

ERVARINGEN MET DE TOEGEPASTE TECHNOLOGIE OP DE DEMO-SITE LEMMERWEG-OOST IN SNEEK



RAPPORT

2014
W02

ERVARINGEN MET DE TOEGEPASTE TECHNOLOGIE
OP DE DEMO-SITE LEMMERWEG-OOST IN SNEEK

RAPPORT

2014
W02



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2014-W02

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

SAMENVATTING

Dit rapport beschrijft op hoofdlijnen het onderzoek naar de werking van de toegepaste technologie en de bevindingen van het demonstratieproject Lemmerweg-Oost, gericht op **decentrale verwerking van afzonderlijke huishoudelijke reststromen**. Passend binnen de filosofie van 'afval bestaat niet' worden hier componenten uit afvalwater van 32 huishoudens omgezet naar de energiedrager biogas (organische componenten) en een potentiële kunstmestvervanger (componenten stikstof en fosfaat). Op basis van de bevindingen worden er aanbevelingen gedaan en zijn er ontwerpcriteria geformuleerd voor een optimaal verwerkingssysteem. Er wordt bovendien aangetoond dat het concept een interessant alternatief kan vormen voor de gebruikelijke sanitatiesystemen. Voor een meer gedetailleerde uitwerking en bespreking van de resultaten en ervaringen van het project Lemmerweg-Oost wordt verwezen naar het rapport "Nieuwe Sanitatie in praktijk gebracht" (d.d. 12/12/2012 in concept), waarin een verdiepingsslag wordt gemaakt. Het project was een samenwerking tussen DeSaH B.V., gemeente Sneek, woningstichting Patrimonium Sneek en woningstichting De Wieren, Sectie Milieutechnologie van de Wageningen Universiteit, STOWA, Wetsus en Wetterskip Fryslân. Het project is gestart in 2006 en de installatie voor decentrale verwerking is nog steeds operationeel.

Het doel van het demonstratieproject was om voor Nieuwe Sanitatie de stap te maken van laboratorium naar de praktijk. Hierbij speelt niet alleen technologie en techniek een rol; ook sociaalpsychologische (bijvoorbeeld acceptatie bewoners), organisatorische (wisselwerking tussen belanghebbende partijen zoals bewoners, waterschap, gemeente) en juridische aspecten zijn (minstens) even belangrijk. Dit rapport richt zich vooral op de technologische aspecten. Te hanteren ontwerpregels voor praktijkschaalinstallaties zijn in langlopende proeven vastgesteld voor een aantal combinaties van technologieën dan wel procescondities.

In het project worden zwartwater (toiletwater) en grijswater (van bad, douche en (af)wasmachine) gescheiden ingezameld, getransporteerd en verwerkt. De woningen zijn voorzien van vacuümtoiletten en vacuümleidingen die het geconcentreerde zwartwater inzamelen en afvoeren. Het grijswater wordt met vrijerval riolering ingezameld. Het hemelwater uit de wijk wordt via een gescheiden rioolstelsel rechtstreeks afgevoerd naar het oppervlaktewater.

De decentrale installatie voor verwerking en hergebruik is gelokaliseerd in de garage van één van de woningen. Het ingezamelde zwartwater wordt anaëroob vergist, waarbij biogas wordt geproduceerd. Het nutriëntrijke effluent wordt vervolgens verder verwerkt met behulp van verschillende technieken voor stikstofverwijdering en terugwinning van fosfaat. Voor grijswater is gekozen voor het 2-traps aerobe AB-behandelingsproces. In de loop van het project zijn er verschillende configuraties toegepast en getest voor gescheiden inzamelen en verwerken van beide reststromen.

Op basis van de uitgevoerde analyses wordt geconcludeerd dat het verkregen grijswatereffluent voldoet aan de wettelijke lozingseisen. De concentraties in het effluent van de zwartwaterbehandeling zijn daarentegen te hoog. Dit is het gevolg van de verwerking van een sterk geconcentreerde zwartwaterstroom. De lozingseisen die voor IBA-systemen zijn geformuleerd gaan uit van een gecombineerde behandeling van zwart- en grijswater en een gemiddeld Nederlands waterverbruik. Daarom zou het correcter zijn om de verkregen effluënten van de

zwartwaterconfiguraties voorafgaand aan de lozing te combineren met het grijswatereffluent en tevens om de verkregen effluenten te corrigeren voor het verminderde waterverbruik per i.e. tijdens de inzameling. In dat geval worden de eisen wel gehaald.

Dit was één van de doelstellingen van het project. Er zijn hoge (95% voor organisch materiaal (CZV); 73-91% voor stikstof; 70-80% voor fosfor) verwijderingsrendementen behaald. De anaerobe verwerking van zwartwater heeft het voordeel ten opzichte van conventionele aërobe verwerking dat er biogas wordt geproduceerd. Vervolgens is dit biogas aangewend door middel van warmte om het verwerkingssysteem in bedrijf te houden. Door de energieproductie levert de anaerobe verwerking een positieve bijdrage aan de vermindering van CO₂ uitstoot. Dit in tegenstelling tot de energie consumptie van aërobe systemen. Bovendien kenmerkt anaërobe vergisting zich door een zeer lage slibproductie en daarmee indirect lagere slibverwerkingskosten.

Het behoud van een groot deel van de nutriënten stikstof en fosfor in het effluent van het vergistingsproces biedt kansen voor terugwinning van deze nutriënten voor hergebruik dan wel voor verdere verwijdering ervan. Hoewel de combinatie van anaërobe vergisting en struvietprecipitatie (configuratie 1) de beste resultaten in termen van verwijderingsrendement heeft behaald, is het tegelijkertijd terugwinnen van stikstof en fosfaat in de vorm van struviet niet ideaal. Er zijn aanzienlijke hoeveelheden fosfaat toegevoegd om de vergaande terugwinning van stikstof te realiseren. In het licht van de fosfaatproblematiek is dit niet wenselijk. Daarbij is gebleken dat de terugwinning van stikstof energetisch niet efficiënt is, maar dat recycling over de atmosfeer het meest gunstig is. Het OLAND-proces biedt daarom een goed en energiezuinig alternatief voor de verwijdering van stikstof uit het UASB effluent. Tijdens een aparte processtap kan fosfaat vervolgens worden teruggewonnen.

De impact van het effluent op het ontvangende watersysteem kan niet alleen door het volume of de concentratie worden bepaald omdat beide bepalend zijn voor de totale hoeveelheid verontreinigingen die uiteindelijk geloosd worden. De resultaten binnen dit demonstratieproject pleitten dan ook voor het uitdrukken van de lozingseisen in vrachten (g d⁻¹).

Gebaseerd op de bevindingen tijdens het demonstratieproject Lemmerweg-Oost is een concept ontworpen voor een volledig geïntegreerde verwerking van zwart- en grijswater. In plaats van een volledig gescheiden verwerking, zoals plaats heeft gevonden binnen project Lemmerweg-Oost, wordt de verwerking van zwart- en grijswater als het ware in elkaar geschoven. Een volledig decentrale verwerkingsstrategie wordt verkregen waarbij energie wordt geproduceerd, nutriënten worden teruggewonnen en resten aan geneesmiddelen en hormoonverstorende stoffen worden verwijderd.

Het demonstratieproject Lemmerweg-Oost laat zien dat door de toepassing van een nieuw sanitatieconcept de mogelijkheid wordt verkregen om huishoudelijke reststromen te verwerken met een robuust systeem dat tevens sociaal (bewust wording, betrokkenheid en acceptatie bewoners), milieu (minder CO₂-uitstoot, lokalisering van energetische, nutriënten en water stromen) en economisch (vermindering van zuiveringskosten) gezien duurzaam is. In navolging hierop wordt binnen project Waterschoon in de wijk Noorderhoek een volledig geïntegreerde verwerking van zwart- en grijswater toegepast. Evaluaties van de effectiviteit van het verwerkingssysteem, beheer en onderhoud, verwijdering van microverontreinigingen, financieel-economische situatie, energiesysteem, bewonerservaringen en duurzaamheid zullen worden uitgevoerd en worden vergeleken met een referentiesysteem.¹

1 Het onderzoekstraject is in maart 2012 gestart en loopt door tot begin 2014.

Dit rapport is bedoeld voor directe belanghebbenden zoals (semi-) overheden, woningbouwverenigingen en het bedrijfsleven. Ook anderen die geïnteresseerd zijn in concepten van Nieuwe Sanitatie en de mogelijke introductie daarvan in de praktijk, vinden in dit rapport waardevolle informatie.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

ERVARINGEN MET DE TOEGEPASTE TECHNOLOGIE OP DE DEMO-SITE LEMMERWEG-OOST IN SNEEK

INHOUD

	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Nieuwe Sanitatie	1
	1.2 Huidige situatie als drijfveer voor Nieuwe Sanitatie	2
	1.3 Demonstratie Lemmerweg-Oost	6
2	MATERIALEN EN METHODEN: ZWART- EN GRIJSWATERBEHANDELING	7
	2.1 Waterhuishouding in de Wijk Lemmerweg-Oost in Sneek	7
	2.2 Toegepaste technieken voor inzameling, transport en verwerking van zwart- en grijswater	8
	2.3 De drie geteste configuraties	9
	2.4 Monsternamen en analyses	11
3	RESULTATEN EN DISCUSSIE	12
	3.1 Vacuüm systeem	12
	3.2 Verwerking van zwartwater	14
	3.3 Verwerking van grijswater	18
	3.4 Prestatie van de configuraties	19
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	22
5	LITERATUUR	25
	BIJLAGE 1 Karakteristieken van huishoudelijke reststromen	28
	BIJLAGE 2 Gemeten parameters in de zwart- en grijswaterlijn	29

1

INLEIDING

Het project Lemmerweg-Oost in Sneek is de afgelopen jaren één van de icoonprojecten geweest van de ontwikkelingen die in Nederland plaats vinden op gebied van Nieuwe Sanitatie. Sanitatie speelt, hoewel we dat niet altijd beseffen, een sleutelrol in onze hedendaagse samenleving. Het implementeren van technologische vernieuwing waartoe dit project wellicht zou kunnen leiden kan niet los worden gezien van de maatschappelijke context waarin dat plaats vindt. In de onderstaande paragrafen wordt nadrukkelijk op de bredere context ingegaan.

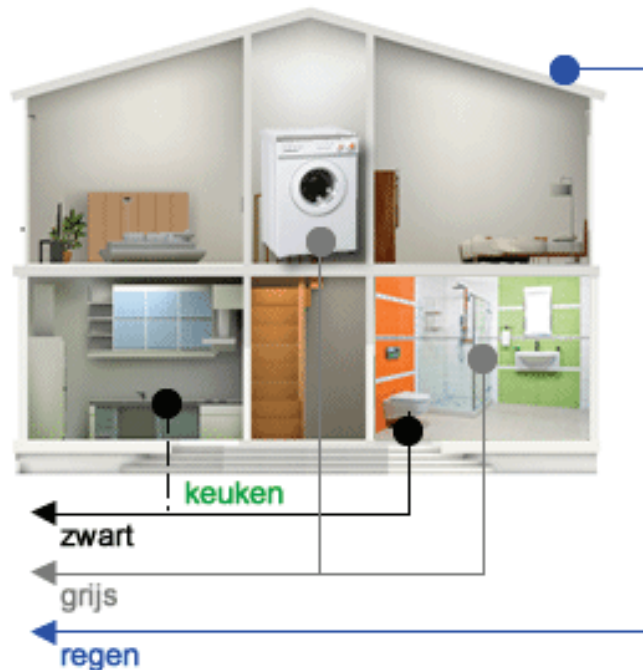
Dit rapport analyseert vooral het procestechnologische deel van het demonstratieproject. In latere rapportages zal, onder andere ook gebruikmakend van de resultaten van het vervolgproject Noorderhoek, onder andere ook worden ingegaan op de overige aspecten als de maatschappelijke acceptatie, de mate van duurzaamheid en dergelijke.

Het project richt zich op de **decentrale verwerking van afzonderlijke huishoudelijke reststromen**. Passend binnen de filosofie van *'afval bestaat niet'* wordt bewust gesproken over reststromen in plaats van over afvalwater. Dit water bevat immers waardevolle componenten die hergebruikt kunnen worden. Enkel wanneer het conventionele centrale afvalwaterzuiveringssysteem wordt beschreven, worden de 'oude' begrippen als afvalwaterstromen gebruikt.

