van de standaard acetotrofe methanogene activiteit (gemeten bij 30°C). De maximaal bereikte standaardactiviteit bedroeg zelfs 0,481 kgCH₄-CZV/kg.org.st.dag (zelfgekweekt korrelslib), hetgeen uitzonderlijk hoog is voor korrelslib dat onder dit soort tamelijk extreme omstandigheden is gekweekt. De standaardactiviteit van het zelfgekweekte korrelslib was meestal hoger dan van het korrelslib, ontstaan uit het op papierafvalwater gekweekte korrelslib (maximaal 0,250 kgCH₄-CZV/kg.org.st.dag).

- Vorming van anaëroob korrelslib op rioolwater:

Een zeer interessante waarneming in het uitgevoerde onderzoek is de mogelijkheid om op voorbezonden rioolwater bij een hydraulische verblijftijd van 1,0-1,5 uur en een superficiële vloeistofsnelheid van circa 8 m/h een kwalitatief zeer goed korrelslib te vormen, mits de reactor wordt bedreven als EGSB en voor een goede verdeling van het influent over de dwarsdoorsnede van de reactor gezorgd wordt. Het korrelslib was reeds na 1 maand waarneembaar. Na 2 maanden hadden de gevormde korrels een diameter van 1-2 mm.

Eveneens werd de vorming van korrelslib tweemaal waargenomen in reactoren, die bij aanvang bedreven werden als FB-reactoren, dat wil zeggen met dragermateriaal (onbegroeid zilverzand in een 205 l reactor en met methanogene bacteriën begroeid basalt in een 14 l reactor) en bedreven met superficiële vloeistofsnelheden van 24-10 m/h respectievelijk 13 m/h. Nadat de superficiële vloeistofsnelheden waren verlaagd tot 5-7 m/h (EGSB-condities), ontwikkelde zich na verloop van tijd een methanogeen actief korrelslib. In het experiment met de 205 liter reactor nam de acetotrofe methanogene activiteit van het korrelslib toe toen de HVT geleidelijk werd verhoogd van 2,0-2,8 uur tot 5,8 uur. In het experiment met de 14 l reactor was het voldoende de reactor te bedrijven bij een HVT van 1,5-2,0 uur.

ad 5. Mogelijkheden voor de nabehandeling van anaëroob voorbehandeld rioolwater:

Wanneer met behulp van een geschikte nabehandelingsstap het grove gesuspenderde materiaal en het geproduceerde sulfide volledig uit het anaërobe effluent verwijderd worden, is een totaal CZV-verwijderingsrendement van 88% te bereiken bij de behandeling van ruw rioolwater in een installatie, bestaande uit een voorbezinker, een ééntraps EGSB-reactor en de betreffende nabehandelingsstap.

Uit oriënterende experimenten is gebleken dat bij de behandeling van ruw rioolwater met een voorbezinker, een EGSB-reactor (HVT van 3 uur) en een tweetraps biorotor (2 x 0,5 uur) een $\eta_{\text{reëel}}$ te bereiken is van 90%.

Slotbeschouwing:

- de anaërobe behandeling van voorbezonden huishoudelijk afvalwater in FB-systemen, zoals beproefd in dit onderzoek, biedt geen perspectief;
- voor de behandeling van voorbezonden huishoudelijk afvalwater biedt een ééntraps EGSB-systeem, voorzover het de verwijdering van de opgeloste CZV-fractie betreft, perspectief, namelijk bij HVT= 2 uur bedraagt het verwijderingsrendement 84% van wat maximaal mogelijk is, bij HVT \geq 3,5 uur 95%. Het verwijderingsrendement op basis van totaal-CZV is ten gevolge van het toepassen van de hogere superficiële vloeistofsnelheid relatief laag, namelijk bij HVT= 2 uur 30% en bij HVT= 3 uur 35%;
- tweetraps FB-EGSB- of EGSB-EGSB-systemen zuiveren de opgeloste CZV-fractie in voorbezonden huishoudelijk afvalwater even goed als een ééntraps EGSB-systeem; voor de verwijdering van het totaal-CZV echter zijn ze effectiever, namelijk 55% in een EGSB-EGSB-systeem versus 30-35% in een ééntraps EGSB-reactor;

- kwalitatief goed korrelslib kan worden gekweekt op voorbezonken huishoudelijk afvalwater. Soms is dit slib beter dan korrelslib dat gegroeid is op industrieel afvalwater en enige tijd geadopteerd is aan voorbezonken of van rioolwater. Dit zelfgekweekte korrelslib gaf bij $HVT \geq 0,8$ uur goede zuiveringsresultaten;
- ook ruw rioolwater kan worden behandeld in een ééntraps EGSB-systeem, waarbij een goede verwijdering van de opgeloste CZV-fractie plaatsvindt en de standaard methanogene activiteit na 37 dagen blootstelling aan ruw rioolwater voor 75% behouden blijft;
- bij de toepassing van EGSB-systemen als voorbehandelingsstap is het noodzakelijk om hierna zwevende stof te verwijderen. Het hierin afgevangen instabiele gesuspendeerd materiaal kan gebruikt worden om te verzuren; de geproduceerde vluchtige vetzuren kunnen gebruikt worden als C- en energiebron voor eventueel noodzakelijke denitrificatie- en defosfateringsstappen.

