

NIEUWE SANITATIE WESTLAND



RAPPORT

2010
10

NIEUWE SANITATIE WESTLAND

RAPPORT

2010

10

ISBN 978.90.5773.467.0



COLOFON

UITGAVE STOWA, Amersfoort 2010

AUTEUR
Edgar Wortmann - Elannet bv

PROJECTTEAM
dr ir Katarzyna Kujawa-Roeleveld - Lettinga Associates Foundation (LeAF)
dr ir Grietje Zeeman - Lettinga Associates Foundation (LeAF)
ir Charlotte van Erp Taalman Kip - Lettinga Associates Foundation (LeAF)
ir Wouter van Betuw - Royal Haskoning
ir Ellen van Voorthuizen - Royal Haskoning
ir Brendo Meulman - Desah bv
dr ing. Nico Elzinga - Desah bv
mr Edgar Wortmann - Elannet bv

OPDRACHT EN BEGELEIDING
Drs Bert Palsma - Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA)
P.T. Oei - Stichting Innovatie Glastuinbouw Nederland (SIGN)
ir Robert Petter - Hoogheemraadschap van Delfland
ing. Bas Nanninga - Hoogheemraadschap van Delfland
ir Dick Bakker - Hoogheemraadschap van Delfland
Joke Klap - Productschap Tuinbouw (PT)

MET MEDEWERKING VAN
Jeroen Straver - Gemeente Westland
Marleen van Giessen - ONW BV

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2010-10
ISBN 978.90.5773.467.0

TEN GELEIDE

In 2005 lanceerde InnovatieNetwerk de Zonneterp. Dit is een ontwerp voor een woonwijk en tuinbouwkas met een vergaande synergie tussen beide. De kas heeft een functie in de energie- en watervoorziening van de woningen en de woningen leveren meststoffen aan de kas.

Eén van de pijlers van de Zonneterp is het afvalwatersysteem waarbij zwart water en etensresten (groen water) uit de woningen via een aparte voorziening worden ingezameld. Om deze stroom zo geconcentreerd mogelijk te houden wordt gebruik gemaakt van vacuüm-toiletten. Het zwart en groen water wordt vervolgens vergist, waarbij o.a. biogas ontstaat. Dit biogas wordt binnen de Zonneterp gebruikt voor opwekking van elektriciteit en bereiding van warm tapwater. De CO₂ uit het biogas wordt als meststof in de kas geleid. Het afvalwater wordt decentraal gezuiverd, waarna het als nutriëntrijk gietwater in de kas wordt toegepast.

In dit rapport zijn de opties voor een implementatie van dit concept in de Poelzone in het Westland uitgewerkt.

Wij wensen u veel leesplezier.

Amersfoort, april 2010

De directeur van de STOWA
Ir. J.M.J. Leenen

LEESWIJZER

Deze rapportage bevat een globale vergelijking van zes configuraties (de scenario's) voor de huishoudelijke afvalwaterketen, geënt op een situatie in het Westland waar sprake is van de nieuwbouw van 1200 woningen, waaronder een groot aantal drijvende woningen, en herstructurering van glastuinbouwgebieden.

Aan de scenario's liggen specifieke ontwerpen ten grondslag voor behandelingsinstallaties van huishoudelijk afvalwater. De uitwerkingen van die ontwerpen zijn te vinden in de bijlagen 3, 4 en 5 van dit rapport. De hoofdzaken zijn opgenomen in hoofdstuk 6, 'Gekozen behandelingstechnieken'.

Aan de uitwerking van de ontwerpen is een selectie van potentiële behandelingstechnieken voorafgegaan. Leidend was daarbij de mogelijkheid tot hergebruik van het afvalwater, en dan met name in de glastuinbouw. Bijlage 2 bevat de inventarisatie en beoordeling van de in ogen-schouw genomen afvalwaterbehandelingstechnieken.

Om hergebruik mogelijk te maken is aangeknoopt bij bestaande mogelijkheden om verschillende afvalwaterstromen gescheiden in te zamelen en te behandelen. Bijlage 1 bevat een kwalitatieve en kwantitatieve analyse van de daarbij onderscheiden huishoudelijke afvalwaterstromen. Mede op basis van de analyse in bijlage 1 zijn de ontwerpen voor de zes scenario's (afvalwaterinzameling en -behandeling) in deze rapportage gedimensioneerd.

De scenario's zijn uitgewerkt in de hoofdstukken 3, 4 en 5. Die uitwerking behelst allereerst een globale beschrijving en typering per scenario. Vervolgens worden de scenario's qua kosten met elkaar vergeleken. Als referentie is daarbij aangeknoopt bij de gebruikelijke bekostiging van de afvalwaterketen. Dat betekent dat verschillende schakels en kostenplaatsen in de keten afzonderlijk met elkaar worden vergeleken. Zo wordt gekeken naar de kosten voor riolering, de meerkosten in de woning (bouwkosten) en de kosten voor de behandeling van het afvalwater.

Tot slot worden de kosten van de integrale waterketen onderling vergeleken en afgezet tegen de gebruikelijke heffingsopbrengsten en eventuele andere inkomsten. Dit geeft een indicatie hoe de kosten van verschillende Nieuwe Sanitatieconcepten op een schaal van 1200 woningen (inclusief drijvende woningen) zich verhouden tot de kosten van de thans gebruikelijke waterketen.

De vergelijking vindt plaats in de specifieke context van het Westland, die wordt ingekleurd door de aanwezigheid van glastuinbouw en de ligging aan de Noordzeekust. In de hoofdstukken 1 en 2 wordt deze gebiedsspecifieke context kort geschetst. Enerzijds gaat het daarbij om problematiek waar de praktijk in het Westland mee te maken heeft. Anderzijds gaat het om de initiatieven die er worden ontplooid om aan de ontwikkelingen in het Westland vorm te geven.

In de uitwerking van de zes scenario's is globaal gekeken naar gebiedsspecifieke kansen om de afvalwaterketen te verbeteren. Onder verbetering is hierbij in de eerste plaats gedacht aan opwaardering en hergebruik van het huishoudelijk afvalwater. Het perspectief dat daarbij is gekozen, is ontleend aan 'Nieuwe Sanitatie'. Aan het einde van hoofdstuk 2 wordt kort beschreven wat daar onder wordt verstaan.

Het werk is opgedeeld in drie delen. Deel 1 - 'Uitgangspunten en achtergronden' - schetst de context waarin het onderzoek is gesitueerd. Deel 2 - 'Scenario-uitwerking' - bevat de scenario-uitwerking en analyse. In deel 3 worden de bevindingen in een breder perspectief geplaatst. Achtereenvolgens wordt daarbij ingegaan op aspecten van eigendom en beheer van de meest kansrijke scenario's; de mogelijke samenhangen van het decentrale afvalwatersysteem met andere relevante ontwikkelingen in het gebied; en ten slotte een overzicht van de belangrijkste maatschappelijke baten van het decentrale afvalwatersysteem. De rapportage wordt afgesloten met een samenvatting en de belangrijkste conclusies (hoofdstuk 8).

GEBRUIKTE BEGRIPPEN EN AFKORTINGEN

AFVALWATERKETEN

DWA	Droog weer afvoer
RWA	Regen weer afvoer

NIEUWE SANITATIE (INZAMELING)

Bruin water	feces afgevoerd uit huishoudens
Geel water	urine afgevoerd uit huishoudens
Zwart water	urine en feces afgevoerd uit huishoudens
Groen water	organisch keukenafval afgevoerd uit huishoudens
Donker water	zwart en groen water afgevoerd uit huishoudens
Grijs water	huishoudelijk afvalwater zonder zwart en groen water
GF	Groente- en fruitafval (GFT zonder tuinafval)

WESTLANDSPECIFIEKE BEGRIPPEN

4-B	Bergen, bufferen, bereiden en begieten, als schakels in de glastuinbouwwaterketen.
CAD	Centraal Afvoer Drainagesysteem (gemeenschappelijk particulier afvoersysteem voor drainwater in glastuinbouwgebieden)
ONW	Ons Nieuwe Westland; naam van de projectorganisatie en bedrijfsstructuur voor actief grondbeleid in de Westlandse Poelzone.

WATERZUIVERING EN -KWALITEIT

AWZI	Afvalwaterzuiveringsinstallatie
BZV	Biologisch zuurstofverbruik
CZV	Chemisch zuurstofverbruik
IBA	Individuele Behandeling van Afvalwater
MTR	Maximaal Toelaatbaar Risico; de algemene norm voor oppervlaktewateren (vierde nota waterhuishouding)
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor

NIEUWE SANITATIE (BEHANDELING)

CGZI	Decentrale GrijswaterZuiveringsInrichting
DGGB	Decentrale Grijswaterbehandeling en Gietwaterbereiding
DZI	Decentrale ZwartwaterzuiveringsInrichting
DZVI	Decentrale Zuiverings en ValorisatieInrichting
Valorisatie	Opwaarderen van reststromen tot bruikbare producten

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen en de provincies.

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

NIEUWE SANITATIE WESTLAND

INHOUD

	LEESWIJZER	
	STOWA IN HET KORT	
	DEEL 1 - UITGANGSPUNTEN EN ACHTERGRONDEN	
1	INLEIDING	3
	1.1 Opdracht en proces	3
	1.2 Voorgeschiedenis	4
	1.3 Eerste bevindingen en uitgangspunten	6
2	ACHTERGRONDEN	7
	2.1 Glastuinbouw en water	7
	2.2 Gebiedsgerichte benadering	9
	2.3 Nieuwe Sanitatie	12

	DEEL 2 - SCENARIO-UITWERKING	
3	INTRODUCTIE TOT DE SCENARIO'S	18
	3.1 Gebiedsmodellering	18
	3.2 Centrale, decentrale en hybride afvalwaterbehandeling	19
	3.3 Hergebruik en optimalisatievraagstukken	21
4	DE AFVALWATERINZAMELING	23
	4.1 Afvalwaterstromen	23
	4.2 De riolering	25
	4.3 De bouwkosten	29
5	DE AFVALWATERBEHANDELING	32
	5.1 Decentrale behandelingsinrichtingen	32
	5.2 Kosten en baten	36
	5.3 De integrale afvalwaterketen	39
6	GEKOZEN BEHANDELINGSTECHNIEKEN	42
	6.1 Inleiding	42
	6.2 Anaerobe vergisting van donker water	42
	6.3 Luchtstippen van donker en geel water	44
	6.4 Behandeling van grijs water	46
	6.5 Behandelingsinrichtingen	47
	DEEL 3 - ALGEMENE BESCHOUWINGEN	
7	ALGEMENE BESCHOUWINGEN	50
	7.1 Eigendom en beheer	50
	7.2 Samenhangen	52
	7.3 Maatschappelijke baten	54
8	SAMENVATTING EN CONCLUSIES	56
	BIJLAGEN	
1	HUISHOUELIJK AFVALWATER	59
2	TERUGWINNING VAN NUTRIËNTEN	81
3	VOORONTWERP ANAËROBE VERGISTER	89
4	VOORONTWERP LUCHTSTRIPPEN	97
5	GRIJSWATERBEHANDELING TOT GIETWATER	111

DEEL 1

UITGANGSPUNTEN EN ACHTERGRONDEN

1

INLEIDING

1.1 OPDRACHT EN PROCES

In opdracht van STOWA, SIGN en het Hoogheemraadschap van Delfland is onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van Nieuwe Sanitatie in het Westland. Om meerdere redenen werd aangenomen dat deze glastuinbouwgemeente een omgeving biedt waar Nieuwe Sanitatie goed tot zijn recht kan komen. Voor het onderzoek zijn actieve contacten aangeknoopt met plaatselijke belanghebbenden om te zien waar de kansen en bedreigingen liggen. Gaandeweg werd het onderzoek dienstbaar aan bestuurlijke besluitvorming over eventuele toepassing van Nieuwe Sanitatie op de nieuwbouwlocatie 'Het Nieuwe Water'.

Dit rapport doet verslag van de onderzoeken en bevindingen tot dusver. Daarbij wordt aangeknoopt bij de specifieke omstandigheden van 'Het Nieuwe Water' en haar omgeving, 'de Poelzone'. Sommige bevindingen zijn daardoor slechts relevant voor deze locatie. Dat neemt echter niet weg dat aan de casus ook veel algemene inzichten kunnen worden ontleend. Dit rapport is dan ook niet alleen bedoeld voor direct betrokkenen bij de Westlandse Poelzone, maar ook voor anderen met belangstelling voor nieuwe sanitatieconcepten en de mogelijke introductie daarvan in de praktijk.

De link met de glastuinbouw was een belangrijke drijfveer om het project te starten. De glastuinbouw loopt voorop in het gebruik van decentrale watertechnieken. Ook is ze een gebruiker van zoetwater en meststoffen, die mogelijk uit de lokale afvalwaterketen kunnen worden betrokken. Dit is aansprekend verbeeld in de Zonneterp.¹ In deze combinatie van glastuinbouwkas en woningen wordt het afvalwater uit de woningen na bewerking toegepast bij de teelt in de kas. De waterketen wordt daarbij vergaand gesloten; uiteindelijk wordt zelfs drinkwater teruggewonnen.

Directe symbiose van woningen en glastuinbouwkas blijkt naast een kans echter ook een hindernis. Verschillende functies – kas en woningen - worden plotseling afhankelijk van elkaar. De continuïteit van de één wordt bepalend voor de continuïteit van de ander. In de meeste gevallen is dat ongewenst. Gaandeweg het onderzoek is dan ook gekozen voor een modulaire opzet. Verschillende onderdelen moeten zelfstandig kunnen functioneren. Onderwijl wordt aangekoerst op functionele samenhang van de zelfstandige onderdelen. Daarbij is de nadruk komen te liggen op de huishoudelijk afvalwaterketen. Dat is de bron die moet worden behandeld en potentieel toepasbaar moet worden gemaakt in de glastuinbouw.

Gedurende het onderzoek is sterk ingespeeld op de praktijk in het Westland. Beschikbare kennis is dienstbaar gemaakt aan lopende processen. De onderzoeker heeft het onderzochte object beïnvloed. Er is een wisselwerking ontstaan; de kennisontwikkeling werd gevoed met vraagstellingen uit de praktijk, en de praktijk werd gevoed met ervaringen, inzichten en hulpmiddelen uit het onderzoeksprogramma 'Nieuwe Sanitatie'.

¹ Zonneterp is een concept van InnovatieNetwerk (2005). Zie: www.zonneterp.nl.

1.2 VOORGESCHIEDENIS

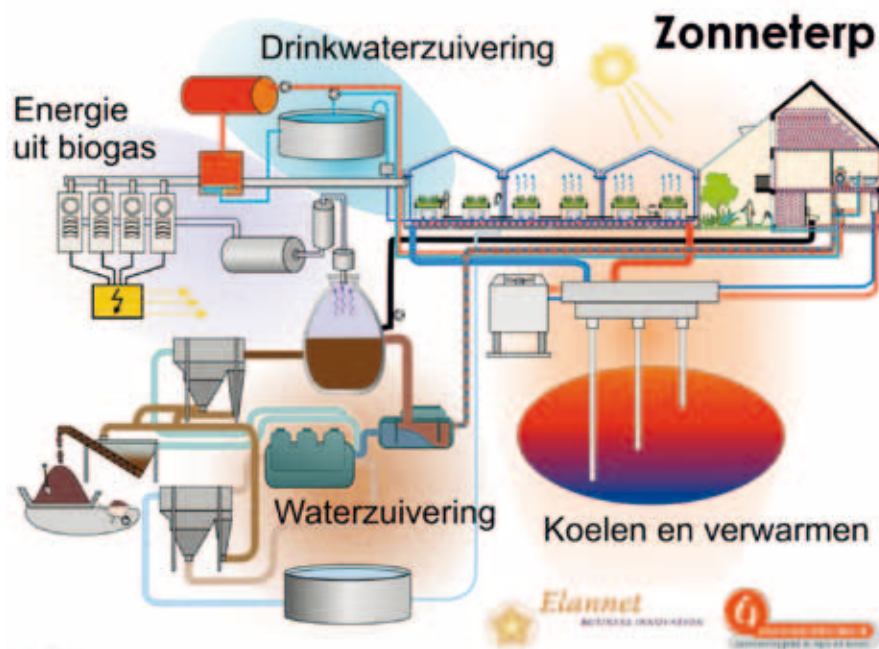
ZONNETERP

In 2005 lanceerde InnovatieNetwerk de Zonneterp. Dit is een ontwerp voor een woonwijk en tuinbouwkas met een vergaande synergie tussen beide. De kas heeft een functie in de energie- en watervoorziening van de woningen en de woningen leveren meststoffen aan de kas.

Eén van de pijlers van de Zonneterp is het afvalwatersysteem waarbij zwart water en etensresten (groen water) uit de woningen via een aparte voorziening worden ingezameld. Om deze stroom zo geconcentreerd mogelijk te houden wordt gebruik gemaakt van vacuümtoiletten. Het zwart en groen water wordt vervolgens vergist, waarbij o.a. biogas ontstaat. Dit biogas wordt binnen de Zonneterp gebruikt voor opwekking van elektriciteit en bereiding van warm tapwater. De CO₂ uit het biogas wordt als meststof in de kas geleid. Het afvalwater wordt decentraal gezuiverd, waarna het als nutriëntrijk gietwater in de kas wordt toegepast.

FIGUUR 1

DE ZONNETERP IS EEN COMBINATIE VAN EEN GLASTUINBOUWKAS EN WONINGEN, DIE ONDERLING IN WEDERKERIGE BETREKKING STAAN. DE KAS DIENT ALS ZONNECOLLECTOR VOOR DE BUURT EN DE WONINGEN LEVEREN VOEDINGSSTOFFEN VOOR DE TEELT IN DE KAS. BRON: WWW.ZONNETERP.NL



De Zonneterp is een afgestemd systeem van kas en woningen. Waarbij zowel in de kas, als in de woningen, als in de tussenliggende infrastructuur aanpassingen zijn doorgevoerd. De Zonneterp beschikt over gemeenschappelijke decentrale inrichtingen voor energieomzetting, waterzuivering en -opslag.

De Zonneterp is een 'ideaaltype' waarin kas en teelt dienstbaar zijn aan de woonwijk. In de praktijk is er nog geen Zonneterp gerealiseerd. Wel heeft de Zonneterp gefungeerd als inspiratiebron voor diverse projecten, vooral in de sfeer van warmtelevering vanuit de glastuinbouw aan woningen. In een enkel geval heeft ook de 'natte paragraaf' van de Zonneterp model gestaan voor vernieuwende onderzoeken en initiatieven.

WATERKANSEN 2007

In 2007 is door Priva en AquaterraNova verkennend onderzoek gedaan naar de 'waterkansen' in de Poelzone.² Daarbij werd onder andere gedacht aan decentrale behandeling van huishoudelijk afvalwater, ter voorziening in gietwater voor de glastuinbouw.

Twee scenario's voor de 1200 woningen van het Nieuwe Water werden daarbij verkend:

- 1 verwerking van DWA³ in een decentrale afvalwaterzuiveringsinrichting (geen bronscheiding).
- 2 gescheiden inzameling van grijs en zwart water en behandeling in een decentrale afvalwaterzuiveringsinrichting (met bronscheiding).

In beide gevallen zou het gezuiverde afvalwater (grijs of DWA) vervolgens via multifiltratie worden opgewaardeerd tot gietwater. Zuivering en opwaardering zou in handen zijn van de CAD-vereniging.⁴ Het stikstof en fosfaat in de afvalwaterstroom zou worden teruggevoerd via het gietwater. Om de waterketen te kunnen sluiten zou minimaal 14 ha glastuinbouw nodig zijn met een gemiddelde gietwaterbehoefte van ca 7.500 m³ per ha per jaar. Bovendien moest worden voorzien in opslag van het gietwater.

Beide scenario's maakten gebruik van anaërobe vergisting van de koolstofrijke fractie van het afvalwater. In het eerste scenario gebeurde dit na scheiding van de dikke en de dunne fractie in een verdeelkelder. In het tweede scenario gebeurde dit na scheiding aan de bron; hier werd dus een extra leiding aangelegd voor de toiletspoeling.

Globale kostenvergelijking leverde een verschil tussen beide scenario's van € 748.000,- in het voordeel van het eerste scenario. Het verschil is toe te schrijven aan de door Aqua-Terra Nova geschatte meerkosten van het gescheiden inzamelingsstelsel van het tweede scenario. In het midden was gelaten welke techniek daarbij zou worden gebruikt, zoals bijvoorbeeld vrijverval- of vacuümriolering.

In de kostenopstelling is rekening gehouden met kosten die vallen in de grondexploitatie en in de afvalwaterzuivering. Installaties in de woningen (bouwkosten) werden buiten beschouwing gelaten. Voor buffering zou gebruik worden gemaakt van kelders onder een naburige glastuinbouwkas.

Aqua-Terra Nova had een voorkeur voor het eerste scenario, gelet op het kostenverschil. Bovendien legt ze nadruk op een vermeend verstoppingrisico bij gescheiden inzameling van zwart water.

Optioneel werd de mogelijkheid geopperd om geel water apart in te zamelen. De totale kosten daarvan werden geschat op € 340,- per woningen per jaar. Hier waren de installaties in de woningen wel meegenomen. Rekening werd gehouden met urinescheidingstoiletten, afvoer en ondergrondse opslag van geel water, maandelijks inzameling per pompwag en centrale verwerking tot struviet.

Het rapport van AquaterraNova was een brede verkenning van 'waterkansen'. Belangrijkste drager was de behoefte aan waterberging, en een mogelijke oplossing daarvoor in de vorm van een kelder onder een glastuinbouwkas. Eén bedrijf nabij het Nieuwe Water wilde een kelder onder de kas realiseren die dan gedeeltelijk dienstbaar zou worden aan Het Nieuwe

2 Haalbaarheidsstudie Waterkansen en -oplossingen Poelpolder en Hoge Geest, 1 november 2007, uitgevoerd in opdracht van o.a. de Gemeente Westland.

3 DWA staat voor droog weer afvoer. DWA wordt onderscheiden van RWA, regenwaterafvoer.

4 Sommige glastuinbouwgebieden in het Westland beschikken over een zogenoemd CAD-systeem (Centraal Afvoer Drainagesysteem). Deze CAD-systemen zijn particuliere leidingstelsels die beheerd worden door CAD-verenigingen.

Water. Het onderzoek concentreerde zich op dit en een naburig bedrijf. Gegeven de beperkte waterbehoefte van beide bedrijven werd geconcludeerd dat het afzetgebied zou moeten worden uitgebreid.

Ook voor de anaërobe vergistingsstap in de waterzuivering werd schaalvergroting voorgesteld door ook andere biomassa mee te vergisten, waaronder aquatische biomassa en het groente- en fruitafval (GF) van huishoudens.

1.3 EERSTE BEVINDINGEN EN UITGANGSPUNTEN

Eén op één benadering

In de Zonneterp en het Waterkansenonderzoek werd uitgegaan van een directe koppeling tussen een bepaalde woonwijk en een bepaalde kas. In technisch, economisch en organisatorisch opzicht worden kas en woonwijk daarbij in bepaalde mate van elkaar afhankelijk. In de praktijk blijkt dat veelal een onoverkomelijk probleem. Een waterbeheerder wil voor haar watertaken niet zijn aangewezen op een bepaald tuinbouwbedrijf. En het tuinbouwbedrijf gaat haar inrichting en bedrijfsvoering niet aanpassen op maatschappelijke watertaken zonder zekerheid van een kostendeckende vergoeding.

Om de functionele koppeling van kas en woonwijk tot stand te brengen moet een organisatorische oplossingen worden gevonden. De Zonneterp doet dit door de kas ondergeschikt te maken aan de woonwijk. Stichtingskosten, teelt en bedrijfsvoering worden aan de woonwijk toegerekend. Dit kan als de Zonneterp als één geheel wordt ontwikkeld en georganiseerd. Er is één overkoepelende eigenaar die verantwoordelijk is voor het functioneren van het gehele systeem van kas, woningen en tussenliggende infrastructuur.

In de praktijk behoren kas, woningen en infrastructuur echter toe aan verschillende eigenaren. Voor zover ze samenwerken doen ze dat vanuit vrijheid en wederzijds belang. Er is geen centrale hiërarchie die de samenwerking kan garanderen. Om desondanks tot een bestendige samenwerking te kunnen komen zal die samenwerking moeten worden georganiseerd. Een belangrijk element daarbij is het verlaten van de één op één relaties tussen autonome functies, zoals glastuinbouw en wonen. In de plaats komt een gebiedsgerichte benadering waarbij de onderlinge samenhang van de in het gebied aanwezige functies wordt georganiseerd. Daarmee treden we op het gebied van eigendom en beheer van nutsinfrastructuur. En dat op een bijzondere manier, waarbij op gebiedsniveau de integratie wordt gezocht en nieuwe vragen opdoemen over taken, verantwoordelijkheden en demarcaties.

Modulaire opzet

Tijdens dit onderzoek is gekozen voor een modulaire opzet van de beoogde integrale afvalwaterketen. Daarmee is de complexiteit van het geheel gereduceerd en de kritische afhankelijkheid van zelfstandige onderdelen (glastuinbouw en huishoudelijk afvalwaterketen) geëlimineerd. Dit houdt de integrale gebiedsontwikkeling werkbaar en de bekostigings- en organisatievraagstukken behapbaar. Aldus wordt voorkomen dat vertragingen optreden door disharmonie in de faseringen. Dat neemt niet weg dat er wel samenhang kan bestaan. Maar deze wordt niet dwingend in één raamwerk opgelegd. In plaats daarvan worden binnen de integrale gebiedsontwikkelingen de randvoorwaarden gecreëerd opdat de samenhangen tot ontwikkeling kunnen komen. De focus ligt daarbij op de bron; het huishoudelijk afvalwater uit Het Nieuwe Water. De gemaakte uitwerkingen voor dit onderzoek zijn dan ook vooral op die bron gericht. Dit wordt echter bekeken in samenhang met de praktijk in de glastuinbouw en de mogelijkheden om de waterketens in het gebied op elkaar te laten aansluiten.

2

ACHTERGRONDEN

2.1 GLASTUINBOUW EN WATER

CLUSTERING

Moderne glastuinbouwbedrijven zijn erop ingericht om proceswater te recirculeren. Voor de hele sector is het streven inmiddels om geheel emissievrij te worden. In 2008 publiceerde STOWA hierover een uitgebreide studie: 'Kas zonder afvalwater' (KASZA)⁵. In deze studie werd uitgegaan van een denkbeeldig glascluster van 40 ha met collectieve voorziening voor waterberging, waterzuivering, transport en monitoring. Geconcludeerd werd dat waterketensluiting op dit schaalniveau technisch en financieel haalbaar kan zijn.

Clustering van glastuinbouw ten behoeve van de collectieve watervoorziening is een actueel thema in het West- en Oostland. Daarbij wordt op gebiedsniveau gestreefd naar waterketensluiting en gietwaterzekerheid. Enkele voorbeeldprojecten zijn inmiddels in voorbereiding, zoals het project Overbuurtse Polder te Bleiswijk.⁶ Hier zal het afvalwater van meerdere glastuinbouwbedrijven worden ingezameld en opgeslagen in een collectieve waterkelder. Vervolgens wordt het gezuiverd - o.a. met behulp van helofyten - en weer geschikt gemaakt voor toepassing als gietwater.

Intussen is in het Westland de eerste 'kelder onder een kas' geopend.⁷ In deze kelder wordt hemelwater opgeslagen om te worden gebruikt als gietwater. Het gaat om een grote opslagcapaciteit (5000 m³) die tevens dienst doet als piekwaterberging. Daarmee heeft de kelder ook een functie in het plaatselijke waterkwantiteitsbeheer. Deze kelder wordt gezien als de 'eerste B' van het 4 B project, waarbij het gaat om berging van water. De overige B's staan voor bufferen, bereiden en begieten, als schakels in de glastuinbouwwaterketen.⁸

Voor grote delen van de Westlandse Poelzone wordt een collectief systeem – het 'Waterweb' - overwogen dat water van de glastuinbouw inzamelt, buffert en behandelt. Het gezuiverde water wordt opgeslagen om naar gelang de vraag te kunnen worden gedistribueerd als gietwater. In beperkte mate ontvangt het Waterweb ook afvalwater van de huishoudens die liggen in het glastuinbouwgebied. Inmiddels wordt zelfs de mogelijkheid overwogen dat het Waterweb gezuiverd afvalwater van nieuwbouwwijk Het Nieuwe Water gaat innemen, om het verder op te waarderen tot gietwater. In dat geval ontstaat een directe koppeling tussen Nieuwe Sanitatie in de woonwijk en hergebruik van de reststromen in de glastuinbouw.

5 STOWA, 2007, KASZA (kas zonder afvalwater); Analyse uitgangspunten en technische en financiële haalbaarheid waterketensluiting. Rapportnummer 28.

6 <http://www.aquareuse.nl/>

7 Het gaat om een kelder onder de kas van de firma Vreugdenhil aan de Monsterseweg te 's-Gravenzande. Deze werd op 16 juni 2009 officieel geopend.

8 Voor meer informatie zie: <http://www.aquareuse.nl/>

GIETWATER

De glastuinbouw betreft haar gietwater uit verschillende bronnen. De voorkeur heeft hemelwater. Dit is relatief schoon en heeft een laag zoutgehalte. Hemelwater is echter niet altijd beschikbaar. Soms is er een overschot dat snel uit het gebied wordt afgevoerd, en soms is er een tekort.

Grofweg 2/3 van het gietwater wordt uit hemelwater betrokken. Glastuinbouwbedrijven beschikken daartoe over een hemelwateropslag (regenton) die varieert van 500 tot 1500 m³ per ha kas. De overige 1/3 wordt het 'suppletiewater' genoemd en moet uit andere bron komen.⁹ Die bronnen zijn: grondwater, oppervlaktewater, leidingwater en afvalwater. Gebruik van deze bronnen vergt veelal voorbehandeling, waaronder ontzouting. Ook leidingwater wordt wel ontzout alvorens het in de kas wordt toegepast.

Een veel gebruikte suppletiewaterbron is grondwater. In het Westland is dit zout en het wordt steeds zouter. Derhalve wordt het veelal middels omgekeerde osmose ontzout. Daarbij ontstaat brijn dat doorgaans in een diepere bodemlaag wordt geïnjecteerd. De Provincie Zuid-Holland wil daar echter een einde aan maken. Daartoe gaat ze vanaf 2013 haar grondwatervergunningbeleid aanscherpen. Voor gebruik van grondwater en brijnlozing bestaan echter nog geen goede alternatieven. Die zullen eerst moeten worden ontwikkeld, wil de glastuinbouw onder een brijnlozingsverbod niet in de problemen komen.

Gebruik van suppletiewater is niet gelijkmatig door het jaar verdeeld. Het is aan de orde in 'de droge tijd' wanneer de hemelwaterbuffers zijn uitgeput.

De gietwaterbehoefte verschilt per teelt en teeltwijze. Zo vragen potplanten jaarlijks ca 7.400 m³, tomaten ca 12.500 m³ en rozen ca 18.800 m³ gietwater per hectare. Ook de kwaliteitseisen verschillen per teelt en teeltwijze. Belangrijke onderscheidingen daarbij zijn de gevoeligheid van het gewas, de toepassing van recirculatie en de teelt op substraat of in de grond.

Onder andere het zoutgehalte is een belangrijke factor. De strengste eisen gelden in de substraatteelt van zoutgevoelige gewassen met recirculatie van het gietwater. In dat geval mag de Na concentratie niet hoger zijn dan 11,5 mg/l en de Cl concentratie niet hoger zijn dan 17,8 mg/l. Leidingwater is dan al snel 3 tot 5 maal te zout voor deze teelten. Voorbeelden van zoutgevoelige gewassen zijn anthurium en orchidee.

Minder strenge eisen gelden voor substraatteelt van zouttolerante gewassen. In dat geval wordt wel een bovengrens gehanteerd van 80,5 mg/l voor Na en 124 mg/l voor Cl. Voorbeelden van zouttolerante gewassen zijn rozen, anjers en fresia's. Voor aubergines en andere zouttolerante groenten ligt de zouttolerantie nog hoger (240 mg Cl/l - Praktijkonderzoek Plant en Omgeving B.V.)¹⁰.

9 STOWA, 2007, Rapportnummer 28.

10 van Dam, A.M., Clevering, O.A., Voogt, W., Aendekerk, Th.G., van der Maas, M.P., 2007, Zouttolerantie van landbouwgewassen; Deelrapport Leven met zout water, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., PPO nr. 32 34019400.

Bij grondteelt mag het zoutgehalte zelfs een factor 1,4 tot 7,5 hoger zijn.¹¹ In het Westland zit relatief veel grondteelt. Deze heeft ook te kampen met het zoutgehalte van het kwelwater. Het grond- en oppervlaktewater in het Westland is relatief brak. Bovendien is het vervuild met nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen.

Ook in andere opzichten worden hoge eisen aan de kwaliteit van gietwater gesteld. Zo dienen alle microverontreinigingen te worden verwijderd en dient er een dubbele barrière aanwezig te zijn tegen micro-organismen. Ook moeten nutriënten worden verwijderd tot aan de gestelde gewaseisen.

2.2 GEBIEDSGERICHTE BENADERING

INTEGRALE GEBIEDSONTWIKKELING

Dit onderzoek is specifiek geënt op een herontwikkelingslocatie in de gemeente Westland: de Poelzone. De Poelzone omvat zowel glastuinbouw als woningniewbouw. Door het gebied is een groen-blauwe ecologische verbindingzone geprojecteerd. Er is sprake van integrale gebiedsontwikkeling. Herstructurering van de glastuinbouw wordt gefaciliteerd door de gemeente, maar moet in hoofdzaak door de sector zelf worden gedragen. Woningniewbouw en natuurontwikkeling wordt gerealiseerd middels een actief grondbeleid. De grondexploitatie is ondergebracht bij een publiek-private entiteit: ONW.

FIGUUR 2 NIEUWBOUW EN HERSTRUCTURERINGSGEBIEDEN IN DE POELZONE (PLUS ECOLOGISCHE VERBINDINGEN). LANGE STUKKEN EN DE BAAK ZIJN GLASTUINBOUW HERSTRUCTURERINGSGEBIEDEN. HET NIEUWE WATER BETREFT WONINGNIEUWBOUW. BRON: GEMEENTE WESTLAND



Voor herstructurering van de Poelzone zijn hoge ambities geformuleerd ten aanzien van ruimtelijke kwaliteit en duurzaamheid. Om deze te realiseren heeft de gemeente een speciale samenwerkingsorganisatie opgetuigd, waarin gemeente, waterschap, provincie, grondexploitant en de Land en Tuinbouworganisaties actief betrokken zijn. Ook het Rijk levert een bijdrage middels subsidie uit het Nota Ruimtebudget. Gesproken wordt van integrale gebiedsontwikkeling, waarbij alle ruimtelijke vraagstukken in één gecoördineerde aanpak betrokken worden. Het samenhangende programma staat bekend als 'Mooi en Vitaal Poelzone Westland'.

11 STOWA, 2007, KASZA (kas zonder afvalwater); Rapportnummer 28.

Persbericht VROM d.d. 9 oktober 2009 n.a.v. toekenning van Nota RuimteBudget voor de Poelzone (gedeeltelijk):

De Poelzone in Westland en Oostland-Groenzone ondergaan een ware metamorfose. Door de schaarse ruimte slimmer te gebruiken en verspreid liggende kassen op enkele plekken te concentreren, komt 120 hectare vrij voor nieuwe natuur en recreatie en 2.000 duurzame woningen (koppeling energienetwerk aan kassen, hergebruik afvalwater). De glastuinbouw wordt duurzaam ingericht. Met de Rijksbijdrage worden groene verbindingzones gemaakt, waardoor recreanten zich in de toekomst ongehinderd op de fiets, te voet of skatend van de kust naar Midden-Delfland en vervolgens het Groene Hart kunnen verplaatsen.

Bron: <http://www.vrom.nl/pagina.html?id=44519>

WATERPROBLEMATIEK

Het grondoppervlak in het Westland is grotendeels bezet met 'glas' en bijgevolg verhard. Dat heeft consequenties voor de waterhuishouding. Bij hevige regen moeten massa's zoetwater worden afgevoerd. In de droge tijd moet juist zoet water van elders worden aangevoerd. Via grondwater en waterwegen dringt de Noordzee landinwaarts wat gepaard gaat met toenemende verzilting. Het oppervlaktewater voldoet veelal niet aan de norm. Met name nutriënten en gewasbeschermingsmiddelen uit de glastuinbouw zijn een aandachtspunt.

Op dit moment zijn er in de Poelzone nog bedrijven die hun drainwater op het oppervlaktewater lozen. Dit gaat echter veranderen. Provincie, gemeente en waterschap willen de lozingen vanuit de glastuinbouw geheel saneren. Gestreefd wordt naar het bereiken van de MTR norm,¹² hetzij door decentrale afvalwaterbehandeling, hetzij door aansluiting op het openbaar riool. De ontvangende AWZI De Nieuwe Waterweg is aangepast voor behandeling van dit water. De ontvangst van het drainwater uit de glastuinbouw blijft zuiveringstechnisch echter geen gelukkige situatie.

Op nationaal en Europees niveau worden de lijnen uitgezet voor de wateropgaven. Actueel zijn de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) en het Nationaal Waterplan.¹³ De KRW richt zich op verbetering van de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater. In 2015 moeten op dit vlak belangrijke doelstellingen zijn gehaald, uitgedrukt in een goede chemische en ecologische kwaliteit van het water.

Het Nationaal Waterplan beschrijft de hoofdlijnen van het nationale waterbeleid. Dit heeft onder andere betrekking op de zoetwatervoorziening en verziltingbestrijding. Regio's moeten volgens het Waterplan minder afhankelijk worden van aanvoer van zoet water van elders (zelfvoorzienendheid van regionale watersystemen). Bovendien wordt gestreefd naar kringloopsluiting (of 'cradle to cradle'), waarbij hulpbronnen worden hergebruikt.

De Provincie draagt belangrijke verantwoordelijkheden bij het waterbeheer. Ze toetst de uitvoering door gemeente en waterschap. Ook is ze vergunningverlener zoals bij grondwateronttrekking en injectering van brijn in de bodem.

¹² MTR staat voor maximaal toelaatbaar risico en is de algemene norm voor oppervlaktewateren (vierde nota waterhuishouding).

¹³ <http://www.verkeerenwaterstaat.nl/> (2009)

Gemeente en waterschap zijn de uitvoerende partijen in het waterbeheer. In de Poelzone richten zij zich op realisatie van voldoende piekwaterberging, terugdringing van zoute kwel en verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit. Bij herstructurering van de Poelzone wordt het oppervlaktewater vergroot en wordt de boezem verhoogd en verbreed.

De glastuinbouw wordt ook actief in het waterbeheer betrokken, met name wat betreft de eigen waterketen en de gietwaterzekerheid. Voor grote gebieden in en rond de Poelzone bestaan reeds tuinderscollectieven (de CAD-verenigingen) voor waterbeheer. Bedoeling is dat dit zelfbeheer van de lokale waterketen bij herstructurering verder wordt uitgebouwd.

Een andere maatregel betreft aanleg en beheer van natuurvriendelijke oevers die een functie krijgen bij verbetering van de waterkwaliteit.

HET NIEUWE WATER

Het Nieuwe Water is een nieuwbouwproject binnen de Poelzone tussen Naaldwijk en 's-Gravenzande. Glastuinbouw moet er wijken voor woningen. Het gaat om het laagst gelegen stukje Westland; de Poelpolder. Deze polder zal voor een groot deel onder water worden gezet.

Het plangebied omvat 67 hectare. Hierbinnen wordt 23 hectare water gerealiseerd, dat onderdeel gaat vormen van het boezemstelsel. Op het boezemwater is een peilstijging van 35 cm toegestaan. Aldus wordt extra capaciteit voor waterberging gecreëerd van circa 80.000 m³.

De grondexploitatie is ondergebracht bij ONW. Dit is een publiek - private samenwerking van de gemeente Westland, de provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap van Delfland en OPP, onderdeel van de Bank Nederlandse Gemeenten. ONW omvat meerdere rechtspersonen. Een holding NV maakt de beleidskeuzes en stelt het uitvoeringsprogramma vast. De BV draagt de projecten voor en zorgt voor financiering en uitvoering. Er is een Raad van Commissarissen, waarin ook wethouders zitting hebben (bron: B&G april 2008).