1.1 NIEUWE SANITATIE

De belangstelling voor nieuwe innovatieve sanitatieconcepten, gebaseerd op de scheiding van afvalwaterstromen op wijk/gebouw niveau en hun 'op maat' behandeling, neemt toe. Het streven naar 'Cradle to Cradle' met daarbij de sluiting van kringlopen is daarbij een belangrijk uitgangspunt. Afvalwater wordt niet langer beschouwd als afval maar als grondstof en een waardevolle bron van nutriënten, energie en water. "Nieuwe Sanitatie" dat eind jaren 90 geïnitieerd is door Sectie Milieutechnologie van Wageningen Universiteit is gebaseerd op dit principe.

FIGUUR 1.1 SCHEIDEN VAN RESTSTROMEN OP HUISHOUDNIVEAU (BRON: DESAH B.V.)



Nieuwe Sanitatie omvat diverse concepten, elk gericht op het behalen van een optimaal rendement uit de energetische waarde van reststromen, het terugwinnen van nutriënten en met behoud van de (milieu)hygiënische functie. Essentieel hierbij is dat gebruik wordt gemaakt van de omgevingsfactoren en rekening gehouden wordt met lokale behoeften. Concepten van Nieuwe Sanitatie zijn geen standaard verwerkingssystemen, maar maatwerk. De beoogde doelstellingen, zoals nutriënten terugwinning, verwijdering van pathogenen en hergebruik van water, en de omgevingsfactoren vormen de basis voor de discussie en besluitvorming over de schaal (centraal versus decentraal) en de manier waarop de reststromen worden ingezameld en getransporteerd (gescheiden stromen versus gemengde stromen). Deze besluitvorming vormt vervolgens de basis voor de technologiekeuze, zodat de combinatie van toegepaste technologieën toegesneden en geoptimaliseerd is voor de specifieke situatie. De duurzame technologieën welke deel uitmaken van Nieuwe Sanitatie ondergaan nog regelmatig verdere innovaties in de inzameling, transport en verwerking van afvalwater. Het belangrijkste doel hierbij is verdere verhoging van het milieurendement en lagere kosten.

Op huishoudelijk niveau worden verschillende reststromen onderscheiden, onder meer zwart-, groen-, en grijswater (Figuur 1.1). Zwart- en grijswater worden binnen het huidige systeem veelal gezamenlijk ingezameld (vaak gemengd met hemelwater) en over aanzienlijke afstanden afgevoerd naar centrale rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). De beschrijving van de afzonderlijke reststromen met hun bijhorende kenmerken bevindt zich in bijlage 1.

1.2 HUIDIGE SITUATIE ALS DRIJFVEER VOOR NIEUWE SANITATIE

Sanitatie is wereldwijd een belangrijk onderwerp en staat hoog op de agenda van zowel politici als onderzoekers. Kosten en efficiëntie van inzameling, transport en behandeling van afvalwater zijn een grote drijfveer om de verwerking van stedelijk afvalwater onder de loep te nemen. Maar ook de ecologische consequenties van resterende emissies uit de waterketen, de uitbreiding van de lijst prioritaire stoffen en de strengere eisen vanuit wet- en regelgeving aan de zuiveringsprestaties. Wateroverlast door toenemende regenintensiteit, piekafvoer van

rivieren en stijgende zeespiegel, lokale waterschaarste door een lokaal dalende grondwaterstand en opkomende zorgen over een dreigend fosfaattekort zijn recente nieuwe impulsen (Stowa, 2005). Ook de gevolgen van veroudering van de bestaande infrastructuur vormt een belangrijke aandachtspunt voor de verdere ontwikkeling van de waterketen. In de volgende paragraaf worden ze kort besproken.

De bescherming van de volksgezondheid en het milieu en oppervlakte water door middel van het veilig afvoeren en verwerken van menselijke ontlasting, urine en ander afval is het primaire doel van het **riool** (Stowa, 2005). Door de eeuwen heen heeft het rioolsysteem zich ontwikkeld tot de geavanceerde stelsels zoals we die nu kennen. Inmiddels is in Nederland een openbaar rioolstelsel opgebouwd van 111.000 kilometer lang (Stichting Rioned, cijfers 2008) en is vrijwel 100% van de bevolking hierop aangesloten. Gemeenten hebben een wettelijke plicht voor aanleg en beheer van riolering binnen haar gemeentegrenzen. Waterschappen zijn vervolgens belast met de zuivering van stedelijk afvalwater aangevoerd via het openbare rioolstelsel. Verschillende afvalwaterstromen uit het huishouden worden binnen het huidige systeem gezamenlijk, en vaak gemengd met hemelwater, ingezameld en over grote afstanden afgevoerd naar centrale RWZI's. In het merendeel van de gevallen (78%, Stichting Rioned, cijfers 2008) gebeurt het transport van de grote hoeveelheden water onder vrijverval.

Zowel de aanleg en het onderhoud van **rioleringsstelsels** is een kostbare zaak. De komende jaren staan gemeenten voor aanzienlijke investeringen als gevolg van de leeftijdsopbouw van het rioolstelsel. In Nederland is een aanzienlijk deel (26%; Stichting Rioned, cijfers 2008) van de leidingen ouder dan 40 jaar en dient vervangen of gerenoveerd te worden. De vervanging van de riolering wordt collectief betaald uit de rioolheffing. Om kostendekking te realiseren is een stijging van de rioolheffing onvermijdelijk (COELO, 2012; VNG, 2008; 2012).

Rioolstelsels zijn naast de afvoer van afvalwater ook verantwoordelijk voor de afvoer van hemelwater en overtollig grondwater. Aanzienlijke hoeveelheden water worden via vele kilometers grote (350 – 750 mm in diameter) betonnen buizen getransporteerd. Voor het dimensioneren van de rioleringsstelsels moet rekening worden gehouden met de regenweerafvoer (RWA). De kosten voor dit transport worden dan ook voor een groot deel bepaald door het volume van het af te voeren regenwater. Door het afkoppelen van hemelwater zullen afzonderlijk kleinere volumes water worden afgevoerd. Dit resulteert in de mogelijkheid om beter afstroom van de straten af te voeren, eventueel kleinere buizen te gebruiken en efficiënter omgaan met zuivering en uiteindelijke benutting van beide effluenten.

Veel rioleringsstelsels hebben onvoldoende afvoer- en bergingscapaciteit om extreme buien geheel af te voeren. Piekbuien met hoge intensiteit (> 7mm regen/uur) leiden tot een hoge **overstortfrequentie** en lokale lozing van ongezuiverd water op oppervlaktewater. Als gevolg van klimaatverandering verwacht men meer neerslag en meer piekbuien met een hoge intensiteit. Hierdoor wordt dit probleem verergerd. Om de verontreiniging van oppervlaktewater door riooloverstorten te beperken, geldt de 'Basisinspanning Riolering'. Deze verplicht gemeenten ertoe om vanaf 2006 de vuiluitworp te verminderen met 50% ten opzichte van 2000. Hiervoor zijn en worden aanzienlijke inspanningen verricht, waaronder het afkoppelen van hemelwater door de aanleg van, of ombouw naar, (verbeterd) gescheiden stelsels en het bouwen van randvoorzieningen zoals bergbezinkbassins. Dit kan naast de vervangingsinvesteringen voor de renovatie van bestaande rioleringen additionele investeringen vergen van de gemeenten.

De huidige **RWZI's** zijn ontworpen om verontreinigd water te zuiveren. Hierbij gaat het vooral om het verwijderen van organisch materiaal, stikstof en fosfor. Er zijn vele verschillende processtappen en behandelingstechnieken beschikbaar voor de inrichting van een RWZI. Ruwweg kan een RWZI worden onderverdeeld in zes processtappen: voorbehandeling, basiszuivering, nabehandeling, deelstroombehandeling, slibverwerking en energieconversie (Stowa, 2010). Binnen elke processtap kan een keuze worden gemaakt uit meerdere technieken.

De basiszuivering is bij conventionele systemen veelal gebaseerd op het principe van actief slib. Door middel van intensieve beluchting en de processen nitrificatie en denitrificatie worden voornamelijk organisch materiaal en stikstof uit het afvalwater verwijderd. Hierbij wordt het organisch materiaal omgezet naar enerzijds surplusslib en anderzijds CO₂. De beluchting vergt veel energie, terwijl **organisch materiaal** juist een potentiële bron van **energie** vertegenwoordigt.

Energieconversie door bijvoorbeeld vergisting is steeds vaker een integraal onderdeel van de RWZI. Eén van de voornaamste problemen van het conventionele zuiveringssysteem vormt de hoge productie van **zuiveringsslib**. Per persoon wordt er circa 200 liter slib per jaar geproduceerd. Dit slib is rijk aan nutriënten en waardevol organisch materiaal waardoor het een hoge potentie heeft voor hergebruik als bemesting van landbouwgrond of vergisting voor energie. Het bevat echter ook zware metalen en door het aanscherpen van de normen is het gebruik van slib als meststof niet altijd meer mogelijk. De hoeveelheden zware metalen die gehanteerd worden als 'aanvaardbaar' zijn genormeerd volgens het Besluit kwaliteit en gebruik Overige Organische Meststoffen (BOOM; VROM, 1998). Zuiveringsslib wordt thans apart behandeld. In de praktijk wordt het veelal verbrand, waarna de asrest wordt gestort. Met deze manier van slibverwerking zijn hoge kosten gemoeid (40% van de kosten van de gehele rioolwaterzuivering, (STOWA, 2005). Met het oog op de toekomst worden RWZI's steeds vaker ingericht met innovatieve en geavanceerde technologieën. Bijvoorbeeld gericht op slibreductie en **energetisch neutraal** maken van het behandelingsproces of toepassing van deelstroombehandeling (Stowa, 2010).

In het afvalwater worden steeds meer resten van **geneesmiddelen** en **hormoonverstorende stoffen** aangetroffen doordat het medicijngebruik in Nederland toeneemt, voor een deel als gevolg van de vergrijzing. Deze komen via riooloverstorten en via effluenten van RWZI's in het oppervlaktewater terecht doordat het huidige zuiveringsproces er niet op is ingericht deze stoffen uit het afvalwater te verwijderen. Met behulp van geavanceerde zuiveringstechnieken is het mogelijk om resten van geneesmiddelen en hormoon verstorende stoffen te verwijderen uit het afvalwater. Deze technieken hebben echter een hoge investering wanneer deze op de volledige afvalwaterstroom moeten worden toegepast.

Water trekt zich van landsgrenzen niets aan. Sinds 2000 is daarom de **Europese Kaderrichtlijn Water** (KRW, Richtlijn 2000/60/EG) van kracht. Het doel van deze richtlijn is het beschermen en verbeteren van de grond- en oppervlaktewatersystemen in Europa, waarbij deze in 2015 in een 'goede' ecologische en chemische toestand moeten verkeren. Uitgangspunt hierbij is dat de EU lidstaten concrete waterkwaliteitsnormen en maatregelen uitwerken voor elk stroomgebied op hun eigen grondgebied. Met deze normen worden nieuwe **strengere eisen** gesteld aan de lozingen op het oppervlaktewater vanuit de waterketen. Een lijst van 33 prioritair (gevaarlijke) stoffen is benoemd waarvan de emissies in toenemende mate worden teruggedrongen. Van deze stoffen zijn er 13 risicovolle stoffen aangewezen als prioritair gevaarlijk.

Dit houdt in dat er op termijn gestreefd wordt naar het stoppen van het vrijkomen van deze stoffen. Voor emissiereductie van deze KRW-prioritaire stoffen, zowel vanuit rioolstelsels als in RZWI-effluenten, dienen riolering en afvalwaterzuiveringen in samenhang te worden bezien. Dit vraagt om een gezamenlijke inspanning van gemeenten en waterschappen. Zo zijn er riooltechnische maatregelen mogelijk als het afkoppelen van hemelwater. Andere mogelijkheden liggen in de optimalisering van het zuiveringsproces. De huidige RWZI's zijn niet ontworpen om aan de eisen van de KRW te voldoen.

Aanvullende technieken in de vorm van nageschakelde of geïntegreerde zuiveringstechnieken kunnen noodzakelijk zijn om de effluentkwaliteit te verbeteren (STOWA, 2009). Zuiveringstechnieken zullen daarom effectiever en efficiënter zijn wanneer een **meer geconcentreerde stroom** afvalwater vanuit het rioolsysteem wordt aangevoerd (o.a. te bereiken door afkoppelen van hemelwater).