**PUBLIKATIEREEKS "TOEKOMSTIGE GENERATIE
RIOOLWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN RWZI 2000" ¹**

- 1 "Behandeling van stedelijk afvalwater in de toekomst"
Een haalbaarheidsonderzoek. I. Eindrapport II. Werkrapport
RIZA, TNO-Maatschappelijke Technologie en Witteveen & Bos Raadgevende
ingenieurs
Juli 1986
- 2 "Toekomstige generatie rioolwaterzuiveringsinrichtingen; RWZI 2000"
Onderzoekplan
RIZA, STORA
Januari 1988
- 3 "Jaarverslag 1988"
RIZA, STORA
Maart 1989
- 4 "Slibontwatering; een voorstudie"
TU-Delft, TU-Eindhoven
RWZI 2000 89-01
Januari 1989
- 5 "Knelpunten bij de invoering van defosfatering"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-02
April 1989
- 6 "Selectieve verwijdering van zware metalen uit ruw rioolwater met behulp van
een magneetsysteem"
Smit-Nymegen, TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-03
Oktober 1989
- 7 "Verwijdering van zware metalen uit zuiveringsslib door elektrolyse"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-04
Oktober 1989

¹ Te bestellen bij:
STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht
tel. 030-321199

- 8 "Hydrolyse van zuiveringsslib in combinatie met anaërobe vergisting"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 89-05
Oktober 1989
- 9 "Het drogen van zuiveringsslib met het Carver-Greentfieldproces"
TNO-Maatschappelijke Technologie. Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-06
December 1989
- 10 "Natte oxydatie van zuiveringsslib met het Veritech-systeem"
TNO-Maatschappelijke Technologie. Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 89-07
December 1989
- 11 "Symposium "RWZI 2000" d.d. 5 oktober 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 89-08
December 1989
- 12 "Jaarverslag 1989"
RIZA, STORA
RWZI 2000 90-01
Maart 1990
- 13 "AB-Systemen: een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-02
September 1990
- 14 "Vergisting van aëroob gestabiliseerd slib"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-03
Augustus 1990
- 15 "Het afleiden van procestechnologische relaties uit bedrijfsgegevens van rwzi's"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 90-04
December 1990
- 16 "Automatische regeling van het slibgehalte in beluchtingstanks"
Adviebureau BKH
RWZI 2000 90-05
September 1990

- 17 "Verkenning Bio-Denitro/Bio-Denipho"
Witteveen & Bos Raadgevende ingenieurs
RWZI 2000 90-06
Juni 1990
- 18 "Linpor-sponsjes als dragermateriaal bij de aërobe zuivering van rioolwater"
TNO-Maatschappelijke Technologie
RWZI 2000 90-07
Oktober 1990
- 19 "Jaarverslag 1990"
RIZA, STORA
RWZI 2000 91-01
Maart 1991
- 20 "Deep Shaft-systemen; een inventarisatie"
DHV Raadgevend Ingenieursbureau BV
RWZI 2000 91-02
Maart 1991
- 21 "Perspectives for the utilization of membrane-assisted sludge retention in
municipal waste water treatment plants"
A feasibility study
RU-Groningen
RWZI 200 91-03
Juni 1991
- 22 "Jaarverslag 1991"
RIZA, STOWA
RWZI 2000 92-01
Maart 1992
- 23 "Vergisten van zuiveringsslib; een vergelijking tussen thermofiele en mesofiele
slibgisting"
Haskoning B.V., RIZA, LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-02
Maart 1992
- 24 "First Dutch-Japanese workshop on the treatment of municipal waste water;
8-11 april 1991, Heelsum, The Netherlands. Part I and part II.
RIZA, STOWA, TU-Delft
RWZI 2000 92-03
Maart 1992

- 25 "Biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een korrelreactor"
LU-Wageningen, DHV Water B.V.
RWZI 2000 92-04
Augustus 1992
- 26 "Anaërobe behandeling van stedelijk afvalwater in Nederland"
Covernota van het uitgevoerde onderzoek 1976 - 1991
LU-Wageningen, Haskoning B.V.
RWZI 2000 92-05
Mei 1992