De ontwikkeling zal via aanbesteding worden ondergebracht bij projectontwikkelaars. Het gaat om gefaseerde ontwikkeling van ca 1200 woningen en andere functies. Bedoeling is dat deze eind 2015 zijn gerealiseerd. Nadere uitwerkingsplannen moeten in lijn met dit bestemmingsplan door de gemeente worden vastgesteld. Pas na vaststelling van de uitwerkingsplannen kunnen bouwvergunningen worden afgegeven.

FIGUUR 3

ARTISTIEKE IMPRESSIE VAN HET VOORONTWERP HET NIEUWE WATER IN VOGELVLUCHT. BRON: ONW BV / WATERSTUDIO.NL



In de toelichting op de plantekst ligt veel nadruk op het innovatieve en watergerelateerde karakter van Het Nieuwe water. In het noordelijk deel en het middendeel wordt circa 50% van de oeverlijn uitgevoerd in de vorm van natuurvriendelijke oevers. Daarbij is er nadrukkelijk rekening mee gehouden dat deze een waterzuiverende functie krijgen. Voor het zuidelijke deel wordt gedacht aan bebouwing met kades.

Gestreefd wordt naar een integrale gebiedsontwikkeling met combinatie van wonen, waterberging, ecologie en recreatie. Bedoeling is om unieke vernieuwende woonomgevingen te creëren. Zo is er sprake van realisatie van een groot aantal drijvende woningen. Het gehele project wordt gezien als pilot waarin een interdisciplinaire samenwerking tussen alle bestuurlijke en economische belanghebbenden wordt beproefd. Ook de afvalwaterketen wordt daarbij onder de loep genomen; overwogen wordt om nieuwe sanitatieconcepten te gaan toepassen.

2.3 NIEUWE SANITATIE

Nieuwe Sanitatie is een verdere ontwikkeling van de hedendaagse afvalwaterzuivering. Kenmerkend ervoor is scheiding aan de bron en aparte behandeling van verschillende afvalwaterstromen. Doel ervan is verdere verbetering van de waterzuivering, onder andere door intensieve aanpak van nutriënten, zware metalen, hormonen en medicijnresten. Daarbij wordt ernaar gestreefd om nuttige componenten van de afvalwaterstroom zoveel mogelijk te hergebruiken. Die componenten zijn zoetwater, meststoffen en de energiewaarde van het afvalwater.

Nieuwe Sanitatie is er in vele soorten en maten. Belangrijke verschillen liggen in de diverse afvalwaterstromen die al dan niet gescheiden worden ingezameld en de daartoe gebruikte technieken. Dit vraagt om nieuwe installaties in de woning, in de infrastructuur en in de

behandelingsinrichting. De verschillende stromen uit de stedelijke 'droog weer afvoer' (dwa) die thans worden onderscheiden zijn geel, bruin, zwart, groen, donker en grijs water. Geel water is urine plus toiletspoeling. Bruin water bestaat uit fecaliën met spoelwater. Zwart water is geel en bruin water tezamen. Groen water is vermalen keukenafval met spoelwater. Donker water is geel, bruin en groen water tezamen. Grijs water is het overige huishoudelijke afvalwater.

Voor deze verschillende soorten water zijn diverse inzamelings- en behandelingstechnieken denkbaar. Er is nog geen standaard gezet of optimale configuratie gedefinieerd. Vooralnog is het een kwestie van spelen met mogelijkheden en de vóór en nadelen tegen elkaar afwegen. Dit onderzoek levert daaraan een bijdrage.

De afvalwaterketen is een samenspel van vele actoren. In brede zin kunnen daartoe bijvoorbeeld ook de farmaceutische en voedingsmiddelenindustrie worden gerekend. Zij maken immers producten die in het afvalwater terecht komen. Naar de huidige stand is de aandacht echter beperkt tot de gebouwen, de infrastructuur en de waterbehandeling. Ook dan is echter nog sprake van meerdere actoren. Gedacht kan worden aan ontwikkelaars die woningen bouwen, leveranciers van sanitair, de gemeente die doorgaans verantwoordelijk is voor de riolering en het waterschap dat zorg draagt voor de waterzuivering.

De bestaande afvalwaterketen is gereguleerd en genormeerd. De ontwikkelaar kent derhalve de specificaties van sanitair en de binnenhuisriolering. De gemeente weet aan welke eisen het riool moet voldoen. En het waterschap is berekend op ontvangst van een zeker afvalwaterdebiet, afhankelijk van de diverse functies in haar verzorgingsgebied. Nieuwe Sanitatie wijkt echter af van de bestaande norm, en daarin schuilt een moeilijkheid. Verschillende schakels in de keten moeten gelijktijdig rekening houden met een andere aanpak, en deze op elkaar afstemmen. Dat vergt coördinatie en inzet van publiek- en privaatrechtelijke instrumenten.

Eenzijds is Nieuwe Sanitatie een zoektocht naar technologische mogelijkheden. Maar de praktische toepassing stuit toch vooral op organisatorische vraagstukken. Die zijn niet beperkt tot afstemming in de keten. Ze hebben ook te maken met lange termijnplanning van de waterketen. Zolang Nieuwe Sanitatie geen standaard praktijk is zal er in de planning geen rekening mee worden gehouden. De algemene inspanningen en investeringen in de waterketen blijven dan gericht op de gevestigde praktijk. De transitie naar een alternatieve aanpak wordt dan op twee manieren belemmerd: De investeringen in gangbare technieken zijn al gedaan, en de budgettaire ruimte voor alternatieven is verbruikt.

Toch biedt Nieuwe Sanitatie ook voor de planning een interessant voordeel. De waterketen kan meer op maat en in fase met de gebiedsontwikkeling worden uitgerold. Daarbij kan bovendien beter rekening worden gehouden met de stand van de techniek en de specifieke kwaliteiten en behoeften van het gebied.

FIGUUR 4

NIEUWE SANITATIE IN DE PRAKTIJK. IN DE NIEUWBOUWWIJK LEMMERWEG-OOST TE SNEEK ZIJN 32 WONINGEN AANGESLOTEN OP EEN DECENTRAAL ZUIVERINGSYSTEEM DAT IN DE GARAGE VAN ÉÉN VAN DE WONINGEN IS GEPLAATST. HET ZWART WATER UIT DE WONINGEN WORDT APART INGEZAMELD EN TER PLEKKE BEHANDELD IN EEN AFGESTEMDE ZUIVERINGSINRICHTING. DE WONINGEN ZIJN DAARBIJ VOORZIEN VAN VACUÛMTOILETTEN WAT I.C. RESULTEERT IN EEN DRINKWATERBESPARING VAN 40%. HET PROJECT IS IN 2007 OPGESTART DOOR LANDUSTRIE IN SAMENWERKING MET O.A. DE PLAATSELIJKE WONINGCORPORATIES, DE WIEREN EN PATRIMONIUM. HET PROJECT KRIJGT HOOGSTWAARSCHIJNLIJK EEN VERVOLG IN SNEEK. DIT MAAL GAAT HET OM 250 NIEUWBOUWWONINGEN WAARVAN HET ZWART EN GRIJS WATER APART WORDT INGEZAMELD EN DECENTRAAL WORDT BEHANDELD. BETROKKEN PARTIJEN ZIJN O.A. WONINGSTICHTING DE WIEREN. HET WETTERSKIP FRYSLÂN EN DE GEMEENTE SNEEK. BRON: WWW.NIEUWENUTS.NL



Geel water is een relatief grote bron van nutriënten (N en P) in het afvalwater, en vormt daarmee een groot deel van de vuillast bij de AWZI. Met gescheiden inzameling wordt deze stroom zo geconcentreerd mogelijk gehouden, waardoor de nutriënten beter kunnen worden verwijderd en eventueel zelfs (gedeeltelijk) kunnen worden teruggewonnen voor hergebruik. Ook bevat geel water een groot deel van de farmaceutische residuen, die gericht kunnen worden aangepakt naarmate de afvalwaterstroom zuiverder en geconcentreerder is.

Bruin water levert ook een groot deel van de vuillast bij de AWZI. Het bevat o.a. nutriënten, pathogenen en organisch materiaal. De nutriënten hebben potentiële waarde als meststof en het organisch materiaal als energiebron. Voor dat laatste moet het bruin water zo geconcentreerd mogelijk worden ingezameld, waarna het anaëroob kan worden vergist. Hierbij ontstaat biogas dat bijvoorbeeld kan worden aangewend om het zuiveringssysteem in bedrijf te houden.

Door geel en bruin water gezamenlijk apart te houden wordt voorkomen dat het leeuwendeel van het afvalwater ernstig wordt vervuild. Geel en bruin water – tezamen met het spoelwater – wordt zwart water genoemd. Dit zwart water kan – evenals bruin water – anaëroob worden vergist en gedeeltelijk worden omgezet in biogas. Eventueel zijn vervolgens ook nog nutriënten (CO₂, N, P) terug te winnen voor hergebruik.

Bij aparte inzameling van bruin of zwart water wordt ook de inzameling van groen water denkbaar. Dit is het organisch keukenafval. In plaats van de groenbak komt er dan een voedselrestenvermaler in de keuken plus aparte afvoer daarvan naar een behandelingsinrichting. Voor de woningen levert dat een hoger comfort. Voor de anaerobe vergisting betekent het een vergroting van de voeding (vergistbaar volume) en de biogasproductie waardoor eerder een haalbaar schaalniveau wordt bereikt. Gemengd zwart en groen water wordt donker water genoemd.

Lozing van vermalen keukenafval via het openbaar riool is in Nederland verboden. Het zou de belasting van de waterzuivering en daarmee het energieverbruik aanzienlijk verhogen.¹⁴ Bij anaërobe vergisting van geconcentreerd donker water ligt dat anders. In dat geval kan het groen water de biogasopbrengst juist significant verhogen; er wordt meer energie teruggewonnen, en er ontstaat minder slib.¹⁵ Indien zwart of bruin water apart wordt ingezameld en anaeroob wordt behandeld, dan ligt het ook voor de hand om tevens het groen water in te zamelen.

Zolang het niet wordt vervuild met geel en bruin water is huishoudelijk grijs water relatief schoon. In volume is grijs water veruit de grootste afvalwaterstroom en daarmee het meest geschikt voor waterhergebruik. Door grijs water weg te houden van de centrale waterzuivering wordt pompenergie voor transport vermeden. Ook wordt de zuivering niet belast met relatief schoon water c.q. wordt het vervuilde water niet verdund.

Het gezuiverde grijs water zou kunnen worden gebruikt voor een constant zoetwaterdebiet in de Poelzone, wat bijdraagt aan de zelfvoorzienendheid van het lokale watersysteem. Een verdere stap is om het gezuiverde grijs water op te waarden tot gietwater dat toepasbaar is in de glastuinbouw.

14 Zie onder andere de brief van 22 november 2005 van toenmalig staatssecretaris Van Geel aan de vaste commissie voor VROM inzake het verbod op het lozen via een voedselrestenvermaler. TK 2005-2006 27 664 nr. 42

15 Naar verwachting levert co-vergisting van groen met zwartwater een verdubbeling van de biogasopbrengst.

DEEL 2

SCENARIO-UITWERKING

3

INTRODUCTIE TOT DE SCENARIO'S

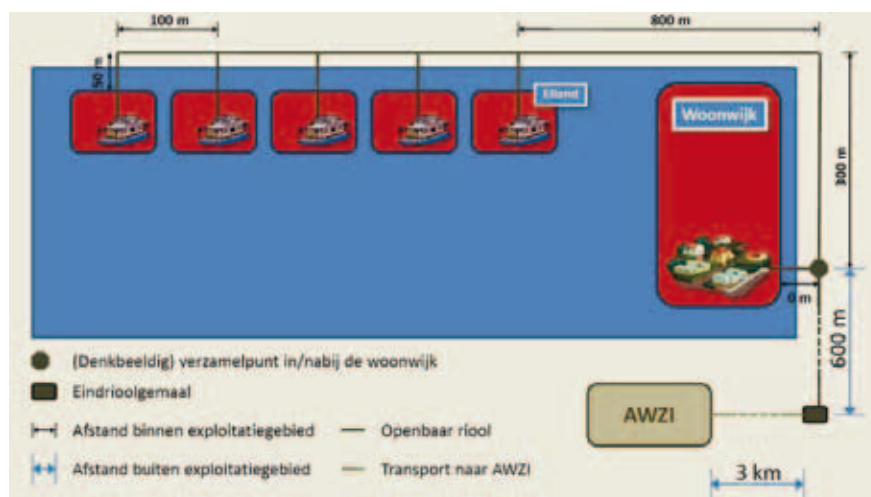
3.1 GEBIEDSMODELLERING

Ten behoeve van deze studie zijn zes scenario's uitgewerkt. Deze zijn gebaseerd op de situatie van Het Nieuwe Water. Daarbij is globaal gekeken naar het voorontwerp van de gebiedsinrichting (stand van zaken begin 2009). Aan de hand daarvan is het gebied gemodelleerd op basis waarvan verkennende berekeningen zijn gemaakt. De modellering is zodanig gekozen dat deze goed past in het rekenmodel voor Decentrale Sanitatie en Hergebruik (DeSaH) van de Wageningen Universiteit (WUR). Met dit rekenmodel zijn vervolgens berekeningen gemaakt van de rioleringskosten in de verschillende scenario's. Het gaat daarbij om een oriënterende vergelijking van kostenniveaus. Het gaat uitdrukkelijk niet om kostenbegroting voor feitelijke aanleg en beheer van de in de scenario's geschetste afvalwaterketens. Daarvoor zullen nadere ontwerpen moeten worden gemaakt met bijbehorende kostenbegrotingen.

Voor deze eerste verkenning is de situatie van het Nieuwe Water als volgt gemodelleerd.

Er is sprake van 1200 woningen waarvan 300 op 'waterkavels' verdeeld over 5 clusters (de eilanden) van ieder 60 woningen. De overige 900 woningen komen op 'landkavels' (de woonwijk). Met overige functies in het gebied is geen rekening gehouden. De afstand van ieder eiland tot de vaste wal bedraagt 50 meter. De onderlinge afstand tussen de eilanden bedraagt 100 meter. De afstand van de eilanden tot de woonwijk bedraagt 800 meter. Binnen of rond de woonwijk moet nog 300 meter worden afgelegd tot aan een (denkbeeldig) verzamelpunt voor de droog weer afvoer of de decentrale waterbehandeling. Figuur 5 toont een schema voor de woonwijk, ingeval van de normale centrale DWA. Daarbij is nog sprake van 600 meter af te leggen tussen de riolering binnen de woonwijk en het eindrioolgemaal. Vanaf dit gemaal is het vervolgens nog 3 km naar de AWZI.

FIGUUR 5 GEBIEDSMODELLERING VAN HET NIEUWE WATER. VIJF CLUSTERS VAN WATERKAVERS (DE EILANDEN) EN 1 CLUSTER VAN LANDKAVERS (DE WOONWIJK). AFVOER VAN DE WATERKAVERS WORDT GELEID NAAR EEN (DENKBEELDIG) VERZAMELPUNT IN/NABIJ DE WOONWIJK. VANAF DE WOONWIJK WORDT GEREKEND OP CA 600 METER TOT HET EINDRIOOLGEMAAL. VANAF DAAR IS HET 3 KM TOT DE AWZI

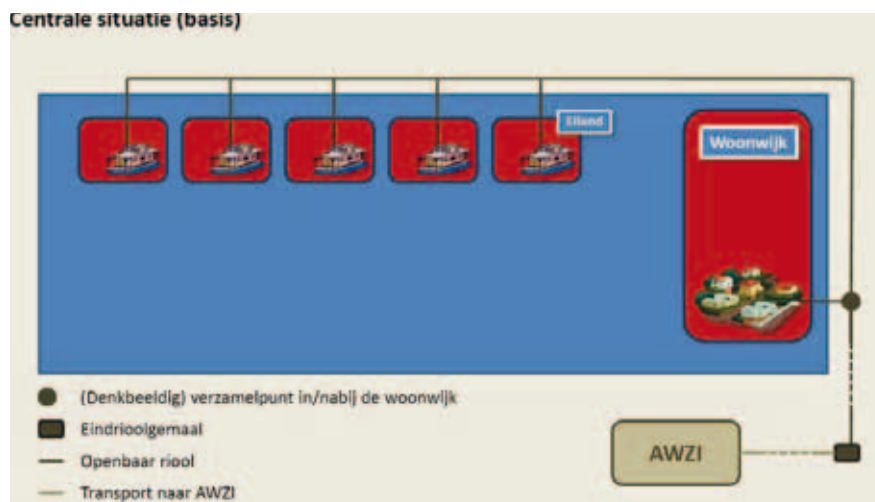


3.2 CENTRALE, DECENTRALE EN HYBRIDE AFVALWATERBEHANDELING

CENTRALE SITUATIE

De behandeling van huishoudelijk afvalwater is thans gecentraliseerd. Dat wil zeggen dat het afvalwater van woningen via het openbaar riool wordt ingezameld en voor behandeling naar een AWZI wordt getransporteerd (figuur 6).

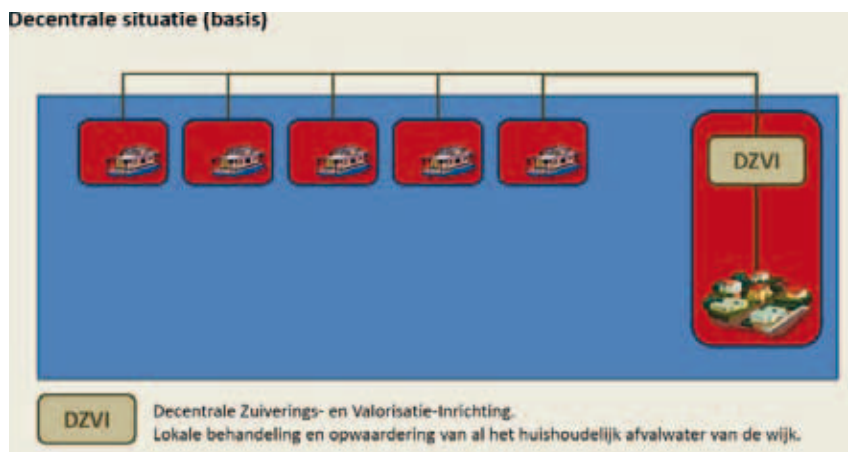
FIGUUR 6 SCHEMATISCHE WEERGEAVE VAN DE CENTRALE SITUATIE. HET AFVALWATER WORDT GEMENGD EN VOOR BEHANDELING GETRANSPORTEERD NAAR DE AWZI



DECENTRALE SITUATIE

Bij een decentrale aanpak wordt het afvalwater niet naar de AWZI getransporteerd, maar binnen het gebied behandeld. In figuur 7 is dit schematisch weergegeven. Behandeling van het afvalwater vindt daarbij plaats in een 'Decentrale Zuiverings- en Valorisatie-Inrichting' (DZVI). Deze is 'decentraal' want niet aangesloten op de centrale zuivering maar specifiek aangelegd voor het exploitatiegebied. 'Valorisatie' slaat op het opwaarderen van de reststromen opdat de nuttige componenten kunnen worden hergebruikt. In casu wordt gedacht aan hergebruik van zoetwater, energie en meststoffen.

FIGUUR 7 SCHEMA DECENTRALE SITUATIE (BASIS). HET AFVALWATER VAN DE WATERKAVELS EN DE WOONWIJK WORDT BEHANDELD IN EEN DECENTRALE ZUIVERINGS- EN VALORISATIE-INRICHTING (DZVI). DE DZVI BEHOORT BIJ EN IS AFGESTEMD OP DE 1200 WONINGEN VAN HET NIEUWE WATER EN GESITUEERD IN/NABIJ DE WOONWIJK. ER WORDT GEEN AFVALWATER GETRANSPORTEERD NAAR DE AWZI

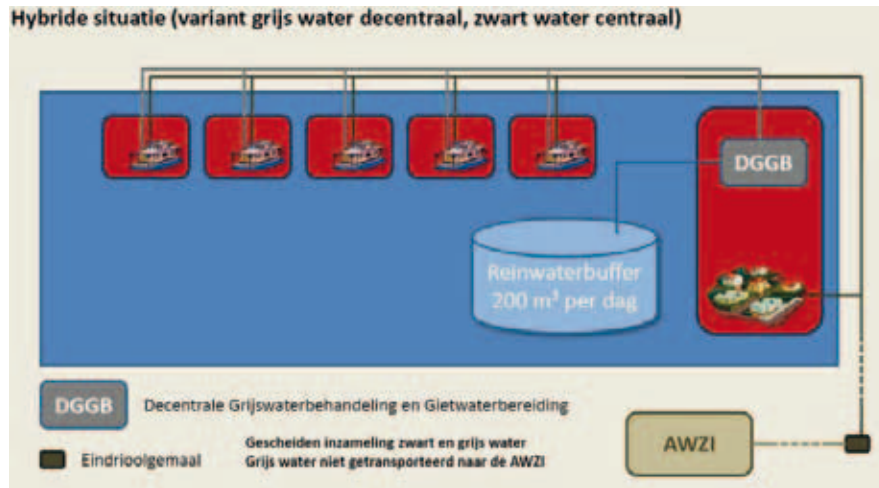


HYBRIDE VARIANTEN

Er zijn ook hybride varianten denkbaar waarbij een deel van de afvalwaterstroom decentraal wordt behandeld en een ander deel wordt afgevoerd naar de AWZI. Figuur 8 toont een voorbeeld van een hybride variant waarin grijs water decentraal wordt behandeld, en zwart water centraal.

FIGUUR 8

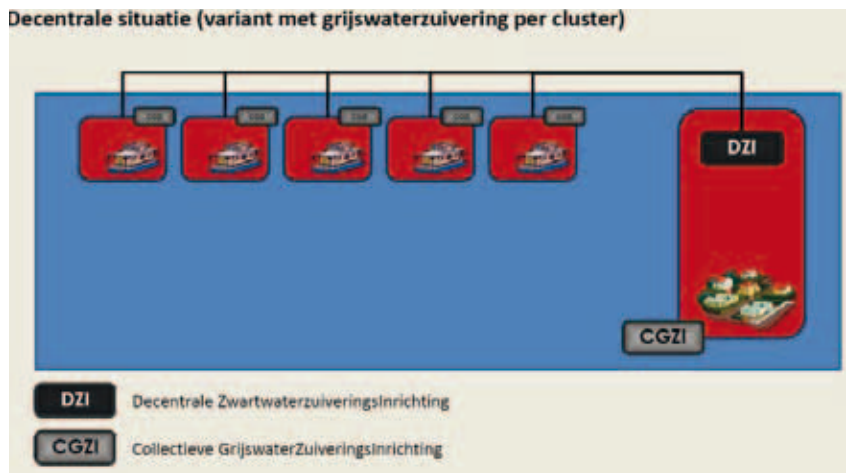
SCHEMA HYBRIDE SITUATIE. EEN DEEL VAN HET AFVALWATER WORDT LOKAAL BEHANDELD EN OPGEWAARDEERD (IN DIT VOORBEELD HET GRIJS WATER) EN EEN DEEL VAN HET WATER WORDT GETRANSPORTEERD NAAR DE AWZI (IN DIT VOORBEELD HET ZWART WATER). BEHANDELING EN OPWAARDERING VAN HET GRIJS WATER GEBEURT IN EEN SPECIALE INRICHTING VOOR GRIJSWATERBEHANDELING. IN DIT VOORBEELD WORDT HET GRIJS WATER BOVENDIEN OPGEWERKT TOT GIETWATER EN OPGESLAGEN IN EEN REINWATERBUFFER



Op decentraal niveau zijn er uiteenlopende varianten denkbaar. Zo kan de vraag worden gesteld of (al) het grijs water tot gietwater moet worden opgewaardeerd en opgeslagen, of dat het volstaat om het grijs water zodanig te zuiveren dat het veilig op het oppervlaktewater kan worden geloosd. Ook kan binnen het exploitatiegebied nog worden gedecentraliseerd, bijvoorbeeld door de grijswaterzuivering niet op één plek voor de hele woonwijk te doen, maar per cluster van woningen. Figuur 9 geeft hiervan een voorbeeld waarbij de 5 eilanden en de woonwijk ieder een eigen 'Collectieve GrijswaterZuiveringsInrichting' (CGZI) hebben. Keuze voor de opzet van de 'grijswaterclusters' kan bijvoorbeeld geschieden conform de bouwfasering; de CGZI wordt tegelijk met de betreffende woningen en openbare voorzieningen aangelegd. In het voorbeeld van figuur 9 wordt de zuivering van het zwart water niet op cluster maar op wijkniveau aangelegd, aangenomen dat deze een zeker schaalniveau nodig heeft om economisch te kunnen functioneren.

FIGUUR 9

SCHEMA DECENTRALE SITUATIE WAARBIJ HET GRIJS WATER PER CLUSTER VAN WONINGEN (BIJVOORBEELD PER EILAND EN WOONWIJK) WORDT BEHANDELD IN EEN COLLECTIEVE GRIJSWATERZUIVERINGSINRICHTING (CGZI). HET ZWART WATER VAN HET GEHELE EXPLOITATIEGEBIED WORDT BEHANDELD IN EEN DECENTRALE ZWARTWATERZUIVERINGSINRICHTING (DZI)



3.3 HERGEBRUIK EN OPTIMALISATIEVRAAGSTUKKEN

OPSLAG

Hergebruik als gietwater stuit mogelijk op praktische en financiële bezwaren. Deze liggen vooral in de sfeer van de opslag en distributie van het behandelde grijs water. De glastuinbouw heeft jaarlijks slechts gedurende een beperkte periode behoefte aan suppletiewater. De rest van de tijd komt het water bij voorkeur uit de eigen regenton. In tijden van overvloed - veruit het grootste deel van het jaar - moet het gezuiverde grijs water worden opgeslagen om later te kunnen worden afgezet in de glastuinbouw. Gegeven een grijswaterproductie van ca 250 m³ per dag vergt dat een aanzienlijk ruimtebeslag dat in het dichtbebouwde Westland moeilijk kan worden gevonden, althans erg kostbaar is. Indien het reinwater 3 maanden zou moeten worden opgeslagen vergt dat al een buffer van ca 18.000 m³, uitgaande van 200 m³ reinwater per dag, 3 x 30 dagen. Er zal al snel moeten worden gedacht aan onderkeldering van kassen of injecteren in de bodem. Een andere - nog niet nader uitgewerkte - gedachte is reinwateropslag in een 'waterzak' drijvend in open water.

Ook in andere opzichten kan opslag een aandachtspunt zijn, zoals de veiligheidsaspecten bij opslag van biogas. Voor de 1200 woningen van Het Nieuwe Water zou het gaan om 131 m³ biogas per dag, derhalve 917 m³ voor een week. Veiligheidsaspecten kunnen ook van belang zijn voor opslag van sommige hulp- of meststoffen, met name voor de meststof ammoniumnitraat.

MESO-SCHAAL

Per situatie zal sprake zijn van een optimalisatievraagstuk. Op welke schaalgrootte en met welke configuratie worden de beste resultaten geboekt? Gegeven de stand van de techniek speelt Nieuwe Sanitatie zich af op een meso-schaal. Dat wil zeggen, op een kleiner schaalniveau dan de huidige centrale waterbehandeling. Maar tegelijkertijd wel op zodanige schaal dat het technisch en economisch haalbaar is. Sommige toekomstscenario's houden rekening met een micro-schaal, dat wil zeggen individualisering van de waterzuivering, bijvoorbeeld per huishouden, of zelfs per toilet. Vooralsnog zijn daarvoor echter nog geen beproefde en geaccepteerde technieken bekend. In deze studie wordt aangeknoopt bij bestaande en beproefde technieken, en technieken die in het verlengde daarvan binnen afzienbare tijd beschikbaar kunnen komen.

AFNEMERS, INFRASTRUCTUUR EN ORGANISATIE

Voor hergebruik zijn ook afnemers nodig van de opgewaardeerde grondstoffen evenals logistiek en organisatie voor de levering en afhandeling. Biogas kan door de decentrale zuiveringsinrichting zelf worden gebruikt, in de vorm van elektriciteit en warmte. Maar de meststoffen en het reinwater behoeven afzet bij derden. Belevering van koolstofdioxide en reinwater vragen specifieke infrastructuur. Voor reinwaterlevering zal deze mogelijk worden aangelegd. Voor levering van koolstofdioxide bestaat in het gebied al infrastructuur.¹⁶ Het is echter maar de vraag of invoeding van de CO₂ vanuit Het Nieuwe Water zinvol is. Het gaat om een geringe hoeveelheid CO₂ die bovendien onzuiver is. Vooral nog is benutting van deze CO₂ vooral een theoretische exercitie, wat overigens niet uitsluit dat het in de toekomst weldegelijk haalbaar wordt. De overige meststoffen zijn op diverse manieren en in verschillende vormen terug te winnen. Ruimtelijke en infrastructurele aspecten hiervan zijn beperkt. De afweging zal vooral worden gemaakt op basis van een kosten- en batenafweging.

VALORISATIE IN CENTRALE ZUIVERING

Nieuwe Sanitatie heeft geen alleenrecht op hergebruik van reststromen. Ook bij centrale afvalwaterzuivering kan naar hergebruik worden toegewerkt. Daartoe worden ook initiatieven ontplooid, onder andere in de AWZI Harnaschpolder. Deze figureert als beoogd productielocatie voor de nog aan te leggen stadsverwarming van Delft. Ook wordt op deze locatie onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om zuiveringseffluent uit de AWZI zodanig op te werken dat het kan worden gebruikt om de zoetwatervoorziening in het Westland op peil te houden (onderzoek hergebruik gezuiverd afvalwater door het Hoogheemraadschap van Delfland i.s.m. Veolia, Rossmark, Evides en Delfluent Services).

VERGELIJKING CENTRAAL EN DECENTRAAL

Centrale en decentrale behandeling kennen een verschillend startpunt. Decentraal start bij gescheiden inzameling en gescheiden verwerking. Centrale behandeling start met het complete gemengde aanbod aan afvalwater. Ook de centrale behandeling streeft echter naar bronscheiding. Op dit moment gaat het daarbij om afkoppeling van de regenwaterafvoer (RWA) van het openbaar riool. Regenwater is relatief schoon en bruikbaar. Wanneer het wordt afgevoerd via het openbaar riool wordt het echter sterk vervuild. Bovendien wordt het voor de waterzuivering moeilijker om het aanbod te bergen en te zuiveren. Bronscheiding invoeren op een reeds aangelegde infrastructuur is geen sinecure. Het is een langjarig proces dat slechts geleidelijk resultaat boekt. Wie grote stappen wil maken en niet wil wachten tot de gehele infrastructuur daarop is aangepast zal in eerste instantie kleinschalig, en derhalve decentraal moeten werken. Op deze wijze kunnen de resultaten van decentrale projecten worden beproefd, en liefst ook worden vergeleken met de resultaten van centrale verwerking. Hieruit zullen inzichten ontstaan over de optimale infrastructuur voor de toekomstige afvalwaterbehandeling, en de optimale schaalgrootte die daarbij past.

¹⁶ De Poelzone ligt grotendeels in het beleveringsgebied van OCAP, die zuivere CO₂ levert aan tuinders afkomstig uit de waterstofproductie bij Shell in de Rijnmond. www.ocap.nl

4

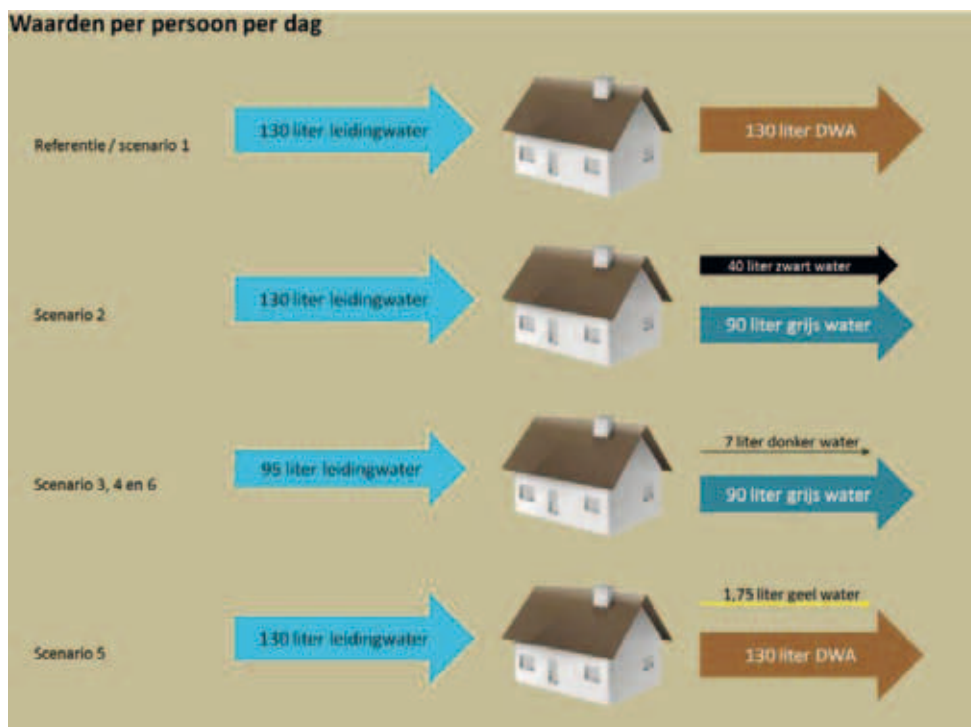
DE AFVALWATERINZAMELING

4.1 AFVALWATERSTROMEN

De 1200 woningen van Het Nieuwe Water produceren ca 350 m³ DWA per dag¹⁷. In het normale geval wordt dat getransporteerd naar de AWZI. De vraag is nu of dit als gebruikelijk gemengd wordt afgevoerd naar de AWZI of dat verschillende stromen gescheiden worden gehouden en gescheiden worden behandeld. Wat zou je in de situatie van het Nieuwe Water nu al kunnen doen, gegeven de bewezen inzamelings- en zuiveringstechnieken? En wat zou het effect daarvan zijn?

Om het terrein te verkennen zijn voor deze studie 6 scenario's uitgewerkt. Het gaat daarbij om één centraal scenario (de referentiesituatie), drie hybride scenario's en twee decentrale scenario's. In alle scenario's is een gescheiden stelsel (RWA en DWA gescheiden) het uitgangspunt.

FIGUUR 10 HET AANTAL LITERS LEIDINGWATER DAT DAGELIJKS GEMIDDELD PER PERSOON WORDT VERBRUIKT EN ALS AFVALWATER HET HUISHOUDEN VERLAAT, PER SCENARIO SCHEMATISCH EN VEREENVOUDIGD WEERGEGEVEN IN AFGERONDE REKENWAARDEN



¹⁷ 130 liter x 2,3 persoon x 1200 woningen = 358.800 liter voor de 1200 woningen per dag.

Scenario 1 is de normale situatie waarbij de DWA gemengd wordt getransporteerd naar de AWZI. Per persoon wordt dagelijks 130 liter leidingwater verbruikt dat door menging van het afvalwater sterk wordt vervuild om vervolgens te worden afgevoerd naar de AWZI.



Scenario 2 is een hybride situatie waarin het zwart water gescheiden wordt gehouden van het grijs water. Concreet komt dit erop neer dat er aparte afvoerleidingen komen voor de toiletten. Op deze wijze wordt het grootste deel van het ingaande leidingwater (90 liter per persoon per dag) slechts relatief licht vervuild. Het zwaar vervuilde toiletwater (40 liter per persoon per dag) wordt getransporteerd naar de AWZI. Het lichtvervuilde grijs water wordt decentraal behandeld. Bijkomend voordeel is dat een groot deel (ca 70%) van de DWA niet over grote afstand hoeft te worden getransporteerd.



Scenario 3 is eveneens een hybride situatie, en eigenlijk het omgekeerde van scenario 2. Hier wordt het sterk vervuilde zwart water decentraal behandeld terwijl het grijs water naar de AWZI wordt getransporteerd. Voor inzameling van het zwart water wordt gebruikt gemaakt van aangepast sanitair en vacuümriool. Dit zorgt voor een sterke afname van het leidingwaterverbruik. In plaats van 130 liter wordt nu gerekend op 95 liter per persoon per dag, wat neerkomt op een leidingwaterbesparing van ca 27%. Tegelijk met het zwart water worden via het vacuümriool ook de voedselresten (groen water) ingezameld. Dat vergroot het comfort van de woning én de biogasopbrengst van het systeem.



Scenario 4 is volledig decentraal. Grijs en donker water worden gescheiden ingezameld en decentraal behandeld. Er wordt gebruik gemaakt van vacuümriool. Ook hier dus maar een leidingwaterverbruik van 95 liter per persoon per dag.



In **scenario 5** wordt het geel water apart ingezameld en decentraal behandeld. Dat vraagt om aangepast sanitair en extra voorzieningen voor de inzameling. Op deze wijze wordt een belangrijk deel van de vuillast (een deel van de nutriënten en de farmaceutische residuen) weggehouden bij de AWZI. De DWA wordt evengoed sterk vervuild door het bruin water en een deel (40%) van het geel water (de geelwaterscheiding werkt slechts voor 60%).



Scenario 6 is een volledig decentrale variant, waarbij de grijswaterzuivering per cluster is georganiseerd. Er komen dus meerdere grijswaterzuiveringen in het gebied. Het donker water wordt per vacuümriool ingezameld en decentraal behandeld.



LEIDINGWATERBESPARING

Opmerkelijk verschil tussen de scenario's is de leidingwaterbesparing door gebruik van vacuümriool. In het EET project te Sneek (Lemmerweg-Oost, zie figuur 4.) gaat het zelfs om een leidingwaterbesparing van meer dan 40%. Dat levert een kostenvoordeel voor de huishoudens. Bovendien kan het leiden tot kostenvoordeel bij de aanleg van de infrastructuur, wegens kleinere buisdiameters dan gebruikelijk.

MEERKOSTEN

Tegenover de besparingen in de decentrale oplossingen staan echter ook meerkosten. In de woningen komt aangepast sanitair. Ook moeten er twee rioelstelsels worden aangelegd. Het vacuümriool vergt bovendien energie. Uit de verdere scenario-uitwerking is af te leiden dat de beheerkosten van vacuümriool circa 25% hoger zijn dan van standaard gravitair riool. Dit komt onder andere door het energieverbruik. De donkerwaterbehandeling levert echter ook weer energie op.

4.2 DE RIOLERING

DRIJVENDE WONINGEN

In de situatie van Het Nieuwe Water moet rekening worden gehouden met een aandeel 'drijvende woningen'. Hierbij is de aanleg van gravitair riool bezwaarlijk omdat het vrij verval in de leidingen moeilijk is aan te leggen en te handhaven. Doorgaans wordt in drijvende woningen dan ook gebruik gemaakt van individuele elektrische rioolpompen. Bij grootschalige ontwikkeling van drijvende woningen zijn andere opties te overwegen. Zo wordt in de uitwerking van scenario 1 per eiland uitgegaan van een dubbel pompgemaal en drukriolering tot aan de aansluiting op het openbaar riool. In scenario 3, 4 en 6 wordt uitgegaan van vacuümriool. De investeringen en beheerkosten hiervan vallen lager uit. In het geval van drijvende woningen is toepassing van vacuümriool op zich dus al helemaal geen gek idee.

FIGUUR 11

IMPRESSIE VOORONTWERP DRIJVENDE WONINGEN VOOR HET NIEUWE WATER. BRON: ONW BV / WATERSTUDIO.NL



In alle scenario's is uitgegaan van een aandeel van 1/4 drijvende woningen (300 op een totaal van 1200 woningen). Gerekend is tot de aansluiting op het eindrioolgemaal en/of de decentrale zuiveringsinrichting. In alle varianten is een vast forfaitair bedrag meegenomen voor de regenwaterafvoer (RWA).¹⁸ In verband met onderhoud en inspectie is een minimale buisdiameter van 200 mm aangehouden. De berekende investeringen en beheer- en kapitaalkosten zijn weergegeven in tabel 1.

