
HELOFYTENFILTERS VOOR VERBETERING VAN DE KWALITEIT VAN HET OPPERVLAKTEWATER IN HET LANDELIJK GEBIED, EEN PROGRAMMERINGSSTUDIE

**Een studie uitgevoerd door het TNO Studiecentrum voor Milieu-onderzoek en het Staring Centrum
In opdracht van de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek**

Redactie:

H. Duel en J.K.M. te Boekhorst

**TNO Studiecentrum voor Milieu-onderzoek, Delft
Staring Centrum, Wageningen
December 1990**

BIDOC PROVINCIEHUIS N-BR.

3 2500 00046 5949

TEN GELEIDE

De Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek legt in het algemeen in zijn adviezen de nadruk op preventiegericht onderzoek. Waterzuivering met behulp van helofytenfilters (stromingsmoerassen) kan echter als een effectgerichte benadering van het eutrofiëringsprobleem worden beschouwd. Toen de PSG Water en Bodem in 1988 de Raad een programmeringsvoorstel voorlegde gaf de Raad hieraan toch zijn fiat. Een inventariserende studie over dit onderwerp kon naar zijn mening van belang zijn vooral omdat het onderzoek zich, zowel nationaal als internationaal, tot nu toe in hoofdzaak met de zuivering van afvalwater had beziggehouden. In de RMNO studie zou de nadruk op laagbelast oppervlaktewater komen te liggen.

Inmiddels werd ook in de Vierde Nota over de Ruimtelijke Ordening voor het verbeteren van de kwaliteit van gebiedsvreemd water de toepassing van helofytenfilters genoemd. In de Derde Nota Waterhuishouding werd dit nog eens onderstreept en werd erop gewezen dat de effectiviteit van deze filters moet worden onderzocht.

Bij deze programmeringsstudie is uitgegaan van een multifunctioneel gebruik van de moerassen d.w.z. naast de zuiveringsfunctie werd ook gekeken naar de mogelijkheden voor natuurgerichte recreatie, hydrologische buffering en tijdelijke opslag van water. Dit vereiste onderzoek naar de mogelijke inpassing in het landelijk gebied, waarbij criteria voor gebiedskeuze en voor ruimtegebruik een rol spelen.

Het onderzoek leverde een grote hoeveelheid aan kennislacunes op, zowel wat betreft de zuiveringsfuncties als ook wat betreft de mogelijkheden van combinatie van deze functie met andere gebruiksvormen en de mogelijke oplossingen voor situering en inrichting van een helofytenfilter in het landschap. Zo is er b.v. nog onvoldoende inzicht in methoden om het ruimtebeslag van de filters te kunnen berekenen.

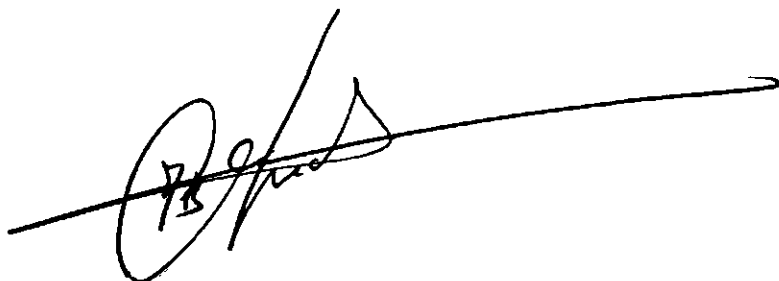
De huidige toegankelijkheid van onderzoekresultaten over de werking van helofytenfilters bleek slecht en de informatie-uitwisseling over lopend onderzoek gebrekkig. Coördinatie en afstemming van onderzoek is noodzakelijk, omdat het onderzoek naar de werking en toepassing van deze helofytenfilters een groot aantal vakgebieden bestrijkt.

Tijdens de workshop, die met een veertigtal deskundigen naar aanleiding van deze studie gehouden werd, bleek dat er grote behoefte is om nu eens op praktijkschaal met veldexperimenten te beginnen.

De Raad constateert met tevredenheid dat de uitkomsten van deze programmeringsstudie al gebruikt worden voor verder uitwerking in case-studies in onderzoek onder auspiciën van de Rijks Planologische Dienst. Ook hebben de onderzoekers tijdens deze studie al hun bijdragen kunnen leveren aan een tweetal bijeenkomsten georganiseerd door DBW/RIZA in combinatie met het Instituut voor Oecologisch onderzoek over de waterzuiveringsprocessen in de filters.

De Raad meent dat verder onderzoek naar de optimalisering van de zuiveringscapaciteiten van deze filters en hun inpassing in het landschap slechts van belang is in verband met de kansrijkheid van de helofytenfilters in bepaalde regio's, bij kleinschalige zuiveringsproblemen.

Voor toepassing op grotere schaal ziet de Raad in een land als het onze geen grote mogelijkheden in verband met het ruimtebeslag van deze stromingsmoerassen. Dit heeft consequenties voor de behoefte aan onderzoek. Op een dergelijke wijze is de mening van de Raad dan ook verwoord in het advies dat de RMNO heeft uitgebracht op de Derde Nota Waterhuishouding.



Prof. Dr. J.B. Opschoor
Voorzitter RMNO

INHOUDSOPGAVE

Pagina:

SAMENVATTING	5
SUMMARY	10
1. INLEIDING	15
1.1. PROBLEEMSTELLING EN DOELSTELLING	15
1.2. ENKELE BEGRIPPEN	15
1.3. AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK	16
1.4. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	16
1.5. INDELING VAN DIT RAPPORT	18
2. BESCHRIJVING VAN DE ZUIVERINGSPROCESSEN	19
2.1. INLEIDING	19
2.2. OPNAME, VASTLEGGING EN AFGIFTE VAN STOFFEN DOOR DE MOERAS- VEGETATIE	20
2.2.1. Opname	20
2.2.2. Vastlegging in de moerasvegetatie	20
2.2.3. Afgifte	21
2.3. MICROBIELE PROCESSEN	22
2.3.1. Afbraak van organisch materiaal	22
2.3.2. Nitrificatie en denitrificatie	22
2.3.3. Stikstoffixatie	25
2.3.4. Fosfaat	25
2.3.5. Reductie en oxydatie van zwavelverbindingen	25
2.3.6. Reductie van ijzer	25
2.3.7. Afbraak van organische micro-verontreinigingen	25
2.4. FYSISCHE EN CHEMISCHE PROCESSEN	25
2.4.1. Bezinking en resuspensie	25
2.4.2. Adsorptie en desorptie	26
2.4.3. Vorming en oplossing van zouten	27
2.4.4. Ammoniakvorming	28
2.5. PROCES-INTERACTIES	28
2.6. CONCLUSIES	31
3. HET FUNCTIONEREN VAN HELOFYTENFILTERS ALS ZUIVE- RINGSSYSTEEM	32

	<u>Pagina:</u>
3.1. INLEIDING	32
3.2. MOGELIJKHEDEN VOOR STURING VAN DE ZUIVERINGSPROCESSEN	32
3.2.1. Verwijdering via de moerasvegetatie	32
3.2.2. De stikstofverwijdering via nitrificatie en denitrificatie	33
3.2.3. Verwijdering door fysische en chemische processen	34
3.2.4. Helofytenfiltertypen	34
3.3. RICHTLIJNEN VOOR HET BEHEER EN DE DIMENSIONERING VAN HELOFYTENFILTERS	37
3.3.1. Waterbeheer	37
3.3.2. Vegetatiebeheer	38
3.3.3. Dimensionering	40
3.4. DE WERKING VAN HELOFYTENFILTERS IN DE PRAKTIJK	40
3.5. CONCLUSIES	42
4. VERKENNING NAAR HET MULTIFUNCTIONEEL GEBRUIK VAN HELOFYTENFILTERS	44
4.1. INLEIDING	44
4.2. NATUURONTWIKKELING	44
4.2.1. De betekenis van voedselrijke moerassen voor flora en fauna	44
4.2.2. Knelpunten in mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters	45
4.2.3. Het vergroten van de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters door inrichtings- en beheersmaatregelen	46
4.3. RECREATIE	48
4.3.1. Perspectieven voor recreatief medegebruik	49
4.3.2. Afstemmen inrichting en beheer op multifunctioneel gebruik	49
4.4. HYDROLOGISCHE BUFFERFUNCTIE	49
4.4.1. Buffering tegen peilverlaging	49
4.4.2. Buffering tegen verontreinigd kwelwater of oppervlaktewater	51
4.5. RESERVOIRFUNCTIE	51
4.5.1. Wateropslag voor gebruik in droge perioden	51
4.5.2. Retentiereservoir	52
4.6. CONCLUSIES	52
5. SITUERING EN INRICHTING	54
5.1. INLEIDING	54
5.2. KENNISASPECTEN MET BETREKKING TOT DE SITUERING EN INRICHTING	55
5.2.1. De technisch-functionele organisatie van een helofytenfilter	55
5.2.2. Relaties met landschapskenmerken	55
5.2.3. Belevingsaspecten	56

	<u>Pagina:</u>
5.3. UITGANGSPUNTEN VOOR PLANNING EN ONTWERP	60
5.3.1. Lokatiemogelijkheden	60
5.3.2. Plannen	60
5.4. ECONOMISCHE ASPECTEN	62
5.4.1. Inrichtings- en beheerskosten	62
5.4.2. Kosten in relatie tot multifunctioneel gebruik en landschappelijke inpassing	63
5.5. CHECKLIST VOOR INPASSING	63
5.6. CONCLUSIES	64
6. MOGELIJKE TOEPASSINGEN IN DE PRAKTIJK	66
6.1. INLEIDING	66
6.2. KENMERKEN VAN DE WATERSYSTEMEN IN DE VOORBEELDGEBIEDEN	66
6.3. PROBLEMEN IN HET WATERBEHEER IN RELATIE TOT NATUURONTWIKKELING	67
6.4. TOEPASSINGEN: MOGELIJKHEDEN EN MOEILIKHEDEN	68
6.5. ONDERZOEKWENSEN VANUIT DE PRAKTIJK	70
7. HET PROGRAMMA VOOR ONDERZOEK	71
7.1. INLEIDING	71
7.2. OVERZICHT VAN GESIGNALEERDE KENNISLACUNES	72
7.2.1. De transport- en zuiveringsprocessen	72
7.2.2. De vastleggings- en verwijderingscapaciteit	73
7.2.3. Het multifunctioneel gebruik	74
7.2.4. Situering en inrichting	75
7.3. METHODEN VAN ONDERZOEK	76
7.4. PRIORITEITEN EN ONDERZOEKSTRATEGIE	76
7.4.1. Prioriteiten	76
7.4.2. Onderzoekstrategie in hoofdlijnen	77
7.5. KENNISOVERDRACHT EN ONDERZOEKCOORDINATIE	78
LITERATUUR	79
BIJLAGE 1. BEGRIPPENLIJST	89
BIJLAGE 2. LIJST VAN DEELNEMERS VAN DE WORKSHOP HELOFYTENFILTERS	91
BIJLAGE 3. ONDERZOEKPROJECTEN NAAR DE WERKING VAN NATUURLIJKE EN AANGELEGDE MOERASSEN ALS WATERZUIVERINGSSYSTEEM	92

SAMENVATTING

INLEIDING

Aanleiding, doel

Helofytenfilters zijn aangelegde moerassystemen voor het verbeteren van de waterkwaliteit. Daarvoor wordt gebruik gemaakt van helofyten. Dit zijn planten die in de waterbodem wortelen, maar waarvan de bladeren en bloemen boven water uitsteken. Helofyten bezitten luchtkanalen waarmee zuurstof naar de wortels kan worden getransporteerd. Hierdoor kunnen ze ook in zuurstofarme en zuurstofloze bodems groeien. Voorbeelden van helofyten zijn riet en mattenbies.

Reeds vele jaren wordt het gebruik van helofytenfilters bij de nazuivering van vooral huishoudelijk afvalwater onderzocht. Het onderzoek naar de toepassing van helofytenfilters voor de zuivering van eutroof oppervlaktewater in het landelijk gebied heeft minder aandacht gehad. De laatste jaren is in Nederland de belangstelling voor deze toepassing van helofytenfilters toegenomen. Als motieven worden genoemd: de natuurlijke manier van waterzuivering, de mogelijkheden voor combinatie met andere gebruiksvormen en de mogelijkheden voor landschappelijke inpassing. In hoeverre deze motieven en de verwachtingen over de toepassingsmogelijkheden kunnen worden ondersteund door feitelijke kennis over de werking van helofytenfilters is echter onvoldoende bekend. Dit is voor de RMNO reden geweest om een programmeringsstudie hierover te laten uitvoeren. Het doel van deze programmeringsstudie is om na te gaan of de bestaande kennis en ervaring voldoende is om helofytenfilters effectief te kunnen toepassen. Voor de beantwoording van eventueel geconstateerde onderzoeksvragen wordt een programma van onderzoek opgesteld. Ook zal daarbij een onderzoekstrategie worden aangegeven.

Inperkingen

De toepassing kan vanuit verschillende invalshoeken worden beschreven:

1. Het helofytenfilter is een zuiveringssysteem met als doel:
 - (a) Het verwijderen van een zo groot mogelijke hoeveelheid nutriënten uit het oppervlaktewater. In dit geval wordt de effectiviteit afgemeten aan de hoeveelheden uit het oppervlaktewater verwijderde nutriënten per oppervlakte-eenheid helofytenfilter.

- (b) Het leveren van oppervlaktewater van een bepaalde samenstelling. In dit geval wordt de effectiviteit afgemeten aan de kwaliteit van het uitstromende oppervlaktewater.

2. Het helofytenfilter is een zuiveringssysteem dat tevens mogelijkheden biedt voor andere functies, zoals natuurontwikkeling en recreatie.
3. Het helofytenfilter is een landschapselement dat ten dienste staat aan verschillende functies (zowel ter plaatse van het filter als in de omgeving), waarvan waterzuivering er één is.

In deze programmeringsstudie is gekozen voor de eerste twee invalshoeken.

Deze studie heeft betrekking op helofytenfilters waarin het oppervlaktewater dóór het systeem stroomt, zogenaamde vloeivelden of stromingsmoerassen. Infiltratievelden, waar het oppervlaktewater in de bodem wordt geïnfilteerd, zijn geen onderwerp van deze studie.

De studie houdt zich bezig met de rol die helofytenfilters kunnen hebben bij de zuivering van eutroof zoet oppervlaktewater. De toepassing van helofytenfilters in brakwatersystemen en in afvalwaterstromen blijft buiten beschouwing.

De helofytenfilters zijn vooral onderzocht op hun betekenis voor de verwijdering van fosfaat- en stikstofverbindingen. De mogelijkheden die helofytenfilters bieden om het gehalte aan zware metalen en organische micro-verontreinigingen te verminderen hebben beperkte aandacht gekregen. Deze verontreinigingen kunnen de werking van helofytenfilters nadelig beïnvloeden. Bovendien kunnen zij mogelijkheden voor combinatie van de zuiveringsfunctie met andere vormen van gebruik belemmeren.

Niet is ingegaan op de bestuurlijk-juridische aspecten van planning, aanleg en beheer van helofytenfilters. De economische aspecten van helofytenfilters zijn, gezien de grote rol van de lokale omstandigheden daarbij, slechts in globale termen beschreven.

Werkwijze

De analyse van de bestaande kennis over helofytenfilters is voor de volgende onderwerpen uitgevoerd: de zuiveringsprocessen, het functioneren als zuiveringssysteem, de mogelijkheden voor combinatie met andere gebruiksvormen, en de situering en inrichting. Per onderwerp zijn kennislacunes beschreven. De kennislacunes

en onderzoekwensen op het gebied van combinatiemogelijkheden, situering en inrichting hebben een ander karakter als op het gebied van de werking van helofytenfilters als zuiveringsstelsel. Bij het onderzoek naar combinatiemogelijkheden en aspecten van situering en inrichting gaan de specifieke kenmerken van een situatie een zo overheersende rol spelen dat algemene uitspraken over de mogelijkheden en onmogelijkheden van toepassing van helofytenfilters weinig opportuun zijn.

Vervolgens zijn voor een aantal situaties waarin de toepassing van helofytenfilters overwogen wordt, gesprekken gevoerd met deskundigen op het gebied van het waterbeheer, aquatisch onderzoek en ruimtelijke planvorming om na te gaan welke mogelijkheden en moeilijkheden er verwacht kunnen worden bij eventuele toepassing van de helofytenfilters. Hieruit zijn zowel onderzoekwensen als kennislacunes gededuceerd.

Uiteindelijk zijn alle kennislacunes en onderzoekwensen gegroepeerd en zijn op basis daarvan, na bespreking in een workshop met externe deskundigen, onderzoeksopdrachten gedaan en prioriteiten aangegeven.

ZUIVERINGSPROCESSEN

De belangrijkste processen in moerassen die kunnen bijdragen aan een verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater zijn:

- a. Opname door de moerasvegetatie. Dit proces speelt zich af in het groeiseizoen van de helofyten. Een deel van de opgenomen nutriënten komt via de afbraak van het afgestorven plantemateriaal weer terug in het oppervlaktewater.
- b. Denitrificatie. Hierbij wordt nitraat omgezet in stikstofgas. Dit proces kan een belangrijke bijdrage leveren aan de stikstofverwijdering uit het oppervlaktewater.
- c. Adsorptie aan bodemdeeltjes. Fosfaat kan worden geadsorbeerd aan bodemdeeltjes, evenals zware metalen en organische microverontreinigingen. Dit proces is aan verzadiging onderhevig en bij verandering van omstandigheden ook omkeerbaar.
- d. Vorming van niet- of moeilijk oplosbare verbindingen, zoals ijzerfosfaatcomplexen.
- e. Bezinking van gesuspendeerd materiaal. Door activiteiten van bodemfauna, door werking van wind en stroming kan eventueel resuspensie optreden.

De bestaande literatuur over onderzoek naar de kwantificering van afzonderlijke processen in helofytenfilters heeft overwegend betrekking op

huishoudelijk afvalwater. Aan helofytenfilters voor verbetering van de kwaliteit van eutroof oppervlaktewater is nog weinig onderzoek verricht. In het bijzonder is er weinig bekend over de mate waarin de afzonderlijke processen kunnen bijdragen aan een verbetering van de waterkwaliteit. Bovendien blijkt ook een gebrek aan kennis over de wijze waarop en de mate waarin de processen elkaar kunnen beïnvloeden, zoals de invloed van de denitrificatie op de fosfaatvastlegging en de invloed van helofyten op de processen in de moerasbodem. Ook is er onvoldoende kennis over de wijze waarop de waterkwaliteit de processen beïnvloedt.

Kleinschalige experimenten in laboratorium of in het veld zijn aan te bevelen om de kennis over de zuiveringsprocessen te vergroten.

ZUIVERINGSSYSTEEM

De verontreinigingen met stikstof- en fosfaatverbindingen in het oppervlaktewater kunnen in een helofytenfilter worden vastgelegd in vegetatie, afgestorven plantedelen en bodem. Stikstofverbindingen kunnen bovendien via microbiële processen worden omgezet in stikstofgas die naar de atmosfeer ontwijken. Door gerichte inrichtings- en beheersmaatregelen is het mogelijk om de vastlegging in en de verwijdering uit het systeem te vergroten. In verband hiermee zijn vier helofytenfiltertypen onderscheiden. Deze typen verschillen van elkaar door op bepaalde vastleggings- en verwijderingsprocessen afgestemde inrichting en beheer. Onderscheiden zijn:

- a. helofytenfilters waarbij inrichting en beheer zijn afgestemd op stikstofverwijdering naar de atmosfeer door nitrificatie-denitrificatie,
- b. helofytenfilters waarbij inrichting en beheer is afgestemd op de vastlegging van verontreiniging in biomassa,
- c. helofytenfilters waarbij inrichting en beheer gericht is op vastlegging van verontreiniging in dood organisch materiaal,
- d. helofytenfilters waarbij inrichting en beheer is afgestemd op vastlegging van verontreiniging in de bodem.

Ook kunnen inrichting en beheer op meerdere vastleggings- en verwijderingsprocessen worden afgestemd.

Een groot aantal zuiveringsprocessen in een helofytenfilter speelt zich af in de moerasbodem. In vloeivelden zal het transport van nutriënten van oppervlaktewater naar de bodem voornamelijk via diffusie plaatsvinden. De verblijftijd van het water in een helofytenfilter is dan ook een

belangrijke factor voor de effectiviteit van de zuivering.

De dimensionering van een helofytenfilter wordt in belangrijke mate bepaald door de capaciteit van het systeem verontreinigingen vast te leggen en de benodigde verblijftijd om de gewenste reductie van de verontreiniging te realiseren. Indien er nog ander gebruik plaats moet vinden, dan kunnen vanuit deze gebruiksvormen ook eisen voortvloeien voor de dimensionering van het filter.

In de praktijk wordt het ruimtebeslag van een helofytenfilter vaak berekend aan de hand van de hydraulische belasting op het helofytenfilter. Onder hydraulische belasting wordt dan verstaan de hoeveelheid water die per tijdseenheid in een helofytenfilter met een bepaalde oppervlakte wordt ingelaten, uitgedrukt in m³/ha/dag. Als vuistregel rekent men met 300–500 ha voor iedere m³/sec wateraanvoer. Dat betekent dat bij een waterdiepte van 30–50 cm een verblijftijd van 10–25 dagen wordt aangehouden. Deze vuistregel is ontleend aan gegevens over de effectiviteit van helofytenfilters in de afvalwaterzuivering en over de zuivering van oppervlaktewater dat belast is met effluënten van rioolwaterzuiveringsinstallaties.

Uit het bestaande onderzoekmateriaal valt te concluderen dat er nog onvoldoende inzicht is:

- a. om een ruimtebeslag van helofytenfilters te berekenen uit de kwaliteit van het toestromende water in relatie tot de gewenste kwaliteit;
- b. in de wijze waarop vastleggingsprocessen en microbiële processen door middel van inrichting en beheer kunnen worden geoptimaliseerd;
- c. in methoden ter bepaling van het ruimtebeslag van helofytenfilters voor kwaliteitsverbetering van eutroof oppervlaktewater.

Bij het ontwikkelen van kennis hierover door experimenten op praktijkschaal is het gebruik van water- en stoffenbalansen essentieel.

MULTIFUNCTIONEEL GEBRUIK

Naar de mogelijkheden de zuiveringsfunctie van helofytenfilters te combineren met andere vormen van gebruik is weinig onderzoek gedaan. In deze studie zijn de combinaties van de zuiveringsfunctie met natuurontwikkeling, recreatie, hydrologische buffering en waterretentie nagegaan. Onderzocht is welke speelruimte in inrichting en beheer van helofytenfilters aanwezig is om combinatie met andere functies mogelijk te maken.

De mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters hebben vooral betrekking op de avifauna. De mogelijkheden worden beperkt door het maai- en waterbeheer. Helofytenfilters kunnen ook een belangrijke rol vervullen bij de migratie van diersoorten.

De mogelijkheden om inrichting en beheer geheel af te stemmen op de natuurontwikkeling in helofytenfilters zonder de zuiveringsfunctie nadelig te beïnvloeden zijn beperkt.

De mogelijkheden voor recreatief medegebruik liggen vooral op het gebied van natuurgerichte recreatie (vogels kijken, wandelen en fietsen).

Een helofytenfilter kan ook functioneren als een hydrologische buffer. Hiervoor is een bepaald peilbeheer noodzakelijk. Wat de invloed hiervan is op de effectiviteit van de zuivering moet worden onderzocht. Dit zelfde probleem is ook van betekenis indien een helofytenfilter gebruikt wordt voor waterconservering.

De toepassing van helofytenfilters voor de berging van neerslagoverschotten ten behoeve van het gebruik in droge perioden is, vanwege de geringe bergingscapaciteit, afhankelijk van de hoeveelheid water die in het systeem moet worden opgeslagen.

De mogelijkheden om helofytenfilters te gebruiken om piekafvoeren af te vlakken zonder de zuiveringsfunctie te beïnvloeden zijn beperkt.

De voordelen van combinatie van de zuiveringsfunctie met andere functies moeten vooral worden gezocht in de multifunctionele bestemming van de ruimte en de economische aspecten. De nadelen betreffen de wijze waarop de verschillende functies tot hun recht kunnen komen. De zuiveringseffectiviteit van een helofytenfilter zal veelal verminderen als het zuiveringsmoeras ook andere functies (bijv. natuur, recreatie) moet vervullen. De mogelijkheden voor andere functies zijn beperkt indien het beheer en de inrichting van het helofytenfilter volledig is afgestemd op de zuiveringsfunctie.

Lacunes bestaan er in de kennis over de gevolgen voor de zuiveringseffectiviteit van de verschillende inrichtings- en beheersmaatregelen, die voortvloeien uit de andere functies. Hiertoe behoren het maai- en waterbeheer en het aanbrengen van ruimtelijke variatie in vegetatietypen, vegetatiestructuur, verhouding open water-moeras en verhouding ondiep-diep water.

SITUERING EN INRICHTING

De plaatsgebonden aspecten spelen een belangrijke rol bij de situering en inrichting. Dit heeft vooral te maken met het feit dat de problematiek bij situering en inrichting in de sfeer

van probleemoplossing ligt: suggesties doen voor een samengaan van zuiveringsfunctie, eventueel andere functies en de bestaande landschappelijke situatie. De oplossingen zijn voor een groot deel afhankelijk van plaatselijke omstandigheden en van de beschikbaarheid van gegevens. Om in het kader van een programmeringsstudie te bepalen of er voor algemene aanbevelingen voor situering en inrichting voldoende kennis bestaat, heeft daarom weinig zin. Dat is de reden waarom er meer nadruk is gelegd op de methodische aspecten van de oplossing van een dergelijk planningsprobleem. Nagegaan is of met de beschikbare kennis onderdelen van zo'n planningsmethode kunnen worden ingevuld. In aansluiting hierop is een checklist met onderwerpen opgenomen die relevant is om in het kader van de probleemoplossing te behandelen.

Voor situering en inrichting van helofytenfilters is van belang dat wordt omschreven wat de zuiveringsdoelstelling is en welke combinatie met andere functies men voor ogen heeft. Elk van deze doelstellingen stelt eigen eisen aan de situering en inrichting. Ten behoeve van deze studie is onderscheid gemaakt naar gegevens over technischfunctionele organisatie, over omgevingskenmerken die de toepassing van helofytenfilters bemoeilijken of vergemakkelijken, over de beleving en waardering van helofytenfilters door omwonenden, en over bestaande planningsideeën.

Behalve kennislacunes op het terrein van functioneeltechnische organisatie en omgevingskenmerken zijn er kennislacunes over de beleving van helofytenfilters. Met betrekking tot planningsideeën bestaan er nog weinig uitgewerkte voorbeelden.

De keuze voor een bepaalde inrichting en een bepaald beheer kan mede op economische overwegingen worden gebaseerd. Ook hierbij worden de kosten en baten van een helofytenfilter sterk beïnvloed door plaatselijke omstandigheden.

Om een economische optimalisering van situerings-, inrichtings- en beheersmaatregelen uit te kunnen voeren zullen daarom lokatiespecifieke gegevens bekend moeten zijn. Voor een vergelijking met andere zuiveringssystemen ontbreekt inzicht in de kosteneffectiviteit van de diverse helofytenfiltertypen. Voor een beoordeling van de aanleg- en exploitatiekosten in een concreet geval ontbreekt een methodiek waarmee de procestechnische, de ruimtelijke en de economische aspecten op een samenhangende en kwantitatieve wijze kunnen worden behandeld.

Behalve kennisverwerving door middel van aanleg van helofytenfilters is de ontwikkeling van evaluatiemethoden voor ontwerpen en uitgevoerde plannen belangrijk.

MOGELIJKE TOEPASSINGEN IN DE PRAKTIJK

De mogelijkheid om een helofytenfilter toe te passen hangt in belangrijke mate af van de hoeveelheid water die moet worden gezuiverd. Op basis van de eerder genoemde voorlopige vuistregel wordt uitgegaan van 300-500 ha voor iedere m³/s te zuiveren water. Dit grote ruimtebeslag zal in de meeste gevallen de aanleg van een helofytenfilter verhinderen. Ook levert de aanleg problemen op indien rekening gehouden moet worden met tijdelijke, kortstondige, grote waterafvoeren, zoals in beken het geval kan zijn.

De aanleg van helofytenfilters heeft vooral perspectief in situaties met relatief kleine waterafvoeren. Goede mogelijkheden lijken aanwezig in gebieden waar, ten behoeve van de aanvulling van kleine wegzijgings- en verdampingsverliezen in meren, plassen en natte natuurgebieden kleine hoeveelheden inlaatwater moeten worden gezuiverd. Weinig toepassingsmogelijkheden bieden rivieren, grote beken en boezemwateren en in meren uitmondende wateren als gevolg van de relatief grote hoeveelheden water die door het helofytenfilter moeten worden geleid.

ONDERZOEKPROGRAMMA

De verschillende gesignaleerde kennislacunes en onderzoekswensen zijn in de volgende vier groepen van vragen in te delen:

- a. Vragen over de snelheid van de transport-, vastleggings- en verwijderingsprocessen in het helofytenfilter en de mogelijkheden om deze processen te beïnvloeden door middel van inrichtings- en beheersmaatregelen.
- b. Vragen over de capaciteit van helofytenfilters om verontreinigingen in verschillende onderdelen van het systeem vast te leggen of in gassen om te zetten, en de invloed van inrichtings- en beheersmaatregelen daarop.
- c. Vragen over de mogelijkheden van combinatie van de zuiveringsfunctie met andere gebruiksvormen.
- d. Vragen over de mogelijke oplossingen voor situering en inrichting van een helofytenfilter in het landschap.

Uit de vraaggesprekken en de workshop blijkt dat in de praktijk van waterbeheer, natuurbe-

heer, landinrichting en ruimtelijke ordening grote behoefte bestaat aan toepassingsgerichte kennis. Prioriteit wordt daarom gegeven aan praktijkgericht onderzoek naar zuiveringseffectiviteit, dimensionering, en combinatiemogelijkheden met andere gebruiksvormen.

Voorgesteld wordt om het onderzoek te betrekken op:

- toepassing van helofytenfilters voor kwaliteitsverbetering van suppletiewater dat voor de compensatie van verdampings- en wegzijgingsverliezen in plassen, meren en natte natuurgebieden wordt ingelaten;
- helofytenfiltertypen waarbij inrichting en beheer is afgestemd op de verwijdering van nutriënten via de moerasvegetatie en via denitrificatie.

Daarbij hebben de volgende onderzoeksvragen de hoogste prioriteit:

- a. Wat is de zuiveringseffectiviteit van een helofytenfilter in relatie tot de belasting van het oppervlaktewater met stikstof- en fosforverbindingen en de vorm waarin deze stoffen in het oppervlaktewater aanwezig zijn?
- b. Wat is de invloed van het waterbeheer hierop?
- c. Wat zijn de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in deze systemen?

Om bovenstaande onderzoeksvragen te beantwoorden zijn vooral experimenten op praktijk-schaal noodzakelijk. Het is van groot belang om een beoordelingskader te ontwikkelen dat het mogelijk maakt de zuiveringsprestaties tussen diverse lokaties te vergelijken. Hiervoor is een gedetailleerde beschrijving van de uitgangssituatie met betrekking tot bodem, waterhuishouding en natuur noodzakelijk. Ook is een water- en stoffenbalans van zowel de onderdelen als van het systeem als geheel nodig. Voor een systematische inventarisatie van vragen die voor situering en inrichting van de (experimentele) helofytenfilters van belang zijn, vormen ontwerpstudies een belangrijk hulpmiddel.

Nadat inzicht is verkregen in de effectiviteit van helofytenfilters onder verschillende omstandigheden, kunnen eventueel in een vervolprogramma de meer fundamentele aspecten van de zuiveringsprocessen worden onderzocht en vertaald in methoden voor dimensionering. Daartoe kunnen de veldexperimenten worden aangevuld met metingen op zorgvuldig gekozen lokaties binnen de veldexperimenten of in laboratoriumopstellingen. Ook monitoring van bestaande moerassystemen kan in dit stadium waardevolle informatie opleveren.

Ook is onderzoek gewenst naar de mogelijkheden voor combinaties van de zuiveringsfunctie met andere vormen van gebruik en de effecten daarvan op de zuiveringseffectiviteit. Verder zijn kostenstudies en kosteneffectiviteitsanalyses in dit stadium van belang.

Tenslotte kunnen methoden worden ontwikkeld waarmee de helofytenfiltersystemen op een geïntegreerde wijze kunnen worden ontworpen en geëvalueerd.

De huidige toegankelijkheid van onderzoeksresultaten over de werking van helofytenfilters is slecht en de informatieuitwisseling over lopend onderzoek gebrekkig. Coördinatie en afstemming van onderzoek is noodzakelijk omdat het onderzoek naar de werking en toepassing een groot aantal vakgebieden bestrijkt. Het bevorderen van informatieuitwisseling via overleg tussen waterbeheerders en onderzoekers, van publikaties over de toepassing van helofytenfilters in diverse vaktijdschriften en van het geven van cursussen over de toepassingsproblematiek kan hieraan een bijdrage leveren.

SUMMARY

INTRODUCTION

Background and objective

Helophyte filters are marsh systems that have been constructed to improve the quality of the water and which use helophytes.

Helophytes are plants rooting in the bottom of the water; leaves and flowers protrude above the water. They possess air channels which enable oxygen to be transported to the roots. This means they can also grow in beds which are not oxygen-rich or even devoid of oxygen. Reeds and bulrushes are examples of helophytes.