Naast de waterkwaliteitsdoeleinden ten behoeve van de KRW blijven de milieukwaliteitsnormen voor oppervlaktewater van kracht zoals die gesteld zijn in de vierde Nota Waterhuishouding (NW4) waaronder de MTR-waarden (Maximaal Toelaatbaar Risico), de Zwemwaterrichtlijn en de Gevaarlijke stoffenrichtlijn.

Een **tekort aan water** is een wereldwijd probleem dat met de toenemende bevolkingsgroei steeds groter wordt. In Nederland bedraagt huishoudelijk waterverbruik per persoon per etmaal gemiddeld 130 liter per dag bekeken over de periode van 1995 tot en met 2010 (TNS-NIPO, 2010). Hiervan wordt een aanzienlijk deel (30%) gebruikt voor toiletspoeling (Foekema en Thiel, 2011). Om verdroging tegen te gaan is de drinkwatersector steeds vaker aangewezen op het gebruik van oppervlaktewater als bron van drinkwater. Nadeel hiervan is dat het een intensievere behandeling nodig heeft voor het bereiden van drinkwater dan wanneer grondwater wordt gebruikt.

Naast waterschaarste dreigt er ook een tekort aan de wereldvoorraad van diverse grondstoffen. Zo wordt bijvoorbeeld het mineraal **fosfaat** steeds schaarser. Naar verwachting zijn de natuurlijke voorraden op een termijn van 60 tot 100 jaar (www.fosfaatrecycling.nl) uitgeput. Ook binnen de Europese Unie komt er steeds meer aandacht voor de fosfaatproblematiek. Fosfaat is als belangrijk bestanddeel van kunstmest van groot belang voor wereldwijde productie van voedsel. Dit resulteert in forse prijsstijgingen. Terwijl de vraag naar fosfaat groeit, gaat er echter veel fosfaat verloren door uit/afspoeling/overbemesting maar ook via huishoudelijk afvalwater. Het zuiveringsslib dat ontstaat tijdens het conventionele zuiveringssysteem bevat een groot deel van de met het afvalwater aangevoerde fosfaatvracht. Hoewel er bij een aantal RWZI's fosfaatterugwinning gebeurt, wordt het meeste zuiveringsslib verbrand, waarmee het nog niet teruggewonnen fosfaat aan de natuurlijke kringloop wordt onttrokken (Stowa, 2006). Kringloopsluiting wordt meer en meer van belang en efficiënt hergebruik van fosfaat in afvalwater biedt veel potentie.

In het licht van de klimaatverandering vragen nieuwe (internationale) verdragen zoals het Klimaatverdrag en het Kyoto-protocol om vermindering van de uitstoot van broeikasgasen waaronder CO₂, energiebesparing en toename van het aandeel hernieuwbare energie. Daarmee wordt indirect een **verminderde afhankelijkheid van fossiele brandstoffen** beoogd. Het Nederlandse 'Schoon en Zuinig'-programma heeft als doelstelling een 30% reductie van broeikasgasemissies door Nederland in 2020 ten opzichte van de uitstoot in 1990 te bereiken. Hiertoe zijn verbeteringen ten aanzien van het energieverbruik bij conventionele zuive-

ring nodig. Eén van de belangrijkste aandachtsgebieden is de energiewinning uit biomassa. Nieuwe technieken zijn hierbij van groot belang.

Woningbezitters en -huurders zijn een groot deel van hun besteedbaar inkomen kwijt aan woonlasten. Deze kosten bestaan onder andere uit de hypotheeklasten en bijkomende woonlasten. Er zijn tal van bijkomende woonlasten waaronder de kosten van energie, water en aan het wonen gerelateerde heffingen van gemeente, waterschap en rijksoverheid. In 2012 stijgen de bijkomende woonlasten voor een gemiddeld huishouden met 5,0%, vergeleken met het jaar daarvoor (COELO, 2012). Dit is deels het gevolg van een stijging van de gemeentelijke woonlasten en de waterschapslasten, maar komt vooral doordat energie en water duurder is geworden. Gezien bovengenoemde ontwikkelingen is een **stijging van de woonlasten** ook voor de komende jaren onvermijdelijk.

Volgens de prognose zal de Nederlandse bevolking in de komende decennia groeien van ongeveer 16,5 miljoen in 2009 tot 17,8 miljoen in 2060 (van Duin en Garssen, 2010). Deze **bevolkingstoename** zal voornamelijk optreden in het stedelijk gebied. Tevens vindt er verstedelijking plaats met de ontvolking van buitengebieden als keerzijde. Op basis van deze toekomstverwachtingen dienen veel conventionele RZWI's te worden uitgebreid en nieuwe rioolstelsels te worden aangelegd. Hier is niet altijd ruimte voor en indien de ruimte er wel is, dan is de grondprijs der mate hoog dat dit een hoge investering is. Verder speelt de verlaging van milieubelasting en een CO₂-neutraal energieverbruik een belangrijke rol in de nieuwbouw. De **EPC** (Energie Prestatie Coëfficiënt), welke aangeeft hoe energie-efficiënt een gebouw is, **wordt steeds verder aangescherpt** (van 0,6 in 2011 tot 0,4 in 2015) (Agentschap, 2012).

De stijgende woonlasten en bevolkingsgroei met steeds strenger wordende EPC-normen laten zien dat er ook voor Nieuwe Sanitatie in de toekomstige jaren volop potentie is.

1.3 DEMONSTRATIE LEMMERWEG-OOST

In de woonwijk Lemmerweg-Oost in Sneek (32 huishoudens) is gedurende 3,5 jaren onderzoek gedaan naar een concept op basis van Nieuwe Sanitatie, waarbij gescheiden inzameling en decentrale verwerking van huishoudelijke reststromen is toegepast in de praktijk. De doelstelling van dit onderzoek is tweeledig. Enerzijds is beoogt inzicht te verkrijgen in de effectiviteit van het verwerkingssysteem gericht op de productie van energie en de terugwinning en/of verwijdering van nutriënten voor het behalen van een effluentkwaliteit dat minimaal voldoet aan de thans geldende lozingsseisen. Anderzijds wordt met het project de toepassing van een dergelijk sanitatieconcept en het praktische beheer hiervan gedemonstreerd. Wetenschappelijke kennis is in de praktijk gebracht en ervaringen opgedaan binnen het project worden op hun beurt gebruikt voor de optimalisatie van zowel de afzonderlijke technieken als het gehele verwerkingsconcept. Op basis van de verkregen resultaten is een rekenmodel opgesteld waarmee vele algemene inzichten verkregen kunnen worden in de toepassing van gescheiden inzameling en decentrale verwerking. Dit heeft als doel de verdere ontwikkeling ervan in nieuwbouw- en renovatieprojecten te bevorderen.

Het demonstratieproject is een samenwerking tussen, DeSaH B.V., gemeente Sneek, woningstichting Patrimonium Sneek en woningstichting De Wieren, Sectie Milieutechnologie van de Wageningen Universiteit, STOWA, Wetsus en Wetterskip Fryslân.

2

MATERIALEN EN METHODEN: ZWART- EN GRIJSWATERBEHANDELING

Dit hoofdstuk beschrijft de wijze van inzameling en de verwerking van de gescheiden huishoudelijke reststromen in het demonstratieproject. In paragraaf 2.1 wordt de situatie in de wijk Lemmerweg-Oost uitgelegd met voornamelijk aandacht voor de toegepaste inzamelingsstechniek, gevolgd door een korte uitleg van de toegepaste technologieën (paragraaf 2.2). Verschillende configuraties van het verwerkingsproces worden uitgelegd in paragraaf 2.3, gevolgd door een korte toelichting van het regime voor monsternamen en analyses (2.4).

2.1 WATERHUISHOUDING IN DE WIJK LEMMERWEG-OOST IN SNEEK

In de wijk Lemmerweg-Oost zijn 32 huurwoningen voorzien van systeem voor decentrale sanitatie en hergebruik van huishoudelijke reststromen. Zwart- en grijswater worden gescheiden ingezameld, getransporteerd en verwerkt. De huizen zijn voorzien van vacuümtoiletten en vacuümleidingen die het geconcentreerde zwartwater inzamelen en afvoeren. Het grijswater wordt door middel van een vrijverval riolering ingezameld. Op deze manier worden beide stromen gescheiden naar het decentrale verwerkingssysteem getransporteerd dat gelokaliseerd is in de garage van één van de woningen. Voor een constante aanvoer van zowel zwart- als grijswater naar het verwerkingssysteem worden beide reststromen opgeslagen in afzonderlijke buffertanks. Tot slot wordt het hemelwater via een gescheiden rioolstelsel rechtstreeks afgevoerd naar het oppervlaktewater. Het ingezamelde zwartwater wordt anaëroob vergist. Het nutriëntrijke effluent wordt vervolgens verder verwerkt met behulp van verschillende technieken voor terugwinning van zowel stikstof als fosfaat en voor stikstofverwijdering. Voor grijswater wordt het 2-traps aerobe AB-behandelingsproces (Boehnke, 1978) toegepast.

FIGUUR 2.1 DEEL VAN DE WOONWIJK LEMMERWEG-OOST MET DE GARAGE WAARIN HET VERWERKINGSSYSTEEM VOOR GESCHIEDEN RESTSTROMEN IS GEPLAATST



2.2 TOEGEPASTE TECHNIEKEN VOOR INZAMELING, TRANSPORT EN VERWERKING VAN ZWART- EN GRIJSWATER

VACUÛMINZAMELING SYSTEEM VOOR ZWARTWATER

Bij een vacuÛmsysteem wordt lucht in plaats van water gebruikt als transportmedium. In het (afvoer)leidingstelsel wordt een onderdruk (0.5 – 0.6 bar) in stand gehouden. Door het openen van een klep in het vacuÛmtoilet (Figuur 2.2) wordt het toilet leeggezogen. Hierbij wordt slechts ca. 1 liter spoelwater verbruikt, tegen 6 tot 9 liter per spoeling voor een conventioneel toilet. Hierdoor wordt 80-90% minder water voor toiletspoeling verbruikt. Ook wordt een geconcentreerde zwartwaterstroom verkregen waardoor het verwerkingssysteem compact kan blijven. Met vacuÛmriolering wordt het zwartwater naar hier naar toe getransporteerd. VacuÛmriolering wordt wereldwijd al meerdere decennia toegepast, hoofdzakelijk aan boord van schepen en vliegtuigen. De meest bekende toepassingen op het land kunnen worden gevonden bij lintbebouwing, recreatiegebieden, industrie, (kunstmatige) eilanden, luxe villa's en (jacht)havens.

FIGUUR 2.2 VACUÛM TOILET VAN ROEDIGER, TYPE 85 TOEGEPAST IN SNEEK



De aanleg van het vacuÛmriolering onderscheidt zich van conventionele riolering door het gebruik van kleinere leidingdiameters, de minder diepe en brede te graven sleuven en meer vrijheid in leidingverloop in een gebouw/woning/terrein.

ANAËROBE VERGISTING VAN ZWARTWATER

Anaërobe vergisting van zwartwater is een proces waarbij een groot deel van het organisch materiaal (uitgedrukt in CZV of BZV) biologisch wordt omgezet in biogas, met daarin 60-70% methaan (CH_4). Methaan is ook de belangrijkste component van aardgas. Zwartwater bevat naast het organisch materiaal ook veel stikstofverbindingen; behalve ammonium vooral organisch gebonden stikstof. Dit laatste wordt ook omgezet in opgelost ammonium. Netto wordt maar weinig stikstof verwijderd. Zwartwater bevat ook vrij veel fosfaat-houdende verbindingen, een deel hiervan zal neerslaan met aanwezige metaalionen zoals Ca, Mg en Fe. De rest wordt niet omgezet. Producten van anaërobe vergisting zijn: biogas, vergist zwartwater rijk aan opgeloste nutriënten (stikstof, fosfaat) en slib (vaste fractie).

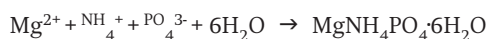
Anaërobe vergisting van zwartwater kan in verschillende typen reactoren en onder verschillende omstandigheden worden uitgevoerd (nat/droog, enkel/meervoudig, thermofiel/mesofiel, batch/continu, laag/hoog belast). In het demonstratieproject Lemmerweg-Oost is gekozen voor een zgn. Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor (UASB). Een UASB is een technisch

eenvoudig ontwerp (tank) waarin zwartwater van beneden naar boven stroomt. In de reactor vormt zich een slibdeken van slibvlokjes die door het opwaarts stromende water en de opstroomsnelheid van het geproduceerde biogas blijven zweven. Het slibdeken fungeert als een filter waarin lichte en fijne deeltjes, aanwezig in het zwarte water, worden vastgehouden, en vervolgens deels worden afgebroken door de in de slibvlokjes aanwezige micro-organismen (Zeeman en Lettinga, 1999).