FIGUUR 12

RIOOLPOMP IN DRIJVENDE WONING. FOTO: ABC ARKENBOUW



¹⁸ Het gaat om een fors bedrag, te weten € 3.306.564. Dat is circa de helft van de kosten in de meeste scenario's.

TABEL 1 BEREKENDE INVESTERINGEN EN JAARKOSTEN VAN DE RIOLERING BINNEN HET EXPLOITATIEGEBIED (TOT EINDRIOOLGEMAAL) VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S. DWA VERMEERDERD MET OPGEVOERD FORFAITAIR BEDRAG VOOR RWA

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI. Referentie.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
Riolering						
Investeringen riool binnen plangebied	€ 6.151.513	€ 8.340.584	€ 6.780.387	€ 6.780.387	€ 6.736.642	€ 6.480.137
Investeringen riool tot eindrioolgemaal	€ 132.510	€ 95.280	€ 132.510	€ 0	€ 132.510	€ 0
Subtotaal	€ 6.284.023	€ 8.435.864	€ 6.912.897	€ 6.780.387	€ 6.869.152	€ 6.480.137
<i>Kapitaalkosten riolering</i>	€ 281.797	€ 381.604	€ 294.584	€ 288.347	€ 316.417	€ 302.025
<i>Beheerkosten riolering</i>	€ 36.212	€ 54.279	€ 52.093	€ 49.798	€ 51.552	€ 44.949
<i>Jaarkosten riolering</i>	€ 318.009	€ 435.883	€ 346.677	€ 338.145	€ 367.969	€ 346.974

Scenario 2 springt eruit vanwege de hoge kosten. Dat komt doordat twee gravitaire rioolstelsels moeten worden aangelegd. Er wordt niet bespaard op de aanleg wegens minder waterverbruik en kleinere buisdiameters. Het zwartwaterriool moet bovendien worden aangesloten op het openbaar riool. De drijvende woningen werken in dit scenario kostenverhogend wegens een gedeelte met dubbel drukriool.

Scenario 3, 4 en 6 komen dicht in de buurt van de referentie (scenario 1). Dit is opmerkelijk omdat in deze scenario's een dubbel rioolstelsel wordt aangelegd. Hier wordt echter kostenvoordeel behaald door minder leidingwaterverbruik en bijgevolg de kleinere buisdiameter voor de grijswaterafvoer, in vergelijking tot de standaard DWA.

Scenario 5 blijft ook nog redelijk dicht in de buurt van de referentie (scenario 1). In dit scenario is niet gerekend op eventuele leidingwaterbesparing en kleinere buisdiameters. Toch zou hier in beperkte mate sprake van kunnen zijn, wat tot een iets gunstiger resultaat zou kunnen leiden.

De jaarlijkse beheerkosten van alle varianten liggen 25% - 50% hoger dan in de referentie. De decentrale scenario's springen er daarbij nog relatief gunstig uit.

RIOOL IN CIJFERS

In vergelijking tot de kengetallen uit 'Riool in Cijfers'¹⁹ liggen de investeringen voor de meeste scenario's nog binnen een redelijke bandbreedte. Uitgaande van 300 aansluitingen op drukriool en 900 aansluitingen op normaal gescheiden stelsel zouden de investeringen op basis van 'Riool in cijfers' neerkomen op € 7.650.000,-²⁰. Alleen scenario 2 gaat daar overheen.

19 Stichting Rioned, Riool in Cijfers, 2009 - 2010, januari 2009.

20 300 * € 9.300,- + 900 * € 5.400,- = € 7.650.000,-

TRANSPORT NAAR AWZI

In het centrale en in de hybride situaties wordt (een deel) van het afvalwater naar de AWZI getransporteerd. Hiervoor is infrastructuur benodigd. Deze ligt er al, dus de kosten hiervoor worden feitelijk niet gemaakt c.q. zijn i.c. verwaarloosbaar. Toch kan aan deze kosten worden gedacht omdat het kan voorkomen dat de transportleiding naar de AWZI nog moet worden aangelegd, en dat daarvan dankzij decentrale sanitatie kan worden afgezien.

In casu gaat het om een beperkte afstand van 3 km (van eindrioolgemaal tot AWZI). Indien met de kosten hiervan rekening wordt gehouden (tabel 2.) wordt het verschil tussen de referentie en de decentrale scenario's opmerkelijk klein. Scenario 4 pakt over het geheel zelfs voordeliger uit.

TABEL 2 BEREKENDE JAARKOSTEN VAN DE VAN DE RIOLERING BINNEN HET EXPLOITATIEGEBIED INCLUSIEF TRANSPORT NAAR DE AWZI (3 KM) VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S. IN ALLE SCENARIO'S IS REKENING GEHOUDEN MET EEN OPGEVOERD FORFAITAIR BEDRAG VOOR RWA

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI. Referentie.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
Investeringen transport AWZI (3 km)	€ 484.714	€ 330.857	€ 484.714	€ 0	€ 484.714	€ 0
Kapitaalkosten riolering + transport	€ 303.139	€ 396.188	€ 315.926	€ 288.347	€ 337.759	€ 302.025
Beheerkosten riolering + transport	€ 39.782	€ 57.849	€ 55.663	€ 49.798	€ 55.122	€ 44.949
Jaarkostenkosten riolering + transport	€ 342.921	€ 454.037	€ 371.589	€ 338.145	€ 392.881	€ 346.974

RIOOLHEFFING

Onderhoud en beheer van het riool wordt bekostigd vanuit de rioolheffing. Deze is in principe kostendekkend. Per woning wordt gerekend op een gebruikersdeel van € 104,- per jaar (tarief voor tweepersoonshuishouden) en een eigenaarsdeel van € 25,- per jaar (bij gemiddelde WOZ-waarde per woning van ca € 160.000,- bij een tarief van 0,0158%).

De jaarlijkse inkomsten uit rioolheffing bedragen dan:

Rioolheffing (gebruiker) 1200 woningen à € 104,00	€ 124.800,00
Rioolheffing (eigenaar) 1200 woningen à € 25,00	€ 30.000,00
	<hr/>
Totaal jaarlijkse rioolheffing	€ 154.800,00

Aangenomen dat de aanleg van het riool in de grondexploitatie valt, levert de rioolheffing, na aftrek van de beheerkosten een stevig positief resultaat (tabel 3). Dit bedrag moet echter worden aangewend voor vervanging en onderhoud (elders in de gemeente).

TABEL 3 VERGELIJKING VAN DE JAARKOSTEN VAN DE RIOLERING BINNEN HET EXPLOITATIEGEBIED (TOT AAN EINDRIOOLGEMAAL) VOOR DE VERSCHILLENDE SCENARIO'S. JAARKOSTEN AFGEZET TEGEN DE JAARLIJKSE INKOMSTEN UIT RIOOLHEFFING (GEBRUIKERSDEEL AD € 104,-- PER WONING, EIGENAARSDEEL AD € 25,-- PER WONING, TOTAAL (1200 * € 104) + (1200 * € 25) = € 154.800. BEREKENDE SALDO BETREFT DE JAARLIJKSE HEFFINGSINKOMSTEN MINUS DE BEHEERKOSTEN. DE KAPITAALKOSTEN (LICHT GRIJS IN DE TABEL) VALLEN IN DE GRONDEXPLOITATIE

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI. Referentie.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
Riolering						
<i>Kapitaalkosten riolering</i>	€ 281.797	€ 381.604	€ 294.584	€ 288.347	€ 316.417	€ 302.025
<i>Beheerkosten riolering</i>	€ 36.212	€ 54.279	€ 52.093	€ 49.798	€ 51.552	€ 44.949
<i>Jaarkosten riolering</i>	€ 318.009	€ 435.883	€ 346.677	€ 338.145	€ 367.969	€ 346.974
<i>Inkomsten rioolheffing</i>	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800
<i>Saldo rioolheffing - beheer</i>	€ 118.588	€ 100.521	€ 102.707	€ 105.002	€ 103.248	€ 109.851

4.3 DE BOUWKOSTEN

Ook binnen de aangesloten woningen geven de scenario's verschillen. Deze worden gerangschikt onder de 'bouwkosten'. Bouwkosten vallen buiten de normale bekostiging van de waterketen. Ze vallen in de stichtingskosten van de woningen (projectontwikkelaar) en uiteindelijk in de vrij-op-naam-prijs van de eigenaar.

Naast meerkosten is er ook sprake van leidingwaterbesparing. Deze is gesteld op € 40,- per woning per jaar. De leidingwaterbesparing komt ten goede aan de gebruiker van de woning.

Het uitgangspunt is dat de meerkosten in de bouw via de grondexploitatie worden doorgeschoven naar de projectontwikkelaar. Deze belast ze indien mogelijk door naar de koper van de woning. Eventuele verhuurdere belasten ze indien mogelijk door naar de huurder.

TABEL 4 GEHANTEERDE MEERKOSTEN VAN EXTRA LEIDINGWERK, SANITAIR EN VOEDSELRESTENVERMALER IN DE ZES SCENARIO'S AANGEGEVEN PER WONING EN PER 1200 WONINGEN

Meerkosten	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
Extra leidingwerk	€ 0	€ 200	€ 200	€ 200	€ 200	€ 200
Vacuümtoiletten (2 per woning)	€ 0	€ 0	€ 400	€ 400	€ 0	€ 400
Urinescheidingstoilet (2 per woning)	€ 0	€ 0	€ 0	€ 0	€ 400	€ 0
Voedselrestenvermaler	€ 0	€ 0	€ 1.000	€ 1.000	€ 0	€ 1.000
Per woning	€ 0	€ 200	€ 1.600	€ 1.600	€ 600	€ 1.600
Per 1200 woningen	€ 0	€ 240.000	€ 1.920.000	€ 1.920.000	€ 720.000	€ 1.920.000

TABEL 5 OVERZICHT VAN DE EXTRA BOUW- EN JAARKOSTEN VOOR DE 1200 WONINGEN, VERMINDERD MET DE LEIDINGWATERBESPARING

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI. Referentie.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
1200 Woningen						
Meerkosten binnenriolering en toiletten	€ 0	€ 240.000	€ 720.000	€ 720.000	€ 720.000	€ 720.000
Shredder	€ 0	€ 0	€ 1.200.000	€ 1.200.000	€ 0	€ 1.200.000
Totaal	€ 0	€ 240.000	€ 1.920.000	€ 1.920.000	€ 720.000	€ 1.920.000
<i>Exploitatiekosten 1200 woningen</i>	€ 0	€ 17.436	€ 376.231	€ 376.231	€ 91.356	€ 376.231
<i>Drinkwaterbesparing 1200 woningen</i>	€ 0	€ 0	€ 48.000	€ 48.000	€ 0	€ 48.000
<i>Saldo exploitatiekosten 1200 woningen</i>	€ 0	€ 17.436	€ 328.231	€ 328.231	€ 91.356	€ 328.231

De meerkosten in de woning zijn significant (tabel 4 en 5). Tegelijk zijn ze ook weer te relativiseren. Afgezet tegen de totale bouwkosten van de 1200 woningen, vallen de meerkosten best mee.

De shredder (figuur 13) biedt extra comfort en is te zien als meerwaarde. In Nederland is de aanwezigheid van zo'n shredder zelfs extra exclusief omdat het elders in het land verboden is. Het is alleen toe te staan in de situatie van aparte inzameling en behandeling van donker water (zoals in de scenario's 3, 4 en 6). In de scenario's 4 en 6 kan de grijswaterbeheerder bovendien vaststellen of huishoudens de shredder alsnog aansluiten op het grijswaterriool. Dit zou aan de orde kunnen zijn bij vervanging van de vacuümshredder door een normale, en aansluiting daarvan op de grijswaterafvoer.

FIGUUR 13

VACUÛMSHREDDER VOOR VERMALING EN AFVOER VAN VOEDSELRESTEN VIA HET VACUÛMRIOOL, DAT LEIDT NAAR DE GESPECIALISEERDE ZWARTWATERZUIVERING. OP DEZE WIJZE WORDEN ZOWEL HET WONINGCOMFORT ALS DE BIOGASOPBRENGST VAN HET SYSTEEM VERGROOT.
BRON: DESAH BV



Naast de shredder zijn er meerkosten te maken voor vacuüm- (figuur 15) of scheidingstoiletten (figuur 14) en het extra leidingwerk voor aparte afvoer van zwart of geel water. De meerkosten hiervan zijn zonder merkbare meerwaarde voor de bewoners. Bij vervanging van de urinescheidingstoiletten zouden bewoners derhalve kunnen besluiten om een normaal toilet te installeren. Bij de vacuümtoiletten is dat niet aan de orde omdat er geen normale aansluiting op gravitair riool beschikbaar is.

FIGUUR 14

URINESCHEIDINGSTOILET



FIGUUR 15 VACUÛMTOILET



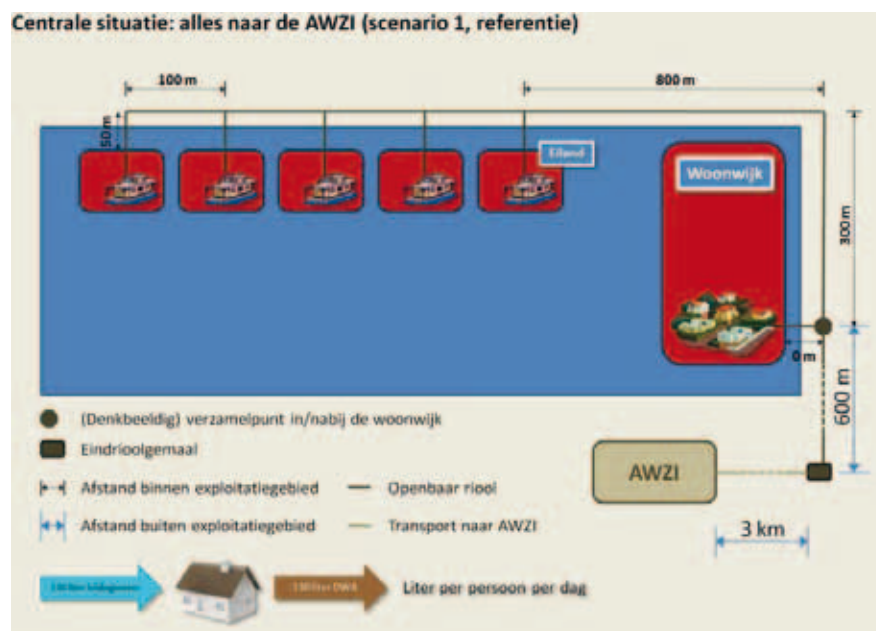
5

DE AFVALWATERBEHANDELING

5.1 DECENTRALE BEHANDELINGSINRICHTINGEN

In de vorige twee hoofdstukken (3 en 4) is vooral ingegaan op de inzameling van huishoudelijk afvalwater. In dit en het volgende hoofdstuk (5 en 6) wordt de behandeling van het afvalwater beschreven. In deze paragraaf (5.1) allereerst een korte introductie per scenario. In paragraaf 5.2 volgt de financiële uitwerking.

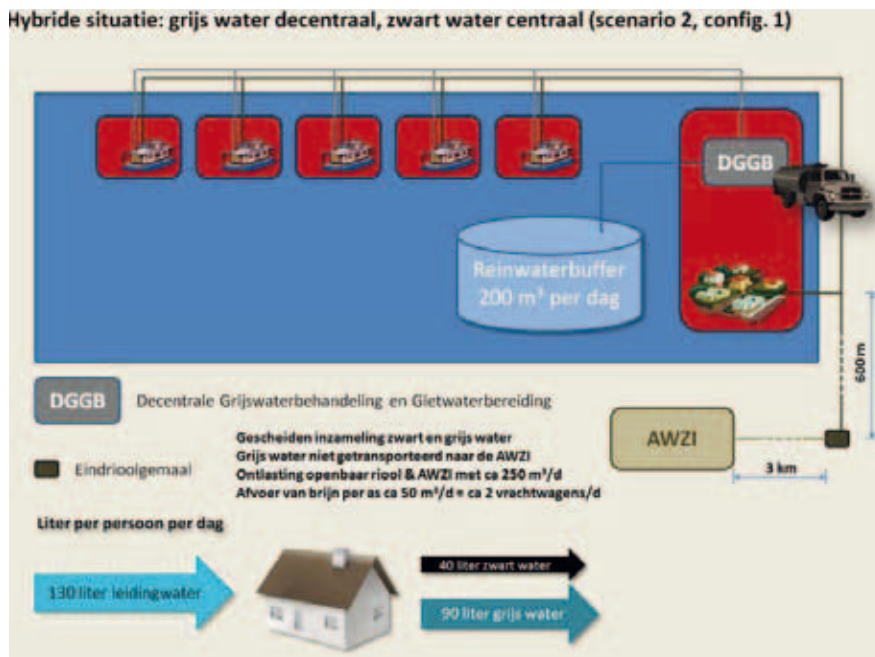
FIGUUR 16 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE REFERENTIESITUATIE (SCENARIO 1)



Referentie: De kosten van de centrale waterzuivering (scenario 1, figuur 16 en tabel 6) zijn bepaald op basis van de begroting 2009 van HHvDelfland (persoonlijke communicatie HHvDelfland). De totale exploitatiekosten 'zuiveringssystemen in eigen beheer' bedragen € 17,4 mln voor de 320.000 v.e. die worden bediend door de AWZI's Nieuwe Waterweg en De Grote Lucht. De kosten hiervan komen neer op € 54,38 per v.e. Deze zijn teruggerekend per i.e. (2,3 per woning, derhalve * 2760).

FIGUUR 17

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SCENARIO 2, CONFIGURATIE 1

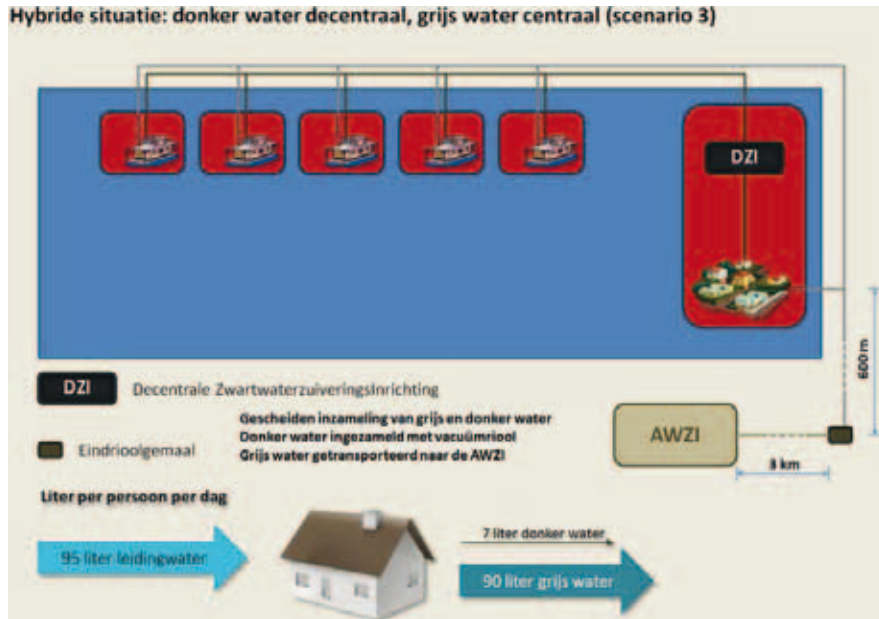


Scenario 2 en scenario 4 kennen twee varianten (uitgewerkt in bijlage 5, hierna 'configuratie 1' en 'configuratie 2') voor opwaardering van grijs water. Dit gebeurt in een Decentrale inrichting voor Grijswaterbehandeling en GietwaterBereiding (DGGB). In configuratie 1 is sprake van ontzouting (middels RO). In configuratie twee is geen ontzouting. In geen van beide worden de nutriënten verwijderd. Dit water kan derhalve niet worden geloosd op het oppervlaktewater. De gedachte is dat het water elders wordt hergebruikt. Daarvoor moet het worden opgeslagen, getransporteerd en afgezet. In de berekening is slechts rekening gehouden met een dagbuffer. Infrastructuur voor transport ontbreekt, evenals organisatie voor de afzet. 1/5 deel van het grijs water in configuratie 1 (ca 50 m³ per dag) is brijn en wordt in dit scenario afgevoerd per vrachtwagen. Ontzouting wordt gezien als een noodzakelijke stap in de opwaardering van het water tot gietwater.

In scenario 2 wordt het zwart water afgevoerd naar de AWZI. Hiervoor zijn bescheiden kosten opgevoerd. Deze zijn bepaald op basis van geschatte investeringen ingeval van benodigde capaciteitsuitbreiding. Daarbij speelt een rol dat de capaciteit van AWZI Nieuwe Waterweg (waar het water heen gaat) voldoende is. Feitelijk hoeven er bij de AWZI geen investeringen te worden gedaan om het water van Het Nieuwe Water te ontvangen.

FIGUUR 18

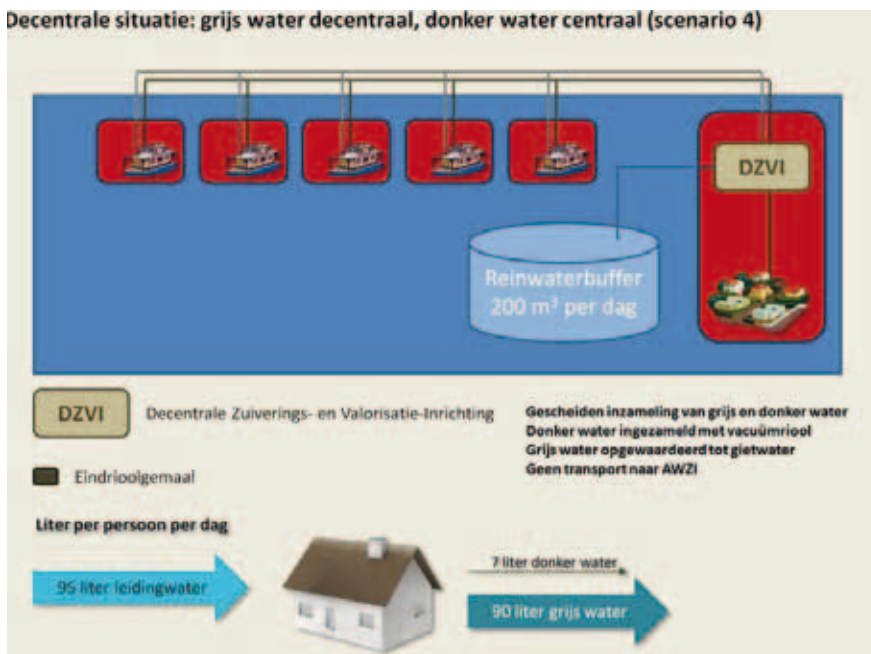
SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SCENARIO 3



Ook voor **Scenario 3** zijn bescheiden investeringen opgevoerd in de AWZI. Ditmaal gaat het om de behandeling van het grijs water. Het donker water wordt decentraal behandeld in de DZI (Decentrale Zwartwaterzuiveringsinrichting). Deze behandeling is uitgewerkt en toegelicht in de bijlage 3 en 4. Het gaat om een combinatie van anaerobe vergisting en luchtstrippen van ammoniak. In de kostenbegroting is geen rekening gehouden met de grond- en gebouwkosten. Wel is rekening gehouden met de extra kosten voor productie van de vloeibare meststof ammoniumsulfaat.

FIGUUR 19

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SCENARIO 4, CONFIGURATIE 2



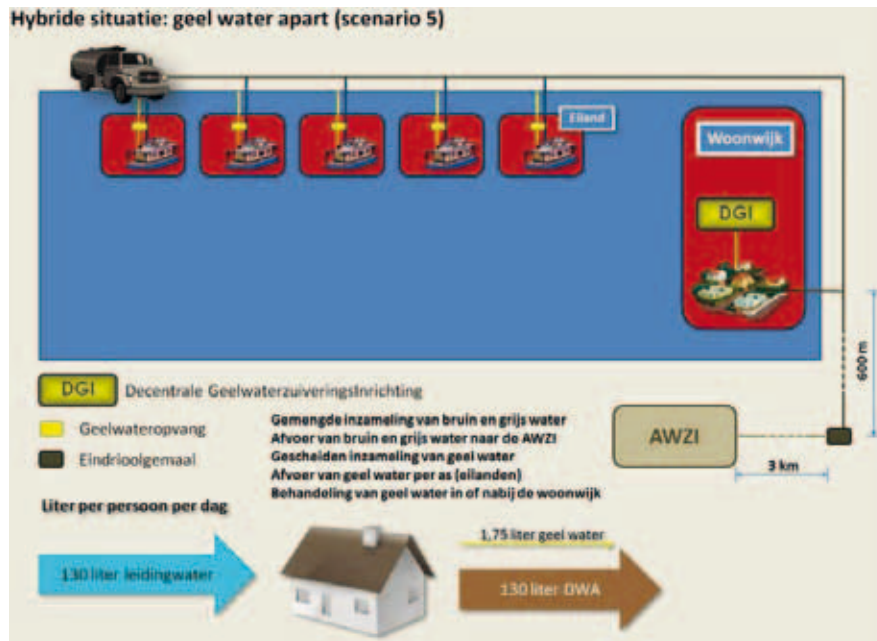
In **scenario 4** wordt niet alleen het donker water decentraal behandeld, maar ook het grijs water. Dit laatste op dezelfde manier als in scenario 2, met de twee configuraties (zie toelichting 'scenario 2 en scenario 4' en bijlage 5). In dit scenario zijn dus geen kosten meer aan de kant van de AWZI. Sterker nog, de hele AWZI wordt in dit scenario overbodig. De enorme

besparing hiervan is in de berekeningen niet meegenomen. Deze loopt gegeven de begroting van Delfland in de orde grootte van tientallen tot honderden miljoenen. Daartegenover staat natuurlijk dat bij ontwikkeling van iedere woonwijk ook rekening moet worden gehouden met de waterzuivering.

De decentrale behandeling van het grijs en donker water gebeurt in de Decentrale Zuiverings- en ValorisatieInrichting (DZVI). Met grond- en gebouwkosten is in de kostenopstelling geen rekening gehouden.

FIGUUR 20

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SCENARIO 5



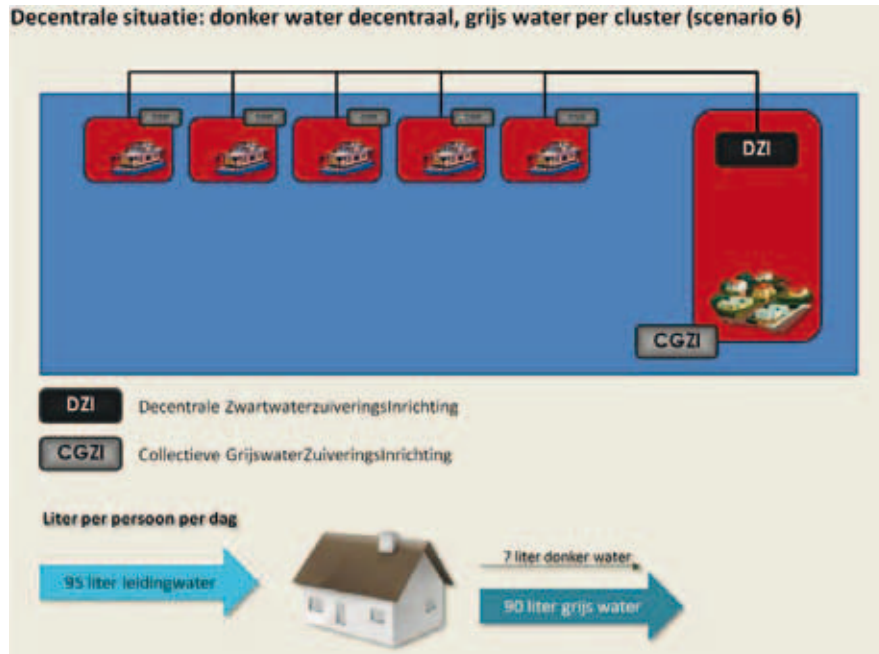
Scenario 5 richt zich op de behandeling van geel water. Bedoeling is dat zoveel mogelijk nutriënten en farmaceutische residuen bij de AWZI worden weggehouden (geel water bevat de meeste nutriënten en hormoon- en medicijnresten, zie bijlage 1). En bovendien dat de nutriënten kunnen worden teruggewonnen en prioritaire stoffen zo efficiënt mogelijk kunnen worden verwijderd in een zo geconcentreerd mogelijke stroom.

In de kostenopstelling wordt uitgegaan van luchtstrippen van het geel water (zie bijlage 4). Met behandeling van farmaceutische residuen is geen rekening gehouden. Grond en gebouwkosten zijn buiten beschouwing gelaten. Wel is gerekend met de meerkosten van productie van vloeibaar ammoniumsulfaat.

In de woonwijk wordt het geel water per buis ingezameld. Op de eilanden wordt het opgeslagen en periodiek per vrachtwagen opgehaald en voor behandeling naar de zuivering in/nabij de woonwijk gebracht.

FIGUUR 21

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN SCENARIO 6



In **scenario 6** is de grijswaterzuivering primair gericht op lozing op het oppervlaktewater. Eventuele opwaardering tot gietwater wordt overgelaten aan de glastuinbouwsector zelf die daartoe oppervlaktewater kan innemen. De grijswaterzuivering wordt logisch afgestemd op de gebiedsinrichting en de bouwfaserings. Belangrijk in het ontwerp is dat de grootste vuillast apart wordt gehouden en decentraal wordt behandeld. Dit gebeurt - net als in scenario 4 - in een DZI.

5.2 KOSTEN EN BATEN

In tabel 6 zijn de berekende kosten van de waterbehandeling voor de verschillende scenario's naast elkaar gezet. Zo worden bovendien gerelateerd aan de relevante heffingsinkomsten (waterketen- en afvalstoffenheffing).

KOSTENVERGELIJKING

De kosten van decentrale waterbehandeling blijken aanmerkelijk hoger dan in de referentie. Alleen scenario 5 (aparte inzameling van geel water) springt er nog relatief gunstig uit. De vraag is dan of de meerkosten worden gecompenseerd door extra inkomsten.

VERVUILINGSEENHEID (V.E.)

Als referentie voor de inkomsten wordt uitgegaan van € 55,- per v.e. Feitelijk ligt de heffingsvoet voor 2009 in Delfland hoger (€ 65,- per v.e.). Bovendien wordt voor de periode 2009-2013 een jaarlijkse stijging van 10% voorzien. Dit betekent een heffingsvoet per v.e. van ruim € 94,- in 2013. Uit de v.e. heffing moeten ook apparaatskosten worden gedekt. Met name ook de uitvoering van de Wvo wordt vanuit de v.e. bekostigd. Derhalve dat de inkomsten voor de referentie worden geënt op het net kostendekkende niveau van € 55,-.

AFVALSTOFFENHEFFING

Met de inzameling en behandeling van donker water neemt de waterzuiveraar een deel van de gemeentelijke afvalstoffentaak (inzameling GF) over. In de scenario's 3, 4 en 6 is derhalve een deel (ca 30%) van de afvalstoffenheffing aan de waterzuivering toegerekend.²¹

Scenario 6 komt daarmee, net als de referentie, op een kostendekkend niveau. De overige scenario's blijven meer of minder negatief. Merk op: hiermee is nog niet gezegd dat ombuiging van de afvalstoffenheffing daadwerkelijk valt te realiseren. Dat zal per geval moeten worden bekeken. Langjarige contracten rond afvalinzameling en -verwerking bijvoorbeeld kunnen hier roet in het eten gooien. Bovendien betreft het een potentiële besparing bij de gemeente, terwijl de kostenverzwaring ligt in de sfeer van het waterschap.

OMZET

Naast baten uit waterketenbelasting is er in diverse scenario's ook sprake van enige omzet. AquaterraNova²² bepaalde in 2007 de gewogen waarde van gietwater in de Polder Waalblok op 74 cent per m³. In het rapport KASZA²³ werd uitgegaan van een gietwaterinkoopsprijs die ligt tussen de 0,65 en 1,60 euro per m³. Voor een levensvatbare bedrijfsvoering moeten hieruit de organisatie, inkoop, opwaardering, opslag en distributie zijn te dekken.

In de kostenopstelling wordt gerekend op baten uit gietwaterafzet (€ 58.000 per jaar) en afzet van meststoffen (€ 5.250 en € 6.000 per jaar). Zie voor de verdeling over de verschillende scenario's tabel 7.

Alvorens het realistisch wordt om de gietwaterafzet aan het project toe te rekenen zullen echter heel wat meer-investeringen moeten worden ingecalculerd, zoals ruime gietwaterbuffers, infrastructuur voor transport en distributie en de uitvoeringorganisatie. Voor afzet van meststoffen hoeven minder investeringen te worden gedaan. De geschatte inkomsten zijn echter ook kleiner. Op de gehele kosten- en batenbegroting zijn ze nagenoeg verwaarloosbaar.

De valorisatie is allerm minst de kurk waar Nieuwe Sanitatie op kan drijven. De kern ligt toch bij de maatschappelijke watertaken en het milieubeheer. De energiecomponent (productie en benutting van biogas) komt in de berekeningen wel terug, als uitgespaarde beheerkosten (lagere energiekosten).

21 Rekening is gehouden met € 77,50 per huishouden (€ 31,- per v.e.). Tarieven voor de afvalstoffenheffing in de gemeente Westland bedragen in 2009: € 228,- voor eenpersoonshuishoudens, € 256,44 voor tweepersoonshuishoudens en € 284,88 voor meerpersoonshuishoudens.

22 Aqua-Terra Nova, Waterketen Polder Waalblok, Toepasbaarheid 4B-concept in polder Waalblok te 's-Gravenzande. De berekening betreft een gewogen gemiddelde van de kosten voor hemelwateropslag gesuppleerd met grondwater. De berekende waarde is onder andere gerelateerd aan de plaatselijke grondprijs, wegens het ruimtebeslag van de gietwateropslag.

23 STOWA, 2007-28 pagina 17.

TABEL 6 VERGELIJKING VAN DE BEREKENDE INVESTERINGEN EN JAARKOSTEN VAN DE CENTRALE EN/OF DECENTRALE WATERBEHANDELING IN DE DIVERSE SCENARIO'S, AFGEZET TEGEN INKOMSTEN UIT DE WATERKETEN- EN AFVALSTOFFENHEFFING

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
	Referentie	Config. 1	Config. 2	Config. 1	Config. 2	
Waterzuivering						
Investerings decentrale zuivering	€ 0	€ 666.000	€ 480.000	€ 1.671.109	€ 1.485.109	€ 1.688.583
Investerings centrale zuivering	€ 0	€ 168.000	€ 201.000	€ 0	€ 0	€ 0
Som investeringen waterzuivering	€ 0	€ 834.000	€ 648.000	€ 1.671.109	€ 1.485.109	€ 1.688.583
Kapitaalkosten decentrale zuivering						
Beheerkosten decentrale zuivering		€ 81.000	€ 47.000	€ 177.280	€ 143.280	€ 156.666
Exploitatiekosten decentrale zuivering	€ 0	€ 146.400	€ 46.000	€ 60.723	€ 207.123	€ 75.172
Exploitatiekosten centrale zuivering	€ 0	€ 227.400	€ 93.000	€ 384.403	€ 250.003	€ 231.838
Som exploitatiekosten waterzuivering	€ 150.089	€ 104.100	€ 104.100	€ 0	€ 0	€ 0
Som exploitatiekosten waterzuivering	€ 150.089	€ 331.500	€ 197.100	€ 384.403	€ 250.003	€ 231.838
Kosten per i.e.	€ 54	€ 120	€ 71	€ 139	€ 91	€ 84
Inkomsten v.e. en afvalstoffenheffing	€ 55	€ 55	€ 55	€ 86	€ 86	€ 86
Kosten (i.e.) – inkomsten (v.e.)	€ 1	-€ 65	-€ 16	-€ 53	-€ 5	€ 2

TABEL 7 OVERZICHT VAN POTENTIËLE INKOMSTEN (OMZET) UIT VALORISATIE (GIETWATER EN MESTSTOFFEN) VOOR 1200 WONINGEN PER JAAR

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
opbrengst gietwater/meststoffen	€ 0	€ 58.000	€ 6.000	€ 64.000	€ 5.250	€ 6.000

5.3 DE INTEGRALE AFVALWATERKETEN

BEKOSTIGING VAN DE AFVALWATERZUIVERING

In de centrale situatie vallen de kosten van de afvalwaterzuivering in de begroting van het waterschap. Bij de grondexploitatie wordt met deze kosten geen rekening gehouden. Ingezetenen gaan na ingebruikname van de woningen waterketenbelasting betalen. Hieruit worden beheer en stichtingskosten van het transportriool en de waterzuivering bekostigd.

In de decentrale situatie worden de feitelijke kosten van de afvalwaterzuivering zichtbaar. Indien en voor zover deze kosten voor rekening van de gemeente komen, kunnen ze zelfs in de grondexploitatie worden ingebracht. Dat zou betekenen dat niet het waterschap maar de gebate vastgoedeigenaren in het exploitatiegebied de stichtingskosten van hun zuiveringsinrichting dragen.

Dit kan een belangrijke drijfveer zijn om te kiezen voor decentrale oplossingen. De investeringen in de afvalwaterzuiveringsinrichting verdwijnen van de begroting van het waterschap. De waterbelastingen kunnen omlaag.

BEKOSTIGING VAN HET RIOOL

In de bekostiging van het riool is iets dergelijks al aan de orde. De aanlegkosten worden in de grondexploitatie gebracht. Uiteindelijk worden deze kosten opgebracht door de gebate vastgoedeigenaren. Vervolgens wordt het riool overgedaan aan de gemeente, die alleen de beheerkosten en vervangingsinvesteringen draagt. In tabel 8 wordt dat ook zichtbaar. De feitelijke jaarkosten van de riolering (€ 318.009) zijn veel hoger dan de opbrengsten uit de rioolheffing (€ 154.800). In de referentiesituatie (scenario 1) ziet dit er als volgt uit.

TABEL 8

JAARKOSTEN EN HEFFINGSINKOMSTEN VAN DE RIOLERING IN DE REFERENTIESITUATIE (SCENARIO 1)

Riolering	
Kapitaalkosten riolering	€ 281.797
Beheerkosten riolering	€ 36.212
Jaarkosten riolering	€ 318.009
Inkomsten rioolheffing	€ 154.800
Saldo rioolheffing - beheer	€ 118.588

Het tekort bedraagt € 163.209,- per jaar. Aangenomen dat de investeringen in de grondexploitatie vallen is er echter sprake van een overschot van € 118.588,-.

Vanuit dit overschot zullen de reserveringen voor de vervangingsinvesteringen moeten worden bekostigd. Gegeven een rekenlevensduur van het riool van 50 jaar kan hier vijftig jaar over worden gespaard.

In de praktijk worden deze voorzieningen echter niet getroffen. Wel zijn thans de vervangingsinvesteringen aan de orde voor de oude rioleringen die met een piek in de jaren zestig zijn aangelegd, en waarvoor vijftig jaar geleden direct na oplevering ook geen vervangingsreserves zijn gevormd. In de komende jaren zal dit naar verwachting worden gecompenseerd door een significante stijging van de rioolheffing.

BEKOSTIGING VAN DE AFVALWATERKETEN

In de decentrale situaties vormen de riolering en de waterzuivering binnen het exploitatiegebied een logisch geheel. Wat nu, als beide in één exploitatie worden betrokken, waarbij wordt aangenomen dat de aanleg van het riool via de grondexploitatie wordt bekostigd. Uit de riool- en waterketenbelasting moet dan de stichting van de decentrale zuiveringsinrichting worden gedekt, alsmede het beheer van de integrale afvalwaterketen (riool en zuivering).

Bij deze integrale benadering van de afvalwaterketen (tabel 9) blijken de saldi van de meeste scenario's best binnen een redelijke bandbreedte te blijven ten opzichte van de referentie (scenario 1). Alleen in de varianten met 'ontzouting' ('configuratie 1', waar het gietwater voor de glastuinbouw wordt gemaakt) ontstaan negatieve saldi. Scenario 6 pakt zelfs beter uit dan de referentie.

In het overzicht is wel rekening gehouden met ombuiging van een deel van de afvalstoffenheffing, gelet op de inzameling van keukenafval. Maar stel dat deze ombuiging niet aan de orde is, dan nog blijft in de donkerwaterscenario's het saldo positief.

TABEL 9 JAARKOSTEN EN HEFFINGSINKOMSTEN VAN DE INTEGRALE AFVALWATERKETEN INCLUSIEF OMBUIGING VAN AFVALSTOFFENHEFFING WEGENS INZAMELING EN BEHANDELING VAN ORGANISCH KEUKENAFVAL

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Scenario 4	Scenario 5	Scenario 6
	Centraal: transport naar en behandeling in AWZI.	Hybride: grijs water decentraal, zwart centraal. Gietwater.	Hybride: donker water decentraal, grijs water centraal	Decentraal: donker en grijs water. Gietwater.	Hybride: geel water apart. Rest naar AWZI.	Decentraal: donker en grijs water. Grijs water per cluster.
	Referentie	Config. 1	Config. 2	Config. 1	Config. 2	
Integrale waterketen (riool en zuivering)						
<i>Beheerkosten riolering</i>	€ 36.212	€ 54.279	€ 52.093	€ 49.798	€ 51.552	€ 44.949
<i>Som exploitatiekosten waterzuivering</i>	€ 150.089	€ 331.500	€ 253.403	€ 384.403	€ 250.003	€ 231.838
Jaarkosten integrale afvalwaterketen	€ 186.301	€ 385.779	€ 305.496	€ 434.201	€ 299.801	€ 276.787
<i>Inkomsten rioolheffing</i>	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800	€ 154.800
<i>Toekenning afvalstoffenheffing</i>	€ 0	€ 0	€ 96.000	€ 96.000	€ 96.000	€ 96.000
<i>Inkomsten vervuilingseenheden</i>	€ 165.000	€ 165.000	€ 165.000	€ 165.000	€ 165.000	€ 165.000
<i>Som heffingsinkomsten</i>	€ 319.800	€ 319.800	€ 415.800	€ 415.800	€ 415.800	€ 415.800
Saldo	€ 133.499	-€ 65.979	€ 68.421	-€ 18.401	€ 107.834	€ 139.013

6

GEKOZEN BEHANDELINGSTECHNIEKEN

6.1 INLEIDING

Voor deze studie zijn tal van afvalwaterbehandelingstechnieken geïnventariseerd en globaal beoordeeld (zie bijlage 2, terugwinning van nutriënten). Voor de scenario-uitwerking is vervolgens een keuze gemaakt uit de meest passende technieken. De mogelijkheid van terugwinning en hergebruik van grondstoffen was daarbij leidend. Globaal is daarbij gekeken naar de behoeften van de Nederlandse glastuinbouw. Algemene vaststellingen die daarbij zijn gedaan zijn:

- Suppletiewater moet worden ontzout en ontsmet (exacte waarden voor ontzouting en ontsmetting zijn niet bepaald).
- In de Nederlandse glastuinbouw worden hoofdzakelijk vloeibare meststoffen gebruikt.

Op basis van de scenario-uitwerking kan worden geconcludeerd dat productie van gietwater voor de glastuinbouw i.c. niet opportuun is. Verdere uitwerking van de randvoorwaarden hiervoor lijkt dan ook overbodig.

Tevens kan worden geconcludeerd dat vervaardiging van vloeibare meststoffen mogelijk is. De potentiële omzet hieruit is echter gering. Voor een goede beoordeling van de meest wenselijke inrichting van de Decentrale ZwartwaterzuiveringsInrichting (DZI) moet derhalve niet primair worden gekeken naar de geschiktheid van de meststoffen voor de glastuinbouw. Er zal primair moeten worden gekeken naar de kosten en baten gelet op het zuiveringsrendement. Dat is i.c. niet gebeurd. Het is derhalve denkbaar dat bij andere inrichting van de DZI tegen lagere kosten een beter zuiveringsrendement kan worden behaald, hetgeen kan leiden tot een verdere optimalisatie van de decentrale zuiveringsinrichting.

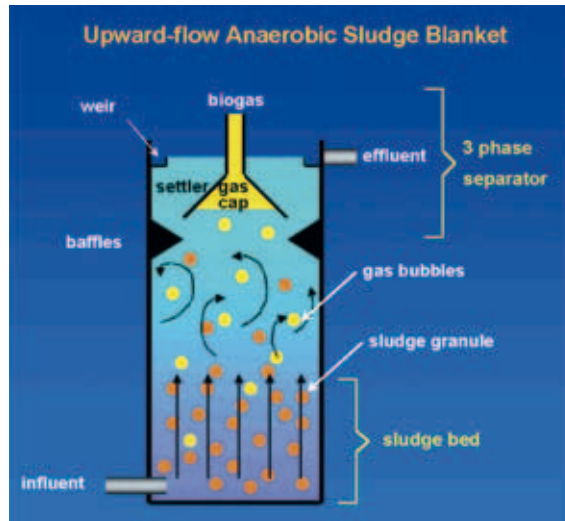
In dit hoofdstuk volgt een korte beschrijving van de behandelingstechnieken die aan de scenario-uitwerking ten grondslag liggen. Voorontwerp en kostenopstelling zijn te vinden in bijlage 3 (voorontwerp anaerobe vergisting) bijlage 4 (voorontwerp luchtstrippen) en bijlage 5 (grijswaterbehandeling tot gietwater).

6.2 ANAEROBE VERGISTING VAN DONKER WATER

De sleuteltechnologie voor de donkerwaterbehandeling (scenario 3, 4 en 6) is anaerobe vergisting. In de scenario-uitwerking wordt dit uitgevoerd middels een Upflow Anaerobic Sludge Bed reactor (UASB). De anaerobe vergisting is nader toegelicht en uitgewerkt in bijlage 3 (voorontwerp anaerobe vergisting).

FIGUUR 22

SCHEMA UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BED REACTOR (UASB) VOOR ANAEROBE VERGISTING. BRON: WWW.UASB.ORG



Anaerobe vergisting wordt toegepast bij de behandeling van afvalwater met een hoog organische stof gehalte (10.000 – 30.000 mg CZV/l). Het proces heeft een aantal voordelen ten opzichte van aerobe systemen. De slibproductie is veel lager waardoor de slibverwerking en afzetkosten minimaal zijn. De belasting van het proces is vele malen hoger dan bij aerobe zuivering en kan wel 30 kg CZV *m³*d⁻¹ bedragen. Aerobe zuivering kan daarentegen hooguit 3 kg CZV *m³*d⁻¹ omzetten. De constructie van een anaeroob systeem is over het algemeen simpel en daardoor relatief goedkoop. De energiekosten zijn laag (0,05 – 0,1 kWh/m³) en bij gebruik van het geproduceerde methaan mogelijk zelfs nihil. Per kg omgezette CZV wordt 0,26 – 0,34 m³ methaan gevormd. De stookwaarde daarvan bedraagt 9,3 – 12,2 MJ. Voor 1200 woningen inclusief groenwaterinzameling zal het gaan om 131 m³ biogas ofwel 4,7 GJ per dag. Dat is ongeveer gelijk aan de dagelijkse gemiddelde warmtevraag (ruimteverwarming en warm tapwater) van ca 60 nieuwbouwwoningen (5% van het totaal).

Het geproduceerde methaan kan ter plekke worden omgezet in warmte en elektriciteit. Deze kan worden gebruikt om het proces in gang te houden, waardoor het netto energieverbruik van de inzameling en behandeling van het donker water beperkt blijft. In de kostenopzet voor de scenario's 3, 4 en 6 zijn naast de vergister (UASB) ook kosten opgenomen voor opslag van het biogas en omzetting daarvan in elektriciteit en warmte (mini-WKK).²⁴

Na vergisting resteert naast het biogas, een vaste fractie (het donkerwaterslib; 47 kg droge stof per dag) en een vloeibare fractie (het donkerwater-effluent; ca 18,5 m³ per dag).

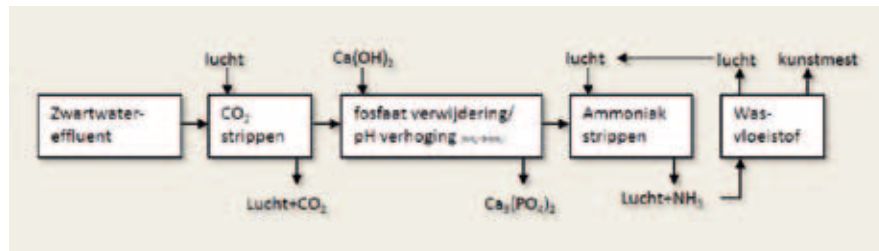
De vaste fractie, het donkerwaterslib, is qua samenstelling toepasbaar als meststof / bodemverbeteraar. Wel moet worden gelet op mogelijke aanwezigheid van zware metalen. In vergelijking tot RWZI-slib bevat het zwartwaterslib weinig zware metalen. Vergeleken met kunstmest scoort het slib aanzienlijk beter in de waarden voor lood, chroom en cadmium. De waarden voor zink, nikkel, kwik en koper zijn echter minder goed dan bij kunstmest, en zijn eerder vergelijkbaar met de waarden voor dierlijke mest. Het uitgestorte slib kan niet direct worden hergebruikt in de glastuinbouw, vanwege de aanwezigheid van pathogenen en medicijnresten.

²⁴ WKK staat voor Warmte en Kracht Koppeling. Het is de aanduiding voor een energieomzettingsinstallatie die gelijktijdig elektriciteit en warmte produceert.

6.3 LUCHTSTIPPEN VAN DONKER EN GEEL WATER

De vloeibare fractie, het donkerwatereffluent, wordt in de scenario's 3, 4 en 6 verder behandeld. Hier is gekozen voor het gecombineerde proces van calciumfosfaatprecipitatie en luchtstrippen van ammoniak. De keuze is nader toegelicht in bijlage 2 (terugwinning van nutriënten). De integrale strippinglijn (figuur 23) is vervolgens uitgewerkt in bijlage 4 (voorontwerp luchtstrippen).

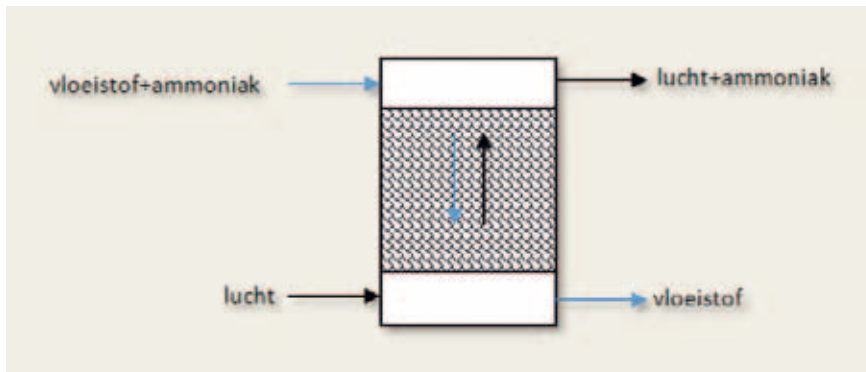
FIGUUR 23 PROCESSHEMA VAN DE INTEGRALE STRIPPINGLIJN VOOR BEHANDELING VAN ZWART- OF DONKERWATEREFFLUENT (NA VERGISTING). TERUGWINNING VAN GROND- EN MESTSTOFFEN



Het precipitatie- en stripproces voorziet in terugwinning van meststoffen uit het afvalwater. Dit in de vorm van calciumfosfaat $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ en een stikstofverbinding, al naar gelang de wens: ammoniumnitraat NH_4NO_3 , ammoniumsulfaat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ of ammoniumfosfaat $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$. Of de meststoffen die na luchtstrippen ontstaan qua aard, samenstelling en concentratie ook daadwerkelijk geschikt zijn voor de glastuinbouw is vooralsnog niet vastgesteld.

Luchtstrippen (het strippen van ammoniak uit een oplossing, figuur 24) is een op praktisch-schaal bewezen technologie. In de uitwerking (bijlage 4) is gerekend met een terugwinningsrendement van >90% van de aanwezige stikstof (>95% wordt haalbaar geacht).²⁵

FIGUUR 24 PRINCIPE VAN LUCHTSTRIPPEN IN EEN STRIPTOREN



²⁵ Het zuiveringsrendement (stikstofverwijdering) van de hedendaagse AWZI's ligt rond de 80%.

TERUGWINNING VAN FOSFOR

Meer nog dan stikstof is terugwinning en hergebruik van fosfor gewenst. Naar huidige schattingen raken de thans beschikbare fosfaatvoorraden nog voor de eeuwwisseling uitgeput. Er zal moeten worden omgezien naar andere fosfaatbronnen, zoals hergebruik. Indien alle fosfor die aanwezig is in donker water in Nederland zou worden hergebruikt zou dit kunnen voorzien in 45% van het huidige Nederlandse kunstmestverbruik.²⁶

In bijlage 2 zijn diverse technieken voor terugwinning of verwijdering van fosfor uit afvalwater geïnventariseerd. Terugwinning kan geschieden middels precipitatie. Geschikte methoden zijn struviet- en calciumfosfaatprecipitatie. Beide leveren een neerslag die zou kunnen worden toegepast als vaste meststof. In het voorontwerp is uitgegaan van calciumfosfaatprecipitatie.

Met calciumfosfaatprecipitatie kan 75 - 85% van de aanwezige fosfor worden teruggewonnen (zie bijlage 2).²⁷ Het fosforverwijderingsrendement van de reguliere waterzuivering schommelt rond de 80%, met uitschieters tot 91%.²⁸

De fosforverwijdering kan worden gecompleteerd met behulp van aanvullende technieken. Zo kan met inzet van de groenblauwe omgeving (wetlands, figuur 25) een verdere verwijdering tot 99% worden gehaald (zie bijlage 2). Toepassing van wetlands heeft ook ruimtelijke implicaties. Deze passen echter goed bij het bestemmingsplan voor het Nieuwe Water, waarin groenblauwe natuur is voorzien, en zelfs de aanleg van een zuiveringsmoeras wordt overwogen.²⁹

FIGUUR 25

GROEN BLAUWE NATUUR INGEZET VOOR WATERZUIVERING. STEDELIJKE EMISSIES EN REGENEREREND VERMOGEN VAN DE NATUUR MET ELKAAR IN BALANS GEBRACHT. BRON: WWW.NIEUWENUTS.NL



26 De berekende fosforvrucht van al het Nederlandse 'donker water' bedraagt 9.500 ton per jaar. Het Nederlandse fosfaatverbruik via kunstmest bedraagt 21.000 ton per jaar. Indien 100% van het fosfor zou worden teruggewonnen zou dat 45% van de kunstmestbehoefte kunnen dekken.

27 Met struvietprecipitatie kan tot 95% van de fosfor worden teruggewonnen (zie bijlage 2).

28 Bron: Stichting Rioned, 'Riool in Cijfers 2009 - 2010' (peildatum 1-1-2008).

29 Zie toelichting bestemmingsplan "Het Nieuwe Water" p. 31.

GEEL WATER (SCENARIO 5)

De integrale strippinglijn is ook onderdeel van scenario 5. In dit geval wordt geen donkerwatereffluent behandeld, maar het ingezamelde geel water. Ook dit is nader uitgewerkt in bijlage 4 (voorontwerp luchtstrippen).

6.4 BEHANDELING VAN GRIJS WATER

Bij behandeling van grijs water is allereerst gedacht aan terugwinning van het water in de vorm van verkoopbaar gietwater voor de glastuinbouw. Hiervoor is in bijlage 5 (grijswaterbehandeling tot gietwater) een tweetal configuraties uitgewerkt. Eén met ontzouting middels omgekeerde osmose (RO) en één zonder.

In de scenario-uitwerking is vastgesteld dat de variant met ontzouting (configuratie 1, RO) financieel ongunstig uitpakt. Daarbij komt dat er dagelijks door de ontzouting 50 m³ brijn ontstaat; 1/5 deel van het totale grijswateraanbod. Dit moet worden opgeslagen en bijvoorbeeld per vrachtwagen worden afgevoerd.

Voor de variant zonder ontzouting (configuratie 2, UV) is het de vraag of dit water als gietwater aan de glastuinbouw kan worden verkocht. Voor de zoutgevoelige gewassen is leidingwater al te zout. En grijs water is, met name vanwege het (af)waswater zelfs nog iets zouter (zie bijlage 1, huishoudelijk afvalwater).

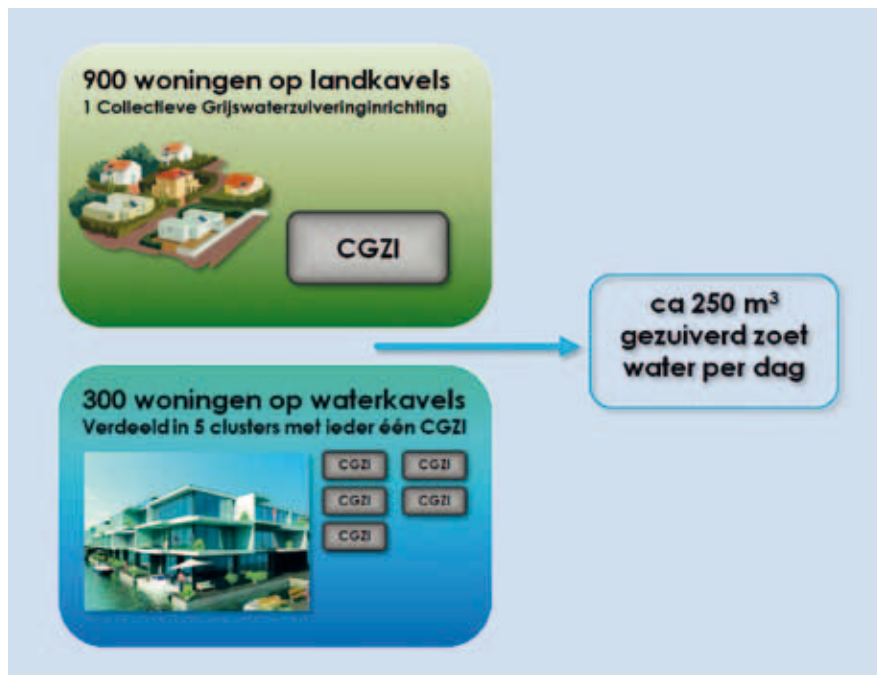
In de variant met ontzouting pakt de financiële calculatie inclusief de buffering van het geproduceerde gietwater voor één dag al negatief uit. In de praktijk zal echter rekening moeten worden gehouden met een veel grotere buffer, grondkosten en de logistiek om het gietwater daadwerkelijk te leveren. Al met al moet worden geconcludeerd dat gietwaterproductie als onderdeel van de decentrale afvalwaterbehandeling i.c. niet opportuun is.

Dat neemt echter niet weg dat het gezuiverde grijs water indirect wel een functie kan hebben voor het lokale watersysteem én de glastuinbouw. Door het water in het gebied te houden wordt immers een extra zoetwaterbron gecreëerd die het watersysteem - ook in de droge tijd - blijft voeden.

Dit laatste is de gedachte bij scenario 6. Hier wordt niet gepoogd het grijswater op te werken tot gietwater. In plaats daarvan wordt het gezuiverd en geloosd op het oppervlakte water. Eventueel wordt ook hierbij de groen/blauwe omgeving gericht ingezet voor nazuivering / instelling van een stabiel dynamisch evenwicht tussen de zuiveringslast van de gebouwde omgeving en het zuiveringsvermogen van de groen/blauwe natuur waarin deze is gesitueerd.

FIGUUR 26

ZES CLUSTERS MET IEDER EEN EIGEN COLLECTIEVE GRIJSWATERZUIVERINGSINRICHTING (CGZI) LEVEREN SAMEN EEN ZOETWATERDEBIET VAN CA 250 M³ PER DAG



In de kostenopstelling voor scenario 6 zijn zes Collectieve Grijswater-ZuiveringsInrichtingen (CGZI's) opgenomen. Eén voor ieder eiland en één voor de woonwijk. Het zuiveringsrendement van de decentrale grijswaterbehandeling is in deze studie niet nader bepaald. Evenmin is gekeken naar de Wvo-vergunningkosten en -eisen ingeval van lozing op het oppervlaktewater. Dit alles zal ingeval van feitelijke realisatie nader moeten worden bekeken en ontworpen.

6.5 BEHANDELINGSINRICHTINGEN

In de zes scenario's worden de in dit hoofdstuk genoemde behandelingstechnieken al dan niet gecombineerd in decentrale behandelingsinrichtingen. Voor de diverse inrichtingen die dit oplevert zijn in dit rapport verschillende namen geïntroduceerd. In scenario 2 is sprake van een inrichting voor Decentrale Grijswaterbehandeling en GietwaterBereiding (DGGB). In dit scenario wordt primair aangekoerst op productie van gietwater uit het grijs water. Geconcludeerd moet echter worden dat dit i.c. een weinig aantrekkelijk scenario is.

In scenario 3 en 6 is sprake van een Decentrale ZwartwaterzuiveringsInrichting (DZI).³⁰ Hierin wordt louter het zwart (of eigenlijk het donker water, dus zwart en groen water) behandeld. Het grijs water wordt elders behandeld.

In scenario 4 is sprake van een Decentrale Zuiverings- en ValorisatieInrichting (DZVI). Hier zijn de behandeling van het zwart (of donker) water en het grijs water in één wijksysteem betrokken.

Voor scenario 5 wordt gesproken van een Decentrale GeelwaterzuiveringsInrichting (DGI). Feitelijk gaat het hier om een kleine variant van de DZI (de strippinglijn voor verwijdering en terugwinning van stikstof en fosfor), echter zonder de anaerobe vergister.

³⁰ Omdat ook het groen water (organisch keukenafval ingezameld per vacuümriool) in de DZI wordt verwerkt zou ook kunnen worden gesproken van een Decentrale DonkerwaterzuiveringsInrichting (DDI).

In scenario 6 wordt naast de DZI de Collectieve GrijswaterZuiveringsInrichting (CGZI's) geïntroduceerd. Hiervan kunnen er meerdere verspreid door de woonijk liggen. De combinatie van DZI en CGZI's kan weer met DZVI worden aangeduid.

FIGUUR 27

BINNEN DE DECENTRALE ZUIVERINGS- EN VALORISATIEINRICHTING (DZVI) WORDEN TWEE SOORTEN INRICHTINGEN ONDERSCHIEDEN: ÉÉN VOOR GRIJS EN ÉÉN VOOR ZWART OF DONKERWATERZUIVERING. IN SCENARIO 6 GESCHIEDT DE GRIJSWATERBEHANDELING IN COLLECTIEVE GRIJSWATERZUIVERINGSINRICHTINGEN (CGZI'S) EN DE DONKERWATERZUIVERING IN DE DECENTRALE ZWARTWATERZUIVERINGSINRICHTING (DZI). DE CGZI'S WORDEN PER CLUSTER VAN WONINGEN AANGELEGD. DE DZI VOOR HET GEHELE NIEUWBOUWPROJECT VAN 1200 WONINGEN



In de kostenopstelling van de scenariouitwerking zijn huisvestingskosten (grond en gebouw) buiten beschouwing gelaten. Deze kunnen voor scenario 4 en 6 worden begroot op circa € 365.000,-. Het gaat daarbij om een gebouw met een oppervlakte van ca 64 m² en een hoogte van ca 6 meter. Gerekend wordt op een totaal ruimtebeslag van 100 m².

Voor scenario 5 zullen de omvang en kosten van het gebouw kleiner /lager uitvallen.

DEEL 3

ALGEMENE BESCHOUWINGEN

7

ALGEMENE BESCHOUWINGEN

7.1 EIGENDOM EN BEHEER

In de scenario-uitwerking begint de afvalwaterketen in de woning, waar bijzondere voorzieningen worden getroffen ten behoeve van de gescheiden inzameling van het afvalwater en organisch keukenafval. De kosten hiervan vallen in de bouwkosten en de verantwoordelijkheid voor de voorzieningen ligt in principe bij de eigenaar / gebruiker van de woning.

FIGUUR 28 DE AFVALWATERKETEN VOLGENS SCENARIO 6. HET GRIJSWATERSYSTEEM EN HET ZWART- OF DONKERWATERSYSTEEM ALS INTEGRALE KETENS. WAAR LIGGEN DE DEMARCATIES VOOR EIGENDOM EN BEHEER?



In de openbare ruimte ligt infrastructuur waarmee het ingezamelde afvalwater gescheiden wordt afgevoerd naar decentrale behandelingsinrichtingen. In scenario 6 gaat het om een vacuümleiding naar de DZI, en vrijvervalriool dat leidt naar één van de zes CGZI's in de woonwijk. De aanlegkosten vallen doorgaans in de grondexploitatie, en de eigendom rust doorgaans bij de gemeente.

Afgezien van het gebruik van andere technologieën is er in de woning en openbare ruimte in de decentrale scenario's nog weinig bijzonders aan de hand. Bij de afvalwaterbehandeling wordt dat anders. Normaal gesproken is de afvalwaterbehandeling buiten de woonwijk gesitueerd en bestaat er geen direct verband tussen de vaste kosten ervan en aansluiting van de woonwijk.

In de decentrale situatie wordt de behandelingsinrichting echter specifiek voor de woonwijk ontworpen en ook in of nabij de woonwijk gesitueerd. Daarbij ontstaat een direct verband tussen de behandelingsinrichting en de woonwijk. Dat doet de vraag rijzen of de kosten van de behandelingsinrichting niet net als de riolering in de grondexploitatie kunnen worden gebracht. In het verlengde daarvan doemen vragen op over de taakverdeling tussen ontwikkelaar, gemeente en waterschap. Met name bij de CGZI's ligt in dit verband een vergelijking met de individuele afvalwaterbehandelingsystemen (IBA's) van huishoudens die niet op het gemeentelijk riool zijn aangesloten, voor de hand.

IBA's zijn veelal particulier bezit. Het komt ook voor dat IBA's niet individueel zijn, maar 'collectief', en behoren bij een cluster van huishoudens. Ook dan kan het gaan om particulier bezit. Daarnaast bestaat in het Delfland een regeling voor IBA's die zijn aangelegd onder het 'IBA-project'.³¹ Hier is nu juist geen sprake van particulier bezit. Zelfs de IBA's in particuliere grond worden hier via een opstalrecht in de publieke sfeer getrokken. De gemeente is eigenaar en het Hoogheemraadschap is verantwoordelijk voor het beheer, dat feitelijk aan een onderhoudsbedrijf wordt uitbesteed.

Tegen deze achtergrond kan de vraag worden gesteld aan wie die CGZI's moeten toebehoren. Worden deze eigendom van de gebate vastgoedeigenaren, of van de gemeente als onderdeel van het gemeentelijk riool, of van het waterschap, als onderdeel van de waterzuivering? Het antwoord op deze vraag heeft consequenties voor bekostiging van zowel aanleg als exploitatie van het grijswatersysteem.

Theoretisch kan deze vraagstelling zelfs de gehele decentrale zuiveringsinrichting (DZVI) betreffen, waarmee nieuwe vragen opdoemen ten aanzien van het eigendom en beheer. Ter verkenning van het speelveld worden enkele scenario's aangereikt (tabel 10).

TABEL 10

VERKENNING VAN SCENARIO'S VOOR BEKOSTIGING EN EIGENDOM VAN DE DECENTRALE WATERZUIVERINGSINRICHTINGEN

Scenario	Beschrijving
1. Zelfvoorziening	De DZVI wordt bekostigd via de grondexploitatie. De gebate vastgoedeigenaren met aansluiting op het systeem worden gezamenlijk eigenaar ('Nieuwe Nuts'). ³²
2. Commercieel privaat	De DZVI wordt bekostigd door een private partij, die de waterzuivering exploiteert vanuit een winsttoegmerk.
3. Door het Hoogheemraadschap	Het Hoogheemraadschap neemt de DZVI in eigen beheer.
4. Vanwege het Hoogheemraadschap	Het Hoogheemraadschap is eigenaar van de DZVI maar besteedt het beheer uit aan een marktpartij.
5. Speciale entiteit met:	Belanghebbenden richten gezamenlijk een entiteit op waarin eigendom en beheer van het integrale systeem (inzameling en zuivering) worden ondergebracht. Hierin zijn bovendien weer varianten te benoemen, zoals een puur publieke vorm (gemeente en waterschap hebben gezamenlijk 100% eigendom), en varianten waarin niet-overheidspartijen participeren. Te denken valt aan participatie van de eindgebruikers (die via de grondexploitatie een groot deel van het risicodragend vermogen leveren) of een marktpartij die mee-investeert in de DZVI.
a. eigenaren/aandeelhouders louter uit de kring van de overheid (5a);	
b. participatie van eindgebruikers (5b)	
c. participatie van commerciële private partijen (5c)	
6. Door de gemeente	De gemeente trekt bekostiging van de DZVI naar zich toe. Daarmee ontstaat een grond om de DZVI langs publiekrechtelijke weg in de grondexploitatie te betrekken.

31 Zie: <http://www.hhdelfland.nl/projecten/iba-project/> (2009)

32 Dit scenario sluit aan bij het InnovatieNetwerk-concept Nieuwe Nuts. Dit concept is ontwikkeld in anticipatie op de ontwikkeling van decentrale nutsvoorzieningen die specifiek zijn geënt op lokale winstpotenties voor mens en milieu. Meer informatie hierover is te vinden via www.nieuwenuts.nl.

In verschillende scenario's zou het zelfs voor de hand liggen om waterzuivering en riolering in één eigendomsstructuur te betrekken. De bestaande taakscheiding tussen gemeente en waterschap wordt dan verlaten. In plaats daarvan komt dan een gebiedsgerichte organisatie van de integrale afvalwaterketen.

De scheidslijn zou ook kunnen worden getrokken tussen het grijswatersysteem en het zwartwatersysteem. Het grijswatersysteem kan qua fasering goed meegaan in de realisatie van de woningen. Bovendien is het te zien als verlengstuk van de riolering, waarbij kan worden volstaan met een passiever beheer. Het zwartwatersysteem vergt daarentegen een actief beheer. Bovendien is het gedimensioneerd op gebiedsniveau, waarbij de investeringen waarschijnlijk vooruit zullen lopen op de realisatie van het gehele nieuwbouwproject.

7.2 SAMENHANGEN

Deze studie is opgestart met de gedachte van samenhang tussen de huishoudelijke afvalwaterketen en de watervoorziening in de glastuinbouw. Anders dan in eerdere studies is daarbij de één op één relatie tussen kas en woonwijk verlaten. In plaats daarvan is uitgegaan van een modulaire benadering, met het huishoudelijk afvalwater als uitgangspunt, geplaatst in de context van de integrale gebiedsontwikkeling van de Poelzone.

Uit de scenario-uitwerking (zie Deel 2) blijkt dat productie van gietwater als onderdeel van de huishoudelijke waterzuivering van 1.200 woningen niet opportuun is. Dit hangt vooral samen met de benodigde opslagcapaciteit, brijnproductie, organisatie en distributieinfrastructuur. Deze zijn niet rendabel in te passen in de huishoudelijke afvalwaterketen van 1.200 woningen.

Dat neemt echter niet weg dat het gezuiverde grijs water weldegelijk als bron zou kunnen dienen voor productie van suppletiewater. Bijvoorbeeld door het te lozen op het oppervlaktewater waarna het door tuinbouwbedrijven weer wordt ingenomen ter bereiding van gietwater. Dit water zal niet de eerste keus hebben, maar toch, in geval van droogte zal men moeten roeien met de riemen die er zijn.

WATERWEB

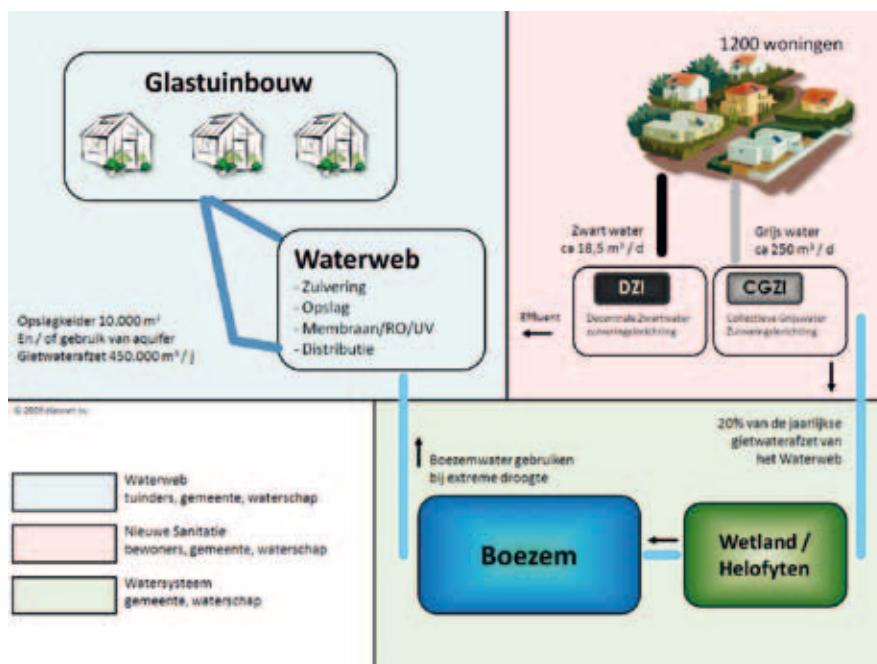
Op groter schaalniveau worden in en rond de Poelzone voorbereidingen getroffen voor een 'waterweb'. De glastuinbouw neemt hier zelf collectieve verantwoordelijkheid voor de suppletiewatervoorziening. Onderdeel daarvan zijn nu juist de zaken die ontbreken om het geproduceerde gietwater daadwerkelijk te kunnen afzetten: collectieve voorzieningen voor opslag van het suppletiewater, organisatie, transport en distributie.

Eén van de mogelijke suppletiewaterbronnen is het oppervlaktewater, dat in scenario 6 wordt gevoed met het gezuiverde grijs water. Feitelijk wordt de boezem gebruikt als zoetwateropslag. De glastuinbouw trekt water in, indien en voor zover ze dat nodig heeft. De opwaardering tot suppletiewater neemt ze voor eigen rekening. Aldus ontstaat er toch een samenhang, terwijl de verschillende functies autonoom co-existeren.

Door deze collectieve voorziening ontstaat bovendien het schaalniveau waardoor kan worden geïnvesteerd in alternatieven voor injectie van brijn in de bodem. Daarbij kan onder andere worden gedacht aan afvoer naar zee of injectering in diepe zoute bodemlagen (> 100 m diepte). Ook kan worden gedacht aan inzet van nieuwe technologieën zoals Memstill (TNO) en vrieskristallisatie (TUD).

FIGUUR 29

SAMENHANG VAN NIEUWE SANITATIE VOOR HET NIEUWE WATER, DE GROEN-BLAUWE OMGEVING EN DE GLASTUINBOUW



Tegen deze achtergrond ligt het voor dat hand dat scenario 6 en scenario 4 nader worden uitgewerkt waarbij de investeringen niet zijn gericht op gietwaterproductie, maar op zuivering van het grijs water tot een aanvaardbare norm, eventueel te ontwerpen in samenhang met het regenererend vermogen van de groen-blaauwe natuur.

NATUURVRIENDELIJKE OEVERS

In het bestemmingsplan van het Nieuwe Water wordt gerekend op aanleg van natuurvriendelijke oevers. Deze oevers kunnen een functie krijgen voor de water(na)zuivering en ecologische waterkwaliteit. Een combinatie met Nieuwe Sanitatie kan de betekenis en innovatiewaarde van die natuurvriendelijke oevers sterk vergroten.

CENTRAAL EN DECENTRAAL VERGELEKEN

In het project 'Hergebruik van effluent' onderzoekt het Hoogheemraadschap van Delfland in samenwerking met Evides, Veolia, Rossmark, Delfluent Services en de TU Delft op welke wijze effluent van de AWZI Harnaschpolder bruikbaar gemaakt kan worden als gietwater voor kassen. Daarbij wordt ook in overweging genomen om het effluent in te zetten als zoetwatervoeiding voor het boezemsysteem (zelfvoorzienendheid regionale watersystemen).

In het project Nieuwe Sanitatie Poelzone gaat – zoals het er nu naar uit ziet - hetzelfde gebeuren maar dan op het schaalniveau van de woonwijk. Bovendien wordt gebruik gemaakt van bronscheiding en innovatieve zuiveringstechnieken.

Door de resultaten van beide projecten naast elkaar te zetten kunnen de voor en nadelen van de centrale en decentrale aanpak op basis van praktijkgegevens tegen elkaar worden afgewogen.

ENERGIENETWERK

Voor de ontwikkeling van Het Nieuwe Water wordt aangestuurd op de aanleg van een energienetwerk, waarop zowel de woningen als omliggende kassen aangesloten zijn. Primair wordt nu aangekoerst op het gebruik van aardwarmte al dan niet gecombineerd met restwarmte

van elektriciteitproductie. Een alternatief scenario is de inzet van warmtepompen en WKO-systemen.³³

De donkerwaterbehandeling kan hier op verschillende manieren van profiteren. Enerzijds kan een duurzame bron van warmte worden geboden op basis waarvan het zuiveringsproces kan worden geoptimaliseerd. Anderzijds kan geproduceerde restwarmte van de waterzuivering op het warmtenet worden ingevoed.

Toepassing van WKO-systemen zou ook kunnen profiteren van het Nieuwe Sanitatie-systeem, door restwarmte uit het grijswater terug te winnen en te benutten in het wijkverwarmingssysteem. Het gaat hier om een potentieel significante restwarmtebron.

7.3 MAATSCHAPPELIJKE BATEN

In dit rapport zijn verschillende voordelen van Nieuwe Sanitatie naar voren gekomen. In deze paragraaf staan de belangrijkste nog eens op een rij. Dit maal op een hoger abstractieniveau en afgezet tegen bestaande en/of maatschappelijk wenselijke kaders.

1 Voorkeursvolgorde Wet milieubeheer

Voor de aanpak van afvalwater geldt een wettelijke voorkeursvolgorde (art. 10.29a Wet milieubeheer).

Artikel 10.29a Wm

Een bestuursorgaan houdt er bij het uitoefenen van een bevoegdheid krachtens deze wet, voor zover die bevoegdheid wordt uitgeoefend met betrekking tot afvalwater, rekening mee dat het belang van de bescherming van het milieu vereist dat in de navolgende voorkeursvolgorde:

- a het ontstaan van afvalwater wordt voorkomen of beperkt;
- b verontreiniging van afvalwater wordt voorkomen of beperkt;
- c afvalwaterstromen gescheiden worden gehouden, tenzij het niet gescheiden houden geen nadelige gevolgen heeft voor een doelmatig beheer van afvalwater;
- d huishoudelijk afvalwater en, voor zover doelmatig en kostenefficiënt, afvalwater dat daarmee wat biologische afbreekbaarheid betreft overeenkomt worden ingezameld en naar een inrichting als bedoeld in artikel 15a van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren getransporteerd;
- e ander afvalwater dan bedoeld in onderdeel d zo nodig na retentie of zuivering bij de bron, wordt hergebruikt;
- f ander afvalwater dan bedoeld in onderdeel d lokaal, zo nodig na retentie of zuivering bij de bron, in het milieu wordt gebracht en
- g ander afvalwater dan bedoeld in onderdeel d naar een inrichting als bedoeld in artikel 15a van de Wet verontreiniging oppervlaktewateren wordt getransporteerd.

Nieuwe Sanitatie is exemplarisch voor deze voorkeursvolgorde. Er ontstaat minder afvalwater (a). Het grootste deel van het afvalwater is minder vervuild (b.) en het sterk vervuilde water wordt gescheiden gehouden (c.). Toepassing en demonstratie van Nieuwe Sanitatie is derhalve niets anders dan doen wat door de wetgever als het meest wenselijk wordt beschouwd.

³³ WKO staat voor Warmte en Koude opslag in de bodem, waarbij seizoenswarmte (en koelte) op een diepte van 20 - 100 meter in het grondwater wordt opgeslagen.

2 Terugwinning van grondstoffen

De huidige waterzuivering is gericht op verwijdering van verontreiniging (o.a. nutriënten en organische stof). Nieuwe Sanitatie richt zich bovendien op terugwinning en benutting van die stoffen. Gedacht wordt aan terugwinning van water, meststoffen (inclusief CO₂) en biogas (energie).