Helophyte filters have been under investigation for several years now, notably in the post-purification of domestic waste water. Studies into their use in treating eutrophic surface water in rural areas have received less attention. However, interest in using helophyte filters in this way has been increasing in the Netherlands in recent years. The reasons that are given are

- a) the fact that it presents a natural way of treating water,
- b) the scope for combination with other forms of use and the opportunities for blending in with the countryside.

There is, however, insufficient understanding of the extent to which these motives and the expectations of their possible uses can be supported by actual knowledge of the way helophyte filters work. This was sufficient grounds for the RMNO to commission a programming study. The aim of the study is to examine whether the existing knowledge and experience is sufficient to be able to use helophyte filters effectively. A research programme will be initiated to answer any research questions that are prompted. A research strategy will also be described.

Constraints

Different approaches to the use of helophyte filters can be described:

1. The helophyte filter is a purification system which has the objective of:
 - a) removing the greatest possible quantity of nutrients from the surface water. In this case, effectiveness is measured by the quantity of nutrients removed from the surface water per surface unit of helophyte filter;

- b) providing surface water of a certain composition. In this case, effectiveness is measured by the quality of the resultant surface water.

2. The helophyte filter is a purification system which also offers scope for other functions such as development of nature and outdoor recreation.

3. The helophyte filter is an element in the landscape which serves various functions (both at the filter site and in the surroundings), of which water treatment is one.

The first two approaches have been adopted in this programming study.

This study is concerned with helophyte filters in which the surface water flows through the system, known as flow fields or flow marshes. Infiltration fields, where the surface water is infiltrated into the bottom, are not covered.

The study examines the role that helophyte filters could have in treating eutrophic, fresh surface water. It does not consider the use of helophyte filters in brackish water systems or waste water systems.

The helophyte filters were mainly investigated as to their significance in removing phosphate and nitrogen compounds.

Limited attention was given to the scope offered by helophyte filters to reduce the heavy metals and organic micro-pollutant contents. These pollutants can have an adverse effect on the workings of helophyte filters. They can also restrict the opportunities for combining the purification function with other forms of use. Nor did we deal with the administrative and legal aspects of planning, construction and management of helophyte filters.

In view of the major role that local conditions play, the economic aspects of helophyte filters are described in very broad terms only.

Method

The analysis of existing knowledge of helophyte filters was carried out on the following subjects: purification processes, functioning as a purification system, opportunities for combination with other forms of use, and siting and lay-out. The

knowledge gaps and research topics when it comes to combining opportunities for siting and lay-out are different in nature from the operation of helophyte filters as a purification system. With investigations into the combination of opportunities and aspects of siting and lay-out, the specific characteristics of a situation play such a predominant role that general statements – about what is possible and what is not possible in using helophyte filters – are not very helpful. At a number of locations where helophyte filters are being considered, consultations were held with experts in the field of water management, aquatic research and land-use planning in order to ascertain what possibilities and difficulties could be expected in using helophyte filters. Desired research topics as well as knowledge gaps were compiled from these discussions.

Finally, all the knowledge gaps and research wishes were grouped and on this basis, following discussion with external experts in a workshop, recommendations for research were put forward and priorities indicated.

PURIFICATION PROCESSES

The main processes in marshes that could help to improve surface water quality are as follows:

- a) Absorption by marsh vegetation. This process occurs in the growth season of the helophytes. A proportion of the absorbed nutrients is returned to the surface water via decomposition of the organic material.
- b) Denitrification. Nitrate is converted into nitrogen gases. This process can make a significant contribution to the removal of nitrogen from the surface water.
- c) Absorption to particles at the bottom. Phosphate can be absorbed onto bottom particles, as can heavy metals and organic micro-pollutants. This process is subject to saturation and is reversible if circumstances change.
- d) The formation of compounds which are not soluble or not readily so e.g. iron phosphate complexes.
- e) Settling of suspended material. Resuspension can occur as a result of the activities of soil fauna, and the effect of wind and currents.

The existing literature on research into quantifying individual processes in helophyte filters is primarily concerned with domestic waste water. So far there has been little research into helo-

phyte filters to improve the quality of eutrophic surface water. In particular, little is known about the extent to which the individual processes can help to improve water quality. What is more, knowledge is also lacking about the way in which and the extent to which the processes can affect one another, such as the impact of helophytes on the processes on the marsh floor. Understanding of the way in which water quality affects the processes also falls short. Small-scale experiments in the laboratory or in the field are recommended in order to increase our understanding of purification processes.

PURIFICATION SYSTEM

The pollution caused by nitrogen and phosphate compounds in the surface water can be fixed in a helophyte filter in vegetation, dead organic matter and soil. Nitrogen compounds can also be converted by microbial processes into nitrogen gases which escape into the atmosphere. With carefully planned lay-out and management measures it is also possible to increase the fixing in the system and removal from it. Four types of helophyte filters have been identified with this aim in view. They differ from one another in the way they are designed and managed, to focus on particular fixing and removal processes.

The following types exist:

- a) helophyte filters where lay-out and management are focused on the removal of nitrogen escaping into the atmosphere by nitrification-denitrification processes;
- b) helophyte filters where lay-out and management are focused on fixing pollution in biomass;
- c) helophyte filters where lay-out and management are focused on fixing pollution in dead organic matter;
- d) helophyte filters where lay-out and management are focused on fixing pollution in the bottom.

Lay-out and management can also be geared to a combination of several fixing and removal processes.

A large number of purification processes in a helophyte filter occur in the marsh bottom. In flow fields the transport of nutrients from the surface water to the bottom will mainly be effected via diffusion. The residence time of the water in a helophyte filter is then an important factor determining the effectiveness of the purification. The dimensions of the filter are largely determined by the system's capacity to fix pol-

lutants and the residence time required to bring about the desired reduction of the pollution. If the water has to be put to another use, these other forms of usage may impose requirements on the filter dimensions. In practice, the space taken up by a helophyte filter is often calculated on the basis of the hydraulic load on the filter. Hydraulic load is defined as the quantity of water admitted to a helophyte filter of a certain surface area per unit of time, expressed as $m^3/ha/day$. As a rule of thumb, 300 to 500 ha is assumed for every m^3/sec of water supply. This means a residence time of 10 to 25 days for a water depth of 30 to 50cm. This rule of thumb is derived from data on the effectiveness of helophyte filters in waste water purification and on the purification of surface water loaded with effluent from sewage plants.

It can be concluded from the existing research material that there is insufficient knowledge:

- a. to calculate the space required for helophyte filters from the quality of the inflowing water in relation to the desired quality;
- b. of the way in which fixing processes and microbial processes can be optimised by design and management;
- c. of methods to determine the space required for helophyte filters to improve the quality of eutrophic surface water.

It is essential that water and substance balances be used in advancing this knowledge by experiments on a practical scale.

MULTIFUNCTIONAL USE

There has been little research into the scope for combining the purification function of helophyte filters with other forms of use. This study examined purification combined with nature development, leisure, hydrological buffering and water retention. It focuses on the scope for manoeuvre that is available in lay-out and management to allow for combinations with other functions.

The opportunities for the development of nature in helophyte filters lie mainly in avifauna. Mowing and water management are the constraints. Helophyte filters can also play a major part in the migration of animal species. The opportunities for focusing lay-out and management totally on nature development in helophyte filters without adversely affecting the purification function are limited. The opportunities for joint nature development and outdoor recreation lie

mainly in nature-oriented leisure pursuits (bird watching, walking and cycling).

A helophyte filter can also act as a hydrological buffer. Some waterlevel management is then required. The impact this will have on the effectiveness of purification has still to be investigated. The same problem also has some bearing if a helophyte filter is used for water conservation.

Using helophyte filters to store excess precipitation for use in dry periods is dependent upon the quantity of water to be stored in the system in view of the limited storage capacity.

The prospects for using helophyte filters to smooth out discharge peaks without affecting the purification function are limited.

The advantages of combining the purification function with other functions must be sought primarily in the multifunctional use of the space and the economic aspects. The disadvantages arise from the way the various functions are allowed full play. The purification effectiveness of a helophyte filter will generally diminish if the purification marsh has to fulfil other functions as well (e.g. nature and outdoor recreation). The scope for other functions will be limited if the management and lay-out are totally geared to the purification function.

There are gaps in our understanding of the consequences of the various design and management measures arising from the other functions for purification effectiveness. These include mowing and water management and the introduction of spatial variation in vegetation types, vegetation structure, the ratio of open water to marsh and the ratio of shallow to deep water.

SITING AND LAY-OUT

The locally specific aspects play an important part in siting and lay-out. This is mainly concerned with the fact that solutions to the problems have to be found, in other words suggestions have to be made for combining uses with the purification function, possible other functions and the existing landscape. The solutions will depend to a large extent on local conditions and on the availability of data. There is therefore little point within the context of a programming study for deciding whether there is sufficient knowledge on which to base general recom-

mentations on siting and lay-out. This is the reason why greater emphasis has been placed on the methodical aspects of the solution to such a planning problem. We examined whether component parts of such a planning method could be filled in with the available knowledge. Following on from this, a checklist has been included which can provide assistance in seeking a solution.

An important point in the siting and lay-out of helophyte filters is to describe the purification objective and the combination with other functions that is envisaged. Each of these objectives imposes its own requirements on the siting and lay-out. For the purposes of this study, a distinction was made between data on the technical-functional organisation, on features of the surroundings that either impede or facilitate helophyte filters, on the attitude and appreciation by local residents of filters, and on existing planning concepts.

In addition to gaps in our knowledge of functional-technical organisations and of characteristics of the surroundings, there are also shortcomings in our understanding of attitudes towards helophyte filters. There are as yet few developed examples of planning concepts.

The choice of a particular lay-out and a particular management can be based in part on economic considerations. Here too, the costs and benefits of a helophyte filter are very much affected by local conditions. In order to ensure that siting, lay-out and management measures achieve the best possible economic effect, location-specific data will have to be known. We do not have sufficient understanding of the cost-effectiveness of the various types of helophyte filters to compare them with other purification systems. Nor do we have a method which can cope with the aspects of process technology, land-use or economics in a coherent and quantitative manner in order to assess a concrete example of construction and operating costs.

Apart from acquiring knowledge by constructing helophyte filters, it is important to develop methods for evaluating designs and completed plans.

POSSIBLE APPLICATIONS IN PRACTICE

The scope for using a helophyte filter depends very much on the quantity of water to be treat-

ed. A figure of 300 to 500 ha for every m³/s of water requiring treatment is assumed on the basis of the rule of thumb given above. In most cases such a large area will be an obstacle to constructing a helophyte filter. Construction may also give rise to problems if allowance has to be made for temporary, brief but large discharges of water as can occur in streams. The best prospects are offered in situations with relatively small discharges of water. Good opportunities would appear to exist in areas where small quantities of inlet water have to be purified in order to make up for light losses through subsidence and evaporation in lakes, ponds and wet nature areas. There is little prospect in rivers, large streams or reservoirs or in waters that discharge into lakes on account of the relatively large quantities of water that have to be conducted through the helophyte filter.

RESEARCH PROGRAMME

The various gaps in knowledge and research wishes described above have been clustered in the following four groups of questions:

- a. Questions concerning the speed of the transport, fixing and removal processes in the helophyte filter and the scope for affecting these processes by design and management measures.
- b. Questions concerning the capacity of helophyte filters to fix pollutants or convert them into gas in various parts of the system, and the impact of lay-out and management measures on this.
- c. Questions concerning the opportunities for combining the purification functions with other forms of use.
- d. Questions concerning possible solutions to siting and laying out a helophyte filter in the landscape.

It emerged from the interviews and the workshop that there is a great need for application-oriented knowledge in the practice of water management, nature management, land reconstruction and land use planning. Priority is therefore given to research with a practical focus into purification effectiveness, sizing and possible combinations with other forms of use.

It is proposed that research should be targeted on the following:

-
- the use of helophyte filters to improve the quality of water introduced to make up for losses through evaporation and settlement in lakes, ponds and wet nature areas;
 - types of helophyte filters where the lay-out and management are focused on removing nutrients via the marsh vegetation and denitrification.

The following research topics have the highest priority:

- a. What is the purification effectiveness of a helophyte filter in relation to the loading of nitrogen and phosphorous compounds in the surface water and the form in which these substances are present in the surface water?
- b. What impact does water management have on this?
- c. What are the opportunities for nature development in these systems?

Experiments on a practical scale are the main requirement in order to answer these questions. It is very important that an assessment framework be developed which will enable purification performances at various sites to be compared. This requires a detailed description of the basic situation in terms of the water bottom, water regime and nature. A water and substance balance of both the constituent parts and the system as a whole is also needed. Design studies are an important aid to compiling an inventory of questions relevant to siting and laying out (experimental) helophyte filters.

After some understanding has been acquired of the effectiveness of helophyte filters under different conditions, the more fundamental aspects of the purification processes could be investigated in a follow-up programme and then translated into sizing methods. To this end the field experiments could be augmented with measurements at carefully selected sites within the field experiments or in laboratory set-ups. Monitoring of existing marsh systems could also provide valuable information at this stage.

Research is also needed into possible ways of combining the purification function with other forms of use and the effect this has on purification effectiveness. Cost studies and cost effectiveness are also important at this stage. Finally, methods could be developed for designing and evaluating helophyte filter systems in an integrated manner.

The current accessibility of research results on the operation of helophyte filters is poor and there are shortcomings in the exchange of information on current research. Research must be coordinated as the operation and application spans a wide number of fields. Promoting the exchange of information via consultation between water managers and researchers, publications on the use of helophyte filters in various specialist journals and organising courses on problems in using filters could do much to help here.

1. INLEIDING

1.1. PROBLEEMSTELLING EN DOELSTELLING

In de laatste decennia bestaat internationaal een grote belangstelling voor het gebruik van moerassen voor het verbeteren van de waterkwaliteit. Uit diverse studies is gebleken, dat door inschakeling van natuurlijke moerassen en aangelegde systemen met moerasplanten (helofytenfilters) de kwaliteit van het oppervlaktewater, dat belast is met huishoudelijk afvalwater, sterk kan worden verbeterd (o.a. Spangler e.a., 1976; Boyt e.a., 1977; Tilton en Kadlec, 1979; Kadlec, 1987; Brix en Schierup, 1989).

Ook in Nederland is de belangstelling voor het gebruik van helofytenfilters voor verbetering van de waterkwaliteit toegenomen (o.a. De Jong e.a., 1977; Greiner en Butijn, 1985; Duel, 1986; Meuleman, 1987; Akkerman en Fiselier, 1988; During e.a., 1989). Deze belangstelling betreft niet alleen de (na)zuivering van afvalwater, maar eveneens het verbeteren van de kwaliteit van eutroof oppervlaktewater.

In de Vierde Nota over de Ruimtelijke Ordening (Ministerie VROM, 1988) wordt voor het verbeteren van de kwaliteit van gebiedsvreemd water de toepassing van helofytenfilters genoemd. In deze nota worden helofytenfilters ook in verband gebracht met het bieden van mogelijkheden voor natuurontwikkeling en recreatie in het veenweidegebied.

In de Derde Nota Waterhuishouding worden helofytenfilters genoemd als één van de maatregelen om het stikstof- en fosfaatgehalte in de Randmeren te verminderen (Ministerie V. en W., 1989). In het Natuurbeleidsplan wordt voorgesteld proefprojecten te realiseren gericht op het benutten van helofytenfilters als zuiveringssysteem in waterafhankelijke gebieden met een hoge natuurwaarde (Ministerie LNV, 1990).

Veel onderzoek naar de werking van helofytenfilters heeft betrekking op de zuivering van huishoudelijk afvalwater. Bij verschillende beleids- en beheersinstanties bestaan daardoor vragen over de toepassingsmogelijkheden van helofytenfilters in het landelijk gebied voor verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Het gaat hierbij om oppervlaktewater, dat in vergelijking met afvalwater, in het algemeen minder hoge concentraties aan verontreinigingen bevat. Bovendien is een belangrijk deel van de kennis verkregen uit onderzoek in het buitenland, waar de omstandigheden die van in-

vloed zijn op de werking van helofytenfilters sterk kunnen afwijken van de Nederlandse situatie. Verder bestaan er vragen over de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik van helofytenfilters en over de interacties met de omgeving.

Voor het verkrijgen van inzicht in de mogelijkheden, beperkingen en onzekerheden met betrekking tot de toepassing van helofytenfilters in het landelijk gebied is een inventarisatie nodig van de bestaande kennis over de processen die een verbetering van de waterkwaliteit kunnen bewerkstelligen en de factoren die hierop van invloed zijn.

Op basis hiervan kan worden geconstateerd welk onderzoek nog nodig is voor een goede onderbouwing van beleidskeuzen over de toepassing, het multifunctioneel gebruik, de inrichting en het beheer van helofytenfilters.

Dit was voor de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek aanleiding aan het TNO Studiecentrum voor Milieuonderzoek en het Staring Centrum de opdracht te verlenen voor het uitvoeren van een programmeringsstudie over helofytenfilters.

Het doel van deze programmeringsstudie is:

1. Het inventariseren van bestaande kennis over
 - (a) de werking van helofytenfilters voor de zuivering van verontreinigd oppervlaktewater;
 - (b) de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik van helofytenfilters;
 - (c) de relaties tussen het helofytenfilter en zijn omgeving, zowel met betrekking tot de zuiveringsprocessen als het multifunctioneel gebruik.
2. Het aangeven van toepassingen die in Nederland in de praktijk kansrijk mogen worden geacht.
3. Het opstellen van onderzoekaanbevelingen op het gebied van de zuiveringsprocessen, multifunctioneel gebruik en de situering en inrichting in het landschap.

1.2. ENKELE BEGRIPPEN

De verscheidenheid aan moerassen is groot. Indeling van moerassen geschiedt veelal op basis van hydrologische kenmerken en vegetatietypen. Moerassen die worden gedomineerd

door helofyten staan in deze programmeringsstudie centraal. **Helofyten** zijn in de moerasbodem wortelende moerasplanten. De bladeren en bloemen van deze planten steken boven het wateroppervlak uit. Helofyten bezitten luchtkanalen, waardoor ze aangepast zijn aan gereduceerde moerasbodems als gevolg van (vrijwel) permanente inundatie. Moerassen die vrijwel geheel begroeid zijn met helofyten en dienen voor de verbetering van de waterkwaliteit worden **helofytenfilters** genoemd. Het beheer en de inrichting van helofytenfilters is afgestemd op de zuiveringsfunctie. Hierdoor zijn helofytenfilters in het algemeen gesloten systemen met volledige peilbeheersing.

Helofytenfilters waarbij het oppervlaktewater door het moeras stroomt worden ook wel **stromingsmoerassen** of **vloelvelden** genoemd (figuur 1). Deze systemen verschillen van systemen, waarin het oppervlaktewater in de bodem wordt geïnfiltreerd ten einde een verbetering van de waterkwaliteit te bewerkstelligen. Dergelijke systemen worden **Infiltratievelden** genoemd. Hoewel infiltratievelden begroeid kunnen zijn met helofyten, zijn ze in deze studie niet tot helofytenfilters gerekend. Infiltratievelden worden voornamelijk toegepast bij de (na)zuivering van afvalwater.

De processen in helofytenfilters waarbij de verontreinigingen uit het water worden verwijderd, worden in deze studie **zuiveringsprocessen** genoemd. Veel van deze processen zijn echter aan verzadiging onderhevig. Ook zijn verschillende zuiveringsprocessen omkeerbaar, waardoor de waterkwaliteit kan verslechteren.

In bijlage 1 is een uitgebreide lijst van begrippen opgenomen die in dit rapport staan vermeld.

1.3. AFBAKENING VAN HET ONDERZOEK

In deze programmeringsstudie staan helofytenfilters centraal, waarbij het oppervlaktewater door het systeem stroomt. Het onderzoek is beperkt tot de toepassing van helofytenfilters voor het verbeteren van de kwaliteit van eutroof oppervlaktewater in het landelijk gebied. De toepassing van helofytenfilters in brakwatersystemen blijft buiten beschouwing, evenals het gebruik van helofytenfilters voor de (na)zuivering van huishoudelijk en industrieel afvalwater. Voor een recent overzicht van de bestaande kennis over de toepassing van moerassen voor de zuivering van afvalwater en van de onderzoekbehoefte wordt verwezen naar publikaties van Reddy en Smith (1987) en Van der Putten en Rijs (1990). Wel is voor zover relevant voor

deze programmeringsstudie gebruik gemaakt van de kennis en ervaringen die met de zuivering van huishoudelijk afvalwater zijn opgedaan.

Het zwaartepunt van de programmeringsstudie ligt bij de werking van helofytenfilters als waterzuiveringssysteem. Er is daarom veel aandacht besteed aan de afzonderlijke processen, interacties tussen processen en mogelijkheden voor sturing van processen die een rol spelen bij de verwijdering van stikstof- en fosforverbindingen uit het oppervlaktewater. Weinig aandacht is besteed aan de verwijdering van zware metalen en organische micro-verontreinigingen, omdat deze verontreinigingen de groei van helofyten kunnen remmen, de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in het helofytenfilter verminderen en de verwerking van het maaisel en slib bemoeilijken.

De analyse van de mogelijkheden om de zuiveringsfunctie van een helofytenfilter te combineren met andere gebruiksfuncties is beperkt tot de mogelijkheden voor natuurontwikkeling, recreatie, (hydrologische) buffering en waterberging. De mogelijke vormen van medegebruik zijn in deze studie ondergeschikt aan de zuiveringsfunctie.

Het onderzoek met betrekking tot lokatie, inrichting en beheer wordt gerelateerd aan de zuiveringsfunctie van helofytenfilters en de mogelijke vormen van medegebruik. De wijze waarop situering, inrichting en beheer van een helofytenfilter kunnen worden afgestemd op het gebruik van het oppervlaktewater in het omliggend gebied is geen onderwerp van deze studie.

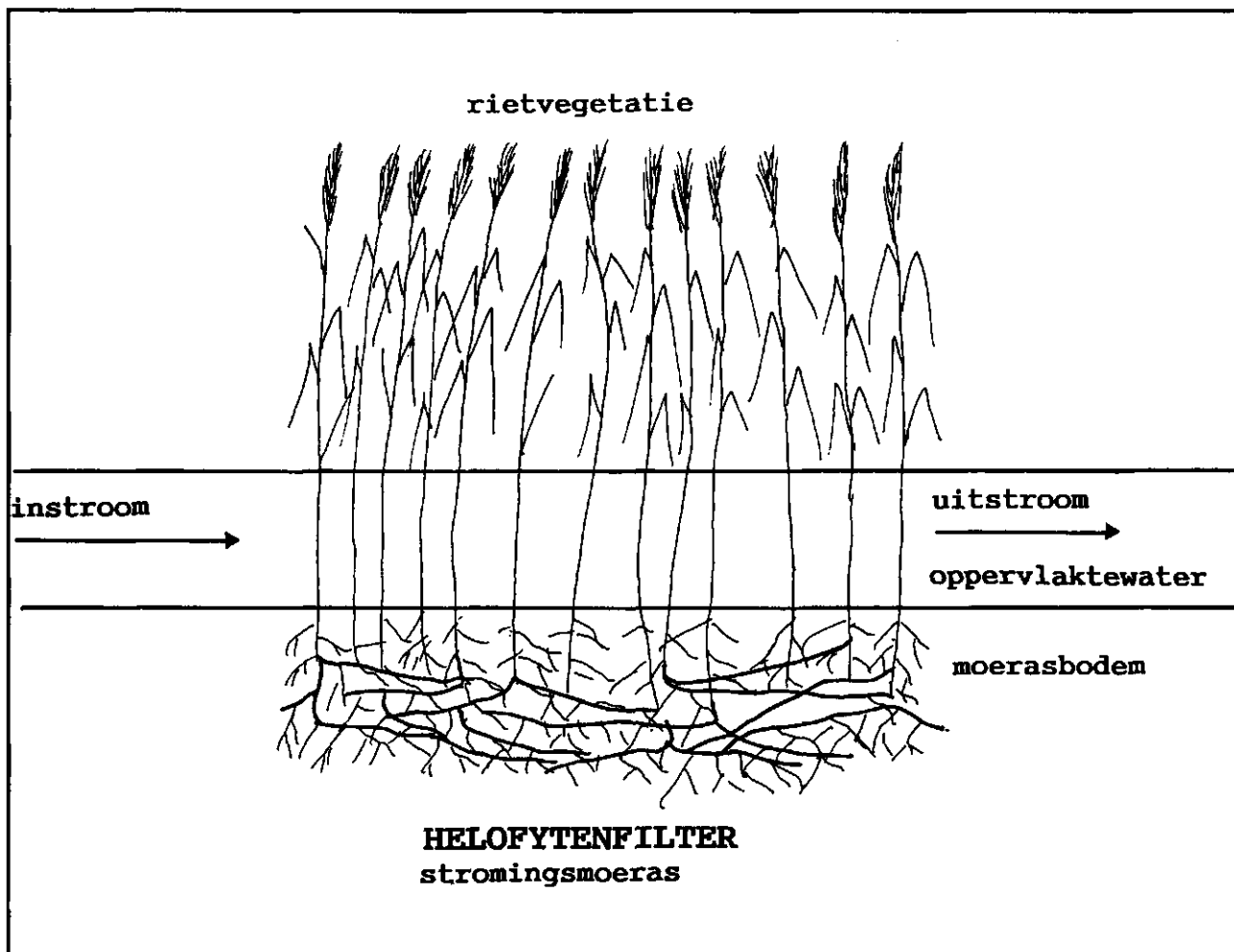
1.4. OPZET EN UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Bij het onderzoek is de volgende fasering aangehouden:

1. literatuuronderzoek;
2. vraaggesprekken;
3. workshop;
4. eindrapportage.

In de eerste fase is een overzicht samengesteld van de bestaande kennis over de zuiveringsprocessen, mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik en de inpassing in het landschap. Ook is een eerste inventarisatie gemaakt van leemtes in kennis.

In de tweede fase zijn vraaggesprekken gevoerd met vertegenwoordigers van diverse diensten en instellingen die betrokken zijn bij de planning, aanleg en/of beheer van helofyten-



Figuur 1. Een schematische voorstelling van een helofytenfilter waar het oppervlaktewater door het systeem stroomt.

filters. Doel daarvan was om in enkele situaties waar de toepassing van helofytenfilters wordt overwogen, na te gaan welke kennis ontbreekt om te kunnen besluiten tot een daadwerkelijke toepassing van een helofytenfilter en welke problemen worden voorzien bij de aanleg en het beheer van het helofytenfilter.

De resultaten van het onderzoek zijn in een workshop besproken met een groot aantal deskundigen. De workshop had tot doel om inzicht te verkrijgen waar de prioriteiten van het toekomstig onderzoek met betrekking tot helofytenfilters kunnen worden gelegd. Een lijst met deelnemers aan de workshop is opgenomen in bijlage 2.

Het onderzoek is uitgevoerd door het TNO Studiecencentrum voor Milieu-onderzoek en het Staring Centrum. Hierbij is globaal de volgende taakverdeling aangehouden:

- door het TNO Studiecencentrum voor Milieu-onderzoek is een analyse uitgevoerd van de werking van helofytenfilters en de mogelijkheden voor beïnvloeding van de zuiverings-

processen door inrichtings- en beheersmaatregelen (hoofdstuk 2 en 3);

- door het Staring Centrum zijn de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik (hoofdstuk 4) en de mogelijkheden voor situering en inrichting in het landelijk gebied (hoofdstuk 5 en 6) geanalyseerd.

Het onderzoekprogramma is door het TNO Studiecencentrum voor Milieu-onderzoek en het Staring Centrum opgesteld.

Het onderzoekteam bestond uit de volgende medewerkers:

- * medewerkers van het TNO Studiecencentrum voor Milieu-onderzoek: H. Duel (redactie, projectleider) en R. During;
- * medewerkers van het Staring Centrum: J.K.M. te Boekhorst (redactie), J. Drent, J.M.L. Jansen (projectcoördinatie binnen het Staring Centrum), L.J. Locht en K. Wit.

Door de onderzoekers zijn in fase 2 vraaggesprekken gevoerd met:

- H. Alberts (Consulentschap Natuur-, MI-

- lieu- en Faunabeheer, Overijssel)
- J.P. Asjes (Landinrichtingsdienst Groningen)
- J.H. Brinkman (Waterschap Regge en Dinkel)
- K.P.H. Hesselink (Waterschap Regge en Dinkel)
- S.H. Hesper (Dienst Binnenwateren/RIZA, Rijkswaterstaat)
- S.P. Klapwijk (Hoogheemraadschap van Rijnland)
- A.F.M. Meuleman (Natuurwetenschappelijke Commissie)
- G.A. Morel (Consulentschap Natuur-, Milieu- en Faunabeheer, Overijssel)
- R. van Oosterhoudt (Landinrichtingsdienst Groningen),
- K. van der Wiel (Consulentschap Bos- en Landschapsbouw, Overijssel).

De conceptteksten zijn uitvoerig bediscussieerd en van commentaar voorzien door een begeleidingscommissie die door de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek was ingesteld. In deze commissie hadden de volgende personen zitting:

- Mw. H.M. de Boois (Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, voorzitter)
- Mw. M. van Koten - Hertogs (Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, secretaris)
- C. Berger (Directie Flevoland, Rijkswaterstaat)
- S.H. Hesper (Dienst Binnenwateren/RIZA, Rijkswaterstaat)
- L.R. Mur (Laboratorium voor Microbiologie, Universiteit van Amsterdam)
- J.W.G. Pfeiffer (Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek)
- A.W. Sleeking (Landinrichtingsdienst)
- Mw. J.W.A. van Veen (Rijksplanologische Dienst)

1.5. INDELING VAN DIT RAPPORT

Het rapport bestaat in grote lijnen uit de volgende onderdelen: inventarisatie van bestaande kennis en nog aanwezige kennislacunes (hoofdstukken 2 t/m 5), perspectieven voor toepassing van helofytenfilters in het landelijk gebied (hoofdstuk 6) en het onderzoekprogramma (hoofdstuk 7).

In hoofdstuk 2 volgt een overzicht van de kennis over de processen in moerassen die kunnen bijdragen aan een verwijdering van stikstof- en fosforverbindingen uit het oppervlaktewater. In hoofdstuk 3 worden de mogelijkheden ver-

kend om de werking van helofytenfilters te optimaliseren door sturing van de zuiveringsprocessen. In dit hoofdstuk wordt tevens een analyse gegeven van de zuiveringsresultaten van een aantal helofytenfilters in binnen- en buitenland.

In hoofdstuk 4 worden de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik beschreven. Het gaat hierbij alleen om functies in het helofytenfilter. De analyse van de mogelijkheden om de zuiveringsfunctie van helofytenfilters te combineren met andere functies, is beperkt tot natuurontwikkeling, recreatie, hydrologische bufferfunctie en waterconservering. Uitgangspunt van de analyse zijn de mogelijkheden voor de andere functies, indien de lokatiekeuze, de inrichting en het beheer geheel zijn afgestemd op de zuiveringsfunctie.

In hoofdstuk 5 worden situering en inrichting van helofytenfilters in een landschap geanalyseerd. Evenals bij het multifunctioneel gebruik, spelen bij de situering en inrichting van helofytenfilters in een landschap de specifieke kenmerken van een gebiedssituatie een zo overheersende rol, dat algemene uitspraken over de mogelijkheden en onmogelijkheden van toepassing van helofytenfilters nauwelijks gedaan kunnen worden. De gesignaleerde kennislacunes en onderzoekwensen hebben een duidelijk ander karakter dan die over de werking van helofytenfilters. In dit hoofdstuk wordt ook ingegaan op de criteria die mogelijk een rol kunnen spelen bij de situering en inrichting van helofytenfilters.

In hoofdstuk 6 worden de onderzoekwensen beschreven van de diverse diensten en instellingen die betrokken zijn bij de planning, aanleg en/of beheer van helofytenfilters. Bovendien worden in dit hoofdstuk de perspectieven voor toepassing van helofytenfilters in het landelijk gebied aangegeven op basis van de huidige kennis.

In hoofdstuk 7 wordt het onderzoekprogramma gepresenteerd. De kennislacunes en onderzoekwensen uit de eerdere hoofdstukken zijn samengevat in paragraaf 7.2. Een aantal methoden van onderzoek is in paragraaf 7.3 op een rij gezet. In paragraaf 7.4. worden de prioriteiten in het onderzoek en de onderzoekstrategie aangegeven.

Het rapport wordt afgesloten met een overzicht van de geraadpleegde literatuur en een aantal bijlagen.

2. BESCHRIJVING VAN DE ZUIVERINGSPROCESSEN

2.1. INLEIDING

In ieder moeras vindt uitwisseling van nutriënten plaats tussen de verschillende onderdelen van het systeem (figuur 2). Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt in nutriëntenstromen die het systeem binnenkomen en weer verlaten en nutriëntenstromen die binnen het systeem verlopen.