Het rendement van het vergistingsproces is vooral afhankelijk van de temperatuur, de samenstelling van het afvalwater en fluctuaties in de samenstelling en vracht. Optimaal is een temperatuur van 30-35°C. Bij lagere temperaturen verloopt het proces langzamer wat grotere reactoren noodzakelijk maakt.

CHEMISCHE TERUGWINNING VAN FOSFAAT EN STIKSTOF

Een aantrekkelijke methode voor de terugwinning van nutriënten uit huishoudelijke reststromen is de productie van de kunstmestvervanger struviet. Gelet op de beschikbaarheid van de minerale grondstof fosfaaterts en de stijgende energieprijzen (energie benodigd voor de productie van stikstofkunstmest) is er in het demonstratieproject Lemmerweg-Oost gekozen voor de terugwinning van zowel fosfaat als stikstof middels struvietprecipitatie. Door toevoeging van magnesium aan het vergiste zwartwater vindt er een natuurlijke neerslagreactie plaats waarbij struviet (magnesium-ammonium-fosfaat) wordt gevormd volgens de volgende reactie:



Vervolgens slaat het onoplosbare struviet in de vorm van kristallen neer en deze worden dan door bezinking van het water afgescheiden (Lehmkuhl, 1990).

BIOLOGISCHE STIKSTOFVERWIJDERING

Voor het verwijderen van hoge ammoniumconcentraties uit het effluent van de anaerobe vergister in Sneek is voor het OLAND-proces gekozen. OLAND staat voor *Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification/Denitrification* (Kuai en Verstraete, 1998) Dit biologische proces verwijdert hoge concentraties ammonium uit afvalwater. Ammonium wordt in het onschadelijk stikstofgas omgezet. Voorwaarde is dat het afvalwater weinig organische materiaal bevat. Belangrijke voordelen van OLAND t.o.v. de conventionele biologische nitrificatie/denitrificatie, zoals dat op RWZI's wordt toegepast, zijn de lagere kosten doordat de zuurstofbehoefte met 60% daalt (en daarmee de elektrische energie voor beluchting) en geen organische koolstof wordt geconsumeerd (Mulder, 2003). Er kan zo meer organische koolstof omgezet worden naar biogas. Bovendien wordt veel minder slib geproduceerd. De verwerking van slib is een grote kostenpost op een conventionele RWZI.

AB-PROCES

Voor het grijswater wordt een aëroob verwerkingsproces toegepast met twee beluchte trappen. In de eerste (A) trap wordt het grootste deel van het organisch materiaal met bioflocculatie (absorptie aan slibvlokken) verwijderd uit de waterlijn. De tweede (B) trap bestaat uit een actief-slibstelsel, waarbij onder aerobe omstandigheden het resterende organisch materiaal wordt verwijderd. Het ammonium wordt hierbij omgezet tot nitriet en nitraat via nitrificatie.

2.3 DE DRIE GETESTE CONFIGURATIES

Sinds de start van het demonstratieproject in het najaar van 2006 heeft de verwerking van zwart- en grijswater volgens verschillende configuraties plaatsgevonden. Operationele para-

meters van geteste configuraties zijn vermeld in Tabellen 2.1 en 2.2. De drie configuraties voor de verwerking van zwartwater en één voor de verwerking van grijswater worden beschreven in onderstaande paragrafen.

TABEL 2.1 OPERATIONELE PARAMETERS VAN DRIE GETESTE CONFIGURATIES VOOR ZWARTWATERVERWERKING

Parameter	Eenheid	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3
Onderzoeksduur	maanden	12	24	9
UASB reactor				
Temperatuur	°C	22± 2	30 ± 1,5	35 ± 2
Volume	m ³	7,2	7,2	2,4
Debiet	l.d ⁻¹	272	322	681
HRT	d	27	22	3,6
Slib belasting	gCZV.gVSS ⁻¹	0,064	0,060	0,13
Organische reactor belasting	kgCZV.m ³ .d ⁻¹	0.413	0.456	2.98
Opstroomsnelheid	m.d ⁻¹	0,10	0,13	0,90
Gassnelheid	m.d ⁻¹	0,40	0,55	2,7
OLAND reactor				
Temperatuur	°C		30	30
pH	-		7,4	7,7
O ₂ concentratie	mgO ₂ l ⁻¹		0,92	0,91
Vloeibaar volume	m ³		0,5	0,5
Oppervlakte dragermateriaal	m ²		522	522
Volumetrische Belasting	gN.l ⁻¹ .d ⁻¹		1,14	0,87
Oppervlakte Belasting	gN.m ⁻² .d ⁻¹		8,14	6,3
Struviet reactor				
Volume geroerde tank	m ³	0,1		
Volume nabezinktank	m ³	0,75		
pH	-	8.6		

TABEL 2.2 OPERATIONELE PARAMETERS VAN GETESTE CONFIGURATIE VOOR GRIJSWATERVERWERKING

Parameter	Eenheid	A-trap	B-trap
Volume	m ³	0,2	1,3
Slibconcentratie (MLSS)	g l ⁻¹	2,4	2,6
Yield	g ds.gCZV ⁻¹	0,81	0,21
Slibbelasting	gCZV.gMLSS ⁻¹	4,86	0,47
HRT	uur	1,82	8,93
SRT	dag	0,38	6,91

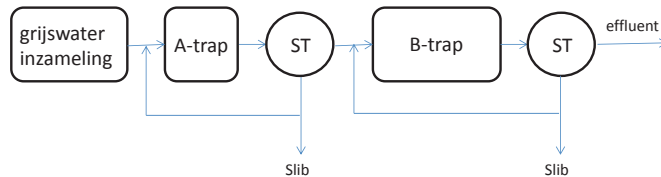
VERWERKING VAN ZWARTWATER

In **configuratie 1** (onderzoekperiode 1) is voor de vergisting gedurende 1 jaar een UASB van 7,2 m³ gebruikt. De UASB is niet verwarmd (22 °C ± 2°C) met een hydraulische verblijftijd (HRT) van 27 dagen. Uit het nutriëntenrijke effluent van de UASB zijn stikstof en fosfaat teruggewonnen met struvietprecipitatie. Om de geschikte condities voor de vorming van struviet te creëren (Le Corre et al., 2009) is, voorafgaand aan het proces van precipitatie, het CO₂ verwijderd door middel van intensieve beluchting. Vergist zwartwater bevat een ondermaat aan fosfaat ten opzichte van stikstof. Om toch vergaande terugwinning van stikstof te realiseren is er naast natronloog (voor pH regeling) en magnesium (als magnesiumchloride) eveneens fosfaat (als fosforzuur) aan het proces toegevoegd. Het effluent van het struvietprecipitatieproces is afgevoerd via het conventionele rioolsysteem.

In **configuratie 2** (onderzoekperiode 2) is twee jaar gebruik gemaakt van een verwarmde UASB ($30\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$) bij een hydraulische verblijftijd van 22 dagen. Met het OLAND-proces in plaats van struvietprecipitatie, werd vervolgens stikstof uit het effluent van de UASB verwijderd. Fosfaat is bij deze configuratie niet verwijderd. Het effluent van het OLAND-proces is geloosd op de conventionele riolering.

FIGUUR 2.3

DRIE GETESTE CONFIGURATIES VOOR HET VERWERKEN VAN ZWARTWATER



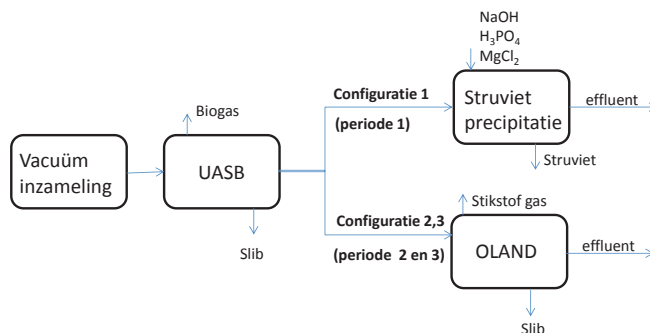
Gedurende een periode van 9 maanden is in **configuratie 3** (onderzoekperiode 3) het zwartwater anaëroob vergist in een kleinere UASB van $2,4\text{ m}^3$, bedreven bij een temperatuur van 35 °C ($\pm 2\text{ °C}$) en een hydraulische verblijftijd van slechts 3,6 dagen. Net als in configuratie 2 werd het effluent van de UASB naar het OLAND-proces geleid en werd het effluent van het OLAND-proces op het riool geloosd.

VERWERKING VAN GRIJSWATER

Grijswater werd verwerkt met het tweetraps adsorptie-actiefslibproces (AB). Het slib wat bij beide trappen ontstaat, bezinkt in de aan elke trap nageschakelde sedimentatietanks (ST). Beide trappen hebben elk een eigen slibcirculatiesysteem waarmee een deel van het slib terug in het verwerkingsproces wordt gebracht voor het op peil houden van de biologische activiteit. Het andere deel wordt gespuid en afgevoerd via het conventionele rioolsysteem. Omdat in de A-stap van het proces zoveel mogelijk organische stof wordt afgevangen, zou dit naar de zwartwatervergister verpompt kunnen worden voor omzetting tot biogas. Dit kan dan een verhoogde biogasopbrengst van het hele systeem tot gevolg hebben.

FIGUUR 2.4

GETESTE DESAH CONFIGURATIE VOOR GRIJSWATER VERWERKING



2.4 MONSTERNAME EN ANALYSES

Om inzicht te krijgen in het presteren van het gehele systeem zijn alle procesonderdelen voor elke configuratie binnen iedere onderzoekperiode bemonsterd en geanalyseerd. Slibmonsters zijn genomen van de UASB-reactor waarvan ook biogas werd gemonitord en geanalyseerd. De slibproductie binnen elk onderdeel van zowel de zwart- als grijswaterverwerking is ook bepaald. De lijst van alle analyses uitgevoerd volgens gestandaardiseerde methoden bevindt zich in bijlage 2.

3

RESULTATEN EN DISCUSSIE

3.1 VACUÛM SYSTEEM

BEWONERSERVARINGEN MET NIEUWE TOILETSYSTEMEN

Enkele maanden na het opstarten van het systeem is in oktober 2006 een bewonersonderzoek uitgevoerd om na te gaan wat de bewoners hiervan vinden (Hegger, 2007). Hierbij is gekeken naar wat zij van de toiletten vinden en naar de manier waarop het systeem aan de bewoners is aangeboden. Het bewonersonderzoek had een respons van 56% waarbij de meerderheid thuis is bezocht voor een interview.

Een (ruime) meerderheid van de geïnterviewde bewoners uitte zich positief over het vacuümtoiletsysteem, beseft dat het vacuümtoiletsysteem als duurzame innovatie bedoeld is, weet dat het toilet minder water per spoeling gebruikt en dat het mogelijk is om biogas te winnen uit het ingezamelde zwartwater. Enkele technische onvolkomenheden die zijn opgetreden in het begin van de bedrijfsvoering deden geen afbreuk aan de positieve ervaringen met het systeem.

Enkele veelvuldig genoemde voordelen van vacuümtoiletsystemen ten opzichte van conventionele toiletsystemen zijn waterbesparing, reductie van afvalwaterstroom, mogelijkheid tot decentrale afvalwaterzuivering, mogelijkheid tot biogasopwekking en flexibiliteit van het systeem in het bouwproces. De belangrijkste nadelen die door de geïnterviewde eigenaren van vacuümtoiletsystemen genoemd worden, zijn de systeemkosten, het energieverbruik, lawaai-erigheid en de kans op verstoppingen.