3 Verbetering van zuiveringsrendement

De centrale zuivering is een 'end-of-pipe' oplossing. In veel opzichten lijkt het plafond voor verdere verbetering van de zuivering bereikt. Tegelijkertijd moet aan nieuwe uitdagingen het hoofd worden geboden zoals de behandeling van farmaceutische residuen in het afvalwater (met name in geel en bruin water). Nieuwe Sanitatie brengt een alternatieve strategie voor verdere verbetering van de waterzuivering. Hierbij wordt niet alleen aan het eind van de pijp gekeken, maar ook naar de mogelijkheden up-stream in de afvalwaterketen.

4 Zelfvoorzienendheid van watersystemen

Door gezuiverd zoet water in het gebied te houden wordt een bijdrage geleverd aan de zelfvoorzienendheid van het lokale watersysteem. Tevens wordt een bijdrage geleverd aan de zoetwatervoorziening voor de glastuinbouw.

5 Duurzame balans en ecologische kwaliteit

Door de waterketen en de gebiedsinrichting op elkaar af te stemmen kan worden aangestuurd op een duurzame dynamische balans tussen de stedelijke emissies en het regenerend vermogen van de groen blauwe natuur.

8

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Dit rapport is een verdieping van eerdere onderzoeken naar de combinatie van de stedelijke afvalwaterketen, ontwikkelingen in de glastuinbouw en de mogelijkheden tot onderlinge synergie. Dit alles geënt op een specifieke herstructureringslocatie in het Westland, de Poelzone, met daarin de woningbouwlocatie Het Nieuwe Water.

In de eerdere onderzoeken is uitgegaan van een één op één relatie tussen een woonwijk en een glastuinbouwbedrijf. In voorliggende rapportage is die één op één op relatie verlaten. In plaats daarvan is aansluiting gezocht bij lopende processen in het Westland gericht op integrale ontwikkeling van een groter gebied.

Daarbij worden ook de nutsfuncties (energie en waterketen) op gebiedsniveau bekeken. De totstandkoming van dit rapport is gevoed vanuit deze Westlandse praktijk, en heeft op haar beurt handen en voeten gegeven aan mogelijke decentrale oplossingen voor het gebied.

Om complexiteit te reduceren, en processen bestuurbaar te houden, is gekozen voor een modulaire opzet. De nadruk is daarbij gelegd op de stedelijke afvalwaterketen in de woonwijk. Ontwerp en inrichting daarvan is echter geënt op de behoeften en mogelijkheden van de bredere omgeving die o.a. worden beheerst door belangrijke wateropgaven en behoeften van de glastuinbouw.

Voor de afvalwaterketen van Het Nieuwe Water is een zestal scenario's gedefinieerd en onderling vergeleken. Het eerste scenario is de referentiesituatie, waar al het huishoudelijk afvalwater wordt vermengd en afgevoerd naar de centrale afvalwaterzuivering. In de overige scenario's worden verschillende afvalwaterstromen gescheiden gehouden en apart behandeld. Deze scenario's worden wel aangeduid met de term 'Nieuwe Sanitatie'.

Toepassing van Nieuwe Sanitatie kent onder andere het voordeel dat de verontreiniging van relatief schoon afvalwater (grijs water) uit de woningen wordt beperkt. Eventueel kan dit water zelfs geschikt worden gemaakt voor hergebruik, bijvoorbeeld om te dienen als gietwater in de kas. Het gaat daarbij om ca 70% van de normale huishoudelijke afvalwaterstroom.

Verontreiniging van het grijs water wordt vermeden door aparte inzameling en behandeling van het toiletwater. Dit laatste heeft op zich weer als voordeel dat het sterk vervuilde toiletwater geconcentreerder blijft waardoor de energie- en nutriëntwaarde uit dit afvalwater makkelijker voor hergebruik zijn terug te winnen. Ook de verwijdering van prioritair stoffen (o.a. farmaceutische residuen) uit dit afvalwater komt door het vermijden van verdunning dichterbij.

Verdere concentratie - eigenlijk vermindering van verdunning en vervuiling - wordt bewerkstelligd door inzet van vacuümriool en -sanitair. In de helft van de scenario's is dit tot uitgangspunt genomen. Belangrijk neveneffect ervan is de besparing op leidingwater. Rekening is gehouden met een waterbesparing van ca 25%.

De sleuteltechnologie voor aparte behandeling van het toiletwater is anaerobe vergisting. In dit proces wordt organische stof - met name aanwezig in fecaliën - omgezet in biogas. De slibproductie wordt daardoor in vergelijking tot de gangbare waterzuivering ingrijpend gereduceerd. Bovendien levert dit proces per saldo energie op. Die energieopbrengst kan naar verwachting zelfs nog worden verdubbeld indien met het toiletwater ook het organisch keukenafval wordt ingezameld en meevergist. Door inzet van vacuümtechnologie is dat mogelijk, waarbij bovendien wordt uitgesloten dat het keukenafval terecht komt in de algemene rioolwaterzuivering. Dat is in Nederland namelijk niet toegestaan.

In drie scenario's wordt de inzameling van organisch keukenafval per vrachtwagen vervangen door inzameling per vacuümbuis. Daarbij kan sprake zijn van een kostenverlaging bij de gemeente (GFT-inzameling en -verwerking), die is toegerekend aan de waterzuivering. Deze toerekening van baten uit de afvalstoffenheffing naar de waterzuivering blijkt een significante factor in de financiële onderbouwing van het Nieuwe Sanitatiesysteem.

Uit de kosten- en batenvergelijking van de zes scenario's kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- Nieuwe Sanitatieconcepten kunnen haalbaar zijn binnen de huidige bekostiging van de waterketen. Wel is er sprake van kostenverschuivingen (zoals meerkosten voor de waterzuivering, en kostenbesparing in transportriool). In een enkel geval (scenario 6) pakt het financiële resultaat in de scenario-uitwerking zelfs positief uit.
- Toepassing van vacuümriolering past goed bij drijvende woningen. In casu is rekening gehouden met de aanwezigheid van 300 drijvende woningen, wat een positief effect heeft op de haalbaarheid van de meeste scenario's. Bij een groter aandeel drijvende woningen in het bouwprogramma zal de haalbaarheid naar verwachting verder toenemen.
- Productie van gietwater voor de glastuinbouw als onderdeel van de stedelijke afvalwaterzuivering blijkt in casu niet opportuun. In plaats daarvan kan beter samenhang worden gezocht met het watersysteem in het gebied en de individuele of gemeenschappelijke gietwatervoorziening (Waterweb) van de glastuinbouw.
- Productie van vloeibare meststoffen uit het stedelijke afvalwater is technologisch mogelijk en in casu financieel ook haalbaar. De kosten zijn echter hoger dan de baten. Derhalve kan men zich afvragen of dit ook de meest doelmatige oplossing is voor de waterzuivering c.q. terugwinning van nutriënten. Er zijn alternatieven beschikbaar die weliswaar resulteren in vaste meststoffen, waarvan het gebruik in de Nederlandse tuinbouw thans niet gangbaar is, maar die o.a. kunnen voorzien in 100% terugwinning van fosfaten uit organisch keukenafval en toiletwater.
- Inzameling en co-vergisting van organisch keukenafval (tezamen met toiletwater) brengt een merkbare comfortverhoging voor bewoners, verdubbelt de biogasopbrengst van de vergisting en versterkt de financiële haalbaarheid van het decentrale afvalwatersysteem.
- Toepassing van Nieuwe Sanitatie vergt meerkosten in de woningen, onder andere door aangepast sanitair en aparte leidingen. In de scenario-uitwerking is rekening gehouden met meerkosten variërend van 200 tot 600 euro per woning. Bij toepassing van een vacuümvoedselrestenvermaler moet rekening worden gehouden met nog eens 1.000 euro extra per woning.

- Met name de scenario's 4 en 6 verdienen het om nader te worden uitgewerkt gericht op daadwerkelijke implementatie in het gebied.

Toepassing van Nieuwe Sanitatie geeft een nieuw perspectief voor het ontwerp en de organisatie van de afvalwaterketen. Deze is thans gedeeltelijk gebaseerd op het creëren van overcapaciteit in bestaande zuiveringen en het lozen van zuiveringseffluent op zee. Bij Nieuwe Sanitatie wordt de zuivering meer op maat gesneden, al naar gelang de mogelijkheden van en activiteiten in het gebied. Daarmee kan beter rekening worden gehouden met plaatselijke behoeften, zoals de zoetwatervoorziening. Ook ontstaan er nieuwe gezichtspunten voor een integrale benadering van de afvalwaterketen, de planning en bekostiging ervan en de samenwerking met belanghebbenden en marktpartijen.

Bij Nieuwe Sanitatie wordt het meeste afvalwater minder verontreinigd, het vervuilde afvalwater intensiever behandeld en worden nuttige hulpbronnen teruggewonnen voor hergebruik. De afvalwaterbehandeling kan een zichtbare plaats krijgen in het gebied, waarbij een dynamisch en beheerst evenwicht wordt gecreëerd tussen de emissies van stedelijke bewoning en het zuiverend vermogen van de natuur.

BIJLAGE 1

HUISHOUDELIJK AFVALWATER

1.1 HUISHOUELIJK WATERVERBRUIK

In Nederland wordt er per dag en per persoon bijna 130 liter leidingwater verbruikt (Foekema, van Thiel et al. 2007). Behalve voor de consumptie wordt dat water voor allerlei huishoudelijke activiteiten gebruikt. Tabel B-1-1 geeft hiervan een overzicht. Het gebruikte leidingwater verlaat het huishouden grotendeels als afvalwater via het riool.

TABEL B-1-1 HUISHOUELIJK DRINKWATERGEBRUIK NAAR TOEPASSING UITGEDRUKT IN LITERS PER PERSOON PER DAG (L/P/D) IN DE JAREN 1995, 1998, 2001, 2004 EN 2007

Toepassing	1995	1998	2001	2004	2007
Bad	9,0	6,7	3,7	2,8	2,5
Douche	38,3	39,7	42,0	43,7	49,8
Wastafel	4,2	5,1	5,2	5,1	5,3
Toiletspoeling	42,0	40,2	39,3	35,8	37,1
Kleding wassen, hand	2,1	2,1	1,8	1,5	1,7
Kleding wassen, machine	25,5	23,2	22,8	18,0	15,5
Afwassen, hand	4,9	3,8	3,6	3,9	3,8
Afwassen, machine	0,9	1,9	2,4	3,0	3,0
Voedselbereiding	2,0	1,7	1,6	1,8	1,7
Koffie, thee	1,5	1,1	1,0	1,0	1,2
Water drinken	-- ¹⁾	0,5	0,5	0,6	0,6
Overig keukenkraan	6,7	6,1	6,7	6,4	5,3
Totaal	137,1	131,9	130,7	123,8	127,5

1) Niet opgenomen

De afgelopen jaren is in Nederland het drinkwaterverbruik per persoon afgenomen. Dit kan worden verklaard door installatie van waterbesparende elementen in woningen, zoals toiletten met spoelstop en zuinigere (vaat)wasmachines. Het waterverbruik tijdens het douchen nam over de jaren juist toe. Uit tabel B-1-1 kan worden afgeleid dat anno 2007 het meeste water wordt gebruikt tijdens het douchen (39%) en voor het spoelen van het toilet (29%).

Huishoudelijk afvalwater kan worden gekarakteriseerd op basis van de samenstelling. Relevant daarbij zijn: nutriënten, zware metalen (of spoorelementen), zouten, ziekteverwekkers, medicijnresten, hormonen, persoonlijke verzorgingsproducten en schoonmaakmiddelen. Kennis over de aanwezigheid en concentraties van bovengenoemde stoffen is essentieel om tot een goed behandelingsscenario per afvalwaterstroom te komen.

GEEL WATER

Een volwassen persoon scheidt dagelijks tussen de één en anderhalve liter urine uit (Jönsson, Stenström et al. 1997; Vinnerås 2002). Gemiddeld genomen komt dat neer op 1,25 liter onverdunde urine per persoon per dag. Voor het brongescheiden opvangen van deze stroom kunnen urinescheidende toiletten worden gebruikt (figuur B-1-1). Tegenwoordig zijn er allerlei typen toiletten van verschillende fabrikanten op de markt, zoals het Dubbletten toilet, Roediger No-Mix toilet en twee typen van Wost Man Ecology (STOWA 2001). Het waterverbruik verschilt per type toilet, maar ligt over het algemeen tussen de 0,2 en 1 liter voor de kleine spoeling en 4-8 liter voor de grote spoeling (STOWA 2001; WC-Dubbletten 2008; WostmanEcology 2008).

FIGUUR B-1-1

EEN URINE SCHEIDEND TOILET. DE GAATJES VOOR IN HET TOILET VOEREN DE URINE AF (BRON: IWA 2009)



De effectiviteit van urinescheidende toiletten ligt tussen de 60% en 75%, wat wil zeggen dat 60-75% van de uitgescheiden urine apart door het toilet wordt opgevangen (Larsen and Lienert 2007). De overige urine wordt niet apart opgevangen door verkeerd gebruik van het toilet of doordat een klein gedeelte van de urine per ongeluk over de scheidingswand heen stroomt (STOWA 2001).

Voor berekeningen wordt aangenomen dat de urine wordt gescheiden met een toilet dat 0,2 liter voor de kleine spoeling gebruikt en 5 liter voor de grote spoeling. Bovendien wordt gerekend op een scheidingsefficiëncy van 60%. Er wordt vanuit gegaan dat alle toiletbezoeken thuis plaatsvinden: 6 keer per dag, waarvan 5 keer voor urine en 1 keer voor ontlasting. De totale hoeveelheid uitgescheiden urine met toiletspoelwater komt neer op 2.25 liter per persoon per dag (zie tabel B-1-2). Gecorrigeerd voor de scheidingsefficiëncy van de toiletten kan er maximaal 1,75 liter worden opgehaald per persoon per dag.

BRUIN WATER

Bruin water bestaat uit fecaliën, toiletspoelwater en toiletpapier. Een volwassen persoon scheidt tussen de 70 en 170 gram fecaliën uit per dag (Vinnerås 2002; Kujawa-Roeleveld, Elmitwalli et al. 2003; Kujawa-Roeleveld and Zeeman 2006b). Voor berekeningen wordt uitgegaan van een hoeveelheid van 140 gram fecaliën per persoon per dag (STOWA 2005). In een systeem waarbij urine gescheiden wordt opgevangen met een urinescheidend toilet, worden de fecaliën met water weggespoeld. De hoeveelheid water die daarvoor gebruikt wordt ligt tussen 3 en 5 liter, afhankelijk van het type toilet (STOWA 2001). In de berekeningen wordt uitgegaan van ca 5 liter water per 'bruinwaterspoeling'. De efficiëncy van de bronscheiding van fecaliën wordt gesteld op 100%. Het is niet aannemelijk dat fecaliën terecht komen in de opvangkom bestemd voor urine. Wel kan het bruine water licht verdund zijn met urine. Dat wordt hier echter buiten beschouwing gelaten. De totale hoeveelheid bruin water die per persoon per dag kan worden opgehaald is 5 liter (zie tabel B-1-2).

ZWART EN GROEN WATER

Zwart water is een combinatie van urine, fecaliën, toiletpapier en toiletspoelwater. Om het zwart water zo geconcentreerd mogelijk te houden worden er vacuümtoiletten gebruikt. Deze verbruiken veel minder spoelwater dan normale toiletten. Er zijn verschillende typen vacuümtoiletten op de markt die tussen de 0,8 en 2 liter water per spoelbeurt gebruiken (Kujawa-Roeleveld and Zeeman 2006b; RoedigerVacuum 2008).

Samen met zwart kan ook groen water worden ingezameld. Dit is organisch keukenafval dat na vermaling wordt afgevoerd via het zwartwaterriool. Daartoe wordt in de keuken een voedselrestenvermaler geïnstalleerd. Per dag wordt er dan per persoon gemiddeld 200 gram voedsel (groente, fruit, maaltijdstrengen) weggespoeld. Indien aangesloten op het vacuümriool wordt daarbij 0,9 liter water verbruikt (Kujawa-Roeleveld, Elmitwalli et al. 2003; Kujawa-Roeleveld and Zeeman 2006b).

Zwart water en groen water - samen 'donker water' - kan worden vergist in een anaërobe reactor om energie, in de vorm van methaangas, terug te winnen uit het organische materiaal. Toevoeging van keukenafval zal de methaangasproductie tenminste verdubbelen (Kujawa-Roeleveld, Fernandes et al. 2005). Wanneer zwart water en keukenafval samen worden opgevangen, komt dit neer op een volume van 8,35 liter per persoon per dag. Tabel B-1-2 toont de aangenomen volumina (op basis van de literatuur) van de verschillende deelstromen.

FIGUUR B-1-2 VACUÛMTOILET



TABEL B-1-2 VOLUMINA DEELSTROMEN ZOALS UITGESCHIEDEN PER PERSOON PER DAG (INCLUSIEF WATER)

Deelstroom	Geel water	Bruin water	Zwart water	Donker water	Eenheid
Bronscheiding en inzameling door:	Urine scheidend toilet. Gravitair riool	Urine scheidend toilet. Gravitair riool	Vacuümtoilet. Vacuümriool.	Vacuümtoilet en -voedselresten- vermaler. Vacuümriool.	
Urine	1,25	-	1,25	1,25	l/p/d
Fecaliën	-	140	140	140	g/p/d
Keukenafval	-	-	-	0,2	l/p/d
Keukenwater	-	-	-	0,9	l/p/d
Toiletspoelwater	0,2	5	1	1	l/spoeling
Toiletspoelingen	5	1	6	6	keren/dag
Totaal volume	2,25¹	5	7,25	8,35	l/p/d

¹ bij 60% efficiënte toiletten wordt $0.60 \cdot 1,25 = 0,75$ liter plus 1 liter spoelwater = 1,75 liter ingezameld.

GRIJS WATER

Grijs water is al het water uit het huishouden behalve het zwart of donker water. Grijs water bestaat dus uit badwater, douchewater, water na handenwassen, water van (af)wasmachines en water uit de keukengootsteen (Eriksson 2002; Kujawa-Roeleveld, Fernandes et al. 2005). In Nederlandse huishoudens werd in 2007 gemiddeld 127,5 liter drinkwater per persoon per dag gebruikt (Tabel B-1-1). Gemiddeld eindigt 70 - 75% van dat water als grijs water (Palmquist and Hanæus 2005). Uit tabel B-1-1 kan worden afgeleid dat in 2007 gemiddeld 88,6 liter grijs water per persoon per dag werd geproduceerd, wat neerkomt op bijna 70% van het dagelijkse waterverbruik. In dit onderzoek wordt er vanuit gegaan dat er 90 liter grijs water per persoon per dag wordt geproduceerd.

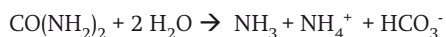
1.2 SAMENSTELLING VAN AFVALWATERSTROMEN

In afvalwater komen zeer veel en uiteenlopende soorten stoffen voor. Het is echter onmogelijk om van alle stoffen aan te geven in welke mate ze zullen voorkomen. Derhalve is er een selectie gemaakt. In het navolgende wordt gekeken naar: macronutriënten, zware metalen, zouten, organisch materiaal en organische stoffen, ziekteverwekkers, medicijnresten en hormonen.

Per stofgroep is een aantal relevante en representatieve stoffen geselecteerd ten behoeve van de karakterisering van de brongescheiden stromen. Kennis over de aanwezigheid en concentraties van de geselecteerde stoffen is essentieel om het hergebruikpotentieel van de stroom te bepalen en om tot een goed behandelingsscenario te komen.

SAMENSTELLING VAN GEEL WATER

De samenstelling van vers uitgescheiden onverdunde urine verschilt met die van verdunde urine die enige uren tot maanden opgeslagen is geweest in een opslagtank. In vers uitgescheiden urine is ca 80% van de stikstof (N) aanwezig in de vorm van ureum en 5% in de vorm van ammonia (NH_3 en NH_4^+) (Udert, Larsen et al. 2006). Bij opslag verandert de samenstelling; het ureum hydrolyseert tot ammoniak onder invloed van het enzym urease. Dit enzym wordt door veel micro-organismen geproduceerd (STOWA 2001; Udert, Larsen et al. 2006). De reactievergelijking van de hydrolyse is als volgt:



Na hydrolyse zal de stikstof voor 90% bestaan in de vorm van ammoniak (NH_3) of ammonium NH_4^+ (STOWA 2005; Udert, Larsen et al. 2006). Vers uitgescheiden urine heeft een pH van rond de 6. Door de productie van ammonium tijdens de hydrolyse zal de pH van de oplossing omhoog gaan tot een waarde tussen de 8.5 en 9.1 (STOWA 2005; Udert, Larsen et al. 2006). De hydrolyse van ureum verloopt snel: Zwitsers onderzoek toont aan dat verdunde urine binnen een dag wordt gehydrolyseerd (Udert, Larsen et al. 2003b).

Een ander macronutriënt in urine is fosfor (P). Het gehalte is gerelateerd aan het fosforgehalte in de voeding. Fosfaten komen onder andere voor in conserveringsmiddelen en additieven voor voedingsmiddelen (STOWA 2001). 95% van de fosfor in urine is anorganisch.

Kalium (K) komt in urine vooral voor in de vorm van vrije ionen en zwavel (S) in de vorm van vrije sulfaat ionen (Kirchmann and Pettersson 1995; STOWA 2005).

Naast de macronutriënten stikstof, fosfor, kalium en zwavel komen ook zouten en zware metalen voor in urine. Zware metalen worden niet of nauwelijks in het lichaam opgenomen en worden weer uitgescheiden met de urine en faeces (Vinnerås 2002; Kujawa-Roeleveld and Zeeman 2006b). De vrachten van diverse nutriënten, zouten en zware metalen die per persoon en per dag worden uitgescheiden zijn weergegeven in Tabel B-1-3.

TABEL B-1-3 VRACHTEN EN CONCENTRATIES VAN NUTRIËNTEN, ZOUTEN EN ANDERE ELEMENTEN IN ONVERDUNDE VERSE URINE EN GEHYDROLYSEERDE OPGESLAGEN URINE. WAARDEN ONTLEEND AAN LITERATUURONDERZOEK

Gegevensbronnen			
	Vinnerås 2002, STOWA 2001-39 (g/p/d); Palmquist and Jönsson 2003, STOWA 2001-39 (g/p/dag)	STOWA 2001-39 Udert et al. 2006 Maurer et al. 2006 (mg/l)	Udert et al. 2006* (mg/l), Kirchmann en Petterson 2005 (mg/l) of berekend
	Verse urine	Verse urine	Opgeslagen urine
	Vrachten [g/p/d]	Concentraties [mg/l]	Concentraties [mg/l]
<i>Verdunningsfactor</i>			2 - 3
<i>Opslagtijd</i>			0 - 3 dagen
N-totaal	12	9200 - 9600	1800 - 9200
NH ₃ ammoniak		0,3	574 - 2700
NH ₄ ammonium	0,75	600	1100 - 1700
Totaal ammonia		480	8100
Ureum	25	7700 - 20000	
P	1	740 - 800	200 - 540
K	2 - 4	2200 - 2400	875 - 2200
BZV	5 - 6		2222 - 2667
CZV	10 - 12	9600 - 10000	4444 - 5333
Na	4	2600 - 3450	900 - 2600
Cl	7	3800 - 5600	2200 - 3800
Ca	0,20	160 - 233	13 - 89
Mg	0,20	100 - 160	1,5 - 89
S-totaal	0,25 - 1	800	
	<i>mg/p/jaar</i>	<i>µg/liter</i>	<i>µg/liter</i>
Cd	0,08 - 0,25	0,55	0,2 - 0,3
Zn	16,4 - 107	35,95	20 - 110
Cu	4 - 17,2	8,77	4,87 - 155
Pb	0,73 - 4,2	1,60	0,89 - 2
Hg	0,16 - 0,3	0,66	0,37 - 0,55
Cr	0,16 - 3,7	8,11	2 - 4,51
Ni	2,6 - 4,2	5,70	3,17 - 15

* Gesimuleerde waarden met een computer model.

Uit tabel B-1-3 kan worden afgeleid dat een persoon dagelijks gemiddeld 12 gram stikstof, 1 gram fosfor en 3 gram kalium uitscheidt. Verder is sprake van gemiddeld 11 gram CZV (Chemisch Zuurstof Verbruik) en 6 gram BZV (Biologisch Zuurstof Verbruik) per persoon per dag. CZV en BZV zijn maatstaven voor de hoeveelheid organisch materiaal in afvalwater. Van het aanwezige CZV is ongeveer 90% biologisch afbreekbaar (STOWA 2001). Het zoutgehalte van urine is hoog; per dag wordt er respectievelijk 4 en 7 gram natrium en chloor uitgescheiden (Vinnerås 2002).

De vrachten zware metalen in geel water zijn relatief laag, maar kunnen sterk verschillen. Essentiële sporenelementen als zink, koper, nikkel en chroom komen voor in voedsel of voedingssupplementen en worden met de urine uitgescheiden. Naast het gevolgde dieet is ook het materiaal van de afvoerleidingen van invloed. Door de hoge pH van urine en de hoge concentratie ammonium kunnen gegalvaniseerde of koperen leidingen gemakkelijk corroderen. Met name zink en koper kunnen hierdoor aan het gele water worden toegevoegd (Vinnerås 2002). Dit kan het grote verschil verklaren in de waarden voor verse en opgeslagen urine. Voor de overige zware metalen liggen de gevonden waarden redelijk in dezelfde orde van grootte.

Urine zal om praktische redenen in veel gevallen eerst worden opgeslagen voordat het wordt behandeld of hergebruikt. Als gevolg van verdunning met spoelwater en hydrolyse van ureum zal de samenstelling van het gele water dan anders zijn.

Ureum zal na hydrolyse grotendeels verdwenen zijn uit het opgeslagen urinemengsel. Door de hoge pH raakt de urine oplossing oververzadigd en slaan een aantal mineralen neer: struviet ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), calciumfosfaat (of hydroxyapatiet) ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) en ook calciet (CaCO_3) (Udert, Larsen et al. 2003d). Dit verklaart de lagere concentraties van calcium en magnesium in opgeslagen urine. Door de hoge pH zal ammoniak (NH_3) vervluchtigen en deels uit de oplossing verdwijnen.

Ziekteverwekkers in geel water

Bij een gezond persoon is de urine in de blaas steriel. Na uitscheiding kan verse urine echter tot 10.000 bacteriën per milliliter bevatten (Höglund 2001). De kans op besmetting van geel water met fecale micro-organismen is klein (Jönsson, Stenström et al. 1997), maar niet geheel uitgesloten.¹ Wanneer kleine kinderen het urinescheidende toilet gebruiken of wanneer een persoon diarree heeft, is er een reële kans dat urine in aanraking komt met ontlasting (Höglund, Stenström et al. 2002).

In urine die enige tijd is opgeslagen zijn nauwelijks E.coli bacteriën aanwezig. Door Höglund (1998) werd in 84% van de monsters minder dan 10 kolonie vormende eenheid (kve) / ml aangetroffen. Hoewel E.coli bacteriën door kruisbesmetting kunnen voorkomen in verse urine, sterven ze door het toxische milieu in opgeslagen urine snel af. Clostridia bacteriën komen daarentegen in veelvoud voor in opgeslagen urine waarbij concentraties variëren van 1 - 2000 kve/ml (Höglund, Stenström et al. 1998).

Fecale streptokokken komen in nog grotere concentraties voor vergeleken met clostridia: 76% van de monsters hadden concentraties van 1000 kve/ml of meer en 16% van de monsters hadden zelfs concentraties van 10.000 kve / ml of meer (Höglund, Stenström et al. 1998).

De populaties ziekteverwerkers zijn tijdens de opslag van urine niet stabiel (Höglund, Stenström et al. 1998; Höglund 2001; WHO 2006b). Sommige organismen sterven af (E.coli) en andere groeien (fecale streptokokken). Hierdoor kan een onder- of overschatting worden gemaakt van het risico.

1 Onderzoek naar vijftien verschillende opslagtanks met brongescheiden urine laat zien dat in 79% van de monsters kruisbesmetting met ontlasting niet kon worden aangetoond (Höglund, Stenström et al. 2002). Een methode om kruisbesmetting vast te stellen is geënt op aanwezigheid van fecale sterolen, waaronder coprostanol. Coprostanol is een molecuul dat vrijkomt bij de afbraak van cholesterol. De hoeveelheid coprostanol in de urine is een maat voor de concentratie van fecaliën in urine (Höglund, Stenström et al. 1998).

Medijnresten in urine

De concentraties medicijnen in urine kunnen worden gemeten of worden berekend aan de hand van de dagelijkse voorgeschreven dosis (Daily Defined Dose, DDD), de mate van uitscheiding en het volume van de urine volgens:

$$\text{Medijnconcentratie}_{\text{urine}} \text{ (mg/L)} = \frac{\text{DDD} \cdot E_f}{V_{\text{urine}}}$$

Waar:

DDD = Daily Defined Dose (mg/p/d)

E_f = de uitgescheiden fractie van werkzame stof in urine

V_{urine} = dagelijkse hoeveelheid urine en spoelwater (2.25L)

Daarnaast moet er voor de gebruikersfractie gecorrigeerd worden, omdat niet alle mensen elke dag medicijnen innemen. Alle gegevens omtrent medicijngebruik in Nederland zijn goed gerapporteerd door het College van Zorgverzekeringen (CVZ 2008a; CVZ 2008b). Theoretische concentraties van medicijnen in urine, evenals gemeten concentraties zijn weergegeven in Tabel B-1-4.

TABEL B-1-4 CONCENTRATIES VAN VEEL VOORKOMENDE MEDIJNRESTEN IN URINE

	Gegevensbronnen				
	Theoretisch (Schuman 2008)	Theoretisch incl. gebruikers fractie (Schuman 2008)	Meppel	Sleen	Winker, Tettenborn et al. 2008b
<i>Verdunningsfactor</i>	Onverdund	Onverdund	10-15	5-10	2
<i>Eenheden</i>	mg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Medicijnen					
Acetylsalicyl zuur	20	0,82	0	785	
Diclofenac	3,33	0,3	12,5	3,5	22,5
Ibuprofen	8	0,57	(1715)	19	545
Metoprolol	5	0,28	0,17	27	
Carbamazepine	13,33	0,05	25,7	7	9
Antibiotica (totaal)	0,05-4,5				
Bezafibrate	200	0,04	0,2	0,02	516

De theoretische waarden van Schuman zijn berekend aan de hand van bovenstaande vergelijking. Voor een meer realistisch beeld van de concentraties van medicijnen in urine is er nog gecorrigeerd voor de gebruikersfractie.

Uit onderzoek (bron Meppel en Sleen) naar overige medicijnresten in urine is gebleken dat de concentratierange van de geselecteerde medicijnen ligt tussen concentraties beneden het detectieniveau en concentraties van 785 µg/l, en sterk afhankelijk is van de verdunningsfactor van de urine. De concentratie ibuprofen in urine van bewoners in Meppel is waarschijnlijk verkeerd gemeten, omdat deze bijna een factor 100 hoger uitvalt dan de gemeten concentratie in Sleen. De gemeten concentraties vallen soms een factor 10-100 hoger of lager uit dan de theoretische berekende waarden.

Er is nog niet veel onderzoek gedaan naar de concentratie van antibiotica in urine. Wel heeft het RIZA (Rijksinstituut voor integraal zoetwaterbeheer en afvalwaterzuivering) onderzoek gedaan naar concentraties van geneesmiddelen in afvalwater. Daaruit is gebleken dat de con-

concentratie antibiotica in niet gescheiden huishoudelijk afvalwater lager ligt dan de range voor overige medicijnresten (0.5-45 µg/L) (Schrap, Rijs et al. 2003). Aannemende dat de urine 100 maal wordt verdund in een conventioneel afvalwatersysteem, kan de concentratierange van antibiotica in onverdunde urine uitkomen op 0,05-4,5 mg/l. Bij gebrek aan empirische data moeten de concentraties van de meest gebruikte soorten antibiotica worden berekend.

De meest gebruikte groepen antibiotica in Nederland zijn tetracyclines en betalactam-antibiotica penicilline (CVZ 2008b). Van deze groepen zijn doxycycline en amoxycycline de meest gebruikte soorten. Doxycycline wordt door 947.790 mensen per jaar gebruikt met een gemiddelde gebruiksduur van 12 dagen per jaar (CVZ 2008b). Van de actieve stof wordt 40% niet gemetaboliseerd uitgescheiden in de urine (KNMP 2006). De Daily Defined Dose (DDD), een Engelse afkorting voor de dagelijks aanbevolen dosis, voor dit antibioticum is vastgesteld op 0,1 g/p/d (WHO 2006a). Amoxycycline wordt jaarlijks door 1.118.000 mensen gebruikt met een gemiddelde gebruiksduur van 9 dagen per jaar (CVZ 2008a; CVZ 2008b). 60% van de werkzame stof wordt in onveranderde vorm uitgescheiden in de urine (KNMP 2006). De DDD is vastgesteld op 1 g/p/d (WHO 2006a). Een overzicht is weergegeven in tabel B-1-5.

TABEL B-1-5. OVERZICHT VAN HET GEBRUIK, UITSCHEIDING EN DDD VAN DE ANTIBIOTICA DOXYCYCLINE EN AMOXYCYCLINE IN NEDERLAND.

	Gebruikers/ Jaar	Gebruikers- fractie	DDD (mg/p/dag)	Uitscheiding in urine (%) E_f	Gemiddeld gebruik per jaar (dagen/ jaar)	Frequentie gebruik
Doxycycline	947.790	0,06	100	40	12	0,03
Amoxycycline	1.118.000	0,07	1000	60	9	0,02

Met de gegevens uit tabel B-1-5 zijn de concentraties antibiotica in urine berekend volgens:

$$\text{Antibiotica concentratie}_{urine} = \frac{DDD \cdot E_f \cdot U_f \cdot F}{V_{urine}}$$

Waarbij:

- DDD = Daily Defined Dose (mg/p/d)
- E_f = de uitgescheiden fractie van werkzame stof in urine
- U_f = de gebruikersfractie
- F = frequentie van gebruik
- V_{urine} = dagelijkse hoeveelheid urine en spoelwater (2.25 liter)

De berekende concentraties in urine voor doxycycline en amoxycycline komen neer op respectievelijk 0,032 en 0,37 mg/l. Dit ligt in dezelfde orde van grootte als de gemeten waarden volgens RIZA, hoewel RIZA alle antibiotica die in Nederland wordt gebruikt meerekent.

Hormonen in urine

Nederlands onderzoek waarbij het influent van een RWZI bestaande uit ruw stedelijk afvalwater is geanalyseerd laat zien dat gemiddelde concentraties voor opgelost E1, E2 en EE2 liggen tussen respectievelijk 20-130ng/L, 17-150ng/L en <0,3-5,9ng/L (Vethaak, Rijs et al. 2002). In brongescheiden urine worden hogere hormoonconcentraties verwacht omdat het overgrote deel van de hormonen met de urine wordt uitgescheiden.

De concentraties natuurlijke hormonen in urine kunnen worden berekend aan de hand van onderstaande vergelijking:

$$Urine_{E1+E2} \text{concentratie} = \frac{\text{Dagelijkseuitscheiding}}{V_{urine}}$$

Voor het synthetische hormoon EE2 wordt onderstaande formule gebruikt:

$$Urine_{EE2} \text{concentratie} = \frac{DDD \cdot E_f \cdot \text{gebruiker sfracctie} \cdot \text{frequentiegebruik}}{V_{urine}}$$

Waarbij:

DDD = Daily Defined Dose ($\mu\text{g/p/d}$)

E_f = de uitgescheiden fractie van hormonen in urine

V_{urine} = dagelijkse hoeveelheid urine en spoelwater, = 2,25 l/p voor scheidings WC's

Voor de natuurlijke hormonen ligt de berekende concentratie in een range van 4,4-44,4 $\mu\text{g/l}$ voor vrouwen en 0,8-11,1 $\mu\text{g/l}$ voor mannen. Uitgaande van een worst case scenario waarbij het synthetische hormoon EE2 voor 50% met de urine wordt uitgescheiden, komt dit neer op een concentratie voor EE2 van 2,3 $\mu\text{g/l}$ in urine. De Mes et al. (2006) heeft totale hormoonconcentraties berekend voor onder andere onverdunde urine. In het geval van brongescheiden urine, zonder verdunning met water, is de Mes uitgegaan van een totale hormoonconcentratie van 170 $\mu\text{g/l}$ (2006). Voor zwart water dat is opgehaald met een vacuümsysteem komt de concentratie neer op 43 $\mu\text{g/l}$ (de Mes, Urmenyi et al. 2006). De concentraties van alle drie de hormonen in urine verdund met 1 liter water per spoeling komt neer op 34 $\mu\text{g/l}$ (de Mes and Zeeman 2003).

SAMENSTELLING VAN BRUIN WATER

Bruin water bestaat uit faeces, toiletpapier en toiletspoelwater. Menselijke ontlasting bestaat bij een gezond persoon voor 67% uit water en 33% uit vaste stof. De vaste stof bestaat voornamelijk uit bacteriën, lipiden (vetachtige stoffen), mineralen en onverteerde cellulose (STOWA 2001). Tabel B-1-6 geeft een overzicht van de samenstelling van het bruine water, uitgedrukt in vrachten en concentraties. De vrachten stikstof, fosfor en kalium in faeces zijn een stuk lager dan die van urine. Daarentegen ligt de BZV- en CZV-vracht in faeces een factor 2-4 hoger. Faeces bevat aanzienlijk minder natrium en chloride dan urine, maar meer calcium en magnesium. Deze laatste twee mineralen worden uitgescheiden met onverteerde voedselresten (STOWA 2001). De vracht aan zware metalen in faeces ligt tenminste een factor 10 hoger vergeleken met urine.

TABEL B-1-6 SAMENSTELLING FECALIËN (VRACHTEN), BRUIN WATER EN ZWART WATER (CONCENTRATIES)

Gegevensbronnen						
	Kujawa, Zeeman 2006 STOWA 2001-39, Vinnerås 2002	Uitgaande van max vrachten incl. 5 L water	Berekend en Kujawa et al, 2006	Kujawa en Zeeman 2006		Inclusief 7,1L water)
	Bruin water		Zwart water	Keukenafval		Donker water
	Vracht [g/p/d]	Concentratie [g/l]	[g/l]	Vracht [g/p/d]	Concentratie [g/l]	[g/l]
N-totaal	1,5-2	0,4	1-2,57	1,5-1,9	1,73	2,43
P	0,3-0,7	0,14	0,09-0,31	0,13-0,28	0,25	0,30
K	0,8-1,0	0,2	0,73	0,22	0,20	0,64
BZV	14-33,5	6,7	7,25			32,92
CZV	45,7-54,5	10,9	9,5-12,30		53,64	
Na	0,12	0,024	0,76			
Cl	0,02	0,004	1,29			
Ca	0,53	0,106	0,13			
Mg	0,18	0,036	0,07			
Zware metalen [mg/l]						
Cd	3,7	0,74	0,00015	2,7	0,01	0,0028
Zn	3900	780	1,48	700	1,74	1,9309
Cu	400	80	0,15	549	1,37	0,3986
Pb	7,3	1,46	0,003	275	0,68	0,1184
Hg	3,3	0,66	0,0014	0,25	0,00	0,0016
Cr	7,3	1,46	0,0028	137	0,34	0,0619
Ni	27	5,4	0,0116	82,3	0,20	0,0468

SAMENSTELLING VAN ZWART WATER

Zwart water is een combinatie van urine, faeces, toiletpapier en toiletspoelwater. Tabel B-1-6 geeft een overzicht van de concentraties van aangetroffen stoffen in zwart water. Naast waarden uit de literatuur zijn er ook concentraties berekend. Deze berekening is gemaakt op basis van vrachten in urine en faeces afzonderlijk en het gezamenlijk volume van die twee stromen.

Zwart water is qua organische vracht veel geconcentreerder dan urine. De concentraties van N, P en K zijn daarentegen wat lager voor zwart water, omdat deze stroom meer water bevat dan geel water. Zware metalen concentraties liggen voor urine ook hoger dan voor zwart water. Zwart water is vanwege de verdunning wel minder zout dan urine.

MEDICIJNRESTEN EN HORMONEN

De concentraties medicijnresten in zwart water vallen in een brede range van 0,11 µg/l voor carbamazepine tot 220 µg/L voor ibuprofen (tabel B-1-7). Dit verschil zou gedeeltelijk kunnen worden verklaard door het verschil in aantallen gebruikers van beide medicijnen. Het aantal ibuprofengebruikers in Nederland ligt een factor 16 hoger dan het aantal carbamazepine gebruikers.

TABEL B-1-7

CONCENTRATIES VAN MEDICIJNRESTEN IN ZWART WATER INGEZAMELD MET VACUÛM TOILET

Metingen de Graaff [$\mu\text{g/L}$]	
Acetyl salicyl zuur (aspirine)	138
Diclofenac	2,4
Ibuprofen	220
Metoprolol	16
Carbamazepine	0,11
Bezafibraat	<0,01

De concentraties hormonen (E1, E2, EE2) in zwart water is geschat op 43 $\mu\text{g/l}$ wanneer het zwarte water wordt opgehaald met een vacuümtoilet met een halve liter spoelwater (de Mes, Urmenyi et al. 2006). Met een waterbesparend toilet (totaal 6 liter water) komt de concentratie totale hormonen uit op 13,9 $\mu\text{g/l}$ (de Mes and Zeeman 2003).

SAMENSTELLING VAN KEUKENAFVAL

Keukenafval kan bestaan uit groente- en fruitafval, restanten van complete maaltijden, koffiefilters, theezakjes en bijvoorbeeld eierschalen. Dit afval kan worden opgehaald met een groente- fruit- en tuin container (GFT-container) of direct in de gootsteen worden gedeponeerd waarna het vermaalt kan worden. Het vermalen gebeurt door een kleine voedselvermaler opgeborgen in de gootsteenkast (Figuur B-1-3).

FIGUUR B-1-3

KEUKENGOOTSTEEN MET DAARONDER EEN VOEDSELRESTENVERMALER (BRON: B. MEULMAN)



De samenstelling van keukenafval kan sterk variëren en is vooral afhankelijk van het type dieet dat gevolgd wordt. Er is niet veel bekend over de precieze samenstelling van keukenafval. De vrachten en concentraties voor de belangrijkste nutriënten en CZV, zoals bekend uit de beperkte literatuur die voorhanden is en berekende concentraties, zijn weergegeven in Tabel B-1-6.

Uit de tabel valt af te lezen dat de organische vracht (uitgedrukt in CZV) in faeces en keukenafval vergelijkbaar is. Daarnaast is het keukenafval gemakkelijk biologisch afbreekbaar, wat covergisting met zwart water aantrekkelijk maakt (Kujawa-Roeleveld and Zeeman 2006b). Ondanks dat er geen literatuur te vinden is wat betreft NaCl gehalten in keukenafval, liggen de vrachten vermoedelijk vrij hoog. Dit is vooral te wijten aan de (avond)maaltijdresten die deel uitmaken van het keukenafval.

In keukenafval komen ook zware metalen voor. Het gehalte van koper, lood, chroom en nikkel ligt hoger in keukenafval dan in urine en faeces. Voor cadmium, zink en kwik ligt het gehalte lager dan in urine of faeces. Tot slot worden in keukenafval ook micro-organismen aangetroffen zoals e.coli, enterokokken en salmonella.

SAMENSTELLING VAN ZWART WATER EN KEUKENAFVAL (DONKER WATER)

Door de vergelijkbare organische vracht van zwart water en keukenafval kunnen beide stromen gezamenlijk vergist worden. Zo wordt optimaal gebruik gemaakt van de energie-inhoud van zowel zwart water als keukenafval (Kujawa-Roeleveld, Elmitwalli et al. 2003; Kujawa-Roeleveld, Elmitwalli et al. 2006a). Omdat de vrachten zouten in keukenafval onbekend zijn, kunnen deze niet berekend worden voor de gecombineerde stroom van zwart water en keukenafval. De samenstelling van deze gecombineerde stromen is weergegeven in Tabel B-1-6.

Voor stikstof, kalium en fosfor komen de concentraties in zwart water en zwart water met keukenafval overeen. Het CZV gehalte in zwart water en keukenafval ligt echter hoger dan het CZV in zwart water alleen (respectievelijk 32,9 en 12,2 gram per liter).

De zoutconcentraties in zwart water en keukenafval zullen hoger liggen dan voor zwart water alleen, omdat verwacht wordt dat keukenafval vrij veel zouten bevat.

Voor zowel de zwarte als de donkere stroom met keukenafval liggen de concentraties zware metalen erg laag. De donkere stroom heeft in vergelijking hogere concentraties zware metalen, maar de concentraties liggen nog wel in dezelfde orde van grootte als alleen de zwart water stroom. Zink komt in beide stromen voor in de hoogste concentratie.

SAMENSTELLING VAN GRIJS WATER

De kwaliteit van grijs water kan verschillen. Belangrijke factoren zijn de kwaliteit van het leidingwater en de gebruikte leidingen voor aanvoer van leidingwater en afvoer van grijs water. Ook gewoonten spelen een belangrijke rol, zoals urineren onder de douche, spoelen van luiers en gebruik van reinigingsmiddelen en verzorgingsproducten.

Uit de literatuur blijkt dat de kwaliteit van grijs water sterk kan variëren (Jefferson, Palmer et al. 2004; Hernández Leal, Zeeman et al. 2007). Drie factoren spelen hierbij een rol: (1) de kwaliteit van het drinkwater, (2) het type leidingen waarmee het drinkwater en het grijs water wordt getransporteerd en (3) de activiteiten in het huishouden (Eriksson 2002). Dat gewoonten een belangrijke rol spelen bij de kwaliteit van grijs water blijkt uit een onderzoek van Jefferson (2004). Een serie van experimenten waarbij verschillende proefpersonen bijna identieke wasinstructies moesten opvolgen (met dezelfde producten en hetzelfde volume water voor bad of douche) resulteerde nog in grote verschillen tussen BZV concentraties (Jefferson, Palmer et al. 2004).

Nutriënten, zouten, zware metalen en organische verontreinigingen

De concentratie van metalen in grijs water wordt vooral bepaald door de kwaliteit van het drinkwater. BZV-, CZV-, zout-, fosfor- en stikstofconcentraties worden vooral bepaald door de huishoudelijke activiteiten, de persoonlijke verzorging en de voedselbereiding (Eriksson 2002). Natrium komt voor in reinigingsmiddelen als anorganisch zout of als tegen-ion bij een organisch zuur (Eriksson, Auffarth et al. 2003). Het wordt in de vorm van een zout (bijv. soda) als waterontharder toegevoegd aan veel (af)wasmiddelen (van der Wijst and Groot-Marcus 1998). Fosfaten komen vooral voor in grijs water van landen waar nog fosfaten worden toegevoegd aan (af)wasmiddelen. Dit is in Nederland al geruime tijd verboden omdat fosfaten in

oppervlaktewateren en de zee leidden tot eutrofiering. Sinds 1989 zijn bijna alle wasmiddelen in Nederland fosfaatvrij. Ook de meeste machineafwasmiddelen bevatten sinds 1991 geen fosfaten meer (van der Wijst and Groot-Marcus 1998). Fosfaten die toch voorkomen in grijs water komen meestal van voedselresten, zoals melk en bier (STOWA 2001). Stikstofconcentraties in grijs water zijn vooral gerelateerd aan keukenactiviteiten. Een besmetting met urine kan leiden tot hogere stikstofconcentraties in grijs water (Eriksson 2002).

Haren, huidschilfers, speeksel en andere fysiologische afvalstoffen maar vooral ook restanten van reinigingsmiddelen en persoonlijke verzorgingsproducten dragen bij aan de organische verontreiniging (BZV/CZV) van het grijze water (van der Wijst and Groot-Marcus 1998). De BZV- en CZV-concentraties in verschillende typen grijs water blijken zeer te kunnen variëren. Grijs water afkomstig van wasmachines is sterker vervuild met organische verontreinigingen dan bad- of douchewater. Gemeten ranges van CZV-concentraties zijn voor wasmachinewater en bad- en douchewater respectievelijk 725-1815 mg/l en 184-633 mg/l (Eriksson 2002). Het gebruik van schoonmaak- en wasmiddelen in het huishouden lijkt het meest bij te dragen aan de CZV vracht in grijs water. Tabel B-1-8 geeft een overzicht van vrachten en concentraties van geselecteerde nutriënten, zouten, BZV en CZV in grijs water.

De berekende concentraties van Vinnerås komen redelijk overeen met de concentraties uit de literatuur, wanneer er voor het volume wordt gecompenseerd. Alleen de berekende concentratie stikstof en CZV liggen hoger dan wat er verwacht zou worden. Een verhoogde stikstofconcentratie zou verklaard kunnen worden door een urinebesmetting in bijvoorbeeld het douchewater. Een hogere CZV-concentratie kan veroorzaakt worden door een hoger verbruik van wasmiddelen of andere persoonlijke verzorgingsproducten. Na-, Cl-, Ca- en Mg-concentraties konden bij een gebrek aan gegevens uit de literatuur niet berekend worden. Het chloridegehalte van het leidingwater in het Westland bedraagt circa 50-60 mg/l. Dit is dus de ondergrens waarmee rekening moet worden gehouden.

TABEL B-1-8 SAMENSTELLING GRIJS WATER, NAAR TYPE

		Gegevensbronnen en afleidingen				
		Kujawa en Zeeman 2006, Vinnerås 2002	Palmquist en Hanaeus 2005	Hypes 1974 in Eriksson et al. 2002	Berekend van Vinnerås	Gemeten in Groningen
Type		Badkamer			Gemengd	
Volume		20 l/p/d	66 l/p/d	-	90 l/p/d	
	Vracht [g/p/d]				Concentratie [mg/l]	
N	1,0-1,4	3,6-6,4	9,68		15,6	17,2
P	0,3-0,5		7,53		5,8	5,7
K	0,5-1				11,1	11,2
BZV	26-28		418	270-360	288,9	215
CZV	52		588	283-549	577,8	425
Na			77,6	68-93		86,4
Cl				20-30		
Ca			33,8	15-17		60,8
Mg			5,74	1,5-2,8		6,15
Fe			0,36	<0,05-0,20		0,11
Al			2,44			0,49
Zware metalen	Vracht [mg/p/jr]				Concentratie [µg/l]	
Cd	15		0,10		0,46	
Zn	3650		64,40		111,1	<0,05
Cu	2900		61,80		88,3	0,08
Pb	365		2,52		11,1	
Hg	1,5		-		0,05	
Cr	365		3,7		11,1	
Ni	450		11		13,7	

Ook zware metalen komen voor in grijs water. Tabel B-1-8 geeft een overzicht van de vrachten en concentraties van de geselecteerde zware metalen. In vergelijking met urine, faeces en keukenafval ligt de vracht aan zware metalen in grijs water een stuk hoger. Door de hoge mate van verdunning zijn de concentraties echter zeer laag. De berekende concentraties zware metalen komen goed overeen met de gevonden waarden in de literatuur.

Ook in Nederland is er onderzoek gedaan naar de samenstelling van grijs water (Hernández Leal, Zeeman et al. 2007). Op een locatie in Groningen met 150 woningen is de kwaliteit van het grijze water gemeten en op de locatie van het demonstratieproject in Sneek is de grijs-waterkwaliteit van 32 woningen bestudeerd.

Een andere relevante parameter is de turbiditeit (troebelheid / ondoorzichtigheid). Richtlijnen voor het hergebruik van water stellen eisen aan de maximale turbiditeit. De turbiditeit van grijs water ligt doorgaans tussen de 15,3 en 240 NTU (Eriksson 2002). Deze hoge waarde wordt onder andere veroorzaakt door de aanwezigheid van voedselresten, haren, huidschilfers, zee-presten en vezels uit het waswater.

Organische microverontreinigingen

Een belangrijk deel van het CZV in grijs water wordt veroorzaakt door de vracht aan persoonlijke verzorgingsproducten (PVP's) en reinigingsmiddelen. Hoewel er al veel studies zijn verschenen over de kwaliteit van grijs water op het gebied van BZV, CZV, zouten, nutriënten en micro-organismen, is er is nog maar weinig onderzoek gedaan naar de concentraties van xenobiotische, organische stoffen in grijs water (Eriksson, Auffarth et al. 2003). De voornaamste bron van deze stoffen zijn persoonlijke verzorgingsproducten en huishoudelijke schoonmaak- en (af)wasmiddelen. Afgaand op de ingrediëntenlabels van veelgebruikte PVP's en reinigingsmiddelen in Deense huishoudens zouden 900 stoffen (of groepen van stoffen) in potentie kunnen voorkomen in grijs water (Eriksson, Auffarth et al. 2003).

In 1998 is er een omvangrijke studie gemaakt van het chemisch zuurstofverbruik van de meest gebruikte middelen in Nederlandse huishoudens (van der Wijst and Groot-Marcus 1998). Daarbij hebben de onderzoekers ook het jaarlijks verbruik van deze middelen in Nederland geïnventariseerd. Zo was het shampooverbruik in 1993 bijna 1 kg per persoon per jaar. Het gebruik van douche- of badproducten kwam op 0,8 kg per persoon per jaar. Gebruik van afwasmiddelen (zowel voor de hand- als machinevaat) ligt rond de 2,8 kg per persoon per jaar. Voor de textielreiniging in huishoudens werd er in 1994 ongeveer 8,3 kg wasmiddel per persoon per jaar gebruikt en in 1993 1,6 kg wasverzachter. Voor het reinigen van de woning worden weer andere typen stoffen gebruikt. Zo werd er in 1993 2,5 kg allesreiniger en 2 kg chloorbleekmiddel gebruikt per persoon per jaar (van der Wijst and Groot-Marcus 1998).

De persoonlijke verzorgingsproducten en huishoudelijke reinigingsmiddelen bestaan voor het grootste deel uit water (45% - 80%), wasactieve stoffen (15% - 30%), oplosmiddelen (<10%) en hulpstoffen zoals verdikkingsmiddel, conserveringsmiddel en parfum (<1%) (van der Wijst and Groot-Marcus 1998). De wasactieve stoffen (of detergenten) verwijderen het vuil. Deze groep bestaat uit anionogene oppervlakte-actieve stoffen, niet-ionogene oppervlakte actieve stoffen, amfotere en kationische oppervlakte actieve stoffen. Het overgrote deel van de wasactieve stoffen in schoonmaak- en wasmiddelen zijn anionogene detergenten (zoals lineair alkylbenzueensulfonaat of LAS) (pers. comm. L. Hernandez). De oplosmiddelen zijn bedoeld om organische stoffen - zoals geur- en kleurstoffen - op te lossen.

Eriksson et al. (2002) heeft de diverse ingrediënten van persoonlijke en huishoudelijke verzorgingsproducten onderverdeeld in categorieën op basis van de mate van toxiciteit, de biologische afbreekbaarheid en de bioaccumulatie. Uit zijn analyse blijkt dat vooral stoffen uit de groepen van de kationische en niet-ionogene detergenten, de conserveringsmiddelen en de wasverzachters een potentieel risico voor het milieu vormen vanwege de slechte biologische afbreekbaarheid en potentiële bioaccumulatie. Andere groepen stoffen zijn recentelijk onder de aandacht gekomen, vanwege hun potentiële hormoonverstorende karakter (bijv. alkylfenolen en parabenen, respectievelijk een detergent en een conserveringsmiddel) (Eriksson, Auffarth et al. 2003).

Studies naar de concentraties van xenobiotische stoffen in verschillende typen grijs water tonen aan dat de concentraties vallen in de ng tot µg per liter range (Eriksson, Auffarth et al. 2003; Palmquist and Hanæus 2005).

In grijs water afkomstig uit douche- en badwater en wastafels komen opgeloste vormen van persoonlijke verzorgingsproducten voor. Parabenen worden doorgaans toegevoegd aan persoonlijke verzorgingsproducten omdat ze een antimicrobiële werking hebben en de houd-

baarheid van de producten dus kunnen verlengen. De vijf meest gebruikte parabenen zijn methyl-, ethyl-, propyl-, butylparabenen en isobutylparabenen (Andersen 2007). Onderzoek heeft echter aangetoond dat bepaalde parabenen hormoonverstorende eigenschappen kunnen hebben, zowel in het lichaam van de gebruiker zelf, als later in het milieu (Routledge, Parker et al. 1998). Deens onderzoek naar de aanwezigheid van deze stoffen in grijs water toont aan dat methylparabenen in de hoogste concentraties voorkomen met een gemiddelde van 6,9 µg/l. Ethyl-, propyl-, butyl-, en isobutylparabenen komen voor in concentraties van respectievelijk 3; 3,6; 1,7; en 0,7 µg/l. Biologische behandeling van het grijze water resulteert in een minimale verwijderingsefficiëntie van 97% (Andersen 2007).

Ziekteverwekkers

Literatuur over het voorkomen van ziekteverwekkers in grijs water is zeer divers en laat grote variaties zien in concentraties van veel voorkomende pathogenen. Afhankelijk van de bron (badkamer, keuken, wasmachine e.d.), kan grijs water hogere of lagere concentraties indicatororganismen bevatten. Grijs water afkomstig uit douches of het bad draagt meer bij aan de microbiële verontreiniging dan bijvoorbeeld wasmachinewater (Rose, Sun et al. 1991).

Daarnaast heeft onderzoek aangetoond dat bepaalde micro-organismen in staat zijn te groeien wanneer grijs water voor een aantal dagen wordt opgeslagen. Zo blijkt onder andere de concentratie fecale coliformen een factor 10-100 hoger te zijn na 48 uur opslag en na die tijd slechts zeer geleidelijk wat af te nemen (Rose, Sun et al. 1991). De concentraties van indicatororganismen in opgeslagen grijs water kan dus in sommige gevallen leiden tot een overschatting van het risico van vers grijs water (WHO 2006b).

Jefferson (2004) heeft gekeken naar de microbiële kwaliteit van verschillende typen grijs water. In vers grijs water uit de douche rapporteert hij voor totale coliformen, E.coli en fecale streptokokken respectievelijk 6800 kve, 1490 kve en 2050 kve per 100 ml. Opvallend is dat badwater, qua E.coli en fecale streptokokkenconcentraties kwalitatief veel beter scoort (respectievelijk 83 en 40 kve per 100 ml.). Grijs water afkomstig uit wastafels scoort qua aanwezigheid van E.coli het best (slechts 10 kve/ 100ml), maar scoort relatief hoog voor totale coliformen en fecale streptokokkenconcentraties (9420 en 1710 kve per 100 ml resp.). Birks en Hills (2007) rapporteren over aanwezigheid van indicatororganismen voor gemengd grijs water uit bad, douche en wastafels. De concentraties van E.coli, fecale streptococci en totale coliformen waren respectievelijk $3,9 \cdot 10^5$, $2,5 \cdot 10^3$ en $2,2 \cdot 10^7$ kve per 100 ml. Dit hoge aantal kan verklaard worden doordat het grijze water enige tijd was opgeslagen en de aanwezige bacteriën zich in het nutriëntrijke milieu hebben kunnen vermeerderen.

In een studie door Eriksson et al. (2002) wordt onder andere gekeken naar de microbiële kwaliteit van grijs water afkomstig van wasmachines en baden. Concentraties fecale coliformen, totale coliformen en fecale streptokokken in wasmachinewater komen respectievelijk neer op $9 \cdot 10^4$ kve, $56 \cdot 10^5$ kve en $1 \cdot 10^6$ kve per 100 ml. Het water uit de badkamer scoort voor dezelfde indicatororganismen respectievelijk $3 \cdot 10^3$ kve (fecale coliformen), $70 \cdot 10^7$ kve (totale coliformen) en een range van $1 - 7 \cdot 10^4$ kve voor fecale streptokokken per 100 ml. De concentratie van totale coliformen liggen in het badwater dus, zoals verwacht, beduidend hoger dan in het wasmachinewater.

Sommige onderzoekers hebben naast indicatororganismen ook de aanwezigheid van andere pathogenen proberen aan te tonen. Birks en Hills hebben ook onderzoek gedaan naar aanwezigheid van Salmonella, Giardia, Cryptosporidium, E.coli O157:H7 en Legionella. Daarvan

konden alleen Salmonella en Giardia in het grijze water worden aangetoond. In de verschillende monsters kon slechts één keer Salmonella worden aangetoond. In 63% van de monsters was Giardia aanwezig. De concentraties van Giardia lag met 1,5 cysten per liter wel ruim beneden de concentratie waarbij een persoon geïnfecteerd kan raken (vanaf 10 - 25 cysten/liter).

Onderzoek door Winward et al. laat zien dat Paeruginosa aanwezig kan zijn in concentraties van $4.4 \log_{10}$ kve per 100 ml. Staphylococcus aureus in concentraties van $3.4 \log_{10}$ kve/100 ml in grijs water afkomstig uit wastafels, baden en douches. Salmonella en Campylobacter konden niet worden aangetoond. De indicator organismen E.coli, enterococci en Clostridia kwamen voor in concentraties van respectievelijk 2.8, 2.8 en $3.1 \log_{10}$ kve per 100 ml (2008).

Onderzoekers (Rose, Sun et al. 1991) tonen aan dat de mate van vervuiling van het grijze water, afhangt van de gezinssamenstelling. De aanwezigheid van jonge kinderen in het huishouden betekent een hogere concentratie van totale en fecale coliformen in grijs water. Dit verschil (soms groter dan een factor 1000) kan o.a. verklaard worden door het gebruik van katoenen luiers. Douchewater en badwater blijken het meeste bij te dragen aan de microbiële vervuiling van het grijs water (Rose, Sun et al. 1991).

Ook onderzochten dezelfde wetenschappers de groei en het overleven van fecale en totale coliformen in badwater van gezinnen met kleine kinderen. In de eerste 48 uur van het experiment werd er een groei (factor 10 - 100) van deze organismen waargenomen, daarna nam het aantal langzaam af. Aan het eind van het experiment (na 12 dagen) bleek het aantal coliformen echter hoger te zijn dan de initiële concentraties. Ook hier wordt de groei van de micro-organismen verklaard door de gunstige omstandigheden - de aanwezigheid van nutriënten - in het grijze water (Rose, Sun et al. 1991).

Medicijnresten en hormonen

Onderzoek door Eriksson et al. (2003) toont aan dat het grijze water ook verontreinigd kan zijn met kleine hoeveelheden ($\mu\text{g/l}$ range) van medicijnen. Tijdens het tandenpoetsen en wassen kunnen medicijnresten die door het lichaam worden uitgescheiden terecht komen in het grijze water, onder andere wanneer er wordt geürineerd tijdens het douchen.

1.3 SAMENVATTEND

Nutriënten en organisch materiaal

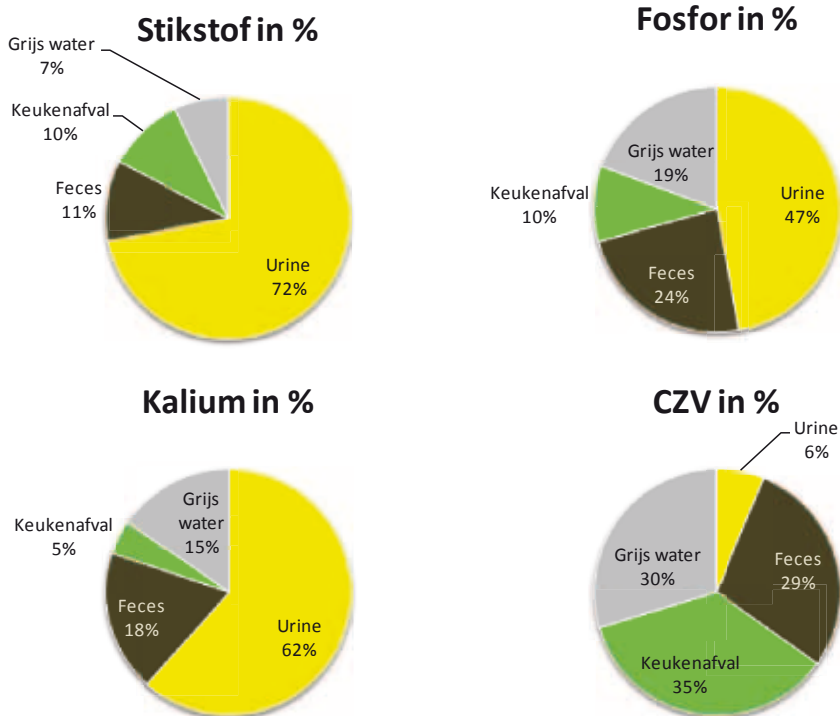
Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat huishoudelijk afvalwater een bron is van waardevolle nutriënten als stikstof, fosfor en kalium, maar ook van ongewenste microverontreinigingen (medicijnresten en hormonen) en ziekteverwekkers. Een overzicht met vrachten aan nutriënten en CZV per deelstroom is weergegeven in figuur B-1-4. De percentages zijn berekend aan de hand van gemiddelde vrachten die per persoon per dag worden uitgescheiden.

Ondanks dat urine met slechts 1% de kleinste stroom van al het afvalwater representeert, bevat het verreweg de meeste nutriënten. Urine heeft van alle stromen de hoogste stikstofvracht (72%). Op de tweede plaats volgt faeces (11%). In urine en faeces worden ook de hoogste vracht fosfor en kalium aangetroffen met een percentage van respectievelijk 47 % (urine) en 24% (faeces) voor P en 62% (urine) en 18% (faeces) voor K. Het percentage stikstof ligt in keukenafval hoger dan in grijs water, terwijl het omgekeerde het geval is voor fosfor en kalium. Het gehalte CZV in de verschillende stromen laat een andere verdeling zien. Keukenafval heeft

met 35% de grootste vrucht aan organisch materiaal, op een tweede en derde plaats komen respectievelijk grijs water (30%) en faeces (29%). Opvallend is hier dat urine met slechts 6% de laagste vrucht aan CZV heeft.

Naast nuttige voedingstoffen voor planten en organisch materiaal, komen ook zouten, zware metalen en ongewenste microverontreinigingen en micro-organismen voor in de verschillende deelstromen.

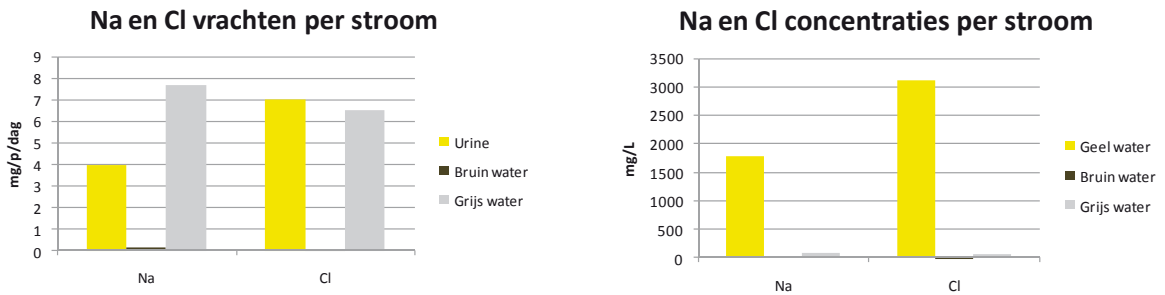
FIGUUR B-1-4 PERCENTAGE STIKSTOF, FOSFOR, KALIUM EN CZV IN URINE, FAECES, KEUKENAFVAL EN GRIJS WATER



Zouten

Het zoutgehalte van urine is zeer hoog. Uitgaande van de grenswaarde voor chloride bij lozing op het oppervlaktewater van 200 mg/l is onverdunde urine 10 - 20 keer te zout om te worden geloosd, en wel 100 keer te zout voor zoutgevoelige gewassen. Het zoutgehalte van grijs en groen water is niet bekend. Aangenomen moet worden dat dit significant is. Voor grijs water moet minimaal worden gerekend op het zoutgehalte van het leidingwater (chloride ca 50 - 60 mg/l) en de zouttoevoeging aan (af)waswater. In groen water moet worden gerekend op zouttoevoegingen uit etensresten. Het zoutgehalte van bruin water is zeer laag. Voor gebruik als gietwater in de glastuinbouw zal gezuiverd grijs water over het algemeen moeten worden ontzout.

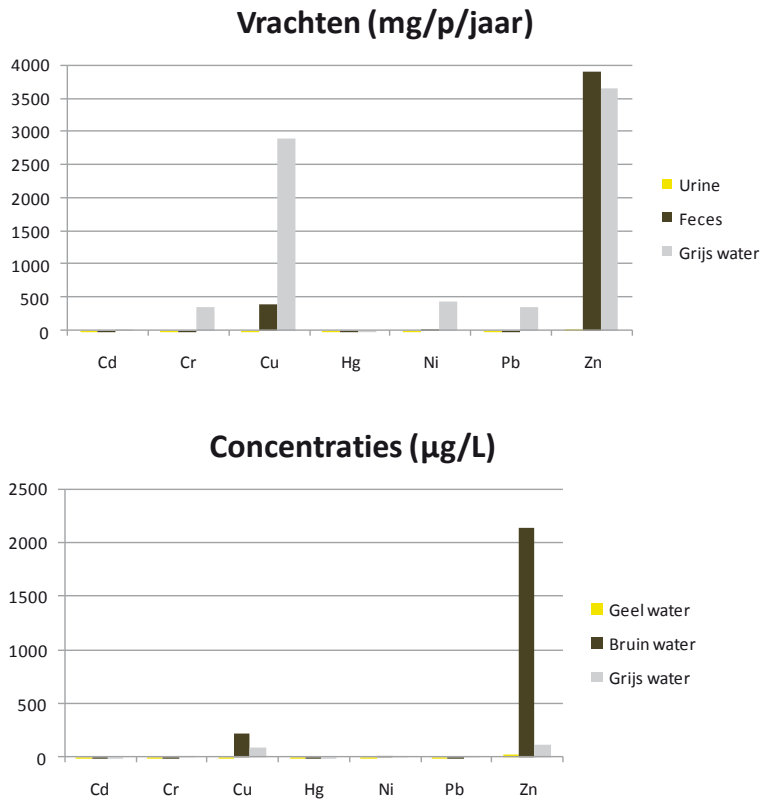
FIGUUR B-1-5 VRACHTEN EN CONCENTRATIES VAN ZOUTEN IN AFVALWATERSTROMEN



Zware metalen

De laagste vrachten aan zware metalen worden aangetroffen in urine (figuur B-1-6). Daarna volgen faeces met relatief hoge vrachten voor koper en zink. Grijs water heeft de grootste zware metalen vracht, met maxima voor koper en zink.

FIGUUR B-1-6 VRACHTEN (MG/P/JAAR) EN CONCENTRATIES (G/L) VAN ZWARE METALEN IN URINE, FAECES EN GRIJS WATER



Ziekteverwekkers

Er is een reële kans dat urine fecale pathogenen bevat na uitscheiding door de mens. Zwart en bruin water bevatten vanzelfsprekend een grote vracht aan fecale ziekteverwekkers, omdat deze met name met de faeces worden uitgescheiden.

Grijs water kan hoge concentraties pathogenen bevatten die geassocieerd worden met fecaliën of die natuurlijk in of op het lichaam voorkomen. Daarnaast kunnen in grijs water nog ziekteverwekkers voorkomen als gevolg van bepaalde keukenactiviteiten, zoals het afspoelen van rauw vlees of het gebruik van rauwe eieren. Bij het hergebruik van zowel urine, bruin, zwart en grijs water is er dus een reëel risico dat ziekteverwekkers worden verspreid. De behandeling van de brongescheiden stroom dient dus ook rekening te houden met het elimineren van de potentiële ziekteverwekkers tot onder een geaccepteerd niveau, zodat de risico's (van verspreiding en besmetting) zo laag mogelijk zullen zijn.

Medicijnresten en hormonen

De medicijn- en hormoonconcentraties in de brongescheiden stromen zijn onder andere zeer afhankelijk van het aantal gebruikers en de mate van verdunning. De concentraties uit de literatuur tonen dan ook veel variatie. Zeker is echter dat de grootste vracht aan medicijnen in de brongescheiden urine zal worden aangetroffen. Omdat 30% van de medicijnen met de faeces wordt uitgescheiden, zal de concentraties in het bruine water aanzienlijk lager zijn. Wanneer zwart water met een vacuümsysteem wordt opgehaald, worden relatief hoge concentraties aangetroffen omdat zowel de urine als de faeces aanwezig is in een klein volume. Grijs water zal naar verwachting een zeer kleine vracht aan medicijnresten of hormonen hebben. Door de hoge mate van verdunning zullen concentraties bovendien zeer laag zijn.

BIJLAGE 2

TERUGWINNING VAN NUTRIËNTEN

De volgende technieken voor terugwinning en verwijdering van nutriënten zijn geïnventariseerd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen behandelingstechnieken gericht op stikstof en fosfaten. Telkens wordt eerst ingegaan op de technieken voor terugwinning. Indien en voor zover terugwinning niet haalbaar is moeten de nutriënten nog altijd zo veel mogelijk worden verwijderd. Technieken die daarvoor beschikbaar zijn volgen in tweede instantie. Afgesloten wordt met een korte beoordeling van de geschiktheid van de geïnventariseerde technieken in de context van deze studie.

TECHNIEKEN VOOR TERUGWINNING VAN STIKSTOF

Ionenwisseling - Met behulp van een natuurlijke zeolieten of synthetische harsen is het mogelijk om ammonium tijdelijk te binden. Natuurlijke zeolieten laten een hoge specificiteit voor ammonium zien en synthetische harsen kunnen ongevoeliger zijn voor verontreinigingen zoals organische stoffen, eiwitten en ionen. De kationen die gebonden zijn aan het kolommateriaal worden verdrongen door ammoniumionen. De vrij gekomen ionen worden met het effluent afgevoerd. Na verloop van tijd is het kolommateriaal verzadigd en moet geregenereerd worden. Regeneratie vindt plaats door de gebonden ammoniumionen te vervangen door andere kationen. Bij dit proces worden de ammoniumionen afgevoerd via de regeneratievloeistof. Ionenwisseling kan alleen worden toegepast om nutriënten terug te winnen uit biologisch behandeld zwart water. Voor geel water is het niet toepasbaar; dat is te geconcentreerd. Voor het terugwinnen van de nutriënten zijn grote hoeveelheden chemicaliën noodzakelijk.

Omgekeerde Osmose (RO) - Door een oplossing met behulp van een membraan te filteren kan de ingaande stroom gezuiverd worden. Hierbij ontstaat een geconcentreerde stroom die alle zouten bevat en een stroom die voornamelijk uit water bestaat. Extensieve voorbehandeling van de ingaande stroom is noodzakelijk. Met behulp van druk wordt een oplossing door een membraan geperst waarbij alleen water het membraan passeert. Hierdoor ontstaat, tegen de osmotische gradiënt in, water dat een lage concentratie zouten bevat. De gebruikte membranen zijn semi-permeabel en laten geen zouten door.

RO membranen kunnen in principe worden gebruikt om uit geel of voorbehandeld zwart water nutriënten terug te winnen. Echter voor het concentreren van nutriënten uit urine is een hoge druk - en dus veel energie - benodigd. Vanwege de lage concentratiefactor die mogelijk is met voorbehandeld zwart water en de hoge energiekosten (van Voorthuizen, 2008)² lijkt RO voor terugwinning van nutriënten een ongeschikte techniek.

Struvietprecipitatie - Door de vorming van MAP (magnesium-ammonium-fosfaat, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ofwel struviet) is het mogelijk om ammonium uit de oplossing te verwijderen. Toevoeging van magnesium en fosfaat is noodzakelijk om stikstof zo volledig mogelijk te verwijderen. Struviet kan gebruikt worden als langzaam werkende meststof. Door toevoeging van magnesium en fosfaat worden concentraties gehaald die hoger zijn dan het oplosbaarheidsproduct. Onder invloed van de pH, mate van supersaturatie, temperatuur en de aanwezigheid van andere ionen ontstaan kristalembryo's. Deze kristallen groeien aan totdat een equilibrium is bereikt. Een nadeel van struvietprecipitatie voor het terugwinnen van stikstof is de noodzaak om grote hoeveelheden fosfaat toe te voegen.

² van Voorthuizen, E., Zwijnenburg, A., van der Meer, W., Temmink, H., 2008, Terugwinning van nutriënten uit zwart water vanuit een Nederlands perspectief, Afvalwaterwetenschap 7(2008)3, p. 160 - 168.

IBDU-precipitatie - In verse urine is stikstof voornamelijk aanwezig als ureum. Door toevoeging van isobutyraldehyde (IBU) wordt een IBU-ureum complex gevormd. Dit complex kan als langzaam werkende vaste meststof worden toegepast.

Breakpoint Chlorination - Met behulp van natriumhypochloriet is het mogelijk om ammonium af te breken tot stikstofgas. Het gaat echter om een complex proces met overwegende nadelen.

Lucht- of stoomstrippen - Door lucht of stoom door een oplossing met ammoniak te blazen zullen de aanwezige ammoniakmoleculen verdampen. De aldus gestripte ammoniak kan worden opgevangen door het stripgas door een oplossing te leiden. Voor dit 'wassen' kunnen verschillende oplossingen worden gebruikt. Die oplossing bepaalt het eindproduct: ammoniakwater, ammoniumbicarbonaat, ammoniumsulfaat of ammoniumnitraat.

Het strippen van ammoniak uit een oplossing is een op praktischschaal bewezen technologie. Voor volledige verwijdering van stikstof is echter veel energie nodig. Wel is gebleken dat een deel (50%) van de ammoniak 'spontaan' ontsnapt uit urine gedurende opslag (EAWAG, persoonlijke communicatie).

In bijlage 4 is lucht- en stoomstrippen nader uitgewerkt. Daarbij is uitgegaan van een verwijderingsrendement van >90% (>95% wordt haalbaar geacht).³ Vastgesteld is dat het energieverbruik van stoomstrippen vele malen groter is dan de benodigde energie voor luchtstrippen. Derhalve dat luchtstrippen uiteindelijk is meegenomen in de scenario-uitwerking.

Vacuüm strippen - Met behulp van vacuüm is het mogelijk om ammoniak te verdampen. De verdampte ammoniak wordt vervolgens geadsorbeerd in water. Het proces van vacuüm strippen vraagt echter veel energie.

Capacitive deionization - Bij het proces van capacitive deionization kan door middel van elektrische stroom het ureum gescheiden worden van de aanwezige zouten. Daarnaast is het wel noodzakelijk om het ureum nog om te zetten naar nitraat. Nadeel van deze techniek is dat deze nog niet bewezen is in de praktijk en er daarom nog weinig bekend is over de robuustheid en complexiteit.

3 Het zuiveringsrendement (stikstofverwijdering) van de hedendaagse AWZI's ligt rond de 80%.

TABEL B-2-1 VOOR- EN NADELEN VAN TECHNIEKEN VOOR TERUGWINNING VAN STIKSTOF

Techniek	Voordelen	Nadelen
Ionenwisseling	<ul style="list-style-type: none"> - Snelle respons bij 'shock loading' mogelijk. - Werking blijft effectief bij aanwezigheid van antimicrobiële contaminanten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Voorbehandeling noodzakelijk om alle zwevende stof en colloïdaal materiaal te verwijderen die de kolom kunnen verstoppem. - Materiaal moet geregenereerd worden; hoog chemicaliëngebruik. - Lage bindingscapaciteit van kolom materiaal (0.94-55g NH₄-N/kg kolom materiaal). - Slechts lage concentratiefactor haalbaar door concurrentie met andere kationen (Na en K).
Omgekeerde Osmose (RO)	<ul style="list-style-type: none"> - 5 x concentreren is mogelijk. 	<ul style="list-style-type: none"> - Extensieve voorbehandeling nodig om membraanvervuiling te voorkomen. - Flux afhankelijk van pH, temperatuur en druk. - Permeaat heeft nabehandeling nodig om stikstof volledig te verwijderen. - 9 MJ/kg-1N consumptie voor een concentratiefactor 5.
Struvietprecipitatie	<ul style="list-style-type: none"> - 100% verwijdering van stikstof mogelijk. - Struviet kan als langzaam werkende meststof worden toegepast. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grote hoeveelheden magnesium, fosfaat en natronloog moeten worden toegevoegd voor volledige verwijdering. - In Nederland is struviet als meststof niet bruikbaar.
IBDU-precipitatie	<ul style="list-style-type: none"> - Het gevormde complex kan als langzaam werkende meststof worden toegepast. 	<ul style="list-style-type: none"> - Toevoeging van IBU resulteert in partiële complexvorming. Niet al het ureum zal worden verwijderd. Bij een overdosering van 5 maal wordt 75% verwijdering behaald. - Ureum wordt zeer snel gehydrolyseerd door de aanwezige micro-organismen.
Breakpoint chlorination	<ul style="list-style-type: none"> - Constante kwaliteit. - Hoge verwijderingsrendementen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vorming van giftige chloramines. - Nitraat vorming. - Complex proces. - Organisch materiaal moet verwijderd worden om proces zo stabiel mogelijk te houden. - Verhouding Cl₂:NH₃ 8:1.
Lucht- of stoomstrippen	<ul style="list-style-type: none"> - >95% verwijdering mogelijk. - Stikstof terug te winnen als vloeibare meststof. 	<ul style="list-style-type: none"> - pH >10 met NaOH. - Voorfiltratie nodig om CaCO₃ en evt slib te verwijderen. - 26MJ/kg-1N elektrisch verbruik luchtstrippen.
Vacuümstrippen	<ul style="list-style-type: none"> - 95% verwijdering mogelijk. - Stikstof terug te winnen als vloeibare meststof. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ammoniak oplossing is onstabiel bij normale druk. - Concentratiefactor tot 10% mogelijk. - Energie consumptie 7kWh.m⁻³.
Capacitive deionization	<ul style="list-style-type: none"> - scheiding mogelijk van zouten en stikstof. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nog niet bewezen techniek.

TECHNIEKEN VOOR STIKSTOFVERWIJDERING

Conventionele nitrificatie/denitrificatie - Met behulp van verschillende micro-organismen wordt ammonium omgezet tot stikstofgas. Deze manier van stikstofverwijdering wordt veelvuldig in de praktijk toegepast. Hierbij moet gedacht worden aan de rioolafvalwaterzuiveringen (RWZI). Ammonium wordt met behulp van autotrofe nitrificerende bacteriën omgezet in nitriet. Hierbij wordt zuurstof verbruikt waardoor beluchting noodzakelijk is. Vervolgens wordt, door heterotrofe bacteriën in een zuurstofloze omgeving, het gevormde nitraat omgezet tot stikstof met behulp van een koolstofbron. Als de koolstofbron in limiterende hoeveelheden aanwezig is dient deze te worden gesuppleerd voor volledige omzetting.

SHARON/denitrificatie/Annamox - Het SHARON-proces (Stable and High activity Ammonia Removal Over Nitrite) maakt het mogelijk om hoge concentraties ammonium te verwijderen. Dit concept is oorspronkelijk ontwikkeld om stikstofrijke retourstromen te behandelen. Door het SHARON-proces te combineren alternatieve technieken, kan er op een nog efficiëntere manier stikstof worden verwijderd in vergelijking met conventionele nitrificatie/denitrificatie processen. Met behulp van ammonium oxiderende bacteriën wordt ammonium omgezet in nitriet. Vervolgens wordt het gevormde nitriet omgezet naar stikstofgas. Denitrificatie via deze route vereist minder zuurstof. Er is bovendien minder koolstofbron nodig. Ook is het mogelijk om het SHARON proces te combineren met het Annamox-proces. Hierbij wordt 50% van het ammonium via het SHARON-proces omgezet in nitriet. De Annamoxbacterie oxideert vervolgens bij anoxische condities de ammonium/nitriet oplossing. Deze bacteriën zijn autotroof waardoor er geen additionele koolstofbron nodig is.

Canon - Het CANON-proces (Complete Autotrophic Nitrogen removal Over Nitrite) omvat de nitrificatie van ammonium tot nitriet en de anoxische denitrificatie tot stikstofgas. Aërobe ammonia oxiderende bacteriën zetten ammonium om in nitriet. De anaërobe ammonia oxiderende bacteriën zetten het gevormde nitriet, samen met ammonium, om tot stikstofgas. Hierbij zijn zuurstoflimiterende condities vereist. Omdat de bacteriën, verantwoordelijk voor deze processen, autotroof zijn is toevoeging van C-bron niet vereist.

Oland - Het OLAND-proces (Oxygen Limited Autotrophic Nitrification Denitrification) is vergelijkbaar met het CANON proces. Het OLAND-proces wordt bewerkstelligd door aërobe ammonium oxiderende bacteriën en Annamoxbacteriën. Het OLAND proces laat echter goede tolerantie tegen NH_4^+ en NO_2^- shocks zien.

De besproken biologische processen lijken allemaal geschikt om uit bruin- of zwart water stikstof te verwijderen. Het conventionele proces heeft als nadeel de hogere energievraag en de hogere slibproductie ten opzichte van processen zoals Sharon, Annamox, Canon en Oland. Een nadeel van laatstgenoemde processen is de hoge werkingstemperatuur die vereist is.

Elektrochemische oxidatie - Met behulp van elektriciteit is het mogelijk om stikstof te verwijderen in de vorm van stikstofgas. De aanwezige Gibbs vrije energie maakt het mogelijk om ammonia bij de anode af te breken. Afbraak tot stikstofgas vindt gedeeltelijk plaats door OH-radicalen die gegenereerd worden bij de oppervlakte van de elektrode.

TABEL B-2-2 VOOR- EN NADELEN VAN TECHNIEKEN VOOR STIKSTOFVERWIJDERING

Techniek	Voordelen	Nadelen
Conventionele nitrificatie/ denitrificatie	<ul style="list-style-type: none"> - 95% verwijdering mogelijk. - Optimum temperatuur 12-35 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge slibproductie. - Lange verwerkingstijd voor volledige stikstofverwijdering. - Deelprocessen vereisen verschillende omstandigheden. - Hoge concentratie O₂ nodig 4.2g O₂/gNH₄-N. - Toevoeging van additionele C-bron wanneer C/N ratio te laag is.
Sharon/denitrificatie	<ul style="list-style-type: none"> - Geen slibretentie. - 25% minder zuurstofverbruik dan conventioneel. - 40% minder C-bron noodzakelijk. - 40% minder slibproductie. - 95% verwijdering mogelijk. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge werkingstemperatuur. - pH van zeer grote invloed op proces. - Dual-reactor systeem nodig voor volledige verwijdering.
Sharon/Anamox	<ul style="list-style-type: none"> - 60% minder zuurstof verbruik dan conventioneel. - Geen C-bron noodzakelijk. - 90-95% verwijdering mogelijk. 	<ul style="list-style-type: none"> - Anamox groeit zeer langzaam wat resulteert in een lange opstartfase. - Hoge werkingstemperatuur.
Canon	<ul style="list-style-type: none"> - 95% verwijdering mogelijk. - Geen additionele C-bron nodig. - Lage zuurstofbehoefte, 63% lager dan conventionele nitrificatie/denitrificatie (DO<0.5 mg/L). 	<ul style="list-style-type: none"> - Stikstof/zuurstof balans belangrijk. Moeilijk te handhaven in grote systemen met wisselende vracht.
Oland	<ul style="list-style-type: none"> - > 90% verwijdering mogelijk. - Geen additionele C-bron nodig. - Lage zuurstofbehoefte: 63% lager dan conventionele nitrificatie/denitrificatie. - Goede tolerantie tegen NH₄⁺ en NO₂⁻ shocks. - Geen pH correctie noodzakelijk. - Lage slibproductie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Hoge werkingstemperatuur.
Elektrochemische oxidatie	<ul style="list-style-type: none"> - Minimale hoeveelheid secundair afval. - Makkelijk bestuurbaar proces 	<ul style="list-style-type: none"> - Ammoniak ontsnapt als gas tijdens elektrochemisch proces. - Omzettingspercentage max 61%.

TABEL B-2-3 GESCHIKTHEID VAN GEÏNVENTARISEERDE TECHNIEKEN VOOR STIKSTOFHERGEBRUIK EN/OF -VERWIJDERING

Techniek	Geschied voor deze studie	Waarom ongeschikt?
Terugwinning		
Ionenwisseling	Nee	Technologie niet echt duurzaam
Omgekeerde Osmose (RO)	Nee	Technologie niet echt duurzaam
Struviet	Ja	
IBDU Precipitatie	Nee	Praktisch moeilijk uitvoerbaar
Breakpoint Chlorination	Nee	Proces (bediening en onderhoud) te complex
Lucht/stoom strippen	Ja	
Vacuüm strippen	Nee	Technologie niet echt duurzaam
Capacitive deionization	Nee	Technologie nog niet bewezen in de praktijk
Verwijdering		
Conventionele nitrificatie/denitrificatie	Ja	
Sharon/denitrificatie	Ja	
Sharon/Anamox	Ja	
Canon	Ja	
Oland	Ja	
Elektrochemische oxidatie	?	

Een tweetal terugwinningstechnieken, struvietprecipitatie en luchtstrippen, lijkt dus geschikt. Struvietprecipitatie wordt inmiddels in praktijksituaties beproefd. Luchtstrippen is in dit onderzoek nader uitgewerkt omdat het resulteert in vloeibare meststoffen (naar gelang de wens ammoniumsulfaat, ammoniumchloride en ammoniumnitraat). In de Nederlandse glastuinbouw wordt overwegend gebruik gemaakt van vloeibare meststoffen. Of de meststoffen die na luchtstrippen ontstaan qua aard, samenstelling en concentratie ook daadwerkelijk geschikt zijn voor de glastuinbouw is voorsnog niet vastgesteld.

FOSFORTERUGWINNING

Precipitatie van struviet – Precipitatie van struviet kan worden gebruikt voor terugwinning van fosfor. Struviet is te gebruiken als langzaam werkende meststof. Het proces is reeds beschreven bij de technieken om stikstof terug te winnen.

Precipitatie van calciumfosfaat, aluminiumfosfaat en ijzerfosfaat - Met behulp van zouten is het mogelijk om fosfaat neer te slaan. De verwijderingsefficiëntie en de omstandigheden waarin precipitatie plaats vindt verschillen per zout. Alleen het precipitaat van calciumfosfaat is bruikbaar als meststof. De andere twee precipitaten verwijderen fosfaat, maar zijn niet bruikbaar als meststof.

TABEL B-2-4 VOOR- EN NADELEN VAN TECHNIEKEN VOOR FOSFORTERUGWINNING

Techniek	Voordelen	Nadelen
Struvietprecipitatie	95% fosfaatverwijdering mogelijk. Struviet kan als langzaam werkende meststof worden toegepast.	Voor terugwinning van fosfor hoeft in vergelijking tot ammoniumverwijdering weinig magnesium te worden gedoseerd. Wel is nog dosering van natronloog noodzakelijk. In Nederland is struviet als meststof niet gebruikelijk.
Calciumfosfaat precipitatie	75-85% fosfaat verwijdering mogelijk. Neerslag bruikbaar als meststof. relatief lage kosten.	Carbonaten inhiberen kristallisatie (beïnvloedbaar door pH). Gelijktijdige neerslag van calciumcarbonaat en calciumfosfaat Relatief laag fosfaatgehalte. Slibgroei.

FOSFORVERWIJDERING

EBPR - Het EBPR (Enhanced biological phosphorus removal) proces wordt veelvuldig gebruikt om fosfaat te verwijderen. Bij dit proces wordt gebruik gemaakt van micro-organismen die fosfaat accumuleren. Door slib af te laten worden deze micro-organismen, alsmede het geaccumuleerde fosfaat, verwijderd. Door het slib te recirculeren via anaërobe en aërobe condities wordt EBPR gestimuleerd. Polyfosfaat accumulerende micro-organismen zijn in staat om intracellulair fosfaat op te slaan in de vorm van polyfosfaat. Deze micro-organismen zijn in staat om VFA (Volatile Fatty Acids) als polymeren op te slaan. De energie om deze af te breken wordt verkregen uit de afbraak van polyfosfaat en uitscheiding van fosfaat. EBPR is een in de praktijk toegepaste technologie voor de verwijdering van fosfaat.

Algen - Met behulp van microalgen is het mogelijk om fosfaten te verwijderen. Verschillende algen laten verschillende verwijderingsrendementen zien. De marktpotentie van algen is groot zodat de geproduceerde algen inkomsten kunnen genereren. Daarentegen bevinden de technieken voor algenteelt zich nog in het experimentele stadium.

Wetlands - Met behulp van planten en micro-organismen is het mogelijk afvalwater vergaand te zuiveren. De gebruikte plantensoorten en wijze van constructie zijn belangrijke factoren die het zuiveringsrendement beïnvloeden.

TABEL B-2-5 VOOR- EN NADELEN VAN TECHNIEKEN VOOR FOSFORVERWIJDERING

Techniek	Voordelen	Nadelen
Aluminiumfosfaat precipitatie	<ul style="list-style-type: none"> - 99% verwijdering mogelijk. - Snelle precipitatie-reactie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verschil in respons. - Organisch fosfaat wordt alleen bij lage pH geprecipiteerd. - Vorming van aluminiumcomplexen afhankelijk van aanwezige organische bestanddelen. - Techniek alleen toepasbaar bij lage concentratie organische bestanddelen. - Slibgroei.
IJzerfosfaat precipitatie	<ul style="list-style-type: none"> - 99% fosfaat verwijdering mogelijk. - Snelle reactie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Slibgroei.
EBPR	<ul style="list-style-type: none"> - Geen toevoeging van chemicaliën. - Lage kosten. 	<ul style="list-style-type: none"> - Wisselende resultaten tussen RWZI's; het proces wordt nog niet helemaal begrepen en het is vaak onduidelijk welke factoren een storende invloed hebben (gehad).
Algen	<ul style="list-style-type: none"> - 55%-99% verwijdering mogelijk. - Veelbelovende technologie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verhouding C:N:P belangrijk. - Afhankelijk van compositie afvalwater is een mix van bacteriën en/of meerdere microalgen noodzakelijk voor verregaande verwijdering. - Algenteelt is nog in ontwikkelingsfase.
Wetlands	<ul style="list-style-type: none"> - 99% verwijdering mogelijk. - Lage kosten. - Technologisch simpel. 	<ul style="list-style-type: none"> - Wisselende resultaten. - Verwijderingsrendement afhankelijk van gebruikte plantensoorten en substraat. - Klimaat van invloed op verwijderingsrendement.

TABEL B-2-6 GESCHIKTHEID TECHNIEKEN VOOR FOSFORHERGEBRUIK EN/OF -VERWIJDERING

Techniek	Geschikt voor deze studie
Hergebruik	
Struviet	Ja
Calciumfosfaat precipitatie	Ja
Verwijdering	
Aluminiumfosfaat precipitatie	Ja
IJzerfosfaat precipitatie	Ja
EBPR	Ja
Algen	Ja
Wetlands	Ja

BIJLAGE 3

VOORONTWERP ANAËROBE VERGISTER

Een van de te behandelen componenten van huishoudelijk afvalwater is de organische stof, ofwel het geheel van de talrijke en vaak ook complexe verbindingen met koolstofatomen als bindend element. De aanwezigheid van organische stof wordt in verband met waterzuivering veelal uitgedrukt in CZV. Dit slaat op de hoeveelheid zuurstof die benodigd is om alle oxideerbare (meest organische) stoffen in het water af te breken. CZV wordt uitgedrukt in gram zuurstof per liter afvalwater (g/L).

Bruin en grijs water zijn de grootste bronnen van organische stof in huishoudelijk afvalwater. In bruin water is deze grotendeels biologisch afbreekbaar. In grijs water zitten relatief veel organische stoffen die moeilijk afbreekbaar zijn. De concentraties zijn echter veel kleiner (20 – 120 maal) dan in bruin water. In bruin water is de CZV-vracht juist vrij groot. De concentratie is echter weer sterk afhankelijk van de hoeveelheid spoelwater die in het toilet wordt gebruikt. Geel water bevat relatief weinig organische stof. Groen water zal daarentegen een grote bijdrage leveren. Het gaat daarbij om biologisch goed afbreekbare organische stof geschikt voor covergisting met bruin of zwart water.

Nemen we het totale huishoudelijk afvalwater met groen water samen dan levert: geel 6%, bruin 29%, grijs 30% en groen 35% van de totale CZV-vracht (zie bijlage 1).⁴ Donker water zou derhalve 70% van de totaal te verwerken CZV bevatten. Mogelijke behandelingswijze daarvan is anaërobe vergisting. Dit is een biologisch proces waarbij organisch materiaal wordt omgezet in methaan (biogas) en koolstofdioxide onder afwezigheid van zuurstof. De reactievergelijking kan als volgt worden weergegeven.



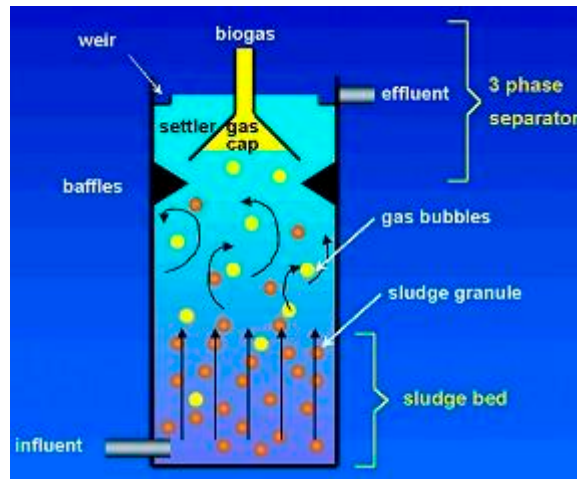
Het proces wordt toegepast bij de behandeling van afvalwater met een hoog organische stof gehalte (10.000 – 30.000 mg CZV/l). Anaërobe vergisting heeft een aantal voordelen ten opzichte van aërobe systemen. De slibproductie is veel lager waardoor de slibverwerking en afzetkosten minimaal zijn. De belasting van het proces is vele malen hoger dan bij aërobe zuivering en kan wel 30 kg CZV *m³*d⁻¹ bedragen. Aërobe zuivering kan daarentegen hooguit 3 kg CZV *m³*d⁻¹ omzetten. De constructie van een anaëroob systeem is over het algemeen simpel en daardoor relatief goedkoop. De energiekosten zijn laag (0,05 – 0,1 kWh/m³) en bij gebruik van het geproduceerde methaan mogelijk zelfs nihil. Per kg omgezette CZV wordt 0,26 – 0,34 m³ biogas gevormd.

Een verscheidenheid aan bacteriën zorgt voor de verschillende processen tijdens anaërobe vergisting. Deze processen kunnen worden ingedeeld in 4 stappen:

1. Hydrolyse. In deze stap worden onopgeloste bestanddelen omgezet in minder complexe opgeloste bestanddelen (suikers, aminozuren, vetzuren) d.m.v. van enzymen afkomstig van fermentatieve bacteriën.
2. Acidogenese. De opgeloste bestanddelen worden verder afgebroken in eenvoudige componenten zoals vluchtige vetzuren, alcoholen, melkzuur, methanol, CO₂, H₂, NH₃, H₂S en biomassa.
3. Acetogenese. De producten van de fermentatieprocessen worden omgezet in acetaat en H₂.
4. Methanogenese. In de laatste stap wordt acetaat, H₂, CO₂ en methanol omgezet in methaan, CO₂ en biomassa.

⁴ Berekend op basis van gemiddelde vrachten per persoon per dag, zie bijlage 1.

FIGUUR B-3-2 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN UASB REACTOR. (BRON: HTTP://WWW.UASB.ORG/)



Een alternatief is de UASB septic tank. Dat is een UASB reactor met extra vergistingsruimte waardoor de sibleeftijden hoger zijn dan bij een UASB reactor.

Bij het vergistingsproces ontstaat biogas, een gasmengsel dat voornamelijk uit methaan en koolstofdioxide bestaat. Verder bevat het een kleine fractie waterstofsulfide, stikstof, zuurstof, waterstof en een verzadigde hoeveelheid water. De samenstelling van biogas en de verschillende concentraties van de samenstellingen staan in tabel B-3-1 vermeld.

TABEL B-3-1 BIOGAS COMPOSITIE

Product	Waarde	Eenheid
Methaan (CH ₄)	45 - 75	%
Koolstofdioxide (CO ₂)	24 - 45	%
Water (H ₂ O)	2 - 7	%
Waterstofsulfide (H ₂ S)	20 - 20.000	ppm
Stikstof (N ₂)	<2	%
Zuurstof (O ₂)	<2	%
Waterstof (H ₂)	<1	%

Voor elke kg omgezet CZV, wordt 0,26 – 0,34 m³ methaan gevormd. De stookwaarde daarvan bedraagt 9,3 – 12,2 MJ.⁵ Voor 1200 woningen inclusief groenwaterinzameling zal het gaan om 131 m³ biogas ofwel 4,7 GJ per dag.

Het geproduceerde methaan kan ter plekke worden omgezet in warmte en elektriciteit. Deze kan worden gebruikt om het proces in gang te houden, waardoor het netto energieverbruik van de inzameling en behandeling van het donker water beperkt blijft.

De CO₂ die wordt geproduceerd is van hernieuwbare oorsprong, en derhalve geen verstoring van het atmosferisch evenwicht. Theoretisch zou deze CO₂ kunnen worden benut, bijvoorbeeld als meststof in de kasteelt. Daarvoor moet de CO₂ aan het biogas worden onttrokken en/of moeten de rookgassen worden gereinigd. Het gaat hier echter om zulke beperkte hoeveelheden en een zodanig gering belang dat de benodigde investeringen ervoor bij de huidige stand van techniek niet zijn te rechtvaardigen.

⁵ Stookwaarde van methaan bedraagt 35,8 MJm⁻³ bij T=273 K en p=p₀.

Ontwerpparameters

Een UASB reactor dient te worden ontworpen op de slibleeftijd, gasbelasting of opwaartse stroomsnelheid. Voor minder geconcentreerde afvalwaterstromen is de opwaartse stroomsnelheid de bepalende factor, met consequenties voor de hoogte van de reactor. Voor moeilijk afbreekbaar afvalwaterstromen is de slibverblijftijd de bepalende factor. De slibleeftijd is afhankelijk van de procestemperatuur. In tabel B-3-2 zijn de opvoersnelheden en reactorhoogte weergegeven voor verschillende typen afvalwater.

TABEL B-3-2 OPVOERSNELHEDEN VOOR HET VERGISTEN VAN VERSCHILLENDE AFVALWATERSTROMEN (METCALF&EDDY, 2003)

Type afvalwater	Snelheid (m/h)	Reactor hoogte (m)
CZV 100% opgelost	1,0 – 3,0	6 – 10
CZV gedeeltelijk opgelost	1,0 – 1,25	3 – 7
Huishoudelijk afvalwater	0,8 – 1,0	3 – 5,5

De opvoersnelheid is het influentdebiet gedeeld door de oppervlakte van de reactor.

$$v = \frac{Q}{A}$$

- v = opvoersnelheid, m/h
 A = oppervlakte van de reactor, m²
 Q = influentdebiet, m³/h

De ruimte waar zich de biomassa bevindt wordt het effectieve reactorvolume genoemd. Tussen het slibbed en de gashouder is een volume nodig voor het bezinken van deeltjes en het verdunnen van de biomassa. Het nominale volume van de reactor is gebaseerd op een acceptabele CZV-belasting en wordt berekend volgens onderstaande formule.

$$V_n = \frac{Q \cdot S_o}{L_{org}}$$

- V_n = nominale volume, m³
 S_o = influent CZV, kg CZV/m³
 L_{org} = CZV belasting, kg CZV/m³·d

Voor het bepalen van de hydraulische verblijftijd wordt onderstaande formule gebruikt.

$$HRT = (C_o \cdot \frac{S_s}{X}) \cdot R \cdot (1 - H) \cdot SRT$$

- HRT = hydraulische verblijftijd, dagen
 C_o = concentratie in CZV influent, g CZV/l
 S_s = verhouding CZV gesuspendeerd tot totaal CZV, CZV_{SS}/CZVinfl
 X = slib concentratie in anaerobe reactor (als CZV); 1 g VSS_{slib} = 1,4 g CZV
 R = verwijderde fractie CSZ_{SS}
 H = verwijderde en gehydrolyseerde fractie CSZ_{SS}
 SRT = slibverblijftijd, dagen

Voor het bepalen van de oppervlak van de reactor kan dan de volgende formule worden gebruikt.

$$A = \frac{Q}{v}$$

v = opvoersnelheid, m/h
 A = oppervlakte van de reactor, m²
 Q = influentdebiet, m³/h

En voor de hoogte (H_n , m):

$$H_n = \frac{V_n}{A}$$

H_L = reactorhoogte, m
 V_L = totale volume van de reactor, m³
 A = oppervlakte van de reactor, m²

Tevens moet er rekening worden gehouden met de hoogte van de gaskap en gashouder welke zo'n 2,5 tot 3 meter is. De totale hoogte van de reactor wordt dan:

$$H_t = H_n + H_g$$

H_t = totale reactorhoogte, m
 H_g = hoogte gaskap en gashouder.

Ontwerp

Er wordt uitgegaan van 1.200 woningen. Er wordt onderscheidt gemaakt tussen geel, bruin, groen en donker water. Geel is alleen urine, bruin alleen fecaliën, groen is keukenafval en donker is geel, bruin en groen samen.

Door het toevoegen van keukenafval kan er meer biogas worden geproduceerd dan wanneer alleen zwart water wordt vergist. Er is uitgegaan van 2.760 bewoners (2,3 personen huishouden) en dat het regenwater volledig is afgekoppeld.

In tabel B-3-3 zijn de procesparameters weergegeven van de UASB voor verwerking van donker water. Deze gegevens zijn verkregen via een model voor vergelijking van decentrale sanitatie met conventionele behandeling. In de tabel wordt ook over zwart water gesproken. Dat is geel en bruin water samen. In het model is uitgegaan is van een bedrijfstemperatuur in de vergister van 30 °C en een slibverblijftijd van 50 dagen.

TABEL B-3-3

PROCESPARAMETERS VAN UASB VOOR VERWERKING VAN DONKER AFVALWATER, INGEZAMELD MET VACUÛMTOILETTEN EN VACUÛMRIOL

X=sludge conc in anaerobic reactor (COD); 1 gVSS=1,4gCOD	28
R=fraction of SS removed	90%
H=fraction of removed solids which is hydrolysed	72%
C=conc in influent (gCOD/L)	18,8 g COD/L
SS= CODss/CODinfl	75%
SRT	50 d
HRT	6,3 d
Totale volume vergister per ie	43 L
Totale antal ie's	2760 ie
Volume vergister	117 m ³
Hoogte vergister	5,5 m
Opp bodem	21,3 m ²
Diameter vergister	5,2 m
Totale volume	117 m ³
Methanogenese	70%
Methaan-productie	85 m ³ CH ₄ /d
Biogas-productie	131 m ³ biogas per dag
Methaan-productie	243 kg CH ₄ -COD/d
Slibproductie	47 kg slib-COD/d
CODinfl	348 kg COD/d
CODeffl	57 kg COD/d
CODconc effluent	3 g COD/L
Zwartwater	6,2 L/d
CODconc	10,6 g COD/L
CODload zwartwater	66 g COD/d
Keukenafval	0,5 L/d
CODload	60 g COD/d
Totale hoeveelheid COD vergister	126 g COD/d
Totale debiet vergister	6,70 L/ie*d
Totale conc COD	18,8 g COD/L

Het totale volume van de reactor wordt 117 m³ met een diameter van 5,2 meter. De biogasproductie is 131 m³/dag waarvan 85 m³ methaangas (uitgaande van 65% methaangas in biogas). De hoeveelheid energie die per dag vrijkomt is 837 kWh. Bij gebruik van een WKK kan 85% van de energie terug worden gewonnen als elektriciteit (35%) en als warmte (65%). Om de vergister op temperatuur te houden is eveneens energie nodig. Theoretisch is er 324 kWh nodig om het influent te verwarmen tot 30 °C uitgaande van een influenttemperatuur van 15 °C. Ter compensatie van warmteverliezen in leidingen en via de tankwand wordt een factor 2 toegepast.

Financiële uitwerking van de UASB reactor

Rente percentage		6,0 %
Afschrijving	civiel	30 jaar
	niet-civiel	15 jaar
Onderhoud	civiel	0,5 %
	niet-civiel	3,0 %
btw		19,0 %

Investering 179.000 euro (civiel 145.000, niet-civiel 34.000)

<u>Exploitatie</u>	<u>Eenheid</u>	
Kapitaalslasten	euro/jaar	16.702

Onderhoud	euro/jaar	1.750
Energie uit gas	euro/jaar	-8.680
Laboratoriumkosten	euro/jaar	5.000
Ontwatering slib	euro/jaar	4.280
Eindverwerking slib	euro/jaar	6.850
Subtotaal	euro/jaar	9.200

Totaal exploitatie	euro/jaar	25.902
Kosten per i.e.	euro/jaar	9.38

BIJLAGE 4

VOORONTWERP LUCHTSTRIPPEN

STIKSTOFTERUGWINNING

Het merendeel van de stikstof in huishoudelijk afvalwater is afkomstig uit urine. Nemen we het totale huishoudelijk afvalwater met groen water samen dan levert geel 72%, bruin 11%, grijs 7% en groen 10% van de totale stikstofvracht (zie bijlage 1).⁶ Donker water bevat derhalve 93% van de stikstof.

In vers uitgescheiden urine is 80-85% van de stikstof aanwezig in de vorm van ureum en 5% als ammonia. Bij opslag verandert de samenstelling; het ureum hydrolyseert tot ammoniak onder invloed van het enzym urease. Na hydrolyse zal de stikstof voor 90% uit ammonia bestaan. Door de gehydrolyseerde ammoniak stijgt de pH tot 9.1. Verdunde urine – zoals geel water – hydrolyseert al binnen een dag.

Bruin water bevat aanzienlijk minder stikstof dan geel water (bruin: 1,5 – 2 g/p/d tegen geel: 12 g/p/d). Mengen tot zwart water levert als geheel een lagere concentratie stikstof. Groen water levert een vergelijkbare stikstofvracht als bruin water. Ook de stikstofconcentraties in zwart en donker water komen overeen.

Grijswater bevat relatief weinig stikstof. De stikstof die erin terecht komt is vooral gerelateerd aan keukenactiviteiten. Stikstofconcentraties van grijs water kunnen toenemen door urinebesmetting bijvoorbeeld tengevolge van het wassen van luiers of urineren in de douche.

Stikstof kan op verschillende manieren worden teruggewonnen uit geel, bruin, zwart of donker water. Een inventarisatie van de mogelijke technieken is gegeven in bijlage 2. Indien en voor zover terugwinning niet haalbaar is zal de stikstof nog altijd moeten worden verwijderd. Ook daarvoor is in bijlage 2 een inventarisatie van technieken gegeven. Per techniek zijn bovendien de relevante voor- en nadelen genoemd (tabel B-2-1 en tabel B-2-2).

Terugkomende aandachtspunten van de verschillende behandelingstechnieken zijn het energieverbruik, de benodigde hulpstoffen, de robuustheid van het systeem, de complexiteit van het systeem en de bruikbaarheid van de teruggewonnen stikstof.

Meest kansrijk voor terugwinning van stikstof worden struvietprecipitatie en luchtstrippen geacht. Luchtstrippen is nader uitgewerkt in deze bijlage. Het gaat dan om terugwinning van de stikstof uit geel of donker water. Terugwinning van stikstof uit grijs water wordt wegens de kleine vrachten en lage concentratie niet opportuun geacht.

Struvietprecipitatie wordt al in de praktijk beproefd. Struviet levert een vaste meststof. Luchtstrippen levert een vloeibare meststof (naar gelang de wens ammoniumsulfaat, ammoniumchloride en ammoniumnitraat). In de Nederlandse glastuinbouw wordt overwegend gebruik gemaakt van vloeibare meststoffen. Of de meststoffen die na luchtstrippen ontstaan qua aard, samenstelling en concentratie ook daadwerkelijk geschikt zijn voor de glastuinbouw is vooralsnog niet vastgesteld.

In deze studie staat de mogelijkheid tot terugwinning en hergebruik centraal. Derhalve dat hier de grootste stikstofbron (geel water) tot uitgangspunt wordt genomen. Bij inzameling van donkerwater wordt de stikstofvracht nog zelfs iets vergroot. Daar tegenover staat een potentieel terugwinningsrendement van 95% over het geel of donker water, tegen een gangbaar zuiveringsrendement van ca 80% in de AWZI.⁶

Het zuiveringsrendement van de decentrale grijswaterbehandeling is in deze studie niet nader bepaald.

Een gedegen vergelijking van de centrale en de decentrale situatie vraagt derhalve nog nadere uitwerking.

FOSFORTERUGWINNING

Ongeveer de helft van het fosfor in het huishoudelijk afvalwater is afkomstig uit urine. Nemen we het totale huishoudelijk afvalwater met groen water samen dan levert geel 47%, bruin 24%, grijs 19% en groen 10% van de totale fosforvracht (zie bijlage 1).⁸ Donker water bevat derhalve 81% van het fosfor.

Het fosforgehalte is vooral gerelateerd aan de voeding. Fosfaten komen onder andere voor in conserveringsmiddelen en additieven voor voedingsmiddelen. Ook fosfaten in het grijs water zijn overwegend afkomstig uit voedingsmiddelen zoals melk en bier. De fosfaten in wasmiddelen zijn eind jaren tachtig door overheidsregulering sterk teruggedrongen. Hierop hebben de fosforlozingen via het huishoudelijk afvalwater een sterke daling laten zien. Inmiddels is die daling echter gestagneerd, hetgeen wordt toegeschreven aan een toenemend gebruik van fosfaathoudende vaatwasblokjes in vaatwasmachines.⁹

Meer nog dan stikstof is terugwinning en hergebruik van fosfor gewenst. Naar huidige schattingen raken de thans beschikbare fosfaatvoorraden nog voor de eeuwwisseling uitgeput. Er zal moeten worden omgezien naar andere fosfaatbronnen, zoals hergebruik. Indien alle fosfor die aanwezig is in donker water in Nederland zou worden hergebruikt zou dit kunnen voorzien in 45% van het huidige Nederlandse kunstmestverbruik.¹⁰

In bijlage 2 zijn diverse technieken voor terugwinning of verwijdering van fosfor uit afvalwater geïnventariseerd. Terugwinning kan geschieden middels precipitatie. Geschikte methoden zijn struviet- en calciumfosfaatprecipitatie. Beide leveren een neerslag die zou kunnen worden toegepast als vaste meststof.

In deze bijlage is calciumfosfaatprecipitatie als voorbehandeling meegenomen in de nadere uitwerking van het proces van luchtstrippen van geel en donker water.

6 Berekenend op basis van gemiddelde vrachten per persoon per dag, zie bijlage 1.

7 De beste resultaten worden volgens 'Riool in Cijfers 2009 – 2010' van Stichting Rioned geboekt door het Waterschap Reest en Wieden, met een verwijderingsrendement van 87% (peildatum 1-1-2008). Het potentiële resultaat van de decentrale situatie kan worden geschat op waarden tegen de 100%. Voor een goede vergelijking zal e.e.a. naar kostprijs, energiegebruik, opbrengsten en het regenererend vermogen van het direct met de emissie belaste milieu tegen elkaar moeten worden afgewogen.

8 De beste resultaten worden volgens 'Riool in Cijfers 2009 – 2010' van Stichting Rioned geboekt door het Waterschap Reest en Wieden, met een verwijderingsrendement van 87% (peildatum 1-1-2008). Het potentiële resultaat van de decentrale situatie kan worden geschat op waarden tegen de 100%. Voor een goede vergelijking zal e.e.a. naar kostprijs, energiegebruik, opbrengsten en het regenererend vermogen van het direct met de emissie belaste milieu tegen elkaar moeten worden afgewogen.

9 Berekenend op basis van gemiddelde vrachten per persoon per dag, zie bijlage 1.

10 www.milieuennatuurcompendium.nl (2009). PBL, Bilthoven, CBS, Den Haag en WUR, Wageningen.

Met calciumfosfaatprecipitatie kan 75 - 85% van de aanwezige fosfor worden *teruggewonnen* (zie bijlage 2).¹¹ Het fosforverwijderingsrendement van de reguliere waterzuivering schommelt rond de 80%, met uitschieters tot 91%.¹²

De fosforverwijdering in de decentrale situatie kan worden gecompleteerd met behulp van aanvullende technieken. Zo kan met inzet van de groenblauwe omgeving (wetlands) een verdere verwijdering tot 99% worden gehaald (zie bijlage 2). Toepassing van wetlands heeft ook ruimtelijke implicaties. Deze passen echter goed bij het bestemmingsplan voor het Nieuwe Water, waarin groenblauwe natuur is voorzien, en zelfs de aanleg van een zuiveringsmoeras wordt overwogen.¹³

Het zuiveringsrendement van de decentrale grijswaterbehandeling is in deze studie niet nader bepaald. Een gedegen vergelijking van de centrale en de decentrale situatie vraagt derhalve nog nadere uitwerking.

LUCHTSTIPPEN

In deze bijlage is het gecombineerde proces van calciumfosfaatprecipitatie en luchtstrippen van ammoniak uit geel water en donker watereffluent nader uitgewerkt en op kosten gezet. De directe investeringen van de strippinglijn inclusief calciumprecipitatie zijn daarbij becijferd op 375.000,-. Opslag- en huisvestingskosten zijn dan nog buiten beschouwing gelaten.

De exploitatiekosten worden mede bepaald door het energieverbruik. Daarbij is de proces-temperatuur weer van belang. Gerekend is met twee alternatieve procestemperaturen van 25°C en 35°C. Dit zijn temperaturen die als pure restwarmte zijn te verkrijgen. Bijvoorbeeld van het anaëroob vergistingsproces (zie bijlage 3) of vanuit de glastuinbouw. Een andere optie is inpassing in de lokale warmtecascade. In ieder geval ligt het voor de hand dat op dit vlak aansluiting wordt gezocht met de energievoorziening die voor het gehele gebied wordt ontwikkeld.

Verwijdering door strippen is een proces waarbij een in vloeistof opgeloste component verwijderd wordt door de vloeistof in contact te brengen met een gasfase. De gasfase is arm aan de te verwijderen stikstofcomponent, waardoor de stikstofcomponent als gevolg van het concentratieverschil naar de gasfase overgaat. Strippen kan middels twee manieren: met behulp van lucht of met behulp van stoom. Bij luchtstrippen wordt uitgegaan van lucht als gasfase, bij stoomstrippen wordt uitgegaan van water in gasvormige toestand.

Overdrachtsnelheid

De snelheid van de stofoverdracht wordt mede bepaald door het concentratieverschil en de eigenschappen van de specifieke component. Stikstof is aanwezig in de vorm van ammonium en ammoniak. Ammoniak is een in water goed oplosbaar gas en in deze vorm stripbaar. Voor een goede stripbaarheid zijn de pH, temperatuur en het volume van het uitwisselend oppervlakte van belang. In een waterige oplossing stelt zich een evenwicht in tussen ammoniak en ammonium. De ligging van het evenwicht wordt bepaald door de temperatuur en de pH volgens de formule:

11 De berekende fosforvrucht van al het Nederlandse 'donker water' bedraagt 9.500 ton per jaar. Het Nederlandse fosfaatverbruik via kunstmest bedraagt 21.000 ton per jaar. Indien 100% van het fosfor zou worden teruggewonnen zou dat 45% van de kunstmestbehoefte kunnen dekken.

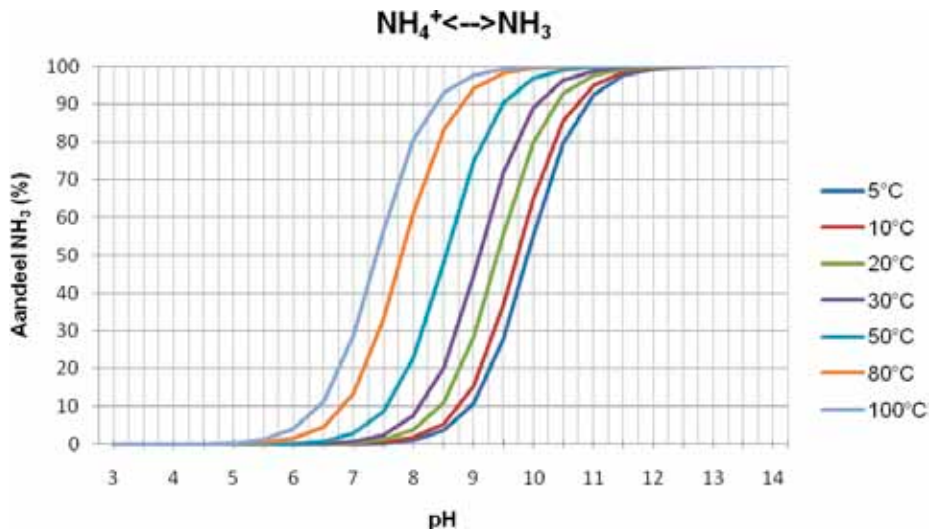
12 Met struvietprecipitatie kan tot 95% van de fosfor worden teruggewonnen (zie bijlage 2).

13 Zie toelichting bestemmingsplan "Het Nieuwe Water" p. 31.

$$NH_3 - N = NH_4^+ - N \cdot \frac{10^{pH}}{e^{\left(\frac{6344}{273-T}\right)} + 10^{pH}}$$

Uit figuur B-41 blijkt dat bij verhoging van de pH of de temperatuur het evenwicht naar het gasvormige ammoniak verschuift. Hierdoor neemt het rendement, in verhouding tot de benodigde striplucht, toe.

FIGUUR B-4-1 EVENWICHT TUSSEN AMMONIAK EN AMMONIUM IN FUNCTIE VAN TEMPERAATUUR EN PH



Fasenevenwicht

Wanneer een gasfase door een ammoniakhoudende oplossing wordt geleid, stelt zich een evenwicht in tussen het ammoniak in de gasfase en het ammoniak in de waterfase. Het evenwicht wordt berekend volgens:

$$y = \frac{H_e}{P} \cdot x$$

y = molfractie NH₃-N in gas, mol/mol

x = molfractie NH₃-N in vloeistof, mol/mol

H_e = Henry-coëfficiënt, Pa

P = systeemdruk, Pa

De Henry-coëfficiënt wordt beschreven als:

$$H_e = \frac{m}{P}$$

m = verdelingscoëfficiënt

De verdelingscoëfficiënt en daarmee de Henry-constante zijn stofs specifiek en afhankelijk van de temperatuur. Het evenwicht tussen de hoeveelheid opgeloste stof en de hoeveelheid van deze stof in de gasfase is recht evenredig met de concentratie van het gas; dit wordt de wet van Henry genoemd. Deze afhankelijkheid wordt in de literatuur door veel verschillende relaties beschreven. Deze hebben gemeen dat bij stijgende temperatuur de verdelingscoëfficiënt toeneemt. Dit houdt in dat bij hogere temperatuur meer ammoniak kan oplossen in de gasfase, hetgeen een positief effect heeft op het rendement van het strippen.

Striprendement

Het striprendement is primair afhankelijk van het aantal evenwichtstrappen, de gas/vloeistofverhouding en de verdelingscoëfficiënt. Het aantal evenwichtstrappen beschrijft het aantal theoretisch berekende equilibriummomenten van de stikstofcomponent in de vloeistof/gasfase die nodig zijn voor een gedefinieerd striprendement. Het aantal evenwichtstrappen wordt bepaald door stofafhankelijke en geometrische parameters. Bij een gegeven temperatuur en pH wordt het striprendement bepaald door de stripfactor S :

$$S = m \cdot \frac{G}{L}$$

G = molair gasdebiet, kmol/h

L = molair vloeistofdebiet, kmol/h

Het rendement van de stripkolom kan vervolgens worden bepaald met behulp van de onderstaande vergelijking:

$$\eta_{theorie} = \frac{S - 1}{S^{(N+1)} - 1}$$

Het aantal evenwichtstrappen is onafhankelijk van de grootte van de evenwichtstrappen. Het aantal NTU (number of transfer units oftewel evenwichtstrappen) kan vergeleken worden met het aantal theoretische platen dat benodigd is voor de vereiste scheiding. Hoe meer transfer units, des te beter de scheiding. De NTU afmeting wordt bepaald door de scheidingsefficiëntie oftewel HTU (Height of Transfer Units). Het HTU-getal wordt onder andere bepaald door de scheidingsefficiëntie van het uitwisselend oppervlak van de gebruikte pakking in de stripkolom. De mass transfer coëfficiënt van de te strippen vloeistof speelt hierbij ook een rol en is specifiek voor elke vloeistof. Het drukverschil veroorzaakt door de pakking is bepalend voor de diameter. Doordat elke pakking een andere efficiëntie laat zien zal de HTU voor elke pakking/vloeistof combinatie verschillend zijn. In de praktijk wordt de overdrachtscoëfficiënt met proefopstellingen vooraf bepaald voordat de uiteindelijke kolom wordt ontworpen. Experimenten uit het verleden laten zien dat de HTU tussen de 0,7 - 1,0 moet vallen voor een efficiënt ontwerp (STOWA-95-12).

De dimensionering van de stripper wordt gebaseerd op het HTU-NTU-concept. Hierbij wordt de uiteindelijke pakkingshoogte in de kolom bepaald door de HTU met de NTU te vermenigvuldigen (Tabel B-4-1).

$$NTU = \left[\frac{S}{S-1} \ln \left[\frac{\frac{C_0}{C_e} \cdot (S-1) + 1}{S} \right] \right]$$

S = stripfactor

C_0 = molfractie $\text{NH}_3\text{-N}$ in influent, mol/mol

C_e = molfractie $\text{NH}_3\text{-N}$ in effluent, mol/mol

$$HTU = \frac{L}{K_1 a \cdot A}$$

- L = volumetrische doorstromsnelheid, m³/s
 K₁a = volumetrische mass transfer coëfficiënt, 1/s
 A = doorsnede van de kolom, m²

TABEL B-4-1 DE DIMENSIONERING VAN DE LUCHTSTRIPPER

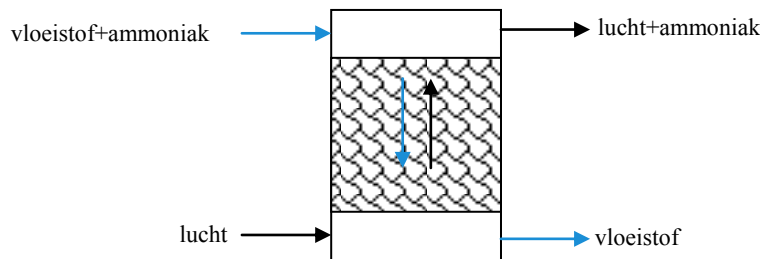
		25 °C		35 °C	
		urine	zwartwater	urine	zwartwater
NTU	Number of transfer units	3,3	3,1	3,3	3,2
HTU*	Height of transfer units	0,7-1	0,7-1	0,7-1	0,7-1
z	packing height (m)	2,8	2,7	2,8	2,7

*STOWA 95-12

Luchtstrippen

Een veel gebruikte uitvoeringsvorm van luchtstrippen is de striptoren. In een striptoren (figuur B-4-2) wordt in het algemeen de vloeistof boven en de lucht onder in de striptoren gebracht, zodat er sprake is van een tegenstroomproces. In de striptoren is voorts een pakking aangebracht, waardoor het uitwisselend oppervlak wordt vergroot.

FIGUUR B-4-2 PRINCIPE VAN LUCHTSTRIPPEN IN EEN STRIPTOREN



Uit praktijkproeven met stikstofrijke retourstromen afkomstig van de slibgisting blijkt dat er een goede overeenstemming bestaat tussen de gemeten en de voorspelde waarden (STOWA 95-12). Kleine afwijkingen worden verklaard door kleine afwijkingen in de pH-waarde (met name van belang bij lage pH-waarden) en in temperatuur (met name van belang bij lage temperatuur). Uit de goede overeenkomst tussen de resultaten met het onderzochte water en de modelberekeningen, waarin alleen rekening wordt gehouden met ammoniumhoudend water, kan worden geconcludeerd, dat de aanwezigheid van andere componenten in het onderzochte water geen invloed heeft op het stripproces. Het verwijderingsrendement is nageenough onafhankelijk van de ingangconcentratie, hetgeen in overeenstemming is met de theorie. Voor het luchtstripproces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering afhankelijk van de temperatuur (Tabel B-4-2).

TABEL B-4-2 AFHANKELIJKHEID VAN DIMENSIONERING VAN HET LUCHTSTRIPPEN VAN DE TEMPERATUUR

Parameter	Eenheid	T = 25 °C	T = 50 °C
R/Q **	Nm ³ /m ³	2.000	1.000
pH**	-	10,5	9,5
HTU**	M	0,7 - 1,0	0,7 - 1,0
Hoogte:diameter*	-	≤10:1	≤10:1
Stripfactor*	-	1,5 - 5	1,5 - 5

*Metcalf&Eddy (2003) **STOWA 95-12

Luchtbehandeling

Om het stikstof te hergebruiken moet deze terug worden gewonnen uit de lucht. Door de ammoniak uit de striplucht te halen kan de gezuiverde lucht worden hergebruikt. Hiervoor zijn verschillende technieken beschikbaar. De meest toegepaste is scrubbing (gaswassen). Bij toepassing van scrubbing wordt de ammoniakrijke lucht in contact gebracht met een zure vloeistof. De drijvende kracht voor de NH_4^+ verbinding wordt met name bepaald door de zuur-base-reactie. In mindere mate kan het concentratieverschil een rol spelen. In het algemeen wordt voor de wasvloeistof een $\text{pH} < 3,5$ aangehouden. Bij het absorptieproces ontstaat een ammoniumzout in de vloeistof. Door een goede ammoniakbinding en de grote overdrachtsnelheid wordt in de scrubber een lage ammoniakconcentratie in de uitgaande luchtstroom verkregen. De behandelde lucht kan hierdoor direct worden teruggevoerd naar de striptoren. De uitvoeringsvorm van de scrubber komt grotendeels overeen met de striptoren. Evenals bij de striptoren wordt de zure oplossing bovenin en de lucht onderin een gepakte kolom gebracht, zodat ook hier sprake is van een tegenstroomproces. De diameter van de scrubber wordt bepaald door het luchtdebiet; de scrubber heeft derhalve dezelfde diameter als de stripkolom.

Opmerkingen

Tijdens het stripproces treedt een vrij sterke afkoeling op waardoor condensatie in de vochtige striplucht optreedt. Het vloeistofniveau in de scrubber zal hierdoor hoger zijn dan beoogd waardoor er afgelaten zal moeten worden. Hierdoor zal de ammoniumconcentratie lager uitvallen dan de theoretisch hoogst maximale waarde. Ook het zuurverbruik zal hierdoor hoger zijn dan theoretisch berekend. Doordat er verdamping plaatsvindt zal er scaling optreden. De oppervlakte van de pakking in de luchtstripper neemt relatief niet snel af door scaling waardoor de werking nauwelijks wordt aangetast.

Literatuurwaarden

Uit de literatuur wordt een energieverbruik berekend van 7 kWh/m^3 te strippen vloeistof bij een striptemperatuur boven de 20°C . Door toevoeging van NaOH wordt de pH verhoogd tot >10 . Behalve NaOH kan ook $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gebruikt worden wat uiteindelijk goedkoper kan zijn als er een afzetmarkt (landbouw) voor $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ gevonden kan worden.

Stoomstrippen

Stoomstrippen is een techniek die grote overeenkomsten vertoont met luchtstrippen. Het voornaamste verschil vormt de temperatuur ($>95^\circ\text{C}$) en de nabehandeling van de lucht c.q. de stoom. Bij luchtstrippen wordt de lucht in het algemeen nabehandeld door te wassen met zuur, waarbij een NH_4 -zout ontstaat. Bij stoomstrippen kan worden volstaan met condensatie van de stoom, waarna een ammoniakale oplossing resteert. Door recirculatie (refluxen) kan het ammoniakgehalte van de condensaatstroom worden verhoogd. De dimensionering is analoog aan de luchtstripinstallatie. Er zijn echter verschillen. De diameter van de kolom is een factor 4 à 5 kleiner doordat de geforceerde luchtdoorvoer ontbreekt. De hoogte van het stripgedeelte is lager vanwege de kleinere evenwichtstrap (HTU). De stoomstripper moet evenwel, om de gewenste ammoniakconcentratie in het condensaat te verkrijgen, voorzien zijn van een concentreringsgedeelte, de rectificeerkolom. Dit onderdeel wordt om kosten te besparen in dezelfde kolom ingebouwd als de stripper. De totale hoogte van de stoomstripkolom is daarmee, afhankelijk van de capaciteit van de installatie, gelijk of hoger in vergelijking met de luchtstripkolom. Het ruimtebeslag van de stoomstripinstallatie is door de kleinere diameter en het ontbreken van de scrubber lager dan de luchtstripinstallatie.

De dimensionering van de rectificeerkolom wordt bepaald door de condensbelasting, ingangconcentratie en de gewenste NH_3 concentratie. De maximaal bereikbare NH_3 -concentratie is afhankelijk van het beschikbare koelmedium en de druk. Bij atmosferische druk en een koelwatertemperatuur van 20-25°C is een oplossing van 20-25 gewichtsprocent NH_3 mogelijk.

Voor het stoomstripproces zijn de maatgevende randvoorwaarden voor de dimensionering:

Stoom waterverhouding	150 kg/m ³
pH	9
HTU (m)	0,4

Literatuurwaarden

Voor het strippen zelf is ongeveer 1/6 van de totale energievraag benodigd. Het overgrote deel wordt gebruikt voor het verwarmen van het influent. Door de kolom, warmtewisselaar, leidingwerk te isoleren en gebruik te maken van energierterugwinning, kunnen waarden van 40-55 kWh/m³ gehaald worden. In vergelijking tot luchtstrippen (7 kWh/m³) is dit erg hoog. De parameters voor stoomstrippen zullen derhalve niet worden berekend.

BELANGRIJKE PROCESPARAMETERS

- Voorbehandeling

Het stripproces kan op praktijkschaal worden toegepast voor de behandeling van stikstofrijk water mits wordt voldaan aan een aantal randvoorwaarden. Het water moet worden voorbehandeld ter verwijdering van (bi)carbonaat. Ook is verwijdering van bezinkbare stoffen, zwevende stof en drijflagen noodzakelijk om scalingsproblemen te voorkomen. Dit is mogelijk door calcium te doseren (zie scaling).

Door de dosering van het relatief goedkope kalk wordt naast calciumcarbonaat ook calciumfosfaat neergeslagen. Tevens wordt een groot deel van het aanwezige zwevende stof uitgevlokt. De gevormde neerslagen en vlokken worden in een (afgedichte) bezinktank verwijderd.

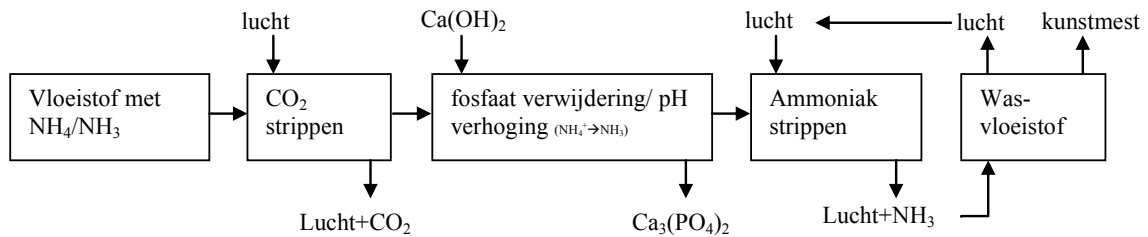
- Scaling

In effluent van de vergisting is naast ammoniumstikstof onder meer bicarbonaat en calcium aanwezig (unpublished results). In urine is enig calcium aanwezig. Bij de verhoogde pH van het stripproces ontstaat calciumcarbonaat, dat op diverse plaatsen (warmtewisselaar, leidingen, strippkolom) leidt tot ongewenste afzettingen (scaling). Als gevolg van de hogere werkteemperatuur wordt de pakking in de stoomstripper sterker en sneller vervuild dan de pakking in de luchtstripper. De werking wordt dan ook verstoord. Een vergaande verwijdering van (bi)carbonaat is noodzakelijk om scalingsproblemen te voorkomen tijdens het stoomstrippen. Omdat een groot deel van het bicarbonaat als opgelost CO_2 aanwezig is kan deze met behulp van een luchtstripper verwijderd worden. Een andere mogelijkheid voor verregaande verwijdering is verhoging van de pH toevoeging van calcium. Eventuele scaling kan verwijderd worden met behulp van een zure oplossing. Door periodiek scaling te verwijderen kunnen problemen voorkomen worden.

- pH-regeling

Instelling van de juiste pH is voor het rendement van het stripproces van groot belang. Een goede en betrouwbare tweetraps pH-regeling is daarom noodzakelijk. Een tweetrapsregeling regelt de pH in de flocculatiebezinktank en stelt de pH in de toevoerleiding van de striptoren in op de gewenste waarde.

FIGUUR B-4-3 SCHEMATISCHE REPRESENTATIE VAN HET PROCESSHEMA GEBASEERD OP HET MET LUCHT STRIPPEN VAN AMMONIAK



Ontwerp

In verse urine is 85% van het stikstof aanwezig in de vorm van ureum. Ongeveer 5% van het totale stikstof is aanwezig als ammoniak. Het overige stikstof is aanwezig in de vorm van kreatine, aminozuren en urinezuur. Na hydrolyse van ureum is 90% van het totale stikstof aanwezig in de vorm van ammoniak. Hydrolyse van ureum vindt plaats door aanwezigheid van micro-organismen. Dit wordt veroorzaakt door de vervuiling van urine met fecaliën. Door de gehydrolyseerde ammoniak stijgt de pH tot 9.1. De hoge pH veroorzaakt precipitaten zoals struviet. Het theoretische maximum aan struviet dat neer kan slaan met de reeds aanwezige componenten is echter maar 1% van de aanwezig ammoniak. Limiterend is de hoeveelheid magnesium. Daarnaast kan fosfaat, dat noodzakelijk is voor struvietprecipitatie, ook neerslaan als calciumfosfaat. De hoeveelheid calcium is, in vergelijking met stikstof, laag.

Tijdens de vergisting van zwart water zal het overgrote deel van de aanwezige stikstof gemineraliseerd worden tot ammonium. Door verhoging van de pH van het effluent van de gisting voor het strippen zullen hier tevens precipitaten als struviet neerslaan. Om problemen tijdens het strippen te voorkomen moeten de precipitaten verwijderd worden.

Uitgaande van de samenstelling van urine en vergist zwart water zijn berekeningen gemaakt voor de verwijdering van ammoniak middels luchtstrippen. In de berekeningen is uitgegaan van twee temperaturen, 25°C en 35°C, tot welke de striplucht en -vloeistof moeten worden opgewarmd. Dit is een temperatuurniveau dat als pure restwarmte vanuit de glastuinbouw zou kunnen worden geleverd.

De hoeveelheid ammoniak die gestript kan worden is afhankelijk van het aantal bewoners en de mate van verwijdering. Bij de berekeningen is uitgegaan van een verwijderingsrendement van >90%. In de praktijk worden echter verwijderingsrendementen van >95% gehaald (STOWA 95-12). Het verwijderingsrendement is onafhankelijk van de ingaande concentratie en wordt bepaald door de hoogte van de striptoren. Hoe hoger het verwijderingsrendement des te hoger de stripkolom. Volledige verwijdering zorgt voor een grote toename in kolomhoogte en staat niet in verhouding met de extra opbrengsten. De hoeveelheid benodigde striplucht neemt echter wel toe bij een hogere aanvangconcentratie. De hoeveelheid benodigde striplucht wordt berekend op basis van de hoeveelheid ammoniak die door de striplucht wordt verwijderd. Deze is afhankelijk van de Henry-constante, temperatuur, pH en het uitwisselingsoppervlak.

Benodigde luchtcapaciteit

Om de benodigde hoeveelheid striplucht te berekenen is het noodzakelijk om de molaire fractie van de te strippen stof te berekenen.

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B}$$

x_B = molaire fractie stof B

n_B = mol stof B

n_A = mol stof A

Met behulp van de molaire fractie kan de molfractie die door de striplucht wordt verwijderd worden berekend.

$$y_e = \frac{H}{P_T} \cdot C_o$$

y_e = molfractie $\text{NH}_3\text{-N}$ in gas, mol/mol

x = molfractie $\text{NH}_3\text{-N}$ in vloeistof, mol/mol

H = Henry coëfficiënt, atm

P_T = systeemdruk, atm

C_o = molfractie $\text{NH}_3\text{-N}$ in influent, mol/mol

Hieruit kan de ratio lucht/vloeistof berekend worden. Daarbij wordt er vanuit gegaan dat de lucht die de stripperkolom verlaat in equilibrium is met de vloeistof in de kolom:

$$\frac{G}{L} = \frac{(C_o - C_e)}{y_e}$$

G = debiet striplucht, mol/tijdseenheid

L = debiet vloeistof, mol/tijdseenheid

C_o = molfractie NH_3 in influent, mol/mol

C_e = molfractie NH_3 in effluent, mol/mol

Afhankelijk van het debiet kan de benodigde hoeveelheid striplucht berekend worden. Daarbij wordt uitgegaan van 100% efficiëntie en een striptoren van oneindige lengte. De hoeveelheid benodigde lucht zal in de praktijk hoger.

Berekeningen luchtstrippen urine:

	25 °C	35 °C
Benodigde lucht	12,5 m ³ /min	8,4 m ³ /min
pH van vloeistof	10,5	10,5
Hoogte kolom	2,8 m	2,8 m
Diameter	0,28 m	0,28 m
Ammoniumsulfaat	101,4 kg/dag	104,2 kg/dag

Bij deze berekeningen is uitgegaan van een afvalwaterstroom van 13,8 m³/dag, een aanvangconcentratie 2000 mg/l TN_{kj} en een uitgaande concentratie van 150 mg/l TN_{kj}.

Berekeningen luchtstrippen zwart water effluent (na vergisting):

	25 °C	35 °C
Benodigde lucht	15,4 m ³ /min	10,4m ³ /min
pH van vloeistof	10,5	10,5
Hoogte kolom	4,5 m	4,5 m
Diameter	0,60 m	0,60 m
Ammoniumsulfaat \$	116,6 kg/dag	119,8 kg/dag

Bij deze berekeningen is uitgegaan van een afvalwaterstroom van 17,1 m³/dag, een aanvangconcentratie 1855 mg/l TN_{kj} en een uitgaande concentratie van 150 mg/l TN_{kj}.

FINANCIËLE UITWERKING STRIPPINGLIJN

Rente percentage		6,0 %
Afschrijving	civiel	30 jaar
	niet-civiel	15 jaar
Onderhoud	civiel	0,5 %
	niet-civiel	3,0 %
BTW		19,0 %

Investerings en jaarlijkse kosten

Strippinglijn (incl. calciumprecipitatie)		375.000
Opslag hulpstoffen/meststoffen		50.000

Civiel	127.000
Niet-civiel	298.000

<i>Exploitatie</i>	Eenheid	
Kapitaalslasten	euro/jaar	47.492
Onderhoud	euro/jaar	11.394
Elektriciteit	25°C	euro/jaar 5.840
	35°C	euro/jaar 4.380

Chemicaliën

Calciumhydroxide	euro/jaar	6.570
product ammoniumsulfaat	euro/jaar	6.935
product ammoniumchloride	euro/jaar	17.885
product ammoniumnitraat	euro/jaar	20.440

De exploitatiekosten zijn afhankelijk van de gebruikte temperatuur en het gekozen eindproduct.

Subtotaal:	Eenheid	25°C	35°C
product ammoniumsulfaat	euro/jaar	30.739	29.279
product ammoniumchloride	euro/jaar	41.689	40.229
product ammoniumnitraat	euro/jaar	44.244	42.784

Totaal:	Eenheid	25°C	35°C
product ammoniumsulfaat	euro/jaar	78.231	76.771
product ammoniumchloride	euro/jaar	89.181	87.721
product ammoniumnitraat	euro/jaar	91.736	90.276

Totaal per i.e.:	Eenheid	25°C	35°C
product ammoniumsulfaat	euro/jaar	28,34	27,82
product ammoniumchloride	euro/jaar	32,31	31,78
product ammoniumnitraat	euro/jaar	33,24	32,71

BIJLAGE 5

GRIJSWATERBEHANDELING TOT GIETWATER

Ongeveer 70% van het leidingwater dat in een huishouden wordt verbruikt, verlaat de woning als grijs water. In Nederlandse huishoudens werd in 2007 gemiddeld 127,5 liter leidingwater per persoon per dag gebruikt. In dit rapport wordt gerekend met 90 liter grijs water per persoon per dag, derhalve ca 250 m³ per dag voor 1200 woningen. Grijs water is al het water uit het huishouden behalve het zwart of donker water. Het bestaat dus uit badwater, douche-water, water na handenwassen, water van (af)wasmachines en water uit de keukengootsteen.

Wanneer het gaat om hergebruik van het water, zal vooral naar het grijs water moeten worden gekeken. Naast de hoeveelheid is de kwaliteit van belang. Vele factoren spelen daarbij een rol.

De kwaliteit van grijs water kan sterk variëren. Bepalende factoren zijn: de kwaliteit van het leidingwater, de gebruikte leidingen, huishoudelijke gewoonten, voedselbereiding, gezinssamenstelling en de gebruikte huishoudelijke en persoonlijke verzorgingsproducten.

Grijs water bevat relatief weinig nutriënten. Het draagt echter wel een groot deel van de organische stof (BZV/CZV) en zware metalen in huishoudelijk afvalwater.

In vergelijking met urine, faeces en keukenafval ligt de vracht aan zware metalen in grijs water een stuk hoger, met uitschieters voor koper en zink. Door de hoge mate van verdunning zijn de concentraties echter zeer laag. De concentratie van metalen in grijs water wordt vooral bepaald door de kwaliteit van het leidingwater en de gebruikte leidingen.

Reinigingsmiddelen en persoonlijke verzorgingsproducten zijn de grootste bron van CZV in grijs water. In mindere mate leveren ook haren, huidschilfers, speeksel en andere fysiologische afvalstoffen een bijdrage aan de organische vracht. Huishoudelijke reinigingsmiddelen bestaan voor het grootste deel uit water (45% - 80%), wasactieve stoffen (15% - 30%), oplosmiddelen (<10%) en hulpstoffen zoals verdikkingsmiddel, conserveringsmiddel en parfum (<1%). De wasactieve stoffen (detergenten), conserveringsmiddelen en wasverzachtters vormen een potentieel risico voor het milieu vanwege de slechte biologische afbreekbaarheid en potentiële bioaccumulatie. Ook is van sommige conserveringsmiddelen vastgesteld dat ze hormoonverstorende eigenschappen hebben, zowel in het lichaam van de gebruiker, als later in het milieu. Er is een grote variëteit in de organische stoffen die kunnen voorkomen in grijs water. Aangenomen wordt dat biologische behandeling van grijs water resulteert in een minimale verwijderingsefficiëntie van 97%.

De hoeveelheid fosfaten in grijs water is in Nederland sterk afgenomen sinds het verbod hierop in wasmiddelen. Fosfaten die toch voorkomen in grijs water komen meestal van voedselresten, zoals melk en bier. Ook stikstofconcentraties in grijs water zijn vooral gerelateerd aan keukenactiviteiten. Bovendien kunnen deze sterk variëren afhankelijk van bewonersgedrag. Zo zal urineren onder de douche tot verhoogde stikstofconcentraties in grijs water leiden.

Grijs water bevat ook microbiële verontreiniging. Deze is vooral afkomstig uit douche en bad en in mindere mate uit de wasmachine. Keukenactiviteiten - zoals het afspoelen van rauw vlees of het gebruik van rauwe eieren - kunnen ook een bron zijn van ziekteverwekkers in grijs water.

De gezinssamenstelling heeft ook invloed op de kwaliteit van het grijs water. De aanwezigheid van jonge kinderen in het huishouden betekent een hogere concentratie van totale en fecale verontreiniging. Dit verschil (soms groter dan een factor 1000) kan o.a. verklaard worden door het gebruik van katoenen luiers.

Grijs water zal naar verwachting een zeer kleine vracht aan medicijnresten of hormonen hebben ($\mu\text{g/l}$ range). Een verklaring is dat door het lichaam uitgescheiden medicijnresten tijdens het tandenpoetsen en wassen het water terecht komen. Een andere verklaring is urineren onder de douche. Door de hoge mate van verdunning zullen concentraties in het grijs water echter zeer laag zijn.

Voor hergebruik van grijs water is ook het zoutgehalte van grijs water van belang. Dit wordt onder andere bepaald door het zoutgehalte van leidingwater, reiningsmiddelen, waterontharder, was- en afwaswater.

Voor hergebruik van grijs water in de glastuinbouw zal vooral moeten worden gelet op ontzouting en ontsmetting. In deze bijlage is een tweetal configuraties uitgewerkt. Eén met ontzouting (middels omgekeerde osmose RO) en één zonder. De directe investeringen voor de variant met ontzouting (configuratie 1, RO) zijn becijferd op € 666.000,-. De directe investeringen voor de variant zonder ontzouting (configuratie 2, UV) komen op € 480.000,-. De jaarlijkse exploitatiekosten (inclusief kapitaalkosten) komen op € 182.400,- voor configuratie 1 en € 93.000,- voor configuratie 2. Daarbij is rekening gehouden met capaciteit voor buffering van het water voor 1 dag (bufferomvang van 200 m³). Met ruimtebeslag en grondkosten is geen rekening gehouden. Ook is geen rekening gehouden met afvoer van brijn.

BEHANDELINGSMETHODE GRIJS WATER VOOR GIETWATER

Voor het hergebruiken van grijs water uit de huishoudens zijn verschillende behandelingsmethodes mogelijk. De waterkwaliteitseisen zijn voor de techniekkeuze randvoorwaarden. Er dient meestal een combinatie van technieken te worden toegepast voor de verwijdering van grovere delen, biologische behandeling, verkrijgen van het goede zoutgehalte en desinfecteren.

Verwijdering grovere delen

Met behulp van verschillende type zeven worden grovere delen uit het afvalwater ontdaan. De verwijdering van deze grovere delen zorgt voor een robuuste werking van de navolgende technieken en werktuigbouwkundige onderdelen.

Biologische behandeling

Het organische materiaal in het grijze water zal worden afgebroken door de biologische behandelingsstap. De aërobe behandeling kan in verschillende configuraties worden uitgevoerd, te weten SBR, Membraanbioreactor, of andere aeratie systemen. De slibwaterscheiding is echter noodzakelijk en in een membraanbioreactor worden hiermee eveneens ziekteverwekkers verwijderd.

Biologische behandeling

Het organische materiaal in het grijze water zal worden afgebroken door de biologische behandelingsstap. De aërobe behandeling kan in verschillende configuraties worden uitgevoerd, te weten SBR, Membraanbioreactor, of andere aeratie systemen. De slibwaterscheiding is echter noodzakelijk. In een membraanbioreactor wordt dit door ultrafiltratie bewerkstelligd en worden eveneens ziekteverwekkers verwijderd.

Ontzouting

Het zoutgehalte in het irrigatiewater is van wezenlijk belang voor de productie van gewassen. Indien het grijze water niet voldoet aan de het geëiste zoutgehalte dient dit door waterbehandeling te worden bewerkstelligd. Door middel van omgekeerde osmose of ionenwisseling zou aan de eis van het zoutgehalte kunnen worden voldaan. Bij de toepassing van omgekeerde osmose ontstaat een geconcentreerde zoutwaterstroom (het brijn). Bij de toepassing van ionenwisseling is het verbruik en de selectiviteit van de hars eventueel een knelpunt.

Op basis van bovengenoemde randvoorwaarden en kijkend naar de samenstelling van grijs water zal er een ontzoutingsstap noodzakelijk zijn. Voordat ontzouting van grijswater kan plaatsvinden, zal het grijze water eerst biologisch moeten worden gezuiverd om het CZV te verwijderen. Voor de biologische behandeling van grijswater wordt een MBR voorgesteld waarbij het UF membraan als een eerste barrière voor micro-organismen kan worden gezien. Door het toepassen van een MBR is de aanwezigheid van een microzeef noodzakelijk voor het verwijderen van fijn (< 1 mm) materiaal. Dit om verstopping van de membranen te voorkomen. Na de MBR dient dan nog een tweede barrière aanwezig te zijn voor de verwijdering van micro-organismen. Dit kan worden gecombineerd in de stap voor ontzouting waarvoor omgekeerde osmose membranen kunnen worden gebruikt. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de omgang met het brijn dat geproduceerd zal worden. In de toekomst (vanaf 2013) zal injectering van brijn in de bodem niet of nauwelijks meer worden vergund en worden er ook strenge eisen gesteld aan lozing op het oppervlaktewater (STOWA, 2007-07). In het Kasza rapport (STOWA, 2007) wordt er van uitgegaan dat lozen van het brijn op zout water mogelijk is indien de toxiciteit en de concentratie gewasbeschermingsmiddelen is verlaagd tot de achtergrondconcentraties van de Nieuwe Waterweg.

Desinfectie

Het grijze water bevat mogelijk humane ziekteverwekkers. Voor de toepassing in de glastuinbouw is desinfectie dan ook een vereiste. Er zijn veel technieken beschikbaar voor desinfectie waarbij gebruik kan worden gemaakt van fysieke verwijdering, oxideren of inactiveren van bacteriën, protozoa en virussen. Mogelijke technieken zijn respectievelijk membraanfiltratie (UF, NF en RO), ozonisatie, en UV desinfectie.

Twee configuraties

Het beoogde systeem voor de grijs waterbehandeling is afhankelijk van de noodzaak van ontzouting. Er zijn dan ook twee verschillende configuraties uitgewerkt, één met en één zonder ontzouting.

Configuratie 1) bestaat uit een inlaatwerk, zeefbocht, aerobe tank, membraaninstallatie en omgekeerde osmose (RO) installatie.

Configuratie 2) bestaat uit een inlaatwerk, zeefbocht, aerobe tank, membraaninstallatie en UV-desinfectie om als tweede barrière te fungeren.

Voor de dimensionering van de grijs waterzuivering zijn de uitgangspunten gehanteerd die gegeven zijn in tabel B-5-1. De verblijftijd van het gezuiverde water in de reinwaterbuffer bedraagt 1 dag. Er wordt hierbij vanuit gegaan dat deze hoeveelheid in een dag wordt verbruikt. Er wordt een piekfactor van 2,4 gehanteerd waardoor de influentbuffer niet meer noodzakelijk is. Indien een influentbuffer wordt gekozen, waarbij de piekfactor van 2,4 naar 1,5 (nodig om buffer leeg te pompen) wordt teruggeschroefd zijn de investeringskosten van de installatie met buffer nog steeds hoger.

Er wordt vanuit gegaan dat het geproduceerde slib via de drukriolering wordt afgevoerd naar de rwzi. De natte slibproductie bedraagt circa 1,2 m³/dag.

De dimensies van de installatieonderdelen van configuratie 1 zijn gegeven in tabel B-5-2. De dimensies van de installatieonderdelen van configuratie 2 zijn gegeven in tabel B-5-3. De aerobe sibleeftijd in de MBR is gesteld op 0,5 dag, waarbij de zuivering is gericht op verwijderen van organisch materiaal (geen stikstofverwijdering).

TABEL B-5-1 UITGANGSPUNTEN GRIJSWATERBEHANDELING

parameter	eenheid	waarde
schaal		
aantal bewoners	-	2.760
bewoners per huis	-	2,30
aantal huizen	-	1.200
afvalwater		
debiet		
gemiddeld dwa	m ³ /d	248
gemiddeld dwa	m ³ /h	10
piekfactor	-	2,4
maximaal	m ³ /h	25
vrachten		
CZV	kg/d	144
BZV	kg/d	77
TKN	kg/d	4
TP	kg/d	1,4
ZS	kg/d	46
belasting	i.e. TZV 136	1.190
temperatuur		
minimum	°C	8
ontwerp	°C	10
gemiddeld	°C	14
maximum	°C	25
reinwaterbuffer		
verblijftijd	d	1

TABEL B-5-2 DIMENSIES CONFIGURATIE 1 (MET OMGEKEERDE OSMOSE)

Element	Eenheid	Waarde
Inlaatwerk		
volume	m ³	10
capaciteit aanvoerpomp	m ³ /h	25
Zeefbocht		
perforatiediameter	mm	0,8
MBR		
ontwerptemperatuur	°C	14
slibleeftijd	d	0,5
slibgehalte	g/l	8,0
diepte	m	4
aerobe volume	m ³	4
totaal volume	m ³	12
beluchttingscapaciteit	kg O ₂ /h	5,65
nominale flux	l/m ² .h	25
maximale flux	l/m ² .h	40
membraanoppervlak	m ²	621
Omgekeerde osmose		
capaciteit	m ³ /h	25
recovery	%	80
Reinwater opslag		
opslagtijd	d	1
buffervolume	m ³	200
capaciteit reinwater pomp	m ³ /h	25

TABEL B-5-3 DIMENSIES CONFIGURATIE 2 (MET UV-DESINFECTIE)

Element	Eenheid	Waarde
Inlaatwerk		
volume	m ³	10
capaciteit aanvoerpomp	m ³ /h	25
Zeefbocht		
perforatiediameter	mm	0,8
MBR		
ontwerptemperatuur	°C	14
slibleeftijd	d	0,5
slibgehalte	g/l	8,0
diepte	m	4
aerobe volume	m ³	4
totaal volume	m ³	12
beluchttingscapaciteit	kg O ₂ /h	5,65
membraanoppervlak	m ²	621
UV desinfectie		
capaciteit	m ³ /h	25
type systeem	-	gesloten
verwachte UV transmissie	%	60
UV-dosis	mJ/cm ²	40
Reinwater opslag		
opslagtijd	d	1
buffervolume	m ³	200
capaciteit reinwater pomp	m ³ /h	25

TABEL B-5-4 INVESTERINGSKOSTEN DECENTRALE WATERZUIVERING CONFIGURATIE 1

INVESTERINGEN	Eenheid	Waarde
inlaatwerk	Euro	43.000
MBR	Euro	290.000
reinwateropslag	Euro	137.000
omgekeerde osmose	Euro	196.000
Totaal	Euro	666.000

TABEL B-5-5 INVESTERINGSKOSTEN DECENTRALE WATERZUIVERING CONFIGURATIE 2

INVESTERINGEN	Eenheid	Waarde
inlaatwerk	Euro	43.000
MBR	Euro	290.000
reinwateropslag	Euro	137.000
UV filter	Euro	10.000
Totaal	Euro	480.000

Exploitatiekosten

De exploitatiekosten zijn gegeven in tabel B-5-6 en bestaan uit: kapitaalslasten, onderhoudskosten, energieverbruik, chemicaliënverbruik, ontwatering en verwerking van surplusslib, afvoer van brijn (lozen op zee), en personeelskosten.

TABEL B-5-6 EXPLOITATIEKOSTEN GRIJS WATERZUIVERING

EXPLOITATIE	Eenheid	Configuratie 1 (RO)	Configuratie 2 (UV)
kapitaalslasten	Euro / jaar	81.000	47.000
bedrijfsvoering			
onderhoud	Euro / jaar	2.000	1.000
energie	Euro / jaar	3.000	600
chemicalien			
reinigingsproducten	Euro / jaar	8.000	1.000
personeel	Euro / jaar	27.000	27.000
ontwatering slib	Euro / jaar	6.300	6.300
eindverwerking slib	Euro / jaar	10.100	10.100
transportkosten brijn RO	Euro / jaar	45.000	0
subtotaal	Euro / jaar	101.400	46.000
totaal exploitatie	Euro / jaar	182.400	93.000
kosten per i.e.	Euro / jaar	66,10	33,70

De kosten voor configuratie 1 (RO) zijn hoger dan de kosten voor configuratie 2 (UV). Dit wordt mede veroorzaakt door de hogere kapitaalslasten, energieverbruik en afvoer van brijn in configuratie 1. In configuratie 1 zijn er chemicaliën nodig (bijvoorbeeld citroenzuur en chloorbleekloog) om de ultrafiltratie en omgekeerde osmosemembranen te reinigen. Daarnaast ontstaat er in configuratie 1 een hoeveelheid brijn (concentraat) van 50 m³ per dag. Deze hoeveelheid zal worden opgeslagen en afgevoerd door vrachtwagens van 30 ton. Dit impliceert dat twee keer per dag een vrachtwagen het brijn komt ophalen. De transportkosten hiervoor bedragen bij een afstand van 15 km circa € 45.000,-. In configuratie 2 zijn deze kosten niet aan de orde.