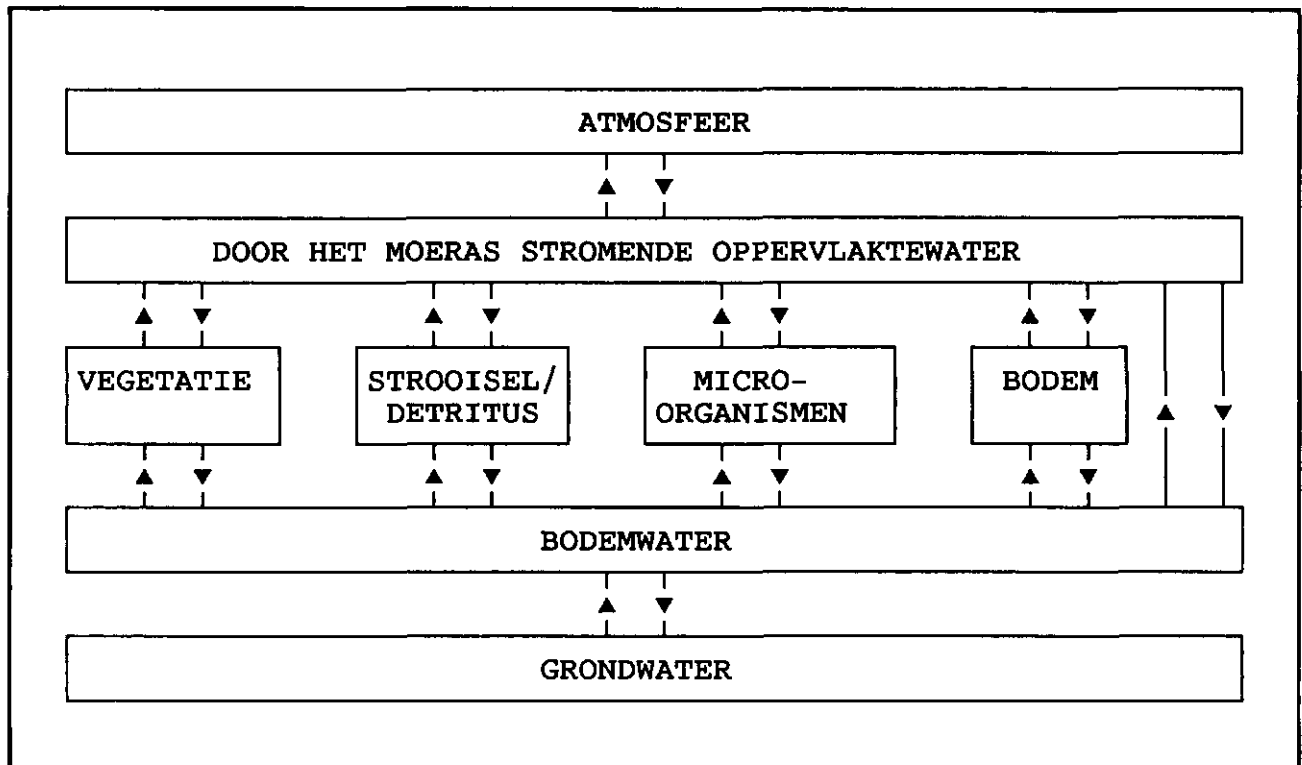
Nutriënten kunnen het systeem binnenkomen via oppervlakte- en grondwater en door natte en droge depositie. De nutriënten kunnen na verloop van tijd het moeras weer verlaten via het oppervlaktewater en grondwater. Ook de fauna kan bijdragen aan de aan- en afvoer van nutriënten in een moerassysteem. Stikstof kan het moeras ook binnenkomen door stikstoffixatie en het systeem weer verlaten door denitrificatie.

De mate waarin moerassen kunnen bijdragen aan een verbetering van de waterkwaliteit is afhankelijk van de capaciteit van het systeem om de verontreinigingen vast te leggen in de vegetatie, het dood organisch materiaal en de moerasbodem en om verontreinigingen om te zetten in atmosferische componenten. De pro-

cessen die hierbij betrokken zijn, worden in dit rapport zuiveringsprocessen genoemd.

In hoeverre een verandering van de kwaliteit van het oppervlaktewater optreedt, is niet alleen afhankelijk van de zuiveringsprocessen. Ook hydrologische factoren als neerslag, verdamping en kwel zijn van invloed op de kwaliteit van het oppervlaktewater. Door deze factoren kan een verdunning of een concentratie van de verontreinigingen in het oppervlaktewater optreden. Deze aspecten worden in hoofdstuk 3 behandeld.

In dit hoofdstuk worden de zuiveringsprocessen beschreven. Hierbij zal de nadruk komen te liggen op de verwijdering van ammonium, nitraat en fosfaat uit het oppervlaktewater. Verder zal in het kort de wijze worden beschreven waarop zwavelverbindingen, zware metalen en organische micro-verontreinigingen uit het oppervlaktewater kunnen worden verwijderd. Verschillende processen kunnen ook in omgekeerde richting verlopen, waardoor de waterkwaliteit kan verslechteren. Deze aspecten worden ook in dit hoofdstuk behandeld.



Figuur 2. Een eenvoudig schema van nutriëntenstromen in een moeras. De relaties met fauna zijn in dit schema weggelaten (naar Howard-Williams, 1985).

De processen kunnen worden onderscheiden in:

- * opname, vastlegging en afgifte van stoffen door de moerasvegetatie (2.2);
- * microbiële processen (2.3);
- * fysische en chemische processen (2.4).

In dit hoofdstuk is tevens een analyse van procesinteracties opgenomen (2.5). Een beschrijving van gesignaleerde kennislacunes sluit het hoofdstuk af.

2.2. OPNAME, VASTLEGGING EN AFGIFTE VAN STOFFEN DOOR DE MOERASVEGETATIE

2.2.1. Opname

Stikstof (N) en fosfor (P) zijn belangrijke elementen voor de groei van moerasplanten. Door de moerasplanten wordt stikstof vooral opgenomen in de vorm van ammonium, nitraat en fosfor in de vorm van fosfaat. Helofyten betrekken het grootste deel van deze stoffen niet uit het oppervlaktewater, maar uit het bodemwater. In stagnante wateren is waarschijnlijk meer dan 70% van de door de helofyten opgenomen fosfaat afkomstig uit het bodemwater (Brock, 1988). Tussen bodemwater en oppervlaktewater bestaat een uitwisseling van stoffen. Door de opname van stoffen kunnen de helofyten de chemische samenstelling van zowel het oppervlaktewater als van de bovenste bodemlaag veranderen. Dit geldt vooral voor het stikstof- en fosforgehalte. Ook ondergedoken waterplanten die in de bodem wortelen betrekken in het algemeen het grootste deel van de benodigde nutriënten uit het bodemwater (Best en Mantai, 1978; Barko en Smart, 1980; Carignan en Kalff, 1980). Niet wortelende waterplanten kunnen de benodigde nutriënten alleen uit het oppervlaktewater opnemen.

In moerassen dragen epifyten, fytoplankton, draadalgen en bodemalgen eveneens bij aan de primaire produktie. Zij zijn voor hun voorziening aan voedingsstoffen geheel afhankelijk van wat zich in het water bevindt. In vegetaties die worden gedomineerd door helofyten wordt de primaire produktie van deze algen sterk geremd door beschaduwing. De opname van nutriënten door algen is hierdoor relatief gering.

De groei van moerasplanten en daarmee ook de opname van nutriënten is in Nederland seizoensgebonden. In het begin van het groeiseizoen vindt een grote opname van nutriënten plaats. Vervolgens neemt de opname van nutri-

ënten door de moerasplanten steeds verder af en is aan het eind van het groeiseizoen nihil.

Voor de groei nemen moerasplanten niet alleen stikstof- en fosforverbindingen op, maar ook zwavelverbindingen in de vorm van sulfaat. Sulfiden zijn toxisch voor moerasplanten. De zuurstofafgifte en de voedingsstoffenopname door de wortels wordt door sulfide geremd. De gevoeligheid voor sulfiden verschilt per soort (Bloemendaal en Roelofs, 1988).

Moerasplanten kunnen ook zware metalen en organische micro-verontreinigingen opnemen (o.a. Seidel, 1976; Särkkä e.a., 1978; Kaczinsky, 1985; Rozema en Otte, 1986; Best, 1987).

Sommige zware metalen zijn voor de moerasplanten van belang als spore-element, zoals zink. De opname van zware metalen kan echter ook een vermindering van de primaire produktie (groei) tot gevolg hebben (Van Baalen, 1983; Kaczinsky, 1985). Ook organische micro-verontreinigen kunnen een groeiremmende werking hebben (Bloemendaal en Roelofs, 1988).

2.2.2. Vastlegging in de vegetatie

In moerasplanten worden de opgenomen stoffen tijdelijk in bladeren en stengels vastgelegd. Langdurige vastlegging van nutriënten vindt plaats in overblijvende planteden (wortelstokken en hout). Onder voedselrijke omstandigheden kan de vastlegging van stikstof en fosfor in de bovengrondse biomassa van helofyten 250-530 kg N/ha en 45-110 kg P/ha bedragen (tabel 1). Van de door de helofyten opgenomen hoeveelheid nutriënten wordt in het algemeen meer dan 50% vastgelegd in ondergrondse biomassa (Reddy en DeBusk, 1987).

De vastlegging van nutriënten door helofyten verschilt per soort, per jaar en per gebied. De hoeveelheid nutriënten die door een helofyt wordt vastgelegd, is gerelateerd aan de primaire produktie en de samenstelling van de weefsels (Reddy en DeBusk, 1987). De primaire produktie is van een groot aantal factoren afhankelijk, waaronder klimatologische factoren en weersomstandigheden, beschikbaarheid van voedingsstoffen, inter- en intraspecifieke concurrentie, de leeftijd van de planten, beheersfactoren en dergelijke.

In planten met overblijvende ondergrondse planteden wordt aan het eind van het groeiseizoen een deel van de hoeveelheid stikstof en fosfor uit de bovengrondse delen teruggetrokken en in de ondergrondse planteden opgeslagen (translokatie). In het begin van een volgend groeiseizoen worden de opgeslagen stoffen gebruikt voor de initiële groei. Voor moeras-

planten kan de translokatie van stikstof en fosfor naar ondergrondse plantedelen 12–45% van de bovengrondse hoeveelheid bedragen (Klapotek, 1978; Prentki e.a., 1978; Davis en Van der Valk, 1983; Richardson en Marshall, 1986).

Over de vastlegging van zwavelverbindingen in moerasvegetaties zijn weinig gegevens beschikbaar. De maximale vastlegging van zwavelverbindingen in de bovengrondse biomassa wordt geschat op 10–30 kg S/ha (Winter en Kickuth, 1985; Duel, 1986). In een aangelegd rietmoeras waarin zwavelrijk afvalwater werd ingelaten, werd de opslag van zwavelverbindingen in ondergrondse biomassa geschat op meer dan 15 kg S/ha (Winter en Kickuth, 1985).

Ook over de vastlegging van zware metalen en organische micro-verontreinigingen zijn weinig gegevens beschikbaar. De gehalten aan zware metalen in ondergrondse delen van moerasplanten zijn waarschijnlijk hoger dan in de bovengrondse delen (Schierup en Larsen, 1981; Rozema en Otte, 1986; Best, 1987). Zware metalen kunnen ook worden geadsorbeerd aan de ijzeroxydelaag op de wortels van moerasplanten (Taylor en Crowder, 1983).

Polychloorbifenylen (PCB's) kunnen in de bovengrondse biomassa van moerasplanten worden vastgelegd (Särkkä e.a., 1978).

2.2.3. Afgifte

Een klein deel van de opgenomen hoeveelheid nutriënten wordt door de moerasplanten niet in de biomassa vastgelegd, maar uitgescheiden naar het omringende water. Deze hoeveelheid bedraagt veelal niet meer dan enkele procenten van de hoeveelheid die wordt opgenomen. Ook een klein deel van de stoffen die door de moe-

rasplanten wordt geproduceerd, wordt uitgescheiden (Blindow, 1984).

De afgifte van nutriënten aan het oppervlaktewater kan ook op indirecte wijze plaatsvinden. Bij de afbraak van afgestorven plantemateriaal komt een deel van de door de moerasplanten opgenomen hoeveelheid nutriënten weer in het oppervlaktewater terecht. Ook kan door uitspoeling van het dood organisch materiaal (leaching) weer stoffen aan het oppervlaktewater worden toegevoegd.

Door leaching en afbraak van het strooisel kan aan het einde van het groeiseizoen 35–75% van bovengrondse hoeveelheid fosfor weer in het oppervlaktewater terecht komen. Voor stikstof is dit 20–70% (Klapotek, 1978; Davis en Van der Valk, 1978; Richardson en Nichols, 1985).

Helofyten nemen nutriënten dus voornamelijk uit de bodem op en door de afbraak van afgestorven plantedelen komt een deel van de opgenomen nutriënten weer in het oppervlaktewater terecht. Deze werking van helofyten wordt nutriëntenpomp genoemd. Deze pompwerking kan onder bepaalde omstandigheden leiden tot een verhoging van het nutriënten-gehalte van het oppervlaktewater.

Langdurige vastlegging van nutriënten in de strooisellaag vindt plaats bij een jaarlijks netto accumulatie van het dood organisch materiaal (veenvorming). Dit proces is niet aan verzadiging onderhevig. Veranderingen in de zuurstofhuishouding in de bovenlaag van de moerasbodem zijn van invloed op de afbreeksnelheid van het dood organisch materiaal. Ook andere factoren zijn van invloed op de afbraak van organisch materiaal, waaronder de waterkwaliteit (zie 2.3.1). De vastlegging van nutriënten in de veenlaag is dus een omkeerbaar proces.

helofyt	bovengrondse biomassa (ton/ha)	N-vastlegging (kg/ha)	P-vastlegging (kg/ha)
riet	6 - 40	127 - 460	11 - 63
mattenbies	6 - 42	102 - 530	19 - 110
lisdodden	4 - 29	50 - 330	7 - 46
liesgras	12 - 28	440	52 - 71
rietgras	6 - 14	123	19
grote zeggen	1 - 27	40 - 250	2 - 59

TABEL 1. De bovengrondse biomassa van enkele moerasplanten en de vastlegging van stikstof (N) en fosfor (P) in bovengrondse biomassa. Gegevens zijn afkomstig uit een groot aantal publikaties.

Over de langdurige vastlegging van stikstof en fosfor in dood organisch materiaal zijn weinig gegevens beschikbaar. Door Richardson en Marshall (1986) wordt de vastlegging van fosfor in een minerotroof zeggemoeras geschat op 1,2 kg P/ha/jaar. In een cypresmoeras werd door veenvorming jaarlijks 38 kg N/ha en 1,5 kg P/ha aan de moerasbodem toegevoegd (Schlesinger, 1978). Door Richardson en Nichols (1985) wordt de maximale vastlegging van stikstof door veenvorming in minerotrofe moerassen geschat op 45 - 50 kg N/ha/jaar. Door Clymo (1983) wordt de maximale vastlegging van fosfor door veenvorming in minerotrofe moerassen geschat op 1,5 kg P/ha/jaar.

2.3. MICROBIËLE PROCESSEN

2.3.1. Afbraak van organisch materiaal

Micro-organismen beïnvloeden de waterkwaliteit door afbraak van organisch materiaal (decompositie) en door biochemische transformaties van stoffen. Voor heterotrofe micro-organismen zijn organische bestanddelen een belangrijke voedingsstoffen- en energiebron. De gemakkelijk metaboliseerbare bestanddelen worden door de micro-organismen snel opgenomen.

Bij de afbraak van het organisch materiaal door micro-organismen kunnen stoffen zoals ammonium, fosfaat en sulfaat vrijkomen en in het oppervlaktewater terecht komen. In perioden met een groot aanbod aan dood organisch materiaal kunnen micro-organismen vanuit het oppervlaktewater grote hoeveelheden nutriënten opnemen en hierdoor (tijdelijk) een belangrijke rol spelen bij de verandering van de waterkwaliteit (Richardson en Nichols, 1985). Deze kunnen alleen optreden, indien het organisch materiaal een hoge C/N of C/P ratio heeft. Bij de afbraak van dit materiaal komt minder stikstof en fosfor vrij dan de hoeveelheid, die de micro-organismen voor hun groei nodig hebben. Ze nemen dan voedingsstoffen uit het omringende water op. Door de afbraak van het organisch materiaal daalt de C/N en C/P-ratio. Op den duur komen bij de afbraak van het organisch materiaal meer stikstof en fosfor vrij dan de hoeveelheid die de micro-organismen voor hun groei nodig hebben: er is dan sprake van netto-mineralisatie.

De afbreeksnelheid van dood organisch materiaal door micro-organismen in een waterbodem wordt beïnvloed door milieufactoren, zoals temperatuur, zuurgraad, biologische waterhardheid, zuurstofgehalte en waterkwaliteit (Brock, 1988;

Curtis, 1989; Roelofs en Cals, 1989). De afbreeksnelheid van afgestorven plantedelen is ook sterk afhankelijk van de structuur en de chemische samenstelling van het plantemateriaal.

In een aëroob milieu verbruiken micro-organismen bij de afbraak van het organisch materiaal zuurstof. Bij een groot aanbod aan organisch materiaal kan dit leiden tot zuurstofloosheid in de toplaag van de moerasbodem en in de onderste waterlaag, waardoor de redoxpotential in deze lagen kan dalen. Dit is weer van invloed op andere microbiële processen (o.a. denitrificatie en sulfaatreductie) en fysisch-chemische processen (o.a. fosfaatadsorptie) in de bodem. Bij afbraak van organisch materiaal onder anaërobe omstandigheden kan methaanvorming optreden (gisting).

2.3.2. Nitrificatie en denitrificatie

De bacteriële processen nitrificatie en denitrificatie dragen in belangrijke mate bij aan de verwijdering van stikstof uit het oppervlaktewater. Nitrificatie is de biologische oxydatie van ammonium tot nitraat en denitrificatie is de reductie van nitraat tot stikstofgassen. Nitrificatie vindt plaats onder aërobe omstandigheden. In volledig anaërobe moerasbodems zal bij de afbraak van organisch materiaal het vrijgekomen ammonium (ammonificatie) in de bodem accumuleren, omdat er geen nitrificatie kan plaats vinden.

Denitrificatie vindt onder anaërobe omstandigheden plaats. Bij het optreden van zuurstofloosheid in de moerasbodem schakelen de meeste micro-organismen (vermoedelijk meer dan 80% van de totale microflora) dan voor de afbraak van organisch materiaal over op nitraatademhaling (German, 1985). In eutrofe rietmoerassen kan de nitraatademhaling een belangrijke rol spelen bij de afbraak van organisch materiaal (tabel 2).

Verder vindt er denitrificatie plaats door micro-organismen die uitsluitend in anaëroob milieu voorkomen, zoals *Pseudomonas denitrificans* en *Thiobacillus denitrificans*.

In anaëroob milieu kan er echter ook ammonificatie van nitraat door micro-organismen optreden (Reddy en Patrick, 1984; German, 1985).

Nitrificatie

De nitrificatie verloopt in twee stappen. Eerst vindt de biologische oxidatie van ammonium tot nitriet plaats (o.a. door *Nitrobacter*) en vervol-

gens wordt het nitriet geoxydeerd tot nitraat (o.a. door *Nitrosomonas*). Een gedetailleerd overzicht van chemo-aurofe en heterotrofe nitrificerende organismen is opgesteld door Focht en Verstraete (1977).

Nitrificatie treedt op in de aërobe water- en bodemlaag (Curtis e.a., 1975; Reddy en Graetz, 1981; Reddy en Patrick, 1984). De oxidatie van nitriet verloopt sneller dan de oxidatie van ammonium, zodat nitriet in het algemeen niet in het moerassysteem accumuleert. Alleen bij een hoge pH of een lage temperatuur kan accumulatie van nitriet in een moeras optreden (Reddy en Patrick, 1984).

Verschillende factoren kunnen van invloed zijn op de nitrificatiesnelheid in moerassen, namelijk het zuurstofgehalte, de beschikbaarheid van anorganisch koolstof, de zuurgraad, de temperatuur, het ammoniumgehalte en de dichtheid van nitrificerende micro-organismen.

Nitrificatie kan optreden bij lage zuurstofconcentraties, maar bij een gehalte van minder dan 0,3 mg/l treedt geen nitrificatie op (Reddy en Patrick, 1984). Ook het anorganisch koolstofgehalte is van invloed op de nitrificatiesnelheid (Reddy en Graetz, 1981). Bij lage concentraties anorganisch koolstof is de nitrificatiesnelheid gering. De nitrificatie verloopt optimaal bij een pH van 6-8. Bij een pH minder dan 4 treedt geen nitrificatie op (Bott, 1976). De optimale temperatuur voor de nitrificatie in het water is 25-35°C en in de bodem 30-40°C (Reddy en Patrick, 1984). De diffusiesnelheid van ammonium van anaëroob naar aëroob milieu is eveneens van invloed op de nitrificatiesnelheid. In

een basis milieu hebben hoge concentraties ammonium een remmend effect op de activiteiten van *Nitrobacter* (Reddy en Patrick, 1984).

Denitrificatie

Denitrificatie is de reductie van nitraat in stikstofgassen. Hierbij wordt nitraat in een aantal stappen omgezet in stikstofgassen. Denitrificatie is een onomkeerbaar proces.

Factoren die de denitrificatiesnelheid door micro-organismen kunnen beïnvloeden, zijn het zuurstofgehalte, de beschikbaarheid van organisch materiaal, de zuurgraad, de temperatuur, de nitrificatiesnelheid, de diffusiesnelheid van nitraat en de dichtheid van denitrificerende micro-organismen.

Denitrificatie vindt plaats bij zuurstofgehalten van minder dan 4 mg/l (Golterman, 1976). Volgens Pearshall en Mortimer (1939) treedt denitrificatie in de bodem op bij een redoxpotentiaal van minder dan 340 mV. De optimale zuurgraad voor de denitrificatie is 6-8,5 (Reddy en Patrick, 1984). In zure milieus (pH minder dan 5) wordt de biologische omzetting van nitraat in stikstofgassen geremd (Fillery, 1983; Reddy en Patrick, 1984). De denitrificatiesnelheid wordt ook beïnvloed door de temperatuur. De optimale temperatuur voor de denitrificatie is 60-75°C (Nichols, 1983; Reddy en Patrick, 1984). Bij lage temperaturen wordt relatief veel N₂O gevormd (Fillery, 1983).

De denitrificatiesnelheid is afhankelijk van de nitraatconcentraties in het oppervlaktewater en in de moerasbodem.

datum	oxidatie van organische stof		
	aerobe respiratie (mg C/m ² /h)	nitraat respiratie (mg C/m ² /h)	nitraat respiratie (%)
1977 8-2	2,6	39,0 ± 4,4	94
8-3	12,3	59,3 ± 22,6	83
4-4	21,0 ± 8,3	47,7 ± 13,9	69
31-5	39,9 ± 17,0	8,1 ± 2,6	17
27-6	39,3 ± 9,0	7,1 ± 2,7	15
16-8	48,4 ± 12,4	0	0
30-8	84,7 ± 8,9	niet bepaald	-
10-10	48,0 ± 13,1	17,9 ± 3,2	27
2-11	39,8 ± 20,3	niet bepaald	-
28-11	14,2 ± 9,2	11,3 ± 9,4	44
1978 3-1	10,5 ± 8,3	niet bepaald	-

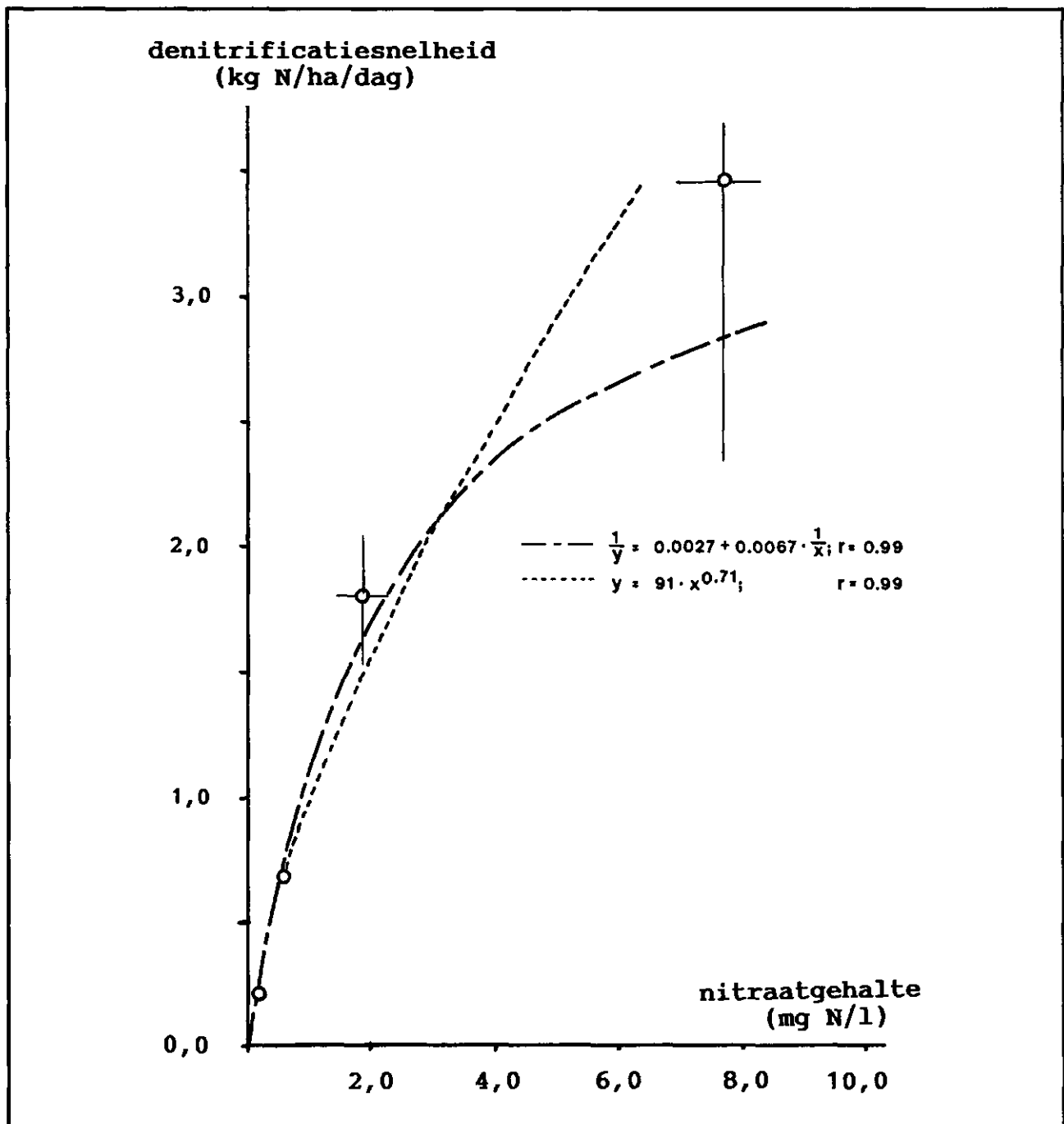
TABEL 2. Seizoensvariatie in de microbiële afbraak van organisch materiaal door middel van aërobe respiratie en nitraat-ademhaling in een eutroof rietmoeras (Andersen, 1981).

Bij nitraatconcentraties van minder dan 5 mg N/l in het oppervlaktewater is denitrificatie in moerasbodems vergelijkbaar met een 1^o orde reactie, indien voldoende organisch materiaal in de bodem aanwezig is (Andersen, 1981; Fillery, 1983; Reddy en Patrick, 1984; Andersen, 1977 en 1985). In figuur 3 is dit geïllustreerd voor een eutroof meer in Denemarken.

Door Andersen (1981) is de relatie tussen het nitraatgehalte in het oppervlaktewater en de denitrificatiesnelheid in de bodem van een

rietmoeras in een eutroof meer onderzocht. De maximale denitrificatiesnelheid bedroeg 0,55 kg N/ha/dag (figuur 4).

De potentiële denitrificatiesnelheid in moerassen is zeer groot. Stikstofverliezen in moerassen door denitrificatie van 3,5–10 kg N/ha/dag zijn gemeten (Sloey e.a., 1978; Reddy en DeBusk, 1987).



FIGUUR 3. Het nitraatgehalte in het oppervlaktewater en de denitrificatiesnelheid in de waterbodem van een eutroof meer in Denemarken (naar Andersen, 1977)

2.3.3. Stikstoffixatie

De stikstoffixatie is geen zuiveringsproces, maar kan wel van invloed zijn op de waterkwaliteit. Verschillende soorten micro-organismen zijn in staat stikstofgassen vast te leggen. Deze biologisch stikstoffixatie is een natuurlijke stikstofinput van moerassen. In een later stadium kan deze stikstof weer vrijkomen in de vorm van organisch gebonden stikstof, ammonium of nitraat.

2.3.4. Fosfaat

In tegenstelling tot stikstof kan fosfor niet door microbiële omzettingen naar de atmosfeer worden verwijderd. Micro-organismen nemen alleen voor hun groei fosfaat en organisch gebonden fosfor op. Bij de afbraak van organisch materiaal door micro-organismen kunnen fosforverbindingen aan de omgeving worden afgegeven.

2.3.5. Reductie en oxidatie van zwavelverbindingen

In anaëroob milieu kunnen behalve nitraat ook andere verbindingen door micro-organismen worden gereduceerd. Zo kan sulfaat in een anaëroob milieu bij de aanwezigheid van organische bestanddelen worden gereduceerd tot H₂S. Bekende sulfaatreducerders zijn *Desulfotomaculum ssp.* en *Desulfotomaculum ssp.* Ook sulfiet en thiosulfaat kunnen door bepaalde micro-organismen in anaëroob milieu worden gereduceerd tot H₂S. Een aantal micro-organismen is in staat in anaëroob milieu H₂S te gebruiken als elektronendonor bij de reductie van CO₂ (Bott, 1976).

H₂S kan door verschillende micro-organismen worden geoxydeerd tot thiosulfaat of sulfaat. De autotrofe micro-organisme *Thiobacillus denitrificans*, die alleen in een strikt anaëroob milieu voorkomt, reduceert voor de groei nitraat tot stikstofgas, waarbij vervolgens H₂S wordt geoxydeerd tot sulfaat (Bott, 1976; Richards, 1987).

2.3.6. Reductie van ijzer

In een anaëroob milieu kan driewaardig ijzer door micro-organismen worden gereduceerd tot tweewaardig ijzer (Sørensen, 1982). De reductie van ijzer heeft gevolgen voor de fosfaatvastlegging in de bodem (zie 2.4.). Indien in dit

milieu ook sulfaatreductie plaatsvindt kan het slecht oplosbare ijzersulfide worden gevormd.

2.3.7. Afbraak van organische micro-verontreinigingen

Van verschillende organische micro-verontreinigingen is bekend, dat bepaalde micro-organismen deze stoffen kunnen afbreken. Dit is onder meer het geval voor benzeen, toluen, xyleen, polychloorbifenylen en polyaromatische koolwaterstoffen (Hankin en Sawhney, 1984; Bumpus e.a., 1985; Wolverson, 1987).

De microbiële afbraak van polychloorbifenylen (PCB's) wordt beïnvloed door de redoxpotentiaal en de zuurgraad (Pardue e.a., 1988). De afbreeksnelheid was in de toplaag van de waterbodem met een redoxpotentiaal van +250 mV tot 40 maal hoger dan onder volledig aërobe omstandigheden (redoxpotentiaal: +550 mV) of onder anaërobe omstandigheden (redoxpotentiaal: -250 tot 0 mV). Ook de pH is van invloed op de afbreeksnelheid van PCB's. Bij een pH van 6,5 is deze snelheid het grootst (Hankin en Sawhney, 1984).

De afbraak van polyaromatische koolwaterstoffen met een laag molecuulgewicht vindt onder zowel aërobe als anaërobe omstandigheden plaats (Mihelcic en Luthy, 1988).

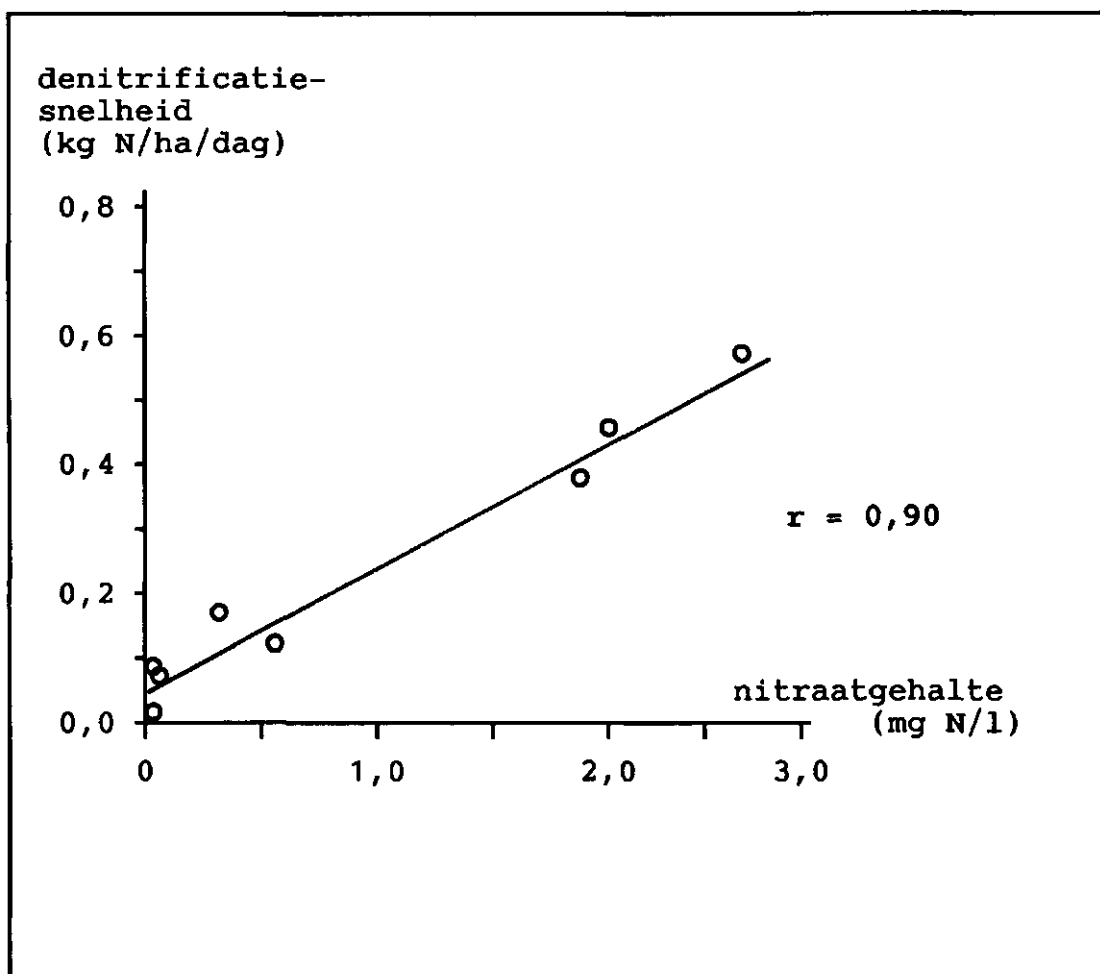
2.4. FYSISCHE EN CHEMISCHE PROCESSEN

2.4.1. Bezinking en resuspensie

Aan slibdeeltjes kunnen fosfaat, zware metalen en/of organische micro-verontreinigingen zijn geadsorbeerd. Door bezinking van slibdeeltjes kunnen deze stoffen uit het oppervlaktewater worden verwijderd. In voldoende rustig water bezinkt ook het organisch materiaal. De snelheid waarmee gesuspendeerde deeltjes dan bezinken, is afhankelijk van het soort materiaal. In stilstaand water is de sedimentatiesnelheid van (Rebers, 1988):

- * dood organisch materiaal ± 8 cm/uur,
- * slibdeeltjes kleiner dan 16µ ± 30 cm/uur,
- * slibdeeltjes groter dan 16µ ± 100 cm/uur.