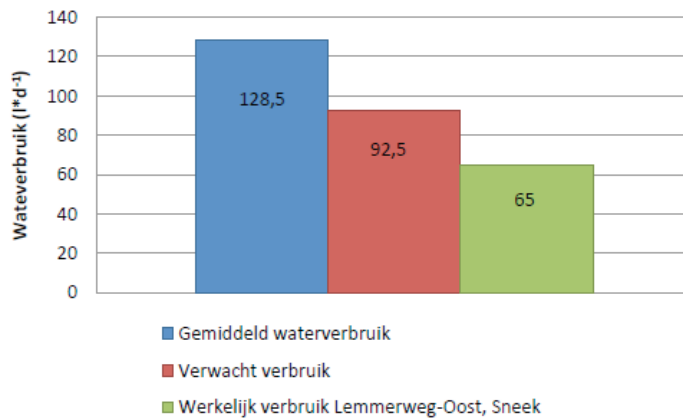
POSITIEVE ERVARINGEN

Waterbesparing

Door de toepassing van vacuümsysteem voor de inzameling van zwartwater kan het waterverbruik in huishoudens sterk dalen (Figuur 3.1). Momenteel verbruikt één persoon in Nederland gemiddeld 128,5 liter schoon drinkwater per dag voor verschillende huishoudelijke doeleinden (Foekema en Van Thiel, 2011). Een conventioneel toilet wordt doorgespoeld met gemiddeld 7 liter water terwijl een vacuümtoilet zoals gebruikt in Sneek, slechts 1 liter water per spoelbeurt verbruikt. Bij toepassing van vacuümtoiletten wordt dan per spoelbeurt 6 liter water bespaard. Dit resulteert in 36 liter waterbesparing per persoon per dag (13 m³ per persoon per jaar). Ten opzichte van het landelijk gemiddelde is dit een besparing van 28%, wat voor een gemiddeld gezin kan resulteren in een jaarlijkse kostenbesparing tussen € 67 en € 119, afhankelijk van de drinkwaterwinning en het distributiegebied.

FIGUUR 3.1

GEMIDDELD WATERVERBRUIK PER PERSOON PER DAG



Uit de opgenomen waterstanden in de wijk Lemmerweg-Oost blijkt dat het gemeten waterverbruik in de onderzoeksperiode van 3 jaar maar 65 liter per persoon per dag was. Ten opzichte van het landelijk gemiddelde (128,5 l/p/d) is dit zelfs een besparing van 50%. Uit nadere analyse van de gegevens blijkt dat de bewoners ook minder grijs water gebruiken dan gemiddeld in Nederland. De gedachte ligt voor de hand dat de bewoners van Lemmerweg-Oost een groter bewustzijn hebben (ontwikkeld) ten aanzien van waterbesparing en daar ook naar handelen, maar dit is nog niet verder uitgezocht.

Reductie in afvalwaterstroom

Vanwege het lagere spoelvolume wordt er in de wijk ook een kleinere zwartwaterstroom geproduceerd. Hierdoor kunnen de reactoren niet alleen kleiner zijn, maar vanwege de geconcentreerdere zwartwaterstroom ontstaan er ook mogelijkheden voor een efficiëntere zuivering. Het zelfde geldt voor het grijswater.

Mogelijkheid tot decentrale afvalwater zuivering

Een vacuümsysteem maakt het mogelijk om verschillende afvalwaterstromen apart in te zamelen. Hierdoor ontstaat de kans om technologieën te selecteren die, apart of in combinatie, het hoogste zuiveringsrendement kunnen behalen. Vanwege de kleine afvalstromen blijft de benodigde capaciteit, en dus de grootte, van deze technologieën beperkt en past deze makkelijker in een woonwijk. In de wijk Lemmerweg-Oost staan alle technologieën in één kleine ruimte.

Mogelijkheid tot biogasopwekking

De geconcentreerdere afvalstromen resulteren in een efficiëntere vergisting. Hierdoor wordt de productie en gebruik van biogas sneller rendabel. Doordat in de wijk Lemmerweg-Oost het biogas wordt gebruikt om aan de energievraag van andere technologieën te voldoen blijft de vraag naar een externe energiebron, en dus de CO₂ uitstoot, beperkt.

Flexibiliteit van het systeem in het bouwproces

Doordat een vacuümsysteem gebruik maakt van lucht (onderdruk) voor de transport van de feces en urine zijn de afvoerleidingen niet alleen kleiner (50mm) en hoeven deze niet op afschot worden geïnstalleerd. Hierdoor is er meer flexibiliteit tijdens het ontwerp van een gebouw en kan er meer 'gespeeld' worden met de locatie van de toiletten. Hierdoor kunnen de aanlegkosten tot 20-25% goedkoper zijn dan een conventioneel rioleringsstelsel (Werner et al., 2005).

VERBETERPUNTEN

Geluidsproductie vacuümtoiletten

Het geluid van een vacuümtoilet is een kortstondig geluid met aan het einde een piek, veroorzaakt door het sluiten van de klep. Het geluids(piek)niveau is bij vacuümtoiletten aanzienlijk hoger dan bij conventionele toiletten, tussen 0 en 24 dB meer, afhankelijk van het type vacuümtoilet. Dit is echter gedurende enkele seconden, waarna er geen geluid geproduceerd wordt. Ter vergelijking, een conventioneel toilet maakt gedurende 30 á 40 seconden geluid, waardoor de gemiddelde decibelproductie in de tijd van een vacuümtoilet lager is dan van een conventioneel toilet.

Het geluidsniveau van een vacuümtoilet kan worden verlaagd door het deksel van de te sluiten voorafgaand aan de spoeling en het plaatsen van isolatie achter het toilet. Het kan ook worden verbeterd door het optimaliseren van het leidingstelsel (aanpassing van de gebruikte buisdiameters) en een verbeterd klepsysteem. Een aantal producenten van vacuümtoiletten is bezig met het ontwikkelen en testen van geluidsdempers waardoor er vrijwel geen verschil in geluidproductie is in vergelijking met een conventioneel toilet (STOWA, 2011).

Verstoppingen

Vanwege de kleinere rioleringen kunnen deze door biologische groei of precipitatie van kalk en zouten uit urine gaan verstopping. Hoewel de turbulente stroom van het afvalwater door de vacuümleidingen dit deels voorkomt of vertraagd, zijn hier door bewoners meldingen over gedaan. Verstoppingen kunnen worden voorkomen door geen nat toiletpapier te gebruiken (dit lost niet op in water) en de wc te reinigen met speciale reinigingsmiddelen. Deze biologisch-afbreekbare middelen, die bij de leverancier van het vacuümstelsel verkrijgbaar zijn, bevatten toevoegingen die de kalk en zout-aanslag in de leidingen verwijdert. Sinds de start van het project zijn dergelijke afzettingen in leidingen binnen de Lemmerweg-Oost echter (nog) niet geconstateerd.

3.2 VERWERKING VAN ZWARTWATER

SAMENSTELLING VAN GECONCENTREERD ZWARTWATER

De gemiddelde samenstelling van het zwartwater in de drie onderzoeksperioden (met verschillende configuraties) zijn weergegeven in Tabel 3.1 en vergeleken met waarden uit een eerdere studie van WUR-ETE² (Kujawa-Roeleveld et al., 2006). In deze studie werd het toiletgebruik in een woonwijk nagebootst en werd hetzelfde type toilet als in Sneek gebruikt. Overeenkomstige concentraties van organisch materiaal en nutriënten in het zwartwater zijn gevonden.

TABEL 3.1

GEMIDDELDE SAMENSTELLING VAN ZWARTWATERINFLUENT PER GEBRUIKTE DESAH CONFIGURATIE, VERGELEKEN MET VOORAFGAAND WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK OP WUR-ETE

Parameter	Eenheid	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3	Kujawa-Roeleveld et al., 2006
CZV _t	g.l ⁻¹	11.7	10.9	10.5	9,5 - 12,3
CZV _f	g.l ⁻¹	2.6	2.7	3.7	0,5 - 1,9
CZV _{SS} *	g.l ⁻¹	9,1	8,2	6,8	7,0 - 9,6
Vetzuren	g.l ⁻¹	0,9	1,0	1,1	0,5 - 1,9
N _t	gN.l ⁻¹	1.3	1.3	1.3	1,0 - 1,4
NH ₄ -N	gN.l ⁻¹	0,78	0,79	0,86	0,6 - 1,0
P _t	gP.l ⁻¹	0,18	0,18	0,15	0,09 - 0,14
PO ₄ -P	gP.l ⁻¹	0,05	0,06	0,09	0,03 - 0,06

* CZV_{SS} – gesuspendeerde fractie, het verschil tussen CZV_t en CZV_f

VERWIJDERING VAN ORGANISCH MATERIAAL (CZV) IN DE UASB

Anaërobe vergisting van zwartwater is getest in drie configuraties, sterk variërend in de bedrijfsvoering van de UASB-reactor, reeds vermeld in Tabel 2.1.

De CZV_{SS} verwijdering geeft aan hoeveel onopgelost organisch materiaal gehydrolyseerd is en/of weggevangen is in het slibbed. Dit is de meest kritische parameter. Met elk van de drie configuraties wordt dit zeer goed verwijderd: respectievelijk 98%, 97% en 96% (Tabel 3.2). Er was dus maar weinig invloed van de toegepaste temperatuur en hydraulische verblijftijd (HRT). De verwijderingsrendementen verkregen binnen dit project komen overeen met de resultaten verkregen in andere studies (bijvoorbeeld Lettinga et al., 1993, Kujawa-Roeleveld et al., 2006), ondanks behoorlijk verschillende procescondities.

TABEL 3.2

GEMIDDELD VERWIJDERINGSRENDEMENT VAN ORGANISCH MATERIAAL EN BIOGASPRODUCTIE BIJ VERSCHILLENDE OPERATIONELE CONDITIES IN DE UASB-REACTOR

Parameter	Eenheid	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3
CZV _t	%	92	90	83
CZV _f	%	68	70	68
CZV _{SS}	%	98	97	96
Methanogenese	% van CZV _t	56.9	62.6	51.8
Methaan productie	l/inwoner/dag	16.2	19.2	17.6

Ook de CZV_{totaal} verwijdering is hoog (>80%) in alle configuraties. In configuratie 1 en 2 is deze zelfs 90% of hoger. Een drastische verlaging van HRT van 22 naar 3.6 dagen en tegelijkertijd een verhoging van de temperatuur van 30 naar 35oC resulteerde nog steeds in een goed rendement van 83%. Het percentage methanogenese geeft informatie over hoeveel CZV_{totaal} wordt omgezet in methaan. De hoogste methanogenese is 62.6% van de verwijderde CZV in configuratie 2C. De laagste methanogenese wordt gevonden in configuratie 3. Vergelijkbare hoeveelheden methaan worden waargenomen in alle drie configuraties met een hoogste waarde van 19.2 l CH₄/persoon/dag in configuratie 2.

VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN (N EN P) IN DE UASB

Zoals verwacht wordt maar weinig stikstof (N) tijdens het vergistingsproces verwijderd. Het effluent bevat respectievelijk 93, 94 en 99% ten opzichte van de totale concentratie stikstof in het influent van configuratie 1, 2 en 3. Dankzij de hydrolyse van gesuspendeerd organisch materiaal is het organisch gebonden stikstof deels omgezet in ammonium, vandaar ook dat het aandeel van ammonia in het effluent hoger is dan in het influent. Fosfor (P) blijft voor 53-60% behouden in het effluent wat suggereert dat een aanzienlijk deel daarvan is geïmmobiliseerd in het slib, waarschijnlijk door de reactie met calcium (Ca), magnesium (Mg) en ijzer (Fe).

In Tabel 3.3 is de gemiddelde samenstelling van UASB-effluent weergegeven. Hoewel al veel organisch materiaal is verwijderd in de UASB, bevat het effluent nog vrij hoge CZV concentraties waardoor directe lozing op oppervlakte water volgens de huidige regelgeving niet mogelijk is. Deze huidige regelgeving is nog vooral gebaseerd op concentraties, en minder op vrachten. Omdat de zwartwaterstroom zo klein is, is de vracht aan organisch materiaal beperkt. Hetzelfde geldt voor de nutriënten (N,P). Dit geeft kansen maar ook beperkingen, afhankelijk van de eindbestemming van het gedeeltelijk gezuiverd effluent. Voor het lozen van het anaerobe effluent naar oppervlaktewater is het in Nederland noodzakelijk, conform de huidige wetgeving, om een additionele verwerkingsstap toe te passen gericht op een verdere verwijdering van organisch materiaal en nutriënten. Met deze stappen kunnen ook nutriënten worden teruggewonnen voor eventueel hergebruik. Een aantal opties wordt in de volgende paragrafen geschetst.

