

Ontwikkeling van watervegetaties in de heringerichte infiltratiekanalen in de Oostduinen



Kristalhelder water zonder ondergedoken waterplanten is kenmerkend voor de infiltratiekanalen in de Oostduinen (foto: Marten Annema).

Evides Waterbedrijf bedrijft in de Oost- en Middelduinen (Goeree-Overflakkee) een waterwinning met kunstmatige infiltratie van rivierwater. In de periode 1996-2001 is de inrichting van de waterwinning drastisch aangepast en werd overgegaan op infiltratie van voorgezuiverd water met een zeer laag fosfaatgehalte. De verwachting was dat zich in de heringerichte infiltratiekanalen een watervegetatie van ondergedoken waterplanten zou gaan ontwikkelen. De eerste jaren leken de verwachtingen bevestigd te worden door het verschijnen van diverse waterplantsoorten, waaronder zeldzame kranswiersoorten, maar daarna verarmde de watervegetatie betrekkelijk snel hoewel het water zeer helder bleef. Wat zou daarvan de oorzaak zijn en zou een rijke watervegetatie bevorderd kunnen worden met ander beheer?

Historie waterwinning

De Oost- en Middelduinen liggen op Goeree (fig. 1), waar sinds 1934 drinkwater wordt bereid. Vanwege de toename van de waterbehoefte ging het toenmalige waterbedrijf in 1955 over op kunstmatige infiltratie van polderwater in twee gegraven kanalen. Door de immer toenemende vraag werd het in 1972 noodzakelijk om ook oppervlaktewater uit het Haringvliet te infiltreren en werden tussen 1977 en 1991 extra infiltratiekanalen en ondiepe drains aangelegd (fig. 2). Vanaf 1987 werd alleen nog maar water uit het Haringvliet geïnfiltreerd. Tot 1995 werd het infiltratiewater niet vooraf gezuiverd. De kanalen en een groot deel van het freatische grondwatersysteem werden hierdoor sterk belast met nutriënten. Deze belasting vond juist plaats in de tijd dat het Haringvlietwater hoge nutriëntenconcentraties had en leidde tot afzetting van veel nutriëntenrijk slib in de kanalen. Op 1 januari 1996 werd de voorzuivering van te infiltreren Haringvlietwater in gebruik genomen. Het instellen van de voorzuivering zorgde voor een afname van de totaal-fosfaatconcentratie (P-totaal) met ca. 4 $\mu\text{mol/L}$ en het zwevend stofgehalte met ca. 10 mg/L (fig. 3), maar had geen effect op de concentratie minerale stikstof en sulfaat. Sinds 2000



aanvoerleiding infiltratiewater
Fig. 1. Ligging van de Oost- en Middelduinen en het innamepunt voor de kunstmatige infiltratie aan de Haringvliet.

heeft de concentratie P-totaal een niveau waarbij fosfaat de groei van de vegetatie kan limiteren (mediane waarde 0,55 $\mu\text{mol/l}$; Bloemendaal & Roelofs, 1988).

Omslag in de waterwinning

In de jaren '90 vond een omslag plaats in de omgang met de drinkwaterproductie in duingebieden en werd het concept 'Open Infiltratie Nieuwe Stijl' (OINS; Peters et al., 1992) ontwikkeld. OINS beoogt zowel een efficiëntere kunstmatige infiltratie (meer infiltratie en terugwinning per oppervlakte) als de ontwikkeling van waardevolle natuur in en rond de infiltratiekanalen. Het voor-

**Camiel Aggenbach,
Marten Annema,
André Jansen
& Henk Ketelaars**

zuiveren van het aangevoerde oppervlaktewater is daarbij een randvoorwaarde. Wegens het innovatieve karakter van het OINS-concept werd in 1996-1997 eerst een proef uitgevoerd met kanaal 7 (Peters et al., 1997). Deze proef verliep succesvol, zodat in 2000-2001 de overige kanalen aangepakt werden wat leidde tot een drastische herinrichting van de Oostduinen. Deze herinrichting moest tevens aan de ontwikkeling van een breed pallet aan natuurdoelen bijdragen: soortenrijke, voedselarme waterplantbegroeiingen in de infiltratiekanalen (o.a. Kranswierbegroeiingen), herstel van een soortenrijke, vochtige duinvalleivegetatie langs de kanalen en herstel van droge duingraslanden.

De herziening betrof de volgende ingrepen: **1)** De onttrekkingshoeveelheid van diepe grondwaterwinning werd verminderd, terwijl de ondiepe winning en dus ook de infiltratie werden geïntensiveerd en ruimtelijk ingeperkt tot de Oostduinen. De kunstmatige infiltratie verdween hierdoor uit de Middelduinen.

2) De smalle (10 m), diepe (1 m) infiltratiekanalen werden omgevormd tot een quasi-natuurlijke waterpartij met kronkelige vormen (fig. 2). De nieuwe kanalen hebben een veel grotere oppervlakte en flauwere oevers dan de oude en hebben een variabele waterdiepte (gemiddeld 0,3-0,6 m; maximaal 1,05 m). Vanwege hun grotere oppervlakte kan meer rivierwater worden geïnfiltreerd.