Door bezinking neemt de vertroebeling door slibdeeltjes en detritus af, waardoor meer licht beschikbaar is voor groei van algen en waterplanten. Dit kan vervolgens leiden tot lagere ammonium-, nitraat- en fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater doordat deze stoffen worden opgenomen door algen en waterplanten.



FIGUUR 4. Het nitraatgehalte in het oppervlaktewater en de denitrificatiesnelheid in de bodem van een rietmoeras in een eutroof meer in Denemarken (naar Andersen, 1981).

Door turbulentie van het water als gevolg van stroomsnelheid en windwerking wervelt bodemmateriaal op. Ook omwoeling van de bodem door vissen en macrofauna kan hieraan bijdragen. Door resuspensie worden tevens de aan het bodemmateriaal geadsorbeerde stoffen in het oppervlaktewater gebracht, die afhankelijk van de omstandigheden in het oppervlaktewater in oplossing kunnen gaan. Waterplanten en moerasplanten hebben een remmende invloed op de opwerveling van bodemmateriaal door windwerking.

2.4.2. Adsorptie en desorptie

Door adsorptie kunnen bepaalde stoffen in de moerasbodem worden vastgelegd. De adsorptiecapaciteit van iedere moerasbodem is be-

grensd. Dit is afhankelijk van de samenstelling van de bodemdeeltjes.

Fosfaat kan aan minerale bodemdeeltjes worden geadsorbeerd. De adsorptie vindt ondermeer plaats aan ijzer- en aluminiumhydroxyden en calcium- en magnesiumcarbonaten. In organische bodems zijn de genoemde kationen ook in ionvorm actief (Nichols, 1983; Verhoeven, 1985). De adsorptie van fosfaat aan ijzercomplexen van bodemdeeltjes is afhankelijk van de pH en de redoxpotentiaal (Lijklema, 1985). De adsorptie aan ijzercomplexen vindt voornamelijk plaats in een zuur, aëroob milieu. De aërobe toplaag van het sediment functioneert als een effectief slot op het fosfaatreservoir in de water- en moerasbodem. In het geval dat de toplaag anaëroob wordt zal nalevering van fosfaat optreden (Lijklema, 1985).

Ammonium kan worden geadsorbeerd aan het kation-uitwisselingscomplex van kleimineralen en veendeeltjes. Nitraat wordt vrijwel niet aan bodem- en slibdeeltjes geadsorbeerd (Tilton en Kadlec, 1979; Reddy en Patrick, 1984).

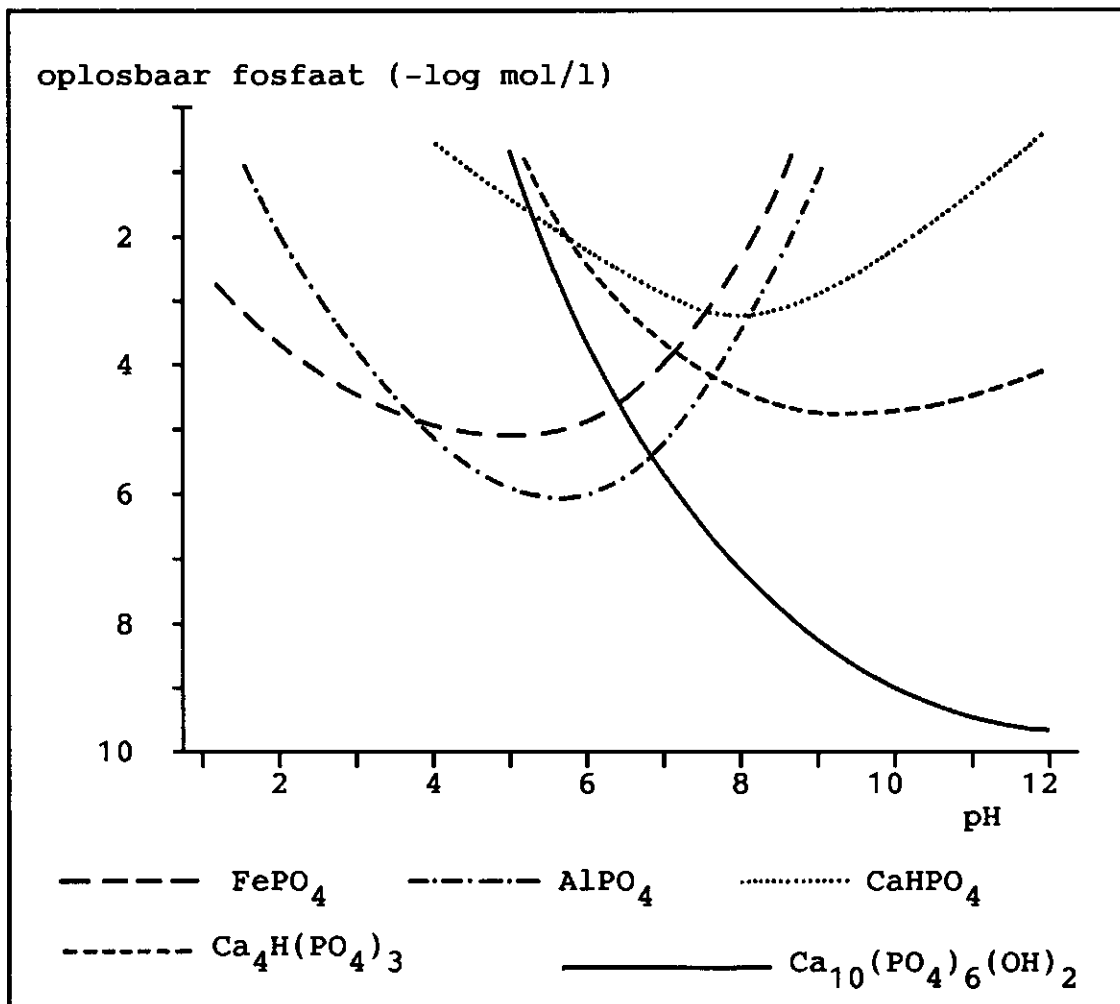
De capaciteit van organische bodems voor adsorptie van zware metalen is groter dan in minerale bodems. De mate van immobiliteit verschilt sterk per metaal en de milieu-omstandigheden (Giblin, 1985).

De adsorptie van stoffen aan de moerasbodem is een omkeerbaar proces. Bij wijziging van de omstandigheden kan desorptie plaatsvinden.

Het geadsorbeerde fosfaat kan weer in oplossing gaan als de fosfaatconcentratie in de omgeving laag wordt. Nalevering van fosfaat uit de moerasbodem kan ook plaats vinden, indien de toplaag van de moerasbodem anaëroob wordt. In het anaëroob milieu worden de driewaardige ijzerionen gereduceerd. Hierdoor neemt zowel het aantal adsorptieplaatsen als het bindingsvermogen af (Good en Patrick jr., 1987).

2.4.3. Vorming en oplossing van zouten

Fosfaten kunnen neerslaan met ijzer, aluminium, magnesium en calcium. Onder kalkrijke omstandigheden wordt het slecht oplosbare apatiet gevormd. De vorming van ijzerfosfaat is afhankelijk van de pH (figuur 5) en de redoxpotentiaal (zie adsorptie en desorptie). Onder anaërobe condities vindt een reductie van driewaardige ijzerionen plaats. Bij aanwezigheid van sulfide-ionen worden dan slecht oplosbare ijzersulfides gevormd ($K_s < 10^{-20}$). Indien het milieu weer aëroob wordt, kunnen de ijzersulfides blijven bestaan, zodat de mogelijkheden voor hernieuwde complexvorming van fosfaat met geoxydeerde ijzerionen zijn verminderd (Curtis, 1989). Onder gereduceerde omstandigheden kan in ijzerrijke moerasbodems ook ijzer(II)fosfaat (vivianiet) worden gevormd (Singer, 1972). Zware metalen kunnen slecht oplosbare verbindingen vormen met organische stoffen (chelaaten) en met sulfides. In een basisch milieu kun-



FIGUUR 5. De invloed van de pH op de oplosbaarheid van enkele fosfaatcomplexen (naar Stumm en Morgan, 1981).

	Site and water depth (cm)			
	Exposed 20	Exposed 60	Exposed 100	Sheltered 60
O₂ concentration¹				
May, morning	13.5 ± 0.8 (10) ^a	11.1 ± 0.6 (29) ^a	7.5 ± 0.8 (20) ^b	9.3 ± 0.7 (21) ^b
May, afternoon	20.2 ± 0.4 (15)	17.9 ± 0.7 (21) ^a	16.2 ± 1.0 (20) ^a	17.0 ± 0.8 (20) ^a
July, morning	16.9 ± 0.7 (10)	10.2 ± 0.7 (20) ^a	8.4 ± 0.7 (20)	10.3 ± 0.7 (20) ^a
July, afternoon	19.9 ± 0.5 (16) ^a	19.0 ± 0.8 (20) ^a	17.1 ± 0.9 (20) ^b	17.8 ± 0.7 (20) ^b
Length above water²				
May	87.5 ± 5.5 (25)	65.9 ± 3.0 (50)	42.4 ± 3.3 (40) ^a	41.4 ± 3.0 (41) ^a
July	222 ± 18 (26)	177 ± 9.0 (40)	82.3 ± 8.3 (40)	106 ± 9.5 (40)
Redox potential²				
10 cm	128.7 ± 18.1	13.6 ± 16.9	-27.6 ± 12.2	-75.3 ± 13.6
20 cm	97.8 ± 18.5	22.8 ± 16.0 ^a	-17.6 ± 16.9 ^a	-83.4 ± 12.8
30 cm	107.3 ± 17.7	27.2 ± 18.8	-21.6 ± 19.2	-77.6 ± 16.5

¹Mean values ± standard error; number of replicates are given within parentheses; values in any line not followed by the same letter differ significantly ($P < 0.05$, Mann-Whitney U-test).

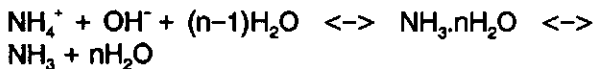
²Measured at 3 substrate depths, 10, 20 and 30 cm; mean values ± standard error; 5 replicates; values in any line not followed by the same letter differ significantly ($P < 0.05$, Mann-Whitney U-test).

TABEL 3. De gemiddelde zuurstofconcentratie in rietstengelbasis en de redoxpotential van het sediment op lokaties met zandsubstraat en een hoge wind-expositie en op een beschutte lokatie met organisch sediment (Weisner, 1988).

nen slecht oplosbare metaaloxiden en metaalhydroxyden worden gevormd.

2.4.4. Ammoniakvorming

De vorming van ammoniak uit ammonium vindt voornamelijk onder basische omstandigheden plaats:



Het dissociatie-evenwicht van ammonium wordt ook sterk beïnvloed door de temperatuur. Bij een gelijk blijvende pH kan het percentage niet-gedissoceerde ammonium bij een temperatuurstijging van 0°C naar 30°C een factor 10 toenemen (Emerson e.a., 1975).

Ontwijking van ammoniak uit het watersysteem naar de atmosfeer is afhankelijk van de partiële druk en de temperatuur in de waterlaag en in de atmosfeer.

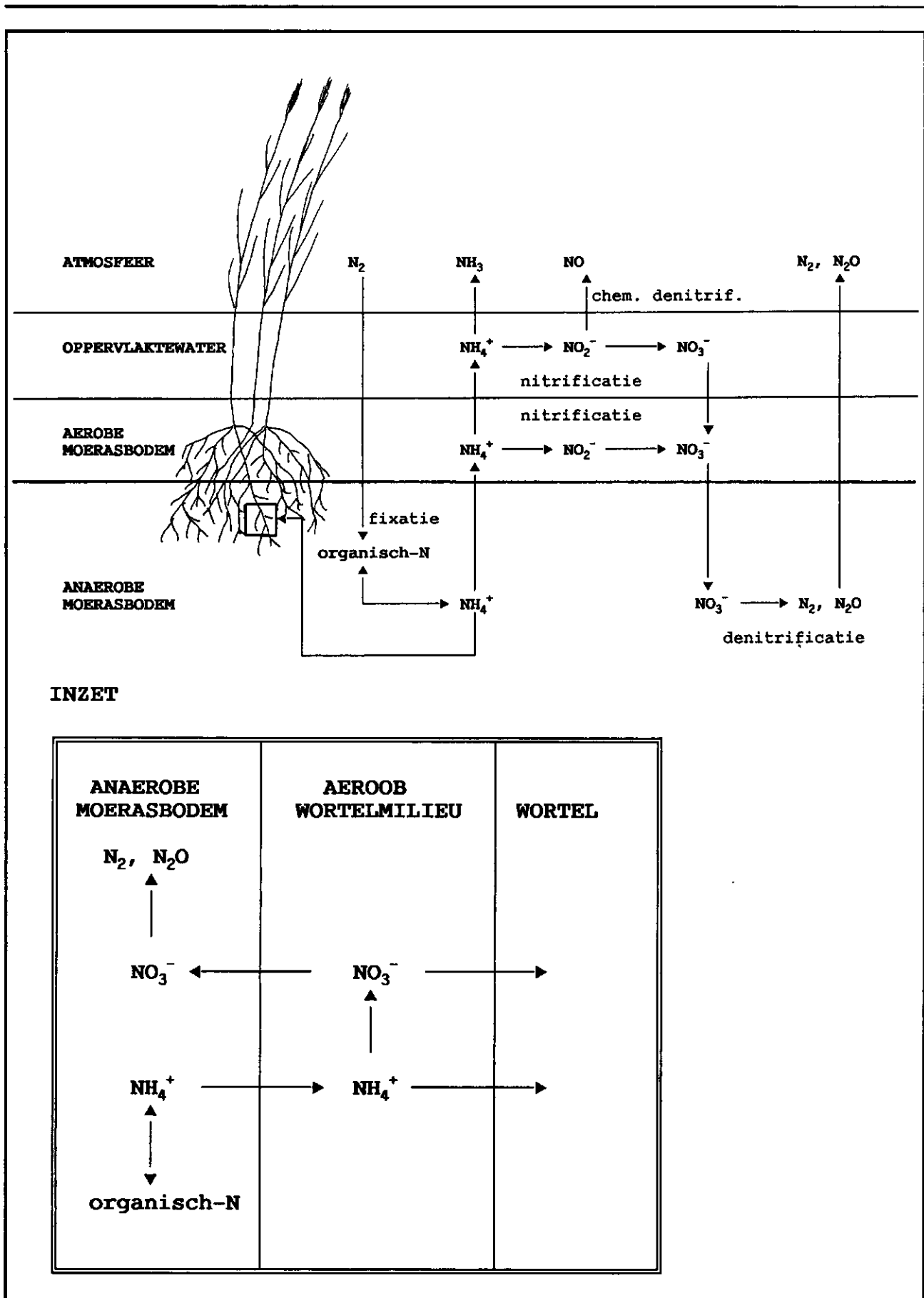
2.5. PROCES-INTERACTIES

De beschikbaarheid van zuurstof in moerassen speelt een belangrijke rol bij verschillende pro-

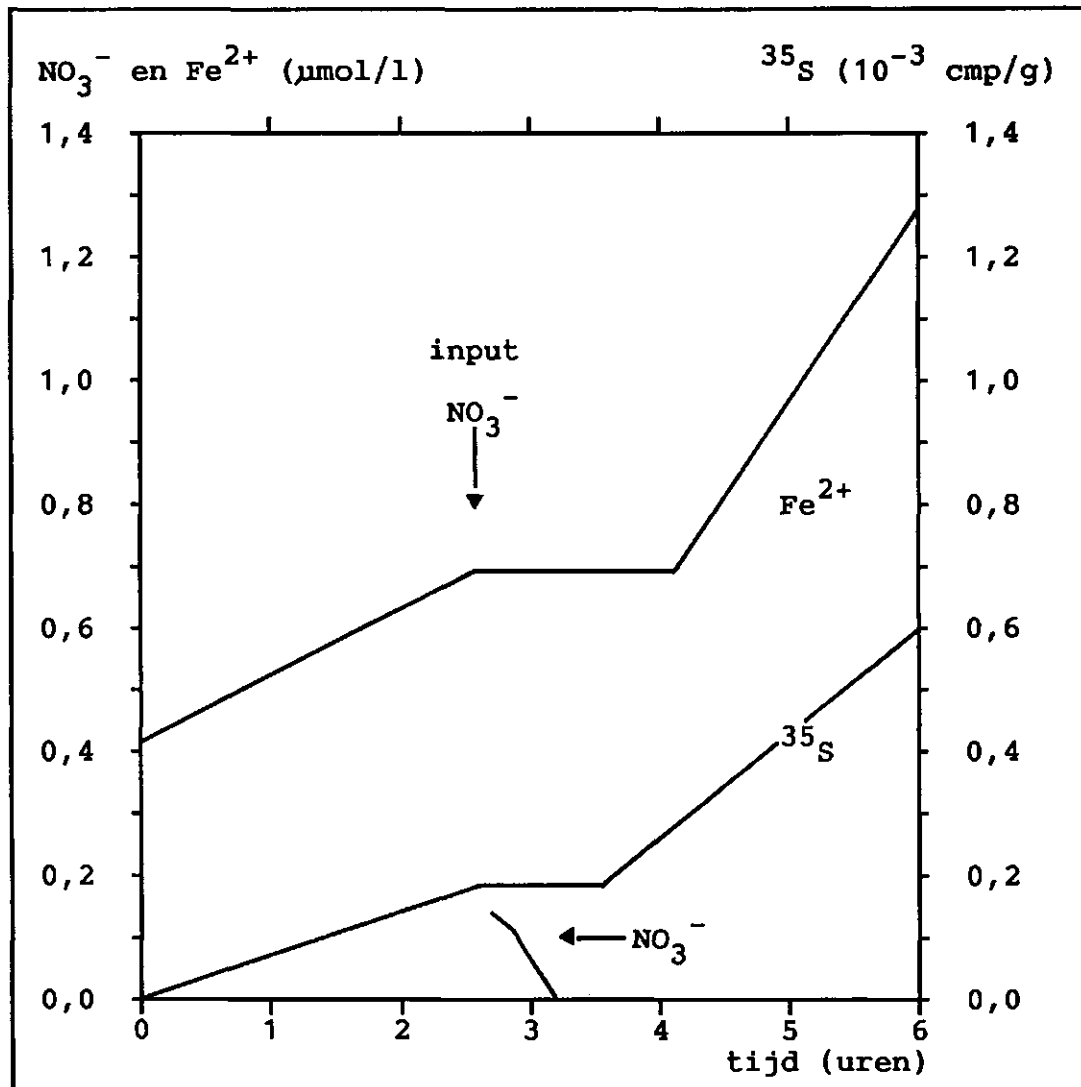
cessen die van belang zijn voor een verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Onder aërobe omstandigheden kunnen ondermeer de volgende processen optreden: nitrificatie, oxidatie van sulfide en tweewaardig ijzer, neerslag van ijzerfosfaat, adsorptie van fosfaat aan ijzercomplexen van moerasbodem en volledige afbraak van organisch materiaal. Onder anaërobe omstandigheden vinden processen plaats als denitrificatie, desorptie van fosfaat aan ijzercomplexen, oplossen van ijzerfosfaatverbindingen, reductie van sulfaat en driewaardig ijzer, vorming van metaalsulfides en onvolledige afbraak van organisch materiaal (o.a. methaanvorming).

Helofyten spelen een belangrijke rol in de zuurstofhuishouding van moerassen. Bij afwezigheid van wortelende water- en moerasplanten zijn aërobe omstandigheden in het aquatisch systeem beperkt tot de waterlaag en de toplaag van waterbodem. De dikte van de aërobe toplaag van de waterbodem is slechts enkele mm tot 1-2 cm dik, afhankelijk van de biologisch activiteit in de bodem en de diffusiesnelheid van zuurstof naar de moerasbodem (Reddy en Patrick, 1984).

Door helofyten kan het grensvlak van aërobe-anaërobe omstandigheden in de waterbodem worden vergroot. Helofyten bezitten luchtkana-



Figuur 6. Een schematische voorstelling van de stikstofomzettingen in een moeras (naar Reddy en Patrick, 1984).



FIGUUR 7. Het effect van nitraat op de reductie van ijzer en sulfaat in de bovenlaag van de waterbodem in ondiep water (naar Andersen, 1985).

len, waarmee zuurstof vanuit de bladeren naar de wortels wordt gevoerd. Voor een deel diffundeert de zuurstof de moerasbodem in. Bij verschillende water- en moerasplanten is een zuurstofafgifte van 1 - 3 mg O₂ per kilogram (droge) wortelmasse per uur gemeten (Moorhead en Reddy, 1988).

Door de zuurstofafgifte vanuit de wortels van de helofyten zijn in het wortelmilieu micro-gradiënten in het zuurstofgehalte aanwezig (tabel 3). In het aërobe milieu rondom de plantenwortels kunnen grote concentraties nitrificerende micro-organismen worden aangetroffen (Reddy en Patrick, 1984). In moerassen geschiedt de biologische oxidatie van ammonium voor 80% in de aërobe bodemlaag (Reddy en Patrick, 1984). Doordat anaërobe en aërobe condities naast elkaar voorkomen, kan een snelle verwijdering van stikstof uit het moerasysteem worden be-

reikt. De in het aërobe micromilieu ontstane nitraationen diffunderen naar de zeer dichtbij gelegen anaërobe zone en worden aldaar gedenitrificeerd (figuur 6). In veel gevallen is in moerassen de nitraatbeschikbaarheid de beperkende factor voor de denitrificatiesnelheid (Reddy en Patrick, 1984). Via het vergroten van de mogelijkheden voor nitrificatie in de moerasbodem zal de denitrificatiesnelheid in een moeras toenemen. Vandaar dat de input van zuurstof in de moerasbodem een gunstig effect heeft op de stikstofverwijdering uit het helofytenfiltersysteem.

Bij afwezigheid van zuurstof schakelen veel micro-organismen over op nitraat-ademhaling bij de afbraak van organisch materiaal. Zolang nitraat in het sediment aanwezig is, blijft de redox-potentiaal van het sediment op een waarde van ongeveer 100-200 mV. Hierdoor

blijft het fosfaat effectief gebonden aan de ijzercomponenten in het sediment (figuur 7). In het geval al het aanwezige nitraat is gereduceerd, vindt een daling van de redoxpotentiaal plaats. Hierdoor worden vervolgens het aanwezige driewaardig ijzer en sulfaat in het sediment gereduceerd, waardoor fosfaatnalevering kan optreden.

Moerasplanten vormen een belangrijk substraat voor de vestiging van micro-organismen, in het oppervlaktewater op de stengels en in de moerasbodem op plantenwortels. De moerasvegetatie bewerkstelligt een milieu waar het aangevoerde slib goed kan bezinken. Ook kunnen slibdeeltjes adsorberen aan stengels. Moerasplanten kunnen bodemvormende processen in vers slib sterk stimuleren (Kampf en Tutein Nolthenius, 1983). Door bezinking van anorganisch materiaal wordt de afbraak van organisch materiaal in de bodem vertraagd.

2.6. CONCLUSIES

Uit de voorgaande paragrafen is gebleken, dat verschillende processen in moerassen kunnen bijdragen aan een verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Verschillende zuiveringsprocessen zijn omkeerbaar en/of aan verzadiging onderhevig. Door de omkeerbaarheid van processen kunnen bij veranderende omstandigheden verontreinigingen weer aan het oppervlaktewater worden toegevoegd.

De belangrijkste processen waardoor ammonium en nitraat uit het oppervlaktewater worden verwijderd zijn de omzettingen in atmosferische componenten (denitrificatie) door micro-organismen en de vastlegging door de moerasvegetatie (tijdelijk) en door veenvorming (permanent).

Een belangrijke bijdrage aan de vastlegging van fosfaat in een moeras wordt geleverd door fosfaatadsorptie aan de moerasbodem, vastlegging in de moerasvegetatie en in de strooisellaag. In slibrijk water kan een aanzienlijke kwaliteitsverbetering worden bewerkstelligd door bezinking van slib, omdat fosfaat in belangrijke mate aan slibdeeltjes gebonden kan zijn. Onder gunstige condities kan de vorming van moeilijk oplosbare fosfaatverbindingen een grote bijdrage leveren aan de verwijdering van fosfaat uit het oppervlaktewater.

Verwijdering van sulfaat uit het oppervlaktewater kan plaats vinden via de moerasvegetatie en door sulfaatreductie door micro-organismen. Het bij de sulfaatreductie ontstane H_2S kan reageren met metaalionen, waarbij slecht oplosbare metaalsulfides ontstaan.

Zware metalen en organische micro-verontreinigingen kunnen evenals fosfaat in belangrijke mate aan slib gebonden zijn. Door bezinking van deze deeltjes kan een verbetering van de waterkwaliteit worden bewerkstelligd. Bij sanering van de bodem kan de verwerking evenwel tot problemen leiden, afhankelijk van de verontreinigingsgraad.

Zware metalen kunnen ook uit het oppervlaktewater verdwijnen door opname door moerasplanten. Organische micro-verontreinigingen kunnen door micro-organismen in minder schadelijke (toxische) verbindingen worden omgezet.

Kennis is aanwezig over de processen in moerassen die kunnen bijdragen aan een kwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater. Over de kwantificering van de bijdrage van de afzonderlijke processen ontbreekt echter nog veel informatie, zoals over de snelheid waarmee processen zich in een moeras afspelen. Ook over de invloed van de waterkwaliteit op processen ontbreekt nog informatie, met name over de invloed van de waterkwaliteit op de afbraak van organisch materiaal.

Bovendien is er nog onvoldoende inzicht in de wijze waarop de kennis over de afzonderlijke processen kan worden geïntegreerd. Daarvoor is meer informatie nodig over de interacties van processen, met name over:

- * de invloed van afbraak van organisch materiaal op de fosfaatadsorptie;
- * de invloed van denitrificatie op de fosfaatvastlegging in de bodem;
- * de invloed van helofyten op processen in de bodem.

3. HET FUNCTIONEREN VAN HELOFYTENFILTERS ALS ZUIVERINGSSYSTEEM

3.1. INLEIDING

Uit de beschrijving van de zuiveringsprocessen is gebleken, dat verschillende processen omkeerbaar en/of aan verzadiging onderhevig zijn. Processen die aan verzadiging onderhevig zijn, spelen in helofytenfilters alleen een rol bij de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater, indien de vastgelegde verontreinigingen kunnen worden afgevoerd. Door inrichting en beheer van het helofytenfilter is het mogelijk om de vastlegging van de verontreinigingen in het systeem (vegetatie, strooisel, bodem) en de verwijdering naar de atmosfeer te beïnvloeden. Het beheer van helofytenfilters kan gericht zijn op:

- a. Het bereiken van een bepaalde waterkwaliteit, dat voldoet aan de voor het desbetreffende watersysteem vastgestelde normdoelstelling. Een verlaging van de concentraties van stoffen in het oppervlaktewater staat centraal.
- b. Een maximale vastlegging of verwijdering van verontreinigingen die het systeem binnenkomen. De helofytenfilters worden ingezet voor een reductie van de belasting aan verontreinigingen. Dit kan zowel de interne als externe belasting van het watersysteem betreffen. De beoordeling van werking van helofytenfilters worden in deze situaties niet gerelateerd aan de kwaliteit van het uit het helofytenfilter stromende water, maar aan de hoeveelheid die uit het oppervlaktewater kan worden verwijderd.

Uitgaande van de doelstelling ten aanzien van de zuivering kan de dimensionering van een helofytenfilter worden afgeleid uit de snelheid waarmee de transport- en zuiveringsprocessen zich in het systeem afspelen en de capaciteit van het systeem om verontreinigingen vast te leggen.

De mogelijkheden voor sturing van bepaalde zuiveringsprocessen worden beschreven in paragraaf 3.2. Aan de hand van deze analyse worden in paragraaf 3.3. richtlijnen geformuleerd voor het beheer en de dimensionering van helofytenfilters. Een analyse van de werking van helofytenfilters in de praktijk vindt in paragraaf 3.4. plaats. Een overzicht van de kennislacunes

op het gebied van de werking van helofytenfilters sluit dit hoofdstuk af.

3.2. MOGELIJKHEDEN VOOR STURING VAN DE ZUIVERINGSPROCESSEN.

3.2.1. Verwijdering via de moerasvegetatie

De in moerasplanten vastgelegde stoffen kunnen uit het helofytenfilter worden verwijderd door de vegetatie te maaien en het maaisel af te voeren of door de planten in hun geheel te verwijderen. Door het verwijderen van de biomassa kan worden voorkomen, dat een deel van de opgenomen stoffen na mineralisatie weer in het oppervlaktewater terecht komt. Het verwijderen van de bovengrondse delen van de overblijvende moerasplanten moet geschieden, voordat translokatie van stoffen naar de ondergrondse plantedelen plaatsvindt. Hierdoor kan in het begin van het volgend groeiseizoen de groei van die planten gepaard gaan met een versterkte opname van voedingsstoffen of er kan een vertraging in de groei optreden, waardoor de totale opname van voedingsstoffen kan verminderen.

Meerdere malen per jaar maaien leidt niet altijd tot een grotere afvoer van voedingsstoffen, omdat niet iedere soort bestand is tegen veelvuldig maaien (Spangler e.a., 1976; Sloey e.a., 1978).

Uit onderzoek aan moerassen in het Vechtplasengebied is gebleken, dat in mesotrofe moerassen met maaien en afvoeren van het maaisel 38–66 kg N/ha werd verwijderd, hetgeen ongeveer 90% van de totale stikstof-output van het moerasstelsel is. De stikstof-input was voornamelijk afkomstig van de atmosferische depositie en het kwelwater. Via het maaibeheer werd tevens 3,9–5,6 kg P/ha verwijderd, hetgeen ongeveer 4 maal zo veel was als de totale input. De stikstof- en fosforinput via het oppervlaktewater was gering (Koerselman, 1989).

In een biezenveld in Flevoland waarin afvalwater werd ingelaten, werd 150–300 kg N/ha en 20–40 kg P/ha verwijderd via het verwijderen van de bovengrondse biomassa. De stikstof-belasting van het biezenveld bedroeg 600–900 kg N/ha (Greiner en Butijn, 1985).

De hoeveelheid nutriënten die via het maaien kan worden verwijderd zal in belangrijke mate

Behandeling	stikstofgehalte (mg/l)		fosforgehalte (mg/l)	
	instroom	uitstroom	instroom	uitstroom
Vat met sediment	1.23 ± 0.20	0.06 ± 0.01	0.18 ± 0.02	0.16 ± 0.03
	2.02 ± 0.41	0.10 ± 0.06	0.41 ± 0.05	0.12 ± 0.05
	3.95 ± 0.75	0.25 ± 0.03	0.71 ± 0.17	0.25 ± 0.09
Vat zonder sediment	1.24 ± 0.19	0.08 ± 0.02	0.23 ± 0.09	0.04 ± 0.03
	2.31 ± 0.46	0.10 ± 0.02	0.46 ± 0.10	0.08 ± 0.06
	3.75 ± 0.69	0.24 ± 0.07	0.72 ± 0.15	0.23 ± 0.07

Tabel 4. De stikstof- en fosforgehalten (mg/l) in het instromende en het uitstromende water in vatexperimenten met waterpest. De verblijftijd van het water in de vaten (0,9 m³) was 36 uur (bron: Reddy e.a., 1987).

afhangen van de keuze van de moerasplant in het helofytenfilter. De keuzemogelijkheden zijn groot: in principe kan elke moerasplant die in gereduceerde bodems een hoge biomassa-productie haalt, in aanmerking komen om een verbetering van de waterkwaliteit mede te bewerkstelligen. Hierbij kan ondermeer gedacht worden aan riet, mattenbies, liesgras, lisdodden en grote zeggesoorten. In hoofdstuk 2 is in tabel 1 voor een aantal moerasplanten de biomassa-productie en de vastlegging van stikstof en fosfor in de bovengrondse biomassa weergegeven.