FIGUUR 3.2 RBC REACTOR VOOR HET OLAND PROCES



TABEL 3.3 GEMIDDELTE SAMENSTELLING (G.L⁻¹) VAN UASB EFFLUENT

Parameter	Eenheid	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3
Debiet *	l.d ⁻¹	272	322	681
CZV _t	g.l ⁻¹	1,0	1,1	1,8
CZV _f	g.l ⁻¹	0,8	0,8	1,2
CZV _{ss}	g.l ⁻¹	0,17	0,28	0,6
Vetzuren	g.l ⁻¹	0,18	0,2	0,25
N _t	gN.l ⁻¹	1,2	1,2	1,3
NH ₄ -N	gN.l ⁻¹	1,0	1,0	1,0
P _t	gP.l ⁻¹	0,097	0,11	0,1
PO ₄ -P	gP.l ⁻¹	0,071	0,079	0,088
N,P molverhouding	molN/molP	31		

* In de configuraties 1 en 2 is een deel van de totale zwartwaterproductie van de hele wijk verwerkt in de UASB waardoor het debiet voor deze configuraties lager is. In configuratie 3 is het debiet gelijk aan de zwartwaterproductie

STRUVIETPRECIPITATIE

Met struvietprecipitatie is in configuratie 1 zowel stikstof als fosfor teruggewonnen. Struviet wordt gevormd uit magnesium, ammonium en fosfaat in de molverhouding 1:1:1. Omdat het UASB effluent in de eerste configuratie 31 keer meer ammonium dan fosfaat bevat (op basis van molverhouding; Tabel 3.3) diende voor een goede verwijdering van ammonium naast magnesium ook fosfaat te worden toegevoegd. Op deze wijze is 91% van het stikstof en 65% van het fosfaat teruggewonnen en werd een ammonium- en fosfaatconcentratie in het effluent bereikt van gemiddeld 80 mg N.l⁻¹ en 8,1 mg P.l⁻¹. De resultaten zijn vergelijkbaar

met rendementen verkregen in andere onderzoeken (60-98%), zoals beschreven door Le Corre (2009).

Wanneer de nadruk enkel ligt op de terugwinning van fosfaat, zijn hogere percentages te realiseren. De Graaff et al., (2011) hebben aangetoond dat door het aanpassen van de pH en de hoeveelheid magnesium, 90% fosfaat terugwinning is te realiseren.

Uit het UASB effluent wordt tijdens de struvietprecipitatie een deel van het organisch materiaal verder verwijderd. Een gemiddelde CZVt concentratie van 555 mg.l^{-1} is gemeten in het effluent van de struvietprecipitatie, wat geeft 45% verwijdering t.o.v. struviet influent en 95% t.o.v. UASB influent. Slechts een klein aandeel (1,8%) hiervan bestaat uit gesuspendeerd materiaal. Doordat een lange verblijftijd is aangehouden tijdens de precipitatie is het aannemelijk dat er verwijdering van het nog aanwezige gesuspendeerde materiaal plaatsvindt door bezinking en/of wordt ingevangen in het struvietproduct.

OLAND

In configuratie 2 en 3 is, in plaats van struviet precipitatie, het OLAND proces toegepast voor de verwijdering van stikstof uit het UASB effluent. Het OLAND proces is het relatief nieuwe, gecombineerde partiële nitrificatie-anammox proces voor de verwijdering van hogere ammonium ($\text{NH}_4\text{-N}$) gehalten uit reststromen met een lage CZV/N ratio. Het UASB effluent in Sneek werd gekenmerkt door een hoge ammonium concentratie (gemiddeld $976 \text{ mg NH}_4\text{-N.l}^{-1}$) en een verhouding van CZVt/Nt van gemiddeld 1,03. Het OLAND proces wordt uitgevoerd in een RBC-(rotating biological contractor oftewel biorotor) configuratie (Figuur 3.2).

De stikstofverwijderingsrendementen van 70% en 73% wordt behaald bij belastingen van $1,14 \text{ mg N l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en $0,87 \text{ mg N l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en omzettingssnelheden van $832 \text{ mg N l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ en $609 \text{ mg N l}^{-1} \text{ d}^{-1}$ respectievelijk in configuraties 2 en 3. Vergelijkbare resultaten (76% verwijdering) zijn verkregen door Vlaeminck et al., (2009) op laboratoriumschaal en ook full-scale OLAND-type reactoren hebben aangetoond $400\text{-}1700 \text{ mg N.l}^{-1}.\text{d}^{-1}$ te kunnen verwijderen (Van der Star et al., 2007). De verwerking van UASB effluent m.b.v. OLAND heeft geresulteerd in 327 mg N.l^{-1} en 309 mg N.l^{-1} in het effluent van het OLAND-proces.

FIGUUR 3.3

FISH-BEELDEN VAN DE ANAMMOX BACTERIËN AFKOMSTIG UIT DE OLAND REACTOR



De samenstelling en de activiteit van de microbiële gemeenschap in de OLAND biorotor is bepaald met FISH, fluorescentie in situ hybridisatie - een techniek om individuele bacteriën te kunnen detecteren. Deze analyse bevestigde de aanwezigheid van anammox bacteriën (Figuur 3.3.), verantwoordelijk voor de oxidatie van ammonium met nitriet direct tot stikstofgas, in de OLAND biorotorfilm (Vlaeminck, 2008).

In het effluent van het OLAND-proces zijn gemiddelde CZVt concentraties van 556 mg.l⁻¹ en 837 mg.l⁻¹ gemeten respectievelijk in configuraties 2 en 3. Door de samenstelling van diverse bacteriën in de OLAND reactor zijn meerdere processen verantwoordelijk voor de verwijdering van CZV. Zo zal er in geringe mate heterotrofe denitrificatie plaats hebben gevonden waarbij organisch gebonden koolstof is verbruikt. Een klein deel zal omgezet zijn naar CO₂ en er zal een deel opgenomen zijn voor de groei van biomassa. De CZV verwijderingspercentages in configuratie 2 en 3 zijn respectievelijk 48 en 53% t.o.v. UASB effluent en 94 en 92% t.o.v. UASB influent.

3.3 VERWERKING VAN GRIJSWATER

SAMENSTELLING VAN GRIJSWATER

Het grijswater uit de wijk Lemmerweg-Oost (Tabel 3.4) is vrij geconcentreerd met een organisch stof gehalte van gemiddeld 853 mg.l⁻¹ als CZV. Dit is vrij hoog in vergelijking met andere studies uitgevoerd in landen met een soortgelijk klimaat en overeenkomstige gebruiken (422-640 mg.l⁻¹). Van het organisch materiaal is 56% in opgeloste vorm aanwezig en 44% bestaat uit gesuspendeerd en colloïdaal materiaal.

De lagere grijswaterproductie door de bewoners in de wijk, namelijk 59 l.p⁻¹.d⁻¹ ten opzichte van het gemiddelde grijswaterproductie in Nederland 91,5 l.p⁻¹.d⁻¹ (Foekema en Van Thiel, 2011) en daarmee een mindere mate van verdunning, kan een verklaring zijn voor de hogere CZV concentraties gemeten binnen dit project. Ook de concentratie van nutriënten, stikstof en fosfor waren hoger dan verwacht.

VERWIJDERING VAN ORGANISCH MATERIAAL (CZV) IN HET AB-PROCES

Tijdens de eerste, hoog belaste trap in de grijswaterverwerking (A-trap, organische belasting 4,86 g CZV.gMLSS⁻¹.d⁻¹) voor organisch materiaal wordt een verwijderingsrendement van 46% bereikt. Gesuspendeerd en colloïdaal organisch materiaal wordt voor een deel (37%) verwijderd door bioflocculatie, adsorptie en sedimentatie. Daarnaast wordt een klein deel van het opgeloste organisch materiaal verbruikt om de groei van aërobe micro-organismen in stand te houden. In de praktijk worden op een RWZI CZV verwijderingsrendementen in de A-trap van 50-65% behaald (Hartog 2011; Duin 2011). Dit is vooral te verklaren door de totaal verschillende samenstelling van de te verwerken stroom; met name het grotere deel gesuspendeerd CZV en bezinkbaar materiaal zorgen voor het hogere rendement op een RWZI. In tegenstelling tot de hoge organische belasting in de A-trap, wordt de B-trap laag belast (0,47 gCZV. gMLSS⁻¹.d⁻¹). Onder intensieve beluchting in de B-trap wordt nogmaals 76% van het organisch materiaal verwijderd uit het effluent van de A-trap door met name mineralisatie en een kleine hoeveelheid voor biomassagroei.

VERWIJDERING VAN NUTRIËNTEN (N EN P) IN HET AB-PROCES

Een stikstofverwijdering van 33% wordt bereikt in de A-trap. Vanwege een slibverblijftijd van slechts 0,38 dag was er geen sprake van nitrificatie. Omdat van de totale hoeveelheid stikstof in het grijswater influent 62% organisch is, is het waarschijnlijk dat er een groot aandeel van het N_t is ingevangen in het slib en daarmee via het slib (bioflocculatie) is verwijderd. In de B-trap wordt nogmaals 47% stikstof verwijderd, wederom grotendeels (33%) via het slib. Doordat de B-trap ten opzichte van de A-trap intensiever wordt belucht in combinatie met een langere verblijftijd, is het overigens waarschijnlijk dat er tijdens deze tweede verwerkingsstap nitrificatie optreedt. In de nabezinktank van de B-trap is een anaërobe zone waar vervolgens

denitrificatie kan plaatsvinden en een kleine hoeveelheid stikstof in de vorm van stikstofgas wordt verwijderd.

Vergelijkbare resultaten zijn verkregen voor fosfaat. In de A-trap wordt 42% van de totale hoeveelheid fosfaat verwijderd. Vervolgens wordt in de B-trap wederom 48% verwijderd. Net als in het geval van stikstofverwijdering kan de fosfaatverwijdering verklaard worden door het invangen van gesuspendeerd en colloïdaal organisch materiaal en in mindere mate door de opname voor microbiële groei.

TABEL 3.4 CONCENTRATIES VAN ORGANISCH MATERIAAL, NUTRIËNTEN EN OPPERVLAKTEACTIEVE STOFFEN IN HET INFLUENT EN EFFLUENT VAN HET 2-TRAPS GRIJSWATERVERWERKINGSSYSTEEM

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent AB
CZV _t	mg.l ⁻¹	853	108
CZV _{SS}	mg.l ⁻¹	180	15,3
CZV _{colloïdal}	mg.l ⁻¹	199	26,8
CZV _{opgelost}	mg.l ⁻¹	474	65,9
N _{totaal}	mg.l ⁻¹	25,6	9,09
NH ₄ -N	mg.l ⁻¹	9,04	0,87
NO ₃ -N	mg.l ⁻¹	0,65	0,60
NO ₂ -N	mg.l ⁻¹	0,10	0,07
P _{totaal}	mg.l ⁻¹	5,6	1,7
PO ₄ -P	mg.l ⁻¹	3,7	1,2
Cationic surfactans	mg.l ⁻¹	0,34	0,22
Anion surfactans	mg.l ⁻¹	58,1	6,6
Non-ionic surfactans	mg.l ⁻¹	10,8	2,3

3.4 PRESTATIE VAN DE CONFIGURATIES

ZWARTWATER

Gezien elke configuratie bestaat uit meerdere aaneengeschakelde technologieën, heeft de werking van de afzonderlijke technologieën invloed op de andere technologieën alsook op het functioneren van het gehele verwerkingssysteem. Wanneer de volledige configuraties voor de verwerking van zwartwater beschouwd worden, blijkt de verwerking van zwartwater volgens configuratie 1 het hoogste verwijderingsrendement voor organisch materiaal (CZV) te behalen (95%). Ook de terugwinning van stikstof (91%) en fosfor (82%) is binnen deze configuratie het hoogst. Binnen de configuraties 2 en 3, waarbij verwerking in een UASB gecombineerd wordt met een OLAND reactor, worden eveneens hoge verwijderingsrendementen voor stikstof (in totaal 73% en 70% respectievelijk) behaald. Ook fosfaat wordt nog voor een klein deel verwijderd binnen deze configuraties terwijl het proces daar niet specifiek op gericht is.

GRIJSWATER

Er wordt tijdens het gehele AB proces 87% van de totale CZV verwijderd. De hoeveelheid slib die, met name in de A-trap, ontstaat per gram ingaand CZV is hoog. Hiermee wordt aangetoond dat er het systeem goed werkt. Het doel van een A-trap is namelijk om een zo hoog mogelijke slibproductie te realiseren. Hoewel de configuratie voor de verwerking van grijswater niet is gericht op een actieve verwijdering van nutriënten, is hieruit 65% en 70% van respectievelijk de totale hoeveelheid stikstof en fosfaat verwijderd.

EFFLUENTKwaliteit

In Nederland zijn de eisen die gesteld worden aan de effluent afkomstig van een decentraal verwerkingssysteem (Individuele Behandeling van Afvalwater, IBA) ingedeeld in klassen afhankelijk van de kwetsbaarheid van een gebied. Uitgaande van een lozing in kwetsbaar gebied (klasse IIIB) houdt dit in dat de maximale concentraties voor CZV, N en P in enig steekmonster 200 mg l⁻¹, 60 mg l⁻¹ en 6 mg l⁻¹ mogen zijn, respectievelijk (Stowa, 2003) (Tabel 3.5).

TABEL 3.5 LOZINGSEIS VAN EN STEEKMONSTER (IBA KLASSE IIIB), OMGEREKEND NAAR VRACHTEN

Parameter	Eenheid	Lozingseis IBA systeem**
CZV	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	25,7
N	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	7,71
P	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	0,77

* i.e. inwoner equivalent; ** uitgaande van 128.5 l d⁻¹ i.e.⁻¹

Dit betekent dat het verkregen grijswatereffluent (Tabel 3.4) voldoet aan de wettelijke lozings-eisen. De concentraties in het effluent van de drie zwartwaterconfiguraties daarentegen zijn te hoog. Dit is het gevolg van de verwerking van een sterk geconcentreerde zwartwaterstroom. De lozings-eisen die voor IBA-systemen zijn geformuleerd gaan uit van een gecombineerde behandeling van zwart- en grijswater en een gemiddeld Nederlands waterverbruik. Daarom zou het correcter zijn om de verkregen effluënten van de zwartwaterconfiguraties voorafgaand aan de lozing te combineren met het grijswatereffluent en tevens om de verkregen effluënten te corrigeren voor het verminderde waterverbruik per i.e. tijdens de inzameling. In dat geval worden de eisen wel gehaald (Tabel 3.6). Zelfs ten aanzien van fosfor wordt hier in configuratie 2 en 3 nagenoeg aan voldaan terwijl er geen actieve fosforverwijdering heeft plaatsgevonden. Dit biedt mogelijkheden voor optimalisatie van het verwerkingsproces ter bevordering van de effluent kwaliteit met betrekking tot de fosforconcentratie.

TABEL 3.6 EFFLUENTVRACHTEN NA SAMENVOEGING ZWART- EN GRIJSWATEREFFLUENT EN NA CORRECTIE VOOR HET WATERVERBRUIK PER I.E.

Parameter	Eenheid	Configuratie 1	Configuratie 2	Configuratie 3
Zwartwater	l d ⁻¹	272	416	341
	i.e.	39,6	54,6	36,9
Grijswater	l d ⁻¹	3974	3974	3974
	i.e.	68,4	69,3	71,3
CZV effluent				
Zwartwater	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	3,78	4,6	7,76
Grijswater	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	6,58	6,5	6,31
Totaal	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	10,37	11,1	14,07
N effluent				
Zwartwater	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	0,73	2,51	3,61
Grijswater	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	0,53	0,52	0,51
Totaal	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	1,26	3,03	4,12
P effluent				
Zwartwater	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	0,23	0,62	0,71
Grijswater	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	0,1	0,1	0,09
Totaal	g d ⁻¹ i.e. ⁻¹	0,33	0,72	0,8

* uitgaande van 128.5 l d⁻¹ i.e.⁻¹

Binnen dit project zijn de concentraties van zware metalen in het in- en effluent niet bepaald. Verschillende studies hebben onderzoek gedaan naar het gehalte zware metalen in verschillende stromen afvalwater onder andere Vinneräs (2002) en Palmquist en Jönsson (2001).

Het verwerkingsproces van zwart- en grijswater leidt niet tot een verlies van zware metalen. Weliswaar kunnen zware metalen reageren met andere opgeloste stoffen en neerslaan in het slib waardoor de concentraties in het effluent verminderen. Slibmonsters afkomstig uit de UASB en uit de A- en de B-trap zijn onderzocht op zware metalen. De resultaten staan in Tabel 3.7 weergegeven. Conform huidige Meststoffenwet overschrijden koper en zink de gehanteerde normen voor hergebruik van (zuiverings-)slib als meststof in de landbouw.

TABEL 3.7 MAXIMALE GEHALTES ZWARE METALEN VOLGENS DE MESTSTOFFENWET, DE GEMETEN CONCENTRATIES IN SLIB UIT HET ZWART- EN HET GRIJSWATERVERWERKINGSSYSTEEM

Parameter	Eenheid	Meststoffenwet	Slib UASB 1	Slib UASB 2	Slib A-trap	Slib B-trap
DS	%		4.3	3.4	0.5	3.6
As	kg/kg DS	15	<10	<10	<10	<10
Cd	g/kg DS	1.25	0.8	0.8	1.0	0.7
Cr	mg/kg DS	75	15.2	12.5	22	12
Cu	mg/kg DS	75	221	250	290	210
Hg	mg/kg DS	0.75	0.4	0.4	0.6	0.4
Ni	mg/kg DS	30	13	11	16	12
Pb	mg/kg DS	100	13.9	18	20	<10
Zn	mg/kg DS	300	813	890	1000	780

Er is geen onderzoek gedaan naar het lot van de prioritaire stoffen (medicijnenresten, hormonen, persoonlijke verzorgingsproducten, etc.).

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In de Sneker wijk Lemmerweg-Oost, zijn verschillende configuraties toegepast en getest voor gescheiden inzamelen en verwerken van twee huishoudelijke reststromen: zwart- en grijswater.

De bewoners van de wijk hebben weinig hinder ervaren door de toepassing van een totaal nieuwe sanitatie aanpak. Sommige bewoners hadden in het begin van het project klachten over het geluidsniveau veroorzaakt door het spoelen van het vacuümtoilet. Dit probleem werd verholpen tijdens de loop van het project.

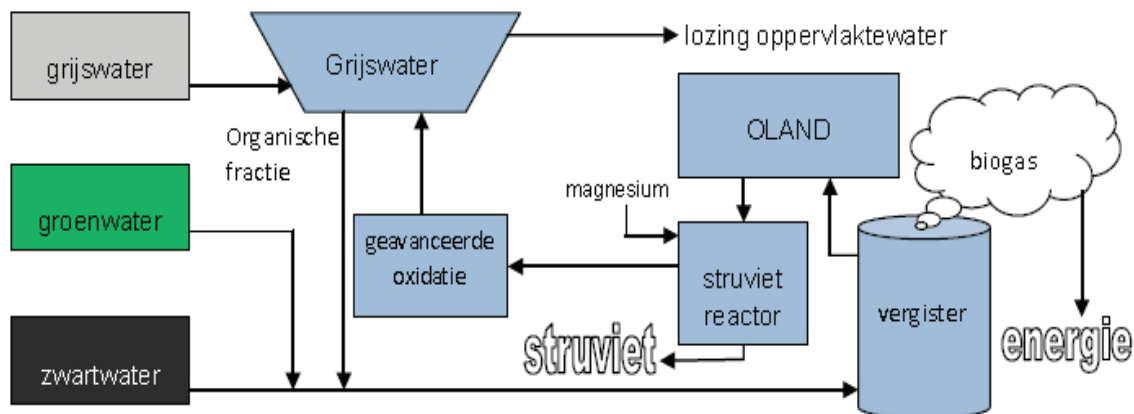
Op basis van de uitgevoerde analyses kan er geconcludeerd worden dat de verwerking van zowel zwartwater als grijswater door de samenwerking tussen de verschillende technologieën efficiënt, verloopt. Er zijn hoge (95% voor organisch materiaal (CZV); 73-91% voor stikstof; 70-80% voor fosfor) verwijderingsrendementen behaald. De anaerobe verwerking van zwartwater heeft het voordeel ten opzichte van conventionele aerobe verwerking dat er biogas wordt geproduceerd. Vervolgens is dit biogas aangewend om het verwerkingsysteem in bedrijf te houden. Door de netto energieproductie in tegenstelling tot de netto consumptie van aërobe systemen levert het verwerkingsysteem een positieve bijdrage aan de vermindering van CO₂ uitstoot. Bovendien kenmerkt anaërobe vergisting zich door een zeer lage slibproductie en daarmee indirect door lage slibverwerkingskosten. De mogelijkheden van hergebruik van het slib als meststof in de landbouw zal afhangen van de concentratie zware metalen in het slib en de wetgeving op het gebruik van slib in de landbouw.

Het behoud van een groot deel van de nutriënten stikstof en fosfor in het effluent van het vergistingsproces biedt kansen voor terugwinningen van deze nutriënten voor hergebruik dan wel voor verdere verwijdering ervan. Hoewel de combinatie van anaërobe vergisting en struvietprecipitatie (configuratie 1) de beste resultaten in termen van verwijderingsrendement heeft behaald, is het tegelijkertijd terugwinnen van stikstof en fosfaat in de vorm van struviet niet ideaal. Er zijn aanzienlijke hoeveelheden fosfaat toegevoegd om de vergaande terugwinning van stikstof te realiseren. In het licht van de fosfaatproblematiek is dit niet wenselijk. Daarbij is gebleken dat de terugwinning van stikstof energetisch niet efficiënt is, maar dat recycling over de atmosfeer het meest gunstig is. Het OLAND-proces biedt daarom een goed en energiezuinig alternatief voor de verwijdering van stikstof uit het UASB effluent. Tijdens een aparte processtap kan fosfaat vervolgens worden teruggewonnen.

Eén van de doelstellingen binnen het demonstratieproject is het verkrijgen van een effluent kwaliteit die voldoet aan de wettelijke normen. Er is aangetoond dat wanneer het volume van het effluent in beschouwing wordt genomen de impact op de ontvangende watersysteem laag is. Namelijk niet enkel de concentratie in mg l⁻¹ maar ook het volume van het te lozen effluent is bepalend voor de totale hoeveelheid verontreinigingen die uiteindelijk geloosd wordt. De resultaten binnen dit demonstratieproject pleiten dan ook voor het uitdrukken van de lozingseisen in vrachten (g d⁻¹).

Gebaseerd op de bevindingen tijdens het demonstratieproject Lemmerweg-Oost is een concept ontworpen voor decentrale, geïntegreerde verwerking van zwart- en grijswater (Figuur 4.1). De verwerking van zwart- en grijswater is als het ware in elkaar geschoven. Hierdoor vult het grijswatersysteem het zwartwatersysteem niet alleen aan, maar versterken beide systemen elkaar.

FIGUUR 4.1 GRAFISCHE REPRESENTATIE VAN EEN VOLLEDIG DECENTRALE ZUIVERINGSSTRATEGIE WAARBIJ ENERGIE WORDT GEPRODUCEERD, NUTRIËNTEN HERWONNEN EN RESTEN GENEESMIDDELEN EN HORMOONVERSTORENDE STOFFEN WORDEN VERWIJDERD



De interactie tussen het zwart- en grijswatersysteem resulteert in een verhoogde energieproductie. Het verwerkingsysteem van grijswater biedt de mogelijkheid om het organisch materiaal in/uit het grijswater te concentreren en vervolgens toe te voegen aan het vergistingsproces van zwartwater als extra bron van energie. Ook de covergisting van GF-afval (groenwater) zal een positief effect hebben op de biogasproductie. Bovendien blijkt dat stikstof en fosfaat grotendeels via het slib uit het grijswater werd verwijderd. Door aanvullend biologische fosfaatverwijdering toe te passen zal er extra fosfaat worden opgenomen in het slib wat vervolgens tijdens het vergistingsproces weer beschikbaar komt voor terugwinning.

De toepassing van struvietprecipitatie na het OLAND-proces is primair gericht op de terugwinning van fosfaat en eventueel kalium. Deze volgorde biedt de mogelijkheid om een vergaande terugwinning van fosfaat te bereiken zonder toevoeging van extra chemicaliën. Daarbij kan het verwijderingsrendement van stikstof worden verhoogd.

Zware metalen, hormoonverstorende stoffen, medicijnresten en andere prioritare stoffen worden gezien als probleemstoffen in het oppervlaktewater. Het kleine volume van de te verwerken stroom maakt toepassing van geavanceerde, innovatieve en veelal dure technologieën interessant. Door de recirculatie van het zwartwatereffluent via het grijswaterverwerkingsysteem wordt een vergaande verwijdering bereikt en daarmee de mogelijkheid vergroot om de KRW-doelstellingen te bereiken. Door het combineren van het zwartwatereffluent met het grijswater zal de uiteindelijke effluentconcentratie lager zijn dan hetgeen berekend in Tabel 3.6. Hiermee komen de huidige lozingseisen van RWZI's in zicht.

De lange verblijftijden in de UASB, zoals toegepast in configuratie 1 en 2, leiden tot aanzienlijke volumes van de reactor. De aanzienlijk verkorte verblijftijd, zoals toegepast in configuratie 3, resulteert daarentegen slechts in kleine verslechtering van de effluentkwaliteit. Omdat de verschillen in de totale verwijdering van CZV en de productie van biogas in alle 3 configuraties niet groot zijn, ondanks de aanmerkelijke verschillen in operationele parameters van UASB reactor, biedt het veel kansen tot optimalisatie van het reactor ontwerp. Dit resulteert in een kostenbesparing en een compacter verwerkingsysteem.

Tot slot kan er gesteld worden dat het demonstratieproject Lemmerweg-Oost laat zien dat door de toepassing van een nieuw sanitatieconcept de mogelijkheid wordt verkregen om huishoudelijke reststromen te verwerken met een robuust systeem dat tevens duurzaam is vanwege de vermindering in CO₂ uitstoot, terugwinning van nutriënten en de betrokkenheid, het draagvlak en bewustwording van bewoners.

5

LITERATUUR

Energieprestatie Nieuwbouw – EPN (2012) <http://www.agentschapnl.nl/nl/programmas-regelingen/energieprestatie-nieuwbouw-epn>

Battistoni, P., Fava, G., Pavan, P., Musaco, A. and Cecchi, F. (1997). Phosphate removal in real anaerobic liquors by struvite crystallization without addition of chemicals: preliminary results. *Water Research*, 31, 2925-2929.

Boehnke, B., Diering, D., Zuckut, S.W. (1997). Cost-effective wastewater treatment process for removal of organics and nutrients. *Water engineering and management*, 144, 18-21.

COELO, (2012) Woonlastenmonitor 2012. (Centrum voor Onderzoek van de Economie van de Lagere Overheden) Rijksuniversiteit Groningen. www.coelo.nl

Corre, Ie, K.S., Valsami-Jones, E., Hobbs, P. and Parsons, S.A. (2009). Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39, 433-477.

Duin, van, C. en Garssen, J. (2010) Bevolkingsprognose 2010–2060: sterkere vergrijzing, langere levensduur. Publicatiedatum CBS-website: 17 december 2010.

Duin, O. (2011). AB systeem rwzi Dokhaven, Rotterdam. Presentatie symposium specialistendag voorbehandelingstechnieken.

Foekema, H., van Thiel, L. (2011). Waterverbruik thuis 2010. C7455, 28 januari 2011, TNS-NIPO. Vereniging van waterbedrijven in Nederland

Graaf, van der A.A., Mulder, A. Bruijn, P. de, Jetten M.S.M., Robertsen L.A. , Kuenen J.G. (1995). Anaerobic ammonium oxidation is a biologically mediated process. *Applied Environmental Microbiology*, 61, 1246-1250.

De Graaff, M.S., Temmink, H., Zeeman, G., Buisman, C.J.N. (2011). Energy and phosphorus recovery from black water. *Water Science and Technology*, 63, 2759-2765.

EG (2000) richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen. http://europa.eu/legislation_summaries/agriculture/environment/l28002b_nl.htm

Hartog, L.C.M. (2001) Presentatie ter gelegenheid van Symposium specialistendag voorbehandelingstechnieken.

Hegger, D. (2007). Greening Sanitary Systems: an End-User Perspective. PhD thesis Wageningen University, 226p.

Kuai, L. and Verstraete, W. (1998) Ammonium Removal by the Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification System. *Applied and Environmental Microbiology*, Nov. 1998, p. 4500–4506

Kujawa-Roeleveld, K., Elmitwalli, T., Zeeman, G. (2006). Enhanced primary treatment of concentrated black water and kitchen residues with DESAR concepts using two types of anaerobic digesters. *Water Science and Technology*, 53, 159-168.

Kujawa-Roeleveld, K. en Zeeman, G. (2006). Anaerobic treatment in decentralised and source-separation-based sanitation concepts. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5, 115-139.

Lehmkuhl, J. 1990. Verfahren für die ammonium-elimination. *Wasser, Luft und Boden*, nummer 11-12: 46-48.

Lettinga, G., Velsen, A.F.M. van, Hobma, S.W., Zeeuw, W.J. de, Klapwijk, A. (1980). Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) reactor for biological waste water treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22, 699-734.

Lettinga G., Man A., Last A., Wiegant W., Knippenberg K., Frijns J. and Buren J. (1993). Anaerobic treatment of domestic sewage and wastewater. *Wat. Sci. Tech.*, 27(9), 67-73

Mulder, A., van der Graaf, A.A., Robertson, L.A. and Kuenen, J.G. (1995) Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiology Ecology*, 16, 177-184.

Mulder, A. (2003). The quest for sustainable nitrogen removal technologies. *Water Science and Technology*, 48, 67-75.

RIONED, Stichting (2011) Riool in Cijfers 2009 – 2010. isbn 978 90 73645 23 3.

STOWA (2003) Praktijkrichtlijn IBA monitoring. STOWA rapport 2003-13. ISBN: 90.5773.218.

STOWA (2005) Afvalwaterketen ontketend-perspectieven voor afvalwatertransport en zuivering in de 21^e eeuw. STOWA rapport 2005-12. ISBN: 90.5773.301.3

STOWA (2006) Terugwinning van fosfaat uit rwzi's experimenten op praktijkschaal met groen fosfaat uit het BCFS proces. STOWA rapport 2006-25. ISBN: 90.5773.359.5

STOWA (2009) Nageschakelde zuiveringstechnieken op de AWZI Leiden Zuid-West. STOWA rapport 2009-32. ISBN 978.90.5773.447.2

STOWA (2010) Op weg naar de rwzi 2030. STOWA rapport 2010-11. ISBN: 978.90.5773.473.1.

STOWA (2011) DEUGD Duurzame Energie Uit Geconcentreerde stromen Deventer. STOWA rapport 2011-27. IS BN 978.90.5773.538.7

TNS-NIPO (2010). Watergebruik thuis 2010. Rapport C7455 28 januari 2011

Van der Star, W.R.L., Abma, W.R., Blommers, D., Mulder, J-W., Tokutomi, T., Strous, M., Picioreanu, C., Loosdrecht, M.C.M van (2007). Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam.

Vlaeminck, S.E. (2008). Sneek biomass: AOB and anammox activity and quantification. Onderzoeksrapport LabMET, Ghent University.

Vlaemick, S.E., Terada A., Smets B.F., van der Linden D., Boon B., Verstraete W., Carballa M. (2009). Nitrogen removal from digested black water by one-stage partial nitrification and anammox. *Environmental Science and Technology*, 43, 5035-5041.

VNG, (2008). Rioolheffing alles behalve melkkoe. (Vereniging van Nederlandse Gemeenten) [Online]. Beschikbaar op: <http://www.vng.nl/onderwerpenindex/belastingen/rioolheffing/nieuws/rioolheffing-alles-behalve-melkkoe>

VNG, (2012). Gemeentelijke woonlasten zitten onder inflatie. (Vereniging van Nederlandse Gemeenten) [Online]. Beschikbaar op: <http://www.vng.nl/onderwerpenindex/belastingen/rioolheffing/nieuws/gemeentelijke-woonlasten-zitten-onder-inflatie>

VROM (1998) Besluit kwaliteit en gebruik overige organische meststoffen. Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden. 1998 nr. 392.

Werner, C., Klingel, F., Mosel, U., Hass, S., (2005). Vacuum technology-collection and transport of sewage by means of low pressure. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Ecological sanitation programme, Division 44 – environment and infrastructure.

Westerman, P.W., Safley, L.M., Barker, J.C. (1985). Crystalline build-up in swine and poultry recycle flush systems. Agricultural Waste Utilization and management, proceedings of the 5th International Symposium on Agricultural Wastes, 613-623.

Zeeman, G., Lettinga, G. (1999). The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level. Water, Science and Technology, 5, 187-194.

Zeeman, G., Kujawa, K., De Mes, T., Hernandez, L., de Graaff, M.S., Mels, A., Meulman, B., Temmink, H., Buisman, D., van Lier, J., Lettinga, G. (2008). Anaerobic treatment as a core technology for energy, nutrients and water recovery from source separated domestic waste(water). Water Science and Technology, 57, 1207-1212.

BIJLAGE 1

KARAKTERISTIEKEN VAN HUISHOUDELIJKE RESTSTROMEN

Op huishoudelijk niveau worden verschillende reststromen onderscheiden: geel, bruin, zwart, groen, donker en grijs water die binnen het huidige systeem gezamenlijk, ook vaak gemengd met hemelwater, worden ingezameld en over aanzienlijke afstanden afgevoerd naar centrale rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's). De beschrijving van de afzonderlijke reststromen met hun bijhorende karakteristieke kenmerken volgt hieronder.

- **Zwartwater** (toiletwater) bestaat uit fecaliën, urine en spoelwater. Urine bevat relatief weinig organisch materiaal, maar is wel een grote bron van nutriënten oftewel meststoffen (stikstof, fosfaat en kalium) geconcentreerd in zeer klein volume (urine alleen 1-1.5 l/persoon/dag). Daarmee vormt het een groot deel van de vuillast op de RWZI. Bovendien bevat urine een groot deel van de resten van geneesmiddelen en hormoonverstorende stoffen. Fecaliën leveren eveneens een groot deel van de vuillast bij de RWZI. Deze stroom kenmerkt zich door een hoge concentratie aan organisch materiaal, nutriënten en, weer, een klein volume. Het organisch materiaal in fecaliën is grotendeel biologisch afbreekbaar. Hoewel de vracht aan organisch materiaal groot is, is de concentratie echter sterk afhankelijk van de hoeveelheid spoelwater die in het toilet wordt gebruikt.
- **Grijswater** bestaat uit de overige huishoudelijke reststromen, zoals het water uit bad, douche en (af)wasmachine. In volume is grijswater veruit de grootste, relatief licht verontreinigd huishoudelijke reststroom dat door haar grote volume nog wel een aanzienlijke vuillast bevat. Grijswater bevat verhoudingsgewijs een hoge vracht aan vrij moeilijk afbreekbare stoffen. Deze zijn afkomstig van o.a. zeep, schoonmaakmiddelen en persoonlijke verzorgingsproducten. Het aandeel aan nutriënten is tegenwoordig beperkt door de afname van het fosfaat in wasmiddelen. Grijs water kan een geringe hoeveelheid menselijke pathogenen (ziektekiemen) bevatten.
- **Groenwater** is gemalen keukenafval met spoelwater. Deze stroom kenmerkt zich door een hoge concentratie aan organisch materiaal, voor een groot deel goed afbreekbaar, nutriënten en een klein volume indien weinig transport water wordt gebruikt.
- **Hemelwater** is relatief schoon. Dakwater bevat afhankelijk van de mate waarin de principes van duurzaam bouwen zijn toegepast, nog wel een aanzienlijke vuillast. Belangrijk is bijvoorbeeld de vracht aan zink (van dakgoten). Drukkere wegen hebben een grote vervuiling aan microverontreinigingen, PAK's etc. Dak- en straatwater kunnen pathogenen bevatten afkomstig van vogels of andere dieren

Deze deelstromen verschillen aanzienlijk in volume en kwaliteit en dienen behandeld te worden naar gelang de concentratie en samenstelling. Hiervoor zijn diverse inzamelings- en behandelingstechnieken denkbaar.

BIJLAGE 2

GEMETEN PARAMETERS IN DE ZWART- EN GRIJSWATERLIJN

De gemeten parameters in de zwartwaterlijn waren de conventionele afvalwaterzuiveringsparameters zoals verschillende fracties CZV (chemisch zuurstof verbruik, totaal en gefiltreerd (=opgelost + colloïdaal), CZV_t en CZV_f respectievelijk), vetzuren, fracties stikstof (totaal en ammonium, N_t , NH_4-N), fracties fosfor (totaal en ortho-fosfaat (P_t , PO_4-P)). Daarnaast zijn de concentraties nitriet (NO_2-N) en nitraat (NO_3-N) in het effluent van het OLAND-proces bepaald.

Grijswater werd naast bovengenoemde parameters geanalyseerd op de concentraties colloïdaal en opgelost CZV (CZV_c en CZV_o respectievelijk) en de concentraties cationische, anionische en niet-ionische oppervlakreactieve stoffen.

Er is niet op prioritare stoffen (medicijnenresten, hormonen, persoonlijke verzorgingsproducten, etc.) geanalyseerd.

De analyses zijn uitgevoerd volgens gestandaardiseerde methoden.