3) Langs de kanalen werden ook laagten gegraven voor de ontwikkeling van een

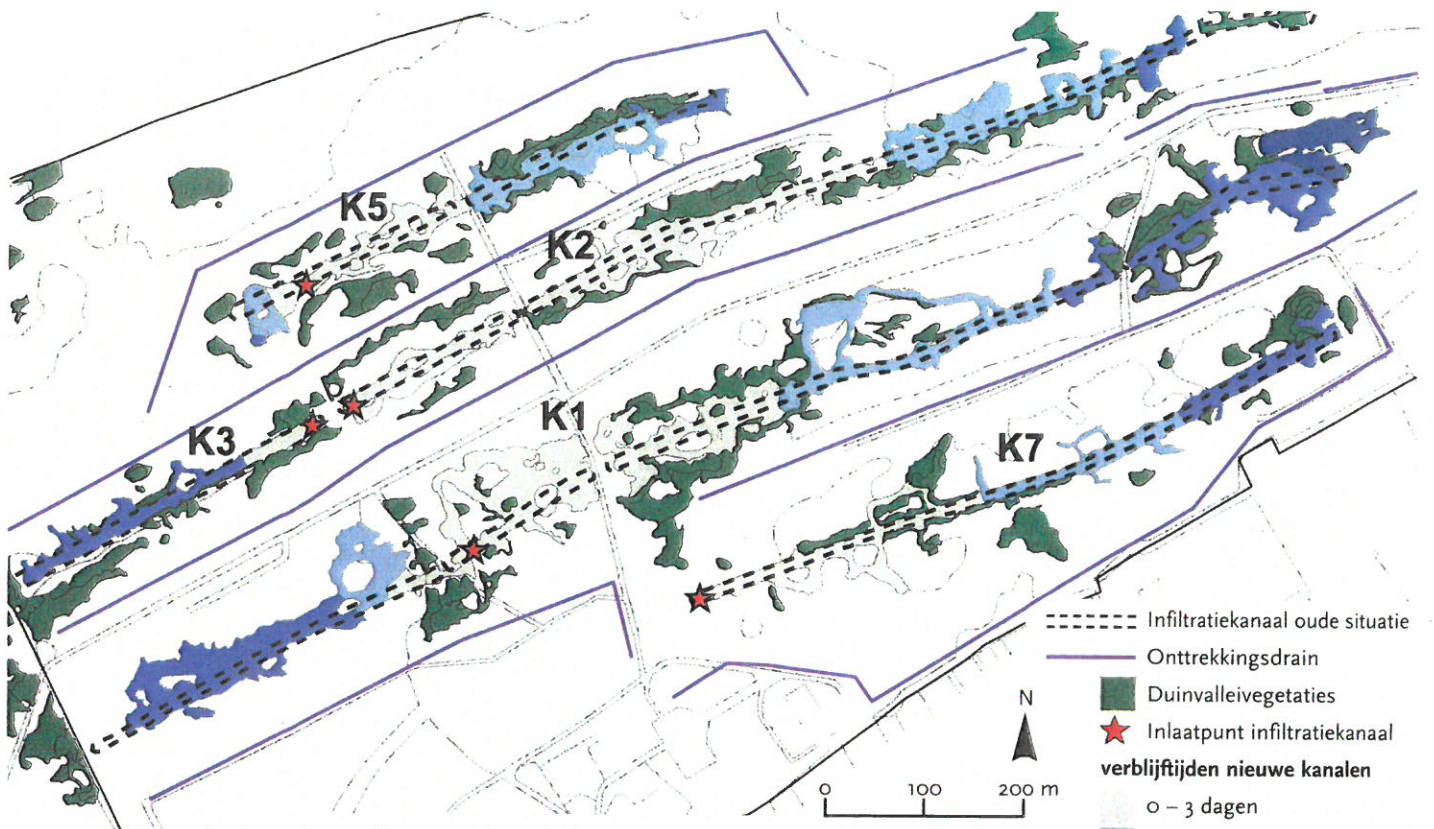


Fig. 2. Ligging van de vroegere (stippellijn) en tegenwoordige infiltratiekanalen (licht tot donker blauwe vlakken) en drains in de Oostduinen. De codes geven de kanaalnummers weer. Binnen de kanalen is ook de zonering van verblijftijden van het oppervlaktewater weergegeven. Met de drains wordt het geïnfilterde water onttrokken. De verspreiding van duinvalleivegetatie van natte, basenrijke en voedselarme omstandigheden in 2014 is eveneens weergegeven (vegetatiekartering Damm, 2015).

soortenrijke, natte duinvalleivegetatie.

4) Het nutriëntenrijke slib dat in de oude kanalen was opgehoopt, werd verwijderd. De abiotische en ecologische effecten van de herinrichting zijn intensief gevolgd via monitoring en dit leidde tot optimalisatie van de infiltratie en terugwinning voor de ontwikkeling van duinvalleivegetatie (o.a. Annema, 2004; de Haan et al., 2008; Aggenbach & Annema, 2010).

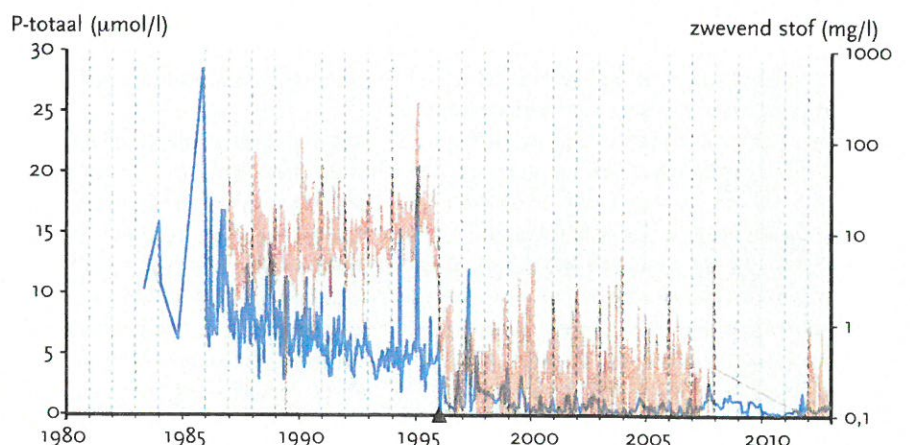
Ecologisch herstel van infiltratiekanalen

In de oude situatie werden de kanalen gevoed met fosfaat-, nitraat- en ammoniumrijk oppervlaktewater en hadden ze een dikke slibbodem. Toentertijd kwam een watervegetatie voor van vooral Tenger fonteinkruid (*Potamogeton pusillus*) en Gewoon kransblad (*Chara vulgaris*). Tevens groeiden er Zilte en Fijne waterranonkel (*Ranunculus baudotii* en *R. aquatilis*). In de situatie na de herinrichting ontvingen de kanalen niet alleen fosfaatarm water, maar hadden ze ook een kale zandbodem. Sindsdien werd het voorkomen van alle ondergedoken en drijvende waterplantensoorten jaarlijks in alle kanalen gevolgd, waarbij elke groei-

plaats van een soort werd vastgelegd als een puntlocatie. De verzamelde gegevens werden geclusterd in de volgende perioden: 1999-2001, 2002-2005, 2008-2010 en 2013. De ruimtelijke ontwikkeling van Rietvegetatie is afgeleid uit luchtfoto's. Al snel werd op de kale zandbodem slib afgezet dat voor een belangrijk deel bestond uit ter plekke gevormde kalkneerslag. Het water in de kanalen was en bleef zeer helder en bevatte nauwelijks fytoplankton. Riet (*Phragmites australis*) ontwikkelde zich vanuit wortelstokken en groeide vanaf de oevers het water in. In het open water ontwikkelde zich een ijle begroeiing van ondergedoken waterplanten met veel soorten, van zowel nutriëntenrijke als -arme omstandigheden (tabel 1). Daaronder bevonden zich ook de gewenste Kranswieren (foto 2). Vervolgens

gingen de nutriëntarme en -rijke soortgroepen achteruit. Momenteel komt in een beperkt deel van de kanalen een bedekkende vegetatie van Kranswieren voor; een aanzienlijk deel van de kanalen heeft geen of een spaarzame begroeiing van ondergedoken waterplanten (foto 3). Wat opvalt is dat op de bodem en op de waterplanten zich veel algen ontwikkelen (perifyton) (foto 4). Plaatselijk komen ook draadalgen voor. De ontwikkeling van perifyton gedurende het groeiseizoen is als volgt: in het voorjaar treedt bruine aangroei op de waterplanten op, vervolgens treedt aangroei van heldergroene algen op, waarna macrofyten vervroegd afsterven. Perifytonmonsters genomen in mei 2005 blijken voor het overgrote deel te bestaan uit kiezelwieren (Pilon & Ebbeng, 2006). Analyse van een monster genomen in het najaar van 2011 gaf een zeer hoog aandeel (99%) van kiezelwieren (schriftelijke