Om fosfaat uit het oppervlaktewater te verwijderen kan ook gedacht worden aan drijvende waterplanten, omdat deze planten hun voedingsstoffen uit het water opnemen. Er bestaat dan geen kans op het optreden van een mogelijke nutriëntenpompwerking (zie 2.2.). Hiervoor komen soorten in aanmerking als waterpest en waterkers (Vincent en Downes, 1980; Reddy e.a., 1987).

In tabel 4 zijn resultaten van een experiment met waterpest weergegeven. De verwijdering van stikstof- en fosforverbindingen uit oppervlaktewater bedroeg 186-408 mg N/m²/dag en 122-228 mg P/m²/dag (Reddy e.a., 1987)

3.2.2. Stikstofverwijdering via nitrificatie en denitrificatie

Een belangrijke bijdrage aan de stikstofverwijdering in helofytenfilters wordt geleverd door denitrificatie: de omzetting van nitraat in stikstofgassen. Het gaat hierbij niet alleen om nitraat, dat via het oppervlaktewater wordt aangevoerd, maar ook om het nitraat, dat in het

systeem vrijkomt bij de nitrificatie van ammonium. In geval van ammoniumrijk water wordt de stikstofverwijdering in processen geremd door de nitrificatie (Reddy en Patrick, 1984). In vergelijking met denitrificatie is nitrificatie een langzaam verloopend proces. Bovendien zijn de gunstige milieu-omstandigheden in de moerasbodem voor nitrificatie beperkt. Voor nitrificatie is een aëroob milieu nodig en voor denitrificatie een anaëroob milieu. Dit betekent dat voor de verwijdering van stikstof uit het moerassysteem de aanwezigheid van zuurstof (nitrificatie) even essentieel is als de afwezigheid van zuurstof (denitrificatie). In de moerasbodem zijn aërobe omstandigheden aanwezig in de toplaag en rondom de plantenwortels van helofyten (zie 2.6). Het feit dat in elk moerassysteem lokale of periodieke variaties van het zuurstofgehalte voorkomen verklaart, waarom de stikstofverwijdering in de moerassen van nature hoog kan zijn.

Een afwisselend regime van bevloeiing en uitdroging is gunstig voor de stikstofverwijdering. In een experimenteel vloeiveld in Flevoland, waarin ammoniumrijk afvalwater werd ingelaten, werd gedurende 3 maanden drooglegging (september - november) 380-510 kg N/ha uit de bodem verwijderd, met name in de eerste maand (Greiner en Butijn, 1985). Door het systeem te compartimenteren kan men onafhankelijk van elkaar bepaalde delen van het moerassysteem inrunderen en andere delen laten droogvallen.

De aanwezigheid van organisch materiaal is een belangrijke randvoorwaarde voor de groei en ontwikkeling van heterotrofe micro-organismen. In de meeste moerasbodems is voldoende organisch materiaal aanwezig om de uiteindelijk denitrificatie maximaal te laten verlopen. Het

toevoegen van organisch materiaal in stikstofrijke wateren kan een grotere stikstofverwijdering door denitrificatie tot gevolg hebben (Gersberg e.a., 1983).

Door Cooke en White (1987) is de denitrificatiesnelheid in verschillende moerasbodems onderzocht. De denitrificatiesnelheden in bodems met fijn zand en met leem waren 5 maal hoger dan in grind- en grofzandbodems. Door de aanwezigheid van fijne bodemstructuren ontstaat bij inundatie een groot aantal anaërobe plaatsen. Deze situatie is optimaal bij bodemdeeltjes van ongeveer 200 micrometer (Chalامت, 1985).

3.2.3. Verwijdering door fysische en chemische processen

De mogelijkheden voor verbetering van de kwaliteit van slibrijk water kunnen worden vergroot door de verblijftijd van het water in het systeem te laten toenemen. Dit kan worden bewerkstelligd via bezinkputten, die voorgeschakeld kunnen zijn aan helofytenfilters. Ook in helofytenfilters kan het slib bezinken. Indien het oppervlaktewater slibrijk is, zal een regelmatige sanering van het helofytenfilter noodzakelijk zijn.

De mogelijkheden voor fosfaatadsorptie aan de bodem worden vooral bepaald door het substraat. Adsorptie van fosfaat vindt vooral plaats aan ijzerrijke klei- en veenbodems in een zuur aëroob milieu. De fosfaatadsorptie-capaciteit van moerassen kan worden voorspeld op basis van het aluminiumgehalte van het oxalaat extract van bodem (Richardson en Marshall, 1986). In een basisch milieu vindt fosfaatadsorptie voornamelijk plaats aan de calciumcomponenten in de bodem.

Een regime van afwisselend bevoeien en uitdrogen kan de fosfaatbinding aan de ijzercomplexen van de moerasbodem vergroten (Greiner en De Jong, 1984).

3.2.4. Helofytenfiltertypen

Door middel van inrichting en beheer van een helofytenfilter kunnen gunstige omstandigheden worden gevormd voor het verloop van de diverse zuiveringsprocessen. Hierbij is met name de contacttijd tussen water en plaats waar het proces zich afspeelt van belang. Door de afzonderlijke zuiveringsprocessen te optimaliseren wordt de verwijdering van verontreinigingen uit het oppervlaktewater vergroot.

De verontreinigingen kunnen worden vastgelegd in de moerasvegetatie, strooisellaag en moerasbodem. Ook kunnen verontreinigingen worden omgezet in atmosferische componenten (figuur 8). Op basis van inrichting en beheer kunnen helofytenfilters worden onderscheiden in verschillende typen. De inrichting en het beheer in deze helofytenfiltertypen is gericht op de vastlegging van verontreinigingen in een bepaald moerascompartiment of op de omzetting in atmosferische componenten. In elk van de onderscheiden helofytenfiltertypen worden bepaalde verwijderings- en/of vastleggingsprocessen geoptimaliseerd via inrichting en beheer.

De volgende helofytenfiltertypen kunnen worden onderscheiden:

- a. nitrificatie-denitrificatie: inrichting en beheer is afgestemd op de stikstofverwijdering naar de atmosfeer.
- b. primaire produktie: inrichting en beheer is afgestemd op een verwijdering van verontreinigingen via de biomassa.
- c. veenvorming: inrichting en beheer is afgestemd op vastlegging van verontreinigingen in dood organisch materiaal.
- d. adsorptie: inrichting en beheer is afgestemd op vastlegging van verontreinigingen in de bodem.

De inrichting en het beheer van helofytenfilters kan ook afgestemd zijn op meerdere zuiveringsprocessen.

Op basis van processen kan ook een aantal systemen worden onderscheiden, die geen helofytenfilters zijn, maar wel kunnen bijdragen aan de kwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater (figuur 8):

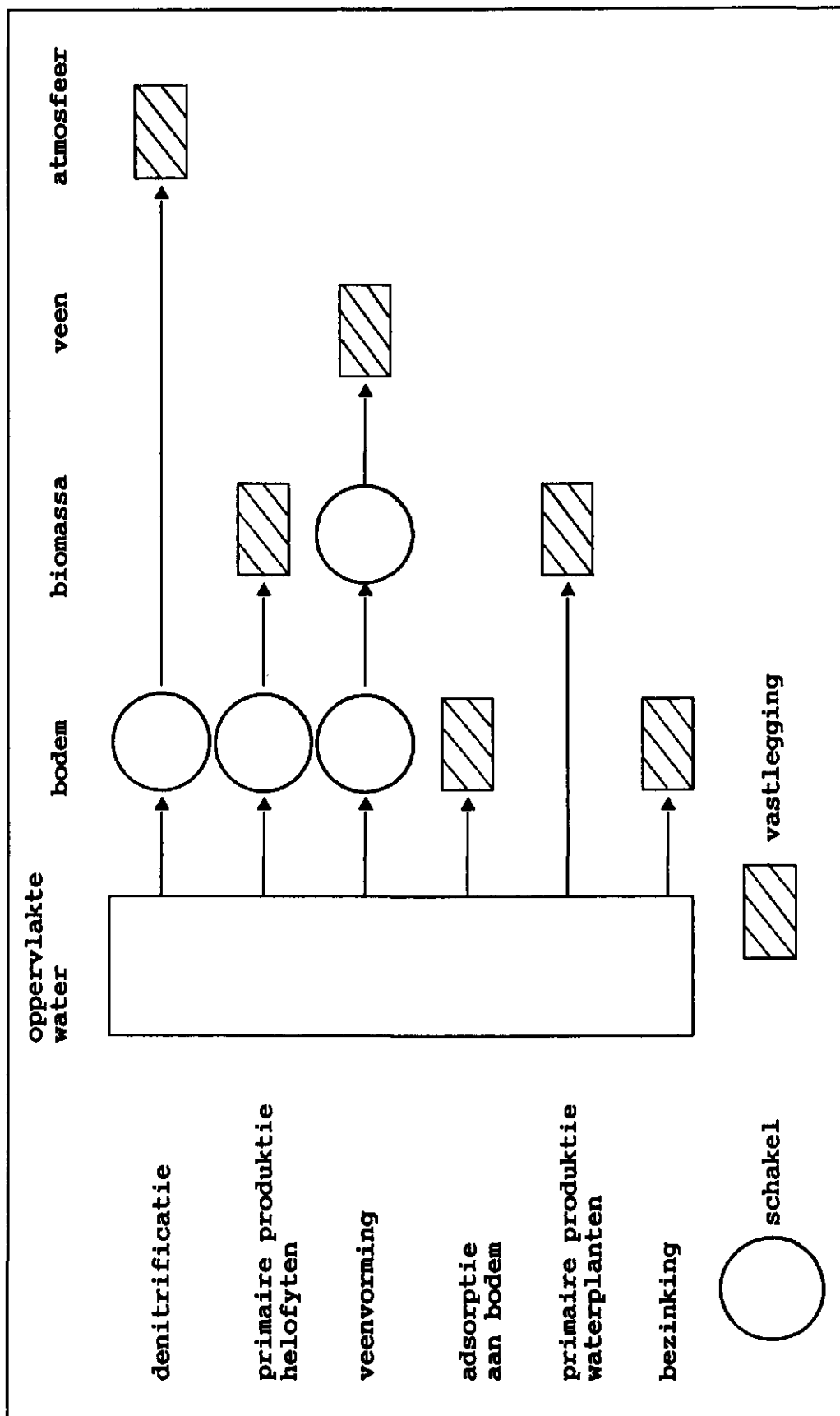
- a. drijvende waterplantenfilter (vastlegging in de biomassa);
- b. bezinkput (vastlegging in de bodem).

Bij de aanleg van een helofytenfilter kunnen de verschillende typen worden gecombineerd. Ook kunnen de helofytenfilters worden gecombineerd met een bezinkput of een drijvende waterplantenfilter.

Helofytenfiltertype: nitrificatie-denitrificatie

De inrichting en het beheer van dit helofytenfilter is specifiek gericht op de stikstofverwijdering via nitrificatie-denitrificatie.

Het helofytenfilter bestaat uit moerasplanten die zijn geselecteerd op basis van het vermogen om zuurstof vanuit de lucht in de waterbodem te laten diffunderen. Hierdoor kan de nitrificatiesnelheid in de moerasbodem worden vergroot.



FIGUUR 8. De verschillende mechanismen waarmee stikstof en fosfor uit het oppervlaktewater kunnen worden verwijderd en in een moeras worden vastgelegd of in geval van stikstof worden omgezet in atmosferische componenten.

In de regel zal de vegetatie uit een monotone opstand bestaan. Het beheer is gericht op een optimale ontwikkeling van een dergelijke vegetatie.

De stikstofverwijdering kan ook worden gestimuleerd door een wisselend waterpeil waarbij de bodem periodiek droog komt te liggen. Bij het droogvallen van de bodem blijven plaatselijk anaërobe omstandigheden in (de aggregaatstructuren van) de moerasbodem gehandhaafd, waardoor denitrificatie kan blijven optreden (Fillery, 1983). Bij inundatie van een drooggevallen moerasbodem is veelal binnen enkele uren het zuurstofgehalte zodanig verminderd, dat het aanwezige nitraat door micro-organismen wordt omgezet in stikstofgassen (Ponnamperuma, 1984).

Het helofytenfilter kan ten behoeve van het afwisselend waterpeil worden gecompartmenteerd.

Helofytenfiltertype: primaire produktie

Uitgangspunt van dit helofytenfiltertype is een integrale verbetering van de waterkwaliteit. De inrichting en het beheer van dit helofytenfiltertype is gericht de vastlegging van verontreinigingen in de biomassa. Vervolgens worden de verontreinigingen uit het helofytenfilter verwijderd door het oogsten van bovengrondse delen van de moerasplanten. Ook de gehele moerasplant kan worden verwijderd.

De moerasplanten zijn geselecteerd op basis van groeisnelheid (biomassaproductie) en een lage wortel/spruit verhouding, de opnamecapaciteit, de hergroeimogelijkheden na het maaien. Het maaibeheer is gericht op een maximale verwijdering van de in de bovengrondse biomassa vastgelegde verontreinigingen.

Met het peilbeheer kan de ontwikkeling van de moerasvegetatie worden beïnvloed. Een laag waterpeil aan het begin van het groeiseizoen is voor een optimale ontwikkeling van sommige plantensoorten noodzakelijk, zoals voor het riet (Haslam, 1970; Van der Toorn, 1972). Na het maaien is het opzetten van het waterpeil tot boven de stoppels ongewenst, omdat dan ondergrondse delen kunnen afsterven.

Helofytenfiltertype: veenvorming

Dit helofytenfiltertype is evenals het vorige type gericht op een integrale waterkwaliteitsverbetering. De inrichting en het beheer is afgestemd op de vastlegging van verontreinigingen door accumulatie van afgestorven plantenmateriaal.

De vastgelegde verontreinigingen kunnen vervolgens worden verwijderd door afgraving van de veenlaag. De capaciteit van dit systeem om nutriënten vast te leggen is geringer dan het vorige type.

Het helofytenfilter is begroeid met hoog produktieve moerasplanten. De moerasplanten bestaan uit een relatief groot aandeel moeilijk afbreekbare bestanddelen.

Het waterbeheer is afgestemd op een zo gering mogelijke afbraak van het organisch materiaal in de bodem. De aanwezigheid van zuurstof versnelt de afbraak van het organisch materiaal. Door een permanente inundatie van de moerasbodem wordt een snelle afbraak van de veenlaag voorkomen.

De waterkwaliteit is van invloed op de afbreeksnelheid van het organisch materiaal (Curtis, 1988; Roelofs en Cals, 1989). In zure wateren is de afbreeksnelheid laag. In gebufferde aquatische systemen is de afbreeksnelheid hoger.

Helofytenfiltertype: adsorptie

In dit helofytenfiltertype ligt het accent primair op de fosfaatverwijdering door adsorptie aan bodemdeeltjes. Kalkrijke en ijzerrijke bodems hebben de voorkeur. Het beheer moet er voornamelijk op gericht zijn om anaërobe omstandigheden in de toplaag van de moerasbodem te vermijden. Onder dergelijke omstandigheden kan immers nalevering van fosfaat vanuit de waterbodem naar het oppervlaktewater plaatsvinden. Om anaërobe condities in de toplaag van de waterbodem te voorkomen kan de beheerder de moerasbodem periodiek laten droogvallen.

De in de moerasbodem vastgelegde fosfaten kunnen door de helofyten worden opgenomen. Door het maaien van de vegetatie en afvoer van het maaisel kan een deel van de opgenomen fosfaten uit het systeem worden verwijderd. Strooiselproductie moet in dit systeem worden vermeden, omdat dan anaërobe condities in de toplaag van de moerasbodem kunnen ontstaan, aangezien afbraak van organisch materiaal gepaard gaat met zuurstofverbruik.

Een ander doel van dit helofytenfiltertype kan de vastlegging van metaalsulfides in de moerasbodem zijn. In tegenstelling tot de fosfaatvastlegging in de bodem vindt de vastlegging van metaalsulfides vooral onder anaërobe omstandigheden plaats, waarbij het sulfaat wordt omgezet tot sulfide. De aanwezigheid van strooisel op de waterbodem heeft bij dit proces juist een stimulerende werking. Saneren van de

moerasbodern zal na verloop van tijd noodzakelijk zijn.

Andere systemen

Waterkwaliteitsverbetering door drijvende waterplanten is vooral gericht op fosfaat- en nitraatverwijdering. Afhankelijk van de primaire produktie is meerdere malen per seizoen verwijderen van een deel van de drijvende waterplanten noodzakelijk. Mogelijk moeten nieuwe waterplanten aan de start van het groeiseizoen aangevoerd worden.

Bij een bezinkput is de inrichting en het beheer afgestemd op de bezinking van gesuspendeerde deeltjes. Hiermee kunnen tevens de aan de slibdeeltjes geadsorbeerde fosfaat, zware metalen en microverontreinigingen worden verwijderd.

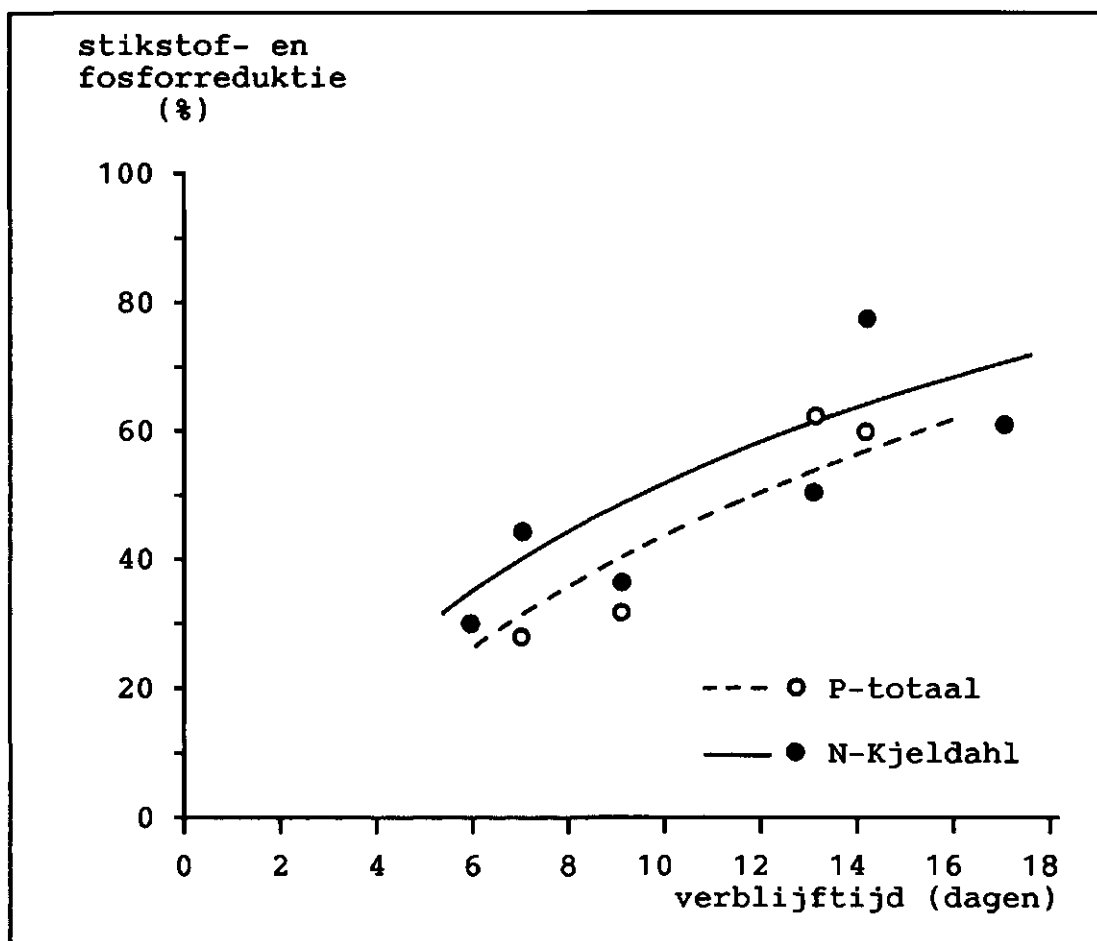
Bij de dimensionering zal rekening gehouden moeten worden met de benodigde bezinktijd. In verband met mogelijk opwervelen van slib is een geringe diepte en een grote windexpositie ongewenst.

Periodiek moet het slib tot op de oorspronkelijke bodern van de put worden verwijderd. Hoe dieper de bezinkput wordt aangelegd, hoe minder vaak er gesaneerd hoeft te worden.

3.3. RICHTLIJNEN VOOR HET BEHEER EN DE DIMENSIONERING VAN HELOFYTENFILTERS

3.3.1. Waterbeheer

Het inlaat- en uitlaatregime is van invloed op het functioneren van het helofytenfilter. In de eerste plaats wordt via het inlaat- en uitlaatregime het waterpeil en de verblijftijd van het oppervlaktewater in het helofytenfilter gereguleerd. In de tweede plaats kan het inlaat- en uitlaatregime worden afgestemd op de kwaliteit van het inlaatwater en op de actuele waterbehoefte in het waterontvangende gebied.



FIGUUR 9. De invloed van de verblijftijd op de kwaliteitsverbetering van het afvalwater in een experimenteel vloeiveld (naar Greiner en Butijn, 1985).

Het peilbeheer

De waterdiepte is van invloed op de ontwikkeling van de moerasvegetatie. In het begin van het groeiseizoen kan het opzetten van een relatief laag waterpeil noodzakelijk zijn voor de ontwikkeling van helofyten. Later in het groeiseizoen kan een hoger waterpeil worden ingesteld. Voor een optimale groei van riet is aan het begin van het groeiseizoen een waterdiepte van ongeveer 20 cm en vervolgens een waterdiepte van 20–50 cm nodig (Haslam, 1970; Rodewald–Rudescu, 1974). Door Tilton en Kadlec (1979) wordt voor een goede werking van helofytenfilters als zuiveringssysteem een waterdiepte van maximaal 30 cm genoemd. Bij een grotere waterdiepte zal de zuiveringsefficiëntie sterk afgenomen zijn. Niet bekend is bij welke waterdiepte een maximale verwijdering van verontreinigingen uit het oppervlaktewater kan worden bewerkstelligd.

Het waterpeil is van invloed op de zuurstofvoorziening in de toplaag van de moerasbodem. Bij een hoog opgezet waterpeil is de diffusieweg relatief groot. Bij een groot zuurstofverbruik in de bodem kan zuurstofloosheid optreden, waardoor aërobe processen worden geremd (zoals nitrificatie, fosfaatadsorptie) en anaërobe processen (zoals denitrificatie, sulfaatreductie) gestimuleerd.

Ook de zuurstofafgifte vanuit de wortels van helofyten wordt door de waterdiepte beïnvloed. Dit hangt ondermeer samen met de primaire productie van de helofyten.

Een afwisselend regime van inundatie en van drooglegging van een moerassysteem is gunstig voor de stikstofverwijdering en de fosfaatvastlegging in de moerasbodem.

Verblijftijd

De hoeveelheid verontreinigingen die uit het oppervlaktewater wordt verwijderd, is afhankelijk van de verblijftijd van het water in het helofytenfilter (figuur 9). De benodigde verblijftijd is afhankelijk van de snelheden waarmee processen als diffusie en biochemische reacties zich in het helofytenfilter afspelen.

Een belangrijk deel van de zuiveringsprocessen speelt zich af in de moerasbodem (zie figuur 8). In stromingsmoerassen en vloeivelden waar het oppervlaktewater door het systeem stroomt zal het transport van nutriënten vanuit het oppervlaktewater naar de moerasbodem voornamelijk via diffusie plaatsvinden. De concentraties van de nutriënten in het oppervlaktewater zijn dan van invloed op de transportsnelheid naar de

moerasbodem. Bij lage nutriëntengehalten in het oppervlaktewater zal de transport naar de moerasbodem in het algemeen langzamer verlopen dan bij hoge concentraties. Volgens Andersen (1977) werd de relatief lage denitrificatiesnelheid in waterbodems bij lage nitraatconcentraties in het oppervlaktewater veroorzaakt door een lagere diffusiesnelheid. Bij hogere nitraatconcentraties in het oppervlaktewater was de denitrificatiesnelheid sterk toegenomen (zie ook figuur 4).

Voor stromingsmoerassen of vloeivelden zal de diffusiesnelheid van grote invloed zijn op de benodigde verblijftijd van het oppervlaktewater in het systeem.

De verblijftijd van het oppervlaktewater in stromingsmoerassen is ook van invloed op de kwaliteitsverbetering door bezinking van slibdeeltjes en de daaraan gebonden stoffen, zoals fosfaat, zware metalen en/of organische micro-verontreinigingen.

In infiltratievelden waar het transport van nutriënten voornamelijk via mass flow plaatsvindt, wordt de verblijftijd in belangrijke mate bepaald door de infiltratiesnelheid.

Belasting aan verontreinigingen

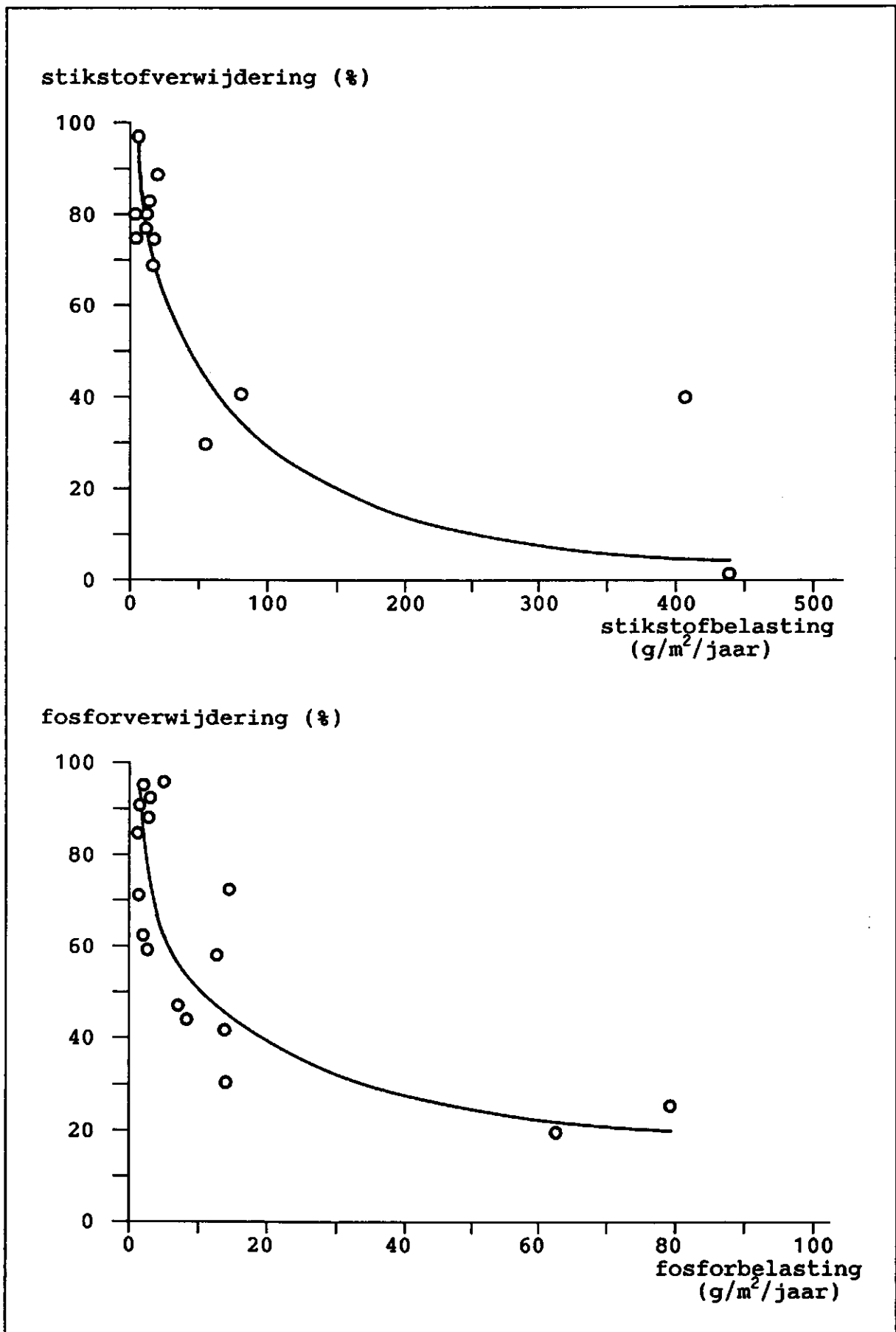
In het waterbeheer speelt ook de belasting van het helofytenfilter met verontreinigingen een rol. Bij een grote belasting zullen verschillende processen snel aan verzadiging onderhevig zijn. Hierdoor neem de zuiveringsefficiëntie van helofytenfilters af. Door Nichols (1983) is een dergelijke correlatie gevonden voor moerassen waarin oppervlaktewater wordt ingelaten dat belast is met huishoudelijk afvalwater (figuur 10).

3.3.2. Vegetatiebeheer

De in de bovengrondse biomassa vastgelegde verontreinigingen kunnen door maaien van de vegetatie en afvoer van het maaisel uit het helofytenfilter worden verwijderd.

Het maaibeheer (frequentie, tijdstip) is tevens van invloed op de ontwikkeling van de vegetatie. Door het maaien kunnen veranderingen in de soortensamenstelling van de vegetatie optreden.

Het maaien van een rietvegetatie in de wintermaanden is gunstig voor de vitaliteit van de rietvegetatie in komend groeiseizoen. Door het maaien in de zomer nam de dominantie van riet in de vegetatie af (Gryseels, 1989a, 1989b).



FIGUUR 10. De kwaliteitsverbetering van met huishoudelijk afvalwater belast oppervlaktewater door moerassen in relatie tot de stikstof- en fosforbelasting (naar Nichols, 1983).

Voor de ontwikkeling van de moerasvegetatie is het waterpeil tevens van belang (zie 3.3.1). Door het opzetten van een te hoog waterpeil in het voorjaar was in het met riet begroeide vloeiveld bij Elburg de oppervlakte aan open water toegenomen tot 35% van de totale oppervlakte (Butijn, 1988).

Verstoring van de moerasontwikkeling kan ook het gevolg zijn van biotische factoren. In de Oostvaardersplassen wordt de omvang, structuur en samenstelling van de moerasvegetatie sterk beïnvloed door ganzenvraat en door parasieten als rietwortelstokboorder en rietstengelboorder (Poorter, 1982; Iedema en Kik, 1986).

Een goede ontwikkeling van de helofytenvegetatie is niet alleen van belang voor de opname van nutriënten door de planten, maar tevens van invloed op de stikstofverwijdering door microbiële processen (zie 3.2.1).

3.3.3. Dimensionering

De belangrijkste factoren voor de dimensionering van helofytenfilters zijn de verblijftijd van het oppervlaktewater in het helofytenfilter en de capaciteit van het systeem om verontreinigingen uit het oppervlaktewater te onttrekken.

De noodzakelijke verblijftijd is een functie van de diffusiesnelheid en de snelheid waarmee stoffen worden vastgelegd of verwijderd. De kwaliteit van het instromende water en de gewenste kwaliteit van het uitstromende water zijn hierdoor eveneens van belang voor de dimensionering van helofytenfilters.

Verwijderingsprocessen die aan verzadiging onderhevig zijn, zoals de adsorptie van fosfaat aan de moerasbodem zullen in de loop van de tijd van minder betekenis zijn voor de verwijdering van verontreinigingen, indien de vastgelegde verontreinigingen niet worden afgevoerd. In die situaties zal voor een goed zuiveringsresultaat de dimensionering moeten worden bepaald aan de hand van processen die niet aan verzadiging onderhevig zijn.

Het ruimtebeslag van helofytenfilters waar de in het systeem vastgelegde verontreinigingen regelmatig worden afgevoerd (bijv. jaarlijks) zal geringer zijn dan in helofytenfilters waar geen sanering plaatsvindt.

Voor de berekening van het ruimtebeslag van helofytenfilters zijn de volgende aspecten van belang:

- a: de kwaliteit van het instromende water;
- b: de gewenste kwaliteit van het uitstromende water;

- c: de capaciteit van het helofytenfilter stoffen vast te leggen of te verwijderen;
- d: andere inputbronnen van verontreinigingen (zoals atmosferische depositie, fauna);
- e: de hoeveelheden instromend en uitstromend oppervlaktewater;
- f: de hoeveelheden kwel, wegzijging, neerslag en verdamping;
- g: saneringsfrequentie.

In de praktijk wordt de dimensionering vaak berekend aan de hand van de hydraulische belasting van helofytenfilters. Uit studies naar de toepassing van natuurlijke moerassen en aangelegde helofytenfilters voor de nazuivering van huishoudelijk afvalwater en oppervlaktewater dat met effluënten van rioolwaterzuiveringsinstallaties is belast, is gebleken, dat bij een hydraulische belasting van minder dan 200–300 m³/ha/dag in het algemeen goede zuiveringsresultaten (meer dan 50% reductie) worden bereikt (Duel en Saris, 1986). Bij een waterdiepte van 30–50 cm is de verblijftijd van het water dan 10–25 dagen.

Gegevens ontbreken om deze richtlijn voor het berekenen van het benodigd ruimteslag van helofytenfilters voor een kwaliteitsverbetering van eutroof oppervlaktewater toe te kunnen passen.

3.4. DE WERKING VAN HELOFYTENFILTERS IN DE PRAKTIJK

Veel onderzoek naar het functioneren van helofytenfilters is beperkt tot metingen van concentraties van het instromend en uitstromend oppervlaktewater. Hierdoor bestaat er nog weinig inzicht in de werking van een helofytenfilter als waterzuiveringssysteem. Voor een goede analyse van de werking van helofytenfilters is het opstellen van een waterbalans en nutriëntenbalans noodzakelijk.

Met behulp van een waterbalans kan informatie worden verkregen over de invloed van verdamping, neerslag en kwel op de kwaliteitsverandering van het oppervlaktewater. Een verbetering van de waterkwaliteit kan het gevolg zijn van verdunning door kwelwater of neerslagwater en een verslechtering door verdamping. De verdamping van moerassen kan zowel groter als kleiner zijn dan de verdamping van open water (Smid, 1975; Iedema en Kik, 1986; Koerselman en Beltman, 1988). De soortensamenstelling van de vegetatie is hierop van invloed. De verdamping van rietvegetaties is in het groeiseizoen in het algemeen groter dan de verdamping

van open water (Smid, 1975; Kampf en Tutein Nolthenius, 1983).

Met behulp van een nutriëntenbalans kan informatie worden verkregen over de invloed van andere inputbronnen op een verandering van de waterkwaliteit. De nutriënten kunnen via verschillende routes het systeem binnenkomen en weer verlaten. De belangrijkste instroombronnen zijn oppervlaktewater, grondwater (kwel), natte en droge depositie, stikstoffixatie en fauna. De stikstoffixatie kan een belangrijke input van stikstof in moerassen zijn (Nichols, 1983; Reddy en Patrick, 1984). In tritveenmoerassen in het Vechtplassengebied werd de stikstoffixatie geschat op 2 – 12 kg N/ha/jaar (Meuleman o.a., 1987; Koerselman, 1989).

De jaarlijkse invoer van nutriënten in de Oostvaardersplassen door eenden en ganzen (mest) bedraagt naar schatting 13–23 kg N/ha en 4–6 kg P/ha (Iedema en Kik, 1986).

De nauwkeurigheid waarmee een waterbalans en een nutriëntenbalans wordt opgesteld is afhankelijk van de bemonsteringsmethodiek en de nauwkeurigheid van hydrologische bepalingen en analyse technieken. Zo is het opstellen van een stikstofbalans niet eenvoudig, omdat verschillende factoren moeilijk te bepalen zijn, zoals stikstoffixatie en denitrificatie.

Bij het vergelijken van de resultaten van het onderzoek naar de werking van helofytenfilters moet rekening worden gehouden met verschillen in klimaat, samenstelling van moerasvegetatie, produktiviteit van moerasvegetatie, bodemsamenstelling en hydrologische relaties. Verder zijn er verschillen in de inrichting, het vegetatiebeheer, de belasting aan verontreinigingen, het peilbeheer en de verblijftijd van het water in het helofytenfilter.

In deze paragraaf is een kort overzicht van onderzoekresultaten over de werking van helofytenfilters in binnen- en buitenland opgenomen. In bijlage 3 zijn van enkele onderzoeksprojecten meer gegevens opgenomen.

De toepassing van helofytenfilters in Nederland

Door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders is in de Flevopolder geëxperimenteerd met het gebruik van helofytenfilters begroeid met riet of biezenvelden voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en afvalwater van recreatieterreinen. Van deze helofytenfilters is het met riet begroeide vloeiveld Elburg het grootst: 14 ha. Dit vloeiveld ontvangt het effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) van Elburg. Voordat het

effluent in het helofytenfilter wordt ingelaten, verblijft het water in een bezinkput. Het doel van het helofytenfilter was het verlagen van het fosfaatgehalte van het effluent van de RWZI in verband met de eutrofiëringsbestrijding van de Randmeren naar minder dan 1,0 mg P/l. De kwaliteitsdoelstelling ten aanzien van het fosfaatgehalte werden niet gerealiseerd. Het fosfaatgehalte van het effluent van de rioolwaterzuiveringsinstallatie was gemiddeld 1,8 – 3,0 mg P/l. Na het rietveld was het fosfaatgehalte gemiddeld 1,8 – 2,2 mg P/l. De reductie van het ammoniumgehalte was gemiddeld minder dan 20% (Butijn, 1988). De geringe zuiveringsresultaten zijn ondermeer het gevolg van een hoge nutriëntenbelasting en hydraulische belasting van het rietveld. Ook was het peilbeheer onvoldoende afgestemd op een optimale ontwikkeling van de vegetatie. Verder heeft het optreden van preferente stroombanen het functioneren van het rietveld nadelig beïnvloed (Butijn, 1988). Van de andere vloeivelden in de IJsselmeerpolders zijn weinig gegevens over de zuiveringsresultaten beschikbaar. In een aantal gevallen waren in de zomermaanden de gehalten aan verontreinigingen in het uitstromende water sterk afgenomen (Greiner en Butijn, 1985).

In de gemeente Houten zijn voor de opslag en zuivering van overstortwater uit het rioleringsstelsel biezenvelden met een totale oppervlakte van 1,6 ha aangelegd. Door het ontbreken van balansstudies kan een beoordeling van de werking van deze velden nog niet worden gemaakt. Op verschillende plaatsen zijn recent kleinschalige helofytenfilters aangelegd, ondermeer in de Geerplas en in de Alkeet-Buitenpolder (bijlage 3). Deze helofytenfilters zijn aangelegd voor de zuivering van inlaatwater voor gebieden met een natuurfunctie.

De toepassing van helofytenfilters in het buitenland

In het buitenland worden helofytenfilters voornamelijk toegepast voor de (na)zuivering van huishoudelijk afvalwater. Weinig onderzoek heeft echter plaatsgevonden naar de toepassing van moerassen voor de zuivering van eutroof oppervlaktewater (zie ook bijlage 3).

De zuiveringsresultaten van natuurlijke moerassen en helofytenfilters voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater of van oppervlaktewater dat met huishoudelijk afvalwater is belast, lopen sterk uiteen (zie ondermeer Nichols, 1983; Duel en Saris, 1986; Kadlec, 1987). In veel gevallen blijkt in natuurlijke moerassen een grote reductie van de fosfor- en stikstofgehalten van het

oppervlakte-water op te treden. In aangelegde helofytenfilters is dit minder het geval. Dit betekent niet dat natuurlijke moerassen beter functioneren als zuiveringssysteem dan helofytenfilters. De betere zuiveringsresultaten van natuurlijke moerassen zijn voor een belangrijk deel het gevolg van een ander waterbeheer:

- 1) De hydraulische belasting van de natuurlijke moerassen was in het algemeen veel geringer dan in de helofytenfilters.
- 2) De verblijftijd van het oppervlaktewater in de natuurlijke moerassen was in het algemeen groter dan in de helofytenfilters.
- 3) De nutriëntenbelasting van de natuurlijke moerassen was in het algemeen lager dan in de helofytenfilters.

De verwijdering van nutriënten door moerassen heeft een seizoenseffect, indien er sprake is van duidelijke temperatuurverschillen. In de wintermaanden is de verwijdering van nutriënten geringer door de minimale opname van afvalstoffen door de moerasvegetatie en de sterk verminderde microbiële activiteiten. Bij een grote productie van dood organisch materiaal in het helofytenfilter kan door mineralisatie nalevering van nutriënten optreden.

Optimalisering van de processen door inrichting- en beheersmaatregelen heeft in het buitenland in de praktijk slechts in beperkte mate plaats gevonden. Hierbij was de aandacht vooral gericht op de vastlegging en verwijdering van de verontreinigingen via de moerasvegetatie. Momenteel zijn wel studies gestart naar de mogelijkheden voor optimalisering van de zuiveringsprocessen.

3.5. CONCLUSIES

In binnen- en buitenland is reeds (veel) ervaring opgedaan met de toepassing van natuurlijke moerassen en aangelegde moerassystemen voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. De toepassing van helofytenfilters voor verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater in het landelijk gebied verkeert nog in het beginstadium.

De zuiveringsresultaten van helofytenfilters verschillen in de praktijk zeer sterk. Slechte zuiveringsresultaten zijn veelal het gevolg van een onvoldoende op de zuiveringsfunctie afgestemde dimensionering, inrichting of beheer. Met het optimaliseren van processen in een helofytenfilter door inrichting en beheer zijn zowel in Nederland als in het buitenland weinig ervaringen opgedaan. De huidige kennis over het optimaliseren van de zuiveringsprocessen in helofyten-

filters is onvoldoende om aan te geven in hoeverre optimaliseringstechnieken van invloed zijn op het ruimtebeslag van helofytenfilters. Ook is de huidige kennis nog onvoldoende om aan te kunnen geven welke kwaliteitsdoelstellingen kunnen worden gerealiseerd, uitgaande van een bepaalde vervuilingsgraad van het oppervlakte-water.

Om de mogelijkheden voor verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater door een helofytenfilter aan te geven en de dimensionering van het systeem te kunnen bepalen is informatie over de processen nodig, en wel:

- a. basiskennis over de transportprocessen zoals het transport van nutriënten van oppervlaktewater naar moerasbodem;
- b. basiskennis over de afzonderlijke zuiveringsprocessen zoals die van nature in moerassen werkzaam zijn;
- c. de wijze waarop interacties tussen zuiveringsprocessen plaatsvinden;
- d. de wijze waarop de chemische samenstelling van het instromende oppervlaktewater van invloed is op processen;
- e. kennis over het optimaliseren van zuiveringsprocessen.

Een overzicht van bestaande kennis en gesignaleerde kennislacunes over de processen en procesinteracties is in hoofdstuk 2 gegeven.

Met betrekking tot optimaliseren van processen zijn er nog tal van vragen waarop tijdens dit onderzoek geen antwoord is gevonden.

Hieronder volgt een systematisch overzicht van de leemtes in kennis.

Mogelijkheden voor optimalisering van de verwijdering van nutriënten via de moerasvegetatie kunnen worden gezocht in het maaibeheer (frequentie en tijdstip). Hierbij zal afstemming moeten plaatsvinden tussen een zo groot mogelijke afvoer van nutriënten en de vitaliteit van de vegetatie.

Weinig informatie is gevonden over:

- * soorten hoog produktieve moerasplanten die bestand zijn tegen maaien aan het eind van het groeiseizoen of tegen meerdere malen maaien in het groeiseizoen;
- * de hergroei van moerasplanten na het maaien in de zomermaanden;
- * de vastlegging van nutriënten bij de hergroei;
- * de lange termijnontwikkeling van moerasvegetatie bij een bepaald maaibeheer in de zomermaanden en de gevolgen daarvan voor de verwijdering van nutriënten.

Mogelijkheden voor optimalisering van vegetatie-ontwikkeling zijn aanwezig in het peilbeheer. Weinig informatie is gevonden over de mate waarin het peilbeheer de primaire produktie van de moerasvegetatie kan beïnvloeden in situaties waarin nutriënten in overmaat aanwezig zijn.

Mogelijkheden voor optimalisering van de nitrificatie en denitrificatie in helofytenfilters zijn aanwezig in de verhouding tussen aërobe en anaërobe condities in helofytenfilters.

Onvoldoende kennis is aanwezig over:

- * soorten moerasplanten die de grootste verwijdering van stikstof via de nitrificatie en denitrificatie in de bodem bewerkstelligen;
- * de mate waarin nitrificatie plaatsvindt in het oppervlaktewater, met name op het stengeloppervlak van de helofyten;
- * de wijze waarop de nitrificatiesnelheid in moerassen kan worden vergroot;
- * de omstandigheden waaronder de denitrificatie wordt geremd door nitraat-ammonificatie;
- * het optreden van denitrificatie en de denitrificatiesnelheid in het oppervlaktewater in een helofytenfilter;
- * de transportsnelheid van nitraat van oppervlaktewater naar anaërobe moerasbodem;
- * de mate waarin de verwijdering van stikstof kan worden vergroot door het variëren van aërobe en anaërobe condities via het peilbeheer (inunderen – droog laten vallen).

De fosfaatverwijdering via fysisch-chemische processen kan worden vergroot door beïnvloeding van de zuurstofhuishouding in de bodem, zoals door het tijdelijk droog laten vallen van de moerasbodem.

Weinig informatie is er gevonden over:

- * de mogelijkheden om via het beheer de redoxpotentiaal in de toplaag van de moerasbodem binnen een bepaald traject te houden ten einde fosfaatnalevering te voorkomen;
- * de beïnvloeding van de fosfaatvastlegging in de moerasbodem door optimalisering van de denitrificatie-omstandigheden.

De dimensionering van helofytenfilters is afhankelijk van de capaciteit waarmee stoffen in het systeem kunnen worden vastgelegd en van de snelheid van de zuiveringsprocessen.

Meer informatie is er nodig over:

- * de opslag van stikstof en fosfor in moerasplanten als rietgras en liesgras; de meeste gegevens hierover hebben betrekking op riet en mattenbies;

- * de afbreekbaarheid van strooisel van moerasplanten;
- * de mogelijkheden voor vastlegging van stikstof en fosfor in helofytenfilters door veenvorming;
- * opnamesnelheid van stikstof en fosfor door moerasplanten;
- * de wijze waarop de processen worden beïnvloed door de kwaliteit van het instromende water: met name de invloed van de waterkwaliteit op de afbreesnelheid van organisch materiaal en hiermee samenhangend de invloed op andere microbiële processen en fysisch-chemische processen in de bodem.

4. VERKENNING VAN HET MULTIFUNCTIONEEL GEBRUIK VAN HELOFYTENFILTERS

4.1. INLEIDING

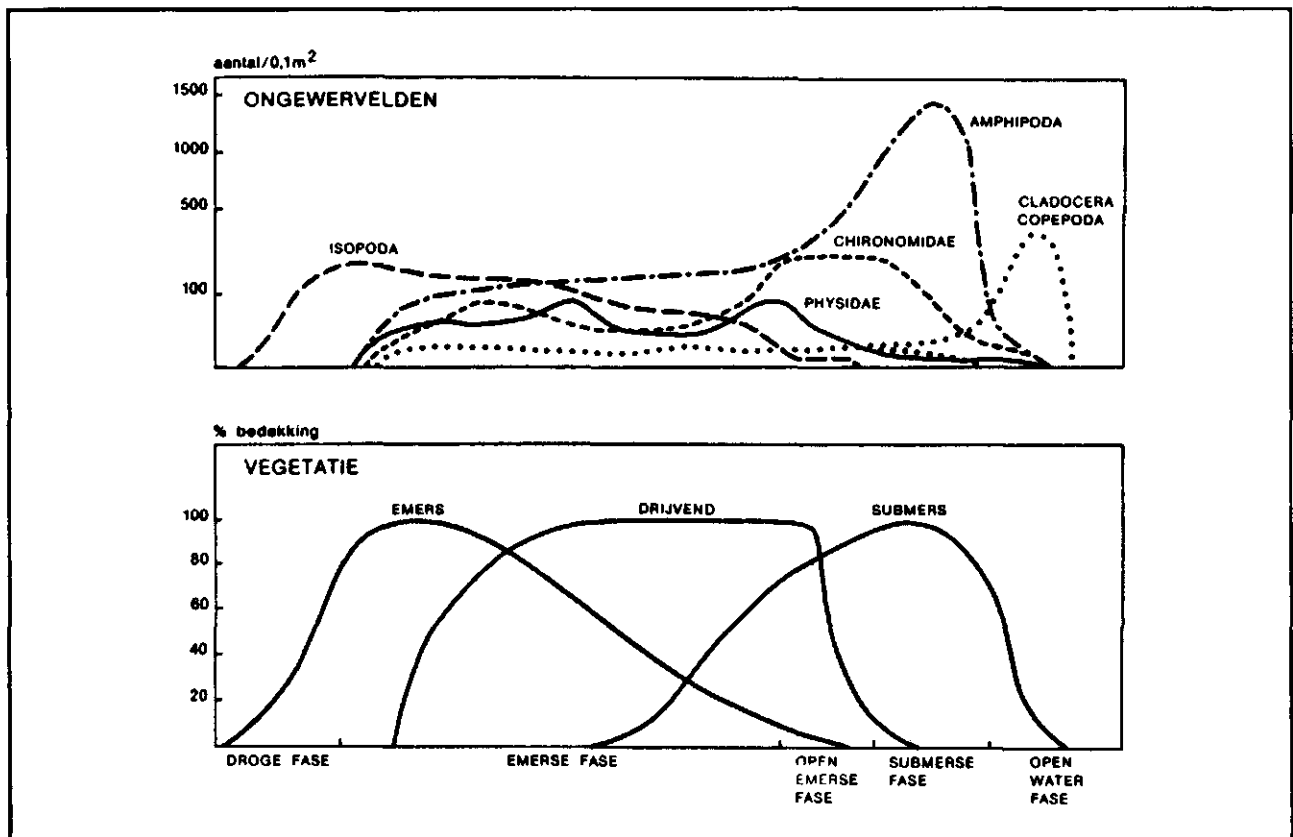
In dit hoofdstuk wordt aandacht gegeven aan de mogelijkheden om de zuiveringsfunctie van helofytenfilters te combineren met andere gebruiksfuncties (secundaire functies) die in deze systemen kunnen plaatsvinden. Bij de analyse van de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik is allereerst uitgegaan van de situatie waarin de inrichting en het beheer van het helofytenfilter uitsluitend zijn afgestemd op de zuiveringsfunctie. Vervolgens wordt beknopt aangegeven welke knelpunten ten aanzien van de zuiveringsfunctie kunnen optreden indien de inrichting en het beheer op het multifunctioneel gebruik worden afgestemd. De analyse van mogelijke secundaire functies is beperkt tot natuurontwikkeling, recreatie, (hydrologische) buffer en waterberging.

4.2. NATUURONTWIKKELING

De mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters of in natuurlijke moerassen waarin afvalwater wordt ingelaten zijn wat betreft de fauna slecht onderzocht (Weller, 1978). De veranderingen in de soortensamenstelling van de vegetatie zijn vooral onderzocht in natuurlijke moerassen waarin afvalwater of eutroof oppervlaktewater was ingelaten.

Om een beeld te verkrijgen van de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters is een algemene beschrijving van de betekenis van voedselrijke moerassen voor flora en fauna opgenomen.

4.2.1. De betekenis van voedselrijke moerassen voor flora en fauna



FIGUUR 11. De invloed van de vegetatie op de samenstelling en dichtheid van macro-evertibraten. Submerse vegetaties bestaan uit ondergedoken waterplanten en emerse vegetaties uit moeras- en oeverplanten (naar Voigts, 1976).

Voedselrijke zoetwatermoerassen kunnen rijk zijn aan floristische en faunistische waarden (Iedema en Kik, 1986). Het gebied de Oostvaardersplassen vormt hiervan een goed voorbeeld. Binnen moerasesystemen bestaan complexe netwerken van onderlinge relaties tussen vegetatie, fauna en abiotische milieukenmerken, zoals waterdiepte, waterkwaliteit en bodemgesteldheid. De soortensamenstelling van de moerasvegetatie is ondermeer afhankelijk van het waterregime, de waterkwaliteit en de bodemgesteldheid maar ook van het vegetatiebeheer. In delen van voedselrijke moerassen met een geringe waterdiepte wordt de vegetatie veelal gedomineerd door hoog opschietende moeras- en oeverplanten, zoals riet, grote en kleine lisdodde, mattenbies en moeraszegge. In delen met een grote waterdiepte kunnen ondergedoken en drijvende waterplanten worden aangetroffen. In deze delen is de algenproductie veelal groot.

Het voorkomen van diersoorten is gerelateerd aan de specifieke kenmerken van het gebied: zonering, structuur en kwaliteit van de vegetatie, waterverdeling, nutriëntenrijkdom, waterpeil, omvang van het gebied en bodemeigenschappen. Voedselrijke moerassen bezitten grote potenties als broed- en foerageergebied en als rui- en slaapplek voor diverse soorten water- en moerasvogels (o.a. ganzen, eenden, reigers, rallen, kiekendieven en kleine zangvogels). Nestgelegenheid en voedselsituatie voor moerasvogels worden in belangrijke mate bepaald door de omvang en structuur van het gebied (open water, watervegetaties, moerasvegetaties, moerasbos), het waterpeilverloop in tijd en ruimte en de voedselproductie (Schroeder e.a., 1976; Weller, 1978; Iedema en Kik, 1986; Burgess en Evans, 1989).

Het voorkomen van macro-evertebraten in voedselrijke moerassen staat onder invloed van de vegetatiestructuur (figuur 11), het waterpeil en de waterkwaliteit. Moerasgebieden kunnen ook van grote betekenis zijn voor vissen en amfibieën. Voor een klein aantal zoogdiersoorten vormen moerasgebieden een belangrijk leefgebied, zoals voor otters en waterspitsmuisen.

De ontwikkeling van natuurwaarden in een moerasgebied wordt ook sterk bepaald door regionale en lokale omstandigheden. De concrete uitwerking van de ontwikkelingsmogelijkheden voor de natuur in helofytenfilters dient daarom plaats te vinden tegen de achtergrond van een specifiek gebied. Dit past echter niet binnen deze algemene beschrijving.

Wel is het mogelijk voor de ontwikkelingsmogelijkheden enkele karakteristieke kenmerken aan

te geven die samenhangen met het gebruik van een moeras als helofytenfilter. Het gaat dan om de effecten van de verontreinigingen in het water en de waterbodem en om de effecten van inrichtings- en beheersmaatregelen.

4.2.2. Knelpunten in de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters

Vegetatie

De beschikbaarheid van nutriënten bepaalt in belangrijke mate de structuur en de soortensamenstelling van de moerasvegetatie. (onder andere Barendregt e.a., 1986; Vermeer, 1985; Verhoeven e.a., 1988; Van Katwijk en Roelofs, 1988).

Bij een grote toevoer van nutriënten zal de vegetatie worden gedomineerd door hoog productieve moerasplanten. Deze vegetaties zijn in het algemeen minder soortenrijk dan moerasvegetaties die zich onder minder voedselrijke omstandigheden kunnen ontwikkelen. Het inlaatwater van helofytenfilters zal in beginsel matig tot zeer voedselrijk zijn, hetgeen gunstige omstandigheden zijn voor hoog productieve moerasplanten.

De ontwikkeling van de moerasvegetatie wordt ook beïnvloed door het waterbeheer en het maaibeheer (Haslam, 1970; Rodewald-Rudescu, 1974; Gryseels, 1989a en 1989b).

Bij de inrichting van een helofytenfilter zal de keuze van de moerasplanten worden afgestemd op de zuiveringsfunctie. Dit betekent dat de vegetatie vaak zal bestaan uit hoogproductieve soorten. Het beheer is afgestemd op de instandhouding van dergelijke vegetaties. De floristische waarde van helofytenfilters is hierdoor sterk gekoppeld aan de zuiveringsfunctie.

Fauna

In en op de moerasbodem en in het water van voedselrijke moerassen kan de biomassa aan evertebraten, met name muggelarven (Chironomidae) en wormen (Oligochaeta) groot zijn. Deze organismen spelen een belangrijke rol bij de afbraak van organisch materiaal en zijn een belangrijke voedselbron voor veel vogel- en vissoorten. Ook de zoöplanktonproductie kan onder voedselrijke omstandigheden groot zijn. In aquatische systemen is het zoöplankton een belangrijke voedselbron voor vissen. In hoeverre de combinatie van voedselrijk water en een soortenarme vegetatie leidt tot een eenzijdige ontwikkeling van de insectenfauna en de mogelijke consequenties daarvan voor de samenstelling van de avifauna is nog onduidelijk.

Het grote aanbod aan insecten kan evenwel een grote aantrekkingskracht uitoefenen op insectenetende vogels.

Wisselende waterstanden zijn van invloed op de nestgelegenheid en de voedselsituatie van moerasvogels. Waterpeilwisselingen gaan daarom veelal gepaard met wisselingen in aantal vogels en vogelsoorten.

Peilfluctuaties kunnen ook nadelige invloed hebben voor waterorganismen (o.a. voor vissen, amfibielarven).

Sterk wisselende waterpeilen zullen voorkomen in helofytenfilters met een grote dynamiek in wateraanvoer en -afvoer en in systemen die men periodiek laat droogvallen ten behoeve van de zuiveringsfunctie.

De betekenis van helofytenfilters voor vogels als foerageer- en rustgebied kan als gevolg van het maaien van de vegetatie in het zomerhalfjaar sterk afnemen. De voedselbeschikbaarheid kan na het maaien verminderd zijn, zoals voor zaadetende vogels. Ook kan het verloren gaan van dekking leiden tot een achteruitgang van de corridorfunctie voor dieren.

De knelpunten voor natuurontwikkeling door het maaibeheer gelden niet voor helofytenfilters, waarbij de vastlegging van nutriënten gericht is op veenvorming. De na verloop van jaren noodzakelijke afgraving van het gevormde veenpakket betekent weliswaar een zware ingreep in het ecosysteem, maar is vergelijkbaar met het voor veel waterrijke natuurgebieden toegepaste ingrijpen in de successie van verlanding in veenweidegebieden. Verwacht mag worden dat de frequentie hiervan in helofytenfilters groter zal zijn dan in natuurlijke mesotrofe moerassen vanwege de hoge biomassa-productie in de helofytenfilters.

Wanneer vogels zoals ganzen en eenden in grote aantallen in een helofytenfilter verblijven vormt vogelmest een extra toevoer van nutriënten in het helofytenfilter. Daarentegen kunnen nutriënten ook door fauna uit helofytenfilters worden verwijderd door begrazing van de moerasvegetatie.

In de Oostvaardersplassen worden de riet- en lisdoddevelden plaatselijk sterk begraasd door ganzen, waardoor de totale vegetatiebedekking kan afnemen. Een grote begrazingsdruk is van invloed op de ontwikkeling van de moerasvegetatie en hierdoor ook op de zuiveringsfunctie.

Bezinking van slib dat belast is met zware metalen en/of organische microverontreinigingen heeft (grote) negatieve effecten op de ontwikkeling van natuurwaarden in het helofytenfilter. Bij fauna kan de opname van micro-verontrei-

nigingen aanleiding geven tot weefselafwijkingen, stofwisselingsstoornissen en effecten op gedrag en voortplanting en bij de moerasplanten gevolgen hebben voor groei en reproductie. Een eerste aanzet voor het vaststellen van ecotoxicologische grenswaarden voor het oppervlaktewater en de waterbodem is verricht door Stortelder e.a. (1989).

4.2.3. Het vergroten van de mogelijkheden voor natuurontwikkeling in helofytenfilters door inrichtings- en beheersmaatregelen

Door de inrichting en het beheer van helofytenfilters kunnen de mogelijkheden voor natuurontwikkeling op uiteenlopende manieren worden vergroot. De te nemen maatregelen zijn sterk afhankelijk van de plante- en diersoorten waarop men zich wil richten. Deze zullen hierna beknopt worden uitgewerkt. De aandacht is daarbij vooral gericht op eventuele knelpunten tussen het streven naar natuurontwikkeling en de zuiveringsfunctie.

De mogelijkheden voor natuurontwikkeling in een helofytenfilter nemen toe, wanneer er relaties bestaan met natuurgebieden in de omgeving. Dit kan een aandachtspunt vormen bij de locatiekeuze. Een helofytenfilter kan zodanig gesitueerd worden dat het samen met natuurgebieden in de omgeving bijdraagt aan een vergroting van de waarde van de gehele regio als broed-, rust- of foerageergebied voor vogels. Ook kan door een gerichte situering de betekenis voor de ecologische infrastructuur worden vergroot.

Het Natuurbeleidsplan (Ministerie LNV, 1990) geeft een gebiedsgedifferentieerde beschrijving van de te ontwikkelen natuurwaarden in Nederland. De rol die moerassen daarbij kunnen spelen is beschreven in een verkennende studie over natuurontwikkeling (Ministerie L en V, 1989).

Vooraf in laag Nederland kunnen voedselrijke moerassen in de vorm van helofytenfilters een bijdrage leveren aan natuurontwikkeling.

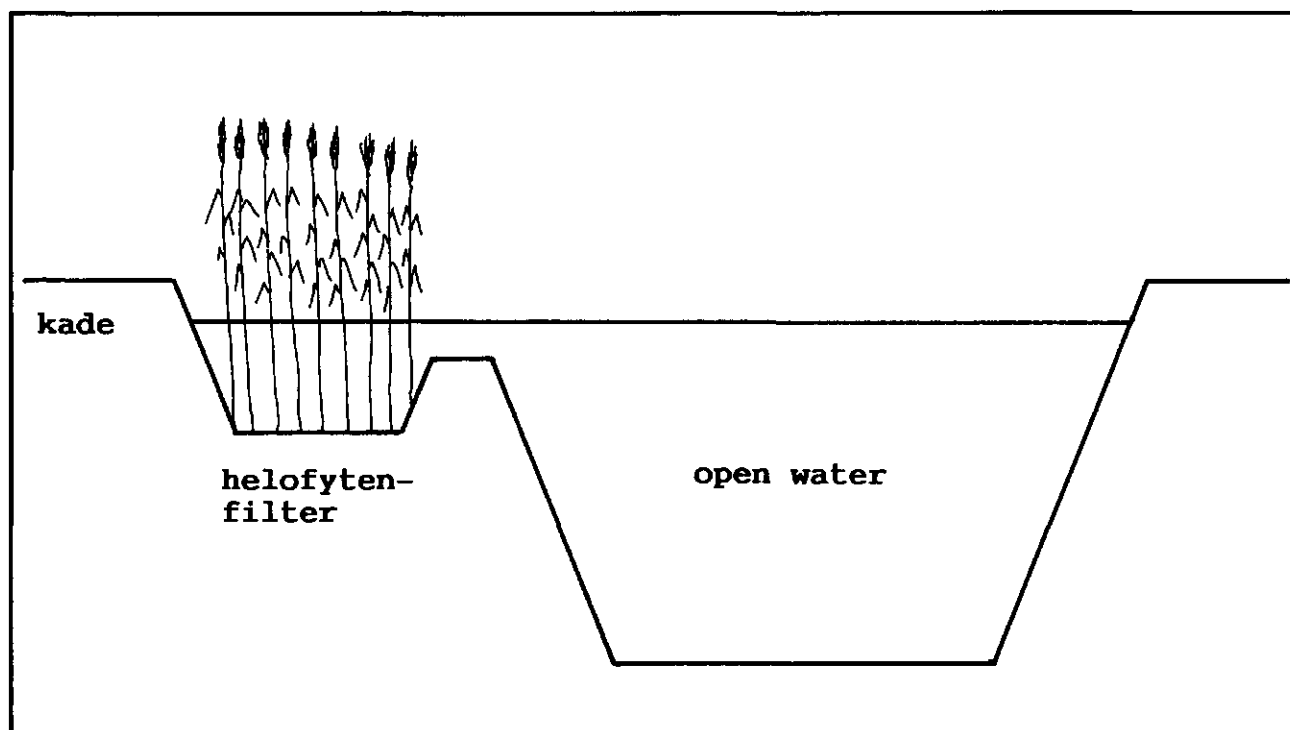
Wanneer de natuurwaarde van een helofytenfilter wordt vergeleken met die van de oorspronkelijke situatie vóór de aanleg van het helofytenfilter, kan er in bepaalde gevallen sprake zijn van "winst" voor de natuur. Te denken valt aan situaties waarin het gebied oorspronkelijk in gebruik was als landbouwgrond of wanneer het ging om een ernstig verdrogend natuurgebied. Ook kan het aanbrengen van een "helofyten-

zoom" langs de oever van een meer een positieve uitwerking hebben op de natuurwaarde van het meer.

In het algemeen kan worden gesteld dat de mogelijkheden voor natuurontwikkeling groter zijn bij een (grote) diversiteit aan milieutypen. In moerassen kan hierbij gedacht worden aan een afwisseling in het voorkomen van open water en land, diep en ondiep water, vegetatietypen en -structuren, bodemeigenschappen en wassertypen (Weller, 1978; Iedema en Kik, 1986; Van Herwaarden, 1987 en 1988; Feith, 1987; Harmsen e.a., 1988; Burgess en Evans, 1989). De rietvelden van Münster, waarin huishoudelijk

De mogelijkheden voor natuurontwikkeling in een helofytenfilter kunnen worden vergroot door het aanbrengen van een open verbinding tussen het helofytenfilter en het open water (figuur 12). Hierdoor is in het helofytenfilter geen volledige peilbeheersing meer mogelijk, waardoor de zuiveringseffektiviteit zal afnemen.

De mogelijke corridorfunctie van helofytenfilters voor verschillende soorten zoogdieren kan sterk worden vergroot door een natuurtechnische afwerking van taluds en het aanbrengen van voldoende dekking biedende begroeiing (Van Herwaarden, 1988). Voor aanbevelingen omtrent een natuurgericht vegetatiebeheer van de droge oevers wordt verwezen naar Van Her-



FIGUUR 12. Een schematische voorstelling van een helofytenfilter met een open verbinding naar het open water (naar De Jongh e.a., 1986)

afvalwater wordt ingelaten, herbergen erg veel moeras- en watervogels vanwege een grote diversiteit aan milieutypen (Biologisch Station Rieselfelder Münster, 1981). Het beheer en de inrichting van deze rietvelden is geheel afgestemd op de avifauna. Hierdoor is de zuiveringseffektiviteit van de rietvelden gering.

De nadelige effecten van het aanbrengen van verschillende milieutypen op de zuiveringsfunctie kunnen eventueel worden gecompenseerd door overdimensionering van het helofytenfilter. Ook kunnen helofytenfilters worden vergroot met zones waarbij de natuurontwikkeling centraal staat.

waarden (1987 en 1988) en Harmsen e.a. (1988). Knelpunten in de vorm van een verminderd zuiveringsresultaat als gevolg van een natuurtechnische inrichting van taluds en een natuurgericht beheer van de taludvegetatie zijn niet te verwachten.

De beperkingen die de waterkwaliteit in helofytenfilters stelt aan de mogelijkheden voor natuurontwikkeling, kunnen worden verminderd door compartimentering van het systeem. Hiermee kan worden bereikt dat verder van het inlaatpunt afgelegene compartimenten in mindere mate belast worden met eutroof water.

Bij helofytenfilters in de vorm van langgerekte, smalle waterlopen (slootssystemen) ontstaat

deze "compartimentering" als het ware op natuurlijke wijze. Daarbij verbetert de waterkwaliteit geleidelijk.

Goede mogelijkheden voor natuurontwikkeling zijn aanwezig in systemen met een (min of meer) constant niet al te hoog opgezet waterpeil. De negatieve effecten van peilfluctuaties voor aquatische organismen kunnen voor een deel worden ondervangen door een aangepaste inrichting van het helofytenfilter. Hierbij kan worden gedacht aan een samenhangend geheel van ondiepe en diepe delen.

Voor de ontwikkeling van bepaalde natuurwaarden kunnen de volgende maaibeheersmaatregelen worden getroffen:

- niet maaien in de zomer, maar in de periode oktober-maart;
- het aanhouden van een lagere maaifrequentie dan 1x per jaar;
- ieder jaar slechts een deel van het gebied maaien.

Al deze maatregelen kunnen van invloed zijn op het zuiveringsresultaat. Dit zal vooral gelden in helofytenfilters waarin de verwijdering van verontreinigingen uit het systeem plaats vindt door het maaien van de moerasvegetatie en vervolgens het maaisel af te voeren.

De nadelige effecten van een natuurgericht maaibeheer op de zuiveringsfunctie kunnen worden gecompenseerd door overdimensionering, maar in welke mate dit nodig is, kan niet in algemene zin worden aangegeven. Indien in het najaar en in de winter nalevering van nutriënten als gevolg van afbraak van strooisel aanvaardbaar is, is het maaien van de vegetatie in de zomermaanden niet noodzakelijk. Dit kan zich voordoen in gebieden waar alleen in de zomermaanden water wordt ingelaten.

Sanering van de waterbodem is periodiek noodzakelijk in alle typen helofytenfilters. Dit is een ingreep die een grote invloed heeft op de natuurwaarden in het helofytenfilter. De negatieve effecten kunnen worden beperkt door de werkzaamheden te faseren in de tijd en/of in de ruimte en door aangepaste methoden van baggeren (Oyen, 1987; Higler, 1984).

Resumerend kan worden gesteld, dat de mogelijkheden om in helofytenfilters natuurwaarden te ontwikkelen in combinatie met de zuiveringsfunctie vooral gelegen zijn in de potenties als broed-, fourageer- en overwinteringsgebied voor diverse soorten water- en moerasvogels. Om tot ontwikkeling van de potenties te komen kunnen de volgende maatregelen worden getroffen:

- a) De inrichting van helofytenfilters kan op natuurontwikkeling worden afgestemd door:

- het aanbrengen van variatie in milieutypen: open water/moeras/land en vegetatietypen en -structuren;
 - het aanbrengen van compartimentering als middel om afzonderlijke beheerseenheden te creëren;
 - een natuurtechnische inrichting van oeverzones en taluds;
 - het aanbrengen van voorzieningen om slib uit het inlaatwater te verwijderen, vóór dit het helofytenfilter bereikt;
 - het aanbrengen van ecologische verbinding zones met natuurgebieden in de omgeving.
- b) Met het beheer van een helofytenfilter kan worden ingespeeld op mogelijkheden voor natuurontwikkeling door:
- een peilbeheer te voeren dat zoveel mogelijk overeenkomt met het waterregime van natuurlijke moerassen;
 - bij het maaien rekening te houden met de eisen van de diverse soorten vogels (voedsel, dekking);
 - bij het peil- en maaibeheer gedurende een deel van het jaar de natuurfunctie te laten prevaleren boven de zuiveringsfunctie.

Wanneer de bovengenoemde inrichtings- en beheersmaatregelen tot een onaanvaardbare vermindering van de zuiveringseffectiviteit zal leiden, kan dit worden gecompenseerd door overdimensionering van het helofytenfilter.

4.3. RECREATIE

Grootschalige moerasgebieden met veel open water lenen zich in principe voor diverse (dag)-recreatieve activiteiten, zoals varen, vissen, zwemmen en natuurgerichte recreatie. Verblijfsrecreatie komt relatief weinig voor en is voornamelijk beperkt tot het overnachten op boten (Van der Ploeg e.a., 1984). In de Vierde Nota over Ruimtelijke Ordening (Ministerie VROM, 1988) krijgt het recreatief medegebruik van moerasgebieden duidelijk aandacht. Gesteld wordt dat nader dient te worden onderzocht of er mogelijkheden zijn voor natuurontwikkeling en recreatie op de lokaties waar helofytenfilters voor waterkwaliteitsverbetering worden ingezet. Aan de door Reijnen (1989) verrichte programmeringsstudie over de effecten van watersport op de natuur, kan veel informatie worden ontleend over de huidige kennis over de effecten van recreatief gebruik van moerasgebieden op natuurwaarden.

4.3.1. Perspectieven voor recreatief medegebruik

De recreatieve mogelijkheden van helofytenfilters liggen vooral op het vlak van natuurgerichte recreatie (Akkerman en Fiselier, 1988; Saris, 1988). Daarbij moet in samenhang met de mogelijkheden voor natuurontwikkeling (zie 4.2.) vooral worden gedacht aan de activiteit "vogels kijken". In vergelijking met natuurlijke moerassen met veel open water (bijv. de Weerribben), zijn helofytenfilters minder geschikt voor activiteiten als varen, vissen en zwemmen. Dit vanwege de geringe oppervlakte open water en de beperkte waterdiepte. Ook kunnen de waterkwaliteit, de moeilijke toegankelijkheid en de kans op overlast door stank of muggen, beperkende factoren vormen. Dit geldt in veel gevallen echter ook voor natuurlijke moerasgebieden. De mate waarin en de wijze waarop een helofytenfilter door recreanten wordt gebruikt, zal daarom in hoge mate worden bepaald door de beschikbare alternatieve recreatiemogelijkheden in de betreffende regio. Situering van helofytenfilters in de directe omgeving van (moeras)natuurgebieden vergroot de kans op ontwikkeling van natuurwaarden en daarmee de aantrekkelijkheid voor natuurgerichte recreatie. Situering nabij bevolkingscentra bevordert de bereikbaarheid.

Voor natuurgerichte recreatie zal bij het beheer en de inrichting van helofytenfilters vooral aandacht moeten worden gegeven aan de toegankelijkheid en het voorkomen van verstoring van bijv. vogels (Polman e.a., 1987). De toegankelijkheid kan worden vergroot door de aanleg van fiets- en wandelpaden, die eventueel ook een ontsluitingsfunctie kunnen vervullen ten behoeve van het zuiveringsbeheer. Het ontwerp van paden, gecombineerd met observatiepunten, kan ook worden gericht op het aanbrengen van een zonering teneinde verstoring van vogels door recreanten te voorkomen. Verstoring kan ook worden voorkomen door bepaalde delen van het gebied niet open te stellen voor recreanten, of door afsluiting gedurende een deel van het jaar (bijv. broedseizoen). Wanneer het helofytenfilter grenst aan een natuurgebied kunnen de inrichting en het beheer van het helofytenfilter ook worden afgestemd op de gewenste zonering van het recreatieve gebruik van het natuurgebied.

De geschiktheid van de onderscheiden helofytenfiltertypen (zie 3.2) voor recreatief medegebruik wordt sterk bepaald door de mate waarin deze zich lenen voor natuurontwikkeling. Duidelijk negatieve invloeden van extensieve, na-

tuurgerichte recreatie op de zuiveringsfunctie lijken niet aanwijsbaar.

4.3.2. Afstemming inrichting en beheer op multifunctioneel gebruik

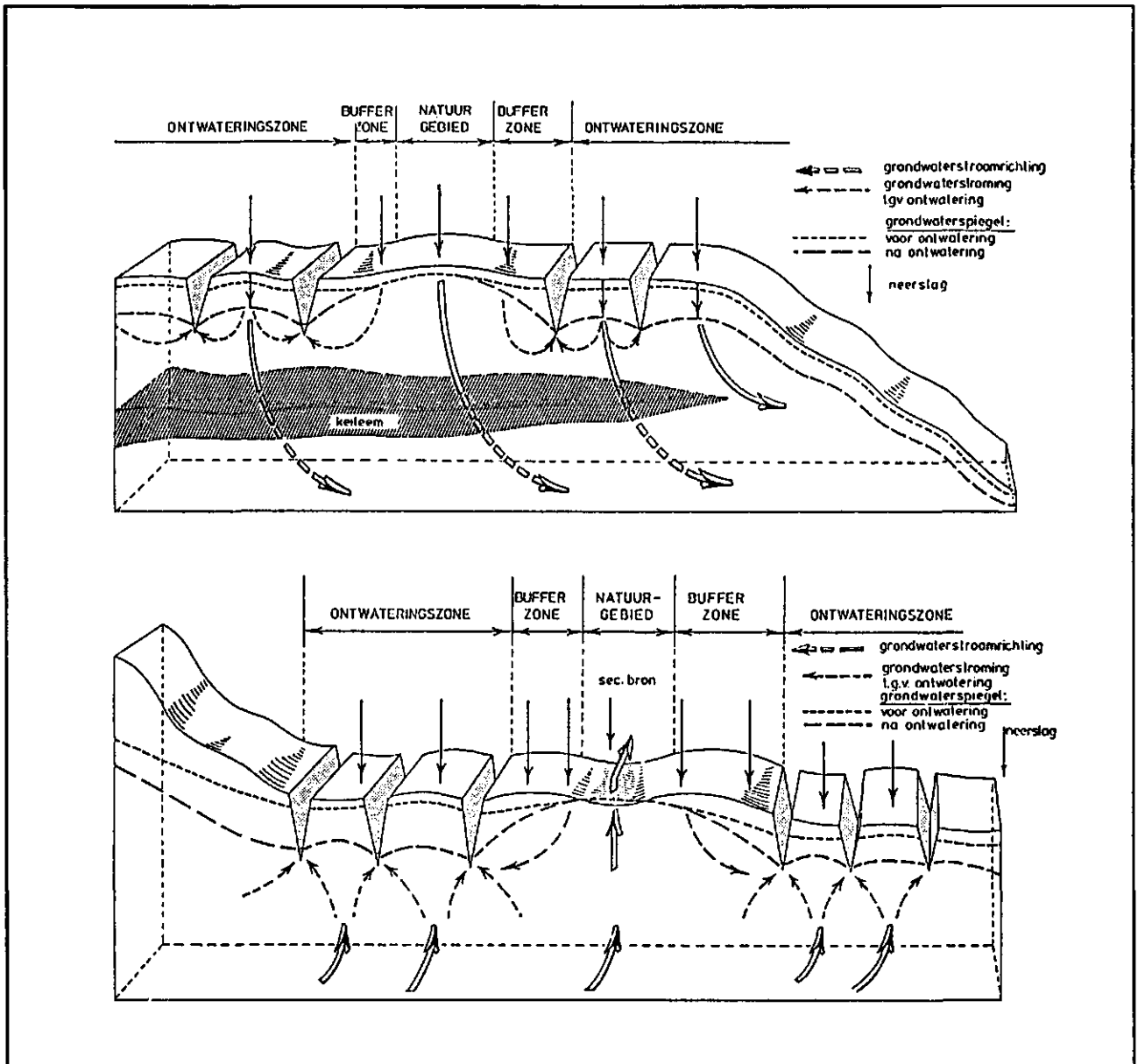
De mogelijkheden voor natuurgerichte recreatie in een helofytenfilter kunnen worden bevorderd door de inrichting en het beheer mede af te stemmen op natuurontwikkeling (zie 4.2). De mogelijkheden voor andere vormen van recreatie (varen, vissen, schaatsenrijden) nemen toe wanneer de oppervlakte open water wordt vergroot en er een stelsel van voldoende diepe geulen wordt gecreëerd. De zuiveringsfunctie kan hierdoor nadelig worden beïnvloed. Ook dient nog te worden gewezen op mogelijke beschadiging van rietvegetaties door varen en vissen en de nadelige effecten van opwerveling van bodemslib door vaarrecreatie.

4.4. HYDROLOGISCHE BUFFERFUNCTIE

Van hydrologische buffering is sprake wanneer een natuurgebied wordt afgeschermd van negatieve hydrologische invloeden vanuit een aangrenzend gebied, door een overgangszone waarbinnen de nadelige hydrologische effecten worden opgevangen (Kemmers, 1982). Een helofytenfilter als hydrologische bufferzone tussen een natuurgebied en zijn omgeving (veelal een landbouwgebied) kan de waterhuishouding van het natuurgebied in kwantitatief en kwalitatief opzicht positief beïnvloeden.

4.4.1. Buffering tegen peilverlaging

Peilverlaging in landbouwgebieden kan leiden tot een toename van de wegzijging vanuit het aangrenzende natuurgebied of tot een vermindering van de kwel naar het natuurgebied (figuur 13). In beide gevallen daalt de grondwaterstand in het natuurgebied. Een bufferzone kan deze nadelige effecten beperken en zo een bijdrage leveren aan de handhaving en/of ontwikkeling van natuurwaarden. Voor de berekening van het effect van een hydrologische bufferzone op het stromingspatroon zijn diverse methoden beschikbaar (Adriaanse, 1987). De keuze wordt sterk bepaald door de lokale en regionale waterhuishoudkundige situatie. Vooral de relatie tussen het grond- en oppervlaktewatersysteem is zeer belangrijk.



FIGUUR 13. Bufferzones ter compensatie van waterverlies door (a) toename van wegzijging ten gevolge van peilverlaging of (b) afname van kwel ten gevolge van peilverlaging (Kemmers, 1982).

Wanneer is besloten om in een bepaald gebied een helofytenfilter aan te leggen, kan combinatie worden overwogen met een hydrologische bufferfunctie. Dit kan belangrijke voordelen opleveren uit een oogpunt van ruimtebeslag. Een dergelijke bufferfunctie kan in principe worden vervuld door een helofytenfilter dat grenst aan het te bufferen natuurgebied. De lokatiekeuze, de dimensionering en het benodigde waterpeil worden sterk bepaald door de lokale geohydrologische situatie. Voor de waterhuishouding van het te bufferen natuurgebied dient bij voorkeur een zo constant mogelijk waterpeil in het helofytenfilter te worden gehanteerd. Het op veenvorming gerichte helofytenfiltertype is in dit opzicht gunstiger dan de an-

dere typen. Overigens kunnen ook de andere helofytenfiltertypen als hydrologische bufferzone fungeren; alleen zal de zuiveringseffectiviteit van die typen veelal afnemen. Dit kan worden ondervangen door overdimensionering. Bij combinatie van de zuiveringsfunctie met de bufferfunctie ontstaat in principe de mogelijkheid om waterverliezen uit het natuurgebied te compenseren door inlaat vanuit het helofytenfilter. Dit vereist echter een voldoende waterkwaliteit in het helofytenfilter en kan mogelijk ook in kwantitatief opzicht de nadelen van een verstoorde waterhuishouding in het natuurgebied niet volledig compenseren. Voor de toepassing van buffering moet vooral worden gedacht aan poldergebieden. Eventueel

kan een helofytenfilter dienen als bufferzone voor het herstel van verdroogde natuurgebieden op de hogere zandgronden. Gezien de hoge ligging in het landschap kan de watertoevoer naar het helofytenfilter een probleem zijn.

Bij de inrichting van het helofytenfilter is het van belang om in het oppervlaktewatersysteem een waterdichte scheiding aan te brengen tussen het helofytenfilter en het natuurgebied. Dit om zowel een verontreiniging van het natuurgebied, als een waterverlies uit het natuurgebied te voorkomen. Afhankelijk van de geohydrologische situatie kan deze toepassing van het helofytenfilter er toe leiden dat water uit het helofytenfilter in de ondergrond doordringt en het grondwater belast met verontreinigingen. In hoeverre dit problemen oproept is afhankelijk van de kwaliteit van het infiltrerende water uit het helofytenfilter en de geohydrologische situatie ter plaatse.

4.4.2. Buffering tegen verontreinigd kwelwater of oppervlaktewater

Wanneer een laag gelegen natuurgebied wordt belast met verontreinigd kwelwater uit een aangrenzend, hoger gelegen gebied, kan een helofytenfilter een hydrologische bufferfunctie vervullen door dit kwelwater op te vangen vóór dit het natuurgebied bereikt. Na zuivering in het helofytenfilter kan het water dan zonodig in het natuurgebied worden ingelaten.

Het gewenste peil, de lokatiekeuze, de inrichting en de dimensionering worden net als in het vorige geval, sterk bepaald door de lokale geohydrologische situatie. Het gevaar voor verontreiniging van de ondergrond door water uit het helofytenfilter, is in dit geval minder groot dan in een situatie zoals beschreven in 4.4.1. Het helofytenfilter ligt immers in een kwelgebied. Er dient echter rekening te worden gehouden met lokale wegzijgingssituaties.

Dit soort kwelsituaties kunnen zowel in hellende zandgebieden als in poldergebieden voorkomen. In beide gevallen zijn helofytenfilters toepasbaar. Door Adriaanse en Kemmers (1988) en Van Dort en Kemmers (1988) is onderzoek verricht naar methoden voor lokatiekeuze en ontwerp van bufferzones tegen nitraatinspoeling in beekdalén. De voor het Noord-Brabantse zandgebied ontwikkelde methodiek, wordt door de onderzoekers goed overdraagbaar geacht naar andere pleistocene gebieden in Nederland. De uitkomsten ervan zijn echter in hoge mate afhankelijk van gebiedsspecifieke parameterwaarden. Ook wijzen de onderzoekers erop dat nog geen ervaring is opgedaan met toepassing

van deze methode op zandgebieden die niet in een beekdal zijn gelegen.

Ook kan worden gedacht aan de toepassing van een helofytenfilter voor de zuivering van oppervlaktewater vóór dit een natuurgebied binnenstroomt (Akkerman en Fiselier, 1988; During e.a., 1989). Vooral in vlakke gebieden bestaat er bij deze toepassing een grotere vrijheid in de lokatiekeuze, dan wanneer het helofytenfilter als buffer voor verontreinigd kwelwater moet fungeren.

Indien het helofytenfilter de volledige beekafvoer moet verwerken vóór deze een natuurgebied bereikt (Akkerman en Fiselier, 1988) bepaalt het debiet de benodigde oppervlakte van het helofytenfilter. In het geval het afwateringssysteem de mogelijkheid biedt om slechts een deel van de afvoer via het helofytenfilter te laten verlopen, ontstaat de mogelijkheid om de oppervlakte van het helofytenfilter hetzij af te stemmen op de voor het natuurgebied benodigde capaciteit aan suppletiewater (During e.a., 1989), hetzij af te stemmen op de zuiveringscapaciteit.

4.5. RESERVOIRFUNCTIE

Een helofytenfilter fungeert als een reservoir, wanneer door manipulatie van het in/uitlaatregime, de hoeveelheid geborgen water in de tijd verandert. Dit kan meerdere doeleinden dienen:

- opslag van gebiedseigen water in perioden met een neerslagoverschot ten behoeve van gebruik in droge perioden;
- het tijdelijk, gedurende korte perioden, bergen van afvoerpieken teneinde optredende afvoergolven af te vlakken. Het helofytenfilter wordt in dit geval gebruikt als retentiereservoir. In de literatuur komt ook de term reductiereservoir voor.

Het reguleren van het waterpeil ten behoeve van de zuiveringsprocessen is reeds in hoofdstuk 3 beschreven.

4.5.1. Wateropslag voor gebruik in droge perioden

De mogelijkheden om helofytenfilters te benutten voor wateropslag in perioden met een neerslagoverschot ten behoeve van gebruik in droge perioden, worden beperkt door de volgende factoren:

- de zuiveringsfunctie stelt stringente eisen aan de waterdiepte en de toelaatbare peilfluctuaties. Binnen deze marges kunnen slechts relatief geringe hoeveelheden worden geborgen zodat de opslagfunctie een

relatief grote oppervlakte vraagt. Dit na-
deel geldt nog het minst voor bezinkput-
ten of deltasystemen (Akkerman en
Fiselier, 1988), waarbij de zuivering pri-
mair tot stand komt door bezinking van
stoffen;

- de opslagfunctie is moeilijk te combineren met helofytenfiltertypen die een laag voor-
jaarspeil vereisen of periodieke drooglegging van de moerasbodem.

Wanneer in een helofytenfilter wateropslag plaats vindt, wordt de zuiveringscapaciteit niet volledig benut; alleen het water dat is opgesla-
gen zal dan worden gezuiverd. Door een relatief lange verblijftijd kan een sterke verlaging van het nutriëntengehalte plaats vinden.

De mogelijkheden om in de winter en het voor-
jaar water in helofytenfilters op te slaan ten
behoefte van gebruik in droge zomerperioden
worden in beperkte mate haalbaar geacht van-
wege het grote ruimtebeslag dat hiervoor dan
nodig is (De Jongh e.a., 1987; Toet, 1987; De
Jong en Schrikkema, 1988; Rutten, 1988). Er is
geen systematisch, kwantitatief hydrologisch
onderzoek verricht naar de mogelijkheden om
helofytenfilters te benutten voor de berging van
neerslagoverschotten gedurende relatief korte
perioden met als doel deze onmiddellijk daarna
te gebruiken voor de watervoorziening.

4.5.2. Retentiereservoir

Retentiereservoirs worden toegepast in het
ontwerp van waterbeheersingsplannen om af-
voerpieken af te vlakken en daarmee de kans
op wateroverlast in het benedenstroomse ge-
bied te verkleinen, dan wel op de aanlegkosten
van het afwateringsstelsel te kunnen besparen.
Een retentiereservoir wordt ontworpen aan de
hand van de frequentie van voorkomen, de
grootte en de duur van de af te vlakken pieken
(Van den Berg, 1968; DVWK, 1983; Waterschap
De Berkel, 1984). Hiervoor is inzicht nodig in het
afvoergedrag van het betrokken stroomgebied.
Het ontwerp van dit soort systemen vereist de
toepassing van niet-stationaire modellen.

Uit de literatuur is geen onderzoek bekend naar
de mogelijkheden om helofytenfilters als reten-
tiereservoir te benutten. Eventuele mogelijkhe-
den zijn vooral te verwachten in situaties waarin
relatief geringe hoeveelheden gedurende een
korte periode (enkele dagen tot een week)
moeten worden geborgen. In die gevallen kan
het effect op de zuivering betrekkelijk gering
zijn. De in bepaalde gebieden tijdens piekaf-
voeren optredende vuillast kan echter proble-

men opleveren. Ook moet rekening worden
gehouden met schade aan de helofytenvegeta-
tie door hoge stroomsnelheden, erosie of sedi-
mentatie.

4.6. CONCLUSIES

Het toekennen van bepaalde secundaire func-
ties kan van invloed zijn op de dimensionering.
Daarnaast is de dimensionering van helofyten-
filters van groot belang voor de beoordeling van
de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik.
Bij het berekenen van de ruimtebeslag van
helofytenfilters zullen niet alleen de factoren
moeten worden meegenomen die betrekking
hebben op de zuiveringsfunctie maar ook op
het multifunctioneel gebruik.

Voor alle beschouwde nevenfuncties geldt dat
er op tal van punten sprake is van aanzienlijke
leemten in de kennis in relatie tot het functione-
ren van moerassystemen als zuiveringssysteem.
Daarbij bestaat vooral behoefte aan gekwantifi-
ceerd inzicht in de mate waarin een op een
nevenfunctie afgestemde lokatiekeuze, inrichting
en beheer van een helofytenfilter afbreuk kan
doen aan de zuiveringseffectiviteit. Met het oog
op de beschreven nevenfuncties is bijzondere
aandacht gewenst voor de beschrijving van de
effecten op de zuiveringseffectiviteit van:

- * op nevenfuncties gerichte vormen van
maaibeheer, peilbeheer en in/uitlaatbeheer;
- * het aanbrengen van ruimtelijke variatie
binnen het helofytenfilter met betrekking
tot vegetatietypen en -structuur en de
verhouding open water/moeras en diep/-
ondiep water.

Er is ook onvoldoende kennis aanwezig over de
invloed van de ruimtelijke vormgeving van helo-
fytenfilters op de zuiveringseffectiviteit. Eventue-
le verschillen in zuiveringseffectiviteit tussen
compacte en langgerekte vormen zijn van be-
lang met het oog op de vervulling van een cor-
ridorfunctie of een hydrologische bufferfunctie.

Op basis van deze kennis dienen de mogelijk-
heden voor de ontwikkeling van nevenfuncties
nader te worden onderzocht door inrichtings-
en beheersmaatregelen af te stemmen op ne-
venfuncties zonder de zuiveringsfunctie nadelig
te beïnvloeden. Lacunes doen zich vooral voor
met betrekking tot kennis over de potentiële
mogelijkheden van helofytenfilters voor natuur-

ontwikkeling en over de berging van oppervlaktewater.

Ten aanzien van natuurontwikkeling is een cruciale vraag in hoeverre een hoge mate van ruimtelijke variatie (door middel van inrichting en beheer) in combinatie met een geringe temporele variatie (beheer) nadelige effecten op de zuiveringsdoelstelling heeft.

Wat de bergingsfunctie betreft is er behoefte aan inzicht in de mogelijkheden om helofytenfilters te benutten voor het bergen van oppervlaktewater gedurende korte (weken) en zeer korte perioden (dagen). In het eerste geval gaat het om de berging van neerslagoverschotten die tijdens het groeiseizoen gedurende korte perioden kunnen voorkomen, ten behoeve van gebruik in de daarop aansluitende droge periode. In het tweede geval gaat het om de berging van piekafvoeren die zowel in de winter als in de zomer kunnen voorkomen, ter beperking van wateroverlast benedenstrooms (retentiereservoir). In beide gevallen is kennis vereist over de eventuele nadelige effecten op de zuivering van een op waterberging afgestemd peilbeheer. Deze effecten zullen sterk worden beïnvloed door de periode van het jaar waarin de peilfluctuaties te verwachten zijn. Voor retentiereservoirs is tevens inzicht gewenst in de mate waarin met afvoergolven gepaard gaande slibtransporten schade aan de zuiveringsfunctie kunnen berokkenen.

Een operationele toepassing van deze kennis vraagt om de ontwikkeling van simulatiemodellen waarmee onderzoek kan worden verricht naar de effectiviteit van de zuivering bij de diverse combinaties van helofytenfiltersystemen, inrichtingssituaties en beheersregime. De resultaten daarvan dienen inzicht te geven in de mogelijkheden om de inrichting en het beheer op de diverse nevenfuncties af te stemmen. Wanneer de combinatie van functies met zich meebrengt dat het helofytenfilter moet worden overgedimensioneerd om een bepaalde zuiveringscapaciteit te kunnen bereiken, dient deze mogelijkheid te worden afgewogen tegen het alternatief van een ruimtelijke scheiding van de zuiveringsfunctie en de betreffende nevenfunctie.

5. SITUERING EN INRICHTING

5.1. INLEIDING

Om over de situering en inrichting van helofytenfilters in een landschap uitspraken te kunnen doen is het nodig de doelstellingen van het helofytenfilter ten aanzien van de gewenste kwaliteit en kwantiteit van het uitstromende oppervlaktewater en eventueel de medegebruiksvormen te formuleren. Wanneer de doelstellingen met behulp van het helofytenfilter niet haalbaar zijn, bijvoorbeeld vanwege ruimtelijke, financiële of zuiveringstechnische problemen, dan liggen er drie mogelijkheden open. Men kan de doelstellingen veranderen, men kan afzien van de aanleg van het helofytenfilter, of men kan de bestaande situatie zodanig aanpassen dat de doelstelling wel gehaald wordt. In het geval men aan het maximale rendement van het helofytenfilter concessies doet door bijvoorbeeld het bestaande landschap met zijn eigenschappen, of door de medegebruiksvormen van het helofytenfilter (zoals recreatie) medebepalend te maken voor de inrichting van het helofytenfilter, worden ontwerpstudies een meer voor de hand liggend onderzoeksmiddel. In specifieke situaties wordt dan vanuit bepaalde oplossingsrichtingen nagegaan welke kennis ontbreekt om helofytenfilters te kunnen toepassen. Generalisatie van de uitkomsten ten behoeve van een onderzoekprogrammering is niet zinvol vanwege het lokale karakter van de benodigde gegevens.

Om de mogelijkheden en problemen bij situering en inpassing te kennen moet er in de eerste plaats inzicht zijn in de ruimtelijke voorwaarden waaraan voldaan moet worden om de gestelde functies van het helofytenfilter te kunnen vervullen. Deze functies vloeien voort uit de doelstellingen voor het moerassysteem. Deze doelstellingen richten zich in ieder geval op een bepaalde kwaliteit en kwantiteit van het oppervlaktewater en eventueel ook op ander gebruik dat men van het helofytenfilter wil maken. Om deze doelstellingen te realiseren moet aan een aantal technische eisen worden voldaan, die elk op zich een ruimtelijke component hebben. Behalve deze technisch-functionele kennis is er kennis nodig over landschapskenmerken die de toepassing van helofytenfilters bemoeilijken of vergemakkelijken. Tenslotte is, omdat een helofytenfilter een onderdeel wordt van de omgeving van mensen, ook inzicht nodig over de wijze waarop omwo-

nenden een helofytenfilter beleven en waarderen.

Resumerend gaat het bij de situering en inrichting van helofytenfilters in een landschap om kennis over:

1. de technisch-functionele organisatie van een helofytenfilter.
2. relaties tussen helofytenfilter en omgevingskenmerken.
3. beleving en waardering van helofytenfilters vanuit de omgeving.

Deze aspecten worden beschreven in paragraaf 5.2. In dit hoofdstuk is tevens een inventarisatie opgenomen van ideeën voor de planning van helofytenfilters in het landschap (paragraaf 5.3.). Nagegaan is hoe in verschillende bestaande ontwerpstudies getracht is helofytenfilters een plaats te geven in het landschap. Behalve dat hierdoor kennis wordt verkregen van aspecten die bij situering en inrichting van belang worden geacht, ontstaat er ook een beeld van oplossingsrichtingen die bedacht zijn voor de vraag hoe de relatie tussen de functionele eisen van een helofytenfilter en het bestaande landschap ruimtelijk kan worden georganiseerd.

Het hoofdstuk over situering en inrichting van helofytenfilters in een landschap heeft een beperkte strekking. De uitwerking van de problematiek is toegespitst op het helofytenfilter zelf. Er wordt niet ingegaan op de mogelijke betekenis van het gezuiverde oppervlaktewater voor ruimtegebruiksvormen buiten het helofytenfilter. Een aantal mogelijke ruimtelijke relaties wordt daardoor onbesproken gelaten. Zowel uit de behandelde ontwerpstudies als uit de constatering dat de situering altijd plaats vindt in een groter geheel wordt duidelijk dat deze externe relaties voor de lokatie en vormgeving van helofytenfilters belangrijk zijn.

De situering en inrichting van helofytenfilters kan behalve in planningtheoretische zin, ook in economische termen worden beschreven. In paragraaf 5.4. zal daarom ook kort worden ingegaan op de economische aspecten van situering, inrichting en beheer van helofytenfilters. Daartoe dienen de in- en outputs van het zuiveringssysteem te worden vertaald in kosten en baten. Hier zullen alleen de kosten aan de orde komen, omdat een beschrijving van de baten alleen mogelijk is in relatie tot het gebruik dat van het produkt 'schoon water' wordt gemaakt. Dit laatste valt buiten het kader van deze programmeringsstudie.

5.2. KENNISASPECTEN MET BETREK- KING TOT SITUERING EN IN- RICHTING

5.2.1. De technisch-functionele organisatie van een helofytenfilter

Het gaat hierbij om de ruimtelijke omstandigheden die nodig zijn om enerzijds de zuiveringsprocessen zo effectief mogelijk te laten verlopen, anderzijds het eventuele medegebruik mogelijk te maken. Voorbeelden hiervan zijn:

- dimensionering in relatie tot aan- en afvoer;
- waterdiepte en peilverschillen;
- structuur van de moerasvegetatie;
- voorwaarden om een gekozen zuiverings-systeemtype mogelijk te maken;
- noodzakelijk onderhoud;
- regulering van de verblijftijd;
- compartimentering.

Voor de verschillende vragen over dit onderwerp wordt verwezen naar de hoofdstukken 2 t/m 4, waar deze aspecten al uitvoerig aan de orde zijn geweest.

5.2.2. Relaties met landschapkenmerken

Hier gaat het om de betekenis van kenmerken van het bestaande landschap voor de ruimtelijke organisatie en de werking van helofytenfilters. Onderscheid kan worden gemaakt tussen (geo)hydrologische en ruimtegebruikskenmerken. De combinatie van deze factoren is voor elke situatie uniek en elke situatie levert haar eigen mogelijkheden en moeilijkheden op voor situering en inrichting. Een typologie van landschappelijke situaties wordt in dit kader dan ook weinig zinvol geacht. In voorgaande hoofdstukken en paragrafen zijn al veel specifieke fysische, chemische en biologische aspecten van bodem en water behandeld, voor zover van betekenis voor het functioneren van helofytenfilters. In dit hoofdstuk zal daarop in algemene zin nog enige aanvulling gegeven worden.

Hydrologische en geohydrologische aspecten.

De zuiveringseffectiviteit van helofytenfilters hangt ondermeer samen met interne hydrologische randvoorwaarden. Het optimaliseren van deze randvoorwaarden wordt nagestreefd door regulering van het in- en uitlaatre regime van het oppervlaktewater. De mogelijkheden om te reguleren worden bepaald door externe hydrologische factoren. Van belang is de permanente

aanwezigheid van oppervlaktewater. De interactie van het oppervlaktewater in het helofytenfilter met het grondwater vormt een onderdeel van het in- en uitlaatre regime. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen ondiepe toegen/afstroming vanuit of naar de directe omgeving en kwel en/of wegzijging vanuit of naar de ondergrond. De intensiteit van de optredende processen wordt bepaald door de hydrologische eigenschappen van het medium, het voorkomen van peilverschillen tussen het oppervlaktewater van het helofytenfilter en dat in de omgeving en de stijghoogte van het grondwater in de ondergrond.

Het water dat in helofytenfilters wordt ingelaten kan onderscheiden worden in:

- Gebiedseigen oppervlaktewater: neerslag- en kwelwater dat binnen het gebied verzameld en gebruikt wordt. De samenstelling van het water is binnen dit gebied overal min of meer hetzelfde.
- Gebiedsvreemd oppervlaktewater: neerslag- en kwelwater dat van buiten het gebied komt, en dat in samenstelling vaak kan afwijken van het oppervlaktewater ter plaatse.

Het water kan de volgende herkomst hebben:

- Uit de grote rivieren (Rijn- en Maaswater). Als inlaatwater beïnvloedt het via verschillende watersystemen een groot deel van de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren. Dit water wordt veel gebruikt om watertekorten aan te vullen of watergangen door te spoelen.
- Uit beken, onderscheiden in permanent en niet-permanent watervoerend. Situering en inrichting in beekdalen is sterk afhankelijk van de fluctuaties in beekafvoer en waterkwaliteit.
- Kwelwater, onderscheiden naar het chloridegehalte. Zoete kwel komt vooral voor langs de randen van het pleistoceen en in beekdalen. In kustgebieden wordt de kwel plaatselijk zouter.

In relatie tot het functioneren van een helofytenfilter volgt uit het voorgaande dat informatie over de volgende gebiedskenmerken hierbij van belang is, zoals:

- de waterhuishoudkundige situatie: peilbeheer, waterlopenpatroon, aanwezigheid van natuurlijke grenzen voor afbakening;
- grondwaterstandfluctuaties: grondwatertrappen;
- de hydrologische situatie: potentiële kwel-/wegzijgingsgebieden;

- de geohydrologische opbouw: indeling in slecht doorlatende lagen en watervoerende pakketten (van belang hierbij is de diepte tot waarop een wisselwerking mogelijk is met een helofytenfilter);
- hydrologische bodemconstanten: hydraulische eigenschappen van de waterbodem en van slecht doorlatende lagen, drainageweerstanden en het doorlaatvermogen van watervoerende pakketten.

Omringend ruimtegebruik.

De betekenis van het omringend ruimtegebruik bij inpassingsvraagstukken is vooral gelegen in de mogelijke verontreiniging van het helofytenfilter vanuit de omgeving en de gevolgen van de relatief grote ruimte die een helofytenfilter in beslag neemt voor andere functies in het gebied. Dat laatste betekent bijvoorbeeld dat de aanleg van een helofytenfilter in een gebied met hoge grondprijzen nogal kostbaar is. Ook vormt een helofytenfilter een tamelijk ontoegankelijk element binnen de infrastructuur van een gebied. In gebieden met een relatief dicht infrastructuurnetwerk kan dit problemen opleveren. Een helofytenfilter dat in een landbouwgebied ligt, kan via af- en uitspoeling worden belast met meststoffen en bestrijdingsmiddelen uit het landbouwgebied. Deze verontreinigingen kunnen zowel diffuus als geconcentreerd van aard zijn.

Wanneer het omringend ruimtegebruik een natuurgebied is dan zal het meestal een gebied betreffen dat in de oorspronkelijke situatie afhankelijk is van grondwater of oppervlaktewater. In het algemeen zullen dit de lagere delen van het landschap betreffen die bodemkundig worden gekarakteriseerd als laagveen, klei op veen, kleigronden enz. Als men in hoger gelegen delen van het landschap (zandgronden, (afgegraven) hoogveengronden), met duidelijke regenwaterafhankelijkheid, helofytenfilters wil toepassen dan zal men met behulp van spaarbekkens het neerslagoverschot gedeeltelijk moeten vast houden.

Is het omringend ruimtegebruik stedelijk van aard, dan zal de mogelijkheid van grondverwerking een belangrijke factor zijn in de overwegingen voor aanleg van een helofytenfilter. De experimentele aanleg van een helofytenfilter bij Houten geeft aan dat het ook in een stedelijke omgeving denkbaar is om van helofytenfilters gebruik te maken (zie ook paragraaf 5.3.). Vooral de aard van de verontreinigingen zal van invloed zijn op de toepassing van helofytenfilters. Men kan zich voorstellen dat bij steden

meer organische micro-verontreinigingen en zware metalen in het water terecht kunnen komen. Toepassing van helofytenfilters is in die gevallen niet voor de hand liggend.

5.2.3. Belevingsaspecten

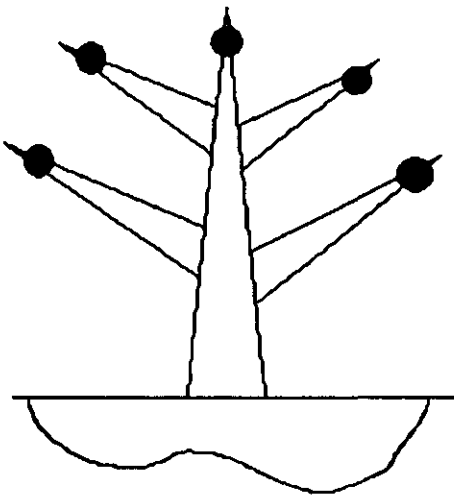
Aan het helofytenfilter zijn ook belevingsaspecten te onderscheiden. Onder beleving wordt zowel waarneming als waardering verstaan (Coeterier, 1987). Vanuit het onderzoek over de beleving van landschapselementen kunnen enige algemene opmerkingen worden gemaakt. De vraag of een landschapselement past in zijn omgeving is uiteindelijk een normatief probleem waarbij vooral omwonenden en gebruikers van het omgevende landschap betrokken zijn. Een nieuw landschapselement als een helofytenfilter zal een verandering teweegbrengen in een bestaand gebied. Dit betekent onder meer een verandering in gebruik en waarneming van een gebied, en zal daarom zowel positieve als negatieve reacties oproepen bij de bevolking. Ook de keuze voor een helofytenfilter en eventueel haar medegebruik is uitdrukking van een bepaalde waardering door onder meer de lokale bevolking. De visueel-ruimtelijke en cultuurhistorische waardering van een landschap horen hier in feite ook toe.

Op welke gronden beoordelen de waarnemers de passendheid van landschapselementen? Uitspraken hierover door middel van enquêtes hebben een geringe betrouwbaarheid vanwege het anekdotische en subjectieve karakter. In een aantal studies is geprobeerd in dit probleem wat structuur te brengen.

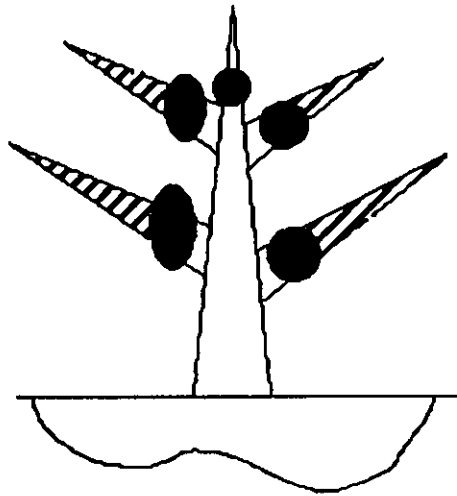
1. Er kan een aantal maatstaven worden onderscheiden waarmee mensen hun omgeving beoordelen, en die men de basiskwaliteiten van een landschap zou kunnen noemen. Dit zijn:
 - gebruik: zowel het plaatselijk gebruik als de eigen gebruiksmogelijkheden zijn kwaliteiten waaraan een waardering wordt gekoppeld;
 - eenheid: de mate waarin het landschap samenhang vertoont;
 - ruimtelijkheid: niet alleen de ruimte maar ook de compositie van de ruimtevormende elementen behoort hiertoe;
 - historisch karakter: niet zozeer de leeftijd of ouderdom, maar vooral de vergroeidheid van het element met het landschap is hierbij belangrijk.
 - natuurlijkheid: dit is meer dan de aanwezigheid van flora en fauna. Het is de mate

waarin de natuur, met de mens als onderdeel, een plaats in het geheel heeft.

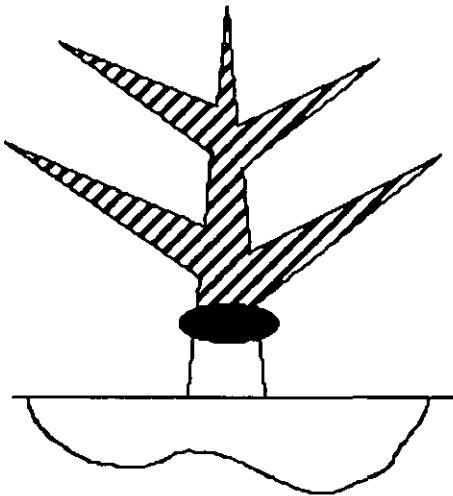
gecomprimeerd filter



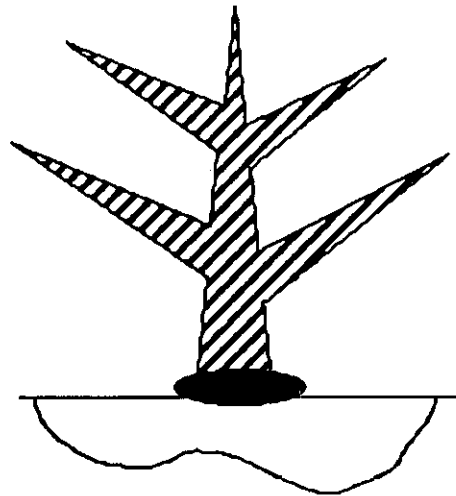
a. filter in brongebied



b. filter vóór hoofdbeekloop

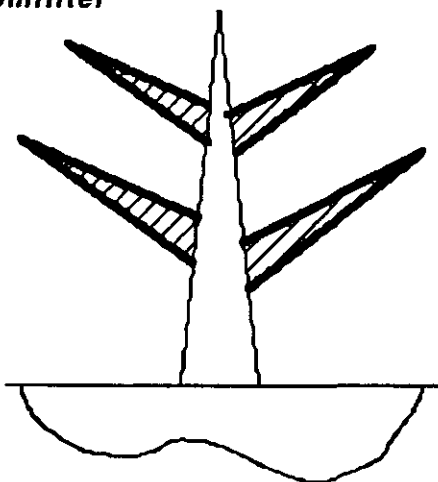


c. filter ná laatste zijbeek

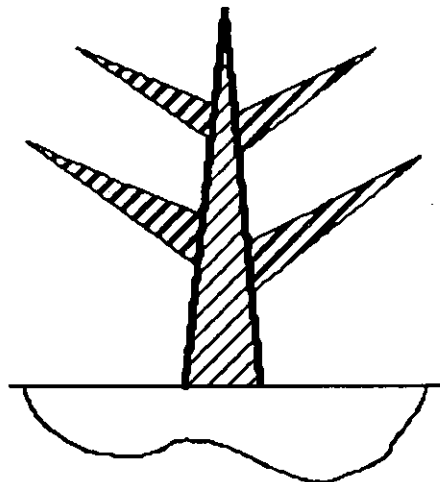


d. filter vóór waterontvangend gebied

zoomfilter

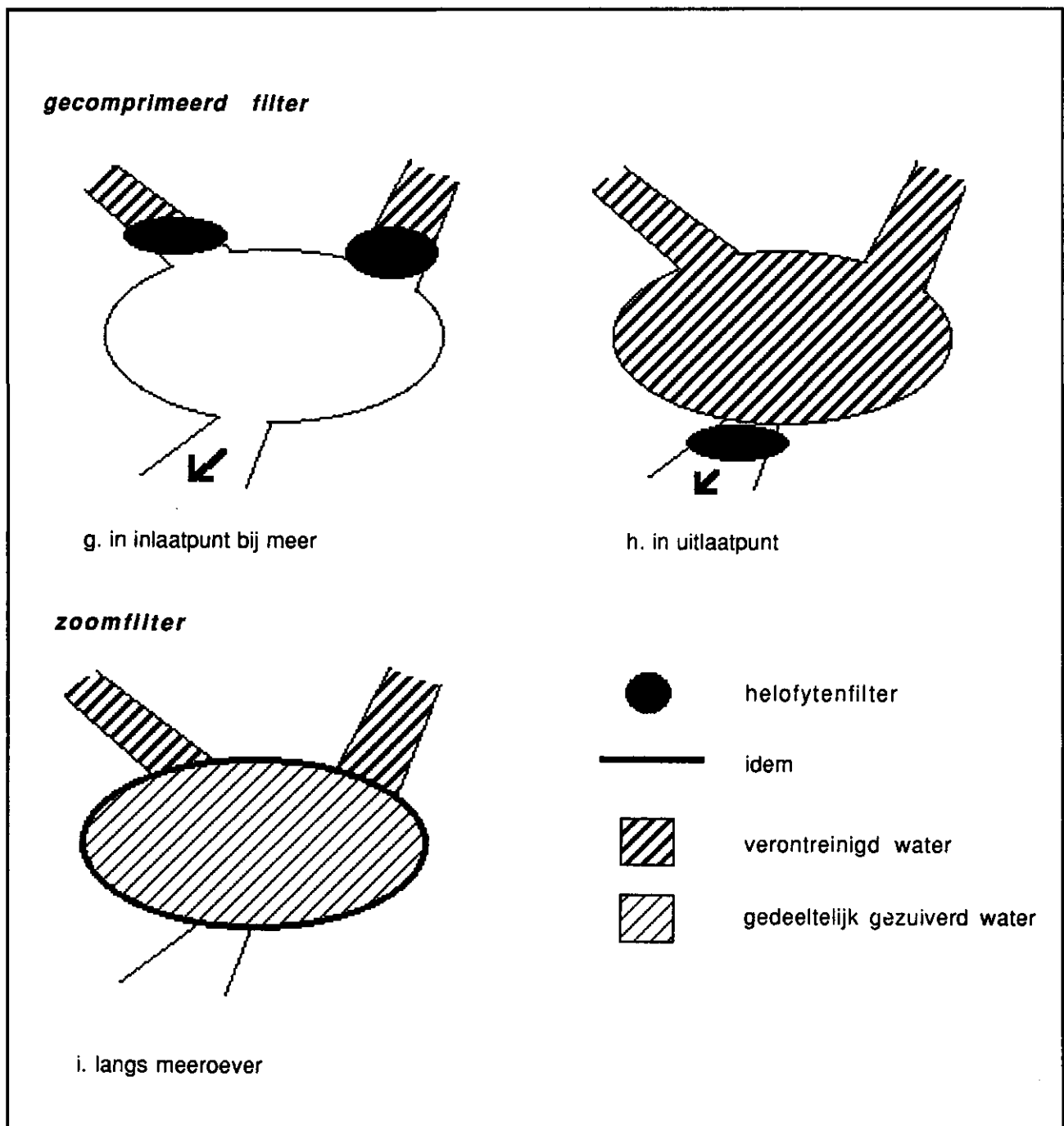


e. langs zijbeken



f. langs hoofdbeek

FIGUUR 14 A. Een aantal lokatieprincipes voor helofytenfilters in beekstelsels.



FIGUUR 14 B. Een aantal lokatieprincipes voor helofytenfilters in meren en plassen.

De waarde van deze criteria zal voor iedereen verschillend zijn.

2. Het is mogelijk om de effecten van een landschapselement, zoals mensen die ervaren, in een hiërarchisch verband te zetten. Een effect wordt belangrijker gevonden, naarmate het hoger in de hiërarchie staat. In dit geval effecten die een gevolg zijn van de aanwezigheid van een helofytenfilter. De hiërarchie moet dan gebaseerd zijn op een onderzoek onder bewoners/gebruikers. Wil

men de negatieve aspecten opheffen dan moeten eerst de hoger geplaatste effecten worden opgelost (Te Boekhorst e.a., 1987).

3. Men kan op een systematische manier meerdere deskundigen een oordeel laten geven over de inpassing: expert-judgment (Coeterier e.a., 1984; Van Leeuwen, 1988).

Uit de literatuur over helofytenfilters blijkt voor dit onderdeel van de beschouwing – de wijze waarop mensen helofytenfilters beleven en

waarden – nog weinig resultaten voorhanden.

5.3. UITGANGSPUNTEN VOOR PLANNING EN ONTWERP

Alvorens in te gaan op enkele plannen van helofytenfilters wordt eerst een aantal algemene lokatiemogelijkheden behandeld.

Bij de toepassing van helofytenfilters voor verbetering van waterkwaliteit is het niet alleen van belang dat een goed functionerend helofytenfilter wordt aangelegd, maar dat ook de plaats van het systeem ten opzichte van de vervuiliingsbron in de beschouwing wordt betrokken.

Ook is het belangrijk om te weten voor welk niveau van ruimtelijke ordening het helofytenfilter betekenis heeft (lokaal, regionaal, mogelijk nationaal en internationaal). Een helofytenfilter kan bijvoorbeeld als oplossing voor een plaatselijk probleem worden aangelegd. Het kan als onderdeel worden opgenomen in een samenhangend systeem van zuiveringswerken voor plaatselijke of regionale behoefte. Ook kan het als onderdeel in een groter waterhuishoudkundig systeem geplaatst worden (b.v. bij spaarbekkens voor opslag van drink-, landbouw- of industriewater, of in beek- en rivierstelsels).

5.3.1. Lokatiemogelijkheden.

In figuur 14 A en B zijn enkele lokatieprincipes van helofytenfilters in beekstelsels en meren en plassen weergegeven.

Onderscheid wordt gemaakt in een ligging vlak ná de verontreinigingsbron (vooral toepasbaar bij puntlozingen) of vlak vóór het gebied waar een bepaalde waterkwaliteit wordt gewenst. Dan zijn gecomprimeerde systemen voor de hand liggend, met een nauwkeurige controle van zuiveringsvariabelen als waterkwantiteit, verblijftijd en -periode en beheer. Wanneer er sprake is van diffuse lozingen kan over een lang traject gezuiverd worden door een watersysteembegeleidende helofytenfilter (zoomsysteem) of er kunnen helofytenfilters worden geplaatst ná de verontreinigde zone.

De variatie in afvoeren van beken heeft consequenties voor de aanleg van helofytenfilters. Piekafoeren zullen zodanig opgevangen moeten worden dat de verblijftijd van het water in het helofytenfilter voldoende lang kan worden gemaakt om profijt te hebben van de werking van het systeem. Dat kan er toe leiden dat soms gebruik moet worden gemaakt van een opslagsysteem om de piekafoeren te bufferen.

Is de stroomsnelheid gering dan kan in het watersysteem een helofytenfilter aangelegd worden, bijvoorbeeld in de vorm van zomen langs de oever. Indien grote hoeveelheden oppervlaktewater moet worden gezuiverd, dan zijn grote oppervlakten helofytenfilter nodig. De voor de waterstroming in het helofytenfilter benodigde verhang kan dan een belangrijke rol spelen bij het ontwerp. Vooral bij langgerekte, smalle helofytenfilters kan het een probleem worden om voldoende verhang te creëren voor het overwinnen van de door de vegetatie veroorzaakte stromingsweerstand. De plaatselijke daling van het maaiveld bepaalt dan in belangrijke mate de inrichting van het helofytenfilter.

5.3.2. Plannen

Uit enkele studies, die het probleem behandelen hoe een ontwerp voor een helofytenfilter in een bepaald gebied er uit zou kunnen zien, zijn de belangrijkste ontwerputgangspunten verzameld. Doel ervan is het geven van een overzicht van verschillende benaderingen. Een kritische beschouwing van de verschillende uitgangspunten is in het kader van deze programmeringsstudie niet relevant: het zou te makkelijk vervallen in polemieken en opvattingendiscussie. Behalve in Houten zijn de ontwerpen niet uitgevoerd. Een evaluatie van de ontwerpen op basis van de feitelijke werking is daarom onmogelijk.

Helofytenfilters aan een laaglandbeek (De Jong en Schrikkema, 1988).

Situatie: beekstelsel in Achterhoek.

Doelstelling: verbetering waterkwaliteit van de Baakse Beek en Veengoot tot de ecologische norm.

Voor het ontwerp zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- ruimtelijke samenhang maken tussen helofytenfilter en landschap en helofytenfilters onderling;
- gebiedseigenschappen hebben invloed op vormgeving;
- ruimtelijke eenheid maken van verschillende elementen;
- geen aanpassing vorm aan bestaande situatie, maar met behulp van helofytenfilter een nieuw landschap maken;
- een helofytenfilter is een natuurtechnisch object, geoptimaliseerd naar zijn zuiveringsfunctie;
- in het ontwerp moet het samengaan van stroming en stilstand en van natuur en cultuur tot uiting komen.

Water en landschap in een veenweidegebied: de Krimpenerwaard (De Jongh e.a., 1987).

Situatie: veenweidegebied.

Doelstelling: zuivering van ingelaten rivierwater en buffering van gebieden met hoge ecologische waarde.

Met betrekking tot het ontwerp zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- het nieuwe element wordt zo goed mogelijk afgestemd op en ingepast in het bestaande landschap (contextuele landschapsplanning);
- ruimtelijke harmonie;
- eenheid in verscheidenheid;
- eigen, duidelijk herkenbare vorm;
- onderdeel van spaarbekkens;
- voorkeur voor vloeiveld met rietbegroeiing;
- mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik, met name recreatief medegebruik.

Waterlinies (Studiegroep Polderland, 1987).

Situatie: veen- en klei-op-veengebieden in het noordelijk Groene Hart.

Doelstelling: zuivering van afvalwater en eutroof boezemwater.

Ontwerpideeën:

- slootverlenging;
- onderscheid tussen intensief (vloeivelden, slootsystemen) en extensief beheerde systemen (veenmoerassen);
- lokalisering past zich aan aan het bestaande waterhuishoudkundige systeem: bij belangrijke waterinlaten, in bestaande moerasgebieden, plaatselijke verbreding van bestaande sloten, e.d.

Rietgorzen in de Randmeren (Akkerman en Fisselier, 1988).

Situatie: Veluwemeer en Nuldernauw.

Doelstelling: zuivering van oppervlaktewater uit de Hierdense en de Schuitenbeek bij de uitmonding in de Randmeren en van het effluent van de RWZI-Harderwijk.

Uitgangspunten voor het ontwerp:

- ontwerpen hebben een experimenteel karakter; daarom flexibele opzet met betrekking tot aanleg en beheer: compartimentering en fasering;
- behalve voor waterkwaliteitsverbetering ook mogelijkheden scheppen voor natuurontwikkeling en extensieve natuurgerichte recreatie;
- behalve toepassing van helofytenfilters worden ook andere methoden voor (natuurlijke) verbetering van de waterkwaliteit ingezet (gedeeltelijke inundatie, bezinkputten, sedimentatievelden, zandbanken, golfbrekers, e.d.);

- ontwerp beheerst door technisch-functionele voorwaarden.

Biezenvelden in Houten (Mook e.a., 1986).

Situatie: aan de rand van de stad aan de buitenzijde van de stedelijke rondweg, kleibodem.

Doelstelling: zuivering van riool-overstortwater bij piekbelasting (ongeveer 2x per jaar). Effluent wordt tevens gebruikt als inlaatwater voor natuurgraslandgebied.

Uitgangspunten voor het ontwerp:

- primaire functie van het biezenveld staat voorop: reductie vuilemissie oppervlaktewater en beheersefficiëntie;
- ruimtegebruik zo efficiënt mogelijk: lange slootlengte op klein oppervlak;
- moet kunnen concurreren met gangbare oplossing voor opvang van verontreinigd overstortwater (bergbezinkbassins);
- niet toegankelijk voor publiek.

Helofytenfilters kunnen ook een rol spelen in, of betekenis hebben voor, planningsconcepten voor lokale of regionale gebieden. Hieronder wordt voor 2 concepten die tegenwoordig in de (vak-)publieke belangstelling staan aangegeven op welke wijze helofytenfilters daarin een rol kunnen spelen. Dan blijkt tevens dat de betekenis van een helofytenfilter verder gaat dan alleen voor de plaats zelf:-

- Ecologische infrastructuur (Ministerie L en V en Ministerie VROM, 1984). Met de vorming van een ecologische infrastructuur wordt getracht de bestaansvoorwaarden voor plante- en diersoorten te verbeteren. Een helofytenfilter kan daarin 3 functies hebben:

* barrière: het kan een belemmering vormen in als ongewenst beschouwde faunabewegingen en/of stofstromen;

* corridor: het moeras kan daarentegen ook een mogelijkheid bieden voor als gewenst beschouwde dierbewegingen en stofstromen;

* habitat: een helofytenfilter biedt een rust-, voedsel- en broedgebied voor diverse diersoorten.

- Casco-concept (Kerkstra en Vrijlandt, 1988; Ministerie VROM, 1988). In het casco-concept wordt uitgegaan van een ruimtelijke scheiding van ruimtegebruiksvormen die in dynamisch opzicht relatief sterk van elkaar verschillen. Een helofytenfilter kan daarin dan beschouwd wor-

den als laagdynamische functie met een regelmatig beheer.

5.4. ECONOMISCHE ASPECTEN

De keuze voor de inrichting, het beheer en de dimensionering van een helofytenfilter en de inpassing van het systeem als element in het landschap kan mede op economische overwegingen worden gebaseerd. De kosten en baten van een helofytenfilter kunnen sterk worden beïnvloed door de lokatiekeuze, de eventueel naast de zuiveringsfunctie te vervullen andere functies en het grondgebruik in de omgeving van het helofytenfilter. Zoals in de inleiding van dit hoofdstuk is aangegeven wordt in deze programmeringsstudie alleen ingegaan op de kostenaspecten.

5.4.1. Inrichtings- en beheerskosten.

In bestaande studies naar de aanleg van helofytenfilters is het ruimtebeslag meegenomen als de aankoopkosten van het benodigde areaal. Voor de toepassing van helofytenfilters in de Randmeren stellen Akkerman en Fiselier (1988) deze kosten op nul, omdat de helofytenfilters in open water zijn gesitueerd. Bij de aanleg van helofytenfilters op het land wordt door Fiselier (1987) uitgegaan van een grondprijs van f 20.000,-/ha, hetgeen zeker geen extreem hoog bedrag is. De actuele prijzen van landbouwgrond liggen in veel gebieden aanzienlijk hoger, ook wanneer wordt uitgegaan van grond zonder melkquotum.

In de HELP-evaluatiemethode (Bosma, 1986), die in Nederland algemeen wordt toegepast bij de voorbereiding van landinrichtingsprojecten, worden niet de kosten van grondverwerving in rekening gebracht, maar de waarde van de produktieverliezen die gepaard gaan met de veranderingen in grondgebruik. Deze kunnen sterk variëren, afhankelijk van het grondgebruik vòòr de aanleg van het helofytenfilter.

Voor de inrichtingskosten (exclusief beplanting) worden in bestaande studies bedragen geraamd, uiteenlopend van f 3.000,-/ha tot f 11.000,-/ha. De verschillen hangen samen met verschillen in het ontwerp. Gesteld kan worden dat er voldoende kennis beschikbaar is om een civieltechnisch ontwerp in een kostenbegroting te kunnen vertalen. Voorts vormen de inrichtingskosten een relatief klein deel van de totale kosten van een helofytenfilter.

De beplantingskosten vormen een relatief grote kostenpost. Rutten (1988) raamt de rietinplant op ca f 70.000,-/ha, Akkerman en Fiselier (1988) komen op een bedrag van f 28.000,-/ha. De kosten worden sterk bepaald door de keuze om riet in te planten, in te zaaien, dan wel te wachten op spontane ontwikkeling. Ook de plantdichtheid is van grote invloed op de kosten. Een lagere plantdichtheid dan het in de praktijk gehanteerde aantal van 8-12 stuks/m², kan tot aanzienlijke kostenbesparingen leiden. Hiertegenover staat een geringere zuiveringsefficiëntie gedurende de periode die het riet nodig heeft om een optimale dichtheid te bereiken. Bij een aanplant van biezen met een dichtheid van 2 stuks/m² wordt na 1-2 jaar een maximale dichtheid bereikt. Hiermee worden de kosten voor plantmateriaal tot f 20.000,-/ha beperkt (Clevering en Van Gulik, 1990).

In de uitgevoerde studies wordt veelal de voorkeur gegeven aan riet boven biezen. Deze voorkeur is ten dele te herleiden tot onzekerheden omtrent de opbrengst en de kwaliteit van biezen.

De kosten van beheer en onderhoud kunnen worden onderscheiden in kosten voor het vegetatiebeheer (maaïen), kosten voor het (jaarlijkse) onderhoud van de aangelegde infrastructuur en kosten van het periodiek noodzakelijke groot onderhoud. Eventuele opbrengsten uit de verkoop van riet en/of biezen kunnen in mindering gebracht worden op de beheerskosten. Op grond van de te verwachten opbrengsten en prijzen van riet (Rutten, 1988) kan er sprake zijn van niet te verwaarlozen marges tussen kosten en opbrengsten van het maaibeheer. Het gaat hierbij om de keuze tussen het in het najaar gemaaid bladriet of dekriet, dat in de winter wordt gemaaid. De verschillen in netto-opbrengst tussen blad- en dekriet kunnen zodanig groot zijn, dat een keuze voor overdimensionering economisch interessant kan zijn.

Ook bij biezeenteelt kan er sprake zijn van een positief saldo tussen opbrengsten en kosten. In de praktijk worden opbrengsten van f 12.000,-/ha genoemd bij verkoop van biezen met oogstkosten voor rekening van de koper (Clevering en Van Gulik, 1990).

Indien het maaisel niet kan worden afgezet, zal het moeten worden opgeslagen of worden verbrand. De kosten nemen dan toe met transport- en verwerkingskosten. Dit geldt ook voor het baggerslib uit het helofytenfilter. In een nationaal-economische waardering van deze kosten moet behalve met de directe kosten, ook rekening gehouden worden met de nadelige

effecten van de te nemen maatregelen, zoals bij verbranding.

De jaarlijkse onderhoudskosten van de aangelegde infrastructuur kunnen voldoende nauwkeurig worden geraamd door deze op de voor civiel-technische werken gebruikelijke wijze te relateren aan de inrichtingskosten. Met het groot onderhoud, de periodiek noodzakelijke sanering van het helofytenfilter, is nog weinig ervaring opgedaan. Over de kosten daarvan bestaan nog grote onzekerheden, onder andere wat het aan te houden tijdsinterval tussen de onderhoudsbeurten betreft. Dit is direct afhankelijk van de gebiedssituatie en het verloop van de zuiveringsprocessen.

In ontwerpstudies voor de Veluwerandmeren zijn de kosten per verwijderde kg fosfor berekend, zowel voor de situatie met als zonder inplant van riet. De kosten variëren in de aanloopfase van f 115,- tot f 193,- per kg fosfor per jaar en in de eindfase van f 193,- tot f 255,- per fosfor per jaar (Akkerman e.a. 1990). Deze getallen geven slechts een indicatie over de kosten. Als gunstige omstandigheid voor de Veluwerandmeren geldt, dat geen kosten in rekening behoeven te worden gebracht voor het benodigde ruimtebeslag.

5.4.2. Kosten in relatie tot multifunctioneel gebruik en situering in het landschap

In het voorgaande is ingegaan op diverse algemene aspecten van de aanleg- en exploitatie van helofytenfilters. De specifieke lokatiegebonden omstandigheden zijn echter zeer belangrijk om kostenramingen te kunnen maken in concrete gevallen, waarin de aanleg van een helofytenfilter op een bepaalde plaats wordt overwogen. De kosten van aanleg en exploitatie van een helofytenfilter worden bepaald door:

- de kosten die in rekening moeten worden gebracht voor het ruimtebeslag. Deze hangen samen met de alternatieve gebruiksmogelijkheden van de grond ter plaatse en de waardering daarvan (nationaal-economisch/privaateconomisch);
- de mogelijkheden om werk met werk te maken door inpassing in inrichtings- en/of beheersactiviteiten ten behoeve van andere functies ter plaatse of in de omgeving van het helofytenfilter;
- de eventuele multifunctionaliteit in de toepassing van het helofytenfilter en de mate waarin andere functies naast de zuiveringsfunctie tot ontwikkeling kunnen komen.

Deze punten worden in bestaande studies wel gesignaleerd, maar er is geen onderzoek bekend waarin dit grondig wordt geanalyseerd en gekwantificeerd, en waarbij de procestechische, de ruimtelijke en de economische aspecten op een samenhangende en evenwichtige wijze worden uitgewerkt. Wat de economische aspecten betreft kan daarbij gebruik gemaakt worden van beschikbare theorieën en methoden voor de toerekening van kosten aan de verschillende gebruiksfuncties (Locht, 1982; TAUW, 1989). Deze zijn echter niet toegepast bij helofytenfilters.

5.5. CHECