stowa

hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

WETTERSKIP FRYSLÂN

WATERHARMONICA

DE NATUURLIJKE SCHAKEL TUSSEN WATERKETEN EN WATERSYSTEEM



RAPPORT 2005 18

stowa

WATERHARMONICA

DE NATUURLIJKE SCHAKEL TUSSEN WATERKETEN EN WATERSYSTEEM

RAPPORT 2005 18

ISBN 90.5773.299.8

stowa@stowa.nl WWW.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL **078 623 05 00** FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

Utrecht, 2005

UITGAVE STOWA, Utrecht

AUTEURS

Ir. A.H.H.M. Schomaker (Royal Haskoning)
Ir. A.J. Otte (Royal Haskoning)
Ing. J.J. Blom (Royal Haskoning)
Theo Claassen (Wetterskip Fryslân)
Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2005-18
ISBN 90.5773.299.8

TEN GELEIDE

Tijdens het 25-jarig jubileum van STOWA in 1996 mocht Theo Claassen (Wetterskip Fryslân), een prijs in ontvangst nemen voor zijn visie over waterbeheer in de toekomst. Hij kreeg de prijs voor zijn schets van ecotechnologische toepassingen als schakel tussen effluent van RWZI's en oppervlaktewater, als tegenhanger van hoogtechnologische (en dure) systemen zoals membraanfiltratietechnieken. Dit idee heeft Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) de *Waterharmonica* genoemd. In het concept van de Waterharmonica wordt met de natuur samengewerkt om de gewenste waterkwaliteit te bereiken. Aan de prijs van STOWA was een geldbedrag verbonden, te besteden aan onderzoek om het concept van de Waterharmonica operationeel toepasbaar te maken. In dit kader heeft STOWA aan Royal Haskoning de opdracht gegeven om te inventariseren welke systemen momenteel in Nederland bestaan en wat de ervaringen met deze systemen zijn en wat de toepasbaarheid van het Waterharmonica concept in Nederland is. Dit rapport is een onderdeel van deze opdracht. Het tweede onderdeel van de opdracht was het concept van de Waterharmonica en de toepasbaarheid ervan in ontwikkelingslanden verder uit te werken. Dit tweede rapport getiteld "Waterharmonica in the developing world" is opgesteld door door LeAF (Lettinga Associates Foundation).

Het rapport is opgesteld door; Ton Schomaker, Adrie Otte en Johan Blom (allen Royal Haskoning) en Theo Claassen (Wetterskip Fryslân) en Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier). De begeleidingscommissie bestond uit; Jannes Graansma (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier), Bert Moonen (Waterschap Groot Salland), Gerard Rijs (RIZA), Wim van der Hulst (Waterschap Aa en Maas) en Bert Palsma (STOWA)

Wij hopen dat ecologen en technologen na het lezen van dit rapport nog meer dan tot nu toe gaan samenwerken. Dat dit tot mooie dingen kan leiden kunt u het best zelf gaan bewonderen op bijvoorbeeld de zuivering van Hapert.

Juni 2005
De directeur van de STOWA
Ir. J.M.J. Leenen.

SAMENVATTING

De kwaliteit van effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) is in Nederland de laatste jaren sterk verbeterd. Effluent heeft echter andere biologische en chemische eigenschappen dan oppervlaktewater, waardoor lozing van effluent op oppervlaktewater nog steeds een verstoring van het ecologisch functioneren van dat oppervlaktewater kan veroorzaken. Ook nieuwe technieken, zoals membraantechnologie en ozon- of UV-behandeling kunnen deze verstoring wel beperken, echter niet teniet doen. Bovendien zijn deze technieken duur en kosten zij (fossiele) energie. Het concept van de "Waterharmonica" is gericht op toepassing van duurzame, energiezuinige en kostenefficiënte technieken waarmee een natuurlijke, ecologische schakel wordt gevormd tussen de RWZI in de waterketen en het ontvangende oppervlaktewater van het watersysteem. Dit is des te meer van belang aangezien met de invoering van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) gestreefd wordt naar een goede ecologische toestand van het oppervlaktewater.

In dit STOWA-project zijn de ervaringen en bevindingen onderzocht van reeds aangelegde zuiveringsmoerassen voor RWZI-effluenten, zijn de mogelijkheden gepeild en verkend inzake kansrijke nieuwe systemen her en der verspreid in ons land, en is gezocht naar ervaringen in ontwikkelingslanden.

Bekende toepassingen van het Waterharmonica concept zijn zuiveringsmoerassen. In deze systemen wordt RWZI-effluent natuurlijker gemaakt door verwijdering van stoffen en pathogenen, door het inbrengen van een natuurlijk zuurstofregime en door het introduceren van (hogere) organismen die kenmerkend zijn voor oppervlaktewater. Het zuiveringsmoeras vangt (een deel van) de effecten van een lozing op een oppervlaktewater als het ware op in een gecontroleerde omgeving en vormt zo de brug tussen het emissiespoor en het waterkwaliteitsspoor in het waterbeleid in Nederland. Deze systemen zijn met wisselende efficiëntie in staat nutriënten, zuurstofbindende componenten, zware metalen, organische microverontreinigingen, pathogenen en micro-organismen afkomstig uit de RWZI uit het effluent te verwijderen. Anderzijds maken deze moerassystemen het effluent meer gelijkend op oppervlaktewater.

Het Waterharmonica concept kan op vele manieren worden ingevuld. Waterharmonica systemen kunnen en moeten zodanig worden ingericht en ingevuld, dat zij optimaal aansluiten bij de lokale situatie en problematiek. Een Waterharmonica systeem is van nature multifunctioneel en ontleent daaraan een groot deel van haar meerwaarde ten opzichte van conventionele, hoogtechnologische zuiveringstechnieken. Verweving met andere functies zoals natuurontwikkeling, waterberging, verdrogingsbestrijding, voorraadvorming, recreatie, educatie en biomassaproductie is goed mogelijk. De schaarse ruimte in Nederland kan zo meervoudig en efficiënter worden gebruikt. Waterharmonica systemen zijn technologisch eenvoudig en ecologisch goed doordacht. Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van natuurlijke processen en zo min mogelijk van techniek. De systemen zijn vaak goedkoop, weinig storings- en onderhoudsgevoelig, kosten weinig energie en zijn daardoor duurzaam van aard. Nadelen van deze systemen zijn dat ze beperkt stuurbaar, minder constant in hun werking en moeilijker beheersbaar zijn en meer ruimte vragen dan technische concepten.

Mogelijke toepassingen van de Waterharmonica, zoals al in 1996 aangegeven, zijn:

- moerassystemen
- vloeivelden
- wortelzonesystemen en infiltratievelden
- lokale overdimensionering van watergangen
- bufferzones en randstroken
- verbindingszones
- plas(-dras)bermen
- natuur- en milieuvriendelijke oevers
- kweekvijvers (watervlooien, mosselen, kroos)
- cascades, flowforms (vijver- en cascadesculpturen) en overlopen.

Water kan na behandeling in een Waterharmonica systeem nuttig worden (her)gebruikt. Te denken valt aan de volgende toepassingen:

- gebruik als zoetwaterbron voor verziltingsbestrijding.
- infiltratie voor verhoging van de grondwaterstand (verdrogingsbestrijding).
- gebruik als stadswater (peilbeheersing, esthetische functie, beregening).
- gebruik als proces-, koel- of spoelwater in de industrie.
- gebruik van water in de landbouw.
- gebruik als recreatiewater (zoals vissen, varen, maar ook beregening van sportvelden en golfbanen).
- gebruik bij natuurontwikkeling(sprojecten) en ontwikkeling van hogere natuurwaarden in oppervlaktewater.

Uit onderzoek naar enkele systemen die in de praktijk zijn toegepast voor de nazuivering van RWZI-effluent blijkt dat de verwijderingsrendementen voor met name nutriënten nogal variëren. Open water moerassystemen zijn vergeleken met wortelzone- en infiltratievelden in algemene zin beter in staat om het effluent om te vormen in meer op oppervlaktewater gelijkend water door het inbrengen van een natuurlijk zuurstofregime en de verwijdering van actief-slibdeeltjes. Combinatie met andere functies zoals natuurontwikkeling, recreatie en educatie zijn met alle systemen goed mogelijk. Open water moerassystemen kunnen al snel een grote natuurwaarde krijgen, ook door de vestiging van bijvoorbeeld amfibieën, vissen en vogels. Infiltratievelden en wortelzonesystemen worden geacht per m^2 veel meer zwevende stof en nutriënten te verwijderen. Dit is bij systeemvergelijking in dit onderzoek zeker niet gebleken. Overigens was er slechts één infiltratieveld in dit vergelijk betrokken.

De zuiveringsresultaten van de zes Nederlandse Waterharmonica systemen blijken sterk te verschillen, evenals de hydraulische en chemische belasting. Er konden daarom geen eenduidige regels worden afgeleid voor ontwerp en dimensionering. Bij de reeds aangelegde systemen en ook bij de ontwerpen blijkt de reeds beschikbare ruimte (grond al in bezit van een waterschap, oude slibdroogbedden rondom RWZI's e.d.) vaak bepalend te zijn voor de omvang van het aan te leggen systeem.

Bij diverse waterkwaliteitsbeheerders en adviesbureaus is geïnventariseerd wat de ervaringen met en plannen voor Waterharmonica systemen zijn. Hieruit bleek dat deze systemen vooral ingezet worden voor het oplossen van drie problemen: een tekort aan zoet water (zowel oppervlaktewater als grondwater), de aanwezigheid van pathogenen in effluent en tekort aan water in natuurgebieden. Op deze punten bieden Waterharmonica systemen (goede) mogelijkheden.

Gedurende de uitvoering van dit Stowa project in 2003-2004 is het Waterharmonica concept op diverse manieren onder de aandacht gebracht van nationale en internationale belanghebbende partijen. Als belangrijkste activiteiten kunnen worden genoemd:

- aanvulling en promotie van de website www.waterharmonica.nl, waar veel relevante lezingen, posters, publicaties en basisinformatie zijn opgenomen;
- lezingen op een tiental conferenties en seminars, waaronder een speciale sessie op de 7th International Wetland Conference Intecol in Utrecht op 29 juli 2004;
- twee workshops voor de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders eind 2004.

Van deze laatste activiteit wordt in dit rapport en in een bijlage uitgebreid verslag gedaan. Uit de workshops blijkt dat bij veel deelnemers meer inzicht is verkregen in de mogelijkheden en het nut van de Waterharmonica. Naast reeds bekende Waterharmonica-initiatieven (RWZI's Wervershoof, Grou, Apeldoorn, Ootmarsum, Gieten) zijn door deelnemers zes andere potentiële projecten genoemd: RWZI's Arnhem, Marum, Ottershagen, Etten, Ameland en Winterswijk.

Voor een grootschaliger gebruik van Waterharmonica systemen zijn de volgende aspecten van belang:

- door het op termijn van kracht worden van de KRW-eisen zowel voor chemische kwaliteit (prioritaire stoffen) als ecologische kwaliteit van oppervlaktewater verdienen de mogelijkheden om de Waterharmonica te combineren met geavanceerde technieken voor effluentnabehandeling zoals dynamische zandfiltratie verdere uitwerking.
- op korte termijn is het van groot belang om kennis en ervaringen van uitgevoerde en voorgenomen projecten tussen alle betrokkenen op alle niveaus te delen om de introductie en realisatie van het Waterharmonica concept tot een blijvend succes te maken.
- op middellange termijn is het belangrijk dat de Waterharmonica als een duurzaam, natuurlijk concept wordt geaccepteerd waarin meerdere functies kunnen worden gecombineerd en meerdere doelen kunnen worden bereikt.

Omdat het Waterharmonica concept om een integrale benadering vraagt, is het stimuleren van dit type integrale projecten in alle sectoren van het waterbeheer (kwaliteit en kwantiteit, ambtelijk en bestuurlijk) noodzakelijk.

Naast dit rapport is een tweede rapport opgesteld door LeAF (Lettinga Associated Foundation), handelend over toepassing van het Waterharmonica concept in ontwikkelingslanden.

SUMMARY

The quality of effluent disharged from Dutch wastewater treatment plants (WWTP) has improved considerably in recent years. Still these WWTP-effluents do not resemble their receiving surface water, in particular when ecological characteristics are considered. New treatment techniques like membrane technology, ozone and UV-treatment are not capable to bridge this ecological gap. The Waterharmonica concept is developed for this purpose, aiming at the application of sustainable, energy saving and cost-effective techniques to offer a natural, ecological link between WWTP in the water chain and receiving surface water in the water system.

In this project for the Dutch Foundation of Applied Water Research called STOWA expertise and results of operational constructed wetlands for post treatment of effluent of domestic sewage plants in The Netherlands are studied. Possibilities for favourable new systems scattered all over The Netherlands are assessed and explored. And a search for experience with these systems in developing countries was carried out.

Well known applications of the Waterharmonica concept are constructed wetlands used as treatment wetlands to improve the quality of WWTP-effluent by removal of xenobiotic and –abiotic substances and pathogens, introducing a natural oxygen regime and (higher) organisms being characteristic for surface water. Waterharmonica systems are capable to reduce nutrients, biochemical oxygen demand (BOD), heavy metals, organic micro-pollutants, pathogens and xenobiotic organisms still present in WWTP-effluent. For the importance of achieving an ecologically sound state of surface waters is the basis of the European Water Framework Directive (WFD) it is to be expected that Waterharmonica systems might offer an important contribution in reaching WFD-objectives.

The Waterharmonica concept might be applied in many different ways. Waterharmonica systems must be designed and operated in such a way that these systems fit optimally in the local situation and resolve local environmental issues. These systems therefore will be multifunctional and take a great deal of their added value compared to more conventional and new more “high-tech” treatment techniques. Waterharmonica systems are well suited to combine effluent treatment with other functions like nature development, water storage, recreation, education and biomass production.
In this respect it offers multiple use of the scarce space available in The Netherlands.

Conceivable examples of Waterharmonica systems are:
- constructed wetlands and marshes
- reed fields and ditches (surface flow systems)
- root zone systems en infiltration fields (subsurface flow systems)
- local oversized watercourses
- buffer zones and banks
- ecological connection zones
- pool and marsh shoulders
- nature and environment friendly banks
- nurse or breeding ponds (water fleas, mussels, duckweed, fish)
- cascades, flowforms and flood areas.

Water treated in a Waterharmonica system can be profitable (re)used as:

- freshwater source for abatement of salinization
- infiltrate for raising water levels (drying out abatement)
- a source for urban water level control and esthetic improvement
- cooling, rinsing or process water in industry
- water and nutrient source in agriculture
- water for recreational purposes (fishing, boating, water supply for sporting grounds and golf courses)
- supply water in nature rehabilitation and –restoration projects.

Research at Waterharmonica systems applied in The Netherlands for post treatment of WWTP-effluent revealed that treatment efficiencies for nutrients in particular vary considerably. The systems are well capable in "reshaping" these effluents in water that resembles their receiving surface waters by introduction of a natural oxygen regime and removal of active sludge particles. Also combination with nature development, recreation and education is more or less achieved, in particular with surface flow systems.

An inventory at Dutch water quality boards and water consultants showed that the three main reasons for applying Waterharmonica systems are the abatement of the lack of freshwater (both surface water and groundwater), reduction of pathogens in WWTP-effluent and water suppletion for nature reserve areas.

During the Stowa (Dutch Foundation for Applied Water Research) project in 2003-2004 the Waterharmonica concept has been brought under the attention of national and international stakeholding parties in several ways. As most important activities can be mentioned:

- filling in and promotion of the Internet site www.waterharmonica.nl with many relevant papers, posters, publications and basic information on the concept;
- presentation on 10 conferences and seminars, among others a special session on the 7th International Wetland Conference Intecol in Utrecht in The Netherlands on 29 July 2004. The contribution on this conference gives a good overview of the project (www.waterharmonica.nl/intecol);
- two workshops for the Dutch water quality boards.

The setup and results of this last activity are described in detail in this report. The workshops showed that many participants did obtain more and better insight in the possibilities and the usefulness of the Waterharmonica. Beside Waterharmonica initiatives already known (at WWTP's Wervershoof, Grou, Apeldoorn, Ootmarsum and Gieten) participants mentioned six other potential locations at WWTP's Arnhem, Marum, Ottershagen, Etten, Ameland and Winterswijk.

It is concluded in this study that the following aspects are important in order to stimulate large scale application of Waterharmonica systems:

- due to the implementation of the European Water Framework Directive in the near future that will set standards for both chemical and ecological quality of surface water, the possibilities for combining the Waterharmonica with advanced techniques for effluent post treatment such as dynamic sandfiltration deserve more attention.

- in short term the further development of knowledge, know-how and experience of Waterharmonica systems to cope with the many knowledge gaps that still exist. Sharing knowledge of and experience with existing and planned Waterharmonica systems between all participants at all levels involved is crucial for further successful introduction and implementation of the Waterharmonica concept.
- in medium term acceptance of the Waterharmonica as a sustainable, natural concept that offers the opportunity to combine several functions and to reach several goals.

As the Waterharmonica concept asks for an integrated approach, stimulating this type of projects in all sectors of water management (quality and quantity, official and administrative) is necessary.

Apart from this report a second report has been made by LeAF (Lettinga Associates Foundation), focused on applications of the Waterharmonica concept in developing countries.

STOWA IN BRIEF

The Institute of Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater purification installations and dam inspectors. In 2002 that includes all the country's water boards, the provinces and the State.
These water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative-legal and social-scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed on the basis of requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as centres of learning and consultancy bureaux, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

All the money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some six million euro.

For telephone contact STOWA's number is: +31 (0)30-2321199.
The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.
E-mail: stowa@stowa.nl.
Website: www.stowa.nl.

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, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

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 zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.
Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.
Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

WATERHARMONICA

INHOUD

TEN GELEIDE
SAMENVATTING
SUMMARY
STOWA IN BRIEF
DE STOWA IN HET KORT

1		INLEIDING	1
	1.1	Achtergrond	1
	1.2	Historisch perspectief	2
	1.3	Vraagstelling	3
	1.4	Doelstelling	4
	1.5	Leeswijzer	4
2		RWZI-EFFLUENT IN RELATIE TOT OPPERVLAKTEWATER	6
	2.1	Herkomst van effluent	6
	2.2	Eigenschappen van RWZI-effluent	7
	2.3	Verschillen tussen effluent en oppervlaktewater	9
	2.4	Strategie bij het oppervlaktewaterbeheer	9
	2.5	Nederlandse en Europese wetgeving	10

3		DE WATERHARMONICA ALS SCHAKEL TUSSEN RWZI EN OPPERVLAKTEWATER	11
	3.1	Inleiding tot de Waterharmonica	11
	3.2	Uitwerking van het Waterharmonica concept	12
		3.2.1 Nut en noodzaak van de Waterharmonica	12
		3.2.2 Functies van de Waterharmonica	15
		3.2.3 Kenmerken van de Waterharmonica	15
		3.2.4 Vormen van de Waterharmonica	18
	3.3	De Waterharmonica in bredere context	20
		3.3.1 Beleidsvernieuwing	20
		3.3.2 Ecotechnologische systemen en de Europese Kaderrichtlijn Water	21
	3.4	De Waterharmonica als praktisch instrument	23
		3.4.1 Streefdoelen voor de praktijk	23
		3.4.2 Ecotoxicologische aspecten	27
		3.4.3 Misverstanden over zuiveringsmoerassen	27
	3.5	Conclusie	29
4		BESTAANDE ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN NADER BEKEKEN	31
	4.1	Inleiding	31
	4.2	Prestaties van bestaande Waterharmonica moerassystemen	31
		4.2.1 Bestaande Waterharmonica moerassystemen in Nederland	31
		4.2.2 Belasting en zuivering	32
	4.3	Vergelijking nutriëntenverwijdering met buitenlandse moerassystemen	38
	4.4	Natuurwaarde van Nederlandse Waterharmonica systemen	39
	4.5	Conclusie	40
5		INVULLING VAN DE WATERHARMONICA IN DE PRAKTIJK	41
	5.1	Inleiding	41
	5.2	Nuttig gebruik van water	41
	5.3	Nuttig gebruik van nutriënten	44
	5.4	Nuttig gebruik van ruimte: combinatie van functies	46
		5.4.1 Natuurontwikkeling	46
		5.4.2 Recreatie	48
		5.4.3 Waterberging	48
		5.4.4 Voorraadvorming	49
	5.5	Economische (meer)waarde	49
	5.6	Eigenschappen van enkele Waterharmonica systemen in de praktijk	50
	5.7	Conclusie	52
6		KENNISOVERDRACHT EN ONTWIKKELING	53
	6.1	Inleiding	53
	6.2	Activiteiten voor kennisoverdracht en -ontwikkeling	53
	6.3	Ontwikkelingsrichtingen voor de Waterharmonica	55
	6.4	Relevante eisen aan RWZI-effluent	57
	6.5	Toekomst van de Waterharmonica	58

7 SLOTCONCLUSIE EN EINDBESCHOUWING 60
7.1 Slotconclusie 60
7.2 Eindbeschouwing 62

8 LITERATUUR 65

BIJLAGE I
Normen en besluiten
I.1 Lozingenbesluit Wvo stedelijk water
I.2 Infiltratiebesluit
I.3 Normen landbouwwater
I.4 Grenswaarden voor het beoordelen van drinkwater voor vee

BIJLAGE II
Voorbeelden van ecotechnologische systemen en factsheets
II.1 Elburg
II.2 Everstekoog
II.3 Land van Cuijk
II.4 Waterpark De Groote Beerze
II.5 Sint Maartensdijk
II.6 Efteling
II.7 Kwekelbaarsjes
II.8 Ekeby (Zweden)
II.8 Overige buitenlandse systemen

BIJLAGE III
Veel gebruikte systemen en hun eigenschappen

BIJLAGE IV
Verslag en evaluatie van de Waterharmonica workshops in Hapert en Almelo

BIJLAGE V
Chronologisch overzicht van activiteiten in en tijdens dit Waterharmonica project van STOWA

BIJLAGE VI
Programma, abstracts en verslag van de Waterharmonica-sessie op de 7th Intecol International Wetlands Conferentie te Utrecht

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

De kwaliteit van het effluent van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) in Nederland is de afgelopen jaren sterk verbeterd. Wat betreft nutriënten en zuurstofbindende stoffen is de kwaliteit van het effluent van een enkele RWZI voor sommige parameters inmiddels zelfs beter dan die van het ontvangende oppervlaktewater. Het gemiddelde RWZI-effluent had echter in 2001 een totaal-stikstofconcentratie van 13,9 mg N/l en een totaal-fosforconcentratie van 1,38 mg P/l (zie ook tabel 2.1). Ook de concentraties van CZV, BZV, zware metalen en organische microverontreinigingen zijn vaak hoog. Zelfs als de concentraties in het effluent op of onder MTR-niveau liggen, is RWZI-effluent nog geen oppervlaktewater. Het is toxischer dan op basis van de chemische en fysische samenstelling verwacht mag worden |79|. RWZI-effluent kent een laag zuurstofgehalte en geen zuurstofritmiek, bevat geen hogere organismen, maar wel te veel micro-organismen van humane oorsprong of vanuit de RWZI (bacteriën, virussen en actief-slib deeltjes). Daardoor is dit effluent niet geschikt als recreatiewater. Een verdere verbetering van de kwaliteit van RWZI-effluent zal nodig zijn om de waterkwaliteitsdoelstellingen van de Kaderrichtlijn Water (KRW |1|) te halen. Vergaande technologische oplossingen zijn bijvoorbeeld het toepassen van de membraanbioreactor als alternatief voor de bestaande actief slibsystemen en van membraantechnologie, ozon- of UV-behandeling voor effluentnabehandeling. Op diverse locaties wordt toepassing van deze technieken onderzocht. Bij invoering van deze relatief dure technieken neemt het energie- en grondstoffenverbruik echter toe, terwijl de ecologische kwaliteit van het effluent nog steeds niet overeenstemt met de bestaande of gewenste kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater. Het is nog "dood" water.

Deze constatering vormt de basisgedachte achter de ontwikkeling van het concept "De Waterharmonica". Dit concept is gericht op het toepassen van duurzame, energiezuinige en kostenefficiënte technieken waarmee een natuurlijke schakel wordt gevormd tussen de RWZI in de waterketen en het ontvangende oppervlaktewater van het watersysteem |2|. Met deze technieken wordt gestreefd naar een verdere waterkwaliteitsverbetering en naar bewust hergebruik van water (in bijvoorbeeld de landbouw of recreatie) en van stoffen (voor productie van bijvoorbeeld plantaardige biomassa). Andere potentiële voordelen liggen daarbij in het nuttig gebruik van ruimte door het concept te combineren met functies als natuurontwikkeling, waterberging of voorraadvorming.

In de afgelopen jaren is op dit gebied reeds veel progressie geboekt |11|. Er zijn verschillende moerassystemen aangelegd die deze schakel vormen. Interessant is de combinatie van functies die met deze systemen mogelijk is, waarbij meerdere milieu- en natuurdoeleinden kunnen worden nagestreefd. Zo is de combinatie natte natuur en moerassysteem eenvoudig te maken, maar kan ook actief biologisch beheer of waterberging met deze wijze van effluentbehandeling worden gecombineerd. Met het ontwerp en de bedrijfsvoering van deze systemen is inmiddels veel ervaring opgedaan, zoals onder meer vastgelegd in het "Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water" |16|. Deze ervaring is echter nog maar

beperkt toegepast, geëvalueerd en verinnerlijkt. De ambitie is om bij renovatie, uitbreiding of nieuwbouw van RWZI's een moeras- of vergelijkbaar natuurlijk systeem en het ontvangende watersysteem integraal mee te nemen in het ontwerp, waarbij dit systeem een deel van de (na)zuiverende werking van de RWZI verzorgt. De eigenschappen en de eisen van het ontvangende watersysteem vormen dan steeds meer de randvoorwaarden voor het ontwerp en de dimensionering van dit natuurlijke, ecologische systeem. Deze vorm van 'ecological engineering', in Nederland 'ecotechnologie' genoemd, wordt het best omschreven in de definitie die het Centre for Wetlands van de Universiteit van Florida (www.cfw.ufl.edu) daar aan geeft:

'Ecological engineering is the design of sustainable ecosystems that integrate human society with its natural environment for the benefit of both. It involves the design, construction and management of ecosystems that have value to both humans and the environment. Ecological engineering combines basic and applied science from engineering, ecology, economics, and natural sciences for the restoration and construction of aquatic and terrestrial ecosystems. The field is increasing in breadth and depth as more opportunities to design and use ecosystems as interfaces between technology and environment are explored.'

Voor meer informatie over het thema Ecological Engineering wordt ook verwezen naar de website van de International Ecological Engineering Society (www.iees.ch).

Tijdens het 25-jarig jubileum van STOWA in 1996 mocht Theo Claassen (Wetterskip Fryslân), een prijs in ontvangst nemen voor zijn visie over waterbeheer in de toekomst. Hij kreeg de prijs voor zijn schets van ecotechnologische toepassingen als schakel tussen effluent van RWZI's en oppervlaktewater |2|, als tegenhanger van hoogtechnologische (en dure) systemen zoals membraanfiltratietechnieken. Dit idee heeft Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) de Waterharmonica genoemd |17|. In het concept van de Waterharmonica wordt met de natuur samengewerkt om de gewenste waterkwaliteit te bereiken. Aan de prijs van STOWA was een geldbedrag verbonden, te besteden aan onderzoek om het concept van de Waterharmonica operationeel toepasbaar te maken. In dit kader heeft STOWA aan Royal Haskoning de opdracht gegeven om te inventariseren welke systemen momenteel in Nederland bestaan en wat de ervaringen met deze systemen zijn en wat de toepasbaarheid van het Waterharmonica concept in Nederland is. Dit rapport is een onderdeel van deze opdracht. Het tweede onderdeel van de opdracht was het concept van de Waterharmonica en de toepasbaarheid ervan in ontwikkelingslanden verder uit te werken. Dit tweede rapport getiteld "Waterharmonica in the developing world" |102| is opgesteld door door LeAF (Lettinga Associates Foundation).

1.2 HISTORISCH PERSPECTIEF

Het nationale beleid ter verbetering van kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren heeft in 1970 vorm gekregen toen de Wet verontreiniging oppervlaktewateren van kracht werd. Sindsdien zijn verschillende richtlijnen, beleidsnota's en actieprogramma's in werking getreden om die ingeslagen weg te actualiseren |3|:

- 1975 Eerste Indicatief Meerjarenprogramma Water '75-'79 |4|
- 1981 Tweede Indicatief Meerjarenprogramma Water '80-'84 |5|
- 1985 Derde Indicatief Meerjarenprogramma Water '85-'89 |6|
- 1989 Derde Nota Waterhuishouding (NW3) |7|
- 1994 Evaluatienota Waterhuishouding (ENW) |8|

- 1998 Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) |9|
- 2000 Waterbeheer in de 21ste eeuw (WB21) |10|
- 2000 EU Kaderrichtlijn Water (KRW) |1|.

Het aldus geformuleerde waterkwaliteitsbeleid is zich in de loop van de afgelopen 35 jaar geleidelijk aan steeds meer gaan richten op integraal waterbeheer. Lag in het eerste IMP-water 1975-1979 het hoofdaccent nog sterk op de sanering van afvalwaterlozingen op oppervlaktewateren, in het tweede IMP-water 1980-1984 lag de nadruk op een zekere bescherming van zowel menselijke gebruiksfuncties als van aquatische levensgemeenschappen. In dit IMP werd daartoe het begrip basiskwaliteit geïntroduceerd. Vervolgens richtte in het derde IMP-water 1985-1989 de aandacht zich meer op het "functioneren van het oppervlaktewater als onderdeel van het aquatische ecosysteem, een samenhangend geheel van water, bodem en oever en het bijbehorende planten- en dierenleven, alsmede de beïnvloeding van milieucompartimenten".

In de NW3, ENW en NW4 werd het in de drie IMP's geformuleerde beleid steeds verder uitgewerkt, waarbij integrale benadering en duurzame ontwikkeling centraal stonden.

De Europese Kaderrichtlijn Water tenslotte moet gezien worden als een richtinggevend, kaderstellend en resultaatverplichtend instrument voor het toekomstig waterbeleid dat voortbouwt op de doelstellingen van de NW4 en WB21.
De KRW-doelstellingen zijn er op gericht naast een goede chemische juist ook een goede ecologische toestand van het oppervlaktewater in 2015 te bereiken.
Hiermee wordt impliciet onderkend dat met het enkel treffen van maatregelen in het emissiespoor (lees: zuiveringsbeheer) in het verleden de nadruk teveel lag op een goede fysisch-chemische kwaliteit, maar te weinig op de gewenste biologisch-ecologische kwaliteit van het Nederlandse oppervlaktewater.

Het Waterharmonica-concept komt vanuit dit historisch perspectief op het goede moment, doordat het een brug slaat tussen de meer "bron- en saneringsgerichte" benadering uit het verleden en gewenste ecologische benadering volgens de KRW voor de nabije toekomst.

1.3 VRAAGSTELLING

De vraagstelling en de opzet van het project is beschreven in het plan van aanpak dat door STOWA eind 2002 is opgesteld |13|. Het project diende via een op de praktijk gerichte aanpak een antwoord en een uitwerking te geven op de vraag hoe er met een vernieuwende, geïntegreerde toepassing van ecotechnologie van RWZI-effluent 'gezond'[1] en bruikbaar oppervlaktewater kan worden gemaakt. Het Waterharmonica-concept diende daarbij als leidend principe nader uitgewerkt te worden.

Het onderzoek van Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier naar het Kwekelbaarsjessysteem op Texel was in meerdere opzichten een dergelijke vernieuwende toepassing van ecotechnologie, zoals die in de gekozen combinatie nog niet eerder bewust was vormgegeven. Hierbij werd aangetoond dat watervlooien gekweekt kunnen worden op RWZI-effluent. Deze watervlooien dienen als voedsel voor stekelbaarzen, die op hun beurt als voedsel dienen voor

[1] Onder "gezond" water wordt hier verstaan water dat zowel wat betreft fysisch-chemische waterkwaliteit als ecologie op het ontvangende oppervlaktewater lijkt.

lepelaars. Meer informatie over de voedselketen benadering in dit systeem vindt u in bijlage II.7. Voor meer informatie over het Kwekelbaarsjessysteem wordt verwezen naar literatuurreferenties |14| en |15| en de website www.waterharmonica.nl.
Het onderzoek op Texel gaf hierbij een nieuwe impuls aan het gebruik van moerassystemen in Nederland voor de nazuivering van effluenten. Het leidde al tot navolging op RWZI Kaatsheuvel (Efteling), RWZI Land van Cuijk en RWZI Hapert (Waterpark De Groote Beerze).

Uitgangspunt van dit project was zo goed mogelijk gebruik te maken van en aan te sluiten bij de praktijkervaringen met deze reeds bestaande Waterharmonica systemen.

1.4 DOELSTELLING

De doelstelling van het project was meerledig:

- het uitwerken van het concept 'Waterharmonica' in het licht van 'Ecological engineering'. Hierbij diende niet alleen de zuiveringstechnische, maar vooral ook de biologisch-ecologische invalshoek gekozen te worden, waarbij creatieve vormen van toepassing en aanwending dienden te worden belicht. Uitgangspunt is nabehandeling van gezuiverd afvalwater (RWZI-effluent) tot bruikbaar oppervlaktewater. Andere te beschouwen aspecten zijn "nuttig gebruik" van nutriënten, energie- en nutriëntenstromen en processen van opname, omzetting en vastlegging, zuurstofhuishouding en –ritmiek, de biologische schakels die daarbij als voedselwebs- en pyramiden een rol spelen (van bacteriën, algen, zoöplankton, waterplanten en helofyten tot en met vissen en vogels) en gebruik van het gezuiverde afvalwater voor natuurdoeleinden.
- het samenvatten van praktische kennis en ervaringen met de 'Waterharmonica' voor de aanleg, beheer en monitoring van moerassystemen voor behandeling van RWZI-effluent.

Daarnaast diende het project te voldoen aan de volgende twee secundaire doelstellingen:

- het bevorderen van enkele demonstratieprojecten in Nederland;
- het verkennen en uitwerken van mogelijke toepassingen in ontwikkelingslanden. Vice versa kunnen bestaande toepassingen in ontwikkelingslanden bijdragen aan mogelijke toepassingsprincipes in ons land.

Veel informatie over ontwerp, constructie, beheer, onderhoud en monitoring van zuiveringsmoerassen is al gepubliceerd in het STOWA rapport "Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water" |16|. Om overlap tussen dat Handboek en dit rapport te voorkomen wordt voor deze technische en operationele aspecten van zuiveringsmoerassen naar dit Handboek verwezen.

De Waterharmonica kan als schakel op vele plaatsen tussen licht verontreinigd (afval)water en ontvangend oppervlaktewater worden ingezet, bijvoorbeeld bij run-off of andere diffuse bronnen van verontreiniging. Deze studie richt zich op en beperkt zich echter tot effluent van RWZI's en oppervlaktewater.

1.5 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 wordt het principe van de Waterharmonica beschreven waarbij allereerst wordt ingegaan op de achtergrond en de gedachte achter het concept. Daarna wordt er ingegaan op de eigenschappen van RWZI-effluent in relatie tot oppervlaktewater-kwaliteit, het Nederlandse en Europese waterkwaliteitsbeleid en de functies, kenmerken en vormen van

Waterharmonica systemen. Hoofdstuk 2 beschrijft vervolgens de eisen die aan Waterharmonica systemen (zullen) worden gesteld, enkele ecotoxicologische aspecten van die systemen en een viertal hardnekkige misverstanden over het nut van zuiverings-moerassen.

Hoofdstuk 3 geeft een overzicht en een vergelijking van bestaande ecotechnologische systemen in Nederland en het buitenland, met name Engeland en VS.

In hoofdstuk 4 wordt invulling gegeven aan toepassing van de Waterharmonica in de praktijk. Ingegaan wordt op nuttig gebruik van het nabehandelde RWZI-effluent, van de nutrienten daarin en van ruimte door combinatie van functies. Verder wordt in dat hoofdstuk de inzet van de Waterharmonica bij natuurontwikkeling, recreatie, waterberging en voorraadvorming besproken.

In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op de uitvoerde activiteiten in het kader van de kennisoverdracht naar de waterkwaliteitsbeheerders tijdens het project. Daarna wordt de verdere ontwikkeling van het Waterharmonica concept beschreven. Daarbij worden concreet enkele potentiële pilot-projecten behandeld, evenals de relevante eisen die in dat verband aan RWZI-effluent worden gesteld. Tenslotte wordt aandacht besteed aan de toekomst van de Waterharmonica, waarbij verdere kennisontwikkeling, acceptatie en mogelijkheden op de korte en middenlange termijn aan de orde worden gesteld.

Tenslotte geeft hoofdstuk 6 een overzicht van de belangrijkste conclusies van deze studie en wordt een eindbeschouwing gegeven over de verkregen resultaten met enkele daarop gebaseerde aanbevelingen.

Het rapport wordt afgesloten met een overzicht van geraadpleegde literatuurbronnen en met de volgende bijlagen:

Bijlage I. Normen en besluiten
- I.1 Lozingenbesluit Wvo stedelijk water
- I.2 Infiltratiebesluit
- I.3 Normen landbouwwater
- I.4 Grenswaarden voor het beoordelen van drinkwater voor vee

Bijlage II. Voorbeelden van ecotechnologische systemen en factsheets
- II.1 Elburg
- II.2 Everstekoog
- II.3 Land van Cuijk
- II.4 Waterpark De Groote Beerze
- II.5 Sint Maartensdijk
- II.6 Efteling
- II.7 Kwekelbaarsjes
- II.8 Ekeby (Zweden)
- II.8 Overige buitenlandse systemen

Bijlage III. Veel gebruikte systemen en hun eigenschappen

Bijlage IV. Verslag en evaluatie van de Waterharmonica workshops in Hapert en Almelo

Bijlage V. Chronologisch overzicht van activiteiten in en tijdens dit Waterharmonica project van STOWA

Bijlage VI. Programma, abstracts en verslag van de Waterharmonica-sessie op de 7th Intecol International Wetlands Conferentie te Utrecht

2

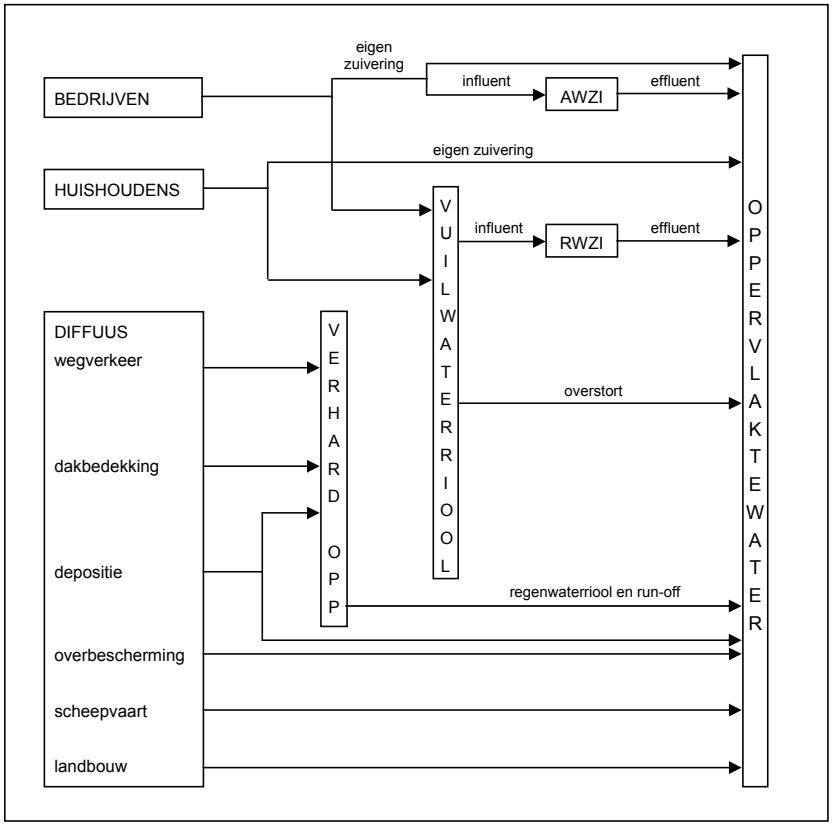
RWZI-EFFLUENT IN RELATIE TOT OPPERVLAKTEWATER

Voordat de Waterharmonica als concept wordt beschreven wordt in dit hoofdstuk eerst wordt ingegaan op de fysisch-chemische en biologische verschillen tussen RWZI-effluent en oppervlaktewater. Na een korte beschrijving van de herkomst van het effluent (§ 2.1), worden de eigenschappen ervan behandeld (§ 2.2) en worden de verschillen met oppervlaktewater uitgewerkt (§ 2.3). Daarna wordt nog kort aandacht besteed aan het huidige oppervlaktewaterbeheer (§ 2.4) en de daarop van kracht zijnde Nederlandse en Europese wetgeving (§ 2.5).

2.1 HERKOMST VAN EFFLUENT

In figuur 2.1 is de route aangegeven die afvalwater vanaf de bron naar ontvangend oppervlaktewater aflegt. Een groot deel van het afvalwater komt via een RWZI als effluent direct in het oppervlaktewater terecht. Vanwege de herkomst, samenstelling en behandeling van het afvalwater heeft dit effluent een totaal ander karakter dan oppervlaktewater.

FIGUUR 2.1 **DE ROUTE VAN AFVALWATER VANAF LOZING NAAR OPPERVLAKTEWATER |2|**



2.2 EIGENSCHAPPEN VAN RWZI-EFFLUENT

RWZI's zijn er in vele soorten, vormen en maten. Oude RWZI's zuiveren vaak slechter dan nieuwe en ook de influentkwaliteit is van grote invloed op de kwaliteit van het effluent. In deze paragraaf wordt ingegaan op de gemiddelde samenstelling van RWZI-effluent en de wettelijke lozingseisen. Daarbij zijn alleen de parameters zuurstofbindende stoffen (CZV en BZV), nutriënten en zware metalen in beschouwing genomen.

De gemiddelde concentraties van stoffen in de Nederlandse RWZI-effluenten en de MTR- en VR- of streefwaarden voor oppervlaktewater volgens de Vierde Nota Waterhuishouding (NW4) zijn gegeven in tabel 2.1.

TABEL 2.1 **GEMIDDELDE CONCENTRATIES VAN STOFFEN IN RWZI-EFFLUENTEN IN NEDERLAND VAN 1990 EN 2000 (BRON: CBS-STATLINE, 2004 |104| N VROM/VW |112|)**

	CZV mg/l	BZV mg/l	N-tot mg/l	P-tot mg/l	Cu µg/l	Cr µg/l	Zn µg/l	Pb µg/l	Cd µg/l	Ni µg/l	Hg µg/l	As µg/l
1990	80	14	24	3,8	22	8,0	85	15	0,5	12	0,2	1,5
2000	46	5,7	15	1,4	9,2	2,8	55	4,9	0,2	6,6	0,1	1,4
MTR			2.2*	0,15*	3,8	84	40	220	2	6.3	1,2	32
MTR-opgelost					1,5	8,7	9,4	11	0,4	5,1	0,2	25
VR of streefwaarde			1,0*	0,05*	1,1	2,4	12	5,3	0,4	4,1	0,07	1,3
VR-opgelost					0,5	0,3	2,9	0,3	0,08	3,3	0,01	1
Goed werkende laagbelaste RWZI	30	< 3	< 5	< 1	< 10	< 3	< 35	< 2	< 1	< 5	< 0,5	< 5

* zomergemiddelde in stagnante, eutrofiëringsgevoelige wateren.

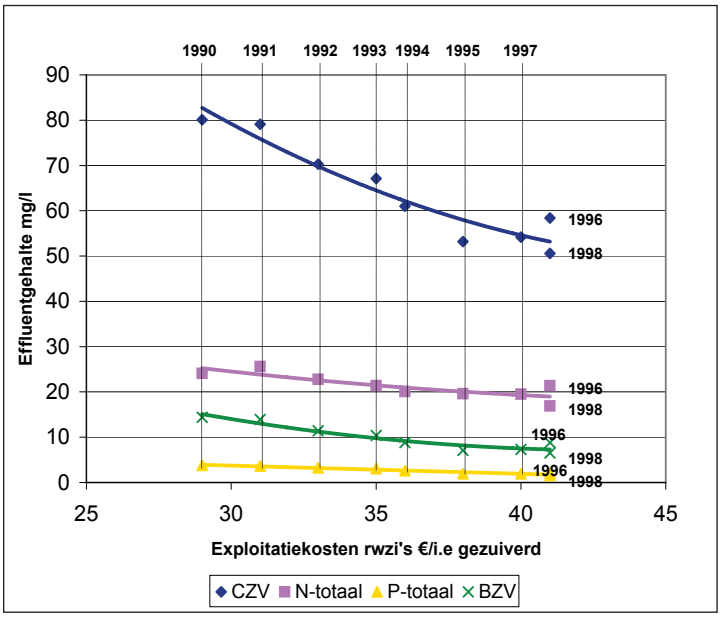
De concentraties van alle in tabel 2.1 getoonde stoffen zijn in het weergegeven decennium duidelijk afgenomen. Omdat de behandelde hoeveelheid afvalwater in diezelfde periode toeneemt (van circa 1.600 miljoen m^3 in 1990 tot 2.100 miljoen m^3 in 2000) dalen de totaal in Nederland via RWZI-effluent geloosde vrachten echter duidelijk minder snel |69|. Van sommige stoffen (in tabel 2.1 niet weergegeven) is die vracht zelfs toegenomen.

De kosten per gezuiverde vervuilingseenheid nemen in deze periode toe. In figuur 2.2 is het gemiddelde effluent-gehalte (CZV, N en P) uitgezet tegen de kosten per inwonerequivelent voor de periode 1990-1998 (bron: Statline, 2003 |104|). Conform de wet van de verminderde meeropbrengst levert iedere "zuiveringseuro" een steeds kleinere verbetering van de effluentkwaliteit op.

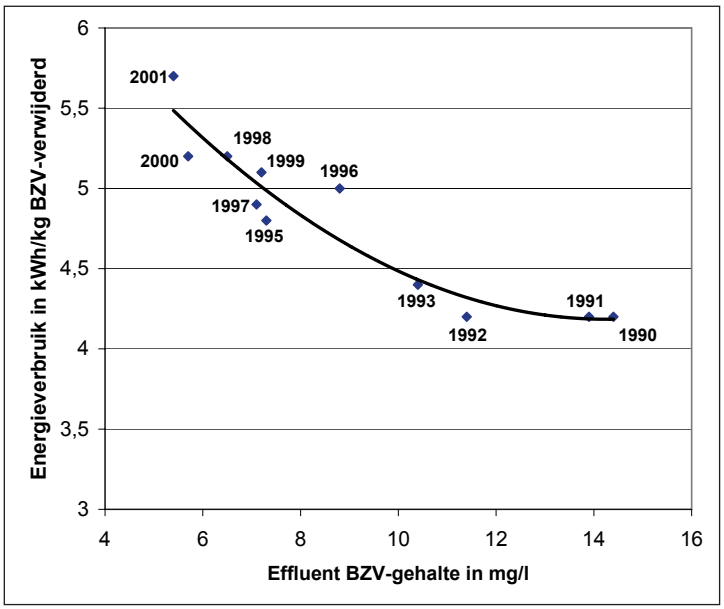
De verbeterde effluentkwaliteit gaat ten koste van een hoger energieverbruik in absoluut en relatief opzicht zoals aangegeven in figuur 2.3 (bron: Statline, 2003 |104|). Hieruit blijkt dat een nog verdere verbetering van de effluentkwaliteit gepaard gaat met steeds meer energievragende zuiveringstechnieken.

Er kan worden beredeneerd dat verdere invoering van technologische oplossingen een voortzetting van deze trend op zullen leveren. Andere oplossingen, zoals meer natuurlijke systemen, kunnen leiden tot een trendbreuk.

FIGUUR 2.2: ONTWIKKELING ZUIVERINGSKOSTEN EN EFFLUENTGEHALTES BIJ NEDERLANDSE RWZI'S VAN 1990-1998 (BRON: STATLINE 2003 |104|)



FIGUUR 2.3 RELATIE TUSSEN ENERGIEVERBRUIK EN EFFLUENTGEHALTE VOOR BZV BIJ NEDERLANDSE RWZI'S IN DE PERIODE 1990-2001 (BRON: STATLINE 2003 |104|)



In bijlage I.1 zijn de lozingseisen vermeld die door het Lozingenbesluit WVO stedelijk afvalwater aan effluent van RWZI's worden gesteld. Bij toetsing aan deze lozingseisen blijkt, dat het gemiddelde effluent van RWZI's (tabel 2.1) voldoet aan het lozingenbesluit. De concentraties van de nutriënten en de lozingsnormen liggen echter ver boven het MTR (2,2 mg N/l en 0,15 mg P/l voor stagnante, eutrofiëringsgevoelige wateren in de zomer). Ook van de zware metalen ligt de gemiddelde concentratie in het effluent hoger dan het MTR. De dalende trend zal nog enkele jaren doorzetten onder andere als gevolg van biologische fosfaatverwijdering en omschakeling naar hogere verwijderingsrendementen van totaal stikstof. Daarna bereiken de huidige RWZI's wel bijna de grenzen van wat technisch en beheersmatig mogelijk is. Voor N, P en zware metalen is dit een niveau van 1,5 tot 3 maal het MTR-niveau. Een kanttekening hierbij is, dat ook het oppervlaktewater in Nederland ongeveer dezelfde kwaliteit heeft. De VR-waarden voor N en P en naar verwachting ook de normdoelstellingen van de KRW

liggen echter beduidend lager dan respectievelijk 2,2 mg N/l en 0,15 mg P/l (zie tabel 2.1). Naast technische aanpassingen op RWZI's kan ook een afname van te lozen vrachten worden verwacht door het afkoppelen van regenwater van een vuilwater rioolstelsel. Dan nog blijft echter een groot verschil bestaan tussen de daarmee bereikte verbetering van de waterkwaliteit en het MTR-niveau, dan wel het VR-niveau.

Natuurlijke, ecotechnologische systemen kunnen een bijdrage leveren deze verschillen te verkleinen. Naast nazuivering ligt de kracht van deze systemen echter vooral op het ecologisch 'gezond' maken (biologisch reanimeren) van effluent.

In Nederland loost 75% van de RWZI's op (relatief kleine) regionale wateren |79|. Op kleine wateren bedraagt de verdunningsfactor soms aanzienlijk minder dan 10, zodat de effluentlozing de waterkwaliteit sterk kan beïnvloeden.

2.3 VERSCHILLEN TUSSEN EFFLUENT EN OPPERVLAKTEWATER

RWZI-effluent is geen oppervlaktewater. Oppervlaktewater wordt door meer gekarakteriseerd dan door alleen parameters als stikstof, fosfor, zwevend stof, BZV, CZV en zware metalen. In natuurlijk oppervlaktewater bevinden zich tal van organismen. De chemische kwaliteit van het water beïnvloedt de soortsamenstelling en vice versa. Oppervlaktewater kenmerkt zich door een (complex) ecosysteem met primaire producenten, planteneters, carnivoren en detritivoren. Deze hele keten van organismen en de daarbij behorende koolstof-, zuurstof- en nutriëntenkringlopen ontbreken in RWZI-effluent. Concentraties van stoffen in RWZI-effluent zijn vaak (aanzienlijk) hoger dan die in oppervlaktewater en de enige organismen die voorkomen zijn lagere organismen zoals bacteriën en protozoën (o.a. ciliaten) afkomstig uit de RWZI of van humane oorsprong. Daarnaast kan RWZI-effluent toxisch zijn voor aquatische organismen |79|: algengroei wordt in veel gevallen geremd. Hierdoor kan de opbouw van een bij het oppervlaktewater behorend ecosysteem worden belemmerd. Kenmerkend hierbij is dat een energetisch evenwicht prevaleert boven een biologisch evenwicht |21|. In de winter kan het effluent warmer zijn dan het oppervlaktewater.

2.4 STRATEGIE BIJ HET OPPERVLAKTEWATERBEHEER

In het Nederlandse waterkwaliteitsbeheer lopen twee sporen: het emissiespoor en het waterkwaliteitsspoor. Het hierop gebaseerde waterkwaliteitsbeleid is vastgelegd in de NW4. Het emissiespoor richt zich op het terugbrengen van belasting met verontreinigende stoffen van het oppervlaktewater. Deze aanpak is brongericht, waarbij de focus ligt op het implementeren van zuiveringstechnieken.

Bij het waterkwaliteitsspoor staat het aquatische ecosysteem centraal. Het beheer van wateren moet erop gericht zijn om een zo optimaal mogelijk aquatisch ecosysteem te realiseren en in stand te houden. Dit betekent dat ernaar gestreefd wordt het ecosysteem zoveel mogelijk te laten lijken op het ecosysteem in een ongestoorde, niet door menselijke belasting beïnvloede situatie.

In de praktijk blijkt, dat deze twee sporen niet goed op elkaar aansluiten. Om aan de eisen van het waterkwaliteitsspoor te voldoen dienen zeer hoge eisen aan het effluent te worden gesteld. Hoe hoger het daartoe vereiste zuiveringsrendement, des te hoger de exponentieel stijgende kosten voor daarvoor in te zetten technieken. Zuivering van afvalwater op een RWZI tot op of onder MTR-niveau is daarom in de praktijk niet of alleen tegen zeer hoge kosten haalbaar. En zelfs dan heeft dit effluent nog niet dezelfde natuurlijke ecologische kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.

Tenslotte zijn ook hoge kosten gemoeid met de behandeling van de circa 150.000 ongezuiverde, verspreide lozingen van huishoudelijk afvalwater in het buitengebied. Ook bij individuele behandeling van dit afvalwater in IBA-systemen, maar vooral bij geclusterde behandeling in collectieve CBA-systemen kan toepassing van op het Waterharmonica-concept geënte systemen zinvol zijn. Het idee is dan een eenvoudige voorzuivering te laten volgen door een moerasachtig systeem, dat dan onderdeel is van de zuiveringsinstallatie. Deze installatie is goedkoper en minder storingsgevoelig dan een complexere, verdergaande zuiverende kleinschalige IBA-systemen. Sinds enige jaren zijn er verticaal doorstroomde helofytenfilters (voorafgegaan door een septic tank) die gecertificeerd zijn als IBA IIIa (vergaande N-verwijdering) en IBA IIIb (vergaande N- en P-verwijdering) systemen. Vergeleken met compacte IBA-systemen leveren deze helofytensystemen even goede en soms betere zuiveringsprestaties en worden daarom steeds meer toegepast |97||98|.

2.5 NEDERLANDSE EN EUROPESE WETGEVING

De wetgeving kent geen tussenstap tussen de RWZI en het (ontvangende) oppervlaktewater. De vraag of water in een Waterharmonica systeem juridisch gezien afvalwater of oppervlaktewater is, is niet vastgelegd in de Nederlandse wetgeving. De essentie van deze vraag is: blijven de huidige lozingspunten van effluent van RWZI's in verband met de lozingseisen in de lozingsvergunning bij toepassing van een Waterharmonica systeem onveranderd?

Dit heeft tot een rechtszaak geleid tussen Rijkswaterstaat en Waterschap De Maaskant. Waterschap De Maaskant loosde effluent van RWZI Land van Cuijk via een lange afvoersloot op de Maas. Om aan de lozingseisen te voldoen moest hiervoor een Wvo-vergunning aanvragen bij c.q. heffing afdragen aan Rijkswaterstaat. Na de aanleg van een zuiveringsmoeras en het een andere richting opleiden van een deel van het effluent stelde het waterschap dat niet langer effluent, maar oppervlaktewater werd geloosd, dat er dus geen heffing meer hoefde te worden betaald en dat het waterschap zichzelf een Wvo-vergunning moest verlenen. Rijkswaterstaat bestreed dit. De Raad van State heeft op 20 november 2002 in zaaknummer 200105188/1 (www.raadvanstate.nl/verdicts/verdict_details.asp?verdict_id=2299) uitgesproken dat het moerassysteem van Land van Cuijk niet tot de zuiveringstechnische werken, maar tot oppervlaktewater gerekend moet worden en stelde het waterschap in het gelijk. Ten aanzien van de heffing is Rijkswaterstaat in cassatie gegaan. Het wachten is nog op een uitspraak, die naar verwachting in de loop van 2005 zal worden gepubliceerd.

Het is duidelijk dat de wetgeving aanpassing behoeft om ecotechnologische Waterharmonica systemen juridisch in het waterkwaliteitsbeleid in te bedden. De uitspraak zou immers kunnen betekenen dat de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) ook van toepassing is op Waterharmonica systemen. De KRW-eis van ecologisch gezond oppervlaktewater zou dan ook gelden voor de Waterharmonica als oppervlaktewatersysteem. Paradoxaal heeft dit systeem in ontwerp, aanleg en beheer echter een zuiveringstechnische functie, waardoor het inherent bereiken van dit "goede ecologisch potentieel" voor een Waterharmonica systeem onmogelijk is. In § 3.3.2 wordt uitgebreid aandacht besteed aan de rol die Waterharmonica systemen kunnen spelen voor het bereiken van de KRW-doelstellingen.

3

DE WATERHARMONICA ALS SCHAKEL TUSSEN RWZI EN OPPERVLAKTEWATER

In dit hoofdstuk wordt een uitgebreide beschrijving gegeven van het Waterharmonica concept. Na een algemene inleiding over ontstaansgeschiedenis van het concept (§ 3.1) wordt het Waterharmonica concept in detail uitgewerkt (§ 3.2), vervolgens in bredere context geplaatst (§ 3.3) en tenslotte als toe te passen praktisch instrument beschreven (§ 3.4).

3.1 INLEIDING TOT DE WATERHARMONICA

In het kader van een STOWA prijsvraag bij het 25-jarig jubileum 'Waterbeheer in de toekomst' in 1996 is gevraagd naar nieuwe visies voor het water- en zuiveringsbeheer. Theo Claassen van Wetterskip Fryslân schetste een voorstel voor een derde spoor in het waterkwaliteitsbeheer. Naast het emissie- en waterkwaliteitsspoor introduceerde hij het 'rest-reinigingsspoor' |2|. Dit spoor zou geld besparen bij verdere optimalisatie en vervolmaking van vooral het emissiespoor en in mindere mate van het waterkwaliteitsspoor. Van geval tot geval is efficiënt en effectief maatwerk mogelijk om met gecombineerde kennis van technologie en ecologie de restlozingen te reduceren en/of te elimineren. Hiervoor wordt fysieke ruimte benut, waar noch de (strenge) emissie-eisen, noch de (strenge) waterkwaliteitsnormen gelden en waar ruimte wordt geboden aan ecotechnologische inzet en oplossingen voor de sanering van restlozingen voSordat die het verdere oppervlaktewater bereiken. Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) heeft het idee tijdens een NVA-bijeenkomst in 1997 |17| praktisch vormgegeven en noemde het concept de Waterharmonica, een flexibele, natuurlijke schakel tussen Waterketen en Watersysteem.

> *De definitie van de Waterharmonica als systeem wordt daarmee:*
> *Een oppervlaktewater, zodanig ingericht en beheerd dat de zelfreinigende en ecologie-verbeterende processen die ook bij lozing van afvalwater of effluent in natuurlijk oppervlaktewater plaatsvinden nu gecontroleerd op een kleiner oppervlak en met grotere efficiëntie plaatsvinden.*

Het onderzoek aan het moerassysteem Everstekoog op Texel is van groot belang geweest voor de acceptatie van moerassystemen voor nabehandeling van effluent in Nederland |18|. Het idee van een natuurlijker ingericht moerassysteem gericht op het versterken van natuurwaarden was al eerder in 1991 in gang gezet |101|. Recente ontwikkelingen tonen aan dat het concept van de Waterharmonica, niet alleen in Nederland, maar ook daarbuiten aan relevantie wint en ook uitstekend past binnen de doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water, waarbij uitgegaan wordt van een goede ecologische toestand van oppervlaktewater. Hiervoor wordt van de waterkwaliteitsbeheerder op dit punt een extra inspanning gevraagd. De Waterharmonica biedt hiervoor een instrument.
Zowel in binnen- als buitenland is veel kennis verzameld en ervaring opgedaan met zuiveringsmoerassen in verschillende uitvoeringsvormen en afmetingen (|16|). Deze kennis en

ervaring zijn echter niet voor iedereen even toegankelijk, waardoor de kans bestaat dat het wiel telkens opnieuw wordt uitgevonden. Om deze reden is het project Waterharmonica van STOWA gestart. Binnen dit project worden bestaande systemen om RWZI-effluent na te zuiveren in kaart gebracht en toegankelijk gemaakt. De resultaten zijn niet alleen in dit rapport te vinden, maar ook op www.waterharmonica.nl. Naast alle publicaties, presentaties en congrespapers die in de afgelopen jaren over de Waterharmonica zijn verschenen, wordt op deze website veel achtergrondinformatie over het Waterharmonica concept gegeven.

Naast de mogelijkheden die ecotechnologie biedt om van RWZI-effluent 'gezond' oppervlaktewater te maken, wordt in dit rapport ook aandacht besteed aan aspecten als hergebruik van aldus nabehandeld effluent en nutriënten, en aan combinatie met andere ruimtegebruiksfuncties. Hergebruiksmogelijkheden van gezuiverd afvalwater zijn in het verleden onder meer beschreven in het STOWA rapport "Hergebruik van gezuiverd afvalwater voor verdrogingsbestrijding" uit 1996 |96|.

3.2 UITWERKING VAN HET WATERHARMONICA CONCEPT

3.2.1 NUT EN NOODZAAK VAN DE WATERHARMONICA

Figuur 3.1 laat de mogelijke invloed zien van een lozing van RWZI-effluent op fysisch-chemische parameters, micro-organismen en hogere organismen in een rivier |93|. Het is duidelijk dat een lozing die een substantieel deel uitmaakt van het totale debiet een grote invloed kan hebben op het ecosysteem. Zoals aangegeven in figuur 3.2 kan de soortsamenstelling in een oppervlaktewater na een lozing sterk veranderen.

Als gevolg van een effluentlozing neemt stroomafwaarts van het lozingspunt de concentratie van zuurstofbindende stoffen in het ontvangende oppervlaktewater toe, waardoor de zuurstofconcentratie afneemt. Door verdunning en afbraak neemt de concentratie van zuurstofbindende stoffen verder stroomafwaarts weer af en de zuurstofconcentratie toe. Bij de afbraak van zuurstofbindende stoffen komen nutriënten vrij. In de levensgemeenschap zien we direct na een lozing een afname van zuurstofafhankelijke organismen. Tevens zien we een toename van micro-organismen die organische stoffen afbreken. Uiteindelijk keert het ecosysteem weer terug naar zijn oorspronkelijke vorm, ervan uitgaande dat de impact van de lozing niet te groot en/of te langdurig is.

Ook soortgroepen die niet in de figuren zijn afgebeeld ondervinden invloed van een lozing. Waterplanten kunnen net na een lozing verdwijnen, omdat de hoeveelheid licht die zij ontvangen afneemt. Een kleinere lichtinval is ook nadelig voor op de bodem of op waterplanten groeiend perifyton. Door de lozing kan de hoeveelheid zwevend materiaal in de waterkolom toenemen, waardoor minder licht de waterbodem bereikt. Vissen kunnen gehinderd worden door lage zuurstofconcentraties.

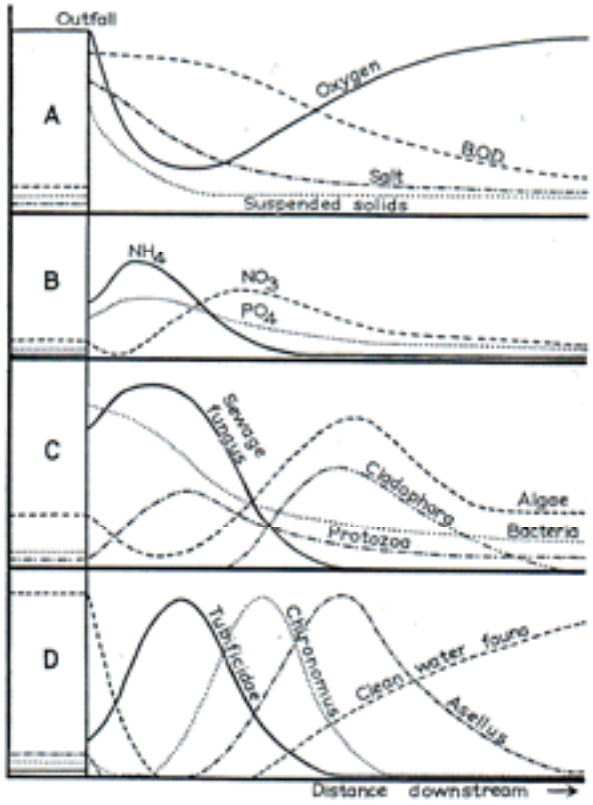
De Waterharmonica vormt de ontbrekende schakel tussen effluent en oppervlaktewater en daarmee tussen het emissiespoor en het waterkwaliteitsspoor. De kern van het idee van de Waterharmonica is, dat we een deel van het bestaande of een nieuw aan te leggen watersysteem afzonderen van het oppervlaktewatersysteem en de effecten van de lozing van RWZI-effluent hier verminderen. De processen die dan voorheen na een lozing in het oppervlaktewater plaatsvonden, kunnen nu in een Waterharmonica systeem geïsoleerd, gecontroleerd en met grotere oppervlakte-efficiëntie plaatsvinden. Het Waterharmonica systeem vangt daar-

mee bij een effluentlozing een groot deel van de potentiële verstoring van het ecosysteem van het ontvangende oppervlaktewater op. Hierdoor wordt het oppervlaktewater minder belast, waardoor de kwaliteitseisen aan het RWZI-effluent zelf minder streng kunnen worden vergeleken met de situatie waarin dat effluent rechtstreeks op oppervlaktewater wordt geloosd. Figuur 3.3 geeft dit schematisch weer.

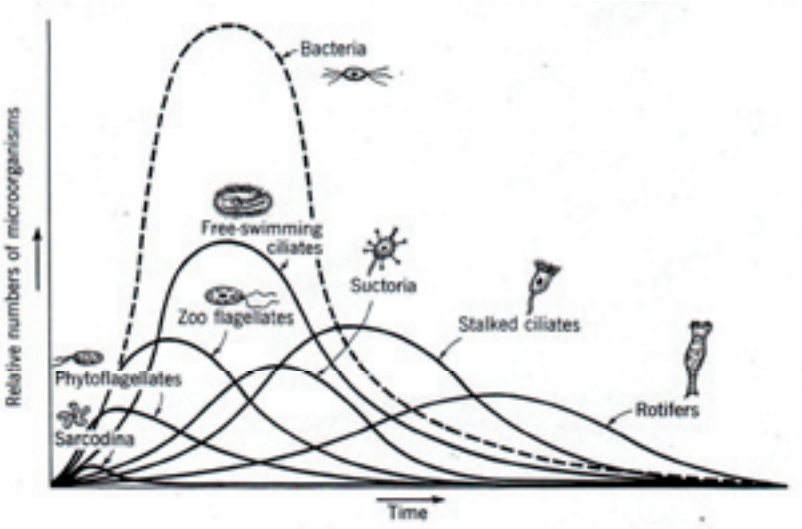
Het mes snijdt dus aan twee kanten: indien wettelijk mogelijk, minder stringente eisen aan RWZI-effluent (en daardoor lagere zuiveringskosten) en een verbetering van de aquatische ecologie en waterkwaliteit in het ontvangende oppervlaktewater.

De ecologische verschillen tussen effluent en oppervlaktewater worden niet of slechts ten dele overbrugd door nieuwe of conventionele, technische maatregelen zoals membraanfiltratie of desinfectie met chloor of UV-straling. Bovendien zijn deze nazuiveringstechnieken niet duurzaam uit het oogpunt van kosten, brandstofverbruik, chemicaliënverbruik en ecologie. Ecotechnologische systemen volgens het Waterharmonica-concept kunnen zorgen voor het ecologisch 'gezonder' maken van RWZI-effluent op een natuurlijke, relatief goedkope en duurzame manier. De natuur wordt daarmee doelmatig ingezet: in een Waterharmonica systeem zelf wordt een ecosysteem opgebouwd, waarmee een meer natuurlijke waterkwaliteit wordt verkregen. Met deze ecologische systemen zullen tevens andere intrinsieke doelen worden bereikt zoals natuurontwikkeling en biomassaproductie (zie hoofdstuk 5). Tevens hebben Waterharmonica systemen meer buffercapaciteit (opvangen en dempen van pieken in belasting en debieten) en reguleren de watertemperatuur.

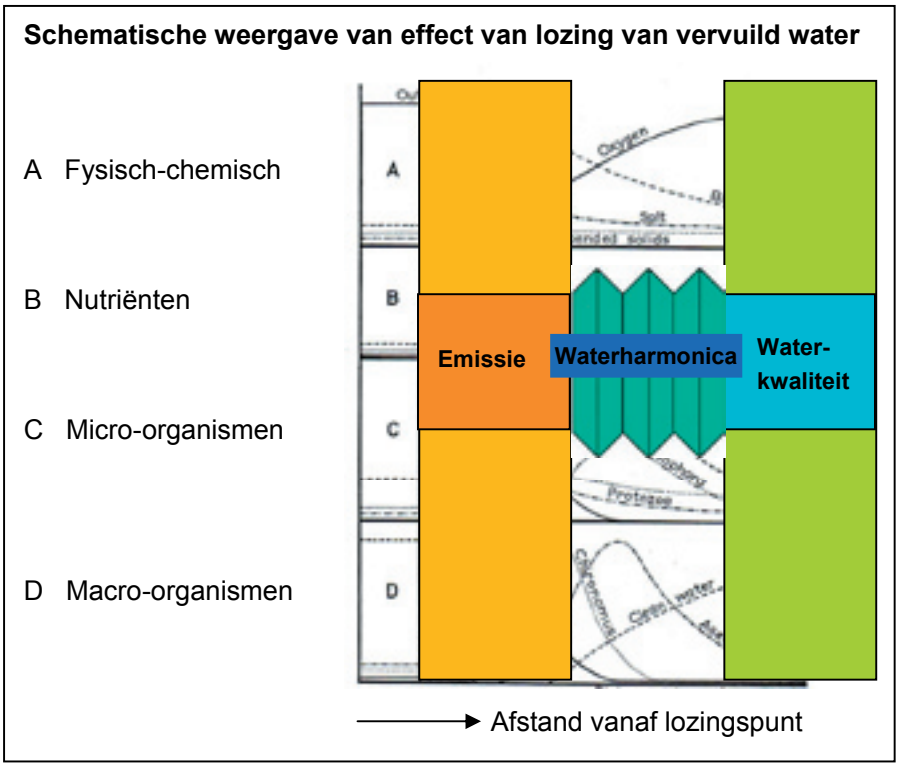
FIGUUR 3.1 **EFFECT VAN LOZING VAN VERVUILD WATER OP EEN RIVIER (BRON: HYNES |93|)**



FIGUUR 3.2 EFFECT VAN RWZI-EFFLUENT OP DE SOORTSAMENSTELLING IN EEN RIVIER (BRON: MCKINNEY |94|)



FIGUUR 3.3 DE PLAATS VAN DE WATERHARMONICA TUSSEN EFFLUENT EN OPPERVLAKTEWATER (BRON, KAMPF |12|)



Waterharmonica systemen kunnen behalve voor de behandeling van RWZI-effluent ook ingezet worden bij riooloverstorten, ongezuiverde lozingen of voor de (na)behandeling van industrieel afvalwater.

3.2.2 FUNCTIES VAN DE WATERHARMONICA

De Waterharmonica kan meerdere functies vervullen. Tabel 3.1 geeft hiervan een overzicht. De basisfuncties zijn hierin cursief aangegeven.

TABEL 3.1 **FUNCTIES VAN DE WATERHARMONICA**

Productiefuncties	**Regulatiefuncties**	**Informatiefuncties**
Hergebruik van stoffen	Zuivering	Genenreservoir
Natuurontwikkeling	Buffering (waterberging)	Educatie
Productie van energiegewassen	Stabilisatie	Onderzoek
Houtproductie	Bescherming	Beleving
Voedselproductie		
Waterwinning		
Landschap		

Productiefuncties zijn functies die materialen/grondstoffen opleveren of hergebruiken. Regulatiefuncties zijn functies die processen regelen/sturen. Informatiefuncties leveren kennis in de breedste zin van het woord.

De Waterharmonica kan op veel vlakken bijdragen aan de diverse functies. De nadruk ligt hierbij op de regulatiefuncties (zuivering van water, buffering, ecologische stabilisatie en bescherming van levensgemeenschappen). Daarnaast kunnen productiefuncties en informatiefuncties belangrijk zijn. Waterharmonica systemen kunnen zodanig worden ingericht dat zij nuttige producten opleveren, zoals riet, hout of voedsel. Effluent wordt dan niet gezien als een bron van vervuiling, maar als een bron van nutriënten waarmee nuttige dingen gedaan kunnen worden. Deze producten kunnen eventueel worden ingezet voor de winning van energie door bijvoorbeeld co-vergisting met mest of mee- of bijstoken in elektriciteitscentrales. Evenzo kan het water nuttig worden ingezet, bijvoorbeeld als proces- of koelwater in de industrie of zelfs als grondstof voor de drinkwaterbereiding.

In een Nederlands landschap zijn Waterharmonica-systemen meestal zichtbaar in de vorm van een dijkje met daarachter enkele vijvers en rietsloten. Een moerasbos of wilgenkweeksysteem is gewoonlijk een laag bos of houtwal in het landschap. De houtwallen die rondom veel RWZI's staan ter landschappelijke inpassing en stankreductie zijn multifunctioneel te maken door ombouw tot moerasbos met een Waterharmonica-functie.

3.2.3 KENMERKEN VAN DE WATERHARMONICA

BELEIDSMATIGE INPASSING

De Waterharmonica is een concept dat op vele manieren ingevuld kan worden. Waterharmonica systemen kunnen en moeten zodanig worden ontworpen dat optimaal wordt aangesloten bij de lokale situatie en problematiek. Hierdoor ontstaat ruimte voor mogelijkheden en krijgen toegesneden ideeën een kans. Op termijn kan het Waterharmonica-concept dan een volwaardig onderdeel zijn in het toekomstige waterkwaliteitsbeleid.

DOELSTELLING

Waterharmonica systemen dienen nooit voor het 'gezonder' maken van RWZI-effluent alleen. Zij zijn van nature multifunctioneel en verweving van functies is mogelijk. Denk bijvoorbeeld aan de combinatie van een zuiveringsmoeras met natuurontwikkeling, waterberging, recreatief medegebruik, educatie en biomassaproductie. Dit maakt de systemen extra aantrekkelijk, niet in de laatste plaats omdat de schaarse ruimte meervoudig wordt gebruikt.

Anders geformuleerd: wordt een zuiveringsmoeras alleen ingezet om extra nutriënten uit RWZI-effluent te verwijderen, dan is dit een beperkt effectief systeem. Daarmee is enkel nutrientenverwijdering zelden (voldoende) reden is om een Waterharmonica-achtig systeem aan te leggen. Minstens zo belangrijke redenen kunnen bijvoorbeeld afdoding van pathogenen en inbrengen van zuurstofritmiek zijn. En combinatie met bewust hergebruik of specifieke aanwending van het effluent is vrijwel altijd in beeld.

MILIEUBELASTING

Waterharmonica systemen zijn gecontroleerde systemen, waar stoffen worden omgezet, vastgelegd of verwijderd. Dit vermindert de emissie van stoffen naar het oppervlaktewater. Hergebruik van stoffen, zoals nutriënten is mogelijk. Zo kunnen (water)planten geteeld in een Waterharmonica systeem worden gebruikt als groenbemester. In een Waterharmonica systeem kan ook concentratie van stoffen optreden, zoals accumulatie van zware metalen. Is deze accumulatie te sterk, dan is gebruik als groenbemester juist niet mogelijk. Bij een eenmalig onderzoek naar de samenstelling van te maaien riet en van biezen bij Moerasbos Hapert bleek dit maaisel qua zware metalen verwerkbaar tot schone compost, die in de landbouw mag worden toegepast |95|.

Daarnaast zal in die systemen de in effluent ontbrekende zuurstofritmiek ontstaan, zullen bacteriologische en microbiologische eigenschappen verbeteren en daardoor een natuurlijker ecosysteem ontstaan.

TOENAME BIODIVERSITEIT

Uit praktijkervaringen met moerassystemen in Nederland blijkt de verbetering in de waterkwaliteit niet alleen uit de intrede van een zuurstofritmiek, die gaat lijken op die van ‘gezond’, productief oppervlaktewater |64|, maar ook uit een aanzienlijke toename van de biodiversiteit. Terwijl effluent van een RWZI zich kenmerkt door de aanwezigheid van restanten van actief slibvlokken komen er in vijvers gevoed met effluent veel watervlooien voor. Deze watervlooien (voornamelijk Daphnia magna, maar ook wel Daphnia pulex) zorgen ervoor dat deze vijvers onder de juiste omstandigheden helder blijven |17||25||67|. Benedenstrooms in moerassystemen neemt het aantal soorten watervlooien toe, terwijl ook de verscheidenheid aan fytoplankton en zoöplankton toeneemt. Deze voedselrijkdom trekt vis, zoals stekelbaars, aan en vervolgens predatoren zoals de lepelaar |19|.

TECHNIEK

Waterharmonica systemen zijn technologisch eenvoudig en ecologisch doordacht. Er wordt zo min mogelijk gebruik gemaakt van technologische hulpmiddelen, maar zoveel mogelijk van natuurlijke processen. Dit betekent een geringe storings- en onderhoudsgevoeligheid van deze systemen, maar ook een beperkte stuurbaarheid en mogelijk een minder constante werking. Natuurlijke processen zijn temperatuurafhankelijk. Dit betekent dat veel processen in de winter minder snel verlopen dan in de zomer. De hydraulische verblijftijd bepaalt dan of nog een voldoende resultaat wordt bereikt.

HAALBAARHEID

Doordat Waterharmonica systemen geen technisch hoogwaardige systemen zijn en minder storings- en onderhoudsgevoelig, zijn zij vaak ook goedkoper (o.a. afhankelijk van de kosten voor eventuele grondaankoop). Zeker bij multifunctioneel gebruik betekent dit een grotere economische haalbaarheid. De mogelijkheid om locatiespecifieke systemen te ontwerpen

betekent dat Waterharmonica systemen zowel in economische als in maatschappelijke zin eerder haalbaar en realiseerbaar zijn dan geavanceerde technische systemen.

DUURZAAMHEID

Waterharmonica systemen zijn per definitie duurzaam. Er is geen of weinig fossiele energie nodig, er wordt gebruik gemaakt van natuurlijke processen, er zijn weinig grondstoffen voor de aanleg nodig en de ruimte is ook voor andere doeleinden te gebruiken. Ook na gebruik van een systeem kan aan de locatie eenvoudig een andere bestemming worden gegeven. Mogelijk dient dan nog wel een bodemsanering plaats te hebben door afvoer van verontreinigde grond, wanneer zich daar verontreinigingen hebben opgehoopt. Er hoeven immers geen grootschalige bouw- of kunstwerken te worden gesloopt. Hergebruik van stoffen is mogelijk, doordat bijvoorbeeld nutriënten uit het effluent worden benut.

NADELEN EN BEPERKINGEN

Toepassing van Waterharmonica systemen kent ook nadelen en beperkingen.

1 Voor het ontwerp en inrichting van de systemen zijn (nog) geen eenduidige, betrouwbare rekenregels beschikbaar, omdat een optimaal ontwerp sterk afhankelijk is van locatiespecifieke omstandigheden en de biologische en fysisch-chemische processen in een Waterharmonica systeem zeer complex zijn. Het ontwerpen van een Waterharmonica systeem is derhalve maatwerk (zie ook conclusies over bestaande systemen in § 4.5).
2 De zuiveringsprestaties van natuurlijke Waterharmonica systemen zijn beperkt en zijn voor een aantal stoffen seizoens- en temperatuurafhankelijk. Zo neemt de nitrificatiesnelheid door de lagere zuurstofgehaltes in de winter af, waardoor de stikstofverwijdering sterk terugloopt.
3 Bij regenwateraanvoer (RWA) nemen de zuiveringsprestaties van moerassysteem af. Dit komt onder meer door de kortere hydraulische verblijftijd bij RWA en toename van uitgespoelde fijne slibdeeltjes in het RWZI-effluent.
4 Door hun natuurlijke inrichting zijn Waterharmonica systemen beperkt stuurbaar en controleerbaar. Verder zijn de zuiveringsprocessen in deze systemen zelf moeilijk te beheersen.
5 Vergeleken met geavanceerde technische zuiveringssystemen hebben Waterharmonica systemen relatief veel ruimte / grondoppervlak nodig. Het daarbij af te leggen planologische traject is soms lang en moeizaam.
6 RWZI-effluent behandeld in een Waterharmonica systeem is niet geschikt om gebruikt te worden als zwemwater of als alternatief voor drinkwater, voor het wassen van kleding en toiletspoeling. Dit is echter ook niet het doel van de Waterharmonica.
7 Een nadeel is tenslotte dat er ondanks een grote hoeveelheid literatuur over constructed wetlands nog veel praktijkonderzoek voor systemen gevoed met RWZI-effluent nodig is om de huidige leemten in kennis ten aanzien van ontwerp en bedrijfsvoering van Waterharmonica systemen op te vullen.

STATUS, BEELDVORMING EN ACCEPTATIE

De meningsvorming over moerassystemen voor nabehandeling van effluenten van RWZI's in Nederland is sterk beïnvloed door de resultaten van het onderzoek op praktijkschaal bij RWZI Elburg in 1990 |66|. De resultaten van dit in het Drontermeer aangelegde moeras vielen tegen door technische problemen, kortsluitstromen en doordat de nutriëntengehalten (en met name het ammoniumgehalte) in het effluent erg hoog waren: de N- en P-gehalten bedroegen respectievelijk 44 mg/l en 1,9 mg/l (zie ook bijlage II.1).

Van negatieve invloed op de beeldvorming waren ook de tegenvallende prestaties van helofytenfilters die waren aangelegd om de kwaliteit van oppervlaktewater, gebruikt als voedingswater voor natuurgebieden, te verbeteren zoals bij het Nannewijd en De Deelen. Verder speelt een rol dat de meeste moerassystemen in eerste instantie werden aangelegd voor stikstof- en fosforverwijdering, terwijl het onderzoek op praktijkschaal op Everstekoog op Texel duidelijk maakte dat het "maken van bruikbaar oppervlaktewater" met een gezonde zuurstofritmiek en dierlijk leven interessanter is dan alleen letten op de chemische kwaliteit van het water.

De hierdoor ontstane kritische beeldvorming rondom helofytenfilters stond acceptatie van het principe van de Waterharmonica in de weg. In dit onderzoek dat voortbouwt op het STOWA-handboek "zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water" |16| is kritisch gekeken naar de verschillende voor- en nadelen van moerassystemen en helofytenfilters. Voor acceptatie van het Waterharmonica concept hoort een goed (eco)technologisch inzicht in het functioneren van deze systemen. Het ontwikkelingswerk dat hier voor nodig is kan worden vergeleken met de inspanningen die nodig waren voor het uitontwikkelen van actief-slibsystemen. In dat verband heeft ook de acceptatie van biologische fosfaatverwijdering als bewezen techniek lang geduurd.

LEEMTEN IN KENNIS

De volgende leemten in fundamentele en praktijkkennis zijn van toepassing op Waterharmonica systemen:

- er zijn weinig meetresultaten beschikbaar van influent- en effluentconcentraties die goed zijn afgestemd op de hydraulische verblijftijd.
- er is een gebrek aan betrouwbare informatie over waterstroming en hydraulische verblijftijden omdat er nauwelijks metingen van de verblijftijdsspreiding zijn en worden verricht. Alleen in de zomer van 2004 zijn metingen verricht aan de moerassystemen van Waterpark De Groote Beerze |111| waaruit bleek dat de verblijftijden in de helofytenfilters van het Waterpark te kort zijn om in die periode een goed zuiveringsrendement te bereiken. Daarnaast wordt het te zuiveren RWZI-effluent in het zuidelijke lisdoddefilter door een verschil in ontwerp niet goed verdeeld over de twee secties van het filter. De hydraulische verblijftijd in één van de secties wordt daardoor nog korter. Ook bevatten vooral de zuidelijke secties dode ruimtes, waardoor het effectieve natte volume ervan kleiner wordt. Het water in de twee secties van het noordelijke helofytenfilter daarentegen wordt beter verdeeld en geven verblijftijden die de theoretische benaderen.
- er is slechts gebrekkige informatie beschikbaar over temperatuur, neerslag en verdamping ter plaatse van het systeem.
- in de praktijk is nog weinig onderzoek verricht naar de ecotoxicologische effecten van RWZI-effluenten op de kwaliteit van het ontvangende oppervlaktewater.
- er ontbreken eenduidige, betrouwbare ontwerpregels voor deze systemen. Een beter inzicht hierin is van groot belang voor het maatwerk dat planning, ontwerp, aanleg, exploitatie en beheer van Waterharmonica systemen met zich meebrengt.
- onduidelijk is tenslotte welke lozingseisen er in KRW-verband aan RWZI's (met name voor prioritaire stoffen), gesteld gaan worden en welk consequenties die zullen hebben op ontwerp, inrichting en bedrijfsvoering van Waterharmonica systemen.

3.2.4 VORMEN VAN DE WATERHARMONICA

De toepassing van de Waterharmonica tussen de RWZI en het oppervlaktewater kan op diverse manieren vorm krijgen. De vorm die uiteindelijk wordt gekozen is afhankelijk van de gewenste kwaliteit van het water, de lokale situatie, de beschikbare ruimte, het beschikbare

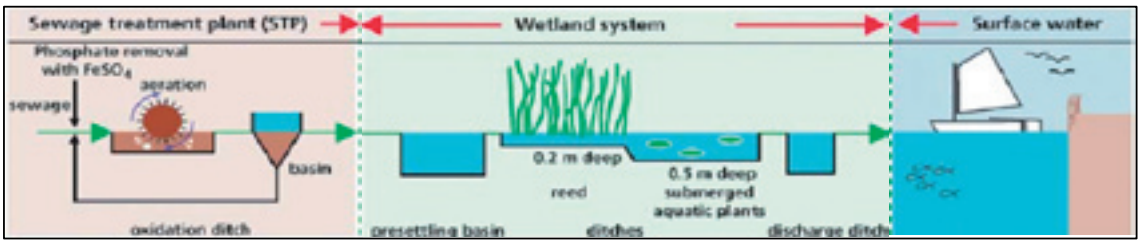
budget en de gewenste multifunctionaliteit. Voorbeelden van mogelijke vormen zijn:

- moerassystemen;
- vloeivelden;
- wortelzonesystemen en infiltratievelden;
- lokale overdimensionering van watergangen;
- bufferzones en randstroken;
- verbindingszones;
- plas(-dras)bermen;
- natuur- en milieuvriendelijke oevers;
- kweekvijvers (watervlooien, mosselen);
- cascades, flowforms en overlopen.

Omdat de vorm niet op voorhand vaststaat, kan bij het ontwerp van een Waterharmonica-systeem optimaal worden aangesloten bij de lokale mogelijkheden en het gewenste effect dat het systeem moet hebben op het effluent. Dit laatste aspect hangt samen met het doel dat men met het water of stoffen in het effluent heeft en van de ecologische doelstellingen die men heeft met het ontvangende oppervlaktewater.

In figuur 3.4 is een illustratie gegeven van het Waterharmonica-concept zoals is toegepast op RWZI Everstekoog. Het effluent van deze RWZI met chemische fosfaatverwijdering wordt door een moerassysteem geleid voordat lozing ervan op oppervlaktewater plaats vindt. De Waterharmonica wordt hier dan gevormd door een voorbezinkbassin, een vloeiveld met riet en waterplanten en een afvoersloot.

FIGUUR 3.4 DE PLAATS VAN DE WATERHARMONICA TUSSEN EFFLUENT EN OPPERVLAKTEWATER ZOALS TOEGEPAST OP RWZI EVERSTEKOOG (BRON, KAMPF ET AL, 2003 |20|)



3.3 DE WATERHARMONICA IN BREDERE CONTEXT

3.3.1 BELEIDSVERNIEUWING

In figuur 3.5 staat een overzicht van de beleidsaspecten met daaraan gekoppelde kenmerken bij de huidige praktijk en de benadering van de Waterharmonica. Deze aspecten worden hier nader toegelicht.

FIGUUR 3.5 BELEIDSKENMERKEN VAN DE WATERHARMONICA (BRON: CLAASSEN |106|)

WATERKETEN	WATERHARMONICA	WATERSYSTEEM
Brongericht Reductie emissies	**Beleidsvisie**	Effectgericht Watersysteemaanpak
Regulier beleid	**Effluenteisen**	Aanscherping mogelijk
Technologie	**Uitwerking**	Biologie
Regulier beleid Regionale differentiatie	**Normering oppervlaktewater**	Aanscherping mogelijk Uniformer/eenduidiger
Sterk stijgend	**Kosten**	Minder sterk stijgend
Langzaam toenemend	**Milieurendement**	Sterker toenemend
Stand still technologie Alibi voor aanscherping waterkwaliteitsbeleid	**Risico's**	Draagvlak/betrokkenheid Ruimtebeslag

De Waterharmonica is effectgericht en gaat uit van de watersysteemaanpak. De ecologische toestand van het ontvangende oppervlaktewater staat centraal, niet de kwaliteit van het effluent van de RWZI. Dit betekent dat niet primair gestuurd wordt op zo laag mogelijke concentraties in het uiteindelijk te lozen effluent (hoewel de concentraties van stoffen wel verlaagd kunnen worden), maar op de effecten van de lozing op het ontvangende oppervlaktewater. Als nageschakeld systeem is de Waterharmonica echter wel gebaat bij een voldoende en zo constant mogelijke kwaliteit en kwantiteit van het RWZI-effluent. De eisen aan het te lozen water op het oppervlaktewater kunnen binnen de Waterharmonica dan worden aangescherpt, vooral wat betreft de effecten op de aquatische ecologie van het ontvangende oppervlaktewater.

De uitwerking van de Waterharmonica behelst vooral die van biologische en ecologische principes, aanvullend op technologische principes bij het reguliere zuiveringsbeleid en -beheer. In Waterharmonica systemen wordt de natuur met haar natuurlijke processen maximaal ingezet om de waterkwaliteit te verbeteren en water en stoffen te hergebruiken.

Omdat effluent het ontvangende oppervlaktewater sterk kan belasten was en is er discussie over het differentiëren van normen. Een aparte normering voor effluent ontvangende oppervlaktewateren zou dan moeten worden geïmplementeerd in het beleid. Bij het toepassen van de Waterharmonica zou dit niet nodig zijn, omdat concentraties van belastende stoffen verder verlaagd worden en het ecosysteem minder wordt verstoord.

Geredeneerd vanuit het watersysteem kan met toepassing van Waterharmonica systemen anderzijds de normering voor stoffen in het oppervlaktewater verder worden aangescherpt. Door de daarmee bereikte verbetering van de waterkwaliteit kan het ontvangende watersysteem een hogere chemische en ecologische status krijgen.

Omdat Waterharmonica systemen relatief goedkoop te realiseren zijn, is dit economisch voordeliger dan verdere inzet van geavanceerde technische zuiveringssystemen. Een groot voordeel is ook dat het resultaat van investeringen in Waterharmonica systemen ook goed zichtbaar zijn. In elk geval beter dan veel investeringen in ondergrondse infrastructuur of in RWZI's, die veelal verborgen worden achter groensingels en rolhekken. Met een goede ruimtelijke inpassing kan het leiden tot natuurwaarden, recreatievoorzieningen en zelfs economische activiteiten, zoals het telen van (energie)gewassen op voedingsstoffen uit het afvalwater.

Het voorgaande neemt niet weg dat de mogelijkheden om de Waterharmonica te combineren met geavanceerde technische nazuiveringstechnieken (zoals dynamische zandfiltratie) verdere uitwerking verdienen. De aandacht richt zich daarbij met name op de (verdere) emissiereductie van prioritaire stoffen, aangezien de KRW-eisen voor deze stoffen juist uitgaan van het watersysteem (oppervlaktewater en grondwater) en niet van de waterketen (RWZI).

De kosten van verdere zuivering zijn binnen de huidige, technische oplossingsrichtingen sterk stijgend. De kosten stijgen exponentieel bij toenemende zuiveringsrendementen (zie figuur 2.2). Bij het inzetten van Waterharmonica systemen is dit veel minder het geval, omdat deze systemen goedkoper zijn. Het milieurendement neemt dan ook sneller toe dan bij technologische systemen. Met andere woorden: voor elke ingezette euro kan de waterkwaliteit meer verbeterd worden door toepassing van het Waterharmonica concept dan met verdergaande techische oplossingen. Daarbij leidt dit concept ten opzichte van technische oplossingen tot een duurzamere, natuurlijke waterkwaliteit.

Het reguliere beleid en ook de KRW gaan bij lozingen uit van het stand-still principe. Dit houdt in dat de kwaliteit van het oppervlaktewater bij nieuwe of veranderde lozingen niet mag verslechteren. Het risico van dit beleid is, dat dit een alibi kan verschaffen om de waterkwaliteit en aquatische ecologie niet verder te verbeteren, terwijl dit in veel situaties wel gewenst is.

3.3.2 ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN EN DE EUROPESE KADERRICHTLIJN WATER

Waterharmonica systemen zijn ecotechnologische systemen die goed kunnen passen binnen de doelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water |85|. In § 2.5 is kort ingegaan op het algemene beleid en de normering van de KRW met betrekking tot emissies en waterkwaliteit.

Het doel van de KRW is het beschermen van onder andere oppervlaktewater door:

a. de bescherming van aquatische ecosystemen en van aquatische ecosystemen afhankelijke terrestrische ecosystemen;
b. het bevorderen van duurzaam gebruik van water;
c. het beter beschermen en verbeteren van het aquatische milieu, onder andere door specifieke maatregelen voor de progressieve vermindering van lozingen, emissies en verliezen van prioritaire en prioritaire gevaarlijke stoffen;

d. het progressief verminderen van verontreinigingen van grondwater;
e. het afzwakken van de gevolgen van overstromingen (berging) en perioden van droogte (voorraadvorming).

Het belangrijkste aspect van de Kaderrichtlijn Water is het geven van een impuls aan de verbetering van de waterkwaliteit. Einddoel daarbij is het bereiken van een goede ecologische toestand (GET) en een goede chemische toestand van natuurlijke wateren. Sterk veranderde wateren dienen naast een goede chemische toestand een goed ecologisch potentieel (GEP) te krijgen. Bij de implementatie van de KRW kan het daarom nodig zijn om - aanvullend op de verbetering van de chemische kwaliteit in een RWZI - het effluent daarvan verder te behandelen in een systeem, waarmee aan het gewenste ecologische profiel van het ontvangende oppervlaktewater kan worden voldaan. In dat geval kan de Waterharmonica een belangrijke rol gaan spelen.

Hierna wordt aangegeven hoe Waterharmonica systemen als ecotechnologische, natuurlijke systemen binnen elk van deze KRW-doelstellingen passen.

Ad a. De bescherming van aquatische ecosystemen en van aquatische ecosystemen afhankelijke terrestrische ecosystemen.

Het beschermen van aquatische ecosystemen gaat verder dan het verbeteren van de fysisch-chemische kwaliteit van het water. Waterharmonica systemen maken het water ecologisch 'gezonder' door het verwijderen van "vreemde" organismen, het inbrengen van hogere organismen en een natuurlijk zuurstofregime. In ecotechnologische systemen kan een min of meer natuurlijk ecosysteem worden opgebouwd. Daarnaast kan door bijvoorbeeld een zuiveringsmoeras in te bedden in een stroom-gebied van een beek, de oorspronkelijke toestand van moerasachtige biotopen rondom een stromend water worden hersteld. Hierdoor neemt de natuurwaarde van het gehele stroomgebied toe.

Ad b. Het bevorderen van duurzaam gebruik van water.

Waterharmonica systemen zijn per definitie duurzaam. Zij gebruiken weinig of geen (fossiele) energie en grondstoffen. Effluent van RWZI's wordt hergebruikt voor andere doeleinden (aanvullen grondwater, gebruik als industriewater, irrigatiewater, etc.) of geschikt gemaakt voor lozing op oppervlaktewater. RWZI-effluent wordt niet langer beschouwd als afvalproduct, maar als grondstof voor andere toepassingen.

Ad c. Het beter beschermen en verbeteren van het aquatische milieu, onder andere door specifieke maatregelen voor de progressieve vermindering van lozingen, emissies en verliezen van prioritaire en prioritaire gevaarlijke stoffen.

Het aquatisch milieu wordt door het inzetten van ecotechnologische Waterharmonica systemen verbeterd door de verwijdering van bijvoorbeeld zware metalen en organische microverontreinigingen en vooral door het ecologisch 'gezond' maken van het water. Daarnaast zal de (eco)toxiciteit van RWZI-effluent afnemen.
De verdere vermindering van emissies kan gezocht worden in verdere technologische zuivering, bij voorkeur in combinatie met goedkope en duurzame ecotechnologische systemen.

Ad d. Het progressief verminderen van verontreinigingen van grondwater.

In infiltratiegebieden kunnen zuiveringsmoerassen worden ingezet voor het (na)zuiveren van water, waardoor de verontreiniging van het grondwater wordt teruggedrongen. Afvalwaterstromen die zonder nabehandeling niet geschikt zijn omdat zij niet voldoen aan

het infiltratiebesluit (zie bijlage I) kunnen met behulp van een ecotechnologisch systeem (wellicht) wel geschikt gemaakt worden. In plaats van het afvoeren van dat water kan het nuttig worden ingezet voor de verdrogingsbestrijding en/of drinkwaterwinning uit grondwater.

Ad e. Het afzwakken van de gevolgen van overstromingen en perioden van droogte.
Zuiveringsmoerassen kunnen worden gecombineerd met waterberging en voorraadvorming. Bij het ontwerp van bijvoorbeeld het moerassysteem bij RWZI Hapert (De Groote Beerze, bijlage II.4) is rekening gehouden met dit gegeven. Bij een grote aanvoer van regenwater wordt slechts een deel van het effluent uit het moerassysteem op de Beerze geloosd, de rest wordt in het systeem vastgehouden totdat de hoogwaterpiek voorbij is. In tijden van droogte wordt door de bufferende werking van een moerassysteem water juist langer vastgehouden.

3.4 DE WATERHARMONICA ALS PRAKTISCH INSTRUMENT

3.4.1 STREEFDOELEN VOOR DE PRAKTIJK

Om de negatieve effecten van lozing van RWZI-effluent zoveel mogelijk te verminderen dienen de volgende doelen maximaal te worden nagestreefd:

1 Maken van een bruikbaar oppervlaktewater uit het gezuiverde afvalwater.
2 Inbrengen van een natuurlijk zuurstofregime: hoge zuurstofconcentraties gedurende de dag en lage(re) zuurstofconcentraties gedurende de nacht.
3 Verminderen van lozing van zwevend stof, BZV en CZV afkomstig van de RWZI
4 Bij voorkeur nuttig hergebruik van nutriënten, anders verlagen van de nutriëntengehaltes.
5 Verlagen van de concentraties van zware metalen.
6 Verder reduceren van de in het afvalwater aanwezige bacteriën en virussen.
7 Vermindering van ecotoxicologische risico's.
8 Opbouwen van een ecosysteem en vergroting van de biodiversiteit.
9 Verbeteren van de zintuiglijke kwaliteit: helder effluent, geen schuim op het water bij het lozingspunt, verminderen geur, opheffen temperatuurverschillen tussen effluent en oppervlaktewater.
10 Duurzaam meervoudig ruimtegebruik: combinatie met andere functies.
11 Gericht hergebruik van water en stoffen.
12 Bergingsbuffer achter lozing RWZI-effluent voor opvangen van hydraulische piekbelastingen in extreme situaties.

Kwalitatief kunnen deze aspecten als volgt worden beschreven:
Ad 1. Maken van een bruikbaar oppervlaktewater
De laatste jaren is gebleken dat de belangrijkste doelstelling het nastreven van een effluentkwaliteit is die lijkt op een bruikbaar, natuurlijk oppervlaktewater. In wezen was afvalwater drinkwater, dat vooral wordt gebruikt voor het transporteren van afval. Na huishoudelijk gebruik wordt dit afvalwater in perioden met neerslag aangevuld met regenwater. Na een goede behandeling van dit afvalwater kan een waterkwaliteit ontstaan, die soms zelfs beter is dan de kwaliteit van het oppervlaktewater waarop geloosd wordt.

Ad 2. Inbrengen natuurlijk zuurstofregime
Onder gunstige omstandigheden is er in effluent van RWZI's nog een biologische zuurstofvraag voor BZV-verwijdering en nitrificatie aanwezig van 2-3 mg O_2/l |65|, bestaande uit een BZV van 1-2 mg O_2 per liter en een restant oxideerbare stikstof van enkele tienden mg O_2 per liter. In de praktijk is deze zuurstofvraag echter vaak aanzienlijk groter omdat de ruim-

te binnen de wettelijke lozingseis van 10 mg N per liter opgevuld wordt door effluent met enkele mg NH_4-N per liter te lozen. Bij 5 mg ammoniumstikstof per liter bedraagt de totale zuurstofvraag al circa 25 mg O_2 per liter, hetgeen aanzienlijk meer is dan het zuurstofgehalte in het effluent in de praktijk. Gemiddeld is het CZV in effluent 46 mg O_2/l (zie tabel 2.1). Dit heeft tot gevolg dat op de plaats van het lozingspunt meestal onnatuurlijke zuurstofcondities heersen, die aquatische levensgemeenschappen negatief beïnvloeden. De biologische zuurstofvraag kan ervoor zorgen dat 's nachts zulke lage zuurstofconcentraties optreden, dat macrofauna- en vissoorten niet meer kunnen overleven. Met name in langzaam stromende of stilstaande wateren treedt dit op. Ook een tijdelijk lage zuurstofconcentratie kan ervoor zorgen dat alleen soorten kunnen overleven die een lage zuurstofspanning in het water kunnen verdragen (zie ook figuren 3.1 en 3.2). Dit zijn vaak niet de soorten die van nature in het ontvangende oppervlaktewater voorkomen.

Ad 3. Verlaging van concentraties van zwevend stof, BZV en CZV

Biochemisch en chemisch zuurstofverbruik geven aan hoeveel organisch materiaal er in het water aanwezig is in zowel opgelost als onopgeloste vorm.

Als gevolg van adsorptie en (bio)chemische afbraak van organisch materiaal zal het BZV en mede door oxidatie van sulfides het CZV van het RWZI-effluent afnemen. In het ideale geval wordt in een Waterharmonica systeem de zuurstofvraag gereduceerd tot het niveau van het ontvangende oppervlaktewater. Bovendien kan een natuurlijk zuiveringssysteem onnatuurlijke, uit de RWZI afkomstige organische stoffen, zoals actief-slibdeeltjes, vervangen door natuurlijke, zoals afgestorven plantenmateriaal of algen. Dit kan ook bij storingen in de RWZI of bij andere calamiteiten belangrijk zijn.

Aan zwevend stof zit een aanzienlijk deel van de totale hoeveelheid stikstof, fosfor, zware metalen, PAK en andere toxische stoffen gebonden. Wegvangen van zwevend stof betekent dus een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit. Daarnaast veroorzaakt zwevend stof een beperkt doorzicht in het water. Door het wegvangen van zwevende deeltjes, dringt er meer licht door in het water, waardoor ondergedoken waterplanten zich kunnen ontwikkelen. Ondergedoken waterplanten onttrekken nutriënten aan het oppervlaktewater, waardoor algenbloei minder optreedt. Bovendien bieden waterplanten habitats aan diverse hogere organismen. Het is voor het ontvangende oppervlaktewater daarom beter dat het effluent van een RWZI zoveel mogelijk van zwevend materiaal (actief slibdeeltjes) wordt ontdaan.

Ad 4. Verlaging van de concentraties van nutriënten

Het hangt sterk van het ontvangende oppervlaktewater af of verdere verlaging van nutrientenconcentraties in het effluent van een RWZI gewenst is. In stromende wateren en van nature voedselrijke oppervlaktewateren hoeven de nutriëntconcentraties niet persé tot op het MTR-niveau te worden teruggebracht, tenzij de uitwerking van de Europese Kaderrichtlijn Water dit binnenkort vereist. De huidige MTR-waarden zijn afgeleid voor stagnante, eutrofiëringsgevoelige wateren. Wordt het effluent in een watersysteem geloosd dat voedselarm moet zijn, dan is verdere nutriëntreductie wel nodig. Wordt het effluent geloosd op een stromend water en heeft een benedenstrooms deel een natuurfunctie dan is het ook zaak om de nutrientconcentraties zoveel mogelijk naar beneden te brengen. Een Waterharmonica systeem kan daar een bijdrage aan leveren.

Ad 5. Verlagen van de concentraties van zware metalen

In veel gevallen liggen de concentraties van zware metalen in effluent van RWZI's boven het MTR. Verdere reductie is gewenst om toxische effecten op organismen in het ontvangende oppervlaktewater te voorkomen. Toxische effecten kunnen zich manifesteren door remming

van de groei of de voortplanting van soorten. Hierdoor kunnen effluenten van RWZI's het ecosysteem van het ontvangende oppervlaktewater verstoren. Daarnaast is voedselveiligheid bij menselijke consumptie in het geding bij bijvoorbeeld consumptie van vis. Door filtratie, adsorptie en absorptie kunnen Waterharmonica systemen de concentraties van zware metalen in het RWZI-effluent verder reduceren. Aangezien zware metalen voor een deel in onopgeloste vorm aan organisch materiaal geadsorbeerd zijn, zal ook afname hiervan leiden tot afname van het gehalte aan zware metalen (zie ook Ad 2.).

Ad 6. Reduceren van pathogenen (bacteriën, virussen, wormen)
Oppervlaktewater dat de bestemming recreatiewater (viswater, kanowater) of zwemwater heeft dient zoveel mogelijk vrij te zijn van pathogenen. Hoe schoner het water in dat opzicht is, hoe kleiner de risico's. De EU-zwemwaternorm vereist minder dan 20 thermotolerante E. coli per ml. E. coli wordt gebruikt als representant voor andere mogelijk aanwezige pathogenen, evenals fagen.
Pathogenen verdwijnen van nature uit oppervlaktewater omdat dit voor hen geen goede omgeving is om te overleven. Een Waterharmonica systeem zorgt er voor dat deze afdoding in een gecontroleerde omgeving gebeurt en niet in het ontvangende oppervlaktewater.
Soms wordt effluent van RWZI's nabehandeld met chloor voor de desinfectie. Hoewel effectief, is deze methode echter minder gewenst, omdat chloorresten met het effluent in het milieu terecht komen. Een andere methode voor desinfectie is behandeling met UV-straling. Deze techniek kost echter veel energie. Toepassing van een Waterharmonica systeem is een milieuvriendelijk en duurzaam alternatief, omdat hierin een aanzienlijke reductie van pathogenen met een log-factor 2-3 kan worden bereikt (zie § 4.2.2). Mogelijk kan door combineren van de Waterharmonica met bijvoorbeeld UV-behandeling een nog betere desinfectie worden bereikt.

Ad 7. Verminderen van ecotoxicologische risico's
In een praktijkstudie naar de toxische effecten van effluenten op de groei van algen, Daphnia en vissen blijkt, dat algengroei significant geremd wordt |79|. Aangezien algen een belangrijke primaire producent in het oppervlaktewater zijn, kan een aanzienlijke beïnvloeding van het ecosysteem niet worden uitgesloten. Het ontbreken van algen of remmen van algengroei bemoeilijkt het ontstaan van het voor het ontvangende water natuurlijke ecosysteem. In de praktijk is echter in het ontvangende oppervlaktewater nog weinig onderzoek naar toxische effecten van RWZI-effluenten gedaan. Mogelijk zou de toxiciteit verminderd of zelfs geneutraliseerd kunnen worden door een ecotechnologische schakel tussen RWZI en ontvangend oppervlaktewater.

Ad 8. Opbouwen van een ecosysteem
RWZI-effluent is vanuit het oogpunt van de ecologie van het ontvangende oppervlaktewater onnatuurlijk. In effluent ontbreken hogere organismen en de micro-organismen die er in voorkomen komen niet (in die mate) in het ontvangende oppervlaktewater voor. Effluent is dus arm aan soorten en de soorten die voorkomen zijn onnatuurlijk voor het ontvangende oppervlaktewater. RWZI-effluent wijkt hierdoor in sterke mate af van het ontvangende oppervlaktewater.

In een Waterharmonica systeem kan op gecontroleerde wijze een ecosysteem worden gekweekt dat in meer of mindere mate overeenkomt met die van het ontvangende oppervlaktewater. Met het verbeteren van de chemische eigenschappen van het water, nemen ook de levenskansen toe voor organismen die in het ontvangende oppervlaktewater voorkomen.

Vooral de zuurstofcondities zijn hierbij van belang |37|. Zoals bij punt 6 is aangestipt, wordt algengroei geremd in RWZI-effluent, maar watervlooien gedijen goed doordat zij kunnen leven op actief-slib vlokken en micro-organismen uit de RWZI |79|. Deze kunnen op hun beurt weer dienen als voedsel voor vissen en andere hogere organismen. Waterplanten kunnen als substraat dienen voor macrofauna. Met een Waterharmonica systeem worden deze natuurlijke processen versterkt, waardoor ook hogere organismen kunnen voorkomen. Grotere moerassystemen, met zowel ondiep, begroeid als diep, open water bieden mogelijkheden voor veel planten- en diersoorten |36| |38| |39|.

Ad 9. Verbeteren van de zintuiglijke (organoleptische) kwaliteit

Een lozing van effluent op oppervlaktewater valt op, meestal doordat het water schuimt, door de typische geur van effluent en omdat er actief-slibdeeltjes meekomen. Meer concreet: RWZI-effluent heeft een andere geur en kleur dan oppervlaktewater. Dit organoleptische karakter speelt vooral een rol bij de beleving van het water. RWZI-effluent kan ook in gunstige zin opvallen omdat het veel helderder kan zijn dan de meeste oppervlaktewateren in Nederland. Een waterstroom waarvan de kwaliteit wordt gedomineerd door RWZI-effluent is als zodanig herkenbaar en is daarmee voor een aantal doelen (zoals zichtwater) minder geschikt dan 'gezond' oppervlaktewater. Een moerassysteem kan de acceptatie vergroten. Ook voor bepaalde vissoorten blijkt dit te spelen: met name bepaalde witvis vindt effluent organoleptisch aantrekkelijk, tenzij er teveel ruw afvalwater of zuiveringsslib in het effluent zit (m.a.w. een RWZI slecht zuivert).
Verder krijgt effluent dat warmer is dan de omgeving door de lange verblijftijd tijdens passage van een moerassysteem de gelegenheid af te koelen. Bij industriële lozingen leidt dit tot minder dampvorming, maar in de winter bij vorst ook tot beter ijs bij het lozingspunt.

Ad 10. Duurzaam ruimtegebruik: combinatie met andere functies

Gezien de schaarste aan ruimte in Nederland, is het van belang dat ecotechnologische toepassingen goed ingepast worden in hun omgeving en daarbij zoveel mogelijk doelen dienen. Toepassingen die mogelijkheden bieden voor de combinatie van meerdere functies kunnen daardoor een meerwaarde hebben boven toepassingen die mogelijkheid niet bieden. Ecotechnologische systemen moeten bij voorkeur de mogelijkheid in zich hebben voor combinatie met bijvoorbeeld recreatie, verdrogingsbestrijding, natuurontwikkeling of waterberging. Een goede landschappelijke inrichting en natuurlijke beleving spelen daarbij een belangrijke rol.

Ad 11. Hergebruik van water en stoffen

In het milieubeleid zijn duurzaamheid en hergebruik sleutelbegrippen. Hergebruik van water en stoffen is nodig om schaarste te voorkomen en de beperkte voorraden niet uit te putten. Water uit een Waterharmonica systeem kan geschikt zijn voor hergebruik als koel- of proceswater in de industrie, voor verdrogingsbestrijding of anderszins.

Nutriënten in effluent kunnen nuttig worden gebruikt. Levert een Waterharmonica systeem plantaardige biomassa op, dan kan dit wellicht worden gebruikt als groenbemester, als veevoer of als duurzame energiebron. Waterharmonica systemen kunnen zo een bijdrage leveren aan de verduurzaming van de samenleving. Hierbij dient te worden opgemerkt dat momenteel de "waarde" van geoogste producten / biomassa in de Nederlandse stoffenbalansen en economische verhoudingen sterk negatief is.

In bijlage III worden de eigenschappen van de verschillende Waterharmonica systemen in detail beschreven. § 5.6 geeft een samenvatting van de eigenschappen van die systemen. Er wordt aandacht besteed aan de hierboven genoemde eisen aan ecotechnologische systemen en bekeken in hoeverre veel gebruikte systemen hieraan voldoen.

3.4.2 ECOTOXICOLOGISCHE ASPECTEN

Effluent kan zware metalen en organische microverontreinigingen bevatten die het ecosysteem in een Waterharmonica systeem negatief beïnvloeden. In een studie van STOWA naar ecotoxicologische aspecten van RWZI-effluent |79| blijkt, dat effluent van sommige RWZI's algengroei remt. In sommige effluenten, vooral van hoog- of overbelaste RWZI's, kwamen algen in het geheel niet tot ontwikkeling. Groei van zoöplankton werd daarentegen niet geremd. De kwaliteit van de effluenten zijn overigens niet stabiel: soms ontwikkelde algen zich niet en een andere keer weer wel op effluent van dezelfde RWZI. Geconcludeerd werd dat bioaccumulatie van zware metalen in algen geen groot probleem vormde. Wel werden lood, zink, koper en hydroxypropionitril als mogelijk probleemstoffen aangemerkt. Dit gaat niet op voor watervlooien, omdat die in tegenstelling tot algen actief voedseldeeltjes uit het water filteren en hierdoor zwaarder worden blootgesteld aan de daaraan geadsorbeerde micro-verontreinigingen.

In een studie naar ecotoxicologische aspecten bij gebruik van RWZI-effluent in een zuiveringsmoeras in Apeldoorn |87| is gekeken naar mogelijke bio-accumulatie van toxische stoffen. Hieruit blijkt dat koper en zink in verhoogde concentraties in effluent voorkomen, maar dat bio-accumulatie in planten niet aangetoond kan worden. Bio-accumulatie in bentische organismen, zoals bentische vissen, is niet onderzocht, maar wordt niet uitgesloten. PAK's bleken geen risicostoffen te zijn. Om de risico's van bio-accumulatie en accumulatie in de bodem te minimaliseren wordt geadviseerd om koper en zink zoveel mogelijk uit effluent te verwijderen alvorens het in een Waterharmonica systeem wordt ingelaten. Dit kan bijvoorbeeld geschieden door het inzetten van snelle zandfiltratie, waarmee het koper- en zinkgehalte in het effluent met ongeveer de helft kan worden gereduceerd |99|.

Studies naar ecotoxiciteit en verstoring van hormonale balansen laten zien, dat de zwevende stof van RWZI-effluenten hieraan een bijdrage levert. In hoeverre verwijdering van zwevende stof deze effecten wegvangt is nog niet vastgesteld, aangezien hormonale verstoring juist plaats vindt door goed oplosbare hormonen in RWZ-effluent. Ook hiervoor geldt dat nog niet duidelijk is in hoeverre deze oplosbare hormonen in Waterharmonica systemen kunnen worden verwijderd. Verder (praktijk)onderzoek is hier dan ook zeker op zijn plaats.

3.4.3 MISVERSTANDEN OVER ZUIVERINGSMOERASSEN

Hoewel er, met name in het buitenland, veel gepubliceerd is over (semi)natuurlijke zuiveringssystemen, blijft een aantal misverstanden hardnekkig bestaan. Deze misverstanden kunnen leiden tot verkeerd ontworpen of toegepaste systemen of te hoog gespannen verwachtingen. Vier misverstanden worden hier besproken.

Misverstand 1: Het ontwerp van moerassystemen is goed mogelijk op basis van gepubliceerde formules.
Moerassystemen zijn zeer complexe systemen, waarin biologische, chemische en hydraulische processen elkaar beïnvloeden. Alleen al deze complexiteit maakt modelleren van processen moeilijk, zo niet onpraktisch en onrealistisch. Met uitzondering van de resultaten van het promotie-onderzoek aan het moerassysteem van RWZI Everstekoog |18||65| is er een groot gebrek aan kwalitatief goede meetgegevens (met een groot genoeg detailniveau naar tijd en plaats in bestaande moerassystemen) waarop eventuele formules en modellen geijkt kunnen worden. Onderzoekers moeten het doen met kwalitatief mindere gegevens van verschillende systemen, wat leidt tot grote onzekerheden bij het bepalen van generieke procesparameters. Aanvullende problemen ontstaan door gebrek aan op verblijftijd afgestemde metingen van influent- en effluentconcentraties, verkeerde methoden van bemonstering, gebrek aan betrouwbare informatie over waterstroming en verblijftijden en gebrek aan informatie over temperatuur, neerslag en verdamping ter plaatse van het systeem. Voor het afleiden van formules dienen kwalitatief goede meetgegevens voorhanden te zijn van systemen met verschillende kwaliteiten influent.
Omdat bijvoorbeeld het monitoringprogramma van het moerassysteem van RWZI Land van Cuijk geënt is op dat van RWZI Everstekoog kan het functioneren van deze systemen goed vergeleken worden. Aanbevolen wordt dan ook om de monitoringprogramma's van alle bestaande en toekomstige Waterharmonica systemen zo goed mogelijk op elkaar af te stemmen. Het oprichten van een monitoringplatform wordt daarom aanbevolen.

Misverstand 2: Moerassystemen kunnen grote hoeveelheden stikstof verwijderen.
Volgens het standaardwerk "Treatment Wetlands" van Kadlec en Knight |108| varieert de verwijdering van totaal stikstof in kunstmatige moerassystemen van 0,35 – 0,60 g N/m^2.dag (ca 125 – 220 g N/ m^2.jaar). Dit zijn –zeker vergeleken met conventionele stikstofverwijderingtechnieken op RWZI's- relatief geringe hoeveelheden per oppervlakte-eenheid. Deels is dit te verklaren door de terugvallende nitrificatie- en denitrificatiecapaciteit van die moerassystemen in de wintermaanden.
In het ideale geval kunnen waterplanten die geoogst worden 20% van de inkomende stikstof verwijderen. Verdere stikstofverwijdering vindt plaats door nitrificatie gevolgd door denitrificatie. Rond wortels van waterplanten komen echter weinig zuurstofrijke zones voor, maar open water met voldoende waterplanten en gehechte algenmatten zal door de grote zuurstofritmiek voldoende zuurstof produceren om enkele mg N per liter te nitrificeren. Vanuit technologisch oogpunt kan deze wijze van stikstofverwijdering worden omschreven als een biofilmreactie.
Onder zuurstofloze omstandigheden treedt naast denitrificatie ook ammonificatie op, waardoor slechts een gedeelte van de stikstof het systeem kan verlaten. In het algemeen is een uitgekiend ontwerp (met zuurstofrijke en zuurstofloze delen), toegespitst op de lokale situatie en het te ontvangen afvalwater noodzakelijk om een significante verwijdering van stikstof mogelijk te maken.

Misverstand 3: Moerassystemen kunnen grote hoeveelheden fosfor verwijderen.
Volgens Kadlec en Knight |108| bedraagt de verwijdering van totaal fosfor in kunstmatige moerassystemen van 0,005 – 0,05 g P/m^2.dag (ca 1,8 – 18 g P/ m^2.jaar).
Fosforverwijdering in open water moerassystemen gebeurt door seizoensgebonden opname door waterplanten (die niet alleen zeer klein kan zijn vergeleken met de belasting van het systeem, maar ook gelimiteerd is door het groeiseizoen) en door sorptie aan deeltjes (die allemaal een beperkte sorptiecapaciteit hebben). Er zijn twee problemen met vaak gerapporteerde gegevens over fosforverwijdering. Ten eerste wordt fosforverwijdering vaak gerapporteerd

als percentage verwijderd fosfor. In veel van deze studies echter, is de concentratie van fosfor in het te behandelen effluent al laag. Verwijdering van 1 mg/l geeft dan al een aanzienlijk zuiveringsrendement. Ten tweede maken veel studies melding van resultaten van systemen die net zijn opgestart. Jonge planten zijn neergezet en groeien snel (waarbij zij meer fosfor opnemen dan planten in een ouder systeem) en sorptie aan deeltjes, coagulatie en precipitatie zijn groot doordat er nog geen verzadiging is opgetreden.

Misverstand 4: Moerassystemen geven overlast van muggen.
Veel muggensoorten zijn voor hun voortplanting afhankelijk van open water. Over het algemeen geven ze de voorkeur aan ondiep, voedselrijk en stilstaand water. De meeste muggensoorten steken overigens niet. Muggen vliegen over het algemeen niet ver vanaf het water, enkele tientallen tot hooguit een paar honderd meter. Om overlast te veroorzaken moeten er grote aantallen muggen voorkomen dicht bij huizen. Grote aantallen muggen komen vrijwel alleen voor op plaatsen waar geen stabiel ecosysteem is. In een stabiel ecosysteem bevinden zich namelijk ook de natuurlijke vijanden van muggen(larven) zoals libellenlarven, kikkers, vissen en roofkevers. Door moerassystemen zo in te richten dat deze natuurlijke vijanden er kunnen leven zal overlast van muggen voorkomen kunnen worden. Daarnaast kunnen aanvullende maatregelen zoals zorgen voor regelmatige doorstroming, helder en plantenrijk water en voldoende afstand tot woningen er toe bijdragen dat overlast voorkomen wordt.
De bestaande moerassystemen zoals Everstekoog en Waterpark De Groote Beerze gaven nooit hinder van muggen.

3.5 CONCLUSIE

RWZI-effluent is nog geen oppervlaktewater. Zowel fysisch-chemische eigenschappen als (het missen van de juiste) ecologische componenten verschillen dusdanig, dat een extra schakel tussen de RWZI en het ontvangende oppervlaktewater gewenst is (Kampf, 1997). De Waterharmonica benoemt deze schakel. Invulling van de Waterharmonica kan op verschillende manieren vormgegeven worden, al naar gelang de doelstelling, het draagvlak, de locatiespecifieke eigenschappen en de gewenste nevenfuncties.

Waterharmonica systemen bieden de mogelijkheid om in een gecontroleerde omgeving concentraties te verlagen, stoffen te verwijderen, te hergebruiken of vast te leggen en de aquatische ecologie te verbeteren. Een (groot) deel van de verstoring die in een oppervlaktewater optreedt na een lozing van RWZI-effluent wordt in Waterharmonica systemen opgevangen en geneutraliseerd. In deze systemen zal ook de temperatuur van het effluent afnemen, zodat in de winter de mogelijkheid om te schaatsen niet wordt beperkt.

Even wezenlijke doelen als verbetering van de biologische en chemisch-fysische kwaliteit van RWZI-effluent zijn de multifunctionele toepassingsmogelijkheden van Waterharmonica systemen zoals recreatie, verdrogingsbestrijding, natuurontwikkeling en educatie. Daarnaast zijn de mogelijkheden tot hergebruik (bijvoorbeeld in de industrie en landbouw) van behandeld RWZI-effluent groter dan van onbehandeld effluent.

Open water moerassystemen, wortelzonesystemen en infiltratievelden zijn veel gebruikte ecotechnologische toepassingen. Zij zijn in staat om met wisselende efficiëntie nutriënten, zuurstofbindende componenten, zware metalen en organische microverontreinigingen uit het effluent van RWZI's te halen. Belangrijker is dat deze systemen het water 'gezonder' maken door het inbrengen van een natuurlijk zuurstofregime, het verwijderen van actief

slibdeeltjes en het inbrengen van hogere organismen. Een ecosysteem met primaire producenten, herbivoren, carnivoren en detritivoren kan zich in open water moerassystemen ontwikkelen. Ook een rijke vogelpopulatie is mogelijk. Met name open water moerassystemen bieden goede mogelijkheden voor combinaties met andere functies.

Vanzelfsprekend dient men zich bewust te zijn van de beperkingen van Waterharmonica systemen. Zo is verwijdering van nutriënten nog vaak beperkt. Omdat er aanwijzingen zijn dat effluent toxische effecten kan hebben op het ecosysteem, dient bio-accumulatie van zware metalen en andere micro-verontreinigingen te worden voorkomen. Nader onderzoek naar ecotoxicologische en hormonale effecten van RWZI-effluent op ontvangend oppervlaktewater en de gunstige rol die de Waterharmonica daarbij kan spelen is gewenst.

De biologische en fysisch-chemische processen in Waterharmonica systemen blijken zo complex te zijn, dat daarvoor nu nog geen eenduidige, betrouwbare rekenregels voor het ontwerp ervan kunnen worden afgeleid. Het is juist deze nog niet doorgronde complexiteit waardoor bepaalde onderdelen van deze systemen nu nog als black-box moeten worden ingebracht. Daarbij speelt dat het ontwerp van Waterharmonica systemen sterk afhankelijk is van locatiespecifieke omstandigheden. Waterharmonica systemen zijn daarmee ecologisch doordacht, technisch eenvoudig, maar technologisch nog niet volwassen.

Met voortschrijdend inzicht in de complexe werking zullen de ontwerpgrondslagen van deze systemen beargumenteerd, meer eenduidig en concreter vast te stellen zijn. Met dit inzicht zullen de functies die Waterharmonica systemen (ook nog kunnen) hebben op termijn beter worden begrepen. Het grote voordeel hiervan is dat de biologische en chemisch-fysische kwaliteit van het behandelde RWZI-effluent er op de langere termijn nog meer op vooruit kan gaan.

In dat verband en door het op termijn van kracht worden van de KRW-eisen voor prioritaire stoffen in oppervlaktewater verdienen de mogelijkheden om de Waterharmonica te combineren met geavanceerde technische technieken voor effluentnabehandeling zoals dynamische zandfiltratie verdere uitwerking.

Voor optimalisatie van verwijderingsrendementen, het beperken van bio-accumulatie en het verkrijgen van een beter inzicht in de ontwerpcriteria- en regels is daarom nog veel onderzoek nodig.

Tenslotte geldt nu nog vooral de conventionele benadering, dat intrinsiek waardevolle nutrienten in afvalwater in RWZI's als afval verwerkt (dienen te) worden. Deze nutriënten kunnen echter ook worden hergebruikt in de productie van waardevolle stoffen en producten en het genereren of bevorderen van natuurwaarden. Hierop wordt in een volgend hoofdstuk nader ingegaan.

4

BESTAANDE ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN NADER BEKEKEN

4.1 INLEIDING

De bestaande Waterharmonica systemen kunnen wat betreft algemene principes ingedeeld worden in twee hoofdcategorieën met een verdere verdeling in meerdere uitvoeringsvormen.

A. Open water systemen (surface flow) met vijvers (ponds), vloeivelden (lagoons) en sloten (ditches) als belangrijkste uitvoeringsvormen.
B. Doorstroomde wortelsystemen (subsurface flow) met horizontaal of verticaal doorstroomde wortelzonesystemen als belangrijke systeemvormen.

In § 3.4 is ingegaan op de concrete doelen die met Waterharmonica systemen worden nagestreefd. Net als daar wordt ook hier verwezen naar bijlage III waarin de eigenschappen van de hiervoor genoemde systemen in detail staan beschreven.

In Nederland is sinds de jaren ‘70 van de vorige eeuw ervaring opgedaan met ecotechnologische zuiveringssystemen voor de nazuivering van RWZI-effluent of de zuivering van ruw afvalwater. In bijlage II worden de Nederlandse en buitenlandse voorbeelden van ecotechnologische toepassingen voor de nabehandeling van RWZI-effluent uitgebreid besproken. Aan het eind van elke beschrijving is een factsheet gegeven, waarin de belangrijkste kenmerken en eigenschappen van de systemen zijn samengevat.

In dit hoofdstuk worden de prestaties van de Nederlandse Waterharmonica systemen beschreven en zowel onderling als met buitenlandse zuiveringsmoerassen vergeleken.

4.2 PRESTATIES VAN BESTAANDE WATERHARMONICA MOERASSYSTEMEN

4.2.1 BESTAANDE WATERHARMONICA MOERASSYSTEMEN IN NEDERLAND

In Nederland wordt bij de hieronder vermelde zes RWZI’s het effluent in een moerassysteem nabehandeld, waarvan in figuur 4.1 luchtfoto’s worden getoond.

RWZI	Inbedrijf-name	Type moerassysteem	Oppervlakte (ha)	Hydraulische verblijftijd (d)
A. Everstekoog	1994	Open water	7,145	1,8
B. Land van Cuijk	1999	Open water	3,85	4
C. Hapert (Waterpark De Groote Beerze)	2001	Open water	1,5	0,29
D. Sint Maartensdijk	2000	Open water+inf.veld	1	4
E. Kaatsheuvel (Klaterwater, De Efteling)	1997	Infiltratieveld	0,825	1,9
F. Elburg	1978-1994	Open water	15	7-15

4.2.2 BELASTING EN ZUIVERING

Met name aan het moerassysteem bij RWZI Everstekoog is in de periode 1995 -1997 zeer veel onderzoek gedaan naar het functioneren en de prestaties van de negen moerassloten |18||20||65|. Met name in het proefschrift "A treatment wetland used for polishing tertiary effluent from a sewage treatment plant: perfomance en processes" van Sylvia Toet |18| worden veel onderzochte (eco)technologische aspecten van dat moerassysteem behandeld. Voor concrete detailinformatie wordt naar genoemde literatuurreferenties verwezen.

FIGUUR 4.1 BESTAANDE WATERHARMONICA MOERASSYSTEMEN OP NEDERLANDSE RWZI'S: A. EVERSTEKOOG B. CUIJK C. HAPERT D. SINT MAARTENSDIJK E. KAATSHEUVEL (EFTELING) F. ELBURG (BRON: TERRADESK AERO, LUCHTFOTOBESTAND 2003)



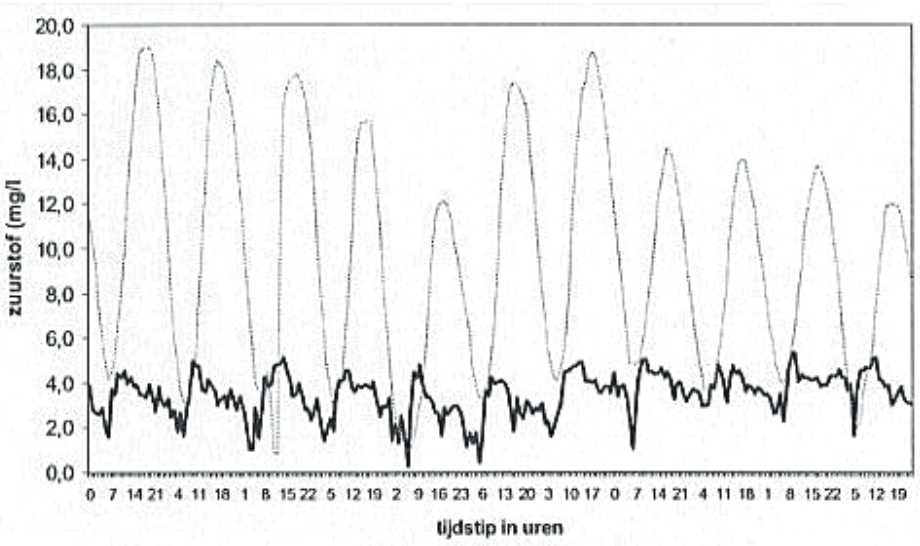
Hierna worden eerst die aspecten van Everstekoog kort behandeld die bij de andere Nederlandse moerassystemen niet of nauwelijks zijn onderzocht, te weten zuurstofhuishouding, desinfectie en verwijdering van zware metalen. Daarna worden de belangrijkste procesparameters (hydraulische verblijftijd en hydraulische belasting) en verwijderingsrendementen voor BZV, CZV, zwevend stof en nutriënten van de zes Nederlandse (en het moerassysteem van Ekeby in Zweden) met elkaar vergeleken.

MOERASSYSTEEM RWZI EVERSTEKOOG

Ten aanzien van de zuurstofhuishouding van het moerassysteem Everstekoog zijn de volgende resultaten verkregen |18||65|:

- in het effluent van RWZI Everstekoog is het zuurstofgehalte relatief laag zonder dag/nachtritme, terwijl in de afvoersloot van het moerassysteem een robuuste zuurstofritmiek optreedt, die goed vergelijkbaar is met wat in eutrofe poldersloten wordt gevonden (zie figuur 4.2);
- verbetering van de zuurstofhuishouding vindt overwegend plaats in het waterplantendeel van het systeem;
- de zuurstofritmiek wordt overwegend door zonlicht gestuurd en ijlt circa zes uur na op het lichtregime;
- in de zomer (juli en augustus) wordt de zuurstofhuishouding negatief beïnvloed door afbraak van “interne” biomassa;
- vergroting van de verblijftijd heeft minder lage minima in de nacht tot gevolg;
- verwijdering van kroos stimuleert de zuurstofproductie door submerse planten sterk.

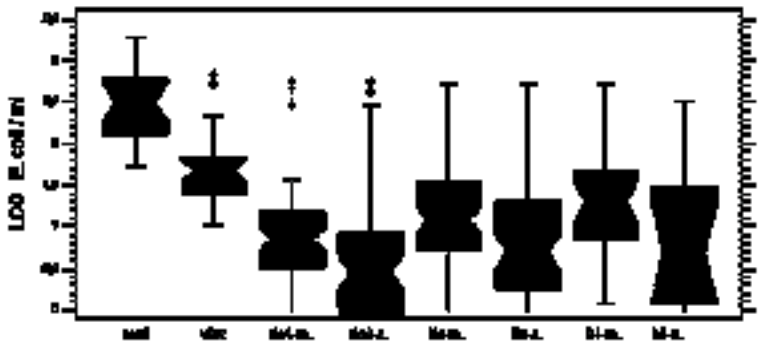
FIGUUR 4.2 VERSCHIL IN ZUURSTOFRITME TUSSEN EFFLUENT VAN RWZI EVERSTEKOOG EN EFFLUENT VAN HET MOERASSYSTEEM IN DE PERIODE VAN 15-25 JUNI 1996 |65|



De resultaten ten aanzien van desinfectie van het RWZI-effluent in het moerassysteem van Everstekoog kunnen als volgt worden samengevat |18||65|:

- E.coli bacteriën worden tijdens passage door het moerassysteem met een logfactor 2 afgedood (zie figuur 4.3);
- er is een duidelijke relatie tussen de mate van verwijdering van E.coli en de verblijftijd; langere verblijftijden leiden, ook in de winter, tot lagere aantallen E.coli;
- met riet worden lagere aantallen E.coli gevonden dan met lisdodde;
- voor een betrouwbare desinfectie (E.coli < 10/ml) gedurende het gehele jaar is een hydraulische verblijftijd van vier dagen nodig. Bij deze verblijftijd is het aantal E.coli een groot deel van het jaar minder dan één per ml.
- voor desinfectie tot ongeveer 10 E.coli/ml alleen in de zomer is een verblijftijd van twee dagen voldoende;
- de vermindering van MS2-fagen duidt op een sterke vermindering van virussen bij langere verblijftijden in het moerassysteem. De afname gaat echter aanzienlijk langzamer dan bij E.coli.

FIGUUR 4.3 **AANTALLEN E.COLI PER ML IN EFFLUENT VAN RWZI EVERSTEKOOG (RWZI), VOORBEZINKVIJVER (VBZ), RESPECTIEVELIJK MIDDEN (-M.) EN EIND (-A.) VAN SLOTEN MET RIET EN LISDODDE EN IN DE BLANCO SLOOT (1996/1997, ALLE SLOTEN GELIJKE VERBLIJFTIJD) |65|**



In het moerassysteem van Everstekoog zijn ten aanzien van de verwijdering van zware metalen de volgende resultaten bereikt |65|:

- zware metalen worden door het moerassysteem verwijderd door vastlegging van fijn zwevend slib. De concentraties in het RWZI-effluent van 0,3 µg Cd /l, 5 µg Cu/l, 35 µg Zn/l en 5 µg Ni/l waren in het effluent van het moerassysteem afgenomen tot respectievelijk 0,1 µg Cd/l (67%), 2 µg Cu/l (60%); 25 µg Zn/l (30%) en 4 µg Ni/l (20%);
- accumulatie in het bodemslib is gering en vooral zichtbaar in het voorbezinkbassin;
- door invangen van het slib in het voorbezinkbassin wordt verdere diffuse verontreiniging van zware metalen voorkomen.

OVERZICHT EIGENSCHAPPEN EN RENDEMENTEN VAN NEDERLANDSE MOERASSYSTEMEN

In tabel 4.1 en 4.2 staan meetgegevens en berekende verwijderingsrendementen van de Nederlandse moerassystemen en ter vergelijking van het moerassysteem van Ekeby in Zweden. Een systeem is een rietinfiltratieveld (Efteling), vijf systemen zijn open water moerassystemen (Land van Cuijk, Everstekoog, Elburg, Ekeby en Groote Beerze) en een systeem is ingericht als een wortelzonesysteem met daarna een open water moerassysteem (Sint Maartensdijk).

HYDRAULISCHE BELASTING

Er zijn grote verschillen in de systemen wat betreft hydraulische belasting. Voor vijf systemen varieert deze van 13 tot 24 cm/dag. De hydraulische belastingen van de helofytensloten van de Groote Beerze liggen daar met 92 tot 179 cm/dag ver boven, terwijl bij Everstekoog ook experimenten zijn uitgevoerd bij zeer lage belastingen van 3 cm/dag om de invloed van de verblijftijd op het functioneren van het systeem te onderzoeken.

TABEL 4.1 **EIGENSCHAPPEN EN RENDEMENTEN VAN DE OPEN WATER MOERASSYSTEMEN (BRON: |14|, |46|, |65|, |90|, |91|)**

		Cuijk	Beerze						Everstekoog					Elburg	St. Maartensdijk Vloeiveld	Ekeby
			noord			zuid			4/1996-3/1997	4/1997-3/1998						
			rietsloot	moerasbos	totaal	biezenveld	moerasbos	totaal	Hele systeem	rietsloot	lisdoddesloot	rietsloot	lisdoddesloot			
Verblijftijd	d	6,00	0,23	0,29	0,52	0,23	0,22	0,45	2,24	0,80	0,80	9,30	9,30	6,0		7,14
Hydr. Belasting	m³/m².d	0,17	0,92	0,92	0,61	1,79	1,51	0,82	0,24	0,32	0,32	0,03	0,03	0,132	0,240	0,15
Influent BZV	mg/l		<3	< 3	<3	<3	< 3	<3						20	2,52	6,88
Effluent BZV	mg/l		< 3	<< 3	<< 3	< 3	<< 3	<< 3						12	2,21	3,75
Influent CZV	mg/l	49,4	31		31	31		31						92	44,3	
Effluent CZV	mg/l	43,0												69	46,3	
Influent zwevend stof	mg/l	5,8	3,7	2,8	3,7	3,7	2,8	3,7						21		
Effluent zwevend stof	mg/l	2,0	2,4	3,3	3,3	2,5	17,9	17,9						14		
Influent N	mg N/l	7,5	6,4	5,9	6,4	6,4	5,9	6,4						44	8,7	19,00
Effluent N	mg N/l	5,3	5,2	6	6	5,1	5	5						41	7,3	15,10
Influent P	mg P/l	0,56	0,45	0,43	0,45	0,45	0,43	0,45						2,15	2,63	0,17
Effluent P	mg P/l	0,57	0,41	0,47	0,47	0,40	0,40	0,40						1,90	1,57	0,08
BZV belasting	g/m².d		< 2,77	< 2,77	< 1,36	< 4,61	< 2,6	< 5,38						2,95	0,60	1,03
CZV belasting	g/m².d	8,31	28,61		18,92	47,68		25,42						13	10,5	
Zwevend stof belasting	g/m².d	0,97	3,41	2,58	2,26	5,69	2,42	3,03						3,08		
N belasting	g N/m².d	1,25	5,91	5,44	3,91	9,84	5,10	5,25	1,34	2,05	2,09	0,18	0,17	5,79	2,1	2,85
P belasting	g P/m².d	0,09	0,42	0,40	0,27	0,69	0,37	0,37	0,19	0,49	0,49	0,04	0,04	0,30	0,62	0,03
BZV verwijdering	g/m².d													1,19	0,07	0,47
CZV verwijdering	g/m².d	1,04												3,03	-0,47	
Zwevend stof verwijdering	g/m².d	0,63	1,20	-0,46	0,24	2,15	-22,83	-11,64						1,06		
N verwijdering	g N/m².d	0,36	1,11	-0,09	0,24	2,33	1,36	1,15	0,34	0,53	0,47	0,12	0,10	0,35	0,33	0,59
P verwijdering	g P/m².d	0,00	0,04	-0,04	-0,012	0,090	0,045	0,041	0,015	-0,023	-0,016	0,005	0,004	0,04	0,25	0,014
Verwijdering BZV	%													39	12%	45%
Verwijdering CZV	%	13%												25	-5%	
Verwijdering zwevend stof	%	65%	35%	-18%	11%	38%	-943%	-384%						32		
Verwijdering N	%	29%	19%	-2%	6%	24%	27%	22%	26%	26%	22%	67%	59%	6%	16%	21%
Verwijdering P	%	-2%	9%	-9%	-4%	13%	12%	11%	8%	-5%	-3%	12%	11%	15%	40%	53%

TABEL 4.2 **EIGENSCHAPPEN EN RENDEMENTEN VAN EEN RIETINFILTRATIEVELD EN EEN WORTELZONESYSTEEM (BRONNEN: |91|, |92|)**

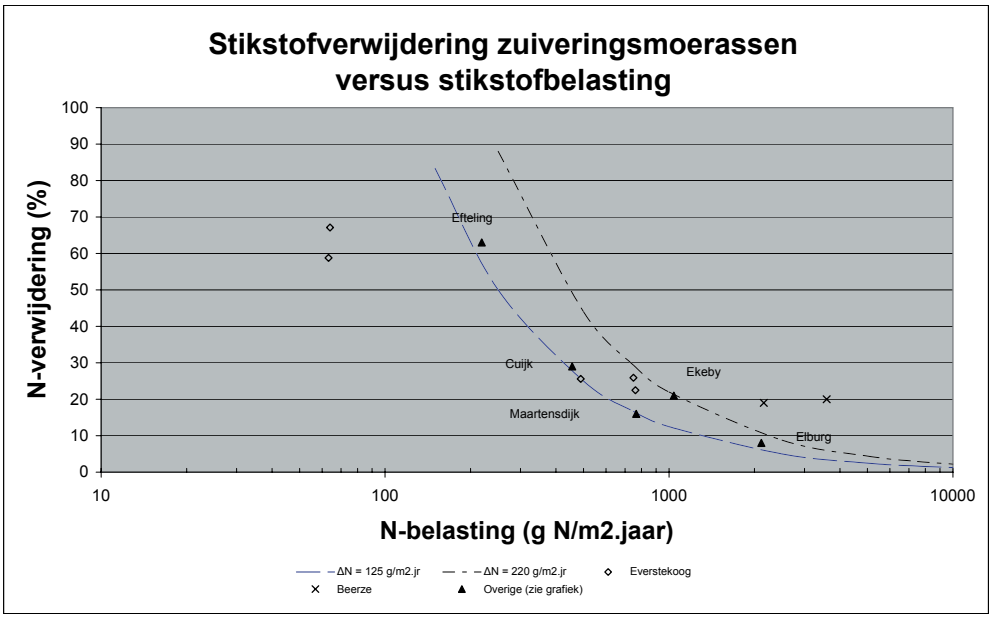
		Efteling	St. Maartensdijk Wortelzonefilter	Lauwersoog
Verblijftijd	d	1,9		3,0
Hydr. Belasting	m³/m².d	0,158		0,0066
Influent BZV	mg/l	1,3	2,52	233
Effluent BZV	mg/l	0,5	2,10	9
Influent CZV	mg/l	26	44,3	
Effluent CZV	mg/l	21,3	45,2	
Influent zwevend stof	mg/l	6,50		
Effluent zwevend stof	mg/l	5,00		7
Influent N	mg N/l	3,80	8,7	104
Effluent N	mg N/l	1,40	8,3	28
Influent P	mg P/l	0,12	2,63	13
Effluent P	mg P/l	0,11	1,07	7,50
BZV belasting	g/m².d	0,21		1,84
CZV belasting	g/m².d	4,11		4,58
Zwevend stof belasting	g/m².d	1,03		
N belasting	g N/m².d	0,60		0,66
P belasting	g P/m².d	0,02		0,09
BZV verwijdering	g/m².d	0,13		1,76
CZV verwijdering	g/m².d	0,74		3,72
Zwevend stof verwijdering	g/m².d	0,24		
N verwijdering	g N/m².d	0,38		0,20
P verwijdering	g P/m².d	0,002		0,02
Verwijdering BZV	%	62	17	95
Verwijdering CZV	%	18	-2	81
Verwijdering zwevend stof	%	23		
Verwijdering N	%	63	5	30
Verwijdering P	%	8	59	24

NUTRIËNTENVERWIJDERING

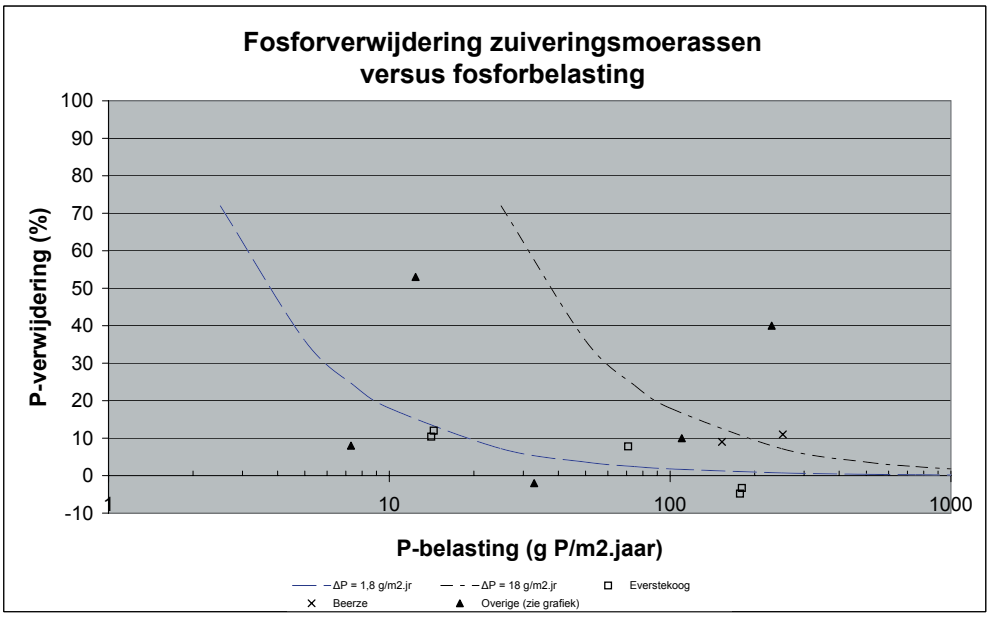
Bij de open water moerassystemen lopen de verwijderingen voor stikstof en fosfor uiteen. De mate van stikstofverwijdering bij Land van Cuijk, Everstekoog, Elburg en Ekeby is nog enigszins vergelijkbaar en ligt tussen 0,35 en 0,59 g N/m².dag. Vergeleken met de andere systemen hebben de vloeivelden van de Groote Beerze met 5,9 en 9,8 g N/m².dag een veel hogere stikstofbelasting en een hogere stikstofverwijdering van respectievelijk 1,1 en 2,33 g N/m².dag. De verwijdering van fosfor varieert bij de open water systemen tussen 0 g P/m².dag (Land van Cuijk) tot 0,25 g P/m².dag (Sint Maartensdijk). In moerasbos noord van de Groote Beerze worden stikstof en fosfor nageleverd, omdat dit moerasbos nog niet goed is ontwikkeld. Ook in het vloeiveld van Everstekoog werd bij een hydraulische verblijftijd van 0,8 dagen fosfor nageleverd. Deze nalevering bleek afkomstig van het sediment van de voorbezinkvijver, waarin zich bij opstarten van het systeem relatief veel fosfor via adsorptie en precipitatie had opgehoopt. Dit verschijnsel werd ook bij Amerikaanse vloeivelden waargenomen |18|.

In figuur 4.4 en 4.5 is de verwijdering van stikstof en fosfor uitgezet tegen de stikstof- en fosforbelasting (op logaritmische X-as) van bestaande Waterharmonica systemen. In deze figuren zijn tevens de bandbreedtes volgens "Treatment Wetlands" van Kadlec en Knight |108| aangegeven zoals reeds vermeld in § 3.4.3 (N-verwijdering tussen 125 en 220 g/m^2.jaar en P-verwijdering tussen 1,8 en 18 g/m^2.jaar).

FIGUUR 4.4 **N-VERWIJDERING IN BESTAANDE WATERHARMONICA SYSTEMEN**



FIGUUR 4.5 **P-VERWIJDERING IN BESTAANDE WATERHARMONICA SYSTEMEN**



In figuur 4.4 valt op dat de stikstofverwijdering in de meeste zuiveringsmoerassen, binnen de genoemde bandbreedte ligt. De daarbuiten vallende hoge rendementen voor Waterpark De Groote Beerze bij RWZI Hapert zijn vermoedelijk toe te schrijven aan de zeer korte hydraulische verblijftijden (circa 6 uur), aangezien de influentconcentraties voor totaal stikstof vergelijkbaar zijn met die van de andere Waterharmonica systemen. In hoeverre reaëratie als de drijvende kracht hierbij een doorslaggevende rol speelt is niet bekend en verdient nader onderzoek.
De constatering dat de stikstofverwijdering bij Everstekoog bij zeer lage belasting (0,18 g/m^2.dag ≈ 65 g N/m^2.jaar) niet boven 70% uitkomt, geeft aan dat hier waarschijnlijk de maximale verwijderingscapaciteit van dat moerassysteem is bereikt.

Figuur 4.5 laat zien dat ook de fosforverwijdering redelijk binnen de bandbreedte van Kadlec en Knight valt. De geringe verwijdering bij de Efteling wordt verklaard door de relatief lage influentconcentratie van 0,12 mg P/l. Het effluent van RWZI Kaatsheuvel wordt namelijk voorgezuiverd in een continu zandfilter, waar fosfaten al grotendeels worden verwijderd door toevoeging van ijzerchloride |101|.
Dat het open water moerassysteem van Sint Maartensdijk een relatief hoog verwijderingsrendement voor fosfor laat zien, wordt mogelijk veroorzaakt door een relatief grote sedimentatie en binding aan het moerassediment die in de eerste jaren na het opstarten van het moerassysteem optreden, zoals eerder al is aangegeven.

BZV, CZV EN ZWEVEND STOF

Van de verwijdering van BZV, CZV en zwevend stof zijn te weinig gegevens voorhanden om uitspraken over vergelijkbaarheid te doen. Globaal ligt de verwijdering van BZV tussen 1 en 2 g/m^2.dag en die van CZV en zwevend stof respectievelijk tussen 1 en 4 g/m^2.d en tussen 0,25 en 1,1 g/m^2.dag. De Groote Beerze wijkt wat betreft zwevende stof af van de overige systemen, waarschijnlijk vanwege de hoge hydraulische belasting en belasting met stoffen. Omdat de belasting veel groter is, is ook de verwijdering (in g/m^2.dag) groter dan bij de overige systemen, maar uitgedrukt in percentages aan de lage kant.

VERWIJDERINGSPERCENTAGES EN AFBRAAKCAPACITEIT

Uit de vergelijking van absolute verwijdering van stoffen op grond van belasting en verwijderingspercentages blijkt, dat de verwijdering uitgedrukt in g/m^2.d een betere maat voor het functioneren is dan uitdrukking in verwijderingspercentages.
De waargenomen verwijderingspercentages liggen veel verder uiteen en zijn sterk afhankelijk van de belasting. Het ligt voor de hand dat een systeem een bepaalde opname- of afbraakcapaciteit heeft die samenhangt met het beschikbare oppervlak. Uitdrukking van het reinigend vermogen in g/m^2.dag zoals aangegeven in tabel 4.3 biedt dan ook meer houvast voor het ontwerp van een systeem.

TABEL 4.3 **VERWIJDERING VAN STOFFEN IN DE ONDERZOCHTE MOERASSYSTEMEN**

Stof	Eenheid	Open water moerassystemen	Infiltratieveld[1]
BZV	g/m^2.d	0,1 – 1,2	0,13
CZV	g/m^2.d	1 – 3	0,74
Zwevend stof	g/m^2.d	0,6 – 2,2	0,24
Totaal-stikstof	g N/m^2.d	0,1 – 2,3	0,38
Totaal-fosfor	g P/m^2.d	0 – 0,25	0,002

[1] alleen gegevens van infiltratieveld van de Efteling

De mate van verwijdering van enkele stoffen (o.a. zwevend stof) wijkt af van die zoals aangegeven in tabel 5.1 in § 5.6. In tabel 4.3 zijn bij infiltratieveld echter alleen de gegevens van de Efteling vermeld.

4.3 VERGELIJKING NUTRIËNTENVERWIJDERING MET BUITENLANDSE MOERASSYSTEMEN

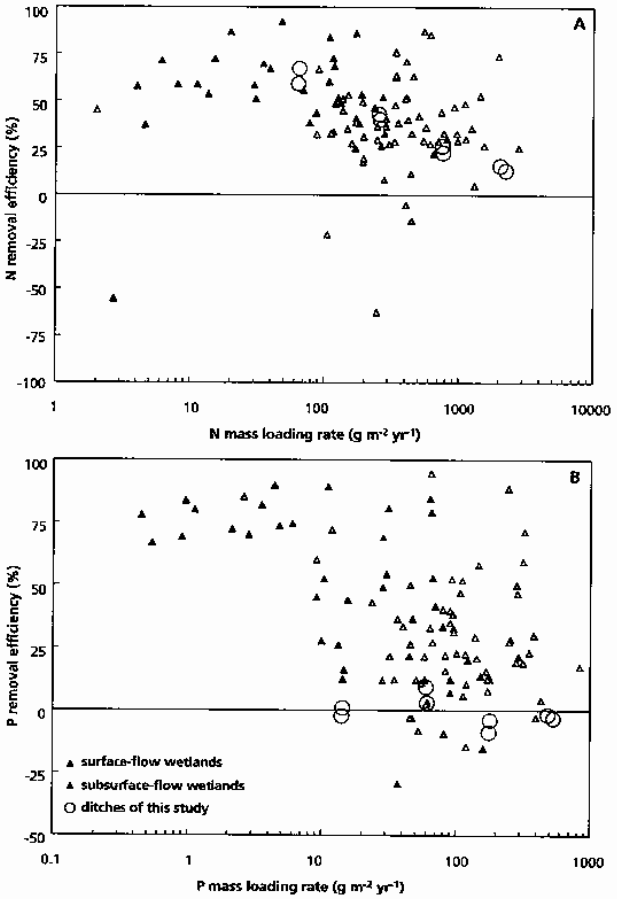
In figuur 4.6a en 4.6b zijn de verwijderingrendementen voor stikstof en fosfaat uitgezet tegen de belasting van Amerikaanse |108| en Deense zuiveringsmoerassen |109|, aangevuld met de gegevens van de vorige paragraaf behandelde Waterharmonica-systemen. De originele figuren zijn afkomstig van het proefschrift van Toet |18|, waarin tevens de rendementen van moerassysteem Everstekoog ("ditches" in legenda) zijn opgenomen. De weergegeven rendementen zijn die van zowel open water moerassystemen (surface-flow) als van infiltratie-systemen (subsurface-flow). Welk type (afval)water er in de Amerikaanse en Deens zuiveringsmoerassen werd behandeld is niet bekend, maar voor zover bekend zijn het geen RWZI-effluenten. De rendementsgegevens van de Nederlandse moerassystemen zijn afkomstig uit tabel 4.1 en 4.2.

Met de hiervoor gepresenteerde gegevens is gepoogd om een meer eenduidig, betrouwbaar verband te vinden tussen de belasting met stoffen en de zuivering van deze stoffen. Deze verbanden zijn niet gevonden. Klaarblijkelijk verschillen de eigenschappen van de individuele systemen dusdanig, dat een eenvoudige afleiding van verbanden niet mogelijk is. Daarbij zijn er -afgezien van Everstekoog- te weinig gegevens voorhanden om per systeem betrouwbaar een verband af te kunnen leiden.
Het blijft de vraag of de beschikbaarheid van veel meer meetgegevens voldoende zal zijn om een betrouwbaar, eenduidig verband tussen belasting en verwijdering af te kunnen leiden. Onderzoek met als doel een beter inzicht te krijgen in de factoren die de gesignaleerde verschillen kunnen verklaren is daarom gewenst.

Uit figuur 4.6 kunnen wel de volgende conclusies worden getrokken ten aanzien van nutriëntenverwijdering in zuiveringsmoerassen:

- De verwijderingsrendementen vertonen voor beide nutriënten een zeer grote spreiding, waarmee bevestigd wordt dat eenduidige, betrouwbare rekenregels voor het ontwerpen van zuiveringsmoerassen voor dit doel (nutriëntenverwijdering) nog niet mogelijk is.
- In algemene zin lijkt er een maximum te liggen bij een stikstofbelasting van 100 g N/m^2.jaar en een fosforbelasting van 10 g P/m^2.jaar, waarboven de procentuele verwijderingrendementen afnemen en een aanzienlijke spreiding gaan vertonen.
- De prestaties op het gebied van nutriëntenverwijdering van de bestaande Waterharmonica systemen liggen binnen de puntenwolken, met uitzondering voor de fosforverwijdering bij De Efteling door de aldaar toegepaste voorzuivering in een continu zandfilter.

FIGUUR 4.6 NUTRIËNTENVERWIJDERING IN BESTAANDE WATERHARMONICA SYSTEMEN (CIJFERS EN CIRKELS) VERGELEKEN MET AMERIKAANSE EN DEENSE ZUIVERINGSMOERASSEN (Δ) |18||108|



4.4 NATUURWAARDE VAN NEDERLANDSE WATERHARMONICA SYSTEMEN

Vooral in Waterpark De Groote Beerze blijkt dat ecotechnologische zuiveringssystemen uitstekend te combineren zijn met andere functies. De natuurwaarde van de Groote Beerze is groot (onder andere broedgevallen van de grote gele kwikstaart en de ijsvogel) en combinatie met natuurontwikkeling (hermeanderen van de Beerze, opheffen van barrières voor vispassage, de natuurwaarde van het moeras zelf), waterberging en recreatie bleek goed mogelijk.

Na de periode van 1978 tot 1994 waarin het effluent van RWZI Elburg in het moerassysteem in het Drontermeer werd nabehandeld, is dit rietveld daarvoor niet meer gebruikt |66|. In opdracht van Rijkswaterstaat is door Bureau Waardenburg |110| een herinrichtingsplan voor het voormalige nazuiveringsveld opgesteld. Na inventarisatie van de grote natuurwaarden in dit rietveld is in dit plan geadviseerd het moerassysteem niet weer geschikt te maken voor effluentnabehandeling. Aanbevolen wordt het gebied opnieuw in te richten en te beheren om de ecologische kwaliteit in het kader van de EHS als leef- en voortplantingsgebied voor moerasvogels, vissen en amfibieën te verhogen.

Tenslotte blijkt in het nog niet op praktijkschaal toegepaste Kwekelbaarsjessysteem (beschreven in bijlage II.7) dat RWZI-effluent gebruikt kan worden voor de ondersteuning van lepelaars, een rode lijstsoort.

4.5 CONCLUSIE

Vijf open water moerassystemen, een infiltratieveld en een wortelzonesysteem zijn nader bekeken. Evenals de hydraulische en chemische belasting blijken de zuiveringsresultaten van de diverse systemen sterk te verschillen. Er is dan ook geen duidelijk verband gevonden tussen de verblijftijd of de belasting en de zuiverende werking tussen de verschillende systemen, terwijl binnen één moerassysteem (Everstekoog |18|) dit verband er wel is. Er konden daarom geen eenduidige, betrouwbare regels worden afgeleid voor ontwerp en dimensionering. Dit wordt ondersteund door de constatering dat in de vele geraadpleegde literatuurbronnen rekenregels voor ontwerp en zuivering niet te vinden zijn. Hieruit moet geconcludeerd worden dat het ontwerpen en/of de bedrijfsvoering van een Waterharmonica systeem geen confectie-, maar maatwerk is.

Er is geen fundamenteel verschil in verwijdering van stoffen geconstateerd tussen infiltratievelden/wortelzonesystemen enerzijds en open water moerassystemen anderzijds.

Zoals in het moerassysteem van Everstekoog is aangetoond hebben dergelijke open water moerassystemen een natuurlijk zuurstofregime. Het zuurstofgehalte is in deze systemen gemiddeld hoger dan in infiltratievelden/wortelzonesystemen. Voldoende gegevens van vergelijkbare systemen in het buitenland ontbreken.

In het open water moerassysteem van RWZI Everstekoog wordt E.coli voor 99% verwijderd. Pathogenenverwijdering zijn bij infitratievelden beter dan in open watersystemen. Om die reden is het verticaal doorstroomd helofytenfilter bij de Efteling in gebruik genomen |100|. Het hierin behandelde effluent van RWZI Kaatsheuvel wordt onder meer gebruikt om de golfbanen van de Efteling te besproeien.

Vooral door het meetprogramma bij het moerassysteem van Everstekoog is duidelijk geworden dat het moerassysteem de ecologische waarde van het RWZI-effluent sterk verhoogt. Actief-slibdeeltjes worden door de watervlooien verwijderd en een natuurlijk zuurstofregime wordt in het water teruggebracht. Het zwevende stofgehalte wordt weliswaar verhoogd, maar dit zwevend stof bestaat uit natuurlijke materie: afgestorven plantenresten en algen. Deze zwevende stof-paradox geeft wel aan dat het weinig zinvol is om zwevende stof te normeren als parameter, waaraan het water moet voldoen, dat een harmonica-achtig systeem verlaat.

Tegelijk met zwevende stof worden ook (eco)toxiciteit, virussen en bacteriën, en overige verontreinigende stoffen, die daaraan geadsorbeerd zijn, uit RWZI-effluent verwijderd. Of de verwijdering hiervan met dezelfde snelheid en reductiepercentage gaat als die van zwevende stof, is niet onderzocht.

5

INVULLING VAN DE WATERHARMONICA IN DE PRAKTIJK

5.1 INLEIDING

Effluent van een RWZI wordt gewoonlijk beschouwd als een niet bruikbaar product: dood water met een te hoge concentratie aan nutriënten, bacteriën en soms zware metalen. Ook de werking van ecotechnologische nazuivering wordt gezien vanuit dit perspectief: verwijderingsrendementen zijn belangrijke parameters om te bepalen of een systeem voldoet aan de eisen.

Heel anders wordt de situatie als we het effluent bekijken als een waardevolle bron van (zoet) water die we kunnen benutten wanneer ecotechnologie wordt ingezet. Dat water is in die visie geen drager van schadelijke of ongewenste stoffen, maar een grondstof die nuttig gebruikt kan worden. Hergebruik van water en stoffen en een zeer laag energieverbruik maken ecotechnologie tot een onmisbaar instrument op weg naar een duurzame samenleving.

In dit hoofdstuk worden de mogelijkheden voor nuttig gebruik van water, stoffen en ruimte nader bekeken en uitgediept. Enkele opmerkingen vooraf hierbij zijn:

- voor specifieke gebruiksdoelen kan een aanvullende maatregel of voorziening nodig zijn (bijv. bij gebruik als proceswater) voordat water of nutriënten afkomstig van een Waterharmonica systeem kunnen worden toegepast.
- het enkel en alleen aanleggen van een Waterharmonica systeem voor een enkel specifiek hergebruiksdoel is nauwelijks een optie omdat daarvoor waarschijnlijk goedkopere of betere alternatieven beschikbaar zijn.

5.2 NUTTIG GEBRUIK VAN WATER

Als gevolg van de voorspelde klimaatverandering krijgt Nederland in de toekomst in de zomerperiode steeds meer te maken met watertekort |70|. Tekort aan zoet water kan leiden tot verzilting als gevolg van zoute kwel uit de diepere bodem en in de kuststreken via ondergrondse indringing van zeewater. Droogte en verzilting leiden tot schade in de landbouw, de scheepvaart, de industrie en de natuur. Met de verwachte klimaatsverandering neemt de verdrogingsschade in de landbouw met 5 tot 20% toe (in extreme jaren met 35%) in 2050 ten opzichte van de huidige situatie. Ook de industrie en de scheepvaart krijgen te maken met oplopende schade. De zomer van 2003 was daar, met name in west Nederland, een voorbeeld van. De natuur heeft vooral te lijden onder dalende grondwaterstanden. In toenemende mate wordt het zaak om (relatief) schoon water nuttig te gebruiken in plaats van dit als RWZI-effluent te lozen op het beken-, kanalen- en rivierenstelsel om het daarna zo snel mogelijk (of soms rechtstreeks) naar zee af te voeren. Het WB21-beleid biedt in dit opzicht al mogelijkheden om versnelde waterafvoer om te buigen naar waterretentie.

In het Nederlandse milieubeleid is vastgelegd, dat gebruik van grondwater zoveel mogelijk dient te worden teruggedrongen. Daarvoor in de plaats dienen andere bronnen te worden aangewend. Nabehandeld RWZI-effluent is hiervoor een goede optie, vooral in toepassingen met lagere kwaliteitseisen en kwaliteitszekerheden ten aanzien van microverontreinigingen en sanitatie. STOWA heeft in 2001 een studie laten verrichten naar de mogelijke toepassingen van RWZI-effluent als bron |71|. De hierover verschenen rapportage geeft een goed overzicht van de (on)mogelijkheden voor gebruik van RWZI-effluent, de (kwaliteits- en kwantiteits)eisen die er zijn voor hergebruik voor diverse functies en de stappen die moeten worden ondernomen om RWZI-effluent geschikt te maken.

De dagelijkse droogweeraanvoer (DWA) van afvalwater naar RWZ's heeft als voordeel, dat er altijd een minimale aanbod van RWZI-effluent is, ook in droge perioden. Effluent is derhalve wat betreft kwantiteit een betrouwbare bron van water. Omdat dit water altijd beschikbaar is, zou het ook gedurende het gehele jaar of een deel ervan beter benut kunnen worden.

RWZI-effluent is met behulp van ecotechnologie op een relatief goedkope manier geschikt te maken voor hergebruik. Voor veel toepassingen zijn nutriëntenconcentraties zoals aangetroffen in het effluent van RWZI's geen probleem en voor andere toepassingen is een lichte mate van nazuivering voldoende. Voor sommige toepassingen is desinfectie nodig, waar zuiveringsmoerassen dan goed aan bij kunnen dragen.

Voorbeelden voor toepassing van nabehandeld RWZI-effluent zijn (in toenemende volgorde van scherpere kwaliteitseisen):

1 Gebruik als zoetwaterbron voor verziltingsbestrijding.
2 Infiltratie voor verhoging van de grondwaterstand (verdrogingsbestrijding).
3 Gebruik als stadswater (peilbeheersing, esthetische functie, beregening).
4 Gebruik als proces-, koel- of spoelwater in de industrie.
5 Gebruik van water in de landbouw.
6 Gebruik voor natuurontwikkelingsprojecten.
7 Gebruik als recreatiewater (vissen, varen, maar ook beregening van sportvelden, golfbanen, enz.).

Voor de eisen die aan de diverse gebruiksvormen worden gesteld wordt verwezen naar Bijlage I. In algemene zin is de afstand tot de locatie, waar het nabehandelde RWZI-effluent wordt gebruikt, medebepalend of hergebruik in de praktijk mogelijk is. Een uitgebreide beschrijving over de (on)mogelijkheden voor gebruik van effluent van RWZI's voor diverse doelstellingen wordt gegeven in |71|.
Hierna worden deze toepassingsmogelijkheden nader omschreven.

Ad 1. Zoet water voor verziltingsbestrijding
Met de verhoging van de zeewaterspiegel en de bodemdaling in het westen en noorden van het land, is steeds meer zoet water nodig om kwel van zout water te compenseren. Ecologisch 'gezond' gemaakt RWZI-effluent kan voor dit doel een constante stroom van zoet water bieden.

Ad 2. Infiltratie voor verhoging van de grondwaterstand (verdrogingsbestrijding)
De gemiddelde kwaliteit van RWZI-effluent (tabel 2.1) komt dicht in de buurt van de vereisten uit het infiltratiebesluit (bijlage I). Alleen concentraties van totaal-fosfor en enkele metalen liggen hier iets boven. Nabehandeling in een zuiveringsmoeras voorafgaand aan infiltratie

kan deze concentraties voldoende verlagen om aan deze eisen te voldoen. In verdrogingsgevoelige gebieden kan het dus een optie zijn om effluent na te behandelen in een zuiveringsmoeras en het te infiltreren.
Een andere optie is het gebruiken van effluent om het peil van oppervlaktewater in een verdrogingsgevoelige gebieden hoger te houden, waarmee bijvoorbeeld de negatieve gevolgen van een hete, droge zomer als van 2003 in Wilnis en in het westen van het land kunnen worden voorkomen. De Waterharmonica systemen zoals bij de Efteling en RWZI Land van Cuijk zijn mede om deze reden aangelegd.

Ad 3. Gebruik als stadswater (peilbeheersing, esthetische functie, beregening).
Voor gebruik van gezuiverd RWZI-effluent in stadswateren geldt globaal hetzelfde als voor gebruik als recreatiewater, met dien verstande dat er minder hoge eisen aan de hygienische kwaliteit kunnen worden gesteld

Ad 4 . Gebruik als proces-, koel- en spoelwater in de industrie
Gebruik van RWZI-effluent voor proceswater in de industrie komt vooral in het vizier als geen grondwater gebruikt mag worden en de kosten voor transport van oppervlaktewater die van RWZI-effluent overstijgen. Gebruik in de voedingsmiddelenindustrie komt niet in aanmerking vanwege de hoge kwaliteitseisen. Of (nagezuiverd) effluent geschikt is, hangt uiteraard van het type gebruik af. Continue levering van de gewenste hoeveelheid water is essentieel.

Ad 5. Gebruik van water in de landbouw
Effluent uit RWZI's voldoet over het algemeen aan eisen voor gebruik in de landbouw, maar voor beregening en begieting zouden de chloridegehaltes soms een probleem kunnen vormen (zie bijlage I). Nazuivering in een zuiveringsmoeras is vooral nuttig voor verdere verwijdering van zware metalen en pathogenen. Dit laatste is met name een eis als het water gebruikt gaat worden voor veedrenking. Behandeld effluent is zonder meer geschikt voor bijvoorbeeld het reinigen van stallen en bij (centrale) was- en spoelplaatsen van landbouwmachines.
Beregening van landbouwgronden met nagezuiverd RWZI-effluent heeft als voordeel dat er geen grondwater hoeft te worden gebruikt en dat het teveel aan water de grondwaterstand helpt verhogen. Naast kwaliteitseisen is een continue levering van water voor gebruik in de landbouw essentieel.
Het grote probleem bij gebruik in de landbouw zijn de distributiekosten. De afnemers moeten dicht bij de RWZI gesitueerd zijn om rendabel gebruik te kunnen maken van het water. Daarnaast is de afname van water seizoensgebonden. Dit maakt de kosten per eenheid water hoger, indien hiervoor aparte infrastructuur moet worden aangelegd.

Ad 6. Gebruik voor natuurontwikkelingsprojecten
RWZI-effluent dat nabehandeld is in een Waterharmonica systeem krijgt in chemisch en biologisch opzicht een natuurlijke, ecologisch gezonde kwaliteit waardoor het geschikt is om te worden gebruikt voor natuurherstel- en natuurontwikkelingsprojecten. Hierbij dient met name gedacht te worden aan toepassing in gebieden liggend in de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Concrete toepassingen liggen er bij voedingbeken en als lokstroom voor visintrek. Ook bestaande, kwetsbare natte natuurgebieden (de natte parels) kunnen gebaat zijn bij gebruik van dit nabehandelde effluent.

Ad 7. Gebruik als recreatiewater (vissen, varen, maar ook beregening van sportvelden, golfbanen etc.)
Effluent van een rioolwaterzuivering kan alleen als recreatiewater worden gebruikt als de hygiënische kwaliteit voldoende is. Dit kan met een zuiveringsmoeras, mits de verblijftijd lang

genoeg is en er continu gemonitord wordt opdat de watervoorziening afgesloten kan worden bij calamiteiten. Verwijdering van nutriënten is voor viswater gewenst om (blauw)algenbloei in het ontvangende oppervlaktewater te voorkomen. Het herstellen van het natuurlijke zuurstofregime en het inbrengen van hogere organismen in een zuiveringsmoeras, maken deze technieken voor het nazuiveren van effluent bij uitstek geschikt voor dit doel. Voor beregening van sportvelden en golfbanen hoeven de nutriëntengehalten niet te worden verlaagd, pathogenen echter wel. Afdoding van pathogenen was een hoofddoel om het verticaal doorstroomd helofytensysteem bij de Efteling in gebruik te nemen |100|.

Bij combinatie van een Waterharmonica systeem met functies als vis- en recreatiewater is de mate van sanitatie (hygiëne) een terugkerend discussiepunt. Vragen die gesteld worden zijn:
- Kunnen dergelijke functies wel samen?
- Welke waarschuwingsborden zijn nodig?
- Dienen risicogevende compartimenten afgezet te worden met hekken?
- Moeten honden aan de lijn?

Als praktijkvoorbeeld kan in dit verband Moerasbos Hapert dienen dat als waterpark voor publiek is opengesteld. Er zijn daar geen gedeelten afgeschermd, honden zijn er toegestaan en op een aantal punten zijn waarschuwingsbordjes geplaatst. De gedachte is dat deze vorm van recreatief medegebruik dan geen onaanvaardbare risico's met zich meebrengt.

In derde wereldlanden daarentegen worden door omwonenden met water afkomstig van zuiveringsmoerassen -meestal gevoed met nauwelijks gereinigd afvalwater- consumptievis gekweekt, gewassen geoogst of landbouwgewassen begoten. Daarbij komen deze mensen zelf regelmatig in contact met dit water. Waar men in die situaties vaak (te) veel risico neemt, zijn daarbij vergeleken de discussies in Nederland zoals hiervoor beschreven wellicht te voorzichtig.

5.3 NUTTIG GEBRUIK VAN NUTRIËNTEN

In Nederland heerst een ambivalente houding ten opzichte van nutriënten. Aan de ene kant zijn zij van vitaal belang in de landbouw als meststof en aan de andere kant zijn zij ongewenst in het oppervlaktewater, het grondwater en in natuurgebieden. Aan de ene kant doen wij ons best om nutriënten zoveel mogelijk te verwijderen uit afvalwaterstromen, terwijl aan de andere kant kunstmest wordt gefabriceerd om de landbouwgronden te bemesten. Door hergebruik van nutriënten uit afvalwaterstromen kunnen beide stappen (gedeeltelijk) achterwege blijven. In Europa is een dergelijke kringloopsluiting momenteel niet erg veel voorkomend door met name de goede beschikbaarheid van (kunst)mest en de wijdverbreide, centrale afvalwaterverwerking. In ontwikkelingslanden komt het echter veelvuldig voor.

Gebruik van RWZI-effluent in de landbouw is al besproken in de vorige paragraaf. Behalve voor beregening en irrigatie van landbouwgewassen of het gebruik in kassenteelt en benutting van de nutriënten daarbij, zijn er nog enkele andere toepassingen denkbaar:

1 Productie van plantaardig biomassa voor groenbemesting, brandstof, dakbedekking of veevoer.
2 Productie van dierlijk biomassa (voedsel voor mens of dier, sportvissen).

Ad 1. Productie van plantaardige biomassa

Een interessante toepassing is bijvoorbeeld de kweek van kroos (Lemna ssp). Kroos heeft de mogelijkheid om stikstof en fosfor verregaand op te nemen uit water en is bovendien rijk aan proteïnen. Hierdoor is kroos uitermate geschikt als veevoer of voer voor vissen |75|. In Duitsland zijn producties gemeld van 16 tot 22 ton/ha.jaar. Kroos produceert meer eiwitten per vierkante meter dan soja. Het eiwitgehalte (op basis van droge stof) van kroos is 35 tot 43% en van meervoudig onverzadigde vetzuren van 5%, afhankelijk van de soort. Kroos heeft een betere aminozuursamenstelling voor vee- of visvoer dan de meeste andere planten en benadert de samenstelling van dierlijk eiwit het meest. Hierdoor en door de hoge concentratie aan essentiële (sporen)elementen is kroos uitermate geschikt als voer. De lage productiekosten (± € 0,45/kg dg) maken kroos ook economisch zeer aantrekkelijk |107|, zie figuur 5.1. Hoge zoutgehalten (tot 4000 mg/l) in het water zijn geen probleem voor de kweek van kroos.

FIGUUR 5.1 **VOORBEELDEN VAN KROOSKWEEKVIJVERS IN DE VERENIGDE STATEN |107|**



De optimale dichtheid van kroos ligt in een kweekvijver rond de 1 kg natgewicht/m². Hogere dichtheden belemmeren de groei en bij dichtheden lager dan 0,6 kg natgewicht/m² kan algenbloei optreden. In hoeverre kroos op commerciële basis gekweekt kan worden op RWZI-effluent is voor zover bekend nooit onderzocht. Een nadeel is, dat kroos in de wintermaanden nauwelijks groeit in Nederland.

Door de hoge opname van nutriënten, kan kroos ook gebruikt worden als groenbemester.

Enigszins vergelijkbaar is de verwerking van varkensmest in Barchem in Overijssel in een algenvijver. De geoogste algen worden als varkensvoer hergebruikt. Landbouwloonbedrijf Houbensteijn in IJsselstein (Limburg) kweekt wilgen op dunne fracties van varkensmest. Deze wilgen worden voor energieproductie verbrand.

In hoeverre andere snelgroeiende drijvende waterplanten als de waterhyacint (Eichornia crassipes) en grote waternavel (Hydrocotyle ranunculoides) in het Waterharmonica concept kunnen worden ingezet is niet bekend. De toepassingsmogelijkheden lijken vooralsnog zeer twijfelachtig door het risico op verdere verspreiding en explosieve groei in het ontvangende oppervlaktewater. Beide plantensoorten staan erom bekend grote hoeveelheden nutriënten en zware metalen op te kunnen nemen, zelfs bij lage concentraties. De waterhyacint neemt meer nutriënten op dan direct voor de groei nodig zijn. In de gematigde streken overleeft de plant steeds beter en vormt hier en daar al een plaag in het oppervlaktewater. De van oorsprong uitheemse grote waternavel zorgt als woekerplant al jaren voor een groot probleem in de Nederlandse oppervlaktewateren.

In Denemarken is een zuiveringssysteem met wilgen aangelegd voor de zuivering van afvalwater van geïsoleerde huizen zonder aansluiting op een riool. Dit water wordt naar een wilgenbed geleid met een oppervlakte van 200 – 300 m^2 per woning. De wilgen groeien in een 1,5 m diep bassin dat aan de onderzijde is voorzien van poly-ethyleen folie. De wilgen zorgen voor de verdamping van het water en opname van nutriënten en overige stoffen en doen dit volgens de onderzoekers zo efficiënt, dat er geen lozing van water of stoffen plaatsvindt |78|. Delen van de wilgen worden regelmatig geoogst voor de verwijdering van stoffen en een betere groei van de bomen. Deze kunnen worden gebruikt als brandstof.

Ad 2. Productie dierlijk biomassa
Vis groeit uiteraard niet direct op RWZI-effluent, maar leeft bijvoorbeeld van watervlooien of waterplanten. Het kwekelbaarsjessysteem (Bijlage II.8) laat zien dat het goed mogelijk is om stekelbaarsjes te kweken van watervlooien die op RWZI-effluent zijn gekweekt. In de tropen komen viskweekvijvers voor menselijke consumptie op afvalwater al veelvuldig voor, maar het werd ook in Europa toegepast |76|. De groei van vis is gecorreleerd met de concentratie aan BZV, stikstof en fosfor in het effluent van de RWZI.

Een andere geschikte kandidaat voor kweek op RWZI-effluent is de mossel. Mosselen kunnen per dag 50 liter water geheel ontdoen van deeltjes tot 1,5 µm en verwijderen daarmee zwevend stof, BZV, nutriënten en zware metalen. Voor zoetwater lijkt de veel voorkomende driehoeksmossel (Dreissena polymorpha) het meest geschikt. Deze kan worden gebruikt als voedsel voor watervogels. Onderzoek van TNO bij het inzetten van mosselen voor de filtering van water in het Dolfinarium te Harderwijk lieten zien dat zonder optimalisering de filtercapaciteit van een mosselfilter van 25 liter per uur per kg mosselen gerealiseerd kan worden. TNO verwacht deze capaciteit bij een verdere technische ontwikkeling te kunnen verdubbelen.

De productie van plantbiomassa gaat sneller dan van dierlijk biomassa. De opname van nutriënten is hiermee gecorreleerd. Maximale nutriëntopname voor planten is ongeveer 1 g N/m^2.dag en 0,1 g P/m^2.dag en voor dieren 0,1 g N/m^2.dag en 0,03 g P/m^2.dag |77|.

5.4 NUTTIG GEBRUIK VAN RUIMTE: COMBINATIE VAN FUNCTIES

Ruimte is schaars en dus duur in Nederland. Het grote ruimtegebruik van zuiveringsmoerassen wordt vaak als een nadeel gezien. Deze beperking blijkt onder meer uit de constatering dat zowel bij de al aangelegde als ook bij de ontwerpen van nieuwe Waterharmonica systemen de reeds beschikbare ruimte (grond al in bezit waterschap, oude slibdroogbedden rondom RWZI's e.d.) vaak bepalend blijkt te zijn voor de omvang van het aan te leggen systeem. Dit nadeel kan echter voor een groot deel vervallen als een combinatie wordt gezocht met andere functies. Met name zuiveringsmoerassen die zo natuurlijk mogelijk worden ingericht bieden perspectieven om te combineren met bijvoorbeeld natuurontwikkeling en recreatie.

5.4.1 NATUURONTWIKKELING

Voedselrijke moerassystemen behoren tot de meest productieve en soortenrijke ecosystemen van de wereld. In Nederland zijn bijvoorbeeld de Oostvaardersplassen beroemd om hun vogelpopulatie. Het ligt dus voor de hand om een zuiveringsmoeras voor de nazuivering van RWZI-effluent waar mogelijk te combineren met natuurontwikkeling. Een bijkomende kans bij Nederlandse RWZI's ligt er in de planologische bescherming, die wegens geur en geluid rondom RWZI's is gelegd. Ook de ruimte die vrijgekomen is door de overgang van natuurlijke

slibontwatering (slibdroogbedden) naar kunstmatige slibontwatering (op of buiten een RWZI) is hiervoor goed te gebruiken |17|. Daardoor is er op en rondom RWZI's meestal een nauwelijks gebruikt en goed voor Waterharmonica systeem te bestemmen terrein beschikbaar.

Dat aangelegde zuiveringsmoerassen grote potenties bieden voor diverse diergroepen en planten bewijzen studies in het buitenland |36| |39| |72| |73| |74|. Met name in de Verenigde Staten worden zuiveringsmoerassen uitgebreid gemonitord op voorkomende organismen. Uit de North American Treatment Wetland Database Version 2.0 (NADB v. 2.0) blijkt dat in totaal 1400 diersoorten zijn geteld. Hieronder zijn 700 soorten invertebraten, 78 vissoorten, 21 amfibieën, 31 reptielen, 412 vogelsoorten en 40 zoogdiersoorten. Omdat de Verenigde Staten veel meer klimaatszones bestrijkt en veel grotere gebieden heeft dan Nederland zijn deze aantallen uiteraard niet representatief voor de Nederlandse situatie, maar deze aantallen geven wel aan dat de biodiversiteit van aangelegde moerassen groot kan zijn. In Everstekoog en de Groote Beerze worden vogeltellingen gedaan en ook hier blijkt dat al kort na de aanleg een aanzienlijke vogelpopulatie aanwezig is. In de Groote Beerze broeden bijvoorbeeld de IJsvogel en de Grote gele kwikstaart. Voor een beschouwing over natuurwaarden op Texel wordt verwezen naar het rapport van de workshop "Wetland management for Spoonbills and associated waterbirds" in 2002 |15|.

Ook in het Verenigd Koninkrijk zijn tellingen verricht, met name naar vogels. Zelfs relatief simpele systemen kunnen soortenrijk zijn. In een rietinfiltratieveld bij Billingham van 5 ha groot, werden na 4 jaar al 57 (mogelijk) broedende vogelsoorten geteld. Van de Rietzanger (Acrocephalus schoenobaenus) werden 14 broedparen geteld. In een ander systeem van 1,5 ha groot, met verschillende plantensoorten en een vijver werden 39 vogelsoorten geteld, waarvan 29 broedend en 10 potentieel broedend. In totaal schatte men het aantal territoria op 72.

Bij het ontwerp van een Waterharmonica systeem moet rekening worden gehouden met natuurontwikkeling indien dat een nevendoel is. Omdat de soortdiversiteit samenhangt met diversiteit in habitats, dienen er zones met verschillende waterdiepten te worden gecreëerd met een geleidelijke overgang, maar de waterdiepte moet niet te groot zijn. In nutriëntenrijk water voorkomt algengroei de ontwikkeling van plantengroei in dieper water. Extensieve begrazing kan een positief effect hebben op de diversiteit aan plantensoorten |39|.
Verder is uiteraard de grootte van het systeem van belang. Hoe groter de oppervlakte van het systeem, des te meer soorten kan het huisvesten. De soortenrijkdom kan verder worden vergroot door aan te sluiten bij een bestaand natuurgebied.
De volgende aandachtspunten dienen bij het ontwerpen van een Waterharmonica systeem te worden meegenomen:

- een beperkte belasting met organische stoffen en ammoniumconcentraties. De afbraak van deze stoffen kost veel zuurstof en zuurstofarme of zelfs zuurstofloze omstandigheden verminderen de biodiversiteit dramatisch;
- mogelijkheden voor een flexibel waterpeilbeheer. Waterpeilbeheer is een belangrijke sturingsfactor voor het beïnvloeden van de plantengroei;
- kansen voor een diverse plantengroei. Voorkom monoculturen: deze zijn relatief vatbaar voor ziektes en plagen en bieden minder soorten een geschikte habitat;
- gebruik van plantensoorten waarvan bekend is dat zij diersoorten bevoordelen;
- ruimte voor een verticale structuur door het beplanten van kruidlagen, struiklagen en boomlagen;

- ruimte voor een horizontale diversiteit door het creëren van diepe zones, ondiepe zones en droge zones (gradiënten hoog/laag, droog/nat, voedselarm/voedselrijk);
- streef naar een onregelmatige oeverlijn, zodat de oeverzone zo lang mogelijk wordt;
- maak eilanden in open water. Hier kunnen diersoorten rustige zones vinden waarin zij niet worden gestoord door mensen of predatoren;
- breng zo nodig nesthabitats aan in de vorm van drijftillen;
- streef naar ecologische verbindingszones met de omgeving.

5.4.2 RECREATIE

(Semi)natuurlijke zuiveringssystemen zijn goed te combineren met recreatiedoeleinden. Omdat RWZI's meestal aan de randen van het stedelijke gebied liggen, is er een groot potentieel aan bezoekers. Zeker zuiveringsmoerassen met een grote natuurwaarde komen in aanmerking voor natuurbeleving. Wandelen, natuurstudie, vissen, maar ook andere vormen van recreëren zijn mogelijk. In de Verenigde Staten, maar ook in Europese landen, worden zuiveringsmoerassen al vaak gecombineerd met recreatie. In een aantal gevallen wordt informatie gegeven in een bezoekerscentrum en staan er schuilhutten om vogels te kijken. Over de droge delen van het zuiveringsmoeras kunnen wandelpaden worden aangelegd, maar ook scateroutes, fiets- of mountainbikeroutes en trimbanen behoren tot de mogelijkheden.

Voor de combinatie met recreatie moet met een aantal aspecten rekening worden gehouden:

- bij water met kans op een hoge concentratie aan pathogenen moet direct contact met het water worden voorkomen. Dit kan door het water ontoegankelijk te maken door middel van begroeiing en hekken;
- er moet voldoende parkeergelegenheid zijn;
- er moeten voldoende afvalbakken zijn die regelmatig geleegd worden;
- zorg voor voldoende banken en picknickplekken;
- er moeten informatieborden zijn waarop wordt uitgelegd wat het doel en de werking van het moeras is, zodat bezoekers weten wat wel en niet toegestaan is;
- leg wandelpaden en uitkijktorens aan;
- geef het publiek de mogelijkheid om suggesties te doen voor verbetering van publiek gebruik;
- geef het publiek de mogelijkheid om vrijwilligerswerk te doen voor onderhoud;
- zorg voor informatief foldermateriaal.

5.4.3 WATERBERGING

Overloopgebieden en noodopvang

Zuiveringsmoerassen, natte natuur en waterberging zijn functies die prima te combineren zijn. Het gaat dan uiteraard om voedselrijke natuur. RWZI's gelegen aan stromend water met hoge piekafvoeren komen het meest in aanmerking. Het oppervlak van het te realiseren gebied moet uiteraard groot genoeg zijn om piekafvoeren voldoende te kunnen opvangen en zo de hoogwatergolf significant te verlagen om stroomafwaarts gelegen gebieden te beschermen tegen wateroverlast.

Er moet rekening mee worden gehouden dat tijdens de inundatieperiode het zuiveringsmoeras een geringere zuiverende werking voor het RWZI-effluent heeft en dat mogelijk slibophoping uit het stromende oppervlaktewater plaatsvindt. Organisch slib kan echter na de inundatieperiode in het zuiveringsmoeras op natuurlijke wijze worden afgebroken.

De inrichting en beplanting moeten op de functie van waterberging worden afgestemd. Het water kan door rietvelden en plassen of sloten stromen en de droge gebieden moeten beplant zijn met vegetatie die tegen incidentele inundatie bestand zijn.

Het is tenslotte van belang te beseffen dat de buffercapaciteit van een Waterharmonica systeem op regioschaal slechts een zeer geringe bijdrage levert aan de buffercapaciteit die nodig is ter bestrijding van wateroverlast of als voorraadbuffer tegen verdroging zoals hierna beschreven.

5.4.4 VOORRAADVORMING

Waterbergingsgebieden kunnen behalve voor noodopvang ook dienen voor voorraadvorming. Het water wordt in een bergingsgebied bewaard voor gebruik (voor bijvoorbeeld in de landbouw) in droge perioden. Dit betekent dat er aanzienlijke oppervlakten aan open water nodig zijn om in droge perioden uit te kunnen putten. De voorraadbekkens kunnen het best aan het eind van de keten liggen, zodat een deel van de nutriënten en overige stoffen al door het moerassysteem uit het effluent zijn gezuiverd. Aanplant van waterplanten kan algenbloei verminderen of voorkomen.
De werking van het zuiveringsmoeras mag niet worden beïnvloed door het onttrekken van water uit het systeem. Ook dit pleit voor een voorraadbekken aan het eind van de keten. Het waterpeil kan in de voorraadbekkens variëren, maar blijft in het zuiveringsmoeras constant.

5.5 ECONOMISCHE (MEER)WAARDE

De hiervoor beschreven mogelijkheden voor nuttig gebruik van water, stoffen en ruimte bij toepassing van een Waterharmonica systeem kunnen een economische (meer)waarde opleveren ten opzichte van alternatieve oplossingsrichtingen. Een geschikt instrument hiervoor is een maatschappelijke kosten-baten analyse (MKBA). Een MKBA is een integraal afwegingsinstrument waarmee alle huidige en toekomstige maatschappelijke voor- en nadelen van een oplossingsrichting (of maatregel) tegen elkaar afgewogen worden door ze in geld uit te drukken. Omdat het de voor- en nadelen van alle betrokkenen - overheid, bedrijven en burgers - in beeld brengt, is de MKBA sectoroverschrijdend. Wanneer de baten groter zijn dan kosten is de beschouwde oplossingsrichting maatschappelijk gezien verantwoord. Een MKBA is dan ook een handig hulpmiddel om uit een impasse te komen bij tegengestelde (sector)belangen. Er wordt immers nagegaan of voordelen van ene sector groter zijn dan de nadelen van de andere.

In 2004 is een MKBA uitgevoerd naar verantwoord hergebruik van het effluent van RWZI Ameland |103|. De reden voor effluenthergebruik is ingegeven door drie problemen die op dit waddeneiland spelen, namelijk een zoetwatertekort in de zomer, onvoldoende water als lokstroom voor vistrek en voortschrijdende verzilting (zie ook § 6.3). Uit de MKBA kwam naar voren dat van de onderzochte oplossingrichtingen hergebruik alleen een positief rendement heeft wanneer het effluent wordt ingebracht in de poldersloten van de binnenduinrand.

Ook voor RWZI Apeldoorn en RWZI Bath zijn MKBA studies in uitvoering om de mogelijkheden voor verantwoord hergebruik van het effluent te in een economisch perspectief te plaatsen.

5.6 EIGENSCHAPPEN VAN ENKELE WATERHARMONICA SYSTEMEN IN DE PRAKTIJK

Elk Waterharmonica systeem heeft uiteraard zijn voordelen en nadelen, zijn sterke punten en beperkingen. Dit betekent dat bij het ontwerp van een systeem de doelen van het systeem, de eigenschappen van het RWZI-effluent, de eisen aan het behandelde effluent, de klimatologische omstandigheden, de locatiespecifieke eigenschappen en eventueel de combinatie met andere doeleinden leidend moeten zijn. Hierdoor is er geen eenduidig recept te geven over welk systeem het meest geschikt is voor nabehandeling van een RWZI-effluent. Het ontwerpen van een systeem is specialistisch maatwerk. Uit vele voorbeelden blijkt, dat bijvoorbeeld zuiveringsmoerassen specifiek ontworpen moeten zijn op de lokale omstandigheden, effluent-eigenschappen en de functie en eigenschappen van het ontvangende oppervlaktewater wil de zuiverende werking voldoen aan de eisen. Ook hooggespannen verwachtingen, met name van de verwijdering van nutriënten moet worden voorkomen. In het verleden is deze waarschuwing niet altijd serieus genomen, waardoor systemen te klein of met onvoldoende proceskennis zijn aangelegd en daardoor niet aan de verwachtingen voldeden. Hiermee kregen deze systemen onnodig een slechte reputatie. Het uitwisselen van informatie en ervaringen, zoals beoogd in dit project, is dan ook zeer waardevol.

In § 3.4.1 is een aantal streefdoelen genoemd waaraan een ecotechnologisch systeem in het ideale geval zou moeten voldoen en in bijlage III worden de eigenschappen van open water moerassystemen, infiltratievelden en wortelzonesystemen behandeld. In tabel 5.1 zijn de eigenschappen van de in dit rapport besproken systemen op een rijtje gezet om aan te geven in hoeverre deze systemen aan de gestelde eisen voldoen.

Om dezelfde mate van zuivering te bereiken hebben open water moerassystemen een grotere ruimte nodig dan infiltratievelden en wortelzonesystemen. Hier staat tegenover dat infiltratievelden en wortelzonesystemen duurder zijn in aanleg dan open water moerassystemen. Met name het substraat en het aanbrengen hiervan zijn duur. Zo kostte de aanleg van het rietinfiltratieveld van de Efteling (8,3 ha, prijspeil 2002) € 1.461.000/ha en de aanleg van het open watersysteem bij Everstekoog (1994) circa € 150.000/ha, exclusief € 30.000/ha voor uitgebreide instrumentatie. De aanlegkosten van het moerassysteem bij Land van Cuijk (3,9 ha, 2000) waren circa € 100.000/ha. De aanleg van Ekeby (Zweden, 28 ha, 1999) tenslotte bedroeg € 53.280,–/ha. In deze bedragen zijn de kosten voor eventuele grondaankoop niet meegenomen.

TABEL 5.1 **EIGENSCHAPPEN VAN VERSCHILLENDE ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN VOOR DE NABEHANDELING VAN RWZI-EFFLUENT. RELATIEVE VERGELIJKING OP BASIS VAN LITERATUURGEGEVENS OF ANDERE TOEPASSING VAN VERGELIJKBARE SYSTEMEN (BV. EEN ZANDFILTER BIJ INFILTRATIEVELDEN)**

Eigenschap	Open water moerassystemen	Infiltratievelden en wortelzonesystemen
Ruimtegebruik	hoog	matig
Aanlegkosten	matig	hoog
Onderhoudskosten	matig	matig
Zuiverend vermogen per m^2		
BZV/CZV/zwevend stof	hoog	hoog
Nutriënten	laag - matig	matig
Zware metalen	waarschijnlijk laag	hoog
Pathogenen	hoog	hoog
Ecologie		
Inbreng zuurstofregiem	hoog	laag
Inbreng hogere organismen	hoog	laag
"Kweken" natuurlijk ecosysteem	hoog	matig
Toevoegen van natuurwaarde	hoog	matig
Mogelijkheden voor …		
Recreatie	hoog	matig
Verdrogingsbestrijding	hoog	hoog
Educatie	hoog	hoog
Natuurontwikkeling	hoog	matig
Waterberging	hoog	laag

Het zuiverend vermogen voor BZV, CZV en zwevend stof is hoog in alle systemen, met name omdat actief slib effectief wordt verwijderd en vervangen door natuurlijk organisch materiaal van dode plantenresten en algen. Hoewel de concentraties van BZV, CZV en zwevend stof soms niet afnemen, wordt de aard van deze parameters wel degelijk anders en meer in overeenstemming met de ecologie van het ontvangende oppervlaktewater.

Het verwijderend vermogen voor fosfor is in alle systemen over het algemeen matig, zeker op langere termijn als organisch materiaal zich in het systeem heeft opgehoopt en adsorptieplekken voor fosfaat zijn verzadigd. Bij een voldoend lange verblijftijd is er voldoende biofilm aanwezig voor stikstof verwijdering, ook de bijdrage van vastlegging in plantmateriaal gaat dan een rol spelen Over de verwijdering van zware metalen is weinig bekend, maar sommige zware metalen worden goed verwijderd in infiltratievelden en wortelzonesystemen. Pathogenen van menselijke oorsprong worden in alle systemen goed verwijderd, mits de verblijftijd voldoende lang is (zie ook § 4.2.2). Wel kunnen pathogenen van dierlijke oorsprong door aanwezige vogels in het uiteindelijk geloosde water terecht komen.

Open water moerassystemen zijn beter in staat RWZI-effluent ecologisch 'gezond' te maken dan de overige systemen, omdat zij meer op natuurlijk oppervlaktewater lijken dan de andere systemen. Het zuurstofregime wordt (gedeeltelijk) hersteld, hogere organismen worden geïntroduceerd en het systeem zelf heeft een hoge natuurwaarde. Infiltratievelden en wortelzonesystemen bieden weliswaar een habitat voor diverse dieren, maar open water moerassystemen herbergen meer niches en dus meer soorten.

Mogelijkheden voor recreatie zijn in open water moerassystemen het hoogst, omdat deze systemen gebruikt kunnen worden als wandelgebied, voor natuurobservatie en als visgelegenheid. Infiltratievelden en wortelzonesystemen bieden deze mogelijkheden minder. Educatief

zijn alle systemen, omdat op een aansprekende manier getoond kan worden hoe RWZI-effluent op een natuurlijke wijze ecologisch 'gezonder' te maken zijn.

Open water moerassystemen bieden grote mogelijkheden voor combinatie met natuurontwikkeling. Voedselrijke moerassystemen behoren tot de meest soortenrijke ecosystemen. Infiltratievelden en wortelzonesystemen bieden deze mogelijkheid minder, omdat dit toch meer 'technische' systemen zijn die minder lijken op natuurlijke habitats.

Het Kwekelbaarsjessysteem (zie bijlage II.7) laat zien dat combinatie met natuurontwikkeling vormgegeven kan worden door de producten van het zuiveringssysteem (stekelbaarsjes) als voedsel ter beschikking te stellen aan een rode lijst soort (de lepelaar).

Open water moerassystemen kunnen zodanig worden ingericht en gebruikt dat mogelijkheden voor waterberging ontstaan. De andere systemen bieden deze mogelijkheid niet. Infiltratievelden en wortelzonesystemen verliezen hun werking als water er vrij overheen kan stromen. Voor Grou is een ontwerp gemaakt waarbij het moerassysteem is geschakeld met een paaibiotoop voor snoek.

5.7 CONCLUSIE

Een belangrijke conclusie is dat bij de reeds aangelegde en bij de ontwerpen van nieuwe Waterharmonica systemen de reeds beschikbare ruimte vaak bepalend blijkt te zijn voor de omvang van het aan te leggen systeem. Synergie met andere functies die een dergelijk systeem kan hebben, blijkt hierop in de praktijk nog nauwelijks van invloed te zijn.

Ecotechnologische systemen kunnen echter een grote synergetische waarde hebben. Zij bieden de mogelijkheid voor het duurzaam hergebruik van water, nutriënten en ruimte. Als nadeel van met name zuiveringsmoerassen wordt vaak het relatief grote ruimtebeslag gezien. Maar combinatie met ander functies zoals natuurontwikkeling, recreatie, waterberging en verdrogingsbestrijding maken de toepassing zeer goed mogelijk. De economische meerwaarde van toepassing van moerassystemen is vast te stellen met behulp van een maatschappelijke kosten en baten analyse (MKBA). Met een MKBA kan een goede vergelijking met de nulsituatie of alternatieve oplossingen worden gemaakt.

Voedselrijke moerassystemen behoren tot de meest soortenrijke ecosystemen ter aarde. Combinatie van een zuiveringsmoeras met natuurontwikkeling ligt dan ook voor de hand, maar ook combinatie met recreatie en waterberging bieden mogelijkheden.

6

KENNISOVERDRACHT EN ONTWIKKELING

6.1 INLEIDING

Een van de doelstellingen van het project is het bevorderen van enkele demonstratieprojecten in Nederland. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de activiteiten die in dit kader hebben plaatsgevonden. Verder wordt in dit hoofdstuk ingegaan op de verschillende ontwikkelingsmogelijkheden van de Waterharmonica.

6.2 ACTIVITEITEN VOOR KENNISOVERDRACHT EN -ONTWIKKELING

Een van de doelstellingen van het project is het bevorderen van enkele demonstratie-projecten in ons land. Dit zou moeten plaatsvinden op basis van reeds bestaande kennis en informatie. Deze doelstelling is ingevuld door het opzetten van een website, het schrijven van een aantal artikelen, het houden van lezingen op congressen en seminars, het organiseren van twee workshops en het informeren van de waterkwaliteitsbeheerders. Bij deze activiteiten hebben Ruud Kampf en Theo Claassen een grote bijdrage geleverd. In het chronologische overzicht van dit STOWA project in bijlage V zijn veel van de activiteiten terug te vinden.

WEBSITE

Door Ruud Kampf is de Internetsite www.waterharmonica.nl opgezet en onderhouden.

ARTIKELEN

In 2003 is een artikel over de Waterharmonica verschenen in de H_2O |11|. Een speciaal themanummer over de Waterharmonica in Journal of Ecological Engineering is in voorbereiding.

LEZINGEN OP CONGRESSEN, WORKSHOPS EN SEMINARS

Aan onder meer de volgende conferenties is middels presentaties deelgenomen:

- Conference 'Efficient use of water for urban supply', Tenerife, april 2003
- Conference 'Constructed wetlands for Optimal control of Wastewater', Estland, oktober 2003
- Conference 'Ecological Engineering' in Harvard, Cambridge Mass, oktober 2003
- International Workshop 'Implementation and operation of municipal wastewater reuse plants', Thessaloniki, Griekenland, maart 2004
- Workshop 'Wetlands' van het Interreg IIIb-project NOLIMP, Aberdeenshire, Scotland, april 2004
- Second Leading-Edge Conference on 'Water and Wastewater Treatment Technologies', Praag, juni 2004
- International Conference 'Upgrading Waste Water Treatment Plants', Aquatech, Amsterdam, september 2004
- EAWAG-seminar 'Urban water management in transition', EAWAG, Zurich, oktober 2004
- Workshop 'Purification' van het Interreg IIIb-project Urban Water Cycle (UWC), Leeuwarden/Den Helder, april 2005.

Op 29 juli 2004 is op de 7th International Wetland Conference Intecol in Utrecht een speciale Waterharmonica-sessie georganiseerd. Hieraan is een bijdrage geleverd door vier Nederlandse en vijf buitenlands sprekers. In bijlage VI is een verslag van deze conferentiesessie |105| opgenomen. Mede als resultaat van de sessie verschijnt er een speciale uitgave van het Journal of Ecological Engineering.

WORKSHOPS

In november 2005 zijn in Nederland twee workshops georganiseerd om de bevindingen van het project de Waterharmonica te delen met de waterkwaliteitsbeheerders. Waterschap Regge en Dinkel en Waterschap de Dommel hebben hiervoor gastvrijheid verleend. De workshops zijn succesvol verlopen en hebben feedback opgeleverd die gebruikt is voor reflectie op het concept (zie verslag Jacobi in H_2O 25/26 2004 |115|). Daarnaast is de feedback gebruikt voor een invulling van het vervolg. In bijlage IV wordt in detail ingegaan op de invulling en evaluatie van de workshops.

KENNISOVERDRACHT OP PROJECTNIVEAU

In de loop van dit project is een bijdrage geleverd aan een aantal initiatieven die passen binnen de Waterharmonica. Deze initiatieven komen ook verderop in dit hoofdstuk ter sprake. Het doel van de bijdrages was het uitwisselen van ideeën en kennis. Dit heeft plaatsgevonden bij de overweging van de hernieuwde ingebruikname van het helofytenfilter bij rwzi Elburg, bij waterpark Schoonbroek (RWZI Apeldoorn), bij de pré-haalbaarheidsstudie effluenthergebruik Arnhem-Zuid en bij de invulling van de effluent behandeling RWZI's Ootmarsum en Gieten. Van hernieuwde ingebruikname van het helofytenfilter bij RWZI Elburg is afgezien vanwege de hoge natuurwaarde die het bestaande in onbruik geraakte filter heeft gekregen.

Met name bij de workshops en de overleggen op projectniveau was sprake van tweerichtingsverkeer. Enkele constateringen hierbij zijn hierna gegeven.

Bij een grootschalig en concreet initiatief zoals waterpark Schoonbroek bij RWZI Apeldoorn is een aantal knelpunten naar voren gekomen:

1 Acceptatie
Het zoekgebied voor het waterpark Schoonbroek is gelegen in de Groene Mal ten noordoosten van Apeldoorn. In dit gebied zijn reeds woningen aanwezig. In de communicatie met de inwoners werd in eerste instantie gesproken over een moerassysteem. Deze term heeft een aantal weerstanden opgeroepen. Bewoners waren met name bang voor overlast door ongedierte (ratten en insecten). Verder bestond angst voor wateroverlast en stank. Er is vervolgens gekozen voor de werktitel "waterpark". Verwacht wordt dat een goed communicatietraject nodig is om de resterende weerstanden te verkleinen.

2. Waterkwaliteit
Het is niet duidelijk welke waterkwaliteit bereikt moet worden. In de opgestelde quick scan is niet gekozen voor een kwantitatieve kwaliteitsdoelstelling, zoals de MTR. Geconstateerd is dat het stellen van deze eis zou leiden tot een (te) groot ruimtebeslag (200 ha).

3 Organisatie
Een belangrijk aspect bij waterpark Schoonbroek is de samenwerking tussen gemeente Apeldoorn en Waterschap Veluwe. Beide partijen kunnen profiteren van het waterpark, maar moeten een modus vinden om inspanningen en kosten te verdelen. Op deze locatie is enthousiasme aanwezig bij beide partijen, maar voor het realiseren van een dergelijk grootschalig waterpark is veel energie en doorzettingsvermogen noodzakelijk.

Uit de workshops blijkt dat bij veel deelnemers meer inzicht is verkregen in de mogelijk/heden en het nut van de Waterharmonica. Het nut van een dergelijke schakel tussen RWZI-effluent en oppervlaktewater is slechts beperkt bekend. Voor een aantal deelnemers hebben de workshops geleid tot een bijgesteld beeld van de Waterharmonica. Er is interesse gewekt: veel deelnemers zagen na afloop mogelijkheden voor toepassing van de Waterharmonica (zie ook bijlage IV).

Belemmeringen voor het realiseren van Waterharmonica-projecten hebben te maken met onbekendheid van de Waterharmonica. De relatie tot de KRW wordt in dit verband specifiek genoemd. Gebrek aan ruimte is een van de belangrijkste praktische belemmeringen.

6.3 ONTWIKKELINGSRICHTINGEN VOOR DE WATERHARMONICA

Als gekeken wordt naar de toepassingsmogelijkheden van de Waterharmonica in de praktijk dan kunnen worden onderscheiden:

a. gebruik van behandeld effluent als zoetwaterbron
b. desinfectie
c. water voor natuur

Ad a. RWZI-effluent als zoetwaterbron

In een aantal agrarische gebieden in Nederland, zoals op de (hogere) zandgronden, in het (lage) veenweidegebied en op de waddeneilanden, is een zodanig tekort aan oppervlakte- en grondwater dat niet zondermeer voorbijgegaan kan worden aan suppletie met RWZI-effluent. Het RWZI-effluent is op deze plaatsen te waardevol om af te voeren. Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt in grondwater en oppervlaktewater:

De RWZI als aanvulling van grondwater

De verdrogingsproblematiek wordt als bekend verondersteld en zal hier niet verder worden toegelicht. Volstaat wordt met de waarneming dat op een aantal locaties serieus wordt overwogen om RWZI-effluent te infiltreren om op deze wijze het grondwater aan te vullen. Nu voldoet het RWZI-effluent al aan een groot aantal eisen, dat aan grondwater gesteld wordt (uitgangspunt is het infiltratiebesluit). Toch bestaat de wens om de kwaliteit van het RWZI-effluent verder te verbeteren voordat het aan het grondwater wordt toegevoegd. Het toepassen van een Waterharmonica systeem is hiervoor een mogelijkheid. Het ligt hierbij voor de hand dat het Waterharmonica systeem fysiek wordt gecombineerd met oppervlakkige infiltratie. Op de Waddeneilanden is sprake van een vergelijkbare situatie. Onder deze eilanden bevindt zich een beperkte bel met zoet water in een zout watersysteem. Zoet grondwater is kostbaar omdat de voorraad eindig is en wateraanvoer (anders dan drinkwater) vanaf het vasteland niet mogelijk is. Het RWZI-effluent kan worden gebruikt voor verdrogingsbestrijding en zo bijdragen aan het aanvullen van de zoetwaterlens. Deze situatie speelt bijvoorbeeld op Texel en Ameland. Het effluent van RWZI Ameland en de andere Friese waddeneilanden wordt nu nog rechtstreeks geloosd op de Waddenzee. Daarmee gaat die (afval)waterstroom verloren voor de zoetwatervoorraad en verdrogingsbestrijding. Voorgenomen is te onderzoeken wat de mogelijkheden zijn tot hergebruik van die effluenten. Inmiddels zijn er twee stagestudies uitgevoerd |88| |89|, waarin de mogelijkheden voor hergebruik op Ameland zijn uitgewerkt. Ook is een MKBA-studie uitgevoerd door Witteveen+Bos |103|, die heeft uitgewezen dat hergebruik van effluent op Ameland verantwoord is.

De RWZI als bron voor oppervlaktewater

Op diverse locaties bestaat een tekort aan bruikbaar oppervlaktewater. Deze problematiek speelt bijvoorbeeld structureel op zandgronden (bijvoorbeeld Veluwe), in steden (bijvoorbeeld Arnhem) en in het veenweidegebied van west Nederland (herinner de zomer van 2003). Dergelijke tekorten kunnen ook een meer incidenteel karakter hebben, zoals in de zomer van 2003 in het westen van Nederland is opgetreden. Bruikbaar kan worden gedefinieerd als geschikt voor de landbouw en/of van een acceptabele hygiënische en organoleptische kwaliteit. Het gaat hierbij bijvoorbeeld om grootschalig gebruik van RWZI-effluent (RWZI Apeldoorn). Ook bij het oplossen van oppervlaktewaterschaarste op de Waddeneilanden wordt het gebruik van RWZI-effluent overwogen. Op Texel (RWZI Everstekoog) is al praktijkervaring opgedaan met het nuttig gebruik van RWZI-effluent in de landbouw en voor natuurontwikkeling. Het nabehandelde effluent kan daar met een stuw over het noordelijke of zuidelijke deel van het eiland worden verspreid.

Ook op andere plaatsen zijn projecten te vinden waar door Waterharmonica-achtige systemen gezuiverd RWZI-effluent als waterbron dient, bijvoorbeeld bij de Efteling |100|, RWZI Land van Cuijk |63| en een nog te realiseren project bij RWZI Gieten (Waterschap Hunze & Aa's). In de droge zomer van 2003 zorgde het in het moerassysteem nagezuiverde effluent van RWZI Land van Cuijk ervoor dat de omgeving van de RWZI het enige gebied in Noord-Brabant was, waar toen geen sproeiverbod was.

Ad b. Desinfectie

Meerdere RWZI's lozen effluent in de directe nabijheid van zwemwater en drinkwaterplaatsen voor vee. In ongezuiverd rioolwater is altijd een groot aantal ziekteverwekkers aanwezig, met name afkomstig van fecaliën van humane oorsprong. RWZI's laten een deel van deze ziekteverwekkers ongehinderd passeren. Bij lozing van RWZI-effluent in de nabijheid van zwemwater en veedrenking bestaat een reëel risico op besmetting met ziektekiemen die al in het ongezuiverde rioolwater aanwezig waren. Soms wordt daarom op RWZI's desinfectie door middel van chloordosering of UV-behandeling toegepast. Deze gangbare desinfectie-technieken kennen echter nadelen, zoals een hoog chemicaliënverbruik, de vorming van ongewenste nevenproducten en/of een hoog energieverbruik.

Toepassing van speciaal op desinfectie gerichte Waterharmonica systemen zou op een aantal plaatsen een "elegante" oplossing kunnen zijn bij het verbeteren van de bacteriële kwaliteit van het RWZI-effluent. Het Waterharmonica systeem kan een aantrekkelijke mogelijkheid bieden om desinfectie en hergebruik te combineren. Zoals reeds aangegeven in § 3.4 is uit de praktijk bekend dat verticaal doorstroomde helofytenfilters zeer efficiënt zijn bij het verwijderen van ziekteverwekkers. Ook in vloeivelden kunnen pathogenen worden verwijderd (zie § 4.2.2). Door de aanwezigheid van vogels kunnen pathogenen van dierlijke oorsprong echter wel weer in het in vloeivelden behandelde water terecht komen. Over de mechanismen van de desinfecterende werking van dergelijke systemen staat nog een groot aantal vragen open, maar de belangrijkste processen zijn predatie van bacteriën, bezinking en adsorptie. Daarnaast is de ontwikkeling en de robuustheid van het desinfectieproces nog nauwelijks onderzocht. Dit is alleen uitvoerig gedaan in het moerassysteem van RWZI Everstekoog, evenals in de bakken en vijvers op het proefveld aldaar (zie § 4.2.1).

De mogelijkheden voor een gecombineerde aanpak van technologische en ecologische desinfectie dienen zeker onderzocht te worden indien een gegarandeerde hygiënische kwaliteit van het RWZI-effluent wordt vereist. Op RWZI Wervershoof is de hygiënische kwaliteit van

het RWZI-effluent één van de knelpunten bij de huidige lozing. In de komende tijd zal desinfectie dan ook één van de aandachtspunten zijn bij onderzoek naar alternatieven voor de bestaande situatie.

Ook bij de Efteling was desinfectie een reden om een verticaal doorstroomd helofytenfilter aan te leggen. Bezoekers zouden in contact kunnen komen met het water. Ondanks de tegenvallende fosfaatverwijdering van dit verticaal doorstroomde helofytenfilter is altijd sprake geweest van een vergaande verwijdering van indicator-organisme E.coli |100|, hoewel exacte cijfers ontbreken.

Ad c. Water voor natuur
Natte natuur is afhankelijk van een goede waterkwaliteit. In een aantal gevallen is RWZI-effluent één van weinige ruim beschikbare waterbronnen voor een natuurgebied en soms een belangrijke of belangrijkste voeding van beken. Soms is het ook de minst slechte waterbron voor een natuurgebied. In het vorige hoofdstuk is al ingegaan op de kwaliteitsverschillen tussen RWZI-effluent en oppervlaktewater. Waterharmonica systemen kunnen het RWZI-effluent “gezonder” en “natuurlijker” maken. Daarnaast kan een dergelijk Waterharmonica systeem een mooie inleiding zijn tot de ontwikkeling van een nat natuurgebied. Deze vraagstelling speelt op meerdere locaties. In het kader van de Waterharmonica zijn onder andere RWZI Ootmarsum en RWZI Grou als cases ingebracht.

Bij RWZI Ootmarsum wordt gestreefd naar een zo optimaal mogelijke kwaliteit van het effluent. Om het RWZI-effluent een natuurlijker karakter te geven is voorgenomen om een vloeiveld te realiseren.

Bij RWZI Grou is voorgenomen om een zuiveringsmoeras annex paaibiotoop voor snoek aan te leggen. Het filter moet het effluent nazuiveren en dienen als paaiplaats voor snoek. Verder levert het een bijdrage aan de natuurlijke inrichting van de boezem en de omgeving rond de RWZI.

6.4 RELEVANTE EISEN AAN RWZI-EFFLUENT

Voor Waterharmonica systemen is een aantal eisen benoemd dat van belang is bij behandeling van RWZI-effluent. Deze eisen zijn vanzelfsprekend situatie- en locatiespecifiek. Toch kan per toepassingsmogelijkheid globaal worden aangegeven welke eisen relevant zijn. Het overzicht in tabel 6.1 is opgesteld om een indruk te geven van de verschillende aspecten die per toepassing een rol spelen en mogelijkerwijs ook zullen leiden tot de keuze voor een specifiek Waterharmonica systeem.

TABEL 6.1 INDRUK VAN DE RELEVANTE EISEN PER TOEPASSING VAN RWZI-EFFLUENT NA BEHANDELING IN EEN WATERHARMONICA SYSTEEM

Aspect	RWZI-effluent als bron voor		RWZI-effluent voor recreatie	RWZI-effluent voor landbouw	RWZI-effluent voor natuur-doeleinden
	oppervlaktewater	grondwater			
1. Inbrengen natuurlijk zuurstofregime	+		+		+ / ++
2. Verlagen concentraties zwevende stof, BZV en CZV (i.e. verwijdering van deeltjes afkomstig uit influent en van uit het actief-slibproces resterende deeltjes)	+	+ / ++	+		+
3. Verlagen concentraties nutriënten	+ / ++	+ / ++	+		+ / ++
4. Verlagen concentraties zware metalen	+	+ / ++		++	+
5. Reduceren van bacteriën en virussen van humane oorsprong (gaat deels samen met aspect 2)	+ / ++	1)	++	++	
6. Vermindering van ecotoxicologische risico's	+	1)	+	+	++
7. Opbouwen van een natuurlijker ecosysteem	+ / ++	1)			++
8. Verbeteren van de zintuiglijke kwaliteit	+		+		+
9. Duurzaam ruimtegebruik	+		+		++
10. Buffer (waterberging)	+			+	+

1) wel belangrijk als het grondwater op een andere plaats weer oppervlaktewater wordt.

Legenda

	Van weinig belang.
+	Punt van aandacht
++	Zwaarwegend punt

Uit deze tabel blijkt dat er duidelijke verschillen bestaan tussen de toepassings-mogelijkheden. Toch is er ook een overeenkomstige factor: de noodzaak tot duurzaam ruimtegebruik.

6.5 TOEKOMST VAN DE WATERHARMONICA

Een deel van de kennis, zoals procesgrootheden, dimensionerings- en ontwerpgrondslagen en werking (rendementen), over de Waterharmonica ontbreekt nog. De kennis over de Waterharmonica is daarnaast ook nog slechts in beperkte mate verspreid.

KENNISONTWIKKELING

In § 3.2.3 is ten aanzien van leemten in kennis geconstateerd dat er inhoudelijk nog veel technische, ruimtelijke en ecologische vragen zijn over Waterharmonica systemen.
Deze vragen zijn relevant voor de bestaande en toekomstige gebruikers van Waterharmonica systemen. Voor de verdere ontwikkeling van het Waterharmonica concept is het daarom zinvol om kennisontwikkeling te stimuleren/regisseren en de kennis die op dit gebied wordt ontwikkeld te delen.

ACCEPTATIE

Voor verschillende betrokken partijen zijn Waterharmonica systemen, zoals vloeivelden en moerassystemen, een tamelijk nieuw en soms onbegrepen fenomeen. Vanwege het relatief grote ruimtebeslag en de toegankelijkheid kijken omwonenden en gemeentes met aandacht en soms argwaan (stank, ratten, muggen, wateroverlast?) naar een dergelijk systeem. Het is nood-

zakelijk om hieraan in de communicatie naar belanghebbenden veel aandacht te besteden. Voor een snellere acceptatie door het publiek is het zinvol om Waterharmonica systemen bij voorkeur bij grotere RWZI's aan te leggen, waar op en rond de zuivering voldoende ruimte beschikbaar is. Bijkomend voordeel hierbij kan zijn dat het Waterharmonica systeem ook bij een grotere, goed bekende plaats ligt. Dit zal een extra prikkel zijn voor andere waterschappen om het concept toe te passen. Het maakt dan duidelijk dat ruimtegebrek vaak een knelpunt is, maar niet zodanig dat toepassing niet mogelijk is.

KORTE TERMIJN

De mogelijkheid bestaat om bij een aantal voorgenomen projecten aansluiting te zoeken om de uitkomsten van deze studie in te brengen, van de projecten te leren en de opgedane kennis te delen. STOWA zou hierin een stimulerende rol kunnen vervullen, het initiatief voor het toepassen van Waterharmonica systemen ligt immers vaak bij de de waterkwaliteitsbeheerder als eigenaar/beheerder van de RWZI's. Andere partijen als natuurbeheerders, landbouworganisaties en gemeentes hebben eveneens een belang. Het is daarom zinvol om samen met de waterkwaliteitsbeheerder vanaf het begin van een project een zo breed mogelijke benadering te volgen. Goede monitoring van gerealiseerde moerassystemen is van essentieel belang voor verdere onderbouwing en optimalisatie van Waterharmonica systemen.

MIDDELLANGE TERMIJN

Op middellange termijn zouden twee sporen gevolgd moeten worden:

1 Het stimuleren van integraal denken.
De Waterharmonica is een schakel tussen de rwzi (technologen) en de het oppervlaktewater (waterkwaliteits- en kwantiteitsbeheerders en aquatisch ecologen). Het realiseren van projecten vereist een integrale benadering. Binnen de waterschappen komen deze "werelden" vaak pas op bestuursniveau bij elkaar. Communicatie op bestuursniveau en het stimuleren van integrale projecten kan belemmeringen wegnemen en deze werelden naar elkaar toe brengen.

2 Verspreiden en vergroten van kennis
Een gericht en samenhangend programma om kennis te delen. Een goede PR via website, nieuwsbrief, workshops en communicatie over voorbeeldprojecten zal leiden tot een breder en beter inzicht in de Waterharmonica bij waterkwaliteits-beheerders (en andere betrokkenen).

7

SLOTCONCLUSIE EN EINDBESCHOUWING

7.1 SLOTCONCLUSIE

Hoewel van oorsprong drinkwater of regenwater is RWZI-effluent (nog) geen oppervlaktewater: zowel de fysisch-chemische eigenschappen als (het missen van de juiste) ecologische componenten in RWZI-effluent verschillen dusdanig met die van oppervlaktewater, dat een extra schakel tussen de RWZI en het ontvangende oppervlaktewater gewenst en nodig is om deze verschillen te overbruggen. Ecotechnologisch ingerichte Waterharmonica systemen in de vorm van een zuiveringsmoeras kunnen succesvol voor dit doel worden ingezet. Hierbij kan geput worden uit de ervaring met een aantal systemen in Nederland en het buitenland, maar de ontwikkelingen staan niet stil. In Nederland is relatief weinig ervaring opgedaan, terwijl met name in de Verenigde Staten en het Verenigd Koninkrijk veel moerassystemen (constructed wetlands) zijn aangelegd. In deze systemen, die doorgaans een veel groter oppervlak hebben dan de Nederlandse voorbeelden, wordt echter nauwelijks RWZI-effluent nabehandeld. Op internet is een deel van deze informatie beschikbaar. Onder meer in de 'Constructed Treatment Wetland System Description and Performance Database' op Internet |114|. Overige links zijn te vinden op www.waterharmonica.nl.

Open water moerassystemen, wortelzonesystemen en infiltratievelden zijn veel gebruikte ecotechnologische toepassingen voor nabehandeling van RWZI-effluent. Deze systemen zijn in staat om met wisselende efficiëntie nutriënten, zuurstofbindende componenten, zware metalen en organische microverontreinigingen in het effluent van RWZI's te verwijderen. Belangrijker is dat deze systemen het water 'gezonder' maken door het inbrengen van een natuurlijk zuurstofregime, het verwijderen van actief slibdeeltjes en het bieden van een geschikt milieu voor hogere organismen. Met Waterharmonica systemen kan RWZI-effluent veranderd worden in water dat meer op het ontvangende oppervlaktewater lijkt.

De kracht van ecotechnologische systemen volgens het Waterharmonica concept is dat:

1 die systemen een natuurlijk zuurstofregime in het RWZI-effluent brengen en dit effluent door deze reanimatie "gezond en levend" maken.
2 dit concept daarmee de meest natuurlijke overgang vormt tussen RWZI en ontvangend oppervlaktewater en daarmee tussen het emissie- en het waterkwaliteitsspoor ofwel tussen waterketen en watersysteem.
3 deze systemen door combinatie met andere functies, zoals recreatie, natuurontwikkeling en waterberging een duurzaam, meervoudig ruimtegebruik mogelijk maken. Dit biedt vooral voor Nederland met zijn hoge druk op schaarse ruimte een niet te onderschatten voordeel.
4 de werking van deze systemen goedkoop en energiezuinig is.
5 deze systemen bijdragen aan een vergroting van de natuurwaarden, zowel aquatisch als terrestrisch en hiermee een belangrijke bijdrage kunnen leveren in het halen van de waterkwaliteitsdoelstellingen van de Europese Kaderrichtlijn Water.

Ecotechnologische systemen kunnen mogelijk breken met de technologische wetmatigheid dat iedere verbetering van de effluentkwaliteit steeds grotere financiële offers vergt.

Vanzelfsprekend dienen de beperkingen van ecotechnologische systemen onderkend en geaccepteerd te worden. De processen in deze systemen zijn zo complex, dat afleiding van eenvoudige rekenregels voor het ontwerp (vooralsnog) niet mogelijk is. Verwijdering van nutriënten is vaak beperkt (en beperkt onderzocht) en voor de optimalisatie ervan is nog veel onderzoek nodig. Een uitgekiend ontwerp op maat –gebaseerd op de lokale situatie en omstandigheden- is nodig om aan de van tevoren gestelde uitgangspunten te kunnen voldoen.

Vijf open water moerassystemen, één infiltratieveld en één wortelzonesysteem zijn besproken. De zuiveringsresultaten van de diverse systemen blijken aanzienlijk te verschillen, evenals de hydraulische en chemische belasting. Deze verschillen zijn zodanig dat er weinig verband is gevonden tussen de verblijftijd of de belasting en de zuiverende werking. Afleiding van betrouwbare rekenregels is niet mogelijk gebleken. Dit ondersteunt de hiervoor gegeven constatering dat in de geraadpleegde literatuurbronnen eenvoudige rekenregels voor ontwerp en zuivering niet te vinden zijn. Het ontwerpen van een Waterharmonica systeem is daarmee vooralsnog maatwerk.

Er zijn fundamentele verschillen in verwijdering van stoffen tussen infiltratievelden enerzijds en open water moerassystemen anderzijds. Berust verwijdering van stoffen bij infiltratievelden met name op zandfiltratie met nauwelijks invloed van de zon als energiebron, bij open water moerassystemen vindt deze verwijdering vooral plaats door flocculatie en bezinking en omzetting in fotokatalytische biofilms onder invloed van zonlicht.

Voldoende gegevens van vergelijkbare natuurlijke nabehandelsystemen voor RWZI-effluent in het buitenland ontbreken. Daar ligt de nadruk meer op (onderzoek naar) het verwijderen van BZV, CZV en ammonium dan op de verwijdering van totaal-stikstof en totaal-fosfor.

Met name uit het meetprogramma bij het moerassysteem van Everstekoog is duidelijk geworden dat het moerassysteem de ecologische waarde van het RWZI-effluent sterk verhoogt. Actief-slibdeeltjes worden door watervlooien verwijderd en een natuurlijk zuurstofregime wordt in het water teruggebracht. Het zwevend stofgehalte wordt weliswaar verhoogd, maar dit zwevend stof bestaat -als detritus- uit natuurlijke materie: afgestorven plantenresten en algen. Hoeveel nutriënten en micro-verontreinigingen met dit zwevend stof (alsnog) in het ontvangend oppervlaktewater terechtkomen, is niet vastgesteld.

Met name uit het Kwekelbaarsjessysteem en de Groote Beerze blijkt dat ecotechnologische zuiveringssystemen uitstekend te combineren zijn met andere functies. De natuurwaarde van de Groote Beerze is groot (onder andere broedgevallen van de grote gele kwikstaart en de ijsvogel) en combinatie met natuurontwikkeling (hermeanderen van de Beerze, de natuurwaarde van het moeras zelf), waterberging en recreatie bleek goed mogelijk. In het Kwekelbaarsjessysteem blijkt dat RWZI-effluent gebruikt kan worden voor de ondersteuning van een rode lijstsoort (lepelaars bijgevoerd met stekelbaars gekweekt op watervlooien gekweekt op RWZI-effluent).

Bij de reeds aangelegde systemen en ook bij de nieuwe ontwerpen blijkt de reeds beschikbare ruimte vaak bepalend te zijn voor de omvang van het aan te leggen systeem.

Waterharmonica systemen hebben een grote synergetische waarde. Zij bieden de mogelijkheid voor het duurzame hergebruik van water, nutriënten en ruimte. Als nadeel van met name zuiveringsmoerassen wordt vaak het relatief grote ruimtebeslag gezien. Maar combinatie met ander functies (natuurontwikkeling, recreatie, verdrogings- en verziltingsbestrijding, waterberging) maken de toepassing goed mogelijk. Het verdient in dit verband aanbeveling ook de economische meerwaarde van toepassing van moerassystemen vast te stellen, zoals in 2004 is vastgesteld voor Ameland |103|. Alleen dan kan een goede vergelijking met de nulsituatie of alternatieve oplossingen worden gemaakt.

Voor het nuttig hergebruik van water zijn de volgende toepassingen denkbaar:
- gebruik als zoetwaterbron voor verziltingsbestrijding.
- infiltratie voor verhoging van de grondwaterstand.
- gebruik als stadswater (peilbeheersing, esthetische functie, beregening).
- gebruik als proces,- koel- of spoelwater in de industrie.
- gebruik van water in de landbouw.
- gebruik als recreatiewater (vissen, varen, maar ook beregening van sportvelden, golfbanen, enz.).
- gebruik ten behoeve van bijvoorbeeld natuurherstel- en -ontwikkelingsprojecten.

Nutriënten uit RWZI-effluent zijn te gebruiken voor:
- productie plantaardig biomassa voor groenbemesting, brandstof, dakbedekking of veevoer;
- productie dierlijk biomassa (voedsel voor mens of dier, sportvissen).

Voedselrijke moerassystemen behoren tot de meest soortenrijke ecosystemen ter wereld. Combinatie van een zuiveringsmoeras met natuurontwikkeling ligt dan ook voor de hand, maar ook combinatie met recreatie en waterberging biedt bij uitstek mogelijkheden om de druk op de schaarse ruimte in Nederland te verminderen.

7.2 EINDBESCHOUWING

Voorliggend onderzoek is het resultaat van een prijsvraag. Het doel was niet om een uitputtend overzicht te geven van alle theorieën, ervaringen en dimensionerings-grondslagen van moerassystemen. Hiervoor wordt met name verwezen naar het STOWA-rapport “Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water” |16| uit 2001 en de vele voor deze studie geraadpleegde literatuurbronnen en internetreferenties.

Wel is onder meer geprobeerd duidelijk te maken wat voor Nederland de eventuele meerwaarde is van moerassystemen als Waterharmonica systeem. Op dit moment wordt op diverse plaatsen onderzoek gedaan naar technologisch geavanceerde technieken, zoals de membraanbioreactor of membraanfiltratie, voor behandeling van huishoudelijk afvalwater en RWZI-effluent. Hoewel deze technieken hun waarde inmiddels hebben bewezen, zijn die toch niet in staat om alle kwaliteitsproblemen van RWZI-effluent op te lossen. Ze zijn in staat om tegen relatief hoge kosten en ten koste van grondstoffen, energieverbruik en afvalproductie verwijdering van stoffen te bewerkstelligen, maar dragen niet of nauwelijks bij aan de gewenste natuurlijke eigenschappen voor het gezuiverde effluent of de omgeving.

Moerassystemen zijn een oplossing van een geheel andere orde. Ze bieden de mogelijkheid om op energiezuinige wijze een 'gezonder' en 'bruikbaarder' RWZI -effluent te produceren dat zich kan meten met oppervlaktewater. Er is sprake van een bijkomende meerwaarde als het ruimtegebruik van moerassystemen een voordeel is en geen nadeel. Zo is bijvoorbeeld de productie van "natuurlijk" RWZI -effluent voor kwetsbaar oppervlaktewater of een natuurgebied mogelijk in een "natuurlijk" moerassysteem. Dit moerassysteem kan een ecologische (en recreatieve) meerwaarde zijn voor de omgeving en vormt daarmee een inleiding tot het daaropvolgende natuurgebied.

Door het op termijn van kracht worden van de KRW-eisen zowel voor chemische kwaliteit (prioritaire stoffen) als ecologische kwaliteit van oppervlaktewater verdienen de mogelijkheden om de Waterharmonica te combineren met geavanceerde technische technieken voor effluentnabehandeling zoals dynamische zandfiltratie verdere uitwerking.

In de komende jaren moeten de mogelijkheden en onmogelijkheden van moerassystemen in de breedte (waterkwaliteit, ecologie, ruimtegebruik) worden onderzocht, omschreven en in de praktijk uitgewerkt. Hierbij moet worden getracht om steeds het gehele beeld neer te zetten om te komen tot een maximale waarde.

Uit de voorbeelden in het buitenland (o.a. Ekeby) kunnen ook lessen voor Nederland worden geleerd. Aldaar is het met transparantie, communicatie en het "weghalen van hekken" via recreatie en natuureducatie gelukt zichtbaar te maken hoe en waarom die systemen werken.

Met verder onderzoek, kennisontwikkeling en kennisoverdracht kan een zo breed mogelijk draagvlak worden gecreëerd, waarmee de gewenste acceptatie van de Waterharmonica kan worden veiliggesteld.

Om deze acceptatie te bevorderen volgen hier tenslotte enkele prikkelende citaten en conclusies uit verschillende relevante bronnen:

Karin Tonderski-Sundblad (Universiteit van Linköping, Zweden) in haar samenvattende lezing van de Waterharmonica-sessie op het 7de International Wetlands Intecol Conference in Utrecht (juli 2004):

> *Wastewater has to be managed using a catchment and ecosystem approach. A major Waterharmonica task in this respect is communicating knowledge in a usable form:*
> - *knowledge how to use a catchment and ecosystem approach when managing wastewater*
> - *examples of successful, and less successful, cases of such management*
> - *access to technical and practical knowledge about design and management of constructed wetlands and aquaculture systems*
> - *providing a contact network of scientists and practioners promoting this approach.*

Belangrijkste eindconclusie van de Waterharmonica workshops in Hapert op 23 november 2004 en in Almelo op 25 november 2004 (zie ook bijlage IV):

- Voor de helft van de 21 deelnemers is het beeld dat zij vooraf over de Waterharmonica hadden door deelname aan de workshops veranderd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat via deze vorm van kennisoverdracht de gedachte achter en uitvoering van het Waterharmonica concept goed aan de Nederlandse waterbeheerders duidelijk kan worden gemaakt.
- Uit het feit dat 15 van de 16 geënquêteerde deelnemers toepassing het Waterharmonica concept in hun beheersgebied mogelijk achten, kan geconcludeerd worden dat de Water/harmonica als nieuw, duurzaam concept in het waterbeheer geleidelijk aan geaccepteerd begint te worden.
- Naast reeds bekende Waterharmonica-initiatieven (Wervershoof, Grou, Apeldoorn, Ootmarsum, Gieten) zijn door deelnemers zes andere potentiële projecten genoemd: Arnhem, Marum, Ottershagen, Etten, Ameland en Winterswijk.
- De redenen om nog geen Waterharmonica-project te beginnen zijn divers. Belangrijkste oorzaken zijn het niet beschikbaar hebben van voldoende ruimte, gebrek aan kennis (van de meerwaarden van het concept) en verschillende technisch-organisatorische drempels. Opvallend hierbij is dat bestuurlijk draagvlak niet als reden werd genoemd.
- Het verdient volgens de deelnemers aanbeveling om de concrete mogelijkheden voor verdere kennisoverdracht (webforum, nieuwsbrief, platformbijeenkomst) zo snel mogelijk te benutten.

Uit het artikel "Klaterwater als waterharmonica; Brabantse Delta levert hoogwaardig effluent aan de Efteling" in Het Waterschap van 21 januari 2005:

Dhr. Jonk van Waterschap Brabantse Delta:
- "In feite is Klaterwater een voorbeeld van een betaalbare en goed gelukte kringloopsluiting; daar zijn alle partijen best trots op ..."

Mevr. D. Castelein van de Efteling:
- "Klaterwater is een achter-de-schermenverhaal, waar we trots op zijn omdat het past bij een A-merk dat de Efteling is."
- "Klaterwater draagt bij aan het park dat we willen zijn: gezond en verantwoord"

Dijkgraaf Vos van Waterschap Brabantse Delta:
- "Klaterwater is voor ons niet meer, maar vooral niet minder dan een zeer geslaagd en hopelijk stimulerend project om verdroging tegen te gaan én de waterharmonica toe te passen: een zo goed mogelijk overgang van effluent, dat hard en gebiedsvreemd water is, naar gezond, levend oppervlaktewater".

8

LITERATUUR

|1| Europese Commissie (2000). Kaderrichtlijn Water. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, L327, 22 december 2000, pag 1-72.

|2| Claassen, T.H.L. (1996). Het 3D-schakelsysteem: van tweesporenbeleid naar driesporenbeleid; eco-technologisch van randverschijnsel naar centrumpositie. In: Klapwijk, S.P. (ed.), 1996. 25 jaar toegepast onderzoek waterbeheer; jubileumsymposium STOWA 13 september 1996. STOWA rapport nummer 11, Utrecht.

|3| Gardeniers, J.J.P. en E.T.H.M. Peters (1992). Ecologische beoordeling en beheer van oppervlaktewater. STOWA rapport nummer 92-08.

|4| Min. V&W (1976). Indicatief Meerjarenprogramma Water 1975-1979. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|5| Min. V&W (1981). Indicatief Meerjarenprogramma Water 1980-1984. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|6| Min. V&W (1986). Indicatief Meerjarenprogramma Water 1985-1989. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|7| Min. V&W (1989). Derde Nota Waterhuishouding. Water voor nu en later. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|8| Min. V&W (1994). Evaluatienota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|9| Min. V&W (1998). Vierde Nota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|10| Min. V&W (2000). Nota Waterbeheer in de 21ste eeuw. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

|11| Kampf, R. en T.H.L. Claassen (2003). De Waterharmonica. Van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater. H_2O 7: 44-46.

|12| Kampf, R. (2004). The Use of Treated Wastewater for Nature: The Waterharmonica, a Sustainable Solution as an Alternative for Separate Drainage and Treatment. Presentatie op IWA-Leading-Edge Technology, LET2004, WW5, 3 juni 2004, Praag, Tsjechië

|13| Claassen, T.H.L., Kampf, R. en B. Palsma. De waterharmonica als schakelsysteem tussen de afvalwaterketen en het oppervlaktewatersysteem: van afvalwater naar gezond en bruikbaar oppervlaktewater. 2002. Utrecht, STOWA.

|14| Meuleman, A.F.M. (1993). Waterzuivering door moerassystemen. Onderzoek naar de water- en stofbalansen van het rietinfiltratieveld Lauwersoog. Vakgroep Botanische Oecologie & Evolutiebiologie, Universiteit Utrecht.

|15| Kampf R, Eenkhoorn BJ, Foekema EM, Dokkum HP. Can Spoonbills play a role in "integral water management" on Texel? In: Veen J, Stepanova O, editors. Wetland management for Spoonbills and associated waterbirds, Report of the 68th EUROSITE Workshop, , 19-21 April 2002, Texel, The Netherlands. Tilburg: Eurosite Programme and Development Office, 2003: 25-27.

|16| STOWA (2001). Handboek zuiveringsmoerassen voor licht verontreinigd water. STOWA rapport nummer 200109, Utrecht.

|17| Kampf, R. Van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater. Lezing op NVA-symposium Biologisch gereinigd effluent: grondstof of eindproduct?, 16 oktober 1997.

|18| Toet S. A treatment wetland used for polishing tertiary effluent from a sewage treatment plant: performances and processes. Proefschrift, Universiteit Utrecht, faculteit Biologie, 2003.

|19| Kampf, R. Lepelaars profiteren van effluent rwzi Texel, bron voor voedselkringloop op waddeneiland. H_2O 2001; 34(6): 6.

|20| Kampf, R. et al, 2003. Increasing the natural values of treated wastewater, the Waterharmonica: the missing link to transfer treated waste water into a usable surface water. Presented at IWA-Conference Efficient use and management of water for urban supply, Tenerife, 2 - 4 april 2003 and at The International Conference Constructed and Riverine Wetlands for Optimal Control of Wastewater at Catchment Scale Tartu, Estonia, 29 September - 2 October, 2003

|21| Ripl, W. Management of water cycle and energy flow for ecosystem control - the energy-transport-reaction (ETR) model. http://www.tu-berlin.de/~Limnologie/ literatur/lit_9501.htm

|22| Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (1996). Besluit van 24 februari 1996, houdende regels voor het lozen van stedelijk afvalwater (Lozingenbesluit Wvo stedelijk afvalwater).

|23| Sakadevan, K., H. Zheng & H.J. Bavor (1999). Impact of heavy metals on denitrification in surface wetland sediments receiving wastewater. Water Science and Technology 40(3): 349-355.

|24| Brix, H., C.A. Arias & M. del Bubba (2001). Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. Water Science and Technology 44(11-12): 47-54.

|25| Kim, S-Y. & P.M. Geary (2001). The impact of biomass harvesting on phosphorus uptake by wetland plants. Water Science and Technology 44(11-12): 61-67.

|26| Wood, A. (1995). Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. Water Science and Technology 32(3): 21-29.

|27| Hiley, P.D. (1995). The reality of sewage treatment using wetlands. Water Science and Technology 32(3): 329-338.

|28| Tanner, C.C. (2001). Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. Water Science and Technology 44(11-12): 9-17.

|29| Wetzel, R.G. (2001). Fundamental processes within natural and constructed wetland ecosystems: short-term versus long-term objectives. Water Science and Technology 44(11-12): 1-8.

|30| Mungur, A.S., R.B.E. Shutes, D.M. Revitt & M.A. House (1995). An assessment of metal removal from highway runoff by a natural wetland. Water Science and Technology 32(3): 169-175.

|31| Environmental Protecton Agency (1988). Design Manual. Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. EPA/625/1-88/022. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH 45268.

|32| Environmental Protection Agency (2000). Manual. Constructed wetlands, Treatment of Municipal wastewaters. EPA/625/R-99/010. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio 45268.

|33| Green, M.B., P. Griffin, J.K. Seabridge & D. Dhobie (1997). Removal of bacteria in subsurface flow wetlands. Water Science and Technology 35(5): 109-116.

|34| Loon, W.A. van, A.G. Werker & R.L. Legge (2002). Assessment of pathogen removal mechanisms in treatment wetlands. 31st WEAO Technical Symposium and OPCEA Exhibition – april 21-23 2002.

|35| Khatiwada, N.R. & C. Polprasert (1999). Kinetics of fecal coliform removal in constructed wetlands. Water Science and Technology 40(3): 109-116.

|36| Knight, R.L. (1997). Wildlife habitat and public use benefits of treatment wetlands. Water Science and Technology 35(5): 35-43.

|37| Vymazal, J., V. Sládecek & J. Stach (2001). Biota participating in wastewater treatment in a horizontal flow constructed wetland. . Water Science and Technology 44(11-12): 211-214.

|38| Worrall, P., K.J. Peberdy & M.C. Millett (1997). Constructed wetlands and nature conservation. Water Science and Technology 35(5): 205-213.

|39| Kiehl, K. & S. Weisner (1998). Plant species diversity in natural and constructed wetlands in Southern Sweden. VASTRA Working Paper 12. Swedish Water Management Research Program.

|40| USDA & EPA (1994). A Handbook of constructed wetlands. A guide to creating wetlands for agricultural wastewater, domestic wastewater, coal mine drainage, storm water in the Mid-Atlantic Region. Volume 1. General considerations. USDA – Natural Resources Conservation Service & US Enrironmental Protection Agency-Region III.

|41| Kallner, S. & H.B. Wittgren (2001). Modelling nitrogen transformations in surface flow wastewater treatment wetlands in Sweden. Water Science and Technology 44(11-12): 237-244.

|42| Wittgren, H.B. & S. Tobiasson (1995). Nitrogen removal from pretreated wastewater in surface flow wetlands. Water Science and Technology 32(3): 69-78.

|43| Eriksson, P. & S. Weisner (2000). Inhibition of nitrification and denitrification in natural nitrogen-enriched wetlands: effects of the plant community. Preliminary report.

|44| DeBusk, T.A., F.E. Dierberg & K.R. Reddy (2001). The use of macrophyte-based systems for phosphorus removal: an overview of 25 years of research and operational results in Florida. Water Science and Technology 44(11-12): 39-46.

|45| Matagi, S.V., D. Swai & R. Mugabe (1998). A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. African Journal of Tropical Hydrobiology and Fishery 8: 23-35.

|46| Schreijer, M., R. Kampf, J.T.A. Verhoeven & S. Toet (2000). Nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem. 1995-1998. STOWA rapport 2000-10/RIZA rapport 2000.006.

|47| Scholes, L.N.L., R.B.E. Shutes, D.M. Revitt, D. Purchase & M. Forshaw (1999). The removal of urban pollutants by constructed wetlands during wet weather. Water Science and Technology 40(3): 333-340.

|48| Mæhlum, T. & P. Stålnacke (1999). Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, season, loading rates and input concentrations. Water Science and Technology 40(3): 273-281.

|49| Tanner, C.C. (2001). Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. Water Science and Technology 44(11-12): 9-17.

|50| Coleman, J., K. Hench, K. Garbutt, A. Sexstone, G. Bissonnette & J. Skousen (2001). Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. Water, Air and Soil Pollution 128: 283-295.

|51| Environmental Protection Agency (1993). Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. A technology assessment. EPA 832-R-93-008.

|52| Ahn, T.-S & H.J. Park. Evaluation of three types of artificial wetland for wastewater treatment.

|53| White, K. (1995). Enhancement of nitrogen removal in subsurface wetlands employing a 2-stage configuration, an unsaturated zone and recirculation. Water Science and Technology 32(3): 59-67.

|54| Green, M., E. Friedler, Y. Ruskol & I. Safrai (1997). Investigation of alternative method for nitrification in constructed wetlands. Water Science and Technology 35(5): 63-70.

|55| Platzer, C. (1999). Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. Water Science and Technology 40(3): 257-263.

|56| Laber, J., R. Perfler & R. Haberl (1997). Two strategies for advanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands. Water Science and Technology 35(5): 71-77.

|57| Pant, H.K., K.R. Reddy & E. Lemon (2001). Phosphorus retention capacity of root bed media of subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering 17(4): 245-355.

|58| Biemans, W. (1999). Afstudeerverslag Helofytenfilter “De Efteling”.

|59| IWACO (2000). Monitoring waterbeheer de Efteling – 1999. IWACO rapport 37170.

|60| IWACO (2001a). Monitoring waterbeheer de Efteling – 2000. IWACO rapport 38254.

|61| Royal Haskoning (2002). Monitoring Klaterwater 2001. Royal Haskoning rapport 539368.

|62| IWACO (2001b). Maatregelen ter reductie van de fosforconcentratie in Ven West van de Efteling. IWACO rapport 38725.

|63| Eijer-de Jong, J., H. Willers, B. Palsma & V. Claessen (2002). Monitoring moerassysteem RWZI Land van Cuijk. H_2O 16: 26 – 29.

|64| Witteveen+Bos (2003). Praktijkonderzoek moerassysteem RWZI Land van Cuijk. Rapportage 2^{e} meetjaar (okt. 2001 – sept. 2002).

|65| Schreijer, M., R. Kampf, J.T.A. Verhoeven & S. Toet (2003). Nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem. Resultaten van een 4-jarig demonstratieproject op praktijkschaal op RWZI Everstekoog, Texel. 1995-1999. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Purmerend / Leerstoelgroep Landschapsecologie, disciplinegroep Geobiologie, Universiteit Utrecht, Utrecht.

|66| Butijn, G. (1990). Evaluatie nareinigingsveld rioolwaterzuiveringsinstallatie Elburg. Intern rapport Rijkswaterstaat, Directie Flevoland. Rapport nr. 1990-20 anw.

|67| Kampf, R. & E. Foekema (2002). Gebruik van effluent van de RWZI De Cocksdorp voor natuurdoeleinden: onderzoek naar de kweek van watervlooien in het kwekelbaarsjessysteem in 2001. Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen, Edam & TNO-MEP, afdeling Ecologische risico's, Den Helder.

|68| http://www.kuai.se/~leilin/vatmark/wetland.htm

|69| CBS (2000). Waterkwaliteitsbeheer. Zuivering van afvalwater, 1998. Centraal Bureau voor de Statistiek. Voorburg/Heerlen.

|70| http://www.droogtestudie.nl

|71| STOWA (2001). Compendium RWZI-effluent als bron voor "ander water". STOWA rapport 2001-14.

|72| ETI (1998). Treatment wetland habitat and wildlife use assessment. Environmental Technology Initiative.

|73| Worrall, P., K.J. Peberdy & M.C. Millett (1997). Constructed wetlands and nature conservation. Water Science and Technology 35(5): 205-213.

|74| Knight, R.L., R.A. Clarke Jr. & R.K. Bastian (2001). Surface flow (SF) treatment wetlands as a habitat for wildlife and humans. Water Science and Technology 44(11-12): 27-37.

|75| Leng, R.A., J.H. Stambolie & R. Bell (1995). Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish.

|76| Liang, Y., R.Y.H. Cheung, S. Everitt & M.H. Wong (1999). Reclamation of wastewater for polyculture of freshwater fish: fish culture in ponds. Water Research 33(9): 2099-2109.

|77| Junge-Berberovic, R. (2001). Possibilities and limits of wastewater-fed aquaculture.

|78| Gregersen, P. & H. Brix (2001). Zero-discharge of nutrients and water in a willow dominated constructed wetland. Water Science and Technology 44(11-12): 407-412.

|79| STOWA (2003). Ecotoxicologische aspecten bij de nabehandeling van RWZI-effluenten met behulp van biomassakweek. STOWA rapport 2003-12.

|80| O'Sullivan, A.D., D.A. Murray & M.L. Otte (2001). Phytoremediation of alkaline mine effluent using treatment wetlands. Abstracts of the Working Group II, COST Action 837 Programme, Phytoremediation of trace elements in contaminated soils and waters, European Union Cooperation in the field of Science and Technical Research (COST), Madrid, Spain, April 4-7, 2001, pp. 34-35.

|81| Bos, H. van den, E. de Swart, S. Vriend & G. Frapporti (1999). Fosfaatverwijdering in helofytenfilters: de efficiëntie van toegevoegde fosfaatbinders.

|82| Green, M.B. (1997). Experience with establishment and operation of reed bed treatment for small communities in the UK. Wetlands Ecology and Management 4: 147-158.

|83| Kao, C.M., J.Y. Wang, K.F. Chen, H.Y. Lee & M.J. Wu (2002). Non-point source pesticide removal by a mountainous wetland. Water Science and Technology 46(6-7): 1999-206.

|84| http://pnw-ag.wsu.edu/AgHorizons/buffers/cb6.html

|85| EU (2000). Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid. Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen L 327. Gepubliceerd op 22 december 2000.

|86| http://www.rekel.nl/water/ushn/decocksdorp/rapport_2001.htm

|87| Prakken, J.A. (2003). Natural changes by natural purification. The effects of the effluent of the sewage treatment plant on constructed treatment wetland in Apeldoorn.

|88| Kroes, F., 1997. Mogelijkheden van hergebruik van effluent op Ameland.

|89| Min, D., 2002. Reuse of appropriately treated wastewater on Ameland.

|90| Witteveen+Bos (2004). Praktijkonderzoek moerassysteem RWZI Land van Cuijk. Samenvattende rapportage monitoring 2001 – 2003. STOWA rapport 2004-45.

|91| Poulus, Edwin (2004). Schriftelijke mededeling functioneren moerassysteem Sint Maartensdijk. Waterschap Zeeuwse Eilanden.

|92| Royal Haskoning (2004). Monitoring Klaterwater 2003. Vertrouwelijk rapport over functioneren van helofytensysteem van de Efteling.

|93| Hynes, H.B.N. (1974). The biology of polluted waters. Liverpool University Press.

|94| McKinney, R.E.(1962). Microbiology for sanitary engineers. McGraw-Hill Book Compagny, Inc.

|95| GTD, Gemeenschappelijke Technologische Dienst Oost Brabant (2003). Maaiselonderzoek.

|96| STOWA (1996). Hergebruik van gezuiverd afvalwater ten behoeve van verdrogingsbestrijding. Verkenning en doorkijk. STOWA rapport 1996-24.

|97| Agrotransfer BV en Waterschap Zuiderzeeland (2003). IBA's in beeld. Het individueel behandelen van afvalwater in de praktijk. Handboek 2003.

|98| www.ibahelpdesk.nl

|99| STOWA (2004). Vergelijkend onderzoek MBR en zandfiltratie, RWZI Maasbommel, rapportage Royal Haskoning.

|100| Wel, A. van der (2005), Klaterwater als waterharmonica; Brabantse Delta levert hoogwaardig effluent aan de Efteling. Het Waterschap (6): p 6-8.

|101| Duel, H. & J.K.M. te Boekhorst (1991). Helofytenfilters voor verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater in het landelijk gebied, een programmerings-studie. Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, Publikatie RMNO nr. 53, 1991

|102| Mels A. en E.J. Martijn (2005). 'Waterharmonica' in the developing world; Conversion of treated wastewater into a natural resource through eco-engineered 'linking' systems, LeAF (Lettinga Associates Foundation), 2005.

|103| Witteveen+Bos (2004). Verantwoord gebruik van effluent van de rwzi Ameland; een maatschappelijke kosten-batenanalyse. In opdracht van Wetterskip Fryslân en STOWA.

|104| CBS, Statline (2003-2004), url: http://statline.cbs.nl

|105| Claassen, M. en R. Kampf (2004). De toepassing van de Nederlandse 'Waterharmonica'. Verslag van speciale sessie tijdens de 7th International Wetlands Conferentie Intecol op 29 juli 2004 in Utrecht, H_2O 18, 2004.

|106| Poster Waterharmonica theorie, achtergronden bij STOWA-prijs, www.waterharmonica.nl (als pdf onder rubriek posters).

|107| Practical Duckweed: Application Areas and Sponsors (www.mobot.org/jwcross/duckweed/practical_duckweed.htm)

|108| Kadlec, R.H. & R.L. Knight (1996). Treatment Wetlands. CRC Press Inc. Lewis Publishers. ISBN 0-87371-930-1

|109| Schierup, H.H. et al (1990). Spildevandsrensning i rodzoneanlœg. Botanical Institute, Aarhus university, Denmark.

|110| Hut, R.M.G. van der en S.M. Veen (2004). Rietveld bij Elburg Ontwikkelingsscenario's en inrichtingsplan voor het voormalige nazuiveringsveld van de RWZI te Elburg. Eindrapport Bureau Waardenburg, Culemborg, 3 juni 2004.

|111| Hoek, S. (2004). Functioneren moerassysteem bij RWZI Hapert. Eindrapport afstudeeropdracht voor Waterschap De Dommel en Hogeschool Zeeland, Royal Haskoning, 5 augustus 2004.

|112| VROM, VW (2004). Regeling milieukwaliteitseisen gevaarlijke stoffen Oppervlaktewateren. AMvB Ministers van VROM en VW, Staatscourant 22 december 2004, nr. 247 / pag. 34

|113| Haijkens, Y. en H. Jurgens (2004). Toepassingen van ecotechnologische schakelsystemen in Noord-Nederland; mogelijkheden voor nazuivering van RWZI-effluent..Afstudeerrapport voor opleiding Milieukunde aan het Van Hall Instituut, Royal Haskoning, projectnummer 34 82 04, augustus 2004.

|114| http://firehole.humboldt.edu/wetland/twdb.html

|115| Jacobi, J. (2004), Waterschappen klaar voor de Waterharmonica? Verslag Waterharmonica workshops, H_2O 25/26, 2004

BIJLAGEN

BIJLAGE I
NORMEN EN BESLUITEN
I.1 LOZINGENBESLUIT WVO STEDELIJK WATER
I.2 INFILTRATIEBESLUIT
I.3 NORMEN LANDBOUWWATER
I.4 GRENSWAARDEN VOOR HET BEOORDELEN VAN DRINKWATER VOOR VEE

BIJLAGE II
VOORBEELDEN VAN ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN EN FACTSHEETS
II.1 ELBURG
II.2 EVERSTEKOOG
II.3 LAND VAN CUIJK
II.4 WATERPARK DE GROOTE BEERZE
II.5 SINT MAARTENSDIJK
II.6 EFTELING
II.7 KWEKELBAARSJES
II.8 EKEBY (ZWEDEN)
II.9 OVERIGE BUITENLANDSE SYSTEMEN

BIJLAGE III
VEEL GEBRUIKTE SYSTEMEN EN HUN EIGENSCHAPPEN

BIJLAGE IV
OPZET, VERSLAG EN EVALUATIE VAN DE WATERHARMONICA WORKSHOPS IN HAPERT EN ALMELO

BIJLAGE V
CHRONOLOGISCH OVERZICHT VAN ACTIVITEITEN TIJDENS DE UITVOERING VAN HET STOWA-PROJECT DE WATERHARMONICA

BIJLAGE VI
PROGRAMMA, ABSTRACTS EN VERSLAG VAN DE WATERHARMONICA-SESSIE OP DE 7TH INTECOL INTERNATIONAL WETLANDS CONFERENTIE TE UTRECHT

REFERENTIES
APARTE LIJST VAN LITERATUUR– EN INTERNETBRONNEN WAARAAN IN DIT BIJLAGENRAPPORT WORDT GEREFEREERD

BIJLAGE I

NORMEN EN BESLUITEN

I.1 LOZINGENBESLUIT WVO STEDELIJK WATER
I.2 INFILTRATIEBESLUIT
I.3 NORMEN LANDBOUWWATER
I.4 GRENSWAARDEN VOOR HET BEOORDELEN VAN DRINKWATER VOOR VEE

BIJLAGE I.1

LOZINGENBESLUIT WVO STEDELIJK WATER

Het Lozingenbesluit WVO stedelijk afvalwater van 24 februari 1996 |1| geeft de effluentnormen waaraan alle RWZI's per eind 2000, 2002 of 2005 moeten voldoen. Waterbeheerders die per 31 december 2000 moesten voldoen zijn Waterschap De Maaskant, Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch, Hoogheemraadschap van West-Brabant (inmiddels Waterschap Brabantse Delta), Waterschap Regge en Dinkel, Zuiveringschap West-Overijssel en Wetterskip Fryslân. Waterbeheerders die per 31 december 2002 moesten voldoen zijn Zuiveringsschap Veluwe, Zuiveringsschap Rivierenland, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Waterschap De Drie Ambachten, Waterschap Hulster Ambacht, Waterschap Zeeuwse Eilanden, Zuiveringschap Limburg, de Provincie Utrecht en de Provincie Groningen. Waterschap De Aa, Waterschap De Dommel, Hoogheemraadschap van Delfland, Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden, Zuiveringschap Amstel- en Gooiland en de Gemeente Amsterdam moeten per 31 december 2005 voldoen aan de normen. De normen zijn weergegeven in tabel 1.1. Onder grenswaarde moet hier de concentratiewaarde van een component verstaan worden die niet mag worden overschreden.

TABEL I.1 **EFFLUENTNORMEN VOOR RWZI'S UIT HET LOZINGENBESLUIT WVO STEDELIJK AFVALWATER**

Parameter	Grenswaarde	Nieuwe RWZI's m.i.v.*	**Bestaande RWZI's m.i.v.**
Totaal fosfor	1 mg P/l (meer dan 100.000 i.e.)	Eind 2000, 2002 of 2005	Eind 2000, 2002 of 2005
	2 mg P/l (2.000 tot en met 100.000 i.e.)	Eind 2000, 2002 of 2005	Eind 2000, 2002 of 2005
Totaal stikstof	10 mg N/l (20.000 i.e. of meer)	Eind 2000, 2002 of 2005	31 december 1998
	15 mg N/l (2.000 tot 20.000 i.e.)	Eind 2000, 2002 of 2005	31 december 1998
BZV_5 bij 20°C	20 mg O_2/l		
CZV	125 mg O_2/l		
Onopgeloste bestanddelen	30 mg/l		

* Afhankelijk van de waterbeheerder, zie tekst voorafgaand aan tabel.

Uit een vergelijking van deze tabel I.1. met tabel 2.1 uit het hoofdrapport blijkt, dat het gemiddelde effluent van RWZI's voldoet aan het lozingenbesluit. De concentraties van de nutriënten en de lozingsnormen liggen echter ver boven de norm voor het Maximaal Toelaatbaar Risico (MTR: 2,2 mg N/l en 0,15 mg P/l voor stagnante, eutrofiëringsgevoelige wateren in de zomer). Ook van de zware metalen ligt de gemiddelde concentratie in het effluent hoger dan het MTR. De dalende trend zal nog enkele jaren doorzetten onder andere als gevolg van biologische P-verwijdering en omschakeling naar grotere N verwijderingsrendementen. Daarna bereiken de huidige RWZI's wel bijna de grenzen van wat technisch en beheersmatig mogelijk is. Voor N, P en zware metalen is dit een niveau van 1,5 tot 3 maal het MTR-niveau. Een kanttekening hierbij is, dat ook het oppervlaktewater in Nederland op veel plaatsen ongeveer dezelfde kwaliteit heeft.

Binnenkort is het MTR achterhaald door de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water, waardoor nieuwe normdoelstellingen van kracht worden.
Ook de huidige streefwaarden of VR-normen (Verwaarloosbaar Risico) voor N en P en naar verwachting ook de normdoelstellingen van de KRW liggen echter beduidend lager dan respectievelijk dan de hiervoor aangegeven MTR van 2,2 mg N/l en 0,15 mg P/l.

BIJLAGE I.2

INFILTRATIEBESLUIT

Bijlage I.2 Infiltratiebesluit bodembescherming 1993 (Bron: |46|)

STOF	EENHEID	TOETSINGSWAARDE (OPGELOST)[1]
Macroparameters		
Zuurgraad (pH)	-	-[2]
Zwevend stof	mg/l	0,5[3]
Calcium (Ca^{2+})	mg/l	-[2]
Chloride (Cl^-)	mg/l	200[2,3]
Waterstofcarbonaat (HCO_3^-)	mg/l	-[2]
Natrium (Na^+)	mg/l	120[2,3]
Ammonium (NH_4^+)	mg N/l	2,5
Nitraat (NO_3^-)	mg N/l	5,6[2,3]
Totaal fosfor (t-P)	mg P/l	0,4
Sulfaat (SO_4^{2-}	mg/l	150[2]
Fluoride (F^-)	mg/l	1
Cyaniden totaal (CN totaal)	µg/l	10
Zware metalen		
Arseen (As)	µg/l	10
Barium (Ba)	µg/l	200[3]
Cadmium (Cd)	µg/l	0,4
Cobalt (Co)	µg/l	20
Chroom (Cr)	µg/l	2
Koper (Cu)	µg/l	15
Kwik (Hg)	µg/l	0,05
Nikkel (Ni)	µg/l	15
Lood (Pb)	µg/l	15
Zink (Zn)	µg/l	65
Bestrijdingsmiddelen		
Som van de bestrijdingsmiddelen	µg/l	0,5[4]
organochloorbestrijdingsmiddelen		
Som	µg/l	0,1
Endosulfan	µg/l	0,05
α-HCH	µg/l	0,05
γ-HCH (lindaan)	µg/l	0,05
DDT (incl DDD en DDE)	µg/l	0,05
Dichloorpropeen	µg/l	0,05
Aldrin	µg/l	0,05
Dieldrin	µg/l	0,05
Endrin	µg/l	0,05
Heptachloor	µg/l	0,05
Heptachloorepoxide	µg/l	0,05
Hexachloorbutadieen	µg/l	0,05
Hexachloorbenzeen	µg/l	0,05
Organofosforbestrijdingsmiddelen		
Azinfos-methyl	µg/l	0,1
Dichloorvos	µg/l	0,1
Dimethoaat	µg/l	0,1
Mevinfos	µg/l	0,1
Parathion	µg/l	0,1
Triazines/triazinonen/aniliden		
Atrazine	µg/l	0,1
Simazin	µg/l	0,1
Metolachloor	µg/l	0,1

STOF	EENHEID	TOETSINGSWAARDE (OPGELOST)[1]
chloorfenoxyherbiciden		
2-methyl-4-chloorfenoxy-azijnzuur (MCPA)	µg/l	0,1
Mecoprop	µg/l	0,1
2,4-dichloorfenoxy-azijnzuur (2,4D)	µg/l	0,1
ureumherbiciden		
Chloortoluron	µg/l	0,1
Isoproturon	µg/l	0,1
Metoxuron	µg/l	0,1
Linuron	µg/l	0,1
chloorfenolen		
Trichloorfenolen	µg/l	0,1
Tetrachloorfenolen	µg/l	0,1
Pentachloorfenolen	µg/l	0,1
diversen		
Dinoseb	µg/l	0,1
2,4 dinitrofenol	µg/l	0,1
Bentazon	µg/l	0,1
Olie		
Minerale olie	µg/l	200
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen		
Naftaleen	µg/l	0,1
Anthraceen	µg/l	0,02
Fenanthreen	µg/l	0,02
Cryseen	µg/l	0,02
Fluorantheen	µg/l	Σ 0,1 (PAK 6 van Borneff)
Benzo(a)pyreen	µg/l	
Benzo(k)fluorantheen	µg/l	
Benzo(b)fluorantheen	µg/l	
Benzo(ghi)peryleen	µg/l	
Indeno(123cd)pyreen	µg/l	
Gehalogeneerde koolwaterstoffen		
Trichlooretheen	µg/l	0,5
Tetrachlooretheen	µg/l	0,5
Trihalomethanen (THM's)	µg/l	2[5]
Dichloorfenolen	µg/l	0,5
Adsorbeerbare organische halogeenverbindingen	µg/l	30[6]

1 De toetsingswaarde voor zwevend stof betreft de niet opgeloste hoeveelheid materiaal.

2 Punt van aandacht bij de vergunningverlening in verband met de lokale situatie.

3 In het infiltratiewater mag 70 dagen per jaar een concentratie aanwezig zijn boven de hier genoemde, waarbij de volgende maxima niet mogen worden overschreden: zwevend stof 2 mg/l; chloor 300 mg/l; natrium 180 mg/l; nitraat 11,2 mg N/l; barium 300 µg/.

4 Dit betreft de som van de concentraties van de in deze lijst genoemde bestrijdingsmiddelen, waarbij bepalingen waarvan het meetresultaat < detectiegrens is, een meetresultaat 0 wordt toegekend.

5 THM te bepalen als de som van de concentraties van chloroform, broomdichloormethaan, debroomchloormethaan en bromoform. Als een transportchloring wordt toegepast is het toegestane maximum 70 µg/.

6 Als een transportchloring wordt toegepast is het toegestane maximum 100 µg/.

BIJLAGE I.3

NORMEN LANDBOUWWATER

Bijlage I.3

Normen landbouwwater (Bron: Huinink, J.T.M. (1987) als referentie vermeld in |38|)

Omschrijving	Eenheid	Substraat	Overige glastuinbouw	Groente	Fruit	Akkerbouw	Grasland
Troebeling	mg SiO_x/l	750[1]	750[1]	750[1]	750[1]	750[1]	750[1]
KmnO-verbruik	mg/l	8	16	16			
Hardheid (totaal)	°D		12	12	12		
EC_{25}	mS/cm	1,0	1,5	1,5	1,7	2,7	2,7
Zuurgraad	pH	6,5 tot 8					
Cl	mg/l	50[4]	200	300	300	600	600
HCO_3	mg/l	250	250	180	250		
NO_2	mg/l						
NO_3	mg/l						
PO_4	mg/l						
S	mg/l	1,0[1]	1,0[1]	1,0[1]	1,0[1]	1,0[1]	1,0[1]
SO_4	mg/l						
Al	mg/l	5 bij pH < 5,5					
As	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ba	mg/l						
B	mg/l	0,3	0,6	1,0	1,0	2,0	1,0
Be	mg/l	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Br	mg/l	1,0	3,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Ca	mg/l	100	250				
Co	mg/l	0,05: met name bij pH < 5,5					
Cd	mg/l	0,01[2]	0,01[2]	0,01[2]	0,01[2]	0,01[2]	0,01[2]
Cu	mg/l	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Cr	mg/l	Totaal Cr: 1; zeswaardig Cr: 0,1					
F	mg/l	0,5	0,5	1,0 met name bij pH < 5,5			
Fe	mg/l	0,5	2,5[3]	2,5[3]	1	7	15
Hg	mg/l						
K	mg/l						
Li	mg/l	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Mg	mg/l	20					
Mn	mg/l	1	1	1			
Mn tot.	mg/l	0,5	1,5	2,0 met name bij pH < 5,5			
Mo	mg/l	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	mg/l	25	125	115			
NH_4	mg/l		2	2			
Ni	mg/l	0,2 met name bij pH < 5,5					
Pb	mg/l	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Se	mg/l	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Sn	mg/l						
Ti	mg/l	Nauwelijks opgenomen door plant; tolerantie niet bekend					
V	mg/l						
W	mg/l						
Zn	mg/l	0,5	1,5	2,0 met name in humusarm materiaal en bij pH < 5,5			
Organoschloorpesticiden	mg/l						
Cholinesteraseremmers	mg/l						
Phenolen	mg/l						
Minerale oliën en vetten	mg/l						
Methyleenblauw-actieve stoffen	mg/l						
Faecale bacteriën	aantal/l	25000 (totaal) [1]					

1 risico voor verstopping van beregeningssproeiers en drinknippels.

2 bij continu gebruik: 0,0025.

3 bij beregening onder gewassen: 5 mg/l toelaatbaar; druppelaars en drinknippels verstoppen echter bij > 1 mg/l.

4 bij recirculatie (hergebruik van het water): 25.

Bovenstaande cijfers zijn attenderingswaarden voor de waterkwaliteit. Bij overschrijding (onderschrijding indien maxima zijn vermeld) is het schaderisico groot, zij het afhankelijk van interacties.

BIJLAGE I.4

GRENSWAARDEN VOOR HET BEOORDELEN VAN DRINKWATER VOOR VEE

Bijlage I.4 Grenswaarden voor het beoordelen van drinkwater voor vee (Bron: Gezondheidsdienst voor Dieren (1995) als referentie vermeld in |38|)

Stof	Eenheid	Herkauwers	Varkens	Pluimvee
Zuurgraad	pH	5 – 8	5 – 8	5 – 8
NH4	mg/l	< 2,0	< 1,0	< 1,0
NO2	mg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NO3	mg/l	< 100	< 100	< 25
Cl	mg/l	< 250	< 250	< 100
Na	mg/l	< 2000	< 1000	< 350
Fe	mg/l	< 0,5	< 0,5	< 0,5
Mn	mg/l	< 1,0	< 1,0	< 1,0
SO4	mg/l	< 100	< 100	< 100
Hardheid	°D	< 15	< 15	< 15
KmnO4-getal	mg/l	< 50	< 50	< 50
S	mg/l	< 0	< 0	< 0
E. coli	/ml	< 100	< 100	< 100
Totaal kiemgetal	/ml	< 100000	< 100000	< 100000

BIJLAGE II

VOORBEELDEN VAN ECOTECHNOLOGISCHE SYSTEMEN EN FACTSHEETS

II.1 ELBURG
II.2 EVERSTEKOOG
II.3 LAND VAN CUIJK
II.4 WATERPARK DE GROOTE BEERZE
II.5 SINT MAARTENSDIJK
II.6 KLATERWATER – DE EFTELING
II.7 KWEKELBAARSJES
II.8 EKEBY (ZWEDEN)
II.9 OVERIGE BUITENLANDSE MOERASSYSTEMEN VOOR NABEHANDELING VAN RWZI-EFFLUENT

In bijlage II wordt een overzicht gegeven van in Nederland en van enkele in het buitenland gerealiseerde Waterharmonica-achtige systemen.
Het zuiveringsmoeras van Elburg was een van de eerste toepassingen in Nederland. Wegens tegenvallende resultaten (en recent vanwege hoge natuurwaarden) is dit systeem ondertussen niet meer in gebruik.
De systemen van Everstekoog, Land van Cuijk, De Groote Beerze, Sint Maartensdijk, Klaterwater en het Kwekelbaarsjessysteem zijn recente systemen.

Tijdens het opstellen van dit rapport liepen er meerdere initiatieven voor nieuwe systemen. Deze zijn in de ontwerp- of opstartfase. Het gaat om systemen bij Wervershoof, Grou, Ootmarsum, Ameland, Gieten, Arnhem en Apeldoorn. In het overzicht op de volgende pagina zijn de belangrijkste karakteristieken van deze initiatieven gegeven.

Overzicht van Waterharmonica-initiatieven in Nederland per mei 2005

RWZI		**Status voorjaar 2005**	**Toelichting**
Locatie	**Capaciteit[1] (i.e.)**		
Ameland	19.000	Onderzoek naar haalbaarheid	Op Ameland wordt onderzocht of het mogelijk is om zoet effluent van de RWZI te gebruiken voor het beschermen van de zoetwatervoorraden, voor landbouwkundig gebruik en als lokstroom voor visintrek.
Apeldoorn	260.000	Verkennende studies zijn gereed. Verkrijgen van draagvlak.	Onderzocht wordt of het effluent van de RWZI in het gebied ten noorden van Apeldoorn kan worden gehouden in plaats van lozing via een lange persleiding op de IJssel. Het oprichten van een grootschalig vloeiveld is onderwerp van studie.
Arnhem	165.000	Probleemanalyse	Een optie voor het aanvullen van het stadswater in Arnhem Noord is het gebruik van RWZI-effluent. Deze optie wordt verkend.
Gieten	45.000	Verkennende studie	De kwaliteit van het effluent van RWZI Gieten heeft invloed op de eutrofiering van het Zuidlaardermeer. Verkend wordt welke mogelijkheden er zijn om de effluentkwaliteit te verbeteren.
Grou	18.000	Planvorming	In het kader Urban Water Cycle (Interreg North Sea Programme), 1e toepassing van “kwekelbaarsjes” systeem, combinatie van effluentpolishing, natuurbouw, vispaaiplaats, waterbuffer. In 2005 bestuurlijke besluitvorming. Deel van effluent.
Horstermeer	160.000	Voorbereiding onderzoek	RWZI Horstermeer is een locatie waar veel onderzoek naar effluentbehandeling zal plaatsvinden. Hierbij wordt ook gedacht aan Waterharmonica-toepassingen. Vergelijking “technische en natuurlijke methoden” voor behalen “KRW-kwaliteit”
Ootmarsum	11.500	Planvorming	RWZI Ootmarsum is een zuivering waar onderzoek wordt gedaan naar het vergaand verbeteren van de kwaliteit van het RWZI-effluent (MBR). Bij RWZI Ootmarsum bestaat het voornemen om een vloeiveld aan te leggen voor het (verder) verbeteren van de effluentkwaliteit.
Wervershoof	144.000	Haalbaarheidsonderzoek	De RWZI Wervershoof loost nabij zwemwater. In de zomerperiode moet worden gedesinfecteerd om de hoeveelheid pathogenen sterk terug te brengen. Onderzocht wordt of een grootschalig vloeiveld gebruikt kan worden om het water te desinfecteren.
Geestmerambacht	231.000	Eerste initiatief	Oriëntatiefase, mogelijke combinatie van proefproject Waterharmonica, baggerdepot, natuurbouw, recreatie.

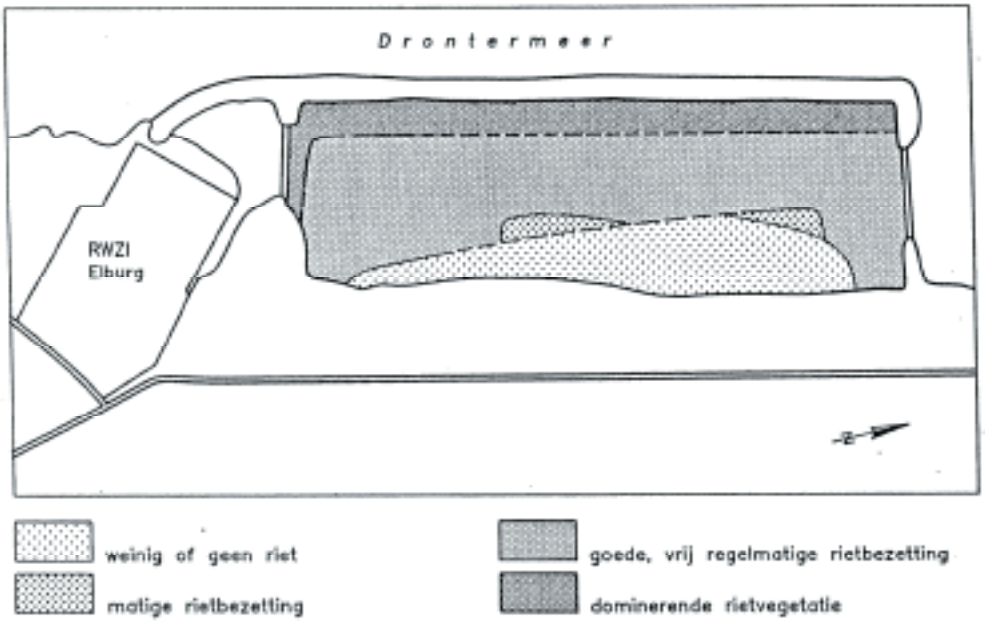
1 Ontwerpcapaciteit op basis van 54 g BZV per i.e.

BIJLAGE II.1
ELBURG

ACHTERGROND

In het kader van de bestrijding van eutrofiëring van de randmeren werd het in het midden van de jaren zeventig van de vorige eeuw wenselijk geacht aanvullende maatregelen te gaan treffen ter verbetering van de effluentkwaliteit van de rioolwaterzuiveringsinstallatie te Elburg. In 1977 is in het Drontermeer een met riet begroeid infiltratieveld aangelegd (zie figuur II.1), dat in juni 1978 voor het eerst met effluent is belast. In 1981 is het veld aangepast, omdat het de eerste jaren niet voldeed |35|. Het systeem is sinds 1994 niet meer in gebruik.

FIGUUR II.1 **PLATTEGROND VAN HET MOERASSYSTEEM BIJ RWZI ELBURG**



SYSTEEMBESCHRIJVING

Het effluent van een actief slib installatie met chemische fosfaatverwijdering werd naar een circa 15 ha groot moerassysteem geleid. Het moerassysteem was berekend op een zuiveringscapaciteit van 70.000 i.e.'s en had een initiële vloeistofbelasting van 7,5 cm/dag met pieken van meer dan 10 cm/dag, waarbij het systeem belast werd met 35 kg N en 1,5 kg P/ha.dag. Bij een in de beginsituatie gemiddelde diepte van 0,5m. tot 1,0m. was de hydraulische verblijftijd 7 tot 15 dagen. Het systeem bestond uit een voorbezinkbassin met een oppervlak van 1 ha en een met riet begroeid infiltratieveld van 14 ha. Tijdens de eerste bedrijfsperiode bleek echter dat de rietvegetatie niet goed tot ontwikkeling kwam door een te grote waterdiepte (1m). Tevens bleek de verblijftijd te kort voor een goede werking.
In de periode 1981-1983 is het filter opnieuw ingericht. Hierbij werd het infiltratieveld ondieper gemaakt, zodat het waterpeil 0,5 m boven maaiveld zou worden. Hierna kwam het rietveld goed tot ontwikkeling |35|.

RENDEMENTEN

In het begin was de fosfaatverwijdering erg laag, soms zelfs negatief. Dankzij jaarlijks maaien van het riet werd 3,2 kg P en 69 kg N/ha.jaar verwijderd, wat overeenkomt met maar 0,5% van de jaarlijkse belasting. De hoge totaal Kj-N/P verhouding van 20 tot 25 : 1, dankzij de chemische P-verwijdering bij de RWZI, zou een negatief effect gehad kunnen hebben op de groei van het riet. Normaal afvalwater heeft een totaal Kj-N/P verhouding van 4 : 1, die beter overeenkomt met de nutriëntenvraag van het riet.
In de periode 1984-1985, na de renovatie, is het veld opnieuw belast met effluent. De hydraulische belasting was in die periode gemiddeld 862 en 1771 m^3/ha.dag in respectievelijk 1984 en 1985. De resultaten van metingen staan in tabel II.1 |35|.

TABEL II.1 **ZUIVERINGSRENDEMENTEN VAN HET MOERASSYSTEEM BIJ RWZI ELBURG IN DE PERIODE 1984-1985**

Elburg		**1984**	**1985**	**Gem**
Oppervlak	m^2	150.000	150.000	150.000
Debiet	m^3/d	12.930	26.565	19.748
Hydraulische belasting	m^3/m^2.d	0,086	0,177	0,132
Hydraulische verblijftijd	d	ca. 6	ca. 6	ca. 6
Influent BZV	mg/l	11	28	20
Effluent BZV	mg/l	7	17	12
Influent CZV	mg/l	76	107	92
Effluent CZV	mg/l	55	83	69
Influent zwevend stof	mg/l	14	28	21
Effluent zwevend stof	mg/l	10	18	14
Influent N	mg/l	44	44	44
Effluent N	mg/l	38	43	41
Influent P	mg/l	1,88	2,42	2,15
Effluent P	mg/l	1,89	1,91	1,90
BZV belasting	g/m^2.d	0,95	4,96	2,95
CZV belasting	g/m^2.d	6,55	18,95	12,75
Zwevend stof belasting	g/m^2.d	1,21	4,96	3,08
N belasting	g N/m^2.d	3,79	7,79	5,79
P belasting	g P/m^2.d	0,16	0,43	0,30
BZV verwijdering	g/m^2.d	0,34	2,04	1,19
CZV verwijdering	g/m^2.d	1,81	4,25	3,03
Zwevend stof verwijdering	g/m^2.d	0,34	1,77	1,06
N verwijdering	g N/m^2.d	0,52	0,18	0,35
P verwijdering	g P/m^2.d	0,00	0,09	0,04
BZV verwijdering	%	36	41	39
CZV verwijdering	%	28	22	25
Zwevend stof verwijdering	%	29	36	32
N verwijdering	%	14	2	8
P verwijdering	%	-1	21	10

De verwijdering van BZV, CZV en zwevend stof zijn aan de lage kant, terwijl die van stikstof en fosfor vergelijkbaar zijn met andere vergelijkbare systemen. Door de hoge concentraties in het influent voldoen die in het effluent echter niet aan de normen. Met name de stikstofverwijdering is gering omdat er weinig nitrificatie optrad. De verblijftijd in de voorbezinksloot is te laag voor een goede verwijdering van zwevend stof.

LESSEN

De concentraties in het effluent van met name de nutriënten zijn veel te hoog. Het helofytensysteem is niet in staat om de concentraties te verlagen naar de gewenste waarden. Het ontbreken van een zuurstofrijk gedeelte in het systeem vertraagt de mineralisatie van organisch gebonden stikstof en de nitrificatie van ammonium. De stikstofverwijdering blijft hierdoor laag. Verwijdering van zwevend stof (en hieraan gelieerd BZV, CZV en particulair fosfor en stikstof) is laag, waarschijnlijk door te weinig bezinking in het voorbezinkbassin. De verwijdering van stikstof en fosfor (uitgedrukt in g/m².dag) is vergelijkbaar met andere open water moerassystemen, maar door de te hoge belasting met deze stoffen wordt de gewenste effluentconcentratie niet bereikt.
De hydrologie en dan met name de waterdiepte bleek van groot belang voor een goede groei van het riet. Een diepte van 1 m is te groot voor een goede ontwikkeling.

NATUURONTWIKKELING

Na de periode van 1978 tot 1994 waarin het effluent van RWZI Elburg in het moerassysteem in het Drontermeer werd nabehandeld, is het rietveld daarvoor niet meer gebruikt |35|. In opdracht van Rijkswaterstaat is in 2004 door Bureau Waardenburg een herinrichtingsplan voor het voormalige nazuiveringsveld opgesteld |47|. Na inventarisatie van de grote natuurwaarden in dit rietveld is in dit plan geadviseerd het moerassysteem niet weer geschikt te maken voor effluentnabehandeling. Aanbevolen wordt het gebied opnieuw in te richten en te beheren om de ecologische kwaliteit in het kader van de EHS als leef- en voortplantingsgebied voor moerasvogels, vissen en amfibieën te verhogen.

Naam systeem	Elburg
Type systeem	Met riet begroeid vloeiveld
Jaar van aanleg	1977

Aanlegkosten	€ 194.218
Onderhoudskosten per jaar	€ 13.550

Ontvangend oppervlaktewater	Drontermeer
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Meer

Oppervlakte	ha	15
Bodemtype		
Substraat		
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,13
Hydraulische verblijftijd	d	6

Jaar van metingen: 1984-1985	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV	20	12	3,0	1,2	40%
CZV	92	69	13	3,0	24%
Zwevend stof	21	14	3,1	1,1	34%
Totaal-stikstof	44	41	5,8	0,3	6%
Totaal-fosfor	2,2	1,9	0,30	0,04	15%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd					
Cr					
Cu					
Ni					
Pb					
Zn					
	#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli					
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem

Het systeem werd aangelegd met het doel stikstof en fosfor te verwijderen uit het rwzi effluent teneinde eutrofiëring tegen te gaan in de randmeren.

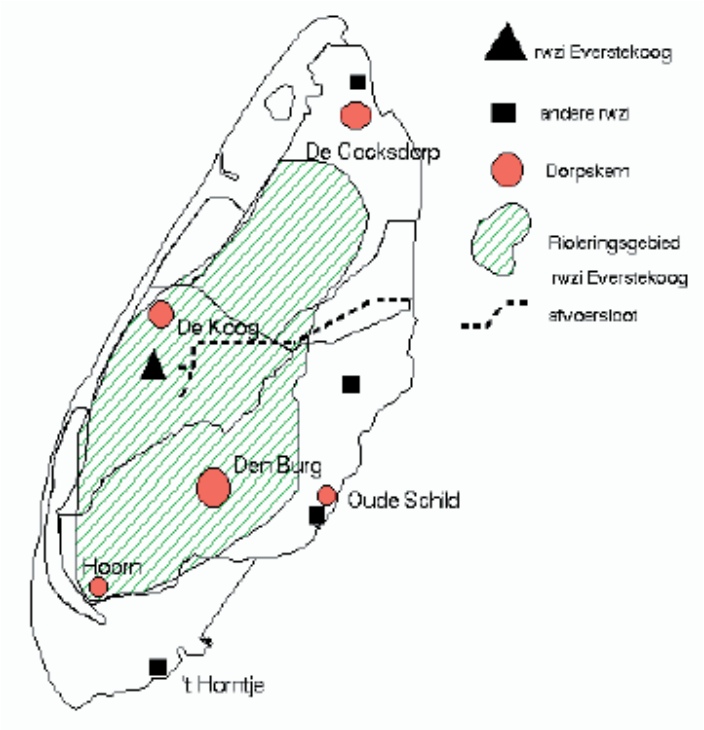
Bijzonderheden

Door de te hoge belasting van het systeem voldeed het niet aan de verwachtingen. Concentraties van stikstof en fosfor in het effluent van het moerassysteem bleven veel te hoog.

BIJLAGE II.2
EVERSTEKOOG[1]

ACHTERGROND

FIG. II.2 PLATTEGROND VAN TEXEL



Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier beheert vijf RWZI's op Texel (zie figuur II.2). Het effluent hiervan wordt geloosd op het schaarse binnenwater van Texel. Tijdens droge periodes, als er weinig water naar de Waddenzee afgevoerd wordt, wordt het oppervlaktewater weinig ververst. De effluenten van de RWZI's zijn dan een belangrijke bron van zoet water. De kwaliteit van het effluent is echter onvoldoende om een goede kwaliteit van het oppervlaktewater te bereiken.
Bij RWZI Everstekoog is in 1994 een moerassysteem aangelegd om op praktijkschaal met helofyten en waterplanten het effluent van de RWZI te gaan nabehandelen, zodat de biologische en fysisch-chemische kwaliteit van het effluentwater verbeterd wordt alvorens dit te lozen op het oppervlaktewater: zie figuur II.3. De volgende motivering is hierbij aangegeven:

- het ontbreken van grote goed doorspoelbare wateren op Texel, waarop effluent geloosd kan worden;
- de aanwezigheid van veel natuurgebieden (functie Natuur), die vaak andere eisen stellen aan de kwaliteit van het water dan de Algemene Milieukwaliteit;
- de belasting van de RWZI is door het toerisme in de zomer ruim twee maal zo hoog als in de winter. Juist in de zomer werken moerassystemen goed;
- constructies voor het nazuiveren van effluent moeten goed inpasbaar zijn in het Texelse landschap;
- een moerassysteem is goed ecologisch inpasbaar. Het sluit aan bij de manier waarop in ecosystemen processen van zelfreiniging en vastlegging plaatsvinden;

- afvoer van het effluent kan bij een goede desinfectie langs de dorpskern van Den Burg worden gevoerd en benut worden voor verdrogingsbestrijding in de Gemeenschappelijke Polders.

SYSTEEMBESCHRIJVING

Het moerassysteem is opgebouwd uit drie compartimenttypen:

1 voorbezinkbassin
2 helofytencompartiment
3 waterplantencompartiment

FIG. II.3 **LUCHTFOTO RWZI EVERSTEKOOG**

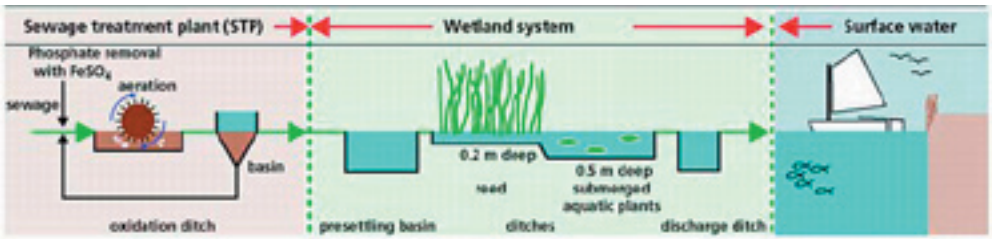


In het voorbezinkbassin wordt het effluent van de RWZI geloosd via 4 lozingspunten ter voorkoming van valse of overheersende stroomrichtingen. Hier kan al een groot deel van het zwevend stof (inclusief zuiveringsslib) bezinken. Dit bezinkbassin zorgt ook voor een eerste opvang van zuiveringsslib bij een calamiteit op de RWZI en is gemakkelijk schoon te maken. Vanuit het voorbezinkbassin worden 8 helofytencompartimenten en één blanco compartiment geleidelijk voorzien van water. Deze compartimenten (sloten) zijn daarom parallel geschakeld en hebben een lengte van ongeveer 150 meter en een breedte van 6,3 tot 7,0 meter. De sloten bestaan uit een ondiep deel (0,2 meter) met helofyten (vier sloten met riet en vier sloten met lisdodde) en een dieper deel met ondergedoken en drijvende waterplanten. In de laatste sloot zijn geen planten aangeplant (de blanco). In het diepe deel van de sloten kan de zuurstofritmiek worden hersteld. Het water uit de sloten wordt verzameld in een verzamelsloot van 120 meter lang en 7 meter breed, voordat afvoer naar de polder plaatsvindt.

Figuur II.4 geeft een schematisch overzicht van het systeem

De totale inhoud van het systeem is 7143 m³, de hydraulische verblijftijd bedraagt bij dwa-aanvoer 2,1 dagen en bij een gemiddelde aanvoer 1,8 dagen. Bij een hoge aanvoer wordt water voor de overstorten opgestuwd, waardoor de inhoud 1000 tot 1500 m³ groter kan worden (dit is ongeveer 20%). Het debiet van de RWZI is sterk variabel. Er treden zowel seizoensfluctuaties als dagfluctuaties op. Gemiddeld was het debiet in de periode 1995 t/m maart 1998 3534 m³/dag. De mediaan was 3036 m³/dag.

FIG. II.4 SCHEMATISCH OVERZICHT VAN HET SYSTEEM VAN EVERSTEKOOG



BEHEER EN ONDERHOUD

Tijdens een vier jaar durend onderzoek zijn verschillende methoden van onderhoud op het moerassysteem toegepast. Er is onderscheid gemaakt in het onderhoud van het watersysteem en onderhoud van de droge infrastructuur.

ONDERHOUD DROGE INFRASTRUCTUUR

De dijkjes en dammen van het systeem zijn ingezaaid met Engels raaigras dat eenmaal werd gemaaid in de zomer, meestal in de maand juli of augustus. In de loop van de tijd ontwikkelde de grasmat zich tot een bloemrijke berm. Er zijn ook schapen ingezet voor het kort houden van de vegetatie, maar de nadelen, veel mest en ongelijkmatige begrazing, wogen niet op tegen de voordelen van een maaibeurt in de zomer. Tijdens
deze maaibeurt werden ook de taluds van de sloten gemaaid, omdat eind juli, begin augustus al veel vegetatie in het water hing en daar voor beschaduwing of rotting zorgde.

ONDERHOUD NATTE INFRASTRUCTUUR

Riet en Lisdodde werden steeds ca. 10 cm boven de waterlijn gemaaid (in 1996 werd Lisdodde echter eenmalig tot vlak boven de waterbodem gemaaid, hetgeen leidde tot vrij grootschalig afsterven van de planten). Het maaisel werd afgevoerd. In principe werden Riet en Lisdodde in het najaar gemaaid, maar in de praktijk van het onderzoek zijn soms andere momenten gekozen. Bij wijze van uitzondering is het Riet in 1995 in de winter (januari 1996) gemaaid, om het rietbestand de gelegenheid te geven zich optimaal te ontwikkelen. In 1996 zijn Riet en Lisdodde in december gemaaid, om het lisdoddebestand volledig de gelegenheid te geven reservestoffen op te slaan. In 1997 werden Riet en Lisdodde in oktober gemaaid. In oktober wordt de meeste N en P met de biomassa afgevoerd. Uit de massabalansen is gebleken dat dit weinig bijdraagt aan het totale rendement van het moerassysteem. Lisdodde moet in elk geval voor november gemaaid worden omdat het gewas later “ineenstort” en daardoor moeilijk te maaien is.
Voor een gezond rietbestand is het aan te bevelen het riet 1x per jaar te maaien. Er is wel meer vrijheid in de maaidatum. Vroeg maaien heeft het voordeel dat meer N en P wordt afgevoerd. Eerder dan oktober moet worden vermeden in verband met nog aanwezige broedvogels als

Kleine Karekiet. In de loop van de herfst transporteert Riet voedingstoffen naar het wortelstelsel. Bovendien droogt het gewas tot een droog
stofgehalte van meer dan 80% in, waardoor de hoeveelheid maaisel afneemt.
In 1997 is ca. 30% van de waterplanten gemaaid en verwijderd, omdat in dit jaar enkele sloten met massale ontwikkeling van kroos hadden te kampen. Tijdens deze maaibeurt is flap en kroos verwijderd door in de maaikorf enkele lagen fijn kippengaas te leggen.

Het Riet langs het voorbezinkbassin is in 1996 gemaaid in de winter. Om de hoeveelheid overwinterende watervogels wat te beperken in verband met het feit dat het voorbezinkbassin op Texel het laatste van alle grotere wateren dichtvriest, is maaien de daaropvolgende jaren achterwege gelaten. De oude rietkraag belemmert het uitzicht van de watervogels, waardoor zij de plas minder aantrekkelijk vinden. Lagere dichtheden watervogels worden nagestreefd in verband met voorziene schade aan de naburige graslanden. Het oude riet langs het voorbezinkbassin veroorzaakt echter ook overlast door verstopping van de overstorten naar de sloten. Het is van belang een goede balans te vinden tussen maaien van het riet en voldoende laten staan om massale aantrekking van wintergasten te voorkomen.

ONDERHOUD IN DE WINTER

In de winter van 1995/96 trad ijsvorming op. De ijsvorming ontstond later en verliep trager dan in de omringende poldersloten door de gemiddeld hogere temperatuur van het effluent. Daardoor kon afvoer door het moerassysteem vrij lang gehandhaafd blijven. De toevoer van effluent is gestaakt toen het moerassysteem volledig was dichtgevroren, omdat het ijs een te grote belemmering vormde voor een ongehinderde afvoer van het effluent. De toevoer is ca. anderhalve maand gestaakt en in maart 1996 hervat. In 1996, 1997 en 1998 heeft het moerassysteem permanent effluent ontvangen, omdat de winters zacht genoeg waren.

De resultaten kort samengevat

- Dijkjes en taluds maaien in juli of augustus
- Waterplanten maaien/uitdunnen bij hoge kroosdichtheid, kroos verwijderen in augustus
- Lisdodde maaien in oktober, Riet als optimale N en P verwijdering het doel is. Anders niet later dan februari.
- Toevoer staken bij compleet dichtvriezen

RENDEMENTEN

In de periode van 1996 – 1998 is het functioneren van het moerassysteem uitgebreid onderzocht door Sylvia Toet in het kader van haar promotie-onderzoek . In haar proefschrift |51| wordt uitgebreid ingegaan op de verwijdering van nutriënten, zware metalen en pathogenen (*E.coli*) en de zuurstofhuishouding van het systeem.

Het moerassysteem, vooral het waterplantencompartiment, brengt een robuuste zuurstofritmiek voort met hoge oververzadiging overdag en een korte zuurstofarme periode ‘s nachts. De zuurstofritmiek ontbreekt in het effluent van de RWZI. Kroosbedekking brengt de zuurstofritmiek tot stilstand, maar verwijdering van de krooslaag heeft vrijwel onmiddellijk herstel tot gevolg. De zuurstofritmiek sluit goed aan bij de situatie in het ontvangend oppervlaktewater, waar geen kroosontwikkeling optreedt. In het moerassysteem zelf is slechts eenmaal een krooslaag in enkele sloten van het systeem opgetreden.

Reeds bij betrekkelijk korte verblijftijd (2 dagen) in het moerassysteem wordt al een goede desinfectie van het effluent bereikt (10 E.coli/ml). Bij een verblijftijd van 3 dagen of meer wordt het gehalte aan darmbacteriën vergelijkbaar met wat in oppervlaktewater wordt gevonden (< 1/ml). In de winter was de verwijdering van E. coli minder goed dan in de overige seizoenen. Bij de betrekkelijk korte verblijftijden die in het onderzoek werden toegepast was de verwijdering in rietcompartimenten beter dan in lisdoddecompartimenten of in compartimenten zonder helofyten.

De aanvoer van stikstof uit de RWZI bedroeg 6400 kg N/jaar (4886 kg N/ha.jaar).Stikstofverwijdering treedt gedurende het gehele jaar op, maar is in de zomermaanden het grootst. Zowel ammonium als nitraat worden verwijderd. Er is een duidelijke verbetering in de verwijdering te zien bij grotere verblijftijd in het systeem. Bij een verblijftijd van 10 dagen is het ammonium- en nitraatgehalte in het effluent constant laag (<0,5 mg/l).
Het denitrificatieproces is het belangrijkste stikstofverwijderende proces in het systeem bij een verblijftijd van 2 dagen of meer. Dit vindt vooral plaats in het perifyton dat zich op bodem en onderwaterdelen van de helofyten ontwikkelt. Via dit proces wordt ca. 60 kg N/j aan het systeem ontrokken. Afvoer van biomassa via maaien van helofyten draagt in geringe mate bij aan de verwijdering van stikstof (23 kg N/j). De meeste stikstof wordt verwijderd via infiltratie en accumulatie in de bodem van voorbezink-bassin en sloten (ca. 180 kg N /j). Uit berekeningen van de water- en massabalans blijkt dat het moerassysteem in totaal 1250 kg N/ha/j (26%) verwijdert bij een verblijftijd van ca. 2,1 dag. Bij een verblijftijd van ca. 10 dagen neemt de verwijdering van N toe tot ca.67% bij rietsloten en tot ca. 59% bij lisdoddesloten.
Gesteld kan worden dat de gevonden stikstofverwijdering in absolute zin hoog is, zeker wanneer de lage beginconcentraties in aanmerking worden genomen. Veel helofytenfilters die met ruw afvalwater belast worden komen niet verder dan 1000 kg N/ha/j.

De aanvoer van fosfor uit de RWZI bedroeg 930 kg/jaar (709 kg P $ha^{-1}.jaar^{-1}$). Fosforverwijdering treedt slechts in geringe mate op. Hoewel in najaar en winter netto fosfor wordt verwijderd door het moerassysteem, vindt in voorjaar en zomer bijna evenveel nalevering plaats. Er wordt ca. 65 kg P /ha/j verwijderd, dit is ongeveer 8% van de aanvoer. Deze verwijdering is ook gering in vergelijking met literatuurgegevens. De meeste verwijdering vindt plaats in het voorbezinkbassin, waarschijnlijk door bezinking of filtering door watervlooien van fijn zwevend slib. De relatief korte verblijftijd in het systeem is zeer waarschijnlijk de belangrijkste factor voor het ontbreken van vastlegging van P in het systeem. Maar ook hier speelt waarschijnlijk de reeds lage beginconcentratie in het effluent van de RWZI (0,5 mg/l) een rol bij de verwijderingsefficiëntie. Net als bij stikstof vindt de belangrijkste vastlegging in de bodem plaats door sedimentatie en accumulatie (ca. 60 kg P/j). Het maaien en afvoeren van biomassa draagt voor ca. 4 kg P/ j bij aan de verwijdering. Er wordt op jaarbasis ongeveer 8% verwijderd bij een verblijftijd van 2,1 dag. Bij een vergroting van de verblijftijd tot ca.10 dagen neemt de het verwijderingspercentage toe tot ca. 11%. Ondanks de verwachting dat het moerassysteem substantieel zou bijdragen aan de verlaging van het zwevend stofgehalte en de CZV is gebleken dat beide parameters in concentratie toenemen na passage door het moerassysteem. Deze zwevende stofparadox bleek opgelost te kunnen worden door naar de aard en kwaliteit van het zwevend stof te kijken. Die is geheel verschillend van de kwaliteit van het zwevend stof in het effluent van de RWZI. Het zwevend stof van het moerassysteem bestaat uit plantenresten en algen, precies zoals het ontvangende oppervlaktewater; het zwevend stof van de RWZI bestaat uit zeer kleine actief slibvlokken met de bijbehorende bacterieflora. Het is niet waarschijnlijk dat het zwevend stof concentraties bereikt die voor het ontvangend oppervlaktewater negatieve effecten oplevert.

Een nadere beschouwing over met name de verwijdering van stikstof en fosfor in het systeem is gegeven in § 4.2.2 van het hoofdrapport.

RENDEMENT SAMENGEVAT

De effecten van het moerassysteem op het effluent van de RWZI zijn onderzocht in een 4-jarig onderzoek tussen 1995 en 1999. De eigenschappen van het effluent van de RWZI zijn karakteristiek voor een laagbelaste installatie. Aan de lozingseisen voor fosfor, stikstof, CZV, BZV en onopgeloste bestanddelen wordt ruimschoots voldaan. Toch is de zuurstofvraag van het effluent nog van dien aard dat zuurstofloosheid in het oppervlaktewater tot op 2 km afstand van het lozingspunt op het kleine oppervlaktewater water optreedt. Afgezien van de negatieve effecten op levende organismen heeft dit ook tot gevolg dat het rendement van de chemische desinfectie, die op de RWZI wordt toegepast beperkt is door nalevering uit de waterbodem. Het onderzoek heeft aangetoond dat het mogelijk is om het effluent te veranderen in bruikbaar oppervlaktewater met een normale zuurstofhuishouding met zeer lage E. coli aantallen. Hoewel het water uit het moerassysteem relatief meer zwevend stof bevat dan het effluent van de RWZI, is het helder en reukloos geworden. Tevens is aangetoond dat ook bij relatief korte verblijftijd nog stikstof werd verwijderd (ca. 26% gemiddeld per jaar). De onderzochte range van verblijftijden gaf aan dat fosforverwijdering marginaal is onder de gegeven omstandigheden (ca. 8%).

LESSEN

Door het inzetten van het moerassysteem tussen de RWZI en het ontvangende oppervlaktewater wordt het water natuurlijker. De zuurstofhuishouding heeft een natuurlijk verloop gekregen, micro-organismen en actief slib uit de RWZI worden verwijderd en een natuurlijker ecosysteem wordt opgebouwd. Daarnaast wordt in bescheiden mate stikstof verwijderd.
De verwijdering en vastlegging van nutriënten verloopt min of meer lineair met de verblijftijd in het systeem. Bij een verblijftijd van 10 dagen zijn de ammonium- en nitraatgehalten permanent lager dan 0,5 mg N/l. Ook de desinfectie is van de verblijftijd afhankelijk. Voor de verwijdering van E. coli is een verblijftijd van 4 dagen voldoende.

Het ontwerp van het systeem is gemaakt op basis van een aantal overwegingen. In de praktijk moest blijken of deze ook voldeed. Na de ingebruikname bleek dat:

- het ontwerp eenvoudig en goed beheersbaar is;
- de verblijftijd (2,1 dagen) zoals deze gerealiseerd is, eigenlijk te kort is voor een goede stikstof- en E. coliverwijdering. Een verblijftijd van minimaal 4 dagen is aan te bevelen, zoals bleek uit periode 2 toen het systeem met verschillende verblijftijden is getest;
- de sloten niet in de goede richting liggen, omdat ze evenwijdig liggen aan de heersende windrichting. Stuwing zorgt voor een onevenwichtige verdeling van water over de helofytensloten;
- de verdeling tussen een helofyten en openwater gedeelte nog niet optimaal is. Systemen die meerdere helofyten- en open watergedeelten hebben presteren over het algemeen beter. Wellicht is recirculatie een mogelijkheid om het systeem beter te laten presteren.

NEVENFUNCTIES

Het vogelleven

Veel moerassystemen in de wereld zijn vermaard om hun watervogels. Knight (1997) geeft aan hoe de functies van afvalwaterzuivering en natuur op een eenvoudige en logische wijze gecombineerd kunnen worden. Er zijn voorbeelden van “constructed wetlands”, die een

nevengebruik als recreatieterrein hebben en voorzien zijn van schuilhutten en uitzichttorens voor waarnemingen van het dierenleven in het moeras.
In tabel II.2 wordt een overzicht gegeven van de broedvogels die in het moerassysteem voorkomen. Lepelaars worden er regelmatig voedselzoekend gezien en in 2004 is een ijsvogel gesignaleerd.

TABEL II.2 **BROEDVOGELS IN HET MOERASSYSTEEM EVERSTEKOOG IN 1997 EN 1998**

Vogelsoort	Aantal 1997	Aantal 1998	Vogelsoort	Aantal 1997	**Aantal 1998**
Kuifeend	≥ 4	5	Tureluur	1	-
Slobeend	3	3	Meerkoet	≥ 3	≥ 5
Wilde eend	≥ 9	?	Waterhoen	2	≥ 1
Krakeend	2	4	Gele Kwikstaart	1	-
Stormmeeuw	1	-	Kleine Karekiet	12	≥ 7
Scholekster	2	1-2			

Berging
Dankzij de bufferende werking van het systeem krijgt het ontvangende oppervlaktewater een constantere toevoer vanuit het systeem. Als de aanvoer van de RWZI naar het moerassysteem wordt stopgezet, blijft het moerassysteem water afvoeren totdat de waterniveaus gelijk staan met de niveaus van de overstortranden van de stuwen (‘nulsituatie’). Het volume van het systeem is dan 7.143 m3.

De fluctuaties in de compartimenten zijn niet zo groot geweest. In periode 1 varieerde de waterdiepte aan het begin van de sloten van 15 tot 20 cm; aan het eind van de sloten was dit 45 tot 50 cm. In periode 0 en 1 kwam het regelmatig voor dat de waterstanden ongeveer 5 cm hoger waren dan de overstorthoogten (gemiddelde
situatie). De extra waterberging in de sloten ten opzichte van de ‘nulsituatie’ is 9,5 % (680 m^3 bovenop 7.143 m3). Bij een grote aanvoer van de RWZI konden de waterstanden meer dan 10 cm stijgen ten opzichte van de ‘nulsituatie’ (met een maximum van 13 cm). Er was dan een berging van ca. 19,4% ten opzichte van de ‘nulsituatie’.

Naam systeem	Everstekoog
Type systeem	Helofytensloten met een ondiep (0,2 m) en een diep deel (0,4 - 0,7 m)
Jaar van aanleg	1994

Aanlegkosten	€ 250.000
Onderhoudskosten per jaar	€ 22.000

Ontvangend oppervlaktewater	Sloot
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Sloot

Oppervlakte	ha	1,3
Bodemtype		zand
Substraat		zand
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,24
Hydraulische verblijftijd	d	2,24

Jaar van metingen: 4/96 - 4/97	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV					
CZV					
Zwevend stof					
Totaal-stikstof	5,5	4,1	1,34	0,34	25,6%
Totaal-fosfor	0,80	0,74	0,19	0,015	7,8%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd	0,3	0,1	0,073	0,049	67%
Cr					
Cu	5	2	1,2	0,7	60%
Ni	5	4	1,2	0,2	20%
Pb					
Zn	35	25	8,5	2,4	29%
	#/ ml	#/ ml			%
E. coli	1000	10			99,0%
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem

1. Verbetering van de ecologische kwaliteit van het water.
2. Zoet water voor verdrogingsbestrijding en doorspoeling.
3. Extra zuivering in de zomer als de rwzi door toerisme zwaar wordt belast.
4. Zuiveringsmoeras is goed inpasbaar in landschap.
5. Desinfectie van het RWZI-effluent

Bijzonderheden

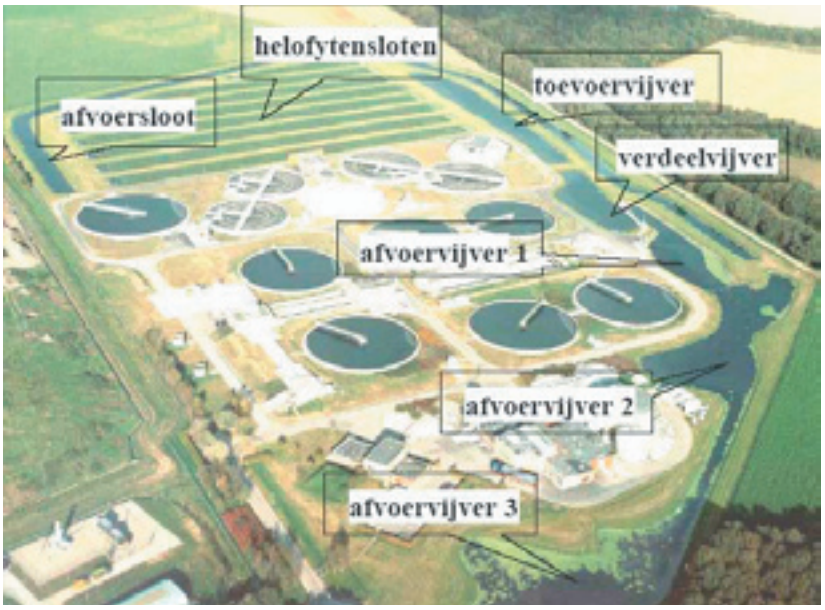
Het systeem was behalve voor de zuivering ontworpen om experimenten mee te doen om de werking van moerassystemen beter te leren begrijpen.
Vier sloten zijn beplant met riet, vier met lisdodde en een is onbegroeid. In de diepere delen van de riet- en lisdoddesloten groeien ondergedoken en drijvende waterplanten.

BIJLAGE II.3
LAND VAN CUIJK

ACHTERGROND

RWZI Land van Cuijk is fors uitgebreid en aangepast. De mechanische zuivering is geheel vernieuwd en de biologische zuivering is omgebouwd. Het streven was om fosfaat zoveel mogelijk op een biologische manier te verwijderen.

FIG. II.5 LUCHTFOTO RWZI LAND VAN CUIJK



Naast de ombouw van de zuivering is een moerassysteem aangelegd (figuur II.5) om het effluent van de RWZI na te zuiveren alvorens het wordt geloosd op oppervlaktewater. Dit water levert een bijdrage aan de verdrogingsbestrijding in het gebied van het Land van Cuijk |32|.

SYSTEEMBESCHRIJVING

Het moerassysteem is geënt op het moerassysteem van Everstekoog en is een laagbelast systeem van 3,9 ha groot. Het bestaat uit zes lange en twee korte helofytensloten met riet, twee vijvers met waterplanten (klein kroos, waterpest, tenger fonteinkruid en sterrenkroos) en enkele vijvers en sloten voor transport en distributie van water. Het effluent van de RWZI komt eerst in de verdeelvijvers terecht. Van daaruit wordt een gedeelte richting de helofytensloten en de waterplantenvijvers gevoerd, om vervolgens ingelaten te worden in de Laarakkerse Waterleiding. Het overtollige water wordt via afvoervijver 1 afgevoerd naar de Maas |32|. Meestal gaat deze lozing via afstroming; bij grote afvoer en/of hoge waterstanden in de Maas wordt met een waterbeheersingsgemaal actief verpompt.

De helofytenvijvers zorgen voor sedimentatie, flocculatie, vorming van biofilms, afbraak door de biofilms en omzettingsprocessen in de wortelzones. Hierdoor wordt stikstof en in geringe mate fosfor verwijderd. Begrazing door watervlooien (*Daphnia*) verandert de samenstelling van het zwevend stof en desinfecteert. De vijvers met ondergedoken waterplanten brengen voornamelijk een natuurlijke zuurstofritmiek terug in het water. In het gehele systeem vindt infiltratie plaats, waardoor diverse stoffen in de toplaag van de bodem worden vastgelegd. Door de passage van water door het systeem verandert de samenstelling van het zwevend stof van kleine actiefslibvlokken in plantenresten en algen.

De diepten, oppervlakten en volumes van de verschillende compartimenten staan in tabel II.3.

TABEL II.3 **DIEPTEN, OPPERVLAKTEN EN VOLUMES VAN DE VERSCHILLENDE COMPARTIMENTEN VAN HET MOERASSYSTEEM VAN HET LAND VAN CUIJK |33|**

Onderdeel	diepte (m)	oppervlakte (m^2)	volume (m^3)
verdeelvijver	2	1.100	2.200
toevoervijver	2	3.300	6.300
7 helofytensloten	0,5	18.200	9.100
afvoersloot	2	5.300	10.500
afvoervijver 1	2	1.500	3.100
afvoervijver 2	1	3.500	3.500
afvoervijver 3	1	5.600	5.600
gehele systeem		38.500	40.300
verdeelvijver en afvoervijver 1		2.600	5.300
helofytensloten en afvoervijvers		35.900	35.000

RENDEMENTEN

Tijdens de periode van monitoring is het debiet naar het moerassysteem aangepast. Op 12 juni 2002 is het debiet verhoogd van 200 m^3/uur naar 350 m^3/uur om aan de grotere waterbehoefte van de Laarakkerse Waterleiding te voldoen. Begin 2003 is het debiet opgevoerd naar 400 m^3/u, later is deze teruggebracht tot 350-370 m^3/u. In tabel II.4 is de hydraulische belasting over de monitoringperiode van 2001-2003 weergegeven.

TABEL II.4 **HYDRAULISCHE BELASTING HELOFYTENSLOTEN IN 2001-2003**

	2000-2001		2001-2002		2002-2003	
	winter	zomer	winter	zomer	winter	**zomer**
Debiet door helofytensloten (m^3/d)	14157	6677	5962	6115	8760	8660
Verblijftijd (d)	2,5	5,2	5,9	5,7	4,0	4,0
Belasting (mm/d)	364	172	153	157	225	223

Een samenvatting van de zuiveringsprestaties van het moerassysteem (verdeelvijver, toevoervijver, helofytensloten, afvoersloot, afvoervijver 2 en afvoervijver 3) staat in tabel II.5.

Vanaf de zomer van 2001 werd voor stikstof een rendement van 25-30% bereikt. In de winter van 2002-2003 zakte dit rendement naar 8% om in de zomer van 2003 op 20% uit te komen. Het iets lagere zuiveringsrendement van eind 2002 tot en met de zomer van 2003 is wellicht het gevolg van een iets zwaardere hydraulische belasting in het 3e monitoringjaar. Ook bij de zuiveringsrendementen berekend op basis van vrachten, resulteert de toename in de hydraulische belasting (van 250 naar 360 m^3/u) in een afname van de rendementen (van 40 naar 30%). De rendementen en mediane concentraties voor totaal-N zijn opgenomen in tabel II.5. De gevonden zuiveringsrendementen voor N zijn daarmee vergelijkbaar met de laagste of lager dan zuiveringsrendementen van 26-67% die bij Everstekoog voor stikstof zijn gevonden. Bij de passage van het effluent door het moerassysteem wordt niet alleen de concentratie in het effluent verlaagd, maar de pieken in de concentraties worden ook afgevlakt |33|.

Voor fosfaat (Ptotaal) bleek het zuiveringsrendement op 20-40% te liggen. Voor P lijkt de toename van de hydraulische belasting niet tot een afname van het rendement, op basis van vracht is er zelfs een toename waarneembaar. De zuiveringsrendementen zijn overigens

duidelijk hoger dan de 8-11% die bij Everstekoog zijn gevonden. Het verschil tussen de gemeten concentraties voor Ptotaal in het naar de Laarakkerse Waterleiding afgelaten water en in het effluent van de nabezinktank is significant.

TABEL II.5 MEDIANE CONCENTRATIES (MG N/L, MG P/L OF MG/L) EN VERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN HET MOERASSYSTEEM LAND VAN CUIJK |33|

Parameter	2000-2001		2001-2002		2002-2003	
	winter*	zomer	winter	zomer	winter	zomer
N-totaal nabezinktank	7,6	6,7	7,8	7,3	7,9	7,6
N-totaal effluent moerassysteem	9,6	4,9	5,4	5,0	7,3	6,0
Verwijdering N-totaal	-26%	27%	31%	32%	8%	21%
P-totaal nabezinktank	0,53	0,40	0,54	0,53	0,47	0,57
P-totaal effluent moerassysteem	0,77	0,26	0,34	0,53	0,36	0,43
Verwijdering P-totaal	-45%	35%	37%	0%	23%	25%
CZV nabezinktank	40	46	46	51	53	47
CZV effluent moerassysteem	43	44	36	46	45	43
Verwijdering CZV	-7%	4%	22%	10%	14%	9%
Zwevend stof nabezinktank	10	6	5	6	5	**
Zwevend stof effluent moerassysteem	14	5	1	3	2	**
Verwijdering zwevend stof	-40%	17%	78%	50%	60%	**

* meetwaarden onbetrouwbaar, omdat monsterapparaat bij effluent op verkeerde diepte zat.

** door verandering detectielimiet naar 4 mg/l is deze analyse niet representatief

Uit metingen in 2003 net benedenstrooms de helofytensloten mag voorzichtig worden geconcludeerd dat de meeste P en N reeds in de helofytensloten wordt verwijderd en dus niet (meer) in de waterplantenvijvers. Uit onderzoek naar vrachten moet daarbij worden geconcludeerd dat maar een beperkte hoeveelheid nutriënten in het riet zelf gaat zitten (1-3%). Ongeveer 10-20% van de belasting verdwijnt via wegzijging naar de waterbodem en het grondwater. In het grondwater worden overigens geen verhoogde concentraties van nutriënten en metalen gevonden, waardoor de meeste nutriënten toch in de waterbodem en de groei van bacteriemateriaal, epifitische diatomeeën et cetera zullen worden vastgelegd. Een groot gedeelte van de stikstof verdwijnt als stikstofgas (denitrificatie).
Voor CZV (Chemisch Zuurstof Verbruik) en zwevende stof vinden ook duidelijke afnamen plaats. Voor CZV komen in de loop der jaren verwijderingsrendementen van 5 tot 20% voor, met een lichte afname in 2003. Voor zwevende stof is de spreiding tussen de jaren en de seizoenen groter, van 0 tot 80% met een gemiddeld verwijderingsrendement van 40%.
Het zwevende stof is na passage van de helofytensloten duidelijk van samenstelling veranderd. Uit de nabezinktank komt vooral actief slib met bacteriën terwijl er in de waterplantenvijvers vooral plantenresten en (draad)algen voorkomen. Naast reductie van nutriëntengehalten is het terugbrengen van een meer natuurlijke zuurstofdynamiek een belangrijke functie van het moerassysteem. In de loop der jaren is de monitoring hier meer specifiek op gericht (in 2001 en 2002 slechts incidenteel, in 2003 een uitgebreide meetcampagne). Er blijkt een duidelijke afname van het zuurstofgehalte en de dynamiek te signaleren bij het doorlopen van de helofytensloten. In deze ondiepe sloten daalt het zuurstofgehalte door oxidatieprocessen sterk. De (waterplanten)vijvers brengen de natuurlijke dag-nacht-ritmiek echter goed terug. Ook in de zomer van 2003, waarin de waterplanten maar beperkt en langzaam opkwamen, wordt toch “natuurlijk“ water gecreëerd.

LESSEN

De belangrijkste bijdrage van het moerassysteem aan verbetering van de waterkwaliteit is het inbrengen van een natuurlijke zuurstofritmiek en hogere organismen in het water en het vervangen van actief slibdeeltjes door dood organisch materiaal van algen en planten. Verwijdering van stikstof (rond 30%) en van fosfor (20%) zijn volgens verwachting. De stikstof-

en fosforconcentraties in het effluent voldoen niet aan de MTR-normen. Ook CZV verwijdering treedt nauwelijks op, zwevend stof wordt voor meer dan 50% verwijderd.
Voor het beheer zijn de volgende aanbevelingen gedaan:

- de hydraulische belasting in de helofytensloten en waterplantenvijvers dient rond de 250 m^3/uur te bedragen;
- pieken dienen te worden afgevoerd naar afvoervijver 1;
- het riet dient jaarlijks te worden gemaaid in de winter (januari of februari);
- bij extreme kroosvorming dient dit verwijderd te worden;
- het aanslaan van ondergedoken waterplanten in de afvoervijvers dient jaarlijks in de gaten te worden gehouden en eventueel versterkt door nieuwe aanplant;
- de monitoring voor de Wvo en de Wm dienen voortgezet te worden.

NEVENFUNCTIES

De RWZI Land van Cuijk is fors uitgebreid en aangepast. Het effluent van deze nieuwe zuivering wordt geloosd op oppervlaktewater dat is ingericht als een helofytensysteem. Vanuit dit systeem wordt een deel van het water het binnengebied ingeleid om zodoende een bijdrage te leveren in de verdrogingsbestrijding in het gebied van het Land van Cuijk. Het helofytensysteem is voor deze doelstelling qua grootte uniek in Nederland en vertegenwoordigt, zeker na verloop van tijd, een mooi stukje natuur.

Naam systeem	Land van Cuijk
Type systeem	Rietsloten en vijvers
Jaar van aanleg	1999

Aanlegkosten	€ 1.385.160 exclusief grondaankopen
Onderhoudskosten per jaar	€ 15.000 - € 20.000

Ontvangend oppervlaktewater	Laarakkerse Waterleiding
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Laaglandbeek

Oppervlakte	ha	3,85
Bodemtype		
Substraat		
Hydraulische belasting	mm/d	221
Hydraulische verblijftijd	d	4,0

Jaar: 2001-2003 (gemiddeld)	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV					
CZV	49,3	42,5	9,33	1,28	14%
Zwevend stof	5,3	2,0	0,95	0,59	63%
Totaal-stikstof	7,7	5,9	1,45	0,33	23%
Totaal-fosfor	0,53	0,42	0,10	0,02	21%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd					
Cr					
Cu					
Ni					
Pb					
Zn					
	#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli					
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem
Nazuiveren rwzi-effluent: verdere verlaging van N en P. Verdrogingsbestrijding: het water in het moerassysteem infiltreert gedeeltelijk in de bodem.

Bijzonderheden
In de helofytensloten staat riet. De vijvers zijn begroeid met klein kroos, waterpest, tenger fonteinkruid en sterrenkroos. Inbrengen van een natuurlijk zuurstofregime en hogere organismen blijken belangrijke bijdragen aan de verbetering van de ecologische waterkwaliteit. Actief slibdeeltjes worden vervangen door dood organisch materiaal van planten en algen.

BIJLAGE II.4
WATERPARK DE GROOTE BEERZE

ACHTERGROND

FIG. II.6 **LUCHTFOTO VAN RWZI HAPERT**



Om aan de afnameverplichtingen en de verregaande eisen voor totaal-stikstof en totaal-fosfor te kunnen voldoen, is de RWZI Hapert aangepast en uitgebreid. De RWZI was verouderd en te klein geworden. Hierdoor traden er te veel overstorten op en waren de concentraties van stikstof en fosfor te hoog. Door de strengere eisen aan het effluent en het toekennen van een natuurfunctie aan de Beerze, waarop de RWZI loost, en benedenstroomse natuurgebieden, bleek aanpassing noodzakelijk. Sinds april 2001 is de nieuwe uitgebreide RWZI in bedrijf, die nu een verwerkingscapaciteit heeft van 2500 m^3/u in plaats van 1600 m^3/u. Tegelijk met de uitbreiding en vernieuwing van de RWZI zijn zowel ten noorden als ten zuiden van het terrein rietvelden en moerasbossen aangelegd voor verdere nazuivering van het effluent tot nog gezonder en natuurlijker water. Daarnaast werd de bochtige loop van de beek de Beerze hersteld. Het aangelegde 8 ha grote gebied vormt 'Waterpark Groote Beerze' (zie figuur II.6) en fungeert niet alleen als nazuivering, maar ook als buffer voor piekafvoeren van de RWZI, als deel van de EHS en als wandelgebied.

SYSTEEMBESCHRIJVING

Een overzicht van het systeem staat in de factsheet. Het systeem bestaat uit een voorbezinking, riet- en biezenvelden, een verzamelvijver (geldt alleen voor noord) en een moerasbos. Zoals in figuur II.7 te zien is, bestaat het systeem uit twee gescheiden gedeelten. Het noordelijke deel heeft een rietsysteem, terwijl het zuidelijke deel een biezenveld heeft. De verzamelvijver in het noordelijke deel treedt op als extra buffer en bevordert tevens de nitrificatie en sedimentatie. 2/3 deel van het totale RWZI-effluent stroomt door dit deel en 1/3 door het zuidelijke. Nadat het water zich een baan door de moerasbossen (figuur II.8) heeft gewerkt wordt het geloosd op de meander die aangelegd is in het kader van de EHS. Dankzij deze meandering worden piekafvoeren van de Beerze opgevangen en krijgt het een natuurlijker karakter.

FIG. II.7 **SCHEMATISCH OVERZICHT MOERASSYSTEEM HAPERT**

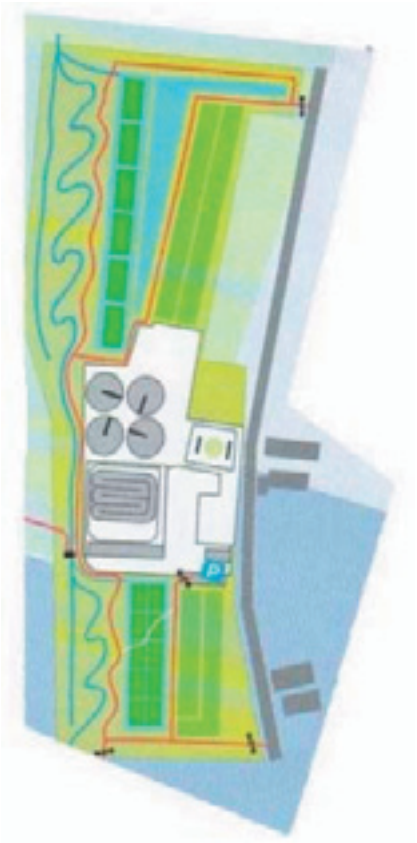
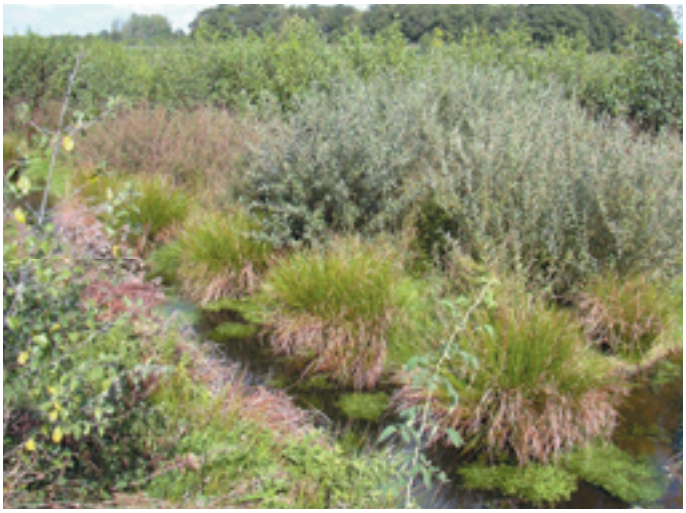


FIG. II.8 **MOERASBOS HAPERT**



BEHEER EN ONDERHOUD

Over het algemeen heeft het moerassysteem weinig onderhoud nodig. Wel worden de vloeivelden ééns in de drie jaar gemaaid waarbij opgeslagen nutriënten in de planten afgevoerd worden. Daarnaast heeft de aangelegde meander door de slappe grondsoort de neiging om dicht te groeien waardoor de watergang regelmatig opgeschoond dient te worden.

RENDEMENTEN

Een overzicht van de eigenschappen en de werking van het systeem is weergegeven in tabel II.6 en II.7 |48||49|.

De concentraties in het effluent van de RWZI zijn lager dan waar bij het ontwerp in 1998 van is uitgegaan. De RWZI zuivert dus beter dan verwacht. Met name de concentraties van BZV en zwevend stof zijn zeer laag. Het moerasbos in het noordelijk deel zuivert mede hierdoor niet goed na, concentraties van zwevend stof, stikstof en fosfor zijn in het effluent hoger dan in het influent. De hoge concentraties van zwevend stof in het moerasbos in het zuidelijk deel zijn te wijten aan bemonstering en afvoer van kroos en geven geen goed beeld van de werking van het systeem. Verwijdering van stikstof en fosfor in de rietsloot, biezenveld en moerasbos zuid zijn hoog in vergelijking met de overige besproken systemen (tabel II.6). Zoals ook bij andere zuiveringsmoerassen (zie hoofdrapport onder Nutriëntenverwijdering in § 4.2.2) is waargenomen, treedt in de zomer nalevering van ammoniumstikstof en fosfor op (tabel II.7).

TABEL II.6 EIGENSCHAPPEN EN WERKING VAN HET MOERASSYSTEEM BIJ RWZI HAPERT (BRON |48|)

Systeem		Groote Beerze "Noord"		Groote Beerze "Zuid"	
Jaar ingebruikname		2001 (april)	2001	2001 (april)	2001
Meetperiode		2002	2002	2002	2002
Type		rietsloot	moerasbos	biezenveld	moerasbos
Oppervlak	m²	8400	14250	6075	7200
Hydr. Volume	m³	3192	4009	2552	2395
Debiet	m³/d	13824	13824	10886	10886
Dagen belast	d	365	365	365	365
Hydr. Bel.	m³/m².d	1,65	2,76	1,79	2,50
Hydr. Verblijftijd	d	0,23	0,29	0,23	0,22
Influent BZV	mg/l	<3	< 3	<3	< 3
Effluent BZV	mg/l	< 3	<< 3	< 3	<< 3
Influent CZV	mg/l	31		31	
Effluent CZV	mg/l				
Influent zwevend stof	mg/l	3,7	2,8	3,7	2,8
Effluent zwevend stof	mg/l	2,4	3,3	2,5	17,9
Influent N-Kj	mg/l	3,4	3,2	3,4	3,2
Influent NO2/3-N	mg/l	3	2,7	3	2,7
influent N-totaal	mg/l	6,4	5,9	6,4	5,9
Effluent NH4-N	mg/l	1,3	1,1	1,4	1,4
Effluent N-Kj	mg/l	2,9	3,3	2,9	3,2
Effluent NO2/3-N	mg/l	2,3	2,7	2,2	1,8
Effluent N-totaal	mg/l	5,2	6	5,1	5
Influent P-Ortho	mg/l	0,23	0,27	0,23	0,25
Effluent P-ortho	mg/l	0,31	0,27	0,26	0,21
Influent P-tot	mg/l	0,45	0,43	0,45	0,43
Effluent P-tot	mg/l	0,41	0,47	0,40	0,40
BZV belasting	g/m².d	< 4,94	< 8,28	< 5,38	< 7,5
CZV belasting	g/m².d	51,08	<< 8,28	55,55	<< 7,5
Zwevend stof belasting	g/m².d	6,10	7,72	6,63	7,00
N belasting	g N/m².d	10,55	16,28	11,47	14,75
P belasting	g P/m².d	0,74	1,19	0,81	1,08
BZV verwijdering	g/m².d				
CZV verwijdering	g/m².d				
Zwevend stof verwijdering	g/m².d	2,14	-1,38	2,15	-37,75
N verwijdering	g N/m².d	1,98	-0,28	2,33	2,25
P verwijdering	g P/m².d	0,07	-0,11	0,09	0,07
BZV verwijdering	%				
CZV verwijdering	%				
Zwevend stof verwijdering	%	54	-15	48	-84
N verwijdering	%	19	-2	20	15
P verwijdering	%	9	-9	11	7

TABEL II.7 WERKING VAN HET MOERASSYSTEEM BIJ RWZI HAPERT IN ZOMER VAN 2004 (BRON |49|)

situatie	locatie	NH_4-N (mg/l)		NO_3-N (mg/l)		PO_4-P (mg/l)	
		hand	auto	hand	auto	hand	auto
DWA 1	eff rwzi (aut. meng)	0,05	nvt	2,89	nvt	0,05	nvt
DWA 2	eff rwzi (hand)	0,04	nvt	6,39	nvt	0,05	nvt
RWA 1	eff rwzi (auto/hand)	0,1	0,16	0,21 (u)	0,22 (u)	0,14	0,46 (u)

(u) -----> onder meetbereik
(o) -----> boven meetbereik
noord
zuid

LESSEN

In 2004 is het functioneren van het moerassysteem nader onderzocht, waarbij ook de hydraulische aspecten zijn meegenomen |49|. Uit het onderzoek bleek dat het systeem hydraulisch sterk is overbelast. De verblijftijden van alle secties van de helofytenvelden Noord en Zuid vallen veel lager uit dan de voor een goed rendement van dergelijke systemen aan te raden verblijftijd van minimaal drie dagen.

Gebleken is verder dat de gelijk veronderstelde debieten van secties ZO en ZW grote verschillen vertoonden. Dit komt door een verschil in ontwerp. Sectie ZO is aanzienlijk groter en heeft daardoor een kleiner verhang dan sectie ZW, waardoor het debiet in deze laatste sectie groter is dan in sectie ZO.

Uit de in dat onderzoek uitgevoerde verblijftijdspreidingmetingen met behulp van lithiuminjecties kwam verder naar voren dat er zich in drie secties dode ruimtes bevinden (zie tabel II.8) en er in sectie ZO sprake is van kortsluitstroming. Zowel de aanwezigheid van dode ruimtes als het optreden van kortsluitstroming hebben een negatief effect op de zuiveringsprestaties van het systeem.

TABEL II.8 RESULTATEN VAN VERBLIJFTIJDDSPREIDINGMETINGEN VAN HET MOERASSYSTEEM BIJ RWZI HAPERT |49|

Kenmerk	Sectie ZW	Sectie ZO	Sectie NO	Sectie NW
Li geïnjecteerd (g)	786	1.146	1.637	1.637
Li teruggevonden (%)	49,76	68,73	225,29	127,99
theoretische verblijftijd (u)	18,53	22,13	17,08	16,80
werkelijke verblijftijd (u)	15,42	27,50	16,07	13,62
Spreiding	0,14	0,03	0,07	0,12
dode ruimte (%)	16,78	-24,25	5,94	18,98
Kortsluitstroming	nee	ja	nee	nee

Het systeem van de Groote Beerze is een te hoog belast systeem: de belasting met CZV, zwevend stof, stikstof en fosfor in kg/ha.jaar is veel hoger dan in de overige hier besproken systemen. De verwijdering van stikstof en fosfor is volgens verwachting (ongeveer 8% reductie). Omdat het de metingen dateren van 1 jaar na de opstart en met name het moerasbos nog niet goed ontwikkeld is, zijn de gepresenteerde getallen wellicht niet representatief voor de werking van het systeem op de langere termijn.
Het aanplanten van mattenbies in het zuidelijk deel van het systeem bleek geen succes. Deze soort werd al snel verdrongen door grote lisdodde, die nu dominant is. In het noordelijk deel is riet aangeplant en deze soort gedijt daar goed. De planten zijn alle aangeplant in paperpots en deze methode werkte goed: nagenoeg 100% van de planten is aangeslagen.
In het zuidelijk deel ligt het maaiveld van het voorste deel van het moerasbos 30 cm hoger dan het maaiveld van het achterste deel. Aangebrachte stenen om voor de opstuwing van het water te zorgen functioneerden niet goed. Hierdoor staat steeds 1 deel van het moerasbos te droog of het andere deel te nat. Beter ware het geweest als het gehele moerasbos dezelfde maaiveldhoogte had gehad. Zwarte els en grauwe wilg, de soorten die in de moerasbosdelen zijn aangeplant, gedijen goed.

NEVENFUNCTIES

Naast nazuiveren van RWZI effluent heeft het moerassysteem de volgende functies:

1. Waterberging: het opvangen van regenwaterpieken en deze vertraagd op de Beerze te lozen.
2. Realisatie van een deel van de Ecologische Hoofdstructuur door het hermeanderen van een deel van de Beerze.
3. Recreatief medegebruik. Wandelpaden en informatiepanelen maken een aangename route mogelijk.

WATERBERGING/BUFFER

Door pieklozingen spoelen kleine insecten weg en wordt de balans verstoord. Daarom werd gezocht naar een mogelijkheid om het water langer vast te houden. Die mogelijkheid is gerealiseerd door de aanleg van een stelsel van slootjes en een moerasbos afgeschermd door een kade. Tevens werd een kronkelende nieuwe bedding voor de Beerze gegraven waardoor de beek nu weer door het landschap slingert. De oude rechtgetrokken bedding bestaat nog wel en ligt er nog gewoon langs. Is er sprake van een piek in de waterafvoer, dan kan de voormalige rechte bedding van de Beerze als overloop of 'bypass' gebruikt worden. Waar de oude en de nieuwe loop splitsen, is een drempel gemaakt die ervoor zorgt dat het water bij weinig aanvoer door de nieuwe meanders stroomt. Alleen als er sprake is van verhoogde wateraanvoer, dan kan het water over die drempel door de oude bedding stromen. Het nieuwe gebied kan wel 30.000 m^3 water vasthouden. Zo wordt overlast beperkt en natuur gespaard.

EHS

Binnen het stroomgebied van de Beerze liggen verschillende grote geïsoleerde natuurgebieden. De Beerze vormt in feite de verbinding tussen deze gebieden en is daarom aangewezen als ecologische verbindingszone en op die manier onderdeel van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS). Door middel van het vastleggen van de EHS wordt - door overheid en natuurbeheerders - gewerkt aan de bescherming en herstel van waardevolle gebieden. Uitwisseling van flora en fauna tussen de gebieden wordt daardoor mogelijk, terwijl versnippering van het landschap kan worden tegengegaan.

RECREATIE EN NATUUR

Ten zuiden van Waterpark Groote Beerze, die zelf ook een bescheiden recreatieve functie vervult, wordt natuurpark Groote Beerze van de gemeente Bladel aangelegd. De wandelpaden van het natuurpark en waterpark (figuur II.9) sluiten op elkaar aan, en er kan dus vrij over het gebied gewandeld worden. Rond het terrein van de RWZI is echter wel een hek aangebracht. Op het terrein van het waterpark bevindt zich ook een informatiebord met uitleg over de werking en de aanleg van het park. Er zijn ook mogelijkheden voor natuureducatie. Er zijn inmiddels al bijzondere planten- en diersoorten te vinden en het plaatsen van een Fig. II.9: Pad door moerasbos bij RWZI Hapert observatiehut behoort tot de mogelijkheden voor de toekomst.



Naam systeem	De Groote Beerze (rwzi Hapert) Noord
Type systeem	Rietsloten, vijver en moerasbos
Jaar van aanleg	2001

Aanlegkosten	€ 574.059	(noord en zuid)
Onderhoudskosten per jaar	€ 3.633	(noord en zuid)

Ontvangend oppervlaktewater	Beerze
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Laaglandbeek

Oppervlakte	ha	1,5 (rietsloten)	0,5 (vijver)	1,5 (moerasbos)
Bodemtype		zand		
Substraat		zand		
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,92		
Hydraulische verblijftijd	d	0,29		

Jaar van metingen: 2002	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV	<3	<< 3	< 2,77		
CZV	31		28,61		
Zwevend stof	3,7	3,3	3,41	1,20	35%
Totaal-stikstof	6,4	6	5,91	1,11	19%
Totaal-fosfor	0,45	0,47	0,42	0,04	9%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd					
Cr					
Cu					
Ni					
Pb					
Zn					
	#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli					
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem
1. Verwijdering van N en P
2. Waterberging
3. Realisatie van een deel van de Ecologische Hoofdstructuur
4. Recreatief medegebruik

Bijzonderheden
In 2002 was het systeem nog erg jong. Met name het moerasbos is nog niet goed ontwikkeld. Hierdoor is nog geen goede inschatting te maken van de werkelijke zuiveringspotentie van het moerasbos.

Naam systeem	De Groote Beerze (rwzi Hapert) Zuid		
Type systeem	Helofytensloten met lisdodde en moerasbos		
Jaar van aanleg	2001		
Aanlegkosten	€ 574.059	(noord en zuid)	
Onderhoudskosten per jaar	€ 3.633	(noord en zuid)	
Ontvangend oppervlaktewater	Beerze		
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Laaglandbeek		
Oppervlakte	ha	0,9 (helofytensloten)	1,6 (moerasbos)
Bodemtype		zand	
Substraat		zand	
Hydraulische belasting	m³/m².d	1,54	
Hydraulische verblijftijd	d	0,22	

Jaar van metingen: 2002	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV	<3	<< 3	< 4,61		
CZV	31		47,68		
Zwevend stof	3,7	17,9	5,69	2,15	38%
Totaal-stikstof	6,4	5,0	9,84	2,33	24%
Totaal-fosfor	0,45	0,40	0,69	0,090	13%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd					
Cr					
Cu					
Ni					
Pb					
Zn					
	#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli					
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem
1. Verwijdering van N en P
2. Waterberging
3. Realisatie van een deel van de Ecologische Hoofdstructuur
4. Recreatief medegebruik

Bijzonderheden
In 2002 was het systeem nog erg jong. Met name het moerasbos is nog niet goed ontwikkeld. Hierdoor is nog geen goede inschatting te maken van de werkelijke zuiveringspotentie van het moerasbos.
Kroosontwikkeling zorgde met name voor een hoog rendement voor verwijdering van stikstof en fosfor.

BIJLAGE II.5
SINT MAARTENSDIJK

ACHTERGROND

FIG. II.10 **LUCHTFOTO VAN RWZI SINT MAARTENSDIJK**



Ten noorden van de kern Sint Maartensdijk zijn twee projecten uitgevoerd, te weten de uitbreiding van de RWZI Sint Maartensdijk en een landinrichtingsproject in het kader van de ruilverkaveling. De ver-/nieuwbouw van de RWZI vindt plaats in het kader van schaalvergroting, uitbreiding van de hydraulische en biologische capaciteit en het verbeteren van de effluentkwaliteit.

De RWZI is op 14 januari 2000 officieel geopend. Het landinrichtingsproject ter plaatse bestaat uit landschapsbouw, de RWZI wordt aan de west- en zuidzijde als het ware ingepakt in een dorpsbos annex boomweidegebied. Ten noorden van de RWZI is een perceel vrijgekomen dat als bestemming landschapselement heeft, te weten groenvoorziening en waterpartijen met een medefunctie recreatie. Het perceel bleek uitstekend geschikt te zijn voor de aanleg van een helofytenfilter voor de nabehandeling van het effluent van de nieuwe RWZI (figuur II.10). Hiertoe is een samenwerking gestart en een projectgroep opgericht met medewerkers van Provincie Zeeland, Staatsbosbeheer, Dienst Landelijk Gebied, Gemeente Tholen en Waterschap Zeeuwse Eilanden.

DOELSTELLING

De doelstellingen voor de aanleg van het helofytenfilter voor Waterschap Zeeuwse Eilanden zijn:

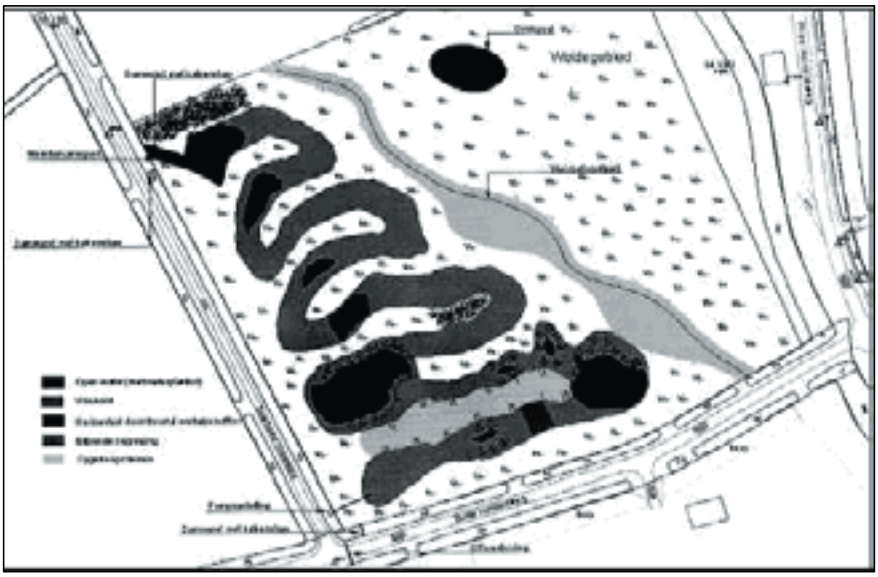
- verbeteren van de effluentkwaliteit ten aanzien van nutriënten;
- inzicht verkrijgen in de werking van een helofytenfilter.

De gezamenlijke doelstelling van bovengenoemde organisaties is verfraaiing van de inrichting van het terrein. Het geheel dient een natuurlijke uitstraling te hebben. De kennis die wordt opgedaan kan (mogelijk) worden doorvertaald naar toekomstige uitbreidingen en/of nieuwbouw van RWZI's.

ONTWERP

Er is een inventarisatie gemaakt van toegepaste helofytenfilters voor de nabehandeling van effluent in Nederland. Hieruit bleek dat op dat moment in Nederland twee werkende filters waren (RWZI Everstekoog en RWZI Kaatsheuvel) en één in de ontwerpfase is (RWZI Land van Cuijk). In opdracht van het waterschap Zeeuwse Eilanden werd door adviesbureau Colsen BV uit Hulst een ontwerp opgesteld op basis van een vloeiveld in combinatie met een horizontaal doorstroomd wortelzonefilter (zie figuur II.11). In het vloeiveld wordt organische stof geoxideerd evenals nog aanwezig ammonium, waarbij het water de specifieke geur en kleur van effluent verliest waardoor een natuurlijker water ontstaat. In het horizontaal doorstroomd wortelzonefilter, zal voornamelijk nitraat worden verwijderd. Fosfaat wordt voornamelijk verwijderd door de opname in de helofyten. De verwachte effluentkwaliteit van het helofytenfilter benadert de streefwaarde voor stikstof in oppervlaktewater van 4 mg/l die binnen Waterschap Zeeuwse Eilanden wordt gehanteerd. Het natte oppervlak van het helofytenfilter beslaat circa 1 hectare. Het effluent wordt vanuit de effluentsloot met een pomp het helofytenfilter ingevoerd. De hoeveelheid effluent die in het helofytenfilter wordt gepompt kan worden geregeld evenals de waterdiepte. Verfraaiing van het terrein wordt gerealiseerd door het aanleggen van een weidegebied, een voetpad, open (stromend) water en gedeeltelijke permanente begroeiing (schuilplaats voor wild).

FIG. II.11 **ONTWERP HELOFYTENFILTER RWZI SINT MAARTENSDIJK**



UITVOERING

In de effluentsloot is op twee plaatsen een damwand aangebracht om het waterpeil plaatselijk te verhogen, zodat er voor de voedingspomp altijd een voldoende hoeveelheid effluent aanwezig is. De maximale hoeveelheid water die kan worden ingevoerd in het helofytenfilter is 3.000 m^3/d. De waterdiepte kan gevarieerd worden tussen 20 en 50 cm in het vloeiveld, door middel van een damwand met balkenstuw aan het einde van het helofytenfilter.

Als niet permanente, te oogsten begroeiing voor het vloeiveld is riet aangeplant, waarvoor is gekozen omdat deze waterplant aan de volgende criteria voldoet:

- goede beschikbaarheid in de omgeving;
- groot aantal stengels per m²;
- dicht en diep wortelstelsel;
- grote weerstand tegen omvallen van de stengels;
- grote weerstand tegen variaties in chemische belasting (bijv. pH-schommelingen).

De permanent begroeide stukken in het helofytenfilter zijn beplant met een combinatie van helofyten als riet, mattebies en lisdodde. In de stukken open water zijn waterplanten (hydrofyten) aangebracht als aarvederkruid, hoornblad en smalle waterpest. Het horizontaal doorstroomd wortelzonefilter is beplant met riet. Het wortelzonegedeelte is gevuld met gebroken puin dat beschikbaar kwam bij de sloop van enkele procesonderdelen van de oude RWZI. De rietbeplanting is zoveel mogelijk betrokken van maai- en delfwerkzaamheden in de nabijheid van het terrein, zodat geen rietstekken hoefden te worden aangeschaft.

RENDEMENTEN

In de factsheet aan het eind van deze bijlage II.5 zijn enkele zuiveringsrendementen weergegeven voor het hele systeem. Voor BZV is deze 12%, voor totaal-stikstof 16% en voor totaalfosfor 40%. In het systeem wordt een kleine hoeveelheid CZV geproduceerd.

Tabel II.9 laat de eigenschappen en rendementen van de verschillende onderdelen en twee jaren zien. Opvallend hierin is, dat de fosforverwijdering beter is in 2002 dan in 2001, terwijl de belasting met fosfor groter is. In 2001 wordt 0,05 g P/m².dag verwijderd en in 2002 0,25 g P/m².dag. De BZV verwijdering is in 2002 een stuk kleiner dan in 2001, terwijl in 2002 de belasting lager is dan in 2001.

TABEL II.9 **EIGENSCHAPPEN EN WERKING VAN HET MOERASSYSTEEM BIJ SINT MAARTENSDIJK**

Systeem		**2001**	**2001**	**2002**	**2002**	**2001**	**2002**
Type		Wortelzonefilter	Helofytenfilter	Wortelzonefilter	Helofytenfilter	Hele systeem	Hele systeem
Oppervlak	m²	150	10000	150	10000	10150	10150
Hydr. Volume	m³	125	10000	125	10000	10125	10125
Debiet	m³/d	2400	2400	2400	2400	2400	2400
Dagen belast	d	continu	continu	continu	continu	continu	continu
Hydr. Bel.	m³/m².d	16	0,24	16	0,24	0,24	0,24
Hydr. Verblijftijd	d	0,05	4	0,05	4	4	4
Influent BZV	mg/l	4,10	2,21	2,52	2,10	4,10	2,52
Effluent BZV	mg/l	2,21	2,47	2,10	2,21	2,47	2,21
Influent CZV	mg/l	44,8	42,3	44,3	45,2	44,8	44,3
Effluent CZV	mg/l	42,3	42,5	45,2	46,3	42,5	46,3
Influent zwevend stof	mg/l	5	7	4	4	5,4	4
Effluent zwevend stof	mg/l	7	8	4	7	8	7
Influent N	mg/l	12,9	12,3	8,7	8,3	12,9	8,7
Effluent N	mg/l	12,3	11,1	8,3	7,3	11,1	7,3
Influent P	mg/l	1,43	1,39	2,63	1,07	1,43	2,63
Effluent P	mg/l	1,39	1,22	1,07	1,57	1,22	1,57
BZV belasting	g/m².d	65,60	0,53	40,32	0,50	0,97	0,60
CZV belasting	g/m².d	716,80	10,15	708,80	10,85	10,59	10,47
Zwevend stof belasting	g/m².d	86,40	1,68	64,00	0,96	1,28	0,95
N belasting	g N/m².d	206,40	2,95	139,36	1,99	3,05	2,06
P belasting	g P/m².d	22,88	0,33	42,08	0,26	0,34	0,62
BZV verwijdering	g/m².d	30,24	-0,06	6,72	-0,03	0,39	0,07
CZV verwijdering	g/m².d	40,00	-0,05	-14,40	-0,26	0,54	-0,47
Zwevend stof verwijdering	g/m².d	-25,60	-0,24	0,00	-0,72	-0,61	-0,71
N verwijdering	g N/m².d	9,60	0,29	6,56	0,24	0,43	0,33
P verwijdering	g P/m².d	0,64	0,04	24,96	-0,12	0,05	0,25
BZV verwijdering	%	46	-12	17	-5	40	12
CZV verwijdering	%	6	0	-2	-2	5	-5
Zwevend stof verwijdering	%	-30	-14	0	-75	-48	-75
N verwijdering	%	5	10	5	12	14	16
P verwijdering	%	3	12	59	-47	15	40

Naam systeem	Sint Maartensdijk
Type systeem	Horizontaal doorstroomd wortelzonefilter gevolgd door vloeiveld
Jaar van aanleg	2000

Aanlegkosten	€ 53.000
Onderhoudskosten per jaar	€ onbekend

Ontvangend oppervlaktewater	waterloop (sloot)
Watertype ontvangend oppervlaktewater	licht brak

Oppervlakte	ha	1,0
Bodemtype		klei/veen
Substraat		-
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,24
Hydraulische verblijftijd	d	4

Jaar van metingen: 2002		Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen		mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV		2,52	2,21	0,60	0,07	12%
CZV		44,3	46,3	10,47	-0,47	-5%
Zwevend stof		4	7	0,95	-0,71	-75%
Totaal-stikstof		8,7	7,3	2,06	0,33	16%
Totaal-fosfor		2,63	1,57	0,62	0,25	40%
		ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd	ongefiltreerd / gefiltreerd	<0,3 / <0,3	<0,3 / <0,3			
Cr	ongefiltreerd / gefiltreerd	12,3 / 8,1	3,0 / 3,0			
Cu	ongefiltreerd / gefiltreerd	4,6 / 4,0	5,8 / 2,5			
Ni	ongefiltreerd / gefiltreerd	6,4 / 6,0	9,4 / 6,4			
Pb	ongefiltreerd / gefiltreerd	3,0 / 2,0	3,0 / 3,0			
Zn	ongefiltreerd / gefiltreerd	46,8 / 35,9	35,4 / 28,0			
		#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli		258300	32400			13%
Thermotolerante E. coli		35400	7000			20%
F-specifieke fagen						

Doelstelling systeem

Nazuivering van rwzi-effluent, met name terugbrengen van stikstof- en fosforconcentraties. Daarnaast recreatief medegebruik en natuurontwikkeling.

Bijzonderheden

Door gebrek aan financiële middelen is het vloeiveld maar voor 50% aangeplant. Verder komt in grote delen de vegetatie langzaam tot ontwikkeling.

NEVENFUNCTIES

Behalve nabehandeling van RWZI-effluent heeft het terrein een recreatieve functie. In oorsprong was het de bedoeling een bos te realiseren op het terrein waar nu het zuiveringsmoeras ligt. Omwonenden wilden echter geen bos dat hun uitzicht zou belemmeren. Om de omwonenden in deze tegemoet te komen en het terrein anders in te richten en nuttig te gebruiken is het zuiveringsmoeras gerealiseerd. Het terrein ziet er nu uit als een open gebied met waterpartijen en rietmoerassen en is toegankelijk voor publiek.

LESSEN

Wegens beperkte financiële middelen is bij de aanleg besloten om niet het gehele moeras met riet in te planten. Ongeveer 50% is daadwerkelijk ingeplant. Dit heeft tot gevolg gehad dat in de niet-ingeplante delen de vegetatie slecht tot ontwikkeling is gekomen.
Daarnaast is de vegetatie in het wortelzonesysteem slecht aangeslagen, waarschijnlijk vanwege een te hoog waterpeil.

Hoewel het waterschap het project als toonaangevend pilotpoject heeft ingezet heeft het thans een lage priorteit.

BIJLAGE II.6
KLATERWATER - DE EFTELING

ACHTERGROND

Voor aanvulling van wegzijgend water uit de waterpartijen op de Efteling gebruikte dit attractiepark (figuur II.12) in het verleden grondwater. Omdat gebruik van grondwater zoveel mogelijk beperkt moet worden om verdroging tegen te gaan, is de Efteling in samenwerking met de Provincie Noord-Brabant en Hoogheemraadschap West-Brabant op zoek gegaan naar een alternatief.

FIG. II.12 **WILDWATERBAAN IN RECREATIEPARK DE EFTELING**



Vlak bij de Efteling ligt RWZI Kaatsheuvel en deze RWZI leek een goede bron voor water. Het effluentwater was echter nog niet geschikt voor direct gebruik, omdat het niet voldoet aan de richtlijnen voor zwemwater. Dit is wel nodig, omdat de bezoekers van de Efteling in aanraking komen met het water. Ook blauwalgenbloei is vanuit het gezichtspunt van volksgezondheid ongewenst, omdat deze organismen toxinen produceren die schadelijk kunnen zijn voor mens en dier. Om deze reden was het gewenst om ook de belasting met nutriënten terug te dringen.

In 1997 is een rietinfiltratieveld aangelegd, dat gevoed wordt met effluent van de RWZI. Dit water stroomt via het infiltratieveld en via drie plassen op de golfbaan van de Efteling naar het attractiepark. Het Waterharmonica systeem bestaat dus uit een infiltratieveld en drie plassen die in serie zijn geschakeld. In dit schakelsysteem vindt een dermate goede nazuivering plaats, dat het water aan de normen voldoet.

Ondanks de nazuivering in het helofytenfilter bleef het fosfaatgehalte in het water echter te hoog. Dit veroorzaakte ongewenste blauwalgenbloei in de vennen. Om meer fosfaat uit het effluent te halen, wordt dit effluent sinds medio 2002 eerst door een zandfilter geleid. Hiermee wordt het nog aanwezige fosfaat met minimaal 90% verwijderd. Door het hergebruik van nagezuiverd effluent, eventueel aangevuld met oppervlaktewater, hoeft er geen grondwater meer te worden onttrokken voor de waterpartijen. Op deze wijze wordt een bijdrage geleverd aan de bestrijding van de verdroging die hier, maar ook in andere Brabantse zandgebieden voorkomt.

SYSTEEMBESCHRIJVING

Zoals hiervoor beschreven bestaat het systeem uit een infiltratieveld en drie plassen. Het verticaal doorstromende infiltratieveld heeft een oppervlak van bijna 1 ha en ontvangt een vloeistofbelasting van tussen de 0,9 en 1,5 m/d.
De plassen zijn respectievelijk 3,4, 1,3 en 1,9 ha groot en gemiddeld ongeveer 2,7 m diep. De middelste plas is het minst diep en heeft verreweg de grootste bedekking met ondergedoken waterplanten (zie figuur II.13).

FIG. II.13 INFILTRATIEVELD KLATERWATER DE EFTELING KAATSHEUVEL



Het doel van het infiltratieveld is met name het wegvangen van stikstof, eventueel wat fosfor en pathogenen om eutrofiëring van de plassen zoveel mogelijk tegen te gaan en het water te desinfecteren. Het infiltratieveld is in totaal 110 meter lang en 75 meter breed en bestaat uit 4 velden die intermitterend worden bevloeid. Elk veld wordt 4 uur bevloeid, waarna wordt verder gegaan met het volgende veld. De velden zijn opgebouwd uit drie lagen: de toplaag (10 cm), een zandlaag (90 cm) en een schelpenlaag (10 cm) |27|. Aan het zand zijn twee soorten ijzer toegevoegd voor een betere fosfaatbinding (ijzeroer en ijzer schilfers). Omdat het water met name in de zomerperiode nodig is, ligt het systeem gedurende de winter meestal stil. Het infiltratieveld is aangeplant met riet.

BEHEER EN ONDERHOUD

Sinds het nazuiveren van het effluent met behulp van het zandfilter behoeft het helofytenfilter minder onderhoud. De belangrijkste werking van het filter is sindsdien denitrificatie en verwijdering van pathogenen. Momenteel wordt het filter eens per twee jaar gemaaid en onderzocht wordt of eens per drie jaar kan volstaan. Dit betekent een reductie van kosten voor werkzaamheden en afvoer van het maaisel.

RENDEMENTEN

Het helofytenfilter verwijdert relatief veel stikstof (63%) en BZV (62%). Omdat de aanvoer van fosfaat laag is, is ook de fosforverwijdering (8%) gering: zie tabel II.10.

De gemiddelde hydraulische verblijftijd is 1,9 dagen met een hydraulische belasting van 16 cm/dag. De effluentconcentraties van totaal-stikstof en totaal-fosfor zijn respectievelijk 1,4 en 0,11 mg/l (2003).

TABEL II.10 **EIGENSCHAPPEN VAN HET INFILTRATIEVELD VAN DE EFTELING |28|, |29|, |30|**

Vloeiveld		**2003**
Oppervlak	m²	8.250
Hydraulisch volume	m³	2.475
Debiet	m³/d	1.305
Dagen per jaar belast	d/j	270
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,158
Hydraulische verblijftijd	D	1,9
Influent BZV	mg/l	1,3
Effluent BZV	mg/l	0,5
Influent CZV	mg/l	26,0
Effluent CZV	mg/l	21,3
Influent zwevend stof	mg/l	6,5
Effluent zwevend stof	mg/l	5,0
Influent N	mg/l	3,8
Effluent N	mg/l	1,4
Influent P	mg/l	0,12
Effluent P	mg/l	0,11
BZV belasting	g/m².d	0,21
CZV belasting	g/m².d	4,11
Zwevend stof belasting	g/m².d	1,03
N belasting	g N/m².d	0,60
P belasting	g P/m².d	0,02
BZV verwijdering	g/m².d	0,13
CZV verwijdering	g/m².d	0,74
Zwevend stof verwijdering	g/m².d	0,24
N verwijdering	g N/m².d	0,38
P verwijdering	g P/m².d	0,00
BZV verwijdering	%	62
CZV verwijdering	%	18
Zwevend stof verwijdering	%	23
N verwijdering	%	63
P verwijdering	%	8

BZV en de zwevend stof concentraties zijn in het effluent van de RWZI laag, in het infiltratieveld vindt toch nog behoorlijk wat reductie plaats. De verwijdering van zware metalen staat in tabel II.11. De loodconcentratie blijft zowel bij influent als effluent onder de detectielimiet. Chroom en nikkel worden goed verwijderd. De concentraties van koper en zink blijven te hoog.

TABEL II.11 **CONCENTRATIES IN INFLUENT EN EFFLUENT EN VERWIJDERING VAN ZWARE METALEN IN HET INFILTRATIEVELD |29|**

Metalen	**2000**					
	Influent	**Effluent**	**Influent**	**Effluent**	**Verwijdering**	**Rendement**
	µg/l	µg/l	g/d	g/d	mg/m².d	%
Chroom	20,0	1,1	25,5	1,4	2,923	95
Koper	6,5	4,5	8,3	5,7	0,304	30
Lood	<5	<5	< 6,4	< 6,4	0,000	0
Nikkel	13,3	<5	17,0	< 6,4	> 1,29	> 63
IJzer	397	203	506,1	258,4	30,0	49
Zink	54	30	68,9	38,3	3,71	44

LESSEN

De belangrijkste les uit de ervaringen met het infiltratieveld van de Efteling is, dat een goede hydrologie en beheer en onderhoud van het infiltratieveld essentieel zijn. Veel aandacht moet worden besteed aan een juiste verdeling van het water over het infiltratieveld en het voorkomen van kortsluitstromen om de verblijftijd te maximaliseren. De afvoerbuizen dienen altijd onder water te staan om te voorkomen dat zij bij een volgende waterdosering gaan drijven. Bij de aanleg van het infiltratieveld moet ook rekening worden gehouden met de noodzaak om het infiltratieveld te kunnen maaien en met de daarbij gebruikte apparatuur. Beschadiging van het infiltratieveld moet uiteraard worden voorkomen.
Sinds het in gebruik nemen van het zandfilter voor fosforverwijdering voldoet het helofytenfilter uitstekend en heeft vooral grote waarde voor de verwijdering van stikstof, pathogenen en sommige zware metalen.

NEVENFUNCTIES

Recreatie

Het infiltratieveld en de vijvers dienen in eerste instantie om RWZI-effluent te zuiveren tot bruikbaar water voor recreatiepark de Efteling. Daarnaast dienen de drie vijvers die het effluent van het infiltratieveld nog eens extra nazuiveren, als verfraaiend onderdeel van het golfparcours dat achter het infiltratieveld ligt.

Verdrogingbestrijding

Het hele systeem is aangelegd om verdroging van het gebied tegen te gaan. Het feit dat er RWZI-effluent gebruikt kan worden voor het attractiepark de Efteling, betekent dat er 280.000 m^3 aan grondwateronttrekking per jaar bespaard kan worden. Al het benodigde water voor beregening van de golfbaan, waterpartijen in het attractiepark etc, komt nu vanuit de RWZI.

KLATERWATER IN DE PERS

Ter promotie van het Waterharmonica concept zijn tot slot de volgende uitspraken geciteerd uit het artikel “Klaterwater als Waterharmonica; Brabantse Delta levert hoogwaardig effluent aan de Efteling” in Het Waterschap van 21 januari 2005 |50|:

Dhr. Jonk van Waterschap Brabantse Delta:

- *“In feite is Klaterwater een voorbeeld van een betaalbare en goed gelukte kringloopsluiting; daar zijn alle partijen best trots op ...”*

Mevr. D. Castelein van de Efteling:

- *“Klaterwater is een achter-de-schermenverhaal, waar we trots op zijn omdat het past bij een A-merk dat de Efteling is.”*
- *“Klaterwater draagt bij aan het park dat we willen zijn: gezond en verantwoord”*

Dijkgraaf Vos van Waterschap Brabantse Delta:

- *“Klaterwater is voor ons niet meer, maar vooral niet minder dan een zeer geslaagd en hopelijk stimulerend project om verdroging tegen te gaan én de waterharmonica toe te passen: een zo goed mogelijk overgang van effluent, dat hard en gebiedsvreemd water is, naar gezond, levend oppervlaktewater*”.

Naam systeem	De Efteling (rwzi Kaatsheuvel)
Type systeem	Verticaal doorstroomd rietveld
Jaar van aanleg	1997

Aanlegkosten	€ 1.038.844
Onderhoudskosten per jaar	€ 5.017

Ontvangend oppervlaktewater	Oppervlaktewater in de Efteling
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Recreatieplassen

Oppervlakte	ha	0,825
Bodemtype		zand
Substraat	grind, zand en schelpen	
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,158
Hydraulische verblijftijd	d	1,9

Jaar van metingen: 2003	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV	1,3	0,5	0,21	0,13	62%
CZV	26,0	21,3	4,11	0,74	18%
Zwevend stof	6,5	5,0	1,03	0,24	23%
Totaal-stikstof	3,8	1,4	0,60	0,38	63%
Totaal-fosfor	0,12	0,11	0,02	0,00	8%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd					
Cr	20	1,1	2,7	2,6	95%
Cu	6,5	4,5	0,9	0,3	30%
Ni	13,3	<5	1,8	>1,1	>63%
Pb	<5	<5	<0,7		
Zn	54	30	7,3	3,2	44%
	#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli					
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem

De nazuivering van effluentwater van rwzi Kaatsheuvel voor gebruik op de recreatiewateren in de Efteling. Hierbij staan de verwijdering van nutriënten (voorkomen (blauw)algenbloei) en pathogenen centraal.

Bijzonderheden

Viervelden van elk 75 meter breed en 55 meter lang die intermitterend worden bevloeid. Elk veld wordt 4 uur bevloeid. Het substraat bestaat uit een grindlaag, een zandlaag en een schelpenlaag. Aan het zand is ijzeroer en ijzerschilfers toegevoegd voor betere fosfaatbinding.
Sinds 2003 is een zandfilter in gebruik genomen dat het effluent van de rwzi ontdoet van fosfaat. Sindsdien ontvangt het helofytenfilter fosfaatarm water.

BIJLAGE II.7
KWEKELBAARSJES

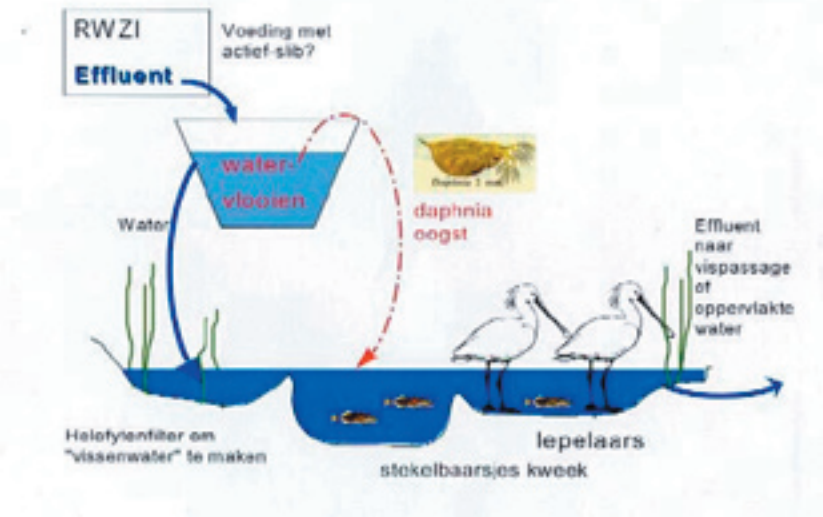
ACHTERGROND

FIG. II.14 LUCHTFOTO NOORDPUNT TEXEL, MET BOVENAAN IN DE DIJK DE VISPASSAGE



Op de noordpunt van Texel (foto) is enkele jaren geleden een vispassage aangelegd om het voor trekkende vissen weer mogelijk te maken uit zee op het eiland terug te keren (zie figuur II.14). In droge tijden stelt het waterschap Hollands Kroon (nu Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier) geen water beschikbaar voor de lokstroom van 350 m^3/dag, die nodig is om stekelbaarsjes en andere vis naar de hevel-vispassage te lokken. Vlakbij echter loost de RWZI De Cocksdorp 1000 m^3/dag gezuiverd afvalwater. Als dit water, na behandeling in een moerassysteem als lokstroom gebruikt zou kunnen worden hoeft er dus geen polderwater voor de lokstroom gebruikt te worden. De lokstroom is belangrijk voor de handhaving van een gezonde populatie stekelbaarzen, zodat de zeldzame lepelaar zich daaraan te goed kan doen.

FIG. II.15 PRINCIPE VAN HET KWEKELBAARSJESSYSTEEM



Vanaf 1998 wordt door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier in samenwerking met TNO de mogelijkheid onderzocht om watervlooien (*Daphnia*) te kweken op effluent van RWZI de Cocksdorp op Texel. De watervlooien zuiveren het effluent en dienen als voedsel voor stekelbaarzen, die op hun beurt gegeten worden door lepelaars, een rode lijst soort die op Texel voorkomt en waarschijnlijk te kampen heeft met voedselschaarste. De biomassakweek in dit voedselketen concept zou moeten leiden tot een verdere nazuivering van het effluent. Dit systeem - door Ruud Kampf van Hollands Noorderkwartier het 'Kwekelbaarsjessysteem' - genoemd is in figuur II.15 schematisch weergegeven.

Uit een haalbaarheidsstudie is aangetoond dat watervlooien zich inderdaad met actief slibdeeltjes kunnen voeden en dat een redelijke productie mogelijk moet zijn |52|. Vervolgens zou dat water door een helofytenfilter geleid kunnen worden, om vervolgens als permanente bron voor de lokstroom te fungeren, waardoor stekelbaars en andere vis via de vishevelpassage naar binnen gelokt worden. Het hier verder gezuiverde water kan dienen als aanvulling van zoet water op het eiland voor gebruik door de landbouw en de lepelaars worden voorzien van hun belangrijkste voedselbron.

SYSTEEMBESCHRIJVING

FIG. II.16 KWEKELBAARSJESSYSTEEM BIJ RWZI EVERSTEKOOG



In het vroege voorjaar van 2001 zijn op het terrein van de RWZI Everstekoog op Texel vier bakken met elk een volume van ongeveer 2 m³ en vier vijvers met elk een volume van ongeveer 20 m³ aangelegd die gevoed worden met effluent van de RWZI (figuur II.16). In de proefopstelling is onderzoek gedaan naar de effecten van de verblijftijd, extra beluchting, oogsten van *Daphnia*, verduisteren van de bakken en extra slibdosering. Doel van het onderzoek was te bepalen wat de meest optimale omstandigheden zijn om watervlooien op RWZI effluent te kweken en daarnaast methoden te ontwikkelen om de watervlooien te oogsten. Veel informatie is te vinden op http://www.rekel.nl/kwekelbaarsjes |53|.

RENDEMENTEN

De verblijftijd is gevarieerd en vastgesteld op 0,5, 1,5 en 3 dagen. In de bak met een verblijftijd van 0,5 dagen verliep de ontwikkeling het traagst, terwijl de toename in de overige bakken ongeveer gelijk was. De maximale gemiddelde dichtheden die werden bereikt lagen tussen 400 en 600 watervlooien per liter, maar omdat watervlooien in wolken voorkomen is de dichtheid in een wolk vele malen groter |36|. Tijdens sterke groei bleek de zuurstofconsumptie dermate hoog, dat de zuurstofconcentratie limiterend werd voor de groei. Uit proeven met beluchting bleek echter, dat dit geen effect had op de ontwikkeling van de dichtheden. Mogelijk hebben opstijgende luchtbellen een schadelijk effect op de watervlooien.

Ontwikkeling van flab in de bakken maakten de proefnemingen lastig. Daarom werd besloten om een proef uit te voeren met verduistering van de bakken. Dit had tot gevolg dat een natuurlijk zuurstofritme uit bleef door het ontbreken van zuurstofproducerende algen en licht. De ontwikkeling van de watervlooienpopulatie bleef uit om onduidelijke redenen.
In de vijvers werd een verblijftijd van 1,5 dagen gehandhaafd. Hier ontwikkelden zich flab en eendenkroos. Beide werden verwijderd. In alle vijvers ontwikkelde zich een populatie van *Daphnia*, met maxima van rond 200 individuen per liter. Na de piek bleef de dichtheid stabiel rond 50-100 individuen per liter.

Verwijdering van zwevend stof, BZV, CZV en nutriënten is nog niet gerapporteerd. Wel zijn de concentraties E. coli bekend. De aantallen E. coli in de bakken en vooral in de vijvers lagen beduidend lager dan in het aangevoerde effluent. Hoewel de gemiddelde waarden in de bakken met een verblijftijd van 1,5 dagen doorgaans iets hoger waren dan in de bakken met een verblijftijd van 3 dagen, is er nauwelijks sprake van een duidelijk effect van het verschil in verblijftijd (zie tabel II.12).

TABEL II.12 **GEMIDDELDE CONCENTRATIES VAN E. COLI VAN 29 AUGUSTUS TOT 4 DECEMBER 2001 |36|**

E. coli (aantal/ml)	
Effluent RWZI	> 476
bakken hrt = 1,5 d	72
bakken hrt = 3 d	55
vijvers hrt = 1,5 d	30

LESSEN

Het Kwekelbaarsjessysteem laat een inventieve methode zien om effluentwater te zuiveren en tegelijkertijd nuttig te gebruiken voor een natuurdoel. De watervlooien verwijderen actief slibdeeltjes uit het effluentwater, zodat het oppervlaktewater daarmee niet wordt belast. Ontwikkeling van flab in de bakken en de vijvers verstoorden het systeem enigszins, maar zorgden wel voor een natuurlijke zuurstofritmiek. Daarnaast moest kroos worden ver-

wijderd uit de vijvers. Hoge watervlooienconcentraties konden zich ontwikkelen. De effecten op de waterkwaliteit worden nog gepubliceerd.

NEVENFUNCTIES

De afgelopen jaren is de stand van de Lepelaar sterk toegenomen, op Texel broeden nu al meer dan 200 paar. Uit onderzoek is gebleken dat het voornaamste voedsel van de Lepelaar, de stekelbaars (figuur 2.18), op Texel te weinig voorkomt, dit was ook de reden om zoveel geld in de vispassage te steken. De vis uit de vispassage kan in het moerassysteem goed gedijen op de opgekweekte watervlooien (figuur II.17), voor Lepelaars (figuur 2.18) leidt dit tot een "gedekte tafel". Vooral in het broedseizoen hebben de Lepelaars voedsel in de buurt van de kolonies nodig. Dit is een kritische periode voor Lepelaars. Vanaf half juni kunnen de adulte vogels, samen met de uitgevlogen jongen op grotere afstand van de kolonies foerageren. Dit maakt dat het kweken van watervlooien op effluent ook voor andere RWZI´s aantrekkelijk kan zijn.

FIG. II.17 MONSTER VAN GEKWEEKTE WATERVLOOIEN



Ook op een andere wijze kunnen de met het effluent geloosde watervlooien een gunstig effect in het watersysteem hebben. Het kan helderder oppervlaktewater tot gevolg hebben doordat de met het effluent geloosde watervlooien algen weg eten. In de herfst van 2000 heeft het bestuur van het hoogheemraadschap besloten dat op Texel alle RWZI's voorzien zullen worden van een moerassysteem om van het gezuiverde afvalwater weer bruikbaar oppervlaktewater te maken. Onderzoek heeft uitgewezen dat het haalbaar is om zo een systeem bij de Cocksdorp uit te rusten als "kwekelbaarsjessysteem" in combinatie met de vispassage bij het gemaal in De Cocksdorp.

FIG. II.18 FOTO'S VAN DE STEKELBAARS EN DE LEPELAAR. BEIDE PROFITEREN VAN HET KWEKELBAARSJESSYSTEEM



Een dergelijk systeem bij De Cocksdorp zou als volgt opgebouwd kunnen worden |53|. Het RWZI-effluent wordt eerst naar een vijver gepompt, waar watervlooien worden gekweekt. De productie aan watervlooien wordt door gericht oogsten en eventueel bijvoeren met actief-slib deeltjes uit de RWZI zo groot mogelijk gemaakt. Het water passeert eerst een moeras-systeem (helofytenfilter) om het water geschikt te maken voor vissen. De watervlooien uit de watervlooienvijver worden daarna naar de stekelbaarsjeskweekvijver gebracht. Daar kun-nen de met de vispassage van De Cocksdorp binnengebrachte stekelbaarsjes opgroeien. Deze vijver wordt te diep voor lepelaars om te foerageren. Vervolgens stroomt het water door een ondieper moeras systeem waar lepelaars zich tegoed kunnen doen aan de stekelbaarsjes. Het water uit het moerassysteem kan vervolgens gebruikt worden als lokstroom voor de vispassage of is een welkome aanvulling van het oppervlaktewater.
Het toekomstig effluentgebruik is momenteel nog onder studie: zie figuur II.19.

FIG. II.19 **AFVOER EN GEBRUIK VAN RWZI-EFFLUENT OP TEXEL**



Situatie voorheen
Effluentafvoer naar de Waddenzee

Situatie 2005
Effluentafvoer op het eiland

Onder studie
Effluentgebruik elders op het eiland

BIJLAGE II.8
EKEBY (ZWEDEN)

ACHTERGROND

FIG. II.20 LUCHTFOTO VAN MOERASSYSTEEM EKEBY



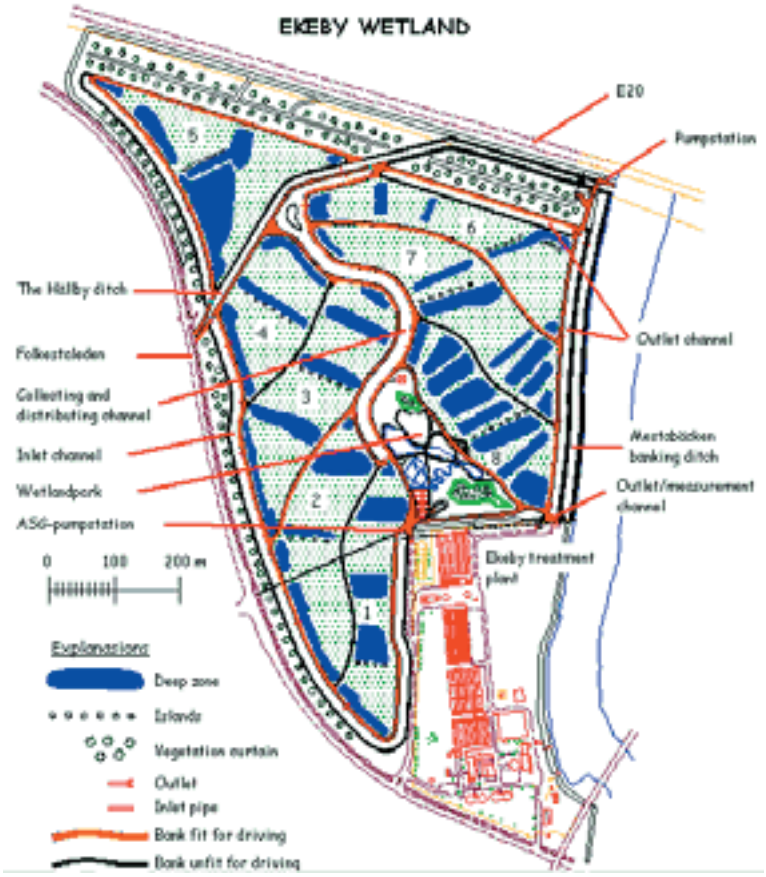
Ongeveer 110 km ten westen van Stockholm ligt de stad Eskilstuna met de rioolwaterzuiveringsinstallatie Ekeby. Wettelijke eisen stelden, dat de stikstofconcentratie in het effluent lager moest worden dan het geval was. Dit zou hoge kosten met zich meebrengen voor een denitrificatie-installatie. Goede resultaten met zuiveringsmoerassen in Oxelösund en Hässleholm deed de beheerder besluiten om een zuiveringsmoeras aan te leggen. Hiermee zou de stikstofnorm gehaald moeten kunnen worden en de aanleg- en operationele kosten zouden beduidend lager uitvallen. In 1996 is het systeem (zie figuur II.20) ontworpen en het is voor het eerst in gebruik genomen in 1999 |37|.

SYSTEEMBESCHRIJVING

Het systeem is een open water moerassysteem met verschillende poelen, kanalen en ondiepe moerasdelen. Het hele systeem beslaat zo'n 40 ha, met 28 ha aan open water. De gemiddelde waterdiepte is 1 meter, het maximum is 2 meter. In de ondiepe delen is riet aangeplant. In het plaatje op de volgende bladzijde is de plattegrond van het systeem te zien. Het systeem heeft een totaal watervolume van ongeveer 300.000 m^3 en wordt belast met gemiddeld 42.000 m^3 water per dag. Hierdoor komt de verblijftijd gemiddeld uit op ongeveer 7 dagen met een minimum van 3 dagen. Het effluentwater wordt geloosd op de Elskilstuna rivier.

Zoals duidelijk te zien is in figuur II.21 is de beschikbare oppervlakte verdeeld in enkele bekkens die onderling uitgeschakeld kunnen worden. Het RWZI-effluent wordt overgebracht vanuit een laatste nabezinktank naar een kanaal dat zich uitstrekt langs Folkestaleden, die het water over de eerste bekkens van het moerassysteem verdeelt.

FIG. II.21 SCHEMATISCH OVERZICHT MOERASSYSTEEM EKEBY



De waterstroom naar ieder bekken wordt individueel geregeld door op afstand bedienbare stuwen. Het waterniveau wordt op een maximum gehouden van +0.60 m. Van de bekkens 1 tot 5 wordt het water verzameld in een verdeelkanaal (Hällby ditch), waar de waterdiepte op maximaal 0.40 m gehouden wordt. Normaal gesproken stroomt het water van bekkens 1 tot 5 via dit verdeelkanaal naar bekkens 6 tot 8, maar op deze manier is het ook mogelijk om alles of een deel van het water van de bekkens 2-5 rechtstreeks naar het afwateringskanaal te leiden. Dit kanaal staat in verbinding met de Eskilstuna rivier.

Er is een klein testhuis waar de stroom- en testapparatuur zijn geplaatst. Door middel van een mechanisch geregelde stuw tussen het afzetwateringskanaal en de Mesta bank (in de omgeving van de pompstation R19) is het mogelijk om het niveau te laten dalen en het gebied gedeeltelijk droog te leggen. Het water kan door R19 in de Eskilstuna rivier gepompt worden. Dankzij het ontwerp en de gekozen waterniveaus is het mogelijk om het water vanuit de RWZI, via het moerasgebied naar de rivier te leiden zonder dat er gepompt moet worden.

RENDEMENTEN

Tabel II.13 geeft een overzicht van de belasting en het zuiveringsrendement zoals gemeten in 1999 |37|. Meer recente gegevens zijn niet bekend. Gezien de internationale bekendheid van dit moerassysteem mag verwacht worden dat belang van een goede monitoring door de waterkwaliteitsbeheerder wordt ingezien en dat resultaten ook voor derden beschikbaar komen.

TABEL II.13 EIGENSCHAPPEN VAN HET EKEBY MOERASSYSTEEM

Systeem		Ekeby
Jaar ingebruikname		**1999**
Meetperiode		**1999**
Oppervlak	m²	280.000
Hydraulisch volume	m³	300.000
Debiet	m³/d	42.000
Dagen per jaar belast	d/j	365
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,15
Hydraulische verblijftijd	d	7,1
Influent BZV	mg/l	6,9
Effluent BZV	mg/l	3,8
Influent N	mg/l	19,0
Effluent N	mg/l	15,1
Influent P	mg/l	0,17
Effluent P	mg/l	0,08
BZV belasting	g/m².d	1,03
N belasting	g N/m².d	2,85
P belasting	g P/m².d	0,0255
BZV verwijdering	g/m².d	0,47
N verwijdering	g N/m².d	0,59
P verwijdering	g P/m².d	0,014
BZV verwijdering	%	45
N verwijdering	%	21
P verwijdering	%	53

De aanvoer van BZV is laag en de concentratie wordt verder verlaagd in het moerassysteem. Ook de influentconcentratie van fosfor is laag (0,17 mg P/l) en de effluentconcentratie is zelfs zeer laag (0,08 mg P/l). Hierdoor is besloten om de dosering van chemicaliën voor fosfaatverwijdering in de RWZI te verlagen. De belasting met stikstof is aan de hoge kant en het doel van de zuivering (15 mg N/l) wordt bijna gehaald (15,1 mg N/l). Hoewel de stikstofverwijdering iets lager is dan verwacht, is deze in vergelijking met andere moerassystemen aan de hoge kant (0,59 g N/m².dag). Verwacht wordt, naar aanleiding van ervaringen met vergelijkbare systemen in Zweden, dat de denitrificatie in het tweede en derde jaar van ingebruikname aanzienlijk zal verbeteren.

LESSEN

Hoewel het moerassysteem erg groot is, is het systeem goedkoper dan alternatieve oplossingen om stikstof te verwijderen. De verwijdering van stikstof, fosfor, BZV, E. coli en fecale streptokokken is goed tot zeer goed en voldoet aan de verwachtingen. Het effluentwater uit het moerassysteem heeft dezelfde kwaliteit als die van het ontvangende oppervlaktewater, de Eskilstuna rivier. Opvallend is dat een relatief lage fosforconcentratie leidt tot een hoge verwijdering van fosfor en een relatief hoge stikstofconcentratie leidt tot een lage stikstofverwijdering.

NEVENFUNCTIES

Het systeem is zeer goed te combineren met andere functies, zoals recreatie, educatie en natuurontwikkeling. De natuurlijke oeverplanten vormen een basis voor een rijk insectenleven tijdens een goede bloeiende periode in moerassysteem Ekeby. Met 60 vogelsoorten in het eerste jaar is het systeem vanuit natuuroogpunt waardevol te noemen.
Een meer georganiseerde aanplanting en kunstmatig aangelegde beekjes en watertjes ligt in de planning, waardoor het meer op een park gaat lijken dan op een zuiveringsmoeras. De bouw van een bezoekerscentrum dat gebruikt zal worden voor studie bezoeken en tentoonstellingen, is ook gepland. Ook vogelliefhebbers zullen toegang krijgen tot een deel van het moeras. In het eerste jaar zijn zestig verschillende vogelsoorten gezien.

Naam systeem	Ekeby	
Type systeem	Open water moerassysteem	
Jaar van aanleg		
Aanlegkosten	€ 1.920.000	
Onderhoudskosten per jaar	€ 21.603	
Ontvangend oppervlaktewater	Elskilstuna rivier	
Watertype ontvangend oppervlaktewater	Rivier	
Oppervlakte	ha	28
Bodemtype		
Substraat		
Hydraulische belasting	m³/m².d	0,15
Hydraulische verblijftijd	d	7,1

Jaar van metingen: 1999	Conc. Influent	Conc. Effluent	Belasting	Verwijdering	Rendement
Stoffen	mg/l	mg/l	g/m².d	g/m².d	%
BZV	6,9	3,8	1,03	0,47	45%
CZV					
Zwevend stof					
Totaal-stikstof	19	15,1	2,85	0,59	21%
Totaal-fosfor	0,17	0,08	0,03	0,01	53%
	ug/l	ug/l	mg/m².d	mg/m².d	%
Cd					
Cr					
Cu					
Ni					
Pb					
Zn					
	#/100 ml	#/100 ml			%
E. coli					
Thermotolerante E. coli					
F-specifieke fagen					

Doelstelling systeem
Vermindering van de stikstofconcentratie om lozingseisen te kunnen halen. Een denitrificatie-installatie bleek veel duurder dan een moerassysteem.

Bijzonderheden
Het systeem bestaat uit diverse poelen, kanalen en ondiepe moerasdelen. Het totale terrein is 40 ha groot met 28 ha open water. De natuurwaarde van het systeem is zeer hoog. Het eerste jaar zijn 60 vogelsoorten geteld.
Het effluent van het moerassysteem voldoet aan de lozingseisen en heeft dezelfde kwaliteit als het ontvangende oppervlaktewater.

BIJLAGE II.9
OVERIGE BUITENLANDSE MOERASSYSTEMEN VOOR NABEHANDELING VAN RWZI-EFFLUENT

A. NOORD AMERIKA

FIG. II.22 **OVERZICHT VAN GROTERE ZUIVERINGSMOERASSEN IN NOORD AMERIKA ROND 1995 (BRON: KADLEC & KNIGHT, |44|)**



USA

STATE		STATE		STATE	
SD	42	AL	5	NV	2
FL	29	NY	5	WI	2
AR	22	IL	4	IA	1
LA	14	OR	4	MA	1
MS	10	MO	3	ME	1
CA	7	TN	3	NC	1
KY	7	TX	3	NJ	1
MI	7	AZ	2	NM	1
SC	7	MD	2	PA	1
ND	6	MN	2	VA	1
				WA	1

CANADA

ALB	3
MNT	2
ONT	11
QUE	9
YUK	7
BC	11
SAS	7
MAN	1
NB	1
PEI	1
NS	1

Volgens het standaardwerk “Treatment Wetlands” van Kadlec en Knight |44| waren er rond 1995 circa 250 zuiveringsmoerassen in Noord Amerika (VS en Canada). Figuur II.22 geeft hiervan een overzicht.

Het betreft hier moerassystemen die worden gebruikt voor de (na)behandeling van allerlei typen (afval)water: RWZI-effluent, industrieel afvalwater, overstortwater, etc.

Volgens dezelfde bron werden er circa 150 moerassystemen met een capaciteit groter dan 190 m^2/dag gebruikt voor de nabehandeling van RWZI-effluent. Daarvan waren circa 120 systemen aangelegd (*constructed wetlands)* en hadden 30 systemen een natuurlijke oorsprong. Circa tweederde van deze systemen zijn open moerassystemen (*SF, Surface Flow)*, de overige infiltratiesystemen (*SSF, Subsurface Flow)* of een combinatie van beide. De meest toegepaste plantensoorten zijn lisdodde, biezen en riet.

In tabel II.14 is een overzicht gegeven van het functioneren van al deze systemen. Vermeld zijn lange-termijn gemiddelden van de belasting, verwijdering en zuiveringsrendementen voor 9 stoffen.

De gegevens in tabel II.14 bevestigen de over het algemeen betere werking van de SSF-infiltratiesystemen voor onopgeloste bestanddelen (TSS) en daaraan gebonden stoffen (ORG-N, TKN). Hier staan de aanzienlijke hogere verwijderingsrendementen voor ammonium en totaal-P bij open water moerassystemen tegenover.

TABEL II.14 **BELASTING EN VERWIJDERING VAN 9 STOFFEN IN ALLE ZUIVERINGSMOERASSEN IN NOORD AMERIKA IN 1996 (BRON: KADLEC & KNIGHT, 1996 [74])**

Table 26-4 Summary of North American Wetland Treatment System Operational Performance

		Concentration (mg/L)			Mass (kg/ha/d)[b]		
Parameter	Type[a]	In	Out	Eff (%)	Load	Rem	Eff (%)
BOD_5							
	SF	30.3	8.0	74	7.2	5.1	71
	SSF	27.5	8.6	69	29.2	18.4	63
	ALL	29.6	8.1	73	10.9	7.5	68
TSS							
	SF	45.6	13.6	70	10.4	7.0	68
	SSF	48.2	10.3	79	48.1	35.3	74
	ALL	46.0	13.0	72	15.8	11.9	71
NH_4-N							
	SF	4.86	2.23	54	0.93	0.35	38
	SSF	5.58	4.51	25	7.22	0.62	9
	ALL	4.97	2.41	52	1.46	0.38	26
NO_3 - NO_x-N							
	SF	5.56	2.15	61	0.50	0.40	51
	SSF	4.40	1.35	69	3.10	1.89	61
	ALL	5.40	2.10	62	0.99	0.64	65
ORG-N							
	SF	3.45	1.85	46	0.90	0.51	56
	SSF	10.11	4.03	60	7.28	4.05	56
	ALL	4.01	2.03	49	1.71	0.95	56
TKN							
	SF	7.60	4.31	43	2.20	1.03	47
	SSF	14.21	7.16	50	9.30	3.28	35
	ALL	8.11	4.53	44	2.96	1.29	43
TN							
	SF	9.03	4.27	53	1.94	1.06	55
	SSF	18.92	8.41	56	13.19	5.85	44
	ALL	9.67	4.53	53	2.96	1.52	51
ORTHO-P							
	SF	1.75	1.11	37	0.29	0.12	41
	SSF	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	ALL	1.75	1.11	37	0.29	0.12	41
TP							
	SF	3.76	1.62	57	0.50	0.17	34
	SSF	4.41	2.97	32	5.14	1.14	22
	ALL	3.80	1.68	56	0.73	0.22	31

[a] SF—surface flow, SSF—subsurface flow.
[b] kg/ha/d × 0.892 = lb/ac/d.

Note. ND—No data, BOD_5—5-day biochemical oxygen demand; TSS—total suspended solids; ORG-N—organic nitrogen; TKN—total Kjeldahl nitrogen; ORTHO-P—ortho phosphorus; TP—total phosphorus.

B. EUROPA

Omdat in Europa met de aanleg van kunstmatige moerassystemen circa 40 jaar geleden werd begonnen, zijn er inmiddels meer dan 500 van die systemen operationeel, waarvan de meeste kleinschalige infiltratiesystemen zijn.

Over deze infiltratiesystemen in Denemarken en Engeland, bedoeld voor ruw afvalwater en aangelegd in de periode 1994-1991, zijn de meeste gegevens bekend.

In tabel II.15 zijn de gemiddelde, mediane, minimum en maximum waarden gegeven van de belangrijkste kenmerken en rendementen van de infiltratiesystemen in beide landen.

TABEL II.15 KENMERKEN EN PRESTATIES VAN INFILTRATIEVELDEN IN DENEMARKEN EN ENGELEND (BRON: KADLEC & KNIGHT, 1996 |44|)

A. Denemarken: 71 infiltratiesystemen

	Debiet (m^3/dag)	Opp. (m^2)	Hydr. Belasting[1] (cm/dag)	BZV-influent (mg/l)	BZV-verwijd. (%)	N-totaal influent (mg/l)	N-totaal verwijd. (%)	P-totaal influent (mg/l)	P-totaal verwijd. (%)
Gemiddeld	214,67	2.037	8,01	128	85,6	36,7	42,7	9,1	35,6
Mediaan	74,00	1.440	6,33	93	85,7	33,3	37,1	7,3	29,2
Minimum	2,59	100	1,85	3	-66,7	4,1	-104,9	0,5	-111,4
Maximum	2.627	13.000	31,20	661	99,0	142,3	85,6	35,0	97,9

[1] Ontwerpbelasting

B. Engeland: 10 infiltratiesystemen

	Debiet (m^3/dag)	Opp. (m^2)	Hydr. Belasting[1] (cm/dag)	BZV-influent (mg/l)	BZV-verwijd. (%)	N-totaal influent (mg/l)	N-totaal verwijd. (%)	P-totaal influent (mg/l)	P-totaal verwijd. (%)
Gemiddeld	148,00	719	20,28	15	81,0	21,0	30,6	9,4	20,9
Mediaan	148,00	782	19,95	14	81,0	18,5	27,5	9,6	14,3
Minimum	80,00	450	17,13	12	72,7	6,0	6,7	6,6	3,0
Maximum	230,00	900	25,56	27	88,9	33,0	96,7	13,2	40,9

[1] Ontwerpbelasting

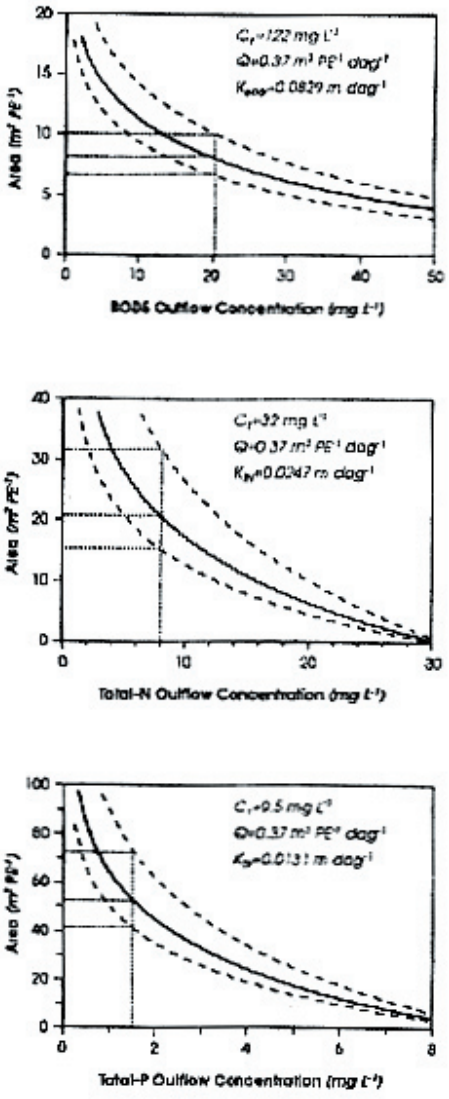
De hierboven gegeven prestaties van de Deense systemen zijn gebruikt om een eerste orde model voor de verwijdering van BZV, totaal-N en totaal-P in rietinfiltratievelden op te stellen. Figuur II.23 toont grafisch de resultaten van de modelberekeningen, waarmee de verwachte prestaties van rietinfiltratievelden kunnen worden geschat.

Kadlec en Knight |44| concluderen dat de in figuur II.23 berekende snelheidsconstanten voor de verwijdering van de drie componenten vanwege de fysische, chemisch en microbiologische processen die in de infiltratievelden plaats hebben vergelijkbaar zijn met die voor de Noord Amerikaanse SSF-systemen. Dit zou toepassing van deze verwijderingconstanten als vuistregel bij het ontwerp van dit type moerassysteem legitimeren.

Tenslotte komen zij op basis van een inventarisatie van de aanlegkosten van Noord-Amerikaanse moerassystemen op de volgende, als mediaan berekende kapitaalslasten in 1993:

- open water moerassystemen (*SF-systems*): $ 45.000 per ha
- infiltratievelden (*SSF-systems*): $ 360.000 per ha

FIG. II.23 VERWACHTE PRESTATIES VAN RIETINFILTRATIEVELDEN VOLGENS DEENSE MODELBEREKENINGEN (BRON: KADLEC & KNIGHT, [74])



BIJLAGE III

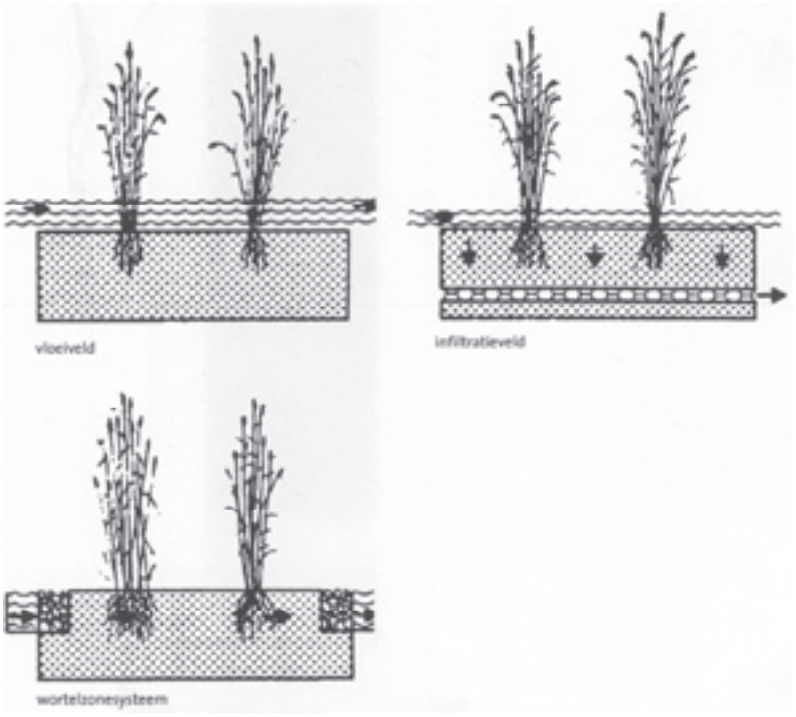
VEEL GEBRUIKTE SYSTEMEN EN HUN EIGENSCHAPPEN

INLEIDING

Er zijn verschillende systemen mogelijk om uit RWZI effluent gezonder oppervlaktewater te maken. Met name moerassystemen worden toegepast. In de volgende paragrafen komen open water moerassystemen, infiltratievelden en wortelzonesystemen aan de orde.

Figuur III.1 laat verschillende vormen van moerassystemen zien. In open water moerassystemen of vloeivelden stroomt het water vrij over de waterbodem. Waterplanten (helofyten en/of ondergedoken en drijvende waterplanten) spelen een rol in de zuivering. Vloeivelden bestaan over het algemeen uit ondiepe waterpartijen met helofyten, terwijl in open water moerassystemen ook diepere delen met ondergedoken of drijvende waterplanten voor kunnen komen.
Bij infiltratievelden wordt het water op de bodem in het systeem ingelaten. Het water infiltreert in de bodem en via drainagepijpen verlaat het water het systeem.
Bij wortelzonesystemen wordt het water in de bodem ingelaten en stroomt horizontaal door de bodem naar de uitlaat.

FIGUUR III.1 **DIVERSE SOORTEN MOERASSYSTEMEN**



OPEN WATER MOERASSYSTEMEN

Algemeen

Open water moerassystemen zijn ontworpen om op natuurlijke moerassystemen te lijken. Vooral in het buitenland (Zweden, Denemarken, Verenigde Staten, Canada) is veel ervaring opgedaan met natuurlijke of aangelegde open water moerassystemen. Deze aangelegde moerassystemen bestaan uit delen met open water met ondergedoken en drijvende waterplanten, ondiepe delen met moerasplanten zoals riet en lisdodde en delen die af en toe onder lopen bij hoog water. De stroomsnelheden worden laag gehouden en de verblijftijd lang, zodat vaste deeltjes voldoende tijd hebben om te bezinken en biologische processen kunnen plaatsvinden. Soms is er een voorbezinkbassin of –sloot waar vaste delen al voor een groot deel achterblijven. Nevendoelen van aangelegde moerassystemen zijn natuurontwikkeling, recreatie en educatie. De natuurwaarde van dergelijke systemen kan hoog zijn.

Het ontwerp van een dergelijk systeem hangt af van de plaatselijke karakteristieken, zoals bodem, hoogteverschillen en de ligging van natuurlijke waterpartijen. De effectiviteit van zuivering van de systemen varieert sterk en is van vele zaken afhankelijk, zoals de kwaliteit van het influent (het inkomende water), ontwerp, verblijftijd, plantensoorten, diepteverdeling, temperatuur, etc. |10|.

Gebruik

Open water moerassystemen worden niet alleen gebruikt voor de nazuivering van effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Met name in tropische landen worden open water moerassystemen gebruikt voor de primaire zuivering van huishoudelijk afvalwater. Vaak worden hiervoor natuurlijke moerassystemen gebruikt. In Europa en de Verenigde Staten gebruikt men open water moerassystemen eveneens voor de nazuivering van waterstromen uit septic tanks, van afstromend neerslagwater, van overstortwater, van afvalwater uit industriële processen (bijvoorbeeld metaalmijnen) en van afvalwater uit agrarische bedrijven (viskweekvijvers, verdunde mest). Open water moerassen worden eveneens gebruikt voor de verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit, bijvoorbeeld de behandeling van nutriëntenrijk water voordat dit in een gebied wordt ingelaten. Al deze waterstromen hebben een sterk verschillende en soms wisselende samenstelling.

Zuiveringsrendementen

Organisch materiaal

Over het algemeen is er een lineair verband tussen enerzijds de belasting van een systeem met BZV en de verblijftijd en anderzijds de concentratie in het effluent |10|. Voor een effluentconcentratie van 20 mg O_2/l moet de belasting met BZV lager zijn dan ongeveer 45 kg/ha.dag. Er moet echter rekening worden gehouden met een natuurlijke achtergrondconcentratie van BZV, door afgestorven plantenmateriaal in het systeem zelf. Deze achtergrondconcentratie kan oplopen tot 12 mg O_2/l en hangt onder meer af van de hoeveelheid planten in het systeem en of er open water aanwezig is. Gemiddeld ligt de natuurlijke achtergrondconcentratie van BZV tussen 1 en 5 mg O_2/l. Met name in het voorjaar, als de temperatuur oploopt en in de winter afgestorven plantenmateriaal afgebroken gaat worden en in het najaar als de algen afsterven, is er een piek in BZV te zien.

De samenstelling van het organisch materiaal van het effluent van een moerassysteem verschilt vaak sterk van die van het influent. Actief slibdeeltjes uit de RWZI worden in het

moerassysteem afgebroken (bijvoorbeeld geconsumeerd door zoöplankton) en vervangen door dode plantenresten en algen. Hierdoor kan het voorkomen dat het BZV-gehalte van het effluent hoger is dan van het influent (de zwevend stof paradox |34|), maar de aard en kwaliteit van het organisch materiaal in het effluent zijn anders. In de meeste systemen wordt de kwaliteit van het organisch materiaal in het effluent echter niet onderzocht.

In drie Nederlandse open water moerassystemen (Everstekoog, Land van Cuijk en Groote Beerze) kunnen geen resultaten worden gegeven van de zuivering van BZV uit het effluent van RWZI's omdat er geen metingen zijn gedaan of omdat de metingen beneden de detectielimiet liggen. In Elburg was het BZV-gehalte in het influent gemiddeld 12 mg O_2/l en de BZV-verwijdering 39%.In het Zweedse moerassysteem van Ekeby (Bijlage II.8) is het inkomende BZV-gehalte laag (gemiddeld 4,9 mg O_2/l). Het BZV-gehalte van het effluent van het moerassysteem is iets hoger, namelijk 5,2 mg O_2/l. Gezien de lage BZV concentraties in het effluent van Nederlandse RWZI's moet verwacht worden dat open water zuiveringsmoerassen nau-welijks bijdragen aan de verlaging van het BZV-gehalte of omzetting daarvan in levend materiaal.

In de systemen van Land van Cuijk (Bijlage II.3) en van Elburg (Bijlage II.1) is de verwijdering van CZV gemeten. In Land van Cuijk is deze gemiddeld 13% en in Elburg 25%. De gemiddelde CZV concentratie daalt van 49,4 mg O_2/l naar 43,0 mg O_2/l in Land van Cuijk en van 92 naar 69 mg O_2/l in Elburg.

Zwevend stof
Net als bij BZV is er een verband tussen belasting van een systeem met onopgeloste bestanddelen en de concentratie in het effluent. Voor een concentratie in het effluent van minder dan 30 mg/l moet de belasting van het systeem met zwevend stof kleiner zijn dan 50 kg/ha.dag |10|. Een groot deel van de onopgeloste bestanddelen sedimenteren in de buurt van het inlaatpunt. Met een verblijftijd van 2 tot 3 dagen is het meeste zwevend stof verwijderd. Een voorbezinksloot kan voorkomen dat de bulk van het zwevend stof in het moerassysteem terecht komt mits de verblijftijd lang genoeg is. Uit onderzoek naar de deeltjesgrootteverdeling en hun verwijdering blijkt, dat de grootste deeltjes (> 100 μm) nagenoeg volledig worden verwijderd in een open water moerassysteem, deeltjes met een grootte tussen 10 en 100 μm voor 80 tot 90%. Deeltjes kleiner dan 10 μm worden veel minder verwijderd. Daarnaast toont de ervaring in onder andere Everstekoog |34| aan, dat zoöplankton (*Daphnia*) actief-slibdeeltjes uit het water filteren. De systemen zelf produceren ook zwevend stof, met name dood organisch materiaal, afkomstig van afgestorven plantenresten en algen. Hierdoor kan het voorkomen dat het effluent van een systeem meer zwevend stof bevat dan het influent (de zwevend-stof paradox, |34|). De kwaliteit van het organisch materiaal in het geloosde water lijkt dan wel meer op die van het ontvangende oppervlaktewater.
Net als bij BZV is er een natuurlijke achtergrondconcentratie in het effluent van een zuiveringsmoeras van zwevend stof: van 2 tot 5 mg/l |10|.

In de Groote Beerze (Bijlage II.4), Land van Cuijk (Bijlage II.3) en Elburg (Bijlage II.1) zijn metingen gedaan aan zwevend stof. In de Groote Beerze wordt in de helofytensloten een verwijdering van 50% bereikt, die teniet wordt gedaan in de moerasbosdelen. Hierbij moet worden opgemerkt dat de zwevend stofgehalten erg laag zijn (rond 3 mg/l in het influent van het moerassysteem). In Land van Cuijk vindt een reductie van 65% plaats, van 5,8 mg/l naar 2,0 mg/l. In Elburg was de reductie 32%, van 21 naar 14 mg/l.
In het systeem van Everstekoog bleek de hoeveelheid zwevend stof toe te nemen in het water

bij passage door het moerassysteem. Nader onderzoek wees aan, dat deze zwevend stof paradox te verklaren is uit het feit dat de samenstelling van het zwevend stof drastisch veranderd. In het influent van het systeem bestaat het zwevend stof voornamelijk uit actief slibdeeltjes afkomstig uit de RWZI. In het moerassysteem bezinken deze deeltjes en worden zij weggegeten door watervlooien. Het zwevend stof in het effluent bestaat vooral uit afgestorven plantendelen.

Stikstof

Stikstof komt een moerassysteem als nitraat, ammonium en organisch gebonden stikstof binnen en wordt verwijderd door de omzetting in stikstofgas. Bij de verwijdering van stikstof speelt een groot aantal processen een rol. Of deze processen plaats kunnen vinden, hangt van een groot aantal factoren af. Verschillende vormen van stikstof zijn in elkaar om te zetten en dit maakt het moeilijk om algemeen geldende uitspraken te doen over de efficiëntie van stikstofverwijdering in relatie tot ontwerp en belasting (o.a. |12|). De omzetting van ammonium in nitraat (nitrificatie) moet plaatsvinden onder zuurstofrijke omstandigheden. Deze nitrificatie is de snelheidsbepalende stap in stikstofverwijdering |10||13|. Dit heeft niet alleen te maken met de beschikbaarheid van zuurstof in water en bodem, maar ook met de beschikbaarheid van geschikte oppervlakten voor ionuitwisseling van ammonium, geschikte oppervlakten voor nitrificeerders en de beschikbaarheid van fosfor |13|.

Hoewel bacteriën verantwoordelijk zijn voor de omzettingen, blijkt uit bioassay-experimenten, dat dood plantenmateriaal van waterplanten invloed heeft op de snelheid van de processen. Dood plantenmateriaal kan de activiteit van ammonium oxiderende bacteriën sterk verminderen |14|. Hierbij maakt het uit wat de dominante plantensoort is. Drie plantensoorten zijn hierbij onderzocht: bosbies (*Scirpus sylvaticus*), snavelzegge (*Carex rostrata*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*). Nitrificatie trad aanzienlijk sneller op bij snavelzegge dan bij bosbies of grote lisdodde. Ammonium wordt eigenlijk alleen genitrificeerd als het BZV lager is dan 20 mg O_2/l. Dit is het geval bij nazuivering van RWZI-effluent |7|.

Denitrificatie (de omzetting van nitraat in gasvormig stikstof) treedt op onder zuurstofloze en -arme omstandigheden en bij aanwezigheid van een koolstofbron. In (semi)natuurlijke moerassystemen is doorgaans genoeg koolstof van dood plantenmateriaal aanwezig om stikstof in concentraties tot 100 mg NO_3-N/l te denitrificeren |10|. Onder zuurstofloze omstandigheden kan echter ook de omzetting van nitraat in ammonium voorkomen, als de redoxpotentiaal lager is dan 75 mV en indien er een grote hoeveelheid gemakkelijk afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is |2|. Ook denitrificatie bij verschillende helofytensoorten is onderzocht |14|. Denitrificatie ging het snelst bij bosbies, maar er was weinig verschil met grote lisdodde, snavelzegge en riet (*Phragmites australis*). Bij riet was denitrificatie het langzaamst. Denitrificatie wordt beïnvloed door de concentraties van zware metalen in het sediment. Er is aangetoond dat toename van cadmium, koper of zink de denitrificatie vermindert en de concentratie van ammonium verhoogt |3|.

Er zijn gegevens bekend van natuurlijke achtergrondconcentraties van totaal-stikstof in moerassystemen en deze ligt in orde 1-3 mg N/l |10|.

In vier geconstrueerde open water moerassystemen in Nederland is totaal-stikstof bepaald in het influent en het effluent van de systemen. De concentraties in de influenten zijn laag in de Groote Beerze, het Land van Cuijk en Everstekoog en variëren van 5,5 tot 7,5 mg N/l. In Elburg was de concentratie aanzienlijk hoger met 44 mg N/l. De landelijk gemiddelde totaal-stikstof-

concentratie in Nederlandse effluenten van RWZI's is 13,9 mg N/l. De effluentconcentraties van de systemen in de Groote Beerze, het Land van Cuijk en Everstekoog zijn slechts weinig lager dan in het influent en variëren tussen 5,0 en 6,3 mg N/l met verwijderingspercentages tussen 5 en 22%. In Elburg was de effluentconcentratie 41 mg N/l, een reductie van 8%. In het Zweedse systeem van Ekeby is de influentconcentratie 19,0 mg N/l. Bij een verblijftijd van 7,1 dagen daalt de totaal-stikstofconcentratie tot 15,1 mg N/l, een verwijderingspercentage van 21%.

Fosfor

Hoewel eenvoudiger dan de stikstofhuishouding, is ook de fosforhuishouding in moerassystemen niet eenvoudig te kwantificeren. Fosforverwijdering vindt plaats door verwijdering van dood organisch materiaal uit het water, door vastlegging in de bodem en door opname door planten. Dode plantenresten die in het systeem achter blijven kunnen echter weer afgebroken worden, waardoor oplosbaar fosfaat weer in het water vrijkomt. Opname door planten en vervolgens maaien en afvoeren van plantenmateriaal kan ongeveer 5% van de totale aangevoerde fosfor verwijderen (o.a.|5||6||7||8|. In een aantal experimenten waar in moerassystemen werden gemodelleerd middels emmers met bodemmateriaal en waterplanten bleek, dat 95% van het verwijderde fosfor geadsorbeerd was aan bodemmateriaal |5| en 5% was vastgelegd in de planten. Naar aanleiding van deze studie, waarin tevens het effect van oogsten van planten op de opname van fosfor door die planten werd bestudeerd, raden de auteurs aan om de planten *niet* te oogsten. De planten bleken op langere termijn slechter in staat om fosfor op te nemen door een gereduceerde vitaliteit en door opwerveling van bodemmateriaal kwam er weer fosfor vrij in het water. Wegens gebrek aan een dergelijke studie in een moerassysteem in werking is het de vraag in hoeverre deze aanbevelingen voor een zuiveringsmoeras in de praktijk gelden c.q. moeten worden overgenomen.

De verwijdering van fosfor uit afvalwater varieert zeer sterk per systeem. In sommige systemen vindt netto toevoeging van fosfor plaats, terwijl andere concentraties in het effluent bereiken van 0,05 mg P/l. Natuurlijke achtergrondconcentraties van totaal-fosfor zijn gerapporteerd van 0,1 tot 0,5 mg P/l. De werking hangt mede af van de grondsoort. Zo blijken helofytenfilters op zandgrond goed te werken, terwijl systemen op veen slecht fosfor verwijderen.

In vier open water moerassystemen in Nederland (zie hiervoor onder 'stikstof') is totaal-fosfor bepaald in het influent en het effluent van de systemen. De concentraties in de influenten variëren van 0,43 tot 2,15 mg P/l. Dit ligt in de buurt van de landelijk gemiddelde totaal-fosforconcentraties in Nederlandse effluenten van RWZI's van 1,4 mg P/l. De effluentconcentraties zijn slechts weinig lager en variëren tussen 0,4 en 1,9 mg P/l met verwijderingspercentages tussen -4 en 15%. De systemen halen dus slechts weinig totaal-fosfor uit het water. In het Zweedse systeem van Ekeby is de influentconcentratie aanzienlijk lager met 0,17 mg P/l. Bij een verblijftijd van 7,1 dagen daalt de totaal-fosforconcentratie tot 0,08 mg P/l, een verwijderingspercentage van 53%. De verwijdering van totaal-fosfor varieert dus sterk: van een toename tot een reductie met de helft.

Pathogenen

In moerassystemen met open water is sterfte van bacteriën door UV-straling de belangrijkste bron van afbraak |10|. In volledig begroeide delen worden bacteriën verwijderd door sedimentatie en predatie. Ook temperatuur, adsorptie en filtratie spelen een rol. De gemiddelde verwijdering van een aantal systemen in de VS was iets meer dan 2 log-schalen (factor 100).

Een grote variatie in effluentconcentraties kan voorkomen en bij aanwezigheid van grote hoeveelheden vogels kan een hoge achtergrondconcentratie voorkomen. Een verblijftijd van drie dagen lijkt voldoende om aan de bacteriologische zwemwaternorm voor het ontvangende oppervlaktewater te voldoen |16|.

In de Nederlandse open water moerassystemen zijn weinig gegevens over pathogenen bekend. In Everstekoog is de verwijdering van E. coli gemeten en hier bleek eveneens een factor 100 verschil tussen influent en effluent bij een verblijftijd van 2 dagen.

In slechts enkele open watersystemen is systematisch de afbraak van E. coli, thermotolerante E. coli en fagen gemeten. De afbraak (sterfte) van deze organismen is meestal evenredig met de verblijftijd in het systeem volgens de formule (o.a. |34|):

$^{10}\log(\text{organisme in effluent systeem}) = k * HRT + C$

waarin:

k	afbraakconstante
HRT	hydraulische verblijftijd in het systeem
C	concentratie in het influent van het systeem

Voor de verwijdering van E. coli werd in het systeem van Everstekoog de k-waarden volgens tabel III.1 gevonden.

TABEL III.1 **K-WAARDEN VOOR DE VERWIJDERING VAN E.COLI (BRON |34|)**

Seizoen	k-waarde	Correlatie coëfficiënt
Voorjaar	-0,69	-0,95
Zomer	-0,76	-0,96
Herfst	-0,87	-0,88
Winter	-0,29	-0,91

In het najaar van 1997 werd tevens een bepaling gedaan aan MS2-fagen. De k-waarde die uit deze metingen werd bepaald was −0,16.

Bij een vergelijking met desinfectie met chloor bleek dat het moerassysteem beter presteerde dan desinfectie met chloor, mits de verblijftijd twee dagen of langer was |34|.

Van de verwijdering van overige pathogenen is in de literatuur niets bekend.

METALEN

Metalen worden uit het water verwijderd door opname door planten en door sedimentatie, flocculatie, adsorptie, co-precipitatie, precipitatie, ionenwisseling, complexvorming en oxidatie/reductie |15|. Ook bacteriën die groeien in de wortelzone van (water)planten nemen zware metalen op. Er is een seizoensvariatie in de plantopname: deze is het hoogst in de zomer, gevolgd door het voorjaar en de winter. Er is een verschil in opname tussen riet (*Phragmites australis*), gele lis (*Iris pseudacorus*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*) |9|. Riet heeft een langer groeiseizoen, waardoor de opname langer door kan gaan. Opname door grote lisdodde is in de zomer en het voorjaar het grootst en door riet pas in de herfst en de winter. Om de opname te maximaliseren in alle seizoenen zouden meerdere soorten waterplanten in een zuiveringsmoeras kunnen worden opgenomen |17|.

De verwijdering van metalen vertoont meestal een relatie met verwijdering van zwevend stof |10|, omdat de metalen voor een groot deel gebonden zijn aan zwevende deeltjes. Met uitzondering van nikkel is 50 tot 75% van de instromende metalen gebonden aan zwevend stof. Uit meerdere studies blijkt dat, afgezien van nikkel, boor, seleen en arseen, metalen gebonden zijn aan het zwevend stof en hiermee verwijderd kunnen worden. Verwijderingspercentages tot 100% zijn gemeld |15|.

Uit een studie naar de concentraties van zware metalen in drie plantensoorten (riet (*Phragmites australis*), grote lisdodde (*Typha latifolia*) en gele lis (*Iris pseudacorus*)) blijkt dat de maximale concentraties in het plantenmateriaal sterk uiteenlopen, zowel tussen de soorten als tussen bovengrondse en ondergrondse plantendelen (zie tabel III.2).

TABEL III.2 METAALGEHALTE VAN DRIE PLANTENSOORTEN IN ZUIVERINGSMOERASSEN IN YG/G DS |9|

Metaal	Riet		Gele lis		Grote lisdodde	
	ondergronds	bovengronds	ondergronds	Bovengronds	Ondergronds	bovengronds
Lood	905	264	571	129	150	90
Zink	871	152	862	184	366	154
Koper	178	41	462	17	256	42
Cadmium	15	nb	73	12	3,4	4

Organische microverontreinigingen

Over het lot van organische microverontreinigingen in open water moerassystemen is weinig bekend. Een studie aan een moerassysteem dat afstromend regenwater uit een landbouwgebied zuivert en het lot van atrazine (een bestrijdingsmiddel) in dit systeem, laat zien dat het moerassysteem atrazine volledig uit het systeem verwijdert. In het effluent van het moerassysteem werd geen atrazine boven de detectielimiet van 1 µg/l aangetroffen. Hoogstwaarschijnlijk zijn methaanbacteriën verantwoordelijk voor de afbraak. Dit werd bevestigd in laboratoriumexperimenten. Er vond geen accumulatie in de bodem van atrazine plaats |42|.

Bestrijdingsmiddelen hechten vaak goed aan bodemmateriaal |43|. Dit betekent dat bij een goede verwijdering van zwevend stof in een moerassysteem het grootste deel van de bestrijdingsmiddelen achter kan blijven in het moerassysteem. Bij slecht afbreekbare stoffen betekent dit echter wel dat deze stoffen zich eerst ophopen in de bodem.

Zuurstofritmiek

Als in het zuiveringsmoeras open water voorkomt, is het mogelijk om de zuurstofritmiek te herstellen. Ondergedoken waterplanten en algen zorgen overdag voor zuurstofproductie in het water. Gedurende de nacht wordt weer zuurstof verbruikt voor de respiratie. In ondiep water met bijvoorbeeld riet is de lichtinstraling laag en de zuurstofconsumptie door de bodem hoog, waardoor er geen of in beperkte mate een natuurlijke ritmiek opgebouwd kan worden.

Er is ook een seizoensfluctuatie in de zuurstofhuishouding in zuiveringsmoerassen waarneembaar. In het voorjaar is de zuurstofproductie het grootst, terwijl in de zomer de zuurstofconsumptie groter is door de afbraak van afstervende biomassa.

In het systeem van Everstekoog (zie Bijlage II.2) domineert de invloed van waterplanten het zuurstofgehalte. Relatief grote hoeveelheden organisch materiaal zorgen voor een hoge

zuurstofconsumptie door bacteriën, shredders etc. Ook de biomassaproductie van planten is hoog. Daardoor kan de zuurstofproductie van planten overdag zeer hoog zijn, tot meer dan 30 mg O_2/l, dit is ca. 300% oververzadiging. Uit metingen in het systeem blijkt, dat de zuurstof-concentratie overdag gemiddeld rond 18 mg O_2/l is en 's nachts minimaal rond 4 mg O_2/l. In het voorjaar is de zuurstofproductie het hoogst, waarbij grote oververzadiging (tot meer dan 25 mg O_2/l) overdag wordt afgewisseld met relatief lage zuurstofconcentraties 's nachts. In juli en augustus daalt het zuurstofgehalte als gevolg van het afsterven van biomassa, die de zuurstofvraag in het systeem doet stijgen onder invloed van gunstige temperaturen. 's Nachts kunnen dan perioden van zuurstofloosheid optreden. Vanaf september keer het voorjaarsbeeld terug |34|.

In het effluent van het moerassysteem van Land van Cuijk (Bijlage II.3) is de zuurstofdynamiek na een verblijftijd van een paar uur gedeeltelijk hersteld. In het effluent van de RWZI is de zuurstofconcentratie continu laag (minder dan 0,5 mg O_2/l), terwijl deze in het effluent van het zuiveringsmoeras schommelt tussen 3 en 5,5 mg O_2/l. In deze schommeling is een duidelijk dag/nacht ritme te zien |33|.

Ecologische aspecten
Het effluent van de RWZI's wordt in de open water moerassystemen ontdaan van actief slib. In Everstekoog (Bijlage II.2) en Groote Beerze (Bijlage II.4) is gezien dat grote aantallen watervlooien zich ontwikkelden. Ook algen (diatomeeën, flagellaten, groenalgen en blauwalgen) ontwikkelden zich. Macrofaunasoorten vestigen zich in het water, met name muggenlarven, slakken en borstelwormen. Ook vissen werden na verloop van tijd aangetroffen (stekelbaarzen, giebels). De ontwikkelde populaties van macrofauna duiden op een organisch belast systeem.

Open water moerassystemen bieden naast niches voor aquatische organismen ook mogelijkheden voor bijvoorbeeld vogels. In de Groote Beerze (Bijlage II.4) zijn broedgevallen van gele kwikstaart, ijsvogel en witgat gesignaleerd. Een jaar na aanleg van het systeem in Ekeby (Bijlage II.8) zijn 60 vogelsoorten geteld.

Overige aspecten
De grote kracht van open water moerassystemen is de mogelijkheid tot combinatie met andere functies. Het relatief grote benodigde oppervlak voor deze systemen is gemakkelijker te reserveren als het moerassysteem ook gebruikt wordt voor recreatieve en educatieve doelen, natuurontwikkeling en waterberging. Open water moerassystemen bieden bij uitstek deze mogelijkheden.

INFILTRATIEVELDEN EN WORTELZONESYSTEMEN

Infiltratievelden en wortelzonesystemen bestaan uit zand- of grindbedden waardoor het water stroomt. Deze zijn beplant met riet of een andere (lokale) plantensoort. Bij *infiltratievelden* stroomt het water verticaal door het bed, bij *wortelzonesystemen* horizontaal. Aangezien infiltratievelden en wortelzonesystemen vergelijkbare eigenschappen hebben, worden zij hier gezamenlijk behandeld. De werking van infiltratie- en wortelzonesystemen verschilt fundamenteel van open water moerassystemen. Er is sprake van filtratie en adsorptie als belangrijkste verwijderingsmechanismen. Daarnaast hebben bodemprocessen en bodemorganismen een zekere invloed op de waterkwaliteit.
Er zijn vele infiltratievelden en wortelzonesystemen in gebruik in Europa en de VS. De groottes variëren van enkele tientallen vierkante meters tot enkele tientallen hectaren. Zij worden belast met ongezuiverd huishoudelijk afvalwater, afvalwater uit septic tanks, door een RWZI

gezuiverd afvalwater, industrieel afvalwater en eutroof oppervlaktewater. De verblijftijden variëren van enkele uren tot enkele dagen.

De meeste infiltratievelden bestaan uit meerdere compartimenten die om de beurt worden belast, waarna het water door het bed zakt. Het bed valt hierdoor intermitterend droog. Hierdoor kan tijdens droge perioden zuurstof in het bed dringen waardoor organische stoffen kunnen worden afgebroken en ammonium kan worden genitrificeerd. Wortelzonesystemen worden continu belast.

De rol van planten

In verschillende recente studies van systemen die belast worden met ruw afvalwater blijkt, dat planten geen grote rol spelen in de verwijdering van met name stikstof en fosfaat in infiltratievelden en wortelzonesystemen |10|, |18|, |21|. Deze studies vergeleken de zuivering tussen beplante en onbeplante systemen die belast werden met ruw afvalwater. De reden van de kleine rol van waterplanten kan zijn, dat door de ondiepe beworteling van de planten het grootste deel van het water onder de wortelzone door stroomt |10|. Daarnaast wordt een aanzienlijk deel van de zuivering gedaan door micro-organismen die op het substraat groeien. Andere recente studies spreken de verwaarloosbare rol van planten weer tegen |19|, |20|. Volgens deze laatste studie zijn er verschillen tussen verschillende toegepaste plantensoorten, waarbij overigens een mengsel van Pitrus (*Juncus effusus*), *Scirpus validus* en grote lisdodde (*Typha latifola*) een betere zuivering oplevert dan de drie monoculturen. In de praktijk is het echter moeilijk om uiteindelijke dominantie door één soort te voorkomen. Een studie naar de opname van fosfor door waterplanten op rietinfiltratievelden in het Verenigd Koninkrijk laat zien, dat planten maximaal 30 g P/m².j opnemen, maar dat slechts 0,25 tot 1,2 g P/m².j kan worden verwijderd door oogsten (maaien en afvoeren). Dat is in het onderzochte systeem ongeveer 7% van de totale belasting met fosfor |7|.

In hoogbelaste systemen met RWZI-effluent spelen planten voornamelijk een rol door het vergroten van het oppervlak voor biofilms. De worteling in het substraat houdt dit substraat open en zorgt voor een betere luchttoevoer naar de bodem. In laagbelaste systemen speelt de opname van nutriënten door de planten een grotere rol.

Het substraat van infiltratievelden en wortelzonesystemen kan dichtslibben met fijne deeltjes. De doorstroming van water wordt dan belemmerd. Wortelende waterplanten houden het substraat open doordat er kleine kanaaltjes ontstaan op plekken waar wortels afsterven.

Hoewel planten een beperkte rol lijken te hebben bij het verwijderen van nutriënten hebben zij invloed op het milieu en de doorlatendheid van de bovenste laag van de systemen en daarmee op het microbiële bodemleven. Daarnaast verdampen de planten relatief veel water en hebben zij een esthetische functie.

De rol van het substraat

De keuze van het substraat is erg belangrijk. Het substraat moet grof genoeg zijn om het water goed door te kunnen laten, maar fijn genoeg om een voldoende filtercapaciteit te hebben. Grof zand met een grindbed erop wordt veel gebruikt. De 10-percentiel deeltjesgrootte moet in de orde van 0,3 tot 2 mm liggen, de 60-percentiel tussen 0,5 en 8 mm en de verhouding tussen de 60- en de 10-percentiel moet kleiner zijn dan 4 |4| om een adequate hydraulische doorlatendheid te garanderen en het risico op dichtslibben te minimaliseren.

De aard van het substraat is belangrijk voor de binding van fosfaat en zware metalen. Met name aan de fosfaatbindingscapaciteit van verschillende substraattypen is onderzoek gedaan. Hieruit blijkt, dat de fosfaatsorptiecapaciteit afhangt van het calciumgehalte van de geteste zandsoorten. Het ijzer- en het aluminiumgehalte zijn van minder belang |4|. Calciet ($CaCO_3$) en verkruimeld marmer ($CaCO_3$ + $CaMg(CO_3)_2$) hebben hoge fosforbindingscapaciteiten. Calciet heeft een fosfaatbindendvermogen van ongeveer 25 kg/m³.

Uit een onderzoek naar de bindingscapaciteiten van verschillende vormen van ijzertoevoegingen aan het substraat op de sorptiecapaciteit van fosfaat, blijkt dat alleen metallisch ijzer geschikt is voor fosfaatverwijdering. Deze stof heeft echter nadelen: in het filter oxideert ijzer relatief snel en worden er verschillende oxidatieproducten gevormd, waarvan er maar enkele goede fosfaatbinders zijn. In welke verhoudingen deze verschillende stoffen worden gevormd is geheel afhankelijk van de condities in het filter |40|. Bovendien bestaat bij deze oxidatieproducten de kans dat zij het filter doen dichtslibben. Bauxiet en ijzeroer hebben een te langzame adsorptiereactie om voldoende fosfaat te binden bij de korte contacttijd waarin in infiltratiefilters sprake is. IJzerzand heeft te weinig bindingscapaciteit. Kalk kan onder veldcondities het fosfaatgehalte niet tot een concentratie van 0,15 mg P/l verwijderen.

BZV en zwevend stof

BZV en zwevend stof worden voornamelijk uit het RWZI-effluent gefilterd door het substraat. Hierbij is de verwijdering van zwevend stof beter dan van BZV. Dit komt doordat de grotere organische deeltjes weliswaar achterblijven, maar in het systeem verder worden afgebroken en weer in het water terecht kunnen komen. Er ontstaat zo een interne bron van BZV in het systeem. Dit veroorzaakt een natuurlijke achtergrondconcentratie in het effluent van 2 tot 7 mg/l |21|. Het BZV en zwevend stof van het effluent van een systeem bestaat uit andere materialen dan die in het influent.

Hoewel organische stof achter blijft in het systeem, blijkt uit langdurige studies dat het systeem niet verzadigd raakt. Verschillende onderzoekers vinden na verloop van tijd een soort front, dat stabiel blijft liggen. Dit betekent dat organisch materiaal langzaam wordt afgebroken in het systeem.

BZV verwijdering vindt plaats onder anaërobe omstandigheden door vergisting tot methaan en door sulfaatreductie. Hoewel deze processen sterk temperatuurafhankelijk zijn, laten aanmetingen geen grote verschillen in BZV verwijdering tussen zomer en winter zien. Klaarblijkelijk worden zuurstofconsumerende stoffen in de winter in het systeem opgeslagen om in de zomer verwijderd te worden |10| en heeft het systeem in dat opzicht een bufferende werking. Verbeterde BZV verwijdering kan optreden door één of meer beluchtingsstappen in het systeem in te bouwen |7|, |22|.

In het infiltratieveld van de Efteling (Bijlage II.6) is de verwijdering van zwevend stof gemeten. Het verwijderingspercentage is daar 19%. Er is geen onderzoek gedaan naar de samenstelling van het zwevend stof.
In het buitenland worden infiltratievelden of wortelzonesystemen meestal hoger belast dan bij de systemen in Nederland die RWZI-effluent nabehandelen. Het BZV-gehalte in effluent uit dergelijke systemen is vaak hoger dan 30 mg O_2/l.
Overigens is het effluent van RWZI's relatief arm aan zwevend stof. Alleen indien de nabezinktank overbelast is, kan het gehalte aan zwevend stof verveelvoudigen. Bij een vergelijk tussen infiltratievelden en vloeivelden/vijvers voor hoger met zwevend stof belaste soorten afvalwater, blijken infiltratievelden veel effectiever zwevend stof te verwijderen.

Stikstof

Stikstofverwijdering gebeurt door opname door planten en door mineralisatie, nitrificatie en denitrificatie. De schattingen van opname door waterplanten variëren van 12 tot 120 g N/m².j en zijn afhankelijk van de plantensoort. Riet behoort tot de lagere ranges en grote lisdodde tot de hogere |10|. Tijdens het afsterven van de plant wordt het grootste deel van de opgenomen stikstof getransporteerd naar de wortels. Maaien en afvoeren verwijdert daarom slechts een deel van de opgenomen stikstof. Het is zelfs de vraag of verwijdering van planten de moeite en het geld waard zijn |10|, |21|.

Mineralisatie en nitrificatie treden met name in wortelzonesystemen nauwelijks op, omdat er geen zuurstofrijke omstandigheden zijn |10|, |21|. Voor ongezuiverde afvalwaterstromen of effluenten van septic tanks zijn wortelzonesystemen daarom minder geschikt. De omstandigheden voor denitrificatie zijn daarentegen gunstig, mede omdat er organisch materiaal aanwezig is dat kan dienen als koolstofbron.

Infiltratievelden en wortelzonesystemen zijn derhalve alleen geschikt voor stikstofverwijdering als het influent veel nitraat en weinig organisch gebonden stikstof en ammonium bevat. Echter, in getrapte systemen met beluchting |23|, |24| wordt de nitrificatie en daarmee de stikstofverwijdering sterk bevorderd. Ook circulatie en toevoeging van methanol of toegevoegd plantenmateriaal zoals stro als koolstofbron (bij gebrek aan een andere koolstofbron) kunnen de stikstofverwijdering bevorderen |25|, |10|.

De twee onderzochte Nederlandse rietinfiltratievelden laten een vergelijkbare stikstofverwijdering zien van 0,18 tot 0,20 g/m².d, terwijl de concentraties in het influent en de hydraulische belasting sterk verschillen. De influentconcentratie in de Efteling is 3 en in Lauwersoog 104 mg N/l. De belastingen zijn respectievelijk 0,5 en 0,7 g N/m².d. De verwijderingspercentages zijn respectievelijk 38 en 30%.

In het Verenigd Koninkrijk zijn enkele honderden rietvelden in gebruik voor de zuivering van ongezuiverd of licht gezuiverd huishoudelijk afvalwater. Het ontwerp van deze systemen is afgestemd op het verwijderen van BZV uit het afvalwater, dus niet primair voor het verwijderen van stikstof. Een aantal systemen is redelijk goed doorgemeten. Zo ligt de concentratie van ammonium in het inlaatwater tussen 8 en 25 mg N/l en van nitriet+nitraat tussen 5 en 22 mg N/l. Over het algemeen is de stikstofconcentratie in het influent hoger dan in RWZI-effluent in Nederland. De zuiveringsrendementen van het totale anorganische stikstof variëren van 30% tot 66%, en verschillen van jaar tot jaar in hetzelfde systeem, waarbij het gemiddelde ligt tussen 45 en 50% |41|. De ervaring leert, dat ammonium normaal gesproken niet wordt omgezet in nitraat, behalve bij relatief grote oppervlakten en/of als de BZV-concentratie lager is dan 20 mg/l |7|.

Fosfor

Een klein deel van het fosfor in het water wordt opgenomen door planten. Afhankelijk van de soort en het aanbod van ortho-fosfaat is dit 1,8 tot 18 g P/m².j. Riet behoort tot de lagere ranges en grote lisdodde tot de hogere |10|. Net als stikstof wordt de opgenomen fosfor bij het afsterven van de planten voor het grootste gedeelte getransporteerd naar de ondergrondse delen.

Organisch gebonden fosfor kan goed door wortelzonesystemen en infiltratievelden worden afgevangen, net als zwevend stof. Organisch gebonden fosfor kan echter als opgelost fosfaat het systeem weer verlaten als het organische stof wordt afgebroken. In jonge systemen met

veel opname door planten en een nog hoge precipitatie en adsorptie kan nog een hoge fosforverwijdering optreden (tot wel 95%, |21|), maar voor een substantiële fosforverwijdering op langere termijn zijn infiltratievelden en wortelzonesystemen volgens de literatuur niet erg geschikt |10|, |21|.

Het substraat is erg belangrijk voor de fosforverwijdering, omdat sorptie van fosfor het belangrijkste verwijderingsmechanisme is. Elk type substraat heeft zijn eigen sorptiecapaciteit. Uit een onderzoek naar de sorptiecapaciteit van 13 Deense zandsoorten bleek, dat er grote verschillen zijn. Bij sommige zandsoorten is de sorptiecapaciteit al binnen enkele maanden uitgeput. De belangrijkste karakteristiek om de sorptiecapaciteit te bepalen is het calciumgehalte van een substraat. Ook enkele kunstmatige substraten zijn getest en hierbij bleken calciet en verkruimeld marmer de beste fosforbindingscapaciteit te hebben (zie ook hiervoor onder "De rol van het substraat "). Het mengen van deze stoffen met een natuurlijk substraat kan de fosforsorptiecapaciteit aanzienlijk vergroten |4|. Ook aluminium, magnesium en ijzer dragen bij aan de fosforbinding; toevoeging van deze stoffen kan eveneens de sorptiecapaciteit vergroten |26|. Een losse, aparte eenheid binnen het systeem met een (kunstmatig) substraat met grote fosforbindingscapaciteit kan worden ingezet. Het voordeel hiervan is, dat bij fosforverzadiging dit deel dan gemakkelijk kan worden vervangen.

De Nederlandse rietinfiltratievelden laten een beperkte fosforverwijdering zien, tussen 19 en 24%. In deze systemen is de verwijdering gelijk: 0,02 g P/m².d bij een belasting tussen 0,12 en 0,09 g P/m².d.

Pathogenen

Pathogenen zijn gespecialiseerd in het overleven binnen zoogdieren of vogels. Infiltratievelden en wortelzonesystemen bieden een slechte omgeving en pathogenen zullen er dan ook lage overlevingskansen hebben. Bacteriën worden vooral verwijderd door filtratie, sedimentatie en predatie. In infiltratievelden en wortelzonesystemen speelt doding door UV-straling geen rol. Een typische verwijdering is een tot drie log-schalen (factor 10 tot 1000), maar is afhankelijk van de verblijftijd |10|, |11|, |21|. Een verblijftijd van meer dan 30 uur geeft een verwijdering van minimaal 2,5 log-schalen (factor 316, |11|). Of vereiste effluentkwaliteiten in een systeem worden gehaald is dus tevens afhankelijk van de concentratie aan bacteriën in het influent. In een aantal gevallen in de praktijk bleek een desinfectiestap na infiltratievelden of wortelzonesysteem noodzakelijk om aan de lozingseisen te voldoen |21|.

In rietinfiltratievelden in Nederland zijn zeer weinig gegevens over de verwijdering van pathogenen. In Lauwersoog (waar het niet voorgezuiverd afvalwater betrof) was de verwijdering van thermotolerante E.coli 2,7 log-schalen, voor E. coli 7,5 log-schalen en voor F-specifieke fagen 5,6 log-schalen bij een verblijftijd van 5 dagen.
Bij zandfiltratie bij de drinkwaterbereiding wordt een verwijdering van pathogenen van 100% bereikt. Dit geeft aan dat filtratie/sedimentatie voldoende effectief kan zijn. Dit geldt ook voor het helofytenfilter bij melkveehouderij in Boxtel en bij champignonteelt.

Zware metalen

De verwijdering van metalen geschiedt in infiltratievelden en wortelzonesystemen voornamelijk via twee wegen: verwijdering van zwevend stof met aangehechte metalen en chemische binding aan sulfide, maar ook diverse chemische bindingen en omzettingen spelen een rol. De twee genoemde mechanismen zorgen voor een zeer goede verwijdering van metalen. Goed oplosbare metalen als cadmium en nikkel kunnen minder goed worden verwijderd.

Opname door planten speelt een zeer ondergeschikte rol |10|. Voor de verwijdering van metalen is de aanwezigheid van ijzer en calcium in het filter van belang.

De verwijdering van metalen uit het afvalwater vertoont meestal een correlatie met verwijdering van zwevend stof |10|, omdat zij voor een groot deel gebonden zijn aan zwevende deeltjes. Met uitzondering van nikkel is 50 tot 75% van de instromende metalen gebonden zijn aan zwevend stof. Uit meerdere studies blijkt, dat afgezien van nikkel, boor, seleen en arseen zware metalen gebonden zijn aan het zwevend stof en hiermee verwijderd kunnen worden. Verwijderingspercentages tot 100% zijn gemeld |15|.

In de literatuur zijn zeer weinig gegevens beschikbaar over de rendementen van ecotechnologische systemen voor zware metalenverwijdering uit effluenten van RWZI's. In tabel III.3 worden rendementen van verwijdering van enkele zware metalen getoond. Het gaat om het rietinfiltratieveld van de Efteling voor de nabehandeling van effluent van RWZI Kaatsheuvel (zie Bijlage II.6) en twee zuiveringsmoerassen in het Verenigd Koninkrijk |17| die worden gebruikt voor het zuiveren van afstromend neerslagwater. Deze laatste twee systemen laten grote verschillen per meting zien doordat intensiteit van de buien en dus de verblijftijd van het water in het moeras sterk verschillen. Ook de zuiveringsrendementen van een moerassysteem bij een zinkmijn in Ierland worden getoond |39|.

TABEL III.3 **ZUIVERINGSRENDEMENTEN VOOR ZWARE METALEN VAN ENKELE INFILTRERENDE MOERASSYSTEMEN**

Systeem	Cadmium	Chroom	IJzer	Koper	Lood	Nikkel	Zink
Efteling		95%	49%	30%		> 63%	44%
Tara-mijn, Ierland			97%		52%		98%
Dagenham, UK	72 ± 38%	81 ± 21%		66 ± 38%	69 ± 19%	34 ± 4%	71 ± 39%
Brentwood, UK	20 ± 47%	38 ± 27%		36 ± 52%	40 ± 22%	34 ± 70%	-36 ± 108%

Organische microverontreinigingen
Over de lotgevallen van organische microverontreinigingen in infiltratievelden of wortelzonesystemen bij RWZI's is niets bekend. Wel zijn er voorbeelden bij bedrijfsafvalwatersystemen bij champignonteelt. Hier werd carbendazim verwijderd van 20 ng/l in het influent tot onder de detectiegrens van 0,5 ng/l in het effluent.

Zuurstofritmiek en hogere organismen
Omdat het water door het substraat stroomt onder zuurstofloze omstandigheden, brengen wortelzonesystemen en infiltratievelden geen natuurlijke zuurstofritmiek in het water. Hogere organismen komen niet voor in het effluent van een dergelijk systeem. Beide problemen zijn op te lossen door na een wortelzonesysteem of infiltratievelden het effluentwater door een open water systeem te leiden.

Overige aspecten
Wortelzonesystemen en infiltratievelden bieden weinig mogelijkheden voor combinatie met recreatie, natuurontwikkeling en waterberging. Wel kunnen deze systemen een educatieve functie vervullen. Vergeleken met open water systemen vergen zij minder ruimtebeslag, maar wel meer onderhoud en beheer.

BIJLAGE IV

WATERHARMONICA WORKSHOPS OPZET, VERSLAG EN EVALUATIE

INLEIDING

Voor een goede kennisoverdracht naar de Nederlandse waterbeheerders en andere belanghebbenden met als doel het bevorderen van nieuwe Waterharmonica-projecten zijn als laatste stap in het Stowa-project twee Waterharmonica workshops georganiseerd.

De eerste workshop voor zuid Nederland vond plaats op dinsdag 23 november 2004 op Waterpark De Groote Beerze te Hapert . De tweede workshop is gehouden op donderdag 25 november in het Waterschapshuis van Regge en Dinkel in Almelo.

Deze bijlage geeft achtereenvolgens

A. een beschrijving van de *opzet* door middel van de uitnodigingsbrief van Stowa, het programma en de deelnemerslijst van beide workshops,
B. het *verslag* van beide workshop van Joost Jacobi (Wageningen Universiteit) zoals in verkorte vorm gepubliceerd in H_2O nr 25/26 2004
C. een *evaluatie* van beide workshops aan de hand van de evaluatieformulieren die door de workshopdeelnemers zijn teruggestuurd.

A. OPZET VAN DE WORKSHOPS

UITNODIGINGSBRIEF STOWA

Aan genodigde

ONDERWERP uitnodiging Waterharmonica workshop
DATUM Utrecht, 13 oktober 2004
ONS KENMERK 2004-0915-JG-433024
UW KENMERK

Geachte heer/mevrouw,

Door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Wetterskip Fryslân is, samen met anderen, in de afgelopen jaren het concept De Waterharmonica opgezet en ontwikkeld. Met dit concept wordt een duurzame, ecotechnologische oplossing geboden voor de ontbrekende natuurlijke schakel of overgang tussen de waterketen en het watersysteem en meer concreet tussen RWZI-effluent en ontvangend oppervlaktewater.

Inmiddels zijn in Nederland een aantal toepassingen van de Waterharmonica operationeel, momenteel nog beperkt tot zuiveringsmoerassen bij RWZI's (Everstekoog, Land van Cuijk, Hapert, Sint Maartensdijk, Klaterwater de Efteling en het proefveld Everstekoog op Texel). Uitgewerkte plannen voor toepassing van het Waterharmonica concept zijn er voor de RWZI's Ameland, Apeldoorn, Grouw, Ootmarsum en Wervershoof.

In de afgelopen twee jaar is de kennis en ervaring met deze systemen bij elkaar gebracht en zijn de perspectieven voor vernieuwende, geïntegreerde toepassingen van het concept duidelijk geworden. In het als bijlage 1 (*red*: van brief en niet van dit rapport) toegevoegde artikel "De waterharmonica, van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater" (H_2O nr. 7, 2003) wordt ingegaan op de achtergrond en aanpak van dit onderzoek.

Een belangrijke conclusie uit dit onderzoek, uitgevoerd door Royal Haskoning en Lettinga Associates Foundation (LeAF) in opdracht van STOWA, is dat door het combineren van functies met Waterharmonica-toepassingen meerdere milieu- en natuurdoeleinden tegelijk kunnen worden bereikt. Verder blijkt dat het concept naadloos past binnen de doelstellingen en het implementatietraject van de Europese Kaderrichtlijn Water. Dit werd bevestigd op de speciale Waterharmonica-sessie die onlangs op het 7e International Wetlands Congres in Utrecht is gehouden. Een kort verslag van deze sessie uit H_2O nr. 18, 2004 treft u aan als bijlage 2 bij deze brief (*red*: niet in dit rapport). Verder hebben we in bijlage 3 de verschillende doelen samengevat die met de harmonica kunnen worden bereikt (*red*: niet in dit rapport). Meer informatie kunt u vinden op de projectsite www.waterharmonica.nl |54|.

Voor een goede kennisoverdracht naar de Nederlandse waterbeheerders en andere belanghebbenden met als doel het bevorderen van nieuwe Waterharmonica-projecten zijn als laatste stap in het Stowa-project twee Waterharmonica workshops opgezet.
Op dinsdag 23 november vindt de eerste workshop voor zuid Nederland plaats op Waterpark De Groote Beerze te Hapert. De tweede workshop is gepland op donderdag 25 november op RWZI Ootmarsum (*red*: is Waterschapskantoor Regge en Dinkel geworden).

Deze locaties zijn gekozen omdat in Hapert reeds het Waterpark Groote Beerze is gerealiseerd en omdat in Ootmarsum verregaande plannen zijn voor een systeem om, na uitbreiding en vernieuwing van de RWZI, het gefiltreerde effluent te “ecologiseren”.

Het programma van de workshops, waaraan deelname gratis is, vindt u bijgevoegd als bijlage 4 (*red*: niet in dit rapport). Tijdens de workshops wordt u met posters geïnformeerd over de bestaande operationele Waterharmonica toepassingen.

Graag willen wij u uitnodigen deel te nemen aan de workshop op dinsdag 23 november in Hapert of donderdag 25 november in Ootmarsum. We verzoeken u daartoe het (*red.* niet bij dit rapport) bijgevoegde opgaveformulier (bijlage 5) op te sturen naar het daarop aangegeven adres. U kunt zich ook per e-mail naar het aldaar vermelde mailadres opgeven.

Mocht uzelf voorbeelden hebben, die u als casus in de workshop zou willen inbrengen, dan nodigen wij u hierbij graag uit om deze op het opgaveformulier aan te geven. Ook al zijn het slechts ruwe schetsen of nog niet uitgewerkte gedachten!

Deze uitnodiging is aan u persoonlijk toegestuurd. Mocht u op de betreffende dag verhinderd zijn of de workshop van groter belang achten voor een collega van u dan vragen we u deze uitnodiging aan die collega door te willen geven.

Ruim voor de datum waarop de workshops worden gehouden zal aan de deelnemers nadere informatie over de workshop worden toegestuurd.

Mocht u op dit moment nadere inlichtingen over de workshops wensen dan verzoek ik u contact op te nemen met Ton Schomaker van Royal Haskoning (073 – 687 41 86), Theo Claassen (058 – 292 20 66) of met Ruud Kampf (0299 – 391 429).

De organisatie van de workshops hoopt op een hoge opkomst.



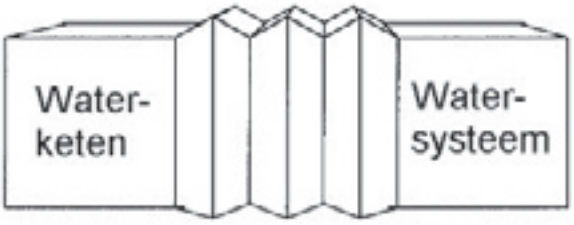
Drs. A.J. Palsma, STOWA

5 bijlagen (*red.* van brief, niet van dit rapport)

1. Artikel “De Waterharmonica, van effluent tot bruikbaar oppervlaktewater” (H_2O nr 7, 2003)
2. Verslag speciale Waterharmonica-sessie op het 7e International Wetlands Congres in Utrecht, Maarten Claassen, DWR, H_2O nr 18, 2004.
3. Waterharmonicadoelen
4. Programma
5. Opgaveformulier

PROGRAMMA WORKSHOP DE WATERHARMONICA I

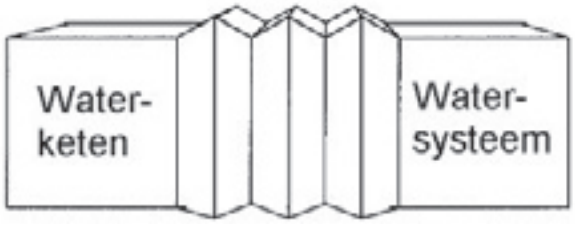
Datum, plaats:	23 november 2004, Waterpark De Groote Beerze, RWZI Hapert
11.30 - 12.00 uur	Ontvangst
12.00 – 12.20 uur	Welkomswoord en inleiding Waterpark De Groote Beerze door Fons van Hout (projectleider Waterpark De Groote Beerze)
12.20 – 12.30 uur	Inleiding workshop door Bert Palsma (STOWA)
12.30 - 13.30 uur	Wandellunch door Waterpark De Groote Beerze
13.30 - 13.50 uur	Presentatie “Geschiedenis en principe van De Waterharmonica” door Theo Claassen (Wetterskip Fryslân)
13.50 - 14.10 uur	Presentatie “Huidige toepassingen van de Waterharmonica in Nederland en buitenland” door Ton Schomaker (Royal Haskoning) en Ruud kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
14.10 - 14.30 uur	Toelichting op uit te werken casus (aangedragen door deelnemer of modelcasus) door Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
14.30 - 15.15 uur	Uitwerking van casus in groepen begeleid door Theo Claassen, Ruud Kampf, Ton Schomaker en Wim van der Hulst (Waterschap Aa & Maas)
15.15 - 15.30 uur	Pauze
15.30 - 16.15 uur	Afronding uitwerking casus
16.15 - 16.45 uur	Plenaire bespreking en evaluatie uitgewerkte casus
16.45 - 17.00 uur	Eindconclusies
17.00	Open uitloopeinde met hapje en drankje



DE WATERHARMONICA

PROGRAMMA WORKSHOP DE WATERHARMONICA II

Datum, plaats:	25 november 2004, Waterschapshuis Regge en Dinkel te Almelo
11.30 - 12.00 uur	Ontvangst
12.00 – 12.05 uur	Welkomswoord door Karel Hesselink (Waterschap Regge en Dinkel)
12.05 – 12.15 uur	Inleiding workshop door Bert Palsma (STOWA)
12.15 – 13.00 uur	Lunch
13.00 - 13.20 uur	Presentatie “Geschiedenis en principe van De Waterharmonica” door Theo Claassen (Wetterskip Fryslân)
13.20 - 13.40 uur	Presentatie “Huidige toepassingen van de Waterharmonica in Nederland en buitenland” door Johan Blom (Royal Haskoning) en Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)
13.40 - 14.00 uur	Toelichting op uit te werken casus door Ruud Kampf
14.00 – 14.15 uur	Inleiding casus Ootmarsum door Karel Hesselink
14.15 – 15.00 uur	Uitwerking van casus in groepen begeleid door Theo Claassen, Ruud Kampf, Ton Schomaker, Johan Blom en Wim van der Hulst (Waterschap Aa & Maas)
15.00 - 15.15 uur	Pauze
15.15 - 16.00 uur	Afronding uitwerking casus
16.00 - 16.30 uur	Plenaire bespreking en evaluatie uitgewerkte casus
16.30 - 16.45 uur	Eindconclusies
16.45	Open uitloopeinde met hapje en drankje



DE WATERHARMONICA

DEELNEMERS AAN DE WORKSHOPS

Provincie	**Waterschap**	**Naam**	**Workshop Hapert 23-11-2004**	**Workshop Almelo 25-11-2004**
Groningen	WS Noorderzijlvest	W. Poiesz		x
Friesland	Wetterskip Fryslân	S. Gerbens		x
		H. Los		x
		K. Koops		x
Drenthe	WS Velt en Vecht	G. Mensonides		x
Overijssel	WS Groot Salland	B. Moonen		x
	WS Regge en Dinkel	W. Dammers		x
		H. Ellenbroek		x
		E. Stegeman-Broos		x
Flevoland	WS Zuiderzeeland			
Gelderland	WS Rijn en IJssel	C. Petri		x
	WS Rivierenland	D. Roes		x
		E. Bergersen	x	
	WS Veluwe	R. van Dalen		x
		W. van Vilsteren		x
Noord-Holland	Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht / DWR	R. Vewers		x
	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier	J. Graansma	x	
Zuid-Holland	Hoogheemraadschap van Schieland	F. van Breukelen	x	
Zeeland	WS Zeeuwse Eilanden	E. Poulus	x	
	WS Zeeuws-Vlaanderen			
Noord-Brabant	WS Aa en Maas	M. Schellekens	x	
	WS De Dommel	P. van Dijk	x	
Limburg	WS Roer en Overmaas	M. Franssen	x	
Aantal deelnemers			7	14

Organisatie	Stowa	Bert Palsma	x	x
	WS De Dommel	Fons van Hout	x	
	WS Regge en Dinkel	Karel Hesselink		x
	Wetterskip Fryslân	Theo Claassen	x	x
	Royal Haskoning	Ton Schomaker	x	
	Royal Haskoning	Johan Blom	x	x
	HH Hollands Noorderkwartier	Ruud Kampf	x	x
	WS Aa en Maas	Wim van der Hulst	x	
	Extern (verslaglegging)	Joost Jacobi	x	x
Aantal aanwezigen (deelnemers + organisatie)			17	25

B. VERSLAG VAN WORKSHOPS

WATERSCHAPPEN KLAAR VOOR DE WATERHARMONICA?

Verslag van twee 'Waterharmonica'-workshops voor de Waterschappen, opgesteld door Joost Jacobi, en in verkorte versie gepubliceerd in H_2O nr 25/26, 2004.

ACHTERGROND WATERHARMONICA STUDIE

Het concept 'Waterharmonica' is zeven jaar geleden geboren toen dit concept als winnend uit de bus kwam bij een prijsvraag ter gelegenheid van 25 jaar STOWA. De Waterharmonica is een schakelsysteem tussen de afvalwaterketen en het oppervlaktewatersysteem. Uitgangspunt is het gebruik van technische oplossingen in natuurlijke processen en natuurlijke oplossingen in technische processen binnen het waterbeheer. Deze invulling wordt beschreven met de term 'ecological engineering', een combinatie van techniek en natuur met als doel om de kwaliteit van effluent en oppervlaktewater te verbeteren en een grotere duurzaamheid binnen het waterbeheer na te streven. Meer informatie is te vinden op www.waterharmonica.nl

Na het seminar tijdens de Internationale Wetlandsconferentie in Utrecht in juli dit jaar (zie H_2O nr.18, 2004), is onlangs met twee workshops de bekendheid van de Waterharmonica binnen Nederland vergroot. Waterpark De Groote Beerze te Hapert en Waterschapshuis van Regge en Dinkel te Almelo waren respectievelijk 23 en 25 november jl. het decor voor de workshops waartoe medewerkers van waterschappen van Nederland waren uitgenodigd.

DOEL EN OPZET VAN DE WORKSHOPS

De twee workshops hadden tot doel informatie te verschaffen aan vertegenwoordigers van de Nederlandse waterschappen over de Waterharmonica als schakel tussen rwzi-effluent en open water systemen. Naast de functie van nazuivering werd een grote verscheidenheid van nevenfuncties benadrukt welke, in samenwerking met verschillende belangengroepen, zowel economisch als sociaal/cultureel van extra waarde kunnen zijn. De bedoeling was om waterschappen te motiveren op een creatieve wijze na te denken over het toepassen van de Waterharmonica en de daarmee samengaande eco-technologische werkwijze van nazuivering en hergebruik van effluent.

Tijdens de workshops werden verschillende presentaties gegeven waarin Waterharmonica-voorbeelden uit zowel binnen- als buitenland aan bod kwamen. Getoonde onderzoeksresultaten dienden als onderbouwing voor de diversiteit van mogelijke functies. Zo werd genoemd dat de Waterharmonica bijdraagt aan nutriëntenverwijdering, desinfecteert, natuurontwikkeling ondersteunt, integraal waterbeheer stimuleert, overall kosten voor emissie-reductie en waterkwaliteitsverbetering reduceert, en bijdraagt aan het bereiken van de doelen van de Kaderrichtlijn Water.

Het tweede meer participatieve dagdeel bestond uit het maken van een ontwerp voor een Waterharmonica-systeem uitgaande van een kansrijke case, zoals bij bijvoorbeeld bij Grou en Ootmarsum. Vervolgens werd er via een stappenplan een hoofddoel (oplossen van een probleem of realiseren van een kans) geformuleerd wat men zou willen bereiken met de Waterharmonica. Er werd globaal bepaald hoe het systeem eruit zou moeten zien (sloten, moeras, vijvers, vloeiveld, etc.) om dat hoofddoel te realiseren. Aan de hand van dit ontwerp werden mogelijk nevendoelen (zoals waterberging, biomassa productie, landschappelijke inrichting, recreatie of natuurontwikkeling) en daarmee verbonden functies bepaald. Tevens werd er een opsomming gemaakt van belangengroepen die betrokken kunnen worden bij de

realisatie van een Waterharmonica-systeem. Dit alles met als doel om gevoel te krijgen van wat het ontwerpen van een Waterharmonica-systeem met zich mee brengt, welke obstakels er zijn, maar ook welke nieuwe mogelijkheden en inzichten het biedt.

CONCLUSIES EN BEVINDINGEN

Om voor de Waterharmonica een breder draagvlak te creëren, is het noodzakelijk dat er tussen technologen en ecologen wordt samengewerkt. De ervaring van de deelnemers van de workshop is dat de kloof tussen deze twee werkvelden vaak nog te groot is. Om deze kloof te dichten kan de Waterharmonica, waarbij 'ecological engineering' een sleutelrol speelt, als een uitdaging worden gezien. Technologen zouden zich in detail kunnen focussen op biologische processen en dimensionering van een systeem. Ecologen zouden met een holistische kijk de samenhang en verbanden binnen een type ecosysteem en tevens de relevante energie- en waterkringlopen naar voren kunnen halen.

Om bestaande kennis toegankelijk te maken, wordt er een oproep gedaan een forum op te richten waar alle expertise op het gebied van de Waterharmonica wordt gebundeld, zodat waterschappen daar met vragen terecht kunnen. Deze kennis op het gebied van ontwerpen, beheer en onderhoud betreft voornamelijk praktijkervaring, voortkomend uit gerealiseerde projecten.

Om besturen van de Nederlandse waterschappen te overtuigen van het nut van de Waterharmonica zou de meerwaarde van het systeem moeten worden benadrukt. Het is juist de mogelijkheid om verschillende functies te combineren wat het Waterharmonica-systeem sterk maakt. Functies als berging van water, recreatie, natuurontwikkeling, educatie, biomassa productie en het in stand houden van een optimaal (grond-)waterpeil zijn zowel economisch als sociaal/cultureel van groot belang. Bovendien zal met de invoering van de Kaderrichtlijn Water de behoefte aan dit type systemen, zowel vanuit zuiveringstechnisch als ecologisch oogpunt, in de toekomst alleen maar toenemen. Tenslotte werd het belang benadrukt van het aangaan van samenwerkingsverbanden met verschillende partijen. Hierbij valt te denken aan terreinbeherende instanties, landbouworganisaties, provincies, sportvissers verenigingen, scholen, etc. Een coördinerende rol lijkt weggelegd voor de STOWA, opdrachtgever van dit inmiddels afgerond project. Royal Haskoning heeft, samen met Leaf, hier de afgelopen twee jaren aan gewerkt.

De organisatoren kunnen terugzien op twee geslaagde dagen. Nu zijn de waterschappen aan zet. Hiertoe ontvingen deelnemers aan de workshop een Waterharmonica-proof stempel, waarmee zij zelf hun werk op dit gebied kunnen (brand)merken. Het vraagteken achter de aanhef zal dan spoedig kunnen veranderen in een uitroepteken.

Joost Jacobi, mede namens de organisatoren van de workshops.

C. EVALUATIE VAN DE WORKSHOPS

- Evaluatieformulier zoals gegeven aan deelnemers van beide workshops
- Respons (teruggestuurde formulieren)
- Samenvatting reacties op workshops
- Eindconclusies



EVALUATIEFORMULIER WORKSHOP DE WATERHARMONICA

1. Is het beeld wat u vooraf over De Waterharmonica had als gevolg van de workshop veranderd? **Ja / nee ***
   Zo ja, wilt u dan hier aangeven in welk opzicht?

2. Denkt u dat het Waterharmonica concept in uw beheersgebied kan worden toegepast? **Ja / nee ***

3. En ziet u dan concrete mogelijkheden op de korte termijn? **Ja / nee ***
   Zo ja, waar ?

4. Wat hield u tot dusverre tegen om Waterharmonica-projecten op te starten? (meerdere antwoorden mogelijk) **Ja / nee ***
   0 kende harmonica-concept niet
   0 zag / zie nut niet zo
   0 geen geld
   0 mag niet planologisch
   0 anderen binnen waterschap zien 't niet zitten
   0 andere reden .....
   0 gebrek aan kennis meerwaarden
   0 geen ruimte beschikbaar
   0 mijn taak niet
   0 geen vraag naar natuurlijker effluent

5. Heeft u interesse in het eindrapport van het Stowa-onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van de Waterharmonica, waar deze workshop onderdeel van uitmaakte? **Ja / nee ***

6. Zou u deel willen nemen aan een Waterharmonica platform om het concept verder te ontwikkelen, ervaringen en ideeën uit te wisselen, enz? **Ja / nee ***
   Te denken valt hierbij aan bijvoorbeeld deelname aan een webforum en een halfjaarlijkse bijeenkomst.

7. Wilt u verder op de hoogte worden gehouden over de verdere ontwikkelingen van de Waterharmonica (bijv via een email-nieuwsbrief)? **Ja / nee ***
   Zo ja, wat is dan uw mailadres:

8. Zou u een cijfer willen geven (omcirkelen) voor de vorm, inhoud en organisatie van de workshop? **Ja / nee ***
   - vorm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
   - inhoud 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
   - organisatie 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Uw naam:

Waterschap:

* doorhalen wat niet van toepassing is

RESPONS (TERUGGESTUURDE FORMULIEREN)

Van de 21 formulieren zijn er 16 ingevuld teruggestuurd, overeenkomend met een respons van 76%.

SAMENVATTING REACTIES

Vraag 1. Is het beeld wat u vooraf over de Waterharmonica had als gevolg van de workshop veranderd?

Antwoord:

Nee: 8 x (50%)

Ja: 8 x (50%)

Verklaring, indien ja:

- Dat er meer nodig is als vergaande technische ontwikkelingen (UF-MBR, enz) om de waterkwaliteit (met name sanitair) te verbeteren.
- Meer technisch inzicht, multifunctioneel gebruik is goed aan bod gekomen.
- Dat je binnen het waterbeheer heel integraal probeert te kijken, maar dat je de eigen zuivering snel vergeet.
- Op zich ben ik wel positief geworden over de ontwikkeling van de samenwerking tussen ecologie en technologie, maar helaas werd tijdens de werksessie weer duidelijk dat er nog veel inzichtverschillen zijn tussen technologen en ecologen.
- Het N- en P-verwijderingsrendement van een zuiveringsmoeras is slechts een bijkomend voordeel. Het sneller ontwikkelen van natuur is belangrijkste voordeel. Aldus kunnen met een zuiveringsmoeras belangrijke PR-doeleinden worden nagestreefd.
- Voorheen werd een eenzijdiger beeld geschetst. Nu zijn veel aspecten duidelijker en reëler.
- Ja, ik had in eerste instantie zoiets van zonde van het geld, laten we maar geld steken in het herinrichten van beken. Nu heb ik zoiets van het kan geen kwaad om het effluent wat te verbeteren voordat het afgevoerd wordt middels de beek. Wel dient goed gekeken te worden naar het type ontvangend oppervlaktewater en de doelstellingen die je wilt realiseren.
- Concept verder verduidelijkt. Het is zaak vooral de positieve kanten te belichten: waterpark, natuurontwikkeling, etc. Open vizier tussen RWZI, natuur en bewoners.

Vraag 2. Denkt u dat het Waterharmonica concept in uw beheersgebied kan worden toegepast?

Antwoord:

Nee: 1 x

Ja: 15 x

Vraag 3. En ziet u dan concrete mogelijkheden op de korte termijn?

Antwoord:

Nee: 6 x

Ja: 10 x

Zo ja, waar:
- Texel (daar is er al een, maar die dient te worden aangepast), voor Wervershoof loopt er een projectgroep om te komen tot een Waterharmonica systeem.
- Ootmarsum.
- Mogelijk is er de mogelijkheid tot het opwerken van de RWZI Arnhem-Zuid tot stadswater voor gemeente Arnhem
- Zijn al bezig met het voorbereiden van de waterharmonica (Aqualân Grou) bij RWZI Grou (2 reacties).
- Bij RWZI Marum; bij diverse RWZI's waarbij grond beschikbaar is (ongebruikte droogbedden en/of grond)
- Voor RWZI Apeldoorn is het nog een serieuze optie, echter kostenaspect is nog onvoldoende duidelijk (2 reacties).
- Ja, goed inpasbaar in toekomstplannen in Ottershagen.
- Etten (grond beschikbaar), Winterswijk (HEN-gebied).

Vraag 4. Wat hield u tot dusverre tegen om Waterharmonica-projecten op te starten?

Mogelijke antwoorden (meerdere mogelijk):
- kende harmonica-concept niet: 2 x
- gebrek aan kennis meerwaarden: 4 x
- zag / zie nut niet zo: 2 x
- geen ruimte beschikbaar: 6 x
- geen geld: 1 x
- mijn taak niet: 2 x
- mag niet planologisch: -
- geen vraag naar natuurlijker effluent: 3 x
- anderen binnen waterschap zien 't niet zitten: 2 x
- andere redenen: 6 x
  - o geen of weinig kennis van deze waterschapstak.
  - o zuiveringsbeheer ligt bij andere organisatie.
  - o eerst RWZI optimaliseren.
  - o eisen uit het oppervlaktewater onvoldoende duidelijk.
  - o onvoldoende ruimte, weerstand omwonenden, financiering, rendement in relatie tot andere technieken, relatie met KRW (wat is de kwaliteit van het uitstromende water).
  - o komt vaak in de vergunningensfeer en dan blokkeert het.

Vraag 5. Heeft u interesse in het eindrapport van het Stowa-onderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van de Waterharmonica, waar deze workshop onderdeel van uitmaakte?

Antwoord:
Nee: 1 x
Ja: 15 x

Vraag 6. Zou u deel willen nemen aan een Waterharmonica platform om het concept verder te ontwikkelen, ervaringen en ideeën uit te wisselen, enz? Te denken valt hierbij aan bijvoorbeeld deelname aan een webforum en een halfjaarlijkse bijeenkomst.

Antwoord:
Nee: 7 x
Ja: 8 x
Geen antwoord: 1x

Vraag 7. Wilt u verder op de hoogte worden gehouden over de verdere ontwikkelingen van de Waterharmonica (bijv via een email-nieuwsbrief)?

Antwoord:
Nee: -
Ja: 14 x
Geen antwoord: 2 x

Vraag 8. Zou u een cijfer willen geven (omcirkelen) voor de vorm, inhoud en organisatie van de workshop?

Cijfer	*5*	*6*	*7*	*8*	*gemiddeld*
- vorm:	2x	2x	8x	4x	6,9
- inhoud:	2x		8x	6x	7,1
- organisatie:	2x	9x	5x	7,2	

EINDCONCLUSIES

Uit de deelname en evaluatieformulieren van de twee workshops kunnen de volgende conclusies getrokken over de bekendheid met, status en acceptatie van en interesse in het Waterharmonica concept:

1 Van de meer dan 100 genodigden van alle Nederlandse waterschappen hebben 21 personen deelgenomen aan de workshops. Deze opkomst was lager dan verwacht.
2 Van deze 21 deelnemers zijn door 16 personen de ingevulde evaluatieformulieren teruggestuurd.
3 Met 7 als gemiddeld waarderingscijfer voor beide workshops, hebben deze workshops aan het vooraf gestelde doel (een goede kennisoverdracht naar de Nederlandse waterbeheerders en andere belanghebbenden met als doel het bevorderen van nieuwe Waterharmonica-projecten) volgens de deelnemers voldoende voldaan.
4 Voor de helft van de deelnemers is het beeld dat zij vooraf over de Waterharmonica hadden door deelname aan de workshops veranderd. Hieruit kan geconcludeerd worden dat via deze vorm van kennisoverdracht de gedachte achter en uitvoering van het Waterharmonica concept goed aan de Nederlandse waterbeheerders duidelijk kan worden gemaakt.
5 Uit het feit dat 15 van de 16 deelnemers toepassing het Waterharmonica concept in hun beheersgebied mogelijk achten, kan geconcludeerd worden dat de Waterharmonica als nieuw, duurzaam concept in het waterbeheer geleidelijk aan geaccepteerd begint te worden.

6 Naast reeds bekende Waterharmonica-initiatieven (Wervershoof, Grou, Apeldoorn, Oot-marsum) zijn door deelnemers zeven andere potentiële projecten genoemd: Arnhem, Marum, Ottershagen, Etten, Gieten, Ameland en Winterswijk.
7 De redenen om nog geen Waterharmonica-project te beginnen zijn divers. Belangrijkste oorzaken zijn het niet beschikbaar hebben van voldoende ruimte, gebrek aan kennis (van de meerwaarden van het concept) en verschillende technisch-organisatorische drempels. Opvallend hierbij is dat bestuurlijk draagvlak niet als reden werd genoemd.
8 Nagenoeg alle deelnemers willen het Waterharmonica-eindrapport ontvangen en ongeveer de helft van de deelnemers toont belangstelling voor deelname aan een Waterharmonica platform.
9 Het verdient aanbeveling om de concrete mogelijkheden voor verdere kennisoverdracht (webforum, nieuwsbrief, platformbijeenkomst) zo snel mogelijk te benutten.

BIJLAGE V

CHRONOLOGISCH OVERZICHT VAN ACTIVITEITEN TIJDENS DE UITVOERING VAN STOWA-PROJECT DE WATERHARMONICA

Chronologisch overzicht van activiteiten tijdens de uitvoering van het STOWA-project de Waterharmonica

13-09-96	STOWA 25 jaar jubileum: *het 3D-schakelsysteem* beloond met prijs
2001/02	Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen neemt initiatief om invulling te geven aan idee van het schakelsysteem
30-01-02	STOWA-bestuur stemt in met € 91.000,- (bijdrage verankerings-projecten van derden)
2002	Voorbereiding project met opstellen van Plan van Aanpak - interactie met fusie Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
14-06-02	Overleg te Leeuwarden met Aqua for All, WF en USHN
20-06-02	Brieven van Aqua for All aan NGO's
31-10-02	Overleg bij STOWA over Plan van Aanpak en met Aqua for All
17-12-02	Offerte aanvraag door STOWA met als bijlage de projectomschrijving
10-02-03	Boordeling en keuze offerte
20-03-03	Contract tussen STOWA en Royal Haskoning voor uitvoering Waterharmonica project
20-03-03	Workshop waterpark Schoonbroek Apeldoorn.
2/4-04-03	Conference Efficient use of water for urban supply, Tenerife
04-04-03	Artikel De Waterharmonica H_2O 36 (7): 44-46
15-03-03	*1e bijeenkomst begeleidingscommissie te Utrecht*
12-06-03	Memo EcoChain versus Sanex van Royal Haskoning
24-06-03	Reactie Ruud op notitie Royal Haskoning over EcoChain versus Sanex
17-07-03	Samenwerkingsovereenkomst VU en HHNK
28-07-03	1e kwartaalrapportage door Royal Haskoning
3-3-03	1e versie/concept rapport Waterharmonica van RH
29-09/	
02-10-03	Conference Constructed wetlands for Optimal control of Wastewater, Estonia
30-10–02	Bijdrage LeaF aan conferentie Ecological Engineering, Harvard Cambridge Mass.
11-12-03	*2e BC vergadering bij STOWA te Utrecht*
16-12-03	Overleg in klein comité met Simavi, LeAF en ENPHO (R. Sherstha)
maart 04	www.ecological-engineering.nl, waarin beschrijving Waterharmonica
11/12-03-04	Bijdrage aan Internationale Workshop wastewater reuse plants, Thessaloniki H_2O 37 (7): 8
08-04-04	Concept voorlopig eindrapport van Royal Haskoning
09-04-04	Concept rapport *Waterharmonica in developing world* van LeAF, en report van Joost Jacobi
15-04-04	Bijlagen van concept voorlopig eindrapport van Royal Haskoning

16-04-04	Memo opzet Waterharmonica-workshops van Royal Haskoning (op 6/2/04 eerste lijst met contactpersonen bij waterschappen opgesteld)
10-05-04	Herziene versie concept rapport *Waterharmonica in developing world* van LeAF
17-05-04	*3e BC vergadering bij STOWA te Utrecht*
Juni 04	Leading-edge conference (Let2004) Prague
25-30	
juli 2004	Intecol symposium Wetlands te Utrecht 29 juli sessie Waterharmonica
10-09-04	Afstudeerrapport van Joost Jacobi
10-09-04	Verslag in H_2O 37 (18): 19 van Intecol wetlandsconferentie Utrecht.
Sept 2004	Aquatech Amsterdam
23-11-04	Waterharmonica Workshop te Hapert
25-11-04	Waterharmonica Workshop te Almelo
25-11-04	Waterharmonica logo uitgewerkt door Willemien Schouten
dec 2004	Report of Intecol sessie in EcoEng Newsletter no 10.
dec 2004	Verslag van de beide workshops in H_2O 37 (25/26): 11
13-01-05	Concept eindrapporten van LeaF verstuurd
14-01-05	Concept eindrapport van Royal Haskoning verspreid
18-01-05	Bijlagen bij concept rapport Royal Haskoning verspreid
25-01-05	*4e BC vergadering bij STOWA te Utrecht*
mei 2005	Oplevering definitieve rapportages van Royal Haskoning en LeAd=F

BIJLAGE VI

VERSLAG VAN DE WATERHARMONICA-SESSIE OP DE 7TH INTECOL INTERNATIONAL WETLANDS CONFERENTIE TE UTRECHT

PROGRAMMA, ABSTRACTS EN VERSLAG VAN DE WATERHARMONICA-SESSIE OP DE 7TH INTERNATIONAL WETLANDS CONFERENTIE INTECOL TE UTRECHT

Op 29 juli 2004 is op het 7th International Conference on Wetlands in Utrecht een speciale Waterharmonica-sessie georganiseerd. Hieraan is een bijdrage geleverd door sprekers uit meerdere landen. Van deze speciale Intecol sessie zijn hierna opgenomen:

A. het programma
B. de abstracts van de presentaties (Engelstalig) en
C. het verslag opgenomen van deze speciale sessie zoals dat is gepubliceerd in H_2O 18-2004 |45|.

De presentaties zelf die door de verschillende inleiders op deze sessie zijn gegeven, zijn te downloaden op:
www.waterharmonica.nl/conferences/intecol_utrecht/waterharmonica_session.htm

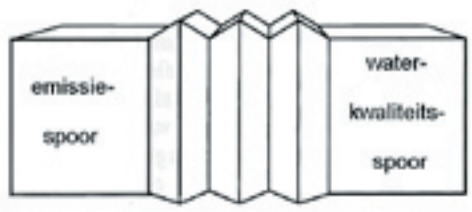
A. PROGRAMMA SPECIAL WATERHARMONICA SESSION



THE 7th INTECOL INTERNATIONAL WETLANDSCONFERENCE IN UTRECHT,
THE NETHERLANDS
25 - 30 JULY 2004

http://www.bio.uu.nl/intecol/index2.php

Session 10: The Waterharmonica, a logical natural chain between well treated waste water and a "healthy and useable" surface water.



29 July 2004, 14.45 – 18.00

www.waterharmonica.nl

Chairman Waterharmonica session: Ruud Kampf, Waterboard Hollands Noorderkwartier, Purmerend, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands

1. Opening of the Waterharmonica session
Lydia Snuif-Verwey, Member of the executive body of the Waterboard Hollands Noorderkwartier, Purmerend, The Netherlands
5 min: 14.45 – 14.50

2. Introduction to the Waterharmonica
Theo Claassen (Wetterskip Fryslan, Leeuwarden, The Netherlands)
15 min: 14.50 - 15.05

3. Description of the Stowa project the Waterharmonica, Dutch (=western situation)
Ton Schomaker (Royal Haskoning, Den Bosch, The Netherlands). 20 min: 15.05 – 15.25

4. Results from Dutch practice (learning process, policy making, bloopers)
Rob van den Boomen (Witteveen + Bos, Deventer, The Netherlands)
(20 min: 15.25 – 15.45)

Tea break (15.45 – 16.00)

5. Multiple benefits of the environmental reuse project at the Aiguamolls de l'Emporda Nature Reserve (Costa Brava, Girona, Spain).
Lluis Sala, Consorci de la Costa Brava, Girona, Spain
(20 min:16.00 – 16.20)

6. Effluent polishing in constructed wetlands in the United States
Bob Gearhart, Humboldt State University, Arcata, United States
(20 min: 16.20 – 16.40)

7. Some innovative reuse processes (Greenhouse, Baobabs)
Andreas Graber, University of Applied Sciences, Wädenswil, Switzerland
(20 min:16.40 – 17.00)

8. Waterharmonica in the "developing world"
Adriaan Mels (LeAf, Wageningen University, in cooperation with NOVIB/Oxfam en SIMAVI)
(20 min: 17.00 – 17.20)

9. Could the Waterharmonica play its role in the developing world?, a review of practical experiences, successful and less successful experiences
B. B. Jana, University of Kalyani, India
(20 min 17.20 – 17.40)

10. Summary, synthesis, discussion
Karin Tonderski-Sundblad (University of Linköping, Sweden)
(20 min: 17.40 – 18.00)

Support Sponsorship
Dutch Foundation for Applied Water Research Stowa
Waterboard Hollands Noorderkwartier, Purmerend
Wetterskip Fryslan, Leeuwarden
Royal Haskoning, Den Bosch
Lettinga Associaties Foundation (LeAF), Wageningen

B. ABSTRACTS OF PRESENTATIONS AT SPECIAL WATERHARMONICA SESSION

1 *Opening of the Waterharmonica session*

Lydia Snuif-Verwey
Executive body of the Waterboard Hollands Noorderkwartier, Purmerend, The Netherlands

In Dutch a Harmonica is a music instrument, called accordion in English. It is an instrument that is not easy to play. It is an old instrument dating from the middle ages, but still modern. A mechanical Water Harmonica was invented by the famous inventor, statesman, and philosopher Benjamin Franklin in 1761; a set of wine glasses mounted in a musical instrument, tuned with an amount of water, to play music. In Dutch water management the Waterharmonica is a logical natural chain between well treated waste water and a "healthy and useable" surface water. The combination of treatment in constructed wetlands with cultivation of biomass, like Daphnia and fish, aimed at strengthening of natural values by using the nutrients from the waste water makes it a new practical form of ecological engineering. The Waterharmonica project is a project of the Dutch Foundation for Applied Water Research, the waterboards Hollands Noorderkwartier and Fryslan (two of the largest Waterboards in The Netherlands) and is carried out by the consultancy firm Royal Haskoning together with the Lettinga Associate Foundation from Wageningen University and Research Centre. We invite you to take part of the session to learn from your scientific knowledge for use in our practice.

2 *The Waterharmonica concept; background, principles and implementation*

T.H.L. Claassen1, R. Kampf2
1 Wetterskip Fryslan, Leeuwarden, The Netherlands (tclaassen@wetterskipfryslan.nl)
2 Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Purmerend, The Netherlands (R.Kampf@hhnk.nl)

The emission approach has been and still is the basis for surface water quality improvement in The Netherlands. Diffuse sources are however hard to tackle and even nowadays they cause a considerable load to surface waters. Collection and treatment of wastewater has been tackled energetically. Nowadays point sources of untreated wastewater of any importance no longer exist in The Netherlands. However, effluents of wastewater treatment plants still have an important contribution to the loads of and impact on surface water quality. In general quality standards for surface waters have not yet been reached. Traditional measures to diminish diffuse pollution and to optimize wastewater treatment plants are very costly, as are measures in the surface water systems itself. The Waterharmonica has been postulated as a general low-tech concept based on ecological engineering, to bridge the gap between the present day emission approach and the water system approach to reach good ecological conditions of surface waters. This concept has resulted in a research and implementation programme focused on effluent of wastewater treatment plants, and financed by the Dutch Foundation for Applied Water Research. Some Dutch water boards already have realised constructed wetlands according to this concept or are planning to realise them. An overview of these cases and the further perspective will be presented. Main advantages of these low-tech ecological engineering techniques above high tech solutions are reaching biologically reanimated water with a daily oxygen rhythm and a strong reduction of micro-organisms. It makes reuse of effluent attractive.

3 *Description of the Stowa project The Waterharmonica, Dutch situation*

A.H.H.M. Schomaker
Royal Haskoning, 's-Hertogenbosch, The Netherlands (t.schomaker@royalhaskoning.com)

The Waterharmonica concept fills the missing link between effluent quality of waste water treatment plants and the quality of receiving surface water. For Stowa, the Dutch Foundation for Applied Water Research, a study is carried out in 2003-2004 to determine the applicability of the Waterharmonica concept in practice. The results of this study will be reviewed by presenting an overview of Waterharmonica projects in The Netherlands, the status of the Waterhamonica according to Dutch and European policy for water quality (Water Framework Directive), highlights, gaps and developments in knowledge and, last but not least, social and scientific acceptance by policy makers, water quality managers and public opinion. Dissemination of the Waterharmonica concept in The Netherlands will be stimulated in two workshops, intended for water quality managers of the Dutch waterboards.

4 *Results from Dutch practice (learning process, policy making, bloopers)*

R.M. van den Boomen
Witteveen+Bos consulting engineers, Deventer, The Netherlands (r.vdboomen@witbo.nl)

In the Netherlands, several constructed wetlands are build according to the concept of Waterharmonica. They function as a natural buffer between waste water treatment facilities and the receiving surface waters. Within the principle of Waterharmonica several applications are developed, differ from design (open water and ditches), residence time, type of vegetation, role of top soil layer, maintanance and pollutants to be reduced. By designing, building and operating these systems for years now, several new insights are developped in the Netherlands. What should you do and what not? What have we learnt? Not only have we defined more detailed design criteria, but specially made clear what is still unknown or unpredictable. And do we need to estimate the resulting water quality exact or is a natural, more or less fluctuating output, acceptable? In this lecture, special interest will be given to the procces of learning by doing. Also attention will be given to conflicting situations in i.e. landuse, enough water quantity or water quality, buffering peak discharges or not, et cetera. Mistakes are mentioned.

5 *Multiple benefits of the environmental reuse project at the Aiguamolls de l'Empordà Nature Reserve (Costa Brava, Girona, Spain)*

L. Sala and M. Serra1, A. Huguet, J. Colom and M. Carré2, S. Romero de Tejada3
1 Consorci de la Costa Brava. Plaça Josep Pla 4, 3rd floor. E-17001 Spain. (lsala@ccbgi.org)
2 SEARSA, Doctor Fleming, 12, E-17480 Roses, Spain. (searoses@arrakis.es)
3 Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà. El Cortalet. E-17486 Castelló d'Empúries, Spain (sromero@gencat.net)
What is known today as the Parc Natural Aiguamolls de l'Empordà (Nature Reserve of the Empordà Wetlands) are the remains of a much larger wetland area located between the mouths of two Pyrenean rivers: the Muga and the Fluvià. These coastal wetlands included several freshwater lakes which were progressively drained starting in the XVIIIth century. The Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà (PNAE) was created in the mid-80's in order

to preserve the remains of these coastal wetlands from urbanization and have turned into a popular place for birdwatchers. To avoid summer dessication, the PNAE and the Consorci de la Costa Brava (CCB, Costa Brava Water Agency) developed a project in order to be able to supply reclaimed water from the Empuriabrava WWTP for the Cortalet lagoon in the summer months. This project consisted of a 7 ha constructed wetland system consisting of 3 vegetated cells plus a shallow lagoon, a pumping station and a pipeline and wooden bridge for pedestrians to link the community of Empuriabrava (left bank of the Muga river) with the WWTP (right bank). The capital costs of this project were 1.44 million euros (1996 value), which were 80 % funded by the EU and 20 % by the CCB. This project has been in operation since summer 1998 and it produces between 500,000 and 750,000 m3/year, which are reused for environmental purposes at the Cortalet lagoon. The constructed wetland system itself has become another important point for waterfowl observation, whereas the reduction of discharges in the Muga river has produced a clear and measurable improvement in the bacteriological quality of the nearest beach.

6 *Effluent polishing in constructed wetlands in the United States*

R.A. Gearheart
Environmental Resources Engineering, Engineering Department, Humboldt State University, Arcata, US (rag2@humboldt.edu)

This paper will present examples of the various applications of Free Water Surface (FWS) constructed wetlands to produce high quality effluents in the United States (USA). The utilization in the USA of constructed wetlands to meet advance and tertiary discharge/reuse standards fall into several categories. Free surface constructed wetlands are preceded by municipal secondary treatment systems and are
being used to meet high TSS and BOD effluent discharge standards to meet Total mass discharge limits (TMDL) to receiving waters. Discharge levels of less than 10 mg/l met 99 % of the time is typical of this application. A second category of FWS constructed wetland application is in reducing nitrogen forms, ammonia, nitrate nitrogen, and in a few cases phosphorus forms for variety of receiving water benefits. In those areas in the USA where toxicity and/or temperature sensitive fish population are found (anadramous, etc.) ammonia toxicity is an issue. FWS constructed wetland are being used to both reduce discharge thermal inputs and to reduce ammonia toxicity. The total nitrogen level is reduced due to plant uptake of ammonia nitrogen and the denitrification of nitrates. The temperature of the effluent in hot summer conditions have been shown to be reduced by as much as 3 to 4 degrees centigrade due to solar input interception and black body effects. FWS constructed wetland have been shown to produce ammonia nitrogen levels of less than 1 mg/l in several applications. Phosphorus removal is a third category of advance treatment application for FWS constructed wetlands. These applications require significant land area and relatively low levels of phosphorus entering the system. There has been some
successful application for use of FWS constructed wetlands to meet seasonal phosphorus standards (summer period) when receiving waters are reactive to phytoplankton stimulation by phosphorus. A growing application for FWS constructed wetlands in water short states, specifically California, Arizona, Nevada, Florida, and Colorado, are being used to meet direct and indirect water reuse standards. These
reuse standards generally require TSS, BOD, total nitrogen, to be less than 1 mg/l with turbidity levels of 1.0 NTU's or lower. Several large communities in the US Southwest, Phoenix, Arizona, Orange County Sanitation District, California, and Albuquerque, New Mexico are

utilizing FWS constructed wetlands for reuse purposes. There are more FWS constructed wetlands in Florida than any other state in the United States. The majority of these systems are producing a tertiary effluent and are being used to directly and indirectly augment water supplies i.e. Orlando, Lakeland, Palm Beach Country Regional, and others. It has been shown that not only do FWS constructed wetland meet technical discharge standards but they have also been shown to reduce fears and concerns associated with water reuse. The constructed wetland's unique characteristic, "natural treatment", has not only added to the publics acceptance of reuse of these effluent but has also added significant ancillary benefits.

7 Some innovative reuse processes in Cascade Systems

A. Graber
University of Applied Sciences Waedenswil (a.graber@hsw.ch)

Waterharmonicas link discharges of society with ecosystems through constructed wetlands. The human influence and control decreases from high in sewage treatment plants to low in wetlands to zero in natural open waters. Possibly separated from the natural environment, but in total human control are food production systems with closed nutrient cycles. This ecological sustainability can be achieved by a sophisticated combination of various production modules in polycultures. Each module uses the wastes of others as input and in turn produces resources for adjacing modules, is placed along the trophic food chain and functions by using nutrients and energy as a subsystem within a cascade. Examples for such Cascade Systems are wastewater-fed aquacultures, aquaponics (combined fish and vegetable production), but also complete ecosystem reconstructions like the Baobab Farm in Kenya. Sharing the concept of nutrient recycling, the Waterharmonica is essentially a Cascade System where man forgoes production values in favour of an autonomous and self-developing ecosystem, but profiting from recreational values and other ecosystem services. By illustrating the mentioned examples, the common ground and differences of both concepts will be presented and future applications discussed.

8 Waterharmonica in the "developing world"

A.R. Mels1, Joost Jacobi2, Frans Huibers2
1 Lettinga Associates Foundation,Wageningen, The Netherlands (Adriaan.Mels@wur.nl)
2 Wageningen University, Irrigation and Water Management Group (Joost.Jacobi@wur.nl), (Frans.Huibers@wur.nl)

By 2025, fresh water use is expected to have grown world wide by 40%, while the only source of fresh water that will increase significantly in the coming decades is urban wastewater. Increasing use of untreated or treated urban wastewater as an alternative source of water is therefore unavoidable.
This paper discusses the use of eco-engineered systems, such as constructed wetlands, as an intermediate system between (partially treated) wastewater and water and nutrient reuse in e.g. agriculture and aquaculture. The principles of these systems tend to match quite well with the requirements for sanitation systems at many locations in the developing world, such as: i) A low or absent energy (electricity) requirement; ii) Easy operation without highly skilled operators; iii) Permanent and continuous operation without too much maintenance and with more or less constant effluent quality; iv) Possibility to produce biomass (e.g. duckweed, fish, crops) by making use of the available nutrients; v) Applicability at variable scale and especially feasible in rural areas. The paper will be illustrated by a case study in

the watershed of the city of Matagalpa, Nicaragua, executed in cooperation with Projecto Cuencas Matagalpa and NOVIB. Matagalpa is largely dependent on the rivers San Fransisco and Molino Norte for its drinking water supply. These rivers are diffusely polluted by agricultural and domestic wastewater.

9. *Could the water harmonica play its role in the developing world? A review of practical experiences, successful and less successful experiences*

B.B. Jana
Department of Zoology & International Centre of Ecological Engineering, University of Kalyani, Kalyani 741235, West Bengal, India (bbj@cal2.vsnl.net.in)

Water is the matrix of life, creating the benign environment that is required for the existence of life on earth. Much of our economic activity in the society is dependent upon the availability of fresh and clean water supplies, which is stated to be the lowest per capita in Asia. Recent focus on severe groundwater depletion warrants appropriate water saving strategies like groundwater recharge and discharge, conservation of water, sustainable use of water and water sources through various economy driven integrated holistic approaches maintaining a balance and harmony in the natural hydrologic cycle necessary for sustainable development. More specifically, rational use and reuse, conservation and
recharge of natural pool of water tune water harmonica in a rhythmic fashion. There is an urgent need for integration of hydrologic balance driven activities in the natural pool of water favourable to sustainable development. Since Ramsar Convention, wetlands have assumed worldwide movement of importance because of numerous services they discharge to the society. In India, these are of immense value to the humanity as millions are involved in earning their bread and butter from these wetlands. Majority of the world's population faces problems related to basic requirements of clean water, education, health care, food security and environment. There are many ways where end of the pipe solutions can be optimized for a larger degree of recycling. Economy driven utilization of wetlands for various activities has a major role for poverty alleviation and sustainable development. The ever-increasing rates of urbanization and industrialization have resulted in the generation of unprecedented amount of wastewater from point and diffuse sources. Sewage may become either a resource or a pollutant depending on the state of treatment and their use. Sewage fed aquaculture is a unique system for biological production using the 5 R policies of cleaner production. It is an integrated biosystem with at least two sub systems, the wastes from the first subsystem used by the next subsystem producing value added products. In this low cost environment friendly balanced ecosystem, organic wastes are recycled into fish biomass since fish may be the cheapest animal protein when grown on wastes or wastewater. Moreover, in tropical countries, fish grows more rapidly and thus replace the need for expensive supplementary feed and conventional chemical fertilizers. Apart from acting as a major source of fish protein to the masses, the wastewater fed
wetlands can also be used for a multidisciplinary economy driven activities which help not only for their conservation but also for the upliftment of rural economy since they are used for the mass production of life food as natural food for fish, source of fertilizer for horticulture and crop farming, irrigation of water for agricultural activities, hydroponics for crop production and sludge as source of fertilizer. All these integrated multidisciplinary economy driven holistic approaches help not only poverty alleviation but also conserve water and wetlands, reclaim wastewater, combat environmental pollution in a more definitive balanced way that create a benign environment necessary for harmony in the natural hydrologic cycle

conducive to the society. The paper examines the state-of- the-art of the immense value of wetlands to the millions of people for their livelihood through production of different value added products using the principles of systems ecology and will comment on the thoughts behind the waterharmonica concept as an appliance low cost ecological engineering.

10 Summary, synthesis and discussion Special Session 10

K. Tonderski-Sundblad, University of Linköping, Sweden (karsu@ifm.liu.se)

C. VERSLAG VAN SPECIAL WATERHARMONICA SESSIE

VERSLAG

PRESENTATIE TIJDENS INTERNATIONALE WETLAND-CONFERENTIE

De toepassing van de Nederlandse 'Waterharmonica'

De 'Waterharmonica' vormt een goede mogelijkheid om door een brede aanpak meerdere doelen te dienen: naast hergebruik van water voor bijvoorbeeld natuurontwikkeling biedt het ook voordelen op het gebied van recreatie, educatie en bewustwording. Door de grote diversiteit aan systemen is goede communicatie en informatie-uitwisseling daarbij wel essentieel. Door op grote schaal gebruik te maken van de 'Waterharmonica' kan water op een verantwoorde manier worden hergebruikt en kan worden ingespeeld op toekomstige watertekorten en de bescherming van natuurgebieden, aldus de Nederlandse delegatie tijdens de wetlandconferentie INTECOL.

'Waterharmonica' is opgezet door het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier en Wetterskip Fryslân. Zij proberen van (gezuiverd) afvalwater op een eco-technologische wijze, gezond en bruikbaar oppervlaktewater te maken (zie H$_2$O nr. 7 uit 2003). Theo Claassen (Wetterskip Fryslân) legde in Utrecht voor het internationale publiek de achtergrond, principes en implementatie van het STOWA-project uit. Het project beperkt zich momenteel nog tot effluenten van rwzi's en zuiveringsmoerassen als schakel om het effluent te verbeteren.

In Nederland, zo liet Ton Schomaker (Royal Haskoning) zien, worden vooral moerassystemen toegepast. Inmiddels gebeurt dit bij zes rwzi's. Afhankelijk van de voeding en (het)gebruik wordt gekozen voor verschillende ontwerpuitgangspunten. De verwijdering van stikstof en fosfor blijft in de beschreven systemen beperkt. De winst blijkt vooral uit de veranderde eigenschappen van het water; het begint meer op oppervlaktewater te lijken (dag en nacht-ritme van zuurstof, toename biodiversiteit). Verder blijken er aantrekkelijke mogelijkheden voor waterbuffering te zijn.

Onderzoek laat zien dat het nog niet eenvoudig is direct het goede systeem neer te leggen. Eenduidige vuistregels voor ontwerp en inrichting bestaan nog niet, maar de onderzoeken in Eversteekoog (Texel) en Land van Cuijk hebben inmiddels wel veel goed toepasbare kennis opgeleverd, aldus Peter de Jong (Witteveen+Bos).

In Spanje is een succesvolle toepassing van de Waterharmonica te vinden. Lluis Sala (Consorci de la Costa Brava) toonde de resultaten van een helofytensysteem dat het effluent van een rwzi dusdanig opwaardeert dat het direct kan worden gebruikt voor de aanvulling van water in een natuurreservaat. Onderzoeksresultaten tonen aan dat door het natuurzuiveringssysteem de biodiversiteit is toegenomen.

Omdat Bob Gearhart (Humboldt State University, Californië) het vliegtuig miste, hield Ruud Kampf namens hem een korte samenvatting van zijn voordracht. In de VS wordt nagezuiverd effluent bijvoorbeeld hergebruikt voor aanvulling van het grondwater. In Noord-Amerika wordt ook het positief psychologische effect van het gebruik van natuurlijke systemen ingezien. Na natuurlijke nabehandeling wordt effluent veel minder als een afvalstof beschouwd.

Op het gebied van hergebruik van (afval)water zijn creatieve geesten actief. Andreas Graber (University of Applied Sciences Waedenswil, Zwitserland) wist veel voorbeelden te noemen: bijvoorbeeld het kweken van vis, groeien van gewassen op water en op ander substraat in combinatie met het gebruik van zonne-energie. Dit alles als cascadesysteem, waarbij de ene stap na de andere volge. Dergelijke systemen zijn economisch rendabel.

De Waterharmonica, zoals tot nu toe in Nederland toegepast, is niet direct geschikt voor ontwikkelingslanden. Adriaan Mels (LeiF, Wageningen) wees op een totaal andere situatie in ontwikkelingslanden, waar geen sprake is van geavanceerde zuiveringen en waar aan hygiene minder eisen worden gesteld. In ontwikkelingslanden ligt echter wel een groot potentieel voor de toepassing van de Waterharmonica. Daar echter niet als nazuivering, maar als belangrijkste en vaak enige zuiveringsstap en als levensbron van water. Professor B. Jana uit India (University of Kalyani) bracht het grote verlies aan waardevolle nutriënten onder de aandacht. Wanneer rioolwater wordt gebruikt voor het kweken van vissen, kunnen deze vissen een belangrijke bron van inkomsten voor de bevolking vormen. Op die manier kan afval worden omgezet in welvaart.

Karin Tonderski-Sundblad uit Zweden (University of Linköping) vatte de sessie samen. In de praktijk loopt men vaak tegen praktische problemen aan. Maar er is al veel ervaring en kennis over (na-)zuivering op een ecotechnologische manier. Wanneer die wordt samengebracht en uitgewisseld, kan het principe van de Waterharmonica breder en vaker worden toegepast.

Maarten Claassen (DWR)
Ruud Kampf (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)

Van 25 tot en met 30 juli vond in Utrecht de 7de International Wetlands Conference plaats van INTECOL (International Association of Ecology). Deze conferentie wordt eens per vier jaar gehouden en heeft als doel de nieuwste kennis op het gebied van wetenschap, water- en natuurbeheer aan de orde te stellen. Deze keer was de Universiteit van Utrecht organisator en gastheer. Aanwezig waren een internationaal gezelschap van ruim 900 wetenschappers, beleidsmakers, bestuurders en anderen die met wetlands te maken hebben. Enkele thema's waren 'combining floodmanagement and nature restoration', 'river basin management' en 'water level fluctuations in lakes and wetlands'. Een sessie had de 'Waterharmonica' als onderwerp, een tweejarig STOWA-project (2003-2004) met internationale uitstraling. Het programma bevatte vier Nederlandse en vijf buitenlandse inleidingen. Ruud Kampf was namens het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier dagvoorzitter.

REFERENTIES

|1| Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden (1996). Besluit van 24 februari 1996, houdende regels voor het lozen van stedelijk afvalwater (Lozingenbesluit Wvo stedelijk afvalwater).

|2| Meuleman, A.F.M. (1993). Waterzuivering door moerassystemen. Onderzoek naar de water en stofbalansen van het rietinfiltratieveld Lauwersoog. Vakgroep Botanische Oecologie & Evolutiebiologie, Universiteit Utrecht.

|3| Sakadevan, K., H. Zheng & H.J. Bavor (1999). Impact of heavy metals on denitrification in surface wetland sediments receiving wastewater. Water Science and Technology 40(3): 349-355.

|4| Brix, H., C.A. Arias & M. del Bubba (2001). Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands. Water Science and Technology 44(11-12): 47-54.

|5| Kim, S-Y. & P.M. Geary (2001). The impact of biomass harvesting on phosphorus uptake by wetland plants. Water Science and Technology 44(11-12): 61-67.

|6| Wood, A. (1995). Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. Water Science and Technology 32(3): 21-29.

|7| Hiley, P.D. (1995). The reality of sewage treatment using wetlands. Water Science and Technology 32(3): 329-338.

|8| Tanner, C.C. (2001). Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. Water Science and Technology 44(11-12): 9-17.

|9| Mungur, A.S., R.B.E. Shutes, D.M. Revitt & M.A. House (1995). An assessment of metal removal from highway runoff by a natural wetland. Water Science and Technology 32(3): 169-175.

|10| Environmental Protection Agency (2000). Manual. Constructed wetlands, Treatment of Municipal wastewaters. EPA/625/R-99/010. US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Cincinnati, Ohio 45268.

|11| Green, M.B., P. Griffin, J.K. Seabridge & D. Dhobie (1997). Removal of bacteria in subsurface flow wetlands. Water Science and Technology 35(5): 109-116.

|12| Kallner, S. & H.B. Wittgren (2001). Modelling nitrogen transformations in surface flow wastewater treatment wetlands in Sweden. Water Science and Technology 44(11-12): 237-244.

|13| Wittgren, H.B. & S. Tobiasson (1995). Nitrogen removal from pretreated wastewater in surface flow wetlands. Water Science and Technology 32(3): 69-78.

|14| Eriksson, P. & S. Weisner (2000). Inhibition of nitrification and denitrification in natural nitrogen-enriched wetlands: effects of the plant community. Preliminary report.

|15| Matagi, S.V., D. Swai & R. Mugabe (1998). A review of heavy metal removal mechanisms in wetlands. African Journal of Tropical Hydrobiology and Fishery 8: 23-35.

|16| Schreijer, M., R. Kampf, J.T.A. Verhoeven & S. Toet (2000). Nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem. 1995-1998. STOWA rapport 2000-10/RIZA rapport 2000.006.

|17| Scholes, L.N.L., R.B.E. Shutes, D.M. Revitt, D. Purchase & M. Forshaw (1999). The removal of urban pollutants by constructed wetlands during wet weather. Water Science and Technology 40(3): 333-340.

|18| Mæhlum, T. & P. Stålnacke (1999). Removal efficiency of three cold-climate constructed wetlands treating domestic wastewater: effects of temperature, season, loading rates and input concentrations. Water Science and Technology 40(3): 273-281.

|19| Tanner, C.C. (2001). Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands. Water Science and Technology 44(11-12): 9-17.

|20| Coleman, J., K. Hench, K. Garbutt, A. Sexstone, G. Bissonnette & J. Skousen (2001). Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. Water, Air and Soil Pollution 128: 283-295.

|21| Environmental Protection Agency (1993). Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment. A technology assessment. EPA 832-R-93-008.

|22| Ahn, T.-S & H.J. Park. Evaluation of three types of artificial wetland for wastewater treatment.

|23| White, K. (1995). Enhancement of nitrogen removal in subsurface wetlands employing a 2-stage configuration, an unsaturated zone and recirculation. Water Science and Technology 32(3): 59-67.

|24| Platzer, C. (1999). Design recommendations for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. Water Science and Technology 40(3): 257-263.

|25| Laber, J., R. Perfler & R. Haberl (1997). Two strategies for advanced nitrogen elimination in vertical flow constructed wetlands. Water Science and Technology 35(5): 71-77.

|26| Pant, H.K., K.R. Reddy & E. Lemon (2001). Phosphorus retention capacity of root bed media of subsurface flow constructed wetlands. Ecological Engineering 17(4): 245-355.

|27| Biemans, W. (1999). Afstudeerverslag Helofytenfilter “De Efteling”.

|28| IWACO (2000). Monitoring waterbeheer de Efteling – 1999. IWACO rapport 37170.

|29| IWACO (2001a). Monitoring waterbeheer de Efteling – 2000. IWACO rapport 38254.

|30| Royal Haskoning (2002). Monitoring Klaterwater 2001. Royal Haskoning rapport 539368.

|31| IWACO (2001b). Maatregelen ter reductie van de fosforconcentratie in Ven West van de Efteling. IWACO rapport 38725.

|32| Eijer-de Jong, J., H. Willers, B. Palsma & V. Claessen (2002). Monitoring moerassysteem RWZI Land van Cuijk. H_2O 16: 26 – 29.

|33| Witteveen+Bos (2003). Praktijkonderzoek moerassysteem RWZI Land van Cuijk. Rapportage 2^e meetjaar (okt. 2001 – sept. 2002).

|34| Schreijer, M., R. Kampf, J.T.A. Verhoeven & S. Toet (2003). Nabehandeling van RWZI-effluent tot bruikbaar oppervlaktewater in een moerassysteem. Resultaten van een 4-jarig demonstratieproject op praktijkschaal op RWZI Everstekoog, Texel. 1995-1999. Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier, Purmerend / Leerstoelgroep Landschapsecologie, disciplinegroep Geobiologie, Universiteit Utrecht, Utrecht.

|35| Butijn, G. (1990). Evaluatie nareinigingsveld rioolwaterzuiveringsinstallatie Elburg. Intern rapport Rijkswaterstaat, Directie Flevoland. Rapport nr. 1990-20 anw.

|36| Kampf, R. & E. Foekema (2002). Gebruik van effluent van de RWZI De Cocksdorp voor natuurdoeleinden: onderzoek naar de kweek van watervlooien in het kwekelbaarsjessysteem in 2001. Hoogheemraadschap Uitwaterende Sluizen, Edam & TNO-MEP, afdeling Ecologische risico's, Den Helder.

|37| http://www.kuai.se/~leilin/vatmark/wetland.htm

|38| STOWA (2001). Compendium RWZI-effluent als bron voor "ander water". STOWA rapport 2001-14.

|39| O'Sullivan, A.D., D.A. Murray & M.L. Otte. Phytoremediation of alkaline mine effluent using treatment wetlands.

|40| Bos, H. van den, E. de Swart, S. Vriend & G. Frapporti (1999). Fosfaatverwijdering in helofytenfilters: de efficiëntie van toegevoegde fosfaatbinders.

|41| Green, M.B. (1997). Experience with establishment and operation of reed bed treatment for small communities in the UK. Wetlands Ecology and Management 4: 147-158.

|42| Kao, C.M., J.Y. Wang, K.F. Chen, H.Y. Lee & M.J. Wu (2002). Non-point source pesticide removal by a mountainous wetland. Water Science and Technology 46(6-7): 1999-206.

|43| http://pnw-ag.wsu.edu/AgHorizons/buffers/cb6.html

|44| Kadlec, R.H. & R.L. Knight, 1996. Treatment wetlands, CRC Press, USA

|45| Claassen, M. en R. Kampf (2004). De toepassing van de Nederlandse 'Waterharmonica'. Verslag van speciale sessie tijdens de 7th International Wetlands Conferentie Intecol op 29 juli 2004 in Utrecht, H_2O 18, 2004.

|46| Infiltratiebesluit bodembescherming (1993). Besluit Wet Bodembescherming, Staatsblad 233, april 1993.

|47| Hut, R.M.G. van der en S.M. Veen (2004). Rietveld bij Elburg Ontwikkelingsscenario's en inrichtingsplan voor het voormalige nazuiveringsveld van de RWZI te Elburg. Eindrapport Bureau Waardenburg, Culemborg, 3 juni 2004.

|48| Waterschap De Dommel (2003). Meetgegevens Waterpark De Groote Beerze, Boxtel, 2003.

|49| Hoek, S. (2004), Functioneren moerassysteem bij RWZI Hapert; Onderzoek naar verblijftijdspreiding, waterkwaliteit en bergingscapaciteit van 'Waterpark Groote Beerze. Afstudeeronderzoek voor Hogeschool Zeeland in opdracht van Waterschap De Dommel, Royal Haskoning, Den Bosch5 augustus 2004.

|50| Wel, A.van der (2005), Klaterwater als waterharmonica; Brabantse Delta levert hoogwaardig effluent aan de Efteling. Het Waterschap (6): p 6-8.

|51| Toet S. A treatment wetland used for polishing tertiary effluent from a sewage treatment plant: performances and processes. Proefschrift, Universiteit Utrecht, faculteit Biologie, 2003.

|52| Kampf, R., Jak, R., and Groot, M. (1999) Growing Daphnia on effluent to improve the food situation of spoonbills on the island of Texel, do Daphnia really eat sludge. 4th International Conference on Ecological Engineering for Wastewater Treatment, IEES, As, Norway, 7-11 June.

|53| http://www.rekel.nl/kwekelbaarsjes

|54| http://www.waterharmonica.nl