Fig. 3. Ontwikkeling van P-totaal (—) en zwevend stofgehalte (—) in het infiltratiewater. Vóór de start van de voorzuivering (1996) betreft het metingen van ongezuiverd Haringvlietwater, daarna (▲) van gezuiverd Haringvlietwater.



mededeling Roelf Pot). De ontwikkeling van perifyton is in de loop van de jaren steeds manifester geworden en de ontwikkeling van de watervegetatie voldoet niet aan de verwachtingen. De vraag is dan ook waarom, ondanks de lage fosfaatconcentratie van het oppervlaktewater, ondergedoken waterplanten zich slecht ontwikkelen en welke rol de uitbundige groei van perifyton hierbij speelt.

Ontwikkeling van de watervegetatie nader bekeken

De infiltratiekanalen hebben een langgerekte vorm en de inlaatpunten voor het oppervlaktewater bevinden zich meestal aan één uiteinde (fig. 2). Gekeken is of de ontwikkeling van waterplanten verband houdt met de positie t.o.v. de inlaatpunten.

In 2005 kwamen soorten van voedselarme omstandigheden, Ongelijkbladig fonteinkruid (*Potamogeton gramineus*) en Ruw kransblad (*Chara aspera*), zowel dichtbij als op grotere afstanden van de inlaatpunten voor. De verspreiding in 2013 geeft een heel ander beeld. Soorten van voedselarme omstandigheden, waaronder deze, zijn teruggedrongen naar de uiteinden van de kanalen. Alleen enkele soorten van voedselrijke omstandigheden, zoals Schedefontein-

kruid (*Potamogeton pectinatus*) en Aarvederkruid (*Myriophyllum spicatum*) hebben zich sinds de herinrichting uitgebreid en zich weten te handhaven. Groot nimfkruid (*Najas marina*) is gestaag vooruitgegaan sinds vestiging in 2009. Deze soort vormt de laatste jaren in de zomer lokaal dichte begroeiingen. Riet nam na de herinrichting geleidelijk toe en vormde in een aanzienlijk deel van de kanalen een aaneengesloten begroeiing. Hierdoor verkleinde de oppervlakte open water sterk. De rietontwikkeling vertoont geen relatie met de positie t.o.v. de inlaatpunten.

Extreem aquatisch ecosysteem

De huidige infiltratiekanalen kunnen om meerdere redenen beschouwd worden als een aquatisch ecosysteem met extreme eigenschappen. Sinds de inwerkingtreding van de voorzuivering heeft het infiltratiewater een zeer laag P-totaal gehalte, terwijl de nitraatconcentratie nog hoog is. Een tweede eigenschap van de infiltratiekanalen is een hoge doorstroomsnelheid van infiltratiewater vanwege de hoge infiltratiefluxen (kader 1). De verblijftijden van het oppervlaktewater zijn daardoor gering en veel lager dan die van bijvoorbeeld de meeste meren in Nederland: het gemiddelde

van de kanalen bedraagt 3 tot 13 dagen; meren in Nederland hebben meestal een verblijftijd van meer dan 100 dagen en bestrijken een range van 22 tot 431 dagen (Janse, 2005). De sterke doorstroming heeft tot gevolg dat de concentraties van zwevende algen laag blijft, omdat deze steeds uit het systeem worden afgevoerd. Al hoewel het water fosfaatarm is, zorgt de lage verblijftijd toch voor een hoge flux van fosfaat. Wortelende waterplanten en perifyton, hebben een vaste positie en kunnen daarom – ondanks de lage fosfaatconcentratie van het oppervlaktewater – profiteren van de constante aanvoer van fosfaat (=hoge fosfaatflux). De lichtbeschikbaarheid voor zowel de wortelende, ondergedoken waterplanten als het perifyton wordt niet beperkt door fytoplankton dat een lage concentratie heeft. De heel kleine algen in perifyton kunnen echter veel effectiever fosfaat opnemen uit de waterlaag dan de waterplanten (Brönmark & Hansson, 2005). Daarom gaat er bij een voldoende hoge nutriëntenflux veel perifyton groeien op de waterplanten waardoor voor de waterplanten zowel de opname van nutriënten en koolstof als de beschikbaarheid van licht beperkt wordt. Dat onderdrukt de groei van de waterplanten ondanks de grote doorzichtigheid van het water. We vermoeden dat deze wisselwerking tussen waterplanten en perifyton optreedt als gevolg van een zeer hoge flux bij een weliswaar lage concentratie fosfaat. Hoge fluxen van silicaat (SiO_2) kunnen daarbij ook een belangrijke rol spelen. Vanwege hun kiezelskelet is in het

Tabel 1. Ontwikkeling van het aantal puntlocaties waar waterplantsoorten in de infiltratiekanalen zijn aangetroffen voor vier perioden. De soorten zijn gerangschikt op basis van indicatie voor nutriëntenrijkdom volgens Bloemendaal & Roelofs (1988). Bij soorten met een piek is het aantal locaties voor de betreffende periode **vet** weergegeven. De groeivorm is aangegeven met lettercodes:

Wo: vast, wortels in bodem, bladeren onder water
 Wd: vast, wortels in bodem, bladeren drijvend en in contact met de atmosfeer
 D: vrij drijvend op het water, bladeren in contact met atmosfeer.

Plantensoort	Groeivorm	Indicatie nutriëntenrijkdom	aantal puntlocaties per periode			
			1999/01	2002/05	2008/10	2013
Breekbaar kransblad (<i>Chara globularis</i>)	Wo	voedselarm water en	0	6	1	0
Stekelharig kransblad (<i>Chara hispida</i>)	Wo	P-arme tot matig P-rijke	9	20	3	7
Ongelijkbladig fonteinkruid (<i>Potamogeton gramineus</i>)	Wo+Wd	bodem	0	15	10	1
Ruw kransblad (<i>Chara aspera</i>)	Wo		0	8	4	12
Gewoon kransblad (<i>Chara vulgaris</i>)	Wo	voedselarm water en doorgaans matig P-rijke tot P-rijke bodem	51	59	55	39
Smalle waterpest (<i>Elodea nuttallii</i>)	Wo		6	0	0	0
Klein kroos (<i>Lemna minor</i>)	D		0	2	1	11
Puntkroos (<i>Lemna trisulca</i>)	D		0	23	0	2
Gekroesd fonteinkruid (<i>Potamogeton crispus</i>)	Wo		0	1	0	0
Tenger fonteinkruid (<i>Potamogeton pusillus</i>)	Wo	voedselrijk water	18	29	35	22
Fijne waterranonkel (<i>Ranunculus aquatilis</i>)	Wo		1	7	1	0
Zittende zannichellia (<i>Zannichellia palustris</i> ssp. <i>palustris</i>)	Wo		0	24	9	0
Gesteelde zannichellia (<i>Zannichellia palustris</i> ssp. <i>pedicellata</i>)	Wo		8	40	3	3
Aarvederkruid (<i>Myriophyllum spicatum</i>)	Wo		0	23	31	19
Schedefonteinkruid (<i>Potamogeton pectinatus</i>)	Wo	zeer voedselrijk water	1	33	59	42
Zilte waterranonkel (<i>Ranunculus baudotii</i>)	Wo+Wd		5	29	1	0
Veelwortelig kroos (<i>Spirodela polyrhiza</i>)	D		0	1	2	0
Groot nimfkruid (<i>Najas marina</i>)	Wo	? voedselrijk water	0	0	17	41

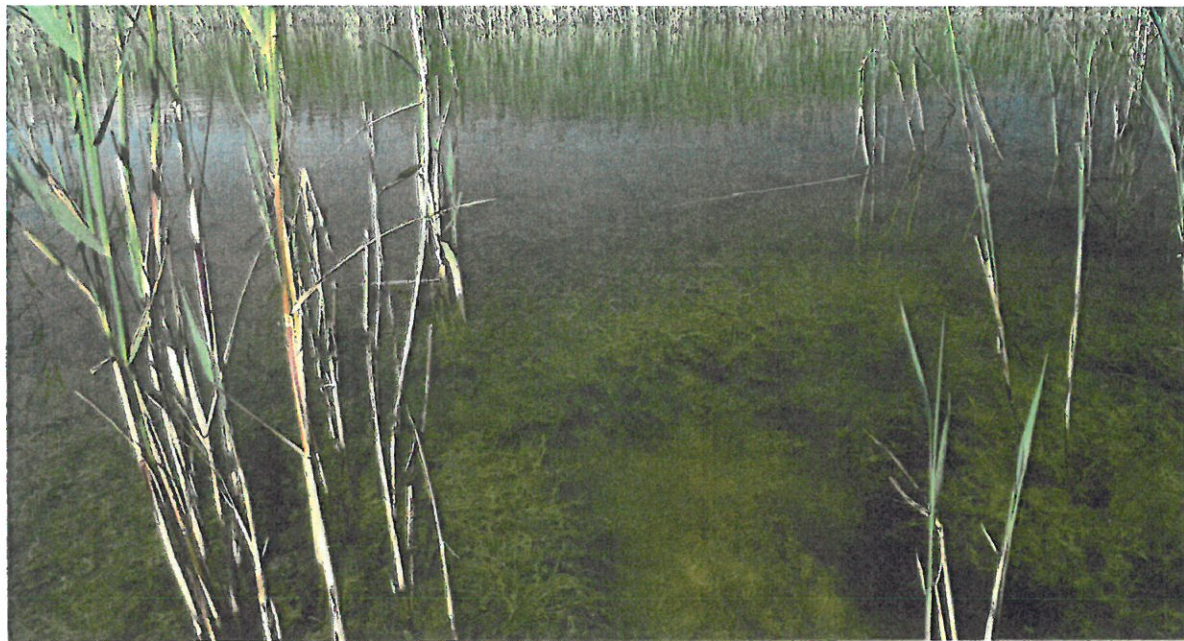


Foto 1. Kranswervegetatie in kanaal 3. De kranswieren zijn begroeid met een dikke algenlaag (perifyton). Op de voorgrond is een woelgat van een Wilde zwaan zichtbaar (foto: Marten Annema).

water opgelost silicaat een belangrijk nutriënt voor de kiezelwieren die het perifyton vormen.

Grote ruimtelijke verschillen in nutriëntenbelasting

De verblijftijden tussen de kanalen verschillen sterk vanwege de regeling van het infiltratie- en terugwinstsysteem. Binnen de kanalen treden bovendien grote verschillen in verblijftijd op. Dit is het gevolg van hun langgerekte vorm en de ligging van het inlaatpunt aan één van de uiteinden. Daarom is te verwachten dat de fluxen van nutriënten ruimtelijk ook grote verschillen vertonen. Uit metingen van de aanvoerdebiëten van het voorgezuiverde rivierwater zijn de verblijftijden ruimtelijk bepaald (fig. 2). Vervolgens is daarmee en met het

gemeten totaal-fosfaatgehalte in het voorgezuiverde water de fosfaatbelasting langs de lengteas van de kanalen berekend. Bij deze berekening is de invloed van retentie van fosfaat binnen de kanalen en bijmenging met regenwater meegenomen. Tussen instroompunt en kanaaluiteinde neemt de fosfaatconcentratie af door opname van fosfaat door waterplanten en vooral algen (Aggenbach & Annema, 2015). De kanaaltrajecten dichtbij de inlaatpunten hebben de hoogste fosfaatbelasting en daardoor gunstige omstandigheden voor ontwikkeling van perifyton. Figuur 4 laat tevens zien dat er tussen de kanalen grote verschillen bestaan in fosfaatbelasting door verschillen in infiltratiesnelheid. In de kanalen met een korte verblijftijd wordt de groei van ondergedoken waterplanten daarom meer

belemmerd door perifyton dan in kanaal 3, dat een relatief lange verblijftijd heeft. Uit onderzoek in meren blijkt dat de fosfaatbelasting sterk bepalend is voor het optreden van helder water met veel ondergedoken waterplanten (lage belasting) of de aanwezigheid van troebel water door een hoge concentratie van fytoplankton met weinig waterplanten (hoge belasting). De kritische grens voor omslag van troebel naar helder en vice versa is daarbij afhankelijk van onder andere de verblijftijd, de waterdiepte en de strijklengte van het waterlichaam voor de wind. Voor Nederlandse meren die t.o.v. de infiltratiekanalen lange verblijftijden hebben, zijn deze omslagpunten bepaald op basis van empirisch onderzoek. Omslagpunten van helder naar troebel bevinden zich bij een fosfaatbelasting van

Kader 1. Kunstmatige infiltratie van rivierwater voor drinkwater en nutriëntfluxen

Bij waterwinningen in de duinen wordt de grondwateraanvoorraad aangevuld door rivierwater in gegraven kanalen of voormalige duinvalleien te infiltreren (kunstmatige infiltratie). In de Oostduinen zijn daarvoor ondiepe langwerpige plassen aangelegd. Zonder de aanvulling met rivierwater zou de waterwinning leiden tot sterke verdroging van het duingebied en verzilting van het grondwater in de zoetwaterbel onder het duinmassief. Vanuit de infiltratiekanalen stroomt het rivierwater door het zandpakket naar onttrekkingsmiddelen. In de Oostduinen zijn dat drains die op enkele meters diepte liggen en op 70 tot 150 m afstand van de infiltratieplassen. Het peil in de drains wordt lager gehouden dan het peil in de infiltratiekanalen, zodat ze water aantrekken. Het infiltratiesysteem in de Oostduinen is ontworpen als een 'intensief' systeem dat op een kleine oppervlakte (90 ha) veel water infiltreert en terugwint (gedurende 2000-2015 2,5 tot 3,5 miljoen m³/j). De infiltratiesnelheden in de kanalen zijn hierdoor hoog en verschillen sterk voor de vijf kanalen (20-180 mm/d). Omdat de kanalen ondiep zijn, is het watervolume vrij klein (4060-19050 m³) en geeft dat in combinatie met de hoge infiltratietijden een lage verblijftijd van het water (gemiddelde waarden 3-18 d). De verblijftijd is de duur waarbij het hele volume oppervlaktewater is vervangen. De kanalen zijn langwerpig en hebben meestal het inlaatpunt aan een uiteinde liggen. Dichtbij het uiteinde is de verblijftijd korter dan het uiteinde, omdat het water dat verderop infiltreert eerst door het eerste deel van het kanaal moet stromen. De verblijftijd in een kanaal hangt niet af van de absolute afstand van het inlaatpunt, maar van de relatieve afstand (afstand vanaf het inlaatpunt gedeeld door de totale kanaallengte).

Dus verblijftijden verschillen ruimtelijk sterk door zowel verschillen in infiltratiesnelheid tussen de kanalen, als de aanwezigheid van een gradiënt binnen de kanalen. Voor waterplanten en algen is de aanvoer van nutriënten met het toestromende oppervlaktewater belangrijk. Naast het nutriëntengehalte is ook de nutriëntenflux van belang. De flux is te berekenen uit het product van de concentratie (in bijv. $\mu\text{mol/L}$ of mg/L) en de hoeveelheid water die voorbij stroomt per oppervlakte (in L per m^2). Bij een hoge aanvoer van water (dus bij een lage verblijftijd) en een lage concentratie kan de flux toch groot zijn. Wanneer men nutriëntenfluxen gebruikt in relatie tot eutrofiëring van oppervlaktewater spreekt men ook vaak over de 'belasting'. Bij de berekening van de gradiënten van de fosfaatflux in kanalen is ook nog rekening gehouden met de verandering van de fosfaatconcentratie als het water van inlaatpunt naar het kanaaluiteinde stroomt. Ten eerste neemt de concentratie iets af door bijmenging met neerslagwater. Het aandeel regenwater wordt groter bij een toenemende verblijftijd en is te berekenen op basis van meteorologische gegevens (gemiddelde voor de kanalen is 3 tot 8%). Daarnaast kan in het infiltratiewater de concentratie van een nutriënt afnemen door opname van planten en algen. Dit effect wordt 'retentie' genoemd. Tijdens de zomer van 2012 is met regelmatige metingen van nutriëntenconcentraties op verschillende afstanden in kanalen vastgesteld dat voor orthofosfaat, nitraat en silicaat vanaf het inlaatpunt naar het kanaaluiteinde een afname van de concentratie optreedt. Voor nitraat speelt daarbij naast retentie ook omzetting van nitraat naar stikstofgas een rol.

ca. 30 tot 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$ (Janse, 2005; Jaarsma et al., 2008). Dit traject overlapt voor een groot deel dat van de door ons berekende waarden in de kanalen. Toch mogen de uitkomsten van de infiltratiekanalen in de Oostduinen vanwege hun korte verblijftijd niet zo maar worden vergeleken met die van meren met een lange verblijftijd. Ook voor sloten, die net als de infiltratiekanalen vaak zeer korte verblijftijden hebben, zijn omslagpunten van helder water met waterplanten naar een toestand met kroosdekken te berekenen met het programma PCditch (Janse, 2005). Rekening houdend met de verschillen in verblijftijden en waterdiepte treedt voor de infiltratiekanalen een dergelijk omslagpunt op bij een fosfaatbelasting van 80 tot 470 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$. In het grootste deel van de kanaal-trajecten is de belasting lager dan 80 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$. Kroosdekken ontbreken dan ook in de kanalen. Het omslagpunt naar Kroosdominantie in sloten vindt plaats bij extreme eutrofiëring. Voor aquatische systemen met helder water en korte verblijftijden is helaas onbekend bij welke fosfaatbelastingen de omslagpunten liggen voor een toestand met veel waterplanten + weinig perifyton en een toestand met weinig waterplanten + veel perifyton. We vermoeden dat die kritische belasting veel lager is dan de ondergrenzen van de genoemde omslagpunten van helder naar troebel water ($< 30\text{-}\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$) en van helder water met waterplanten naar een toestand met kroosdekken ($< 80\text{-}\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$). Opvallend is dat kanaal 3 over een aanzienlijk deel van de lengte een zeer lage fosfaatbelasting heeft ($< 30\text{-}\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{d}$) als gevolg van een lage infiltratieflex (fig. 4). Dit kan een verklaring vormen voor het huidige uitbundig voorko-

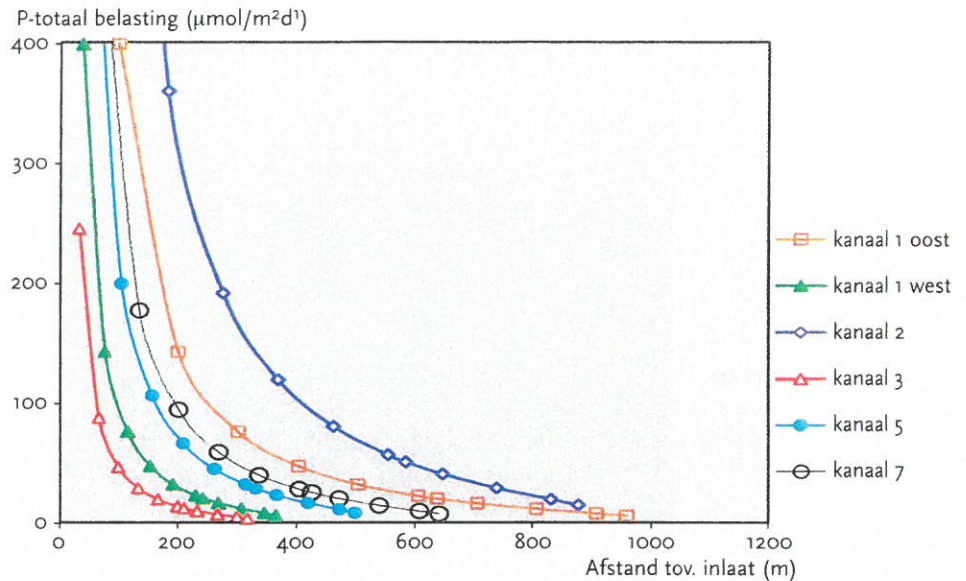


Fig. 4. Berekende belasting van totaal-fosfaat (P-totaal) per kanaal als functie van de afstand tot het inlaatpunt. De belasting is berekend voor de periode 2008-2009 op basis van de concentratie in het inlaatwater, de ruimtelijke verdeling van de verblijftijd, bijmenging van regenwater en retentie van fosfaat in het kanaal.

men van kranswierbegroeiingen in de westelijke helft van kanaal 3 d.w.z. ook op grotere afstand van het inlaatpunt. De belasting met silicaat (SiO_2) laat een soortgelijk patroon zien en zal aldus, samen met het patroon van de fosfaatbelasting, van grote invloed zijn op de groei van perifyton dat voornamelijk uit kiezelwieren bestaat. De mediane silicaatconcentratie in het aangevoerde infiltratiewater bedraagt 40 $\mu\text{mol}/\text{L}$ en levert een gemiddelde belasting op voor de kanalen in de range van 3 tot 12 $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{d}$.

Sulfiden ook een boosdoener?

Het infiltratiewater is sulfaatrijk (mediaan: 677 $\mu\text{mol}/\text{L}$) en door de korte verblijftijden in de kanalen is de belasting met deze stof eveneens hoog. Onder zuurstofarme omstandigheden kan deze stof in de onderwaterbodems worden omgezet in

vrije sulfiden, die voor diverse waterplantsoorten al bij lage concentraties toxisch zijn. De concentratie vrije sulfiden in het porievocht van de onderwaterbodem is in een deel van de onderzochte locaties zo hoog dat het voor diverse plantensoorten toxisch kan zijn (Aggenbach & Annema, 2015). Zulke hoge waarden treden vooral op in de kanaalhelften die het verst van de inlaatpunten van het voorgezuiverde oppervlaktewater zijn verwijderd (fig. 5). De verklaring voor dit patroon kan een chemische zijn: de flux van nitraat dichtbij de inlaatpunten is zo hoog dat de reductie van sulfaat wordt tegengegaan. Nitraat is immers een veel snellere oxidator dan sulfaat, waardoor sulfaat niet wordt omgezet naar sulfide. Verder verwijderd van het inlaatpunt is de nitraatconcentratie echter sterk verlaagd door denitrificatie. De trajecten waar in de bodem hoge sulfidengehal-

Foto 2. Infiltratiekanaal met veel algen en zonder ondergedoken waterplanten (foto: Marten Annema).





Foto 3. Infiltratiekanaal met vegetatie van Groot nimfkruid. Rechts is de bodem van kalkslib zichtbaar, waarop algen groeien (foto: Marten Annema).

ten optreden zijn juist die delen met een lage nitraat- en fosfaatconcentratie. Waterplanten van zulke nutriëntarme condities, die gevoelig zijn voor (hoge) sulfiden (concentraties), kunnen door die hoge sulfidengehalten belemmerd worden. Van Groot nimfkruid, de enige waterplant die duidelijk toeneemt, is bekend dat ze voorkomt in sulfaatrijke oppervlaktewateren (Weeda et al., 1991). Deze soort is vermoedelijk minder gevoelig voor hoge sulfidengehalten.

Kalkslib en watervogels?

Het aangevoerde Haringvlietwater bevat veel calcium en bicarbonaat en is daardoor oververzadigd voor kalk. Door opname van kooldioxide door algen en waterplanten in de kanalen verschuift het koolzuur-kalk-evenwicht nog eens ten gunste van de vorming van kalk. Hierdoor is inmiddels een witte kalksliblaag van enkele centimeters tot decimeters dikte ontstaan op de kanaalbodems. Het kalkslib bestaat uit zeer fijne deeltjes die gemakkelijk opwerpen. Watervogels als Grauwe ganzen (*Anser anser*) en Wilde zwanen (*Cygnus cygnus*), die foerageren op kranswieren en wortelknollen van fonteinkruiden en kranswieren, kunnen (periodiek) zorgen voor sterke opwerveling. De ganzen foerageren vooral gedurende februari tot juni, dus in het groei-seizoen van de kranswieren. Het uitzakkende slib kan dan op waterplanten neer dwarrelen en verhindert de fotosynthese. Door uitbundige perifytongroei blijft het slib ook nog eens beter op de planten zitten. De opwerveling kan daardoor voor extra lichtbeperking van waterplanten zorgen.

Aanpassing beheer mogelijk?

In de Oostduinen zijn de mogelijkheden om met maatregelen de condities voor goed ontwikkelde watervegetatie te bevor-

deren beperkt. Een optie is om de fosfaatverwijdering in de voorzuivering verder te verbeteren. De fosfaatconcentratie werkt namelijk recht evenredig door in de belasting. Het vergroten van de afstand vanaf de inlaatpunten heeft geen zin, omdat dit tot dezelfde oppervlakteverdeling in verblijftijd en dus fosfaatbelasting zal leiden. Verder zou een deel van het infiltratiesysteem minder intensief gebruikt kunnen worden en een ander deel juist intensiever. Dat levert dan in een deel van de kanalen lagere nutriëntenbelastingen op. Echter, door het huidige beheer van het infiltratiesysteem, bestaan nu al grote verschillen in verblijftijd tussen kanalen. Zo heeft kanaal 3 een relatief lange verblijftijd en daardoor nu ook nog een goed ontwikkelde kranswiervegetatie.

De huidige bedrijfsvoering is in hoge mate geoptimaliseerd voor de ontwikkeling van waardevolle duinvalleivegetatie langs de infiltratiekanalen. Veranderingen in de bedrijfsvoering ten behoeve van goed ontwikkelde waterplantengemeenschappen zullen daardoor naar verwachting nadelig uitwerken voor de inmiddels zeer rijk ontwikkelde vochtige duinvalleivegetatie naast de kanalen (fig. 2). De huidige regeling van de waterpeilen in de kanalen en onttrekkingsdrains is namelijk vergaand geoptimaliseerd op een gunstig waterregime (nabij maaiveld en met geringe fluctuaties) voor de duinvalleivegetatie, dat vanwege zijn zeldzaamheid (habitattype Vochtige duinvalleien (kalkrijk)) bij de herinrichting hoge prioriteit heeft gekregen. Daarom, en omdat het infiltratiesysteem wel voldoende

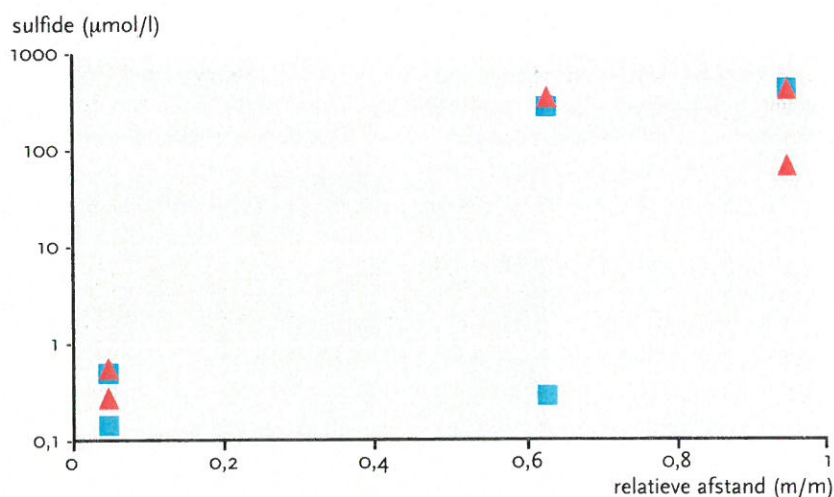


Fig. 5. De concentratie van vrije sulfiden in het porievocht van de toplaag van de bodem in de infiltratiekanalen uitgezet tegen de relatieve afstand in kanaal 2 (■) en 3 (▲) (Aggenbach & Annema, 2015). De relatieve afstand is de afstand t.o.v. het inlaatpunt gedeeld door de totale lengte van het kanaal. Omdat de gradiënt in verblijftijd en dus ook de belasting met sulfaat in langwerpige waterlichamen bepaald wordt door de relatieve afstand (en dus niet door de absolute afstand t.o.v. het inlaatpunt), zijn de meetwaarden uitgezet tegen de relatieve afstand. De metingen zijn van oktober 2012.

drinkwater moet produceren, is verdere optimalisatie van de bedrijfsvoering voor watervegetatie in de kanalen niet mogelijk.

Conclusies en discussie

De herinrichting van dit waterwingebied volgens het concept Open Infiltratie Nieuwe Stijl leidt per definitie tot infiltratiekanalen waarin het oppervlaktewater een zeer korte verblijftijd heeft. Het intensieve infiltratie- en terugwinsysteem leidt immers tot hoge infiltratiefluxen en daarmee tot een sterke doorstroming van de infiltratiekanalen. Ondanks de voorzuivering, die zorgt voor een zeer lage fosfaatconcentratie van het infiltratiewater, treedt een hoge belasting met fosfaat op door de hoge flux. Deze ecologisch extreme situatie beperkt de ontwikkeling van een uitbundige watervegetatie met ondergedoken planten, ondanks het zeer heldere water. Omdat de fosfaatconcentratie laag is en de verblijftijd gering, treedt nauwelijks ontwikkeling van fytoplankton op. De hoge fosfaatfluxen en een grote overmaat van nitraat bevorderen een sterke groei van perifyton waardoor de waterplanten worden beperkt in de opname van nutriënten en koolstof én door lichtbeperking ook in hun fotosynthese. De uitbundige perifytongroei onderdrukt zodoende de groei van ondergedoken waterplanten. Het perifyton bestaat vooral uit kiezelwieren; naar verwachting zullen zij profiteren van de eveneens hoge fluxen van silicaat. Andere factoren die mogelijk de groei van ondergedoken waterplanten belemmeren zijn de hoge concentraties van vrije sulfiden in het porievocht van de onderwaterbodems; – sulfiden zijn toxisch voor veel waterplanten – en de opwerveling van kalkslib door watervogels, wat kan leiden tot lichtbeperking voor zulke waterplanten.

De gevonden patronen in de Oostduinen zijn ook (beleidsmatig) relevant voor andere kunstmatige infiltratiesystemen in de duinen, zoals in Solleveld nabij Den Haag. Ook daar stagneert de ontwikkeling van watervegetatie na de herinrichting (mondelijke mededeling H. van der Hagen). Vanuit Natura 2000 oogpunt zorgt de hoge nutriëntenbelasting voor een sterke beperking van de ontwikkeling en instandhouding van Kranswiervegetaties van het habitatype H2190A. Ook geldt dat de eutrafente vegetatietypen van dit habitatype zich nauwelijks ontwikkelen. In een deel van de duingebieden zijn de infiltratiekanalen voor de Kader Richtlijn Water aan-

wezen als oppervlaktewaterlichaam van het type Ondiepe (matig grote) gebufferde plassen (M14) (dat is overigens niet het geval voor die in de Middel- en Oostduinen). Een groot deel van de infiltratiekanalen in de Oostduinen zou volgens de maatlat voor abundantie van groeivormen 'ontoe-reikend' tot 'slecht' scoren vanwege de lage bedekking van submerse watervegetatie (<5% in 2013). En voor de maatlat voor soortensamenstelling van ondergedoken waterplanten zouden de kanalen slechts 'matig' scoren. Dit geeft aan dat in de kanalen van intensieve infiltratiesystemen voor betreffende natuurdoelen weinig perspectief is. Een natuurtype wat wel goed haalbaar is, is ontwikkeling van rietlanden in de ondiepe delen met bijbehorende moerasbroedvogels.

Een vraag die opdoemt is in hoeverre de opzet van de herinrichting volgens het concept 'Open Infiltratie Nieuwe Stijl' geslaagd is voor de Middel- en Oostduinen. Een efficiëntere kunstmatige infiltratie met meer infiltratie, minder ruimtebeslag en een sterk gereduceerde fosfaatbelasting is gerealiseerd. De ontwikkeling van waarde-

volle natuur rond de infiltratiekanalen is ook gelukt door een sterk herstel van vochtige duinvalleien en duingraslanden (Aggenbach & Annema, 2010). De beoogde ontwikkeling van waardevolle natuur met Kranswiervegetatie in de infiltratiekanalen is echter in een groot deel van de kanalen niet gelukt. Wel zorgde de toename van Rietmoeras in de kanalen voor nieuwe broedvogels, zoals Rietzanger (*Acrocephalus schoenobaenus*), Cetti's zanger (*Cettia cetti*) en Roerdomp (*Botaurus stellaris*). Al met al heeft de herinrichting veel winst opgeleverd voor herstel van duinnatuur. En tot slot: het ecosysteem in de infiltratiekanalen is 14 tot 19 jaar na de herinrichting nog steeds in ontwikkeling en kan daarmee nog positieve verrassingen in petto hebben.

Literatuur

- Aggenbach, C.J.S. & M. Annema, 2010.** Effecten van OINS in de Oost- en Middelduinen op de natuur. Tussenrapport monitoring 1999-2009. KWR 2010.086, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Aggenbach, C.J.S. & M. Annema, 2015.** Invloed van water- en bodemchemie op de watervegetatie van infiltratiekanalen in de Oostduinen. KWR2014.025, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Annema, M., 2004.** Finetuning van de waterwinning in Ouddorp, Intern rapport Evides over 2003.
- Bloemendaal, F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs, 1988.** Waterplanten in relatie tot waterkwaliteit en bodemgesteldheid. Laboratorium voor Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Brönmark, C. & L.-A. Hansson, 2005.** Biology of Habitats: The biology of lakes and ponds. Second edition, Oxford University Press.
- Damm, T., 2015.** Vegetatiekartering waterwingebied de Middel- en Oostduinen 2014. G&G-rapport 2015-13, Van der Goes en Groot.
- Haan, M.W.A. de, M. Annema & H. Hunneman, 2008.** Verfijning van de afstemming hydrologie-natuur in de Oostduinen. KWR 08.054. KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Jaarsma N., M. Klinge & L. Lamers, 2008.** Een ecologische systeemanalyse en diagnose van ondiepe meren en plassen voor de kaderrichtlijn water. Van helder naar troebel... en weer terug. Rapport 2008-04. STOWA, Utrecht.
- Janse, J.H., 2005.** Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Dissertatie Wageningen Universiteit.
- Peters, J.H., Q.L. Slings & A. Stakelbeek, 1992.** Open infiltratie nieuwe stijl: integrale ontwikkeling van natuur en techniek bij renovatie van



Kom zelf kijken!

In het verlengde van hun artikel organiseren de auteurs op **24 juni a.s.** voor de lezers van De Levende Natuur een excursie in de Oostduinen.

De verzameltijd is 13.00 uur, Hondsweg 12, 3252 LH Goedereede. Afhankelijk van de deelnemers duurt de excursie 3-4 uur. Het is raadzaam zelf lunch, drinken enz. mee te nemen. Er zijn aan de excursie geen kosten verbonden.

Inlichtingen en Aanmelden kan tot **17 juni** via m.annema@evides.nl of tel. 06-52525648. **Deelname is in volgorde van aanmelding.**



een open infiltratiesysteem. *H₂O* 25(19): 532 - 537.
Peters, J.H., M.J.C. van Baar & M.W.A. de Haan, 1997. Evaluatie pilotproject kanaal 7; ervaringen van de pilot, ideeën voor open infiltratie nieuwe stijl in de Oostduinen. KOA 97.175. Kiwa Onderzoek & Advies, Nieuwegein.
Pilon, J. & H. Ebbeng, 2006. Draadalgen en perifyton op water- en oeverplanten in de Oostduinen (Goeree-Overflakkee), Aqualab.
Weeda E.J., R. Westra, Ch. Westra & T. Westra, 1991. Nederlandse ecologische flora: wilde planten en hun relaties 4. IVN/ VRA/ VEWIN, Hilversum.

Summary

The development of aquatic vegetation in reconstructed infiltration channels in the Oostduinen

Evides Water company operates an artificial infiltration in the dune area Oostduinen on the island of Goeree. In 1996 the introduction of pre-treatment of the infiltration water drastically lowered the concentration of total-phosphorus and suspended matter. In 1996 and 2001 the infiltration system was completely reconstructed. The infiltration channels were reshaped into quasi natural, shallow water bodies. One

of the aims of the measures was to develop a species-rich water plant vegetation (e.g. *Charetea* vegetation). The first years after reconstruction several aquatic plant species of both nutrient-poor and nutrient-rich conditions appeared. However, most species declined, whereas at the same time a strong increase of periphyton (mainly diatoms) occurred. This paper discusses the causes of the poor development of submerged water macrophytes. Due to the low retention times of the surface water in the channels, the P-load for the vegetation is mainly high despite the low phosphorus concentration of the inlet water. The same is true for dissolved silicate, which stimulates the growth of diatoms. The actual spatial pattern of nutrient-poor plant species matches with the differences in P-loads between channels and within channels. The elongated shape of the channels and the position of water inlets at the channel ends enhance strong gradients in P-loads, with the lowest P-loads far away from the water inlets. Other causes for poor development of aquatic vegetation might be high, toxic concentrations of free sulphides in pore water of the soil, and suspension of calcareous fine silt by waterfowl. Besides a stronger remo-

val of phosphorous by pre-treatment of the infiltration water, the possibilities for operational changes in the infiltration and abstraction system are limited. Moreover, the system is optimized to the recovery of wet dune slack vegetation, which has well developed over large areas.

Drs. C.J.S. Aggenbach
KWR Watercycle Research Institute
Postbus 1072, 3430 BB Nieuwegein
en Universiteit Antwerpen, ECOBE,
camiel.aggenbach@kwrwater.nl

M. Annema
Evides
Hondsweg 12, 3252 LH Goedereede
m.annema@evides.nl

Dr. A.J.M. Jansen
Unie van Bosgroepen
Postbus 8187, 6710 AD Ede
a.jansen@bosgroepen.nl

Drs. H.A.M. Ketelaars
Berenplaat 10, 3209 LJ Spijkensisse
h.ketelaars@evides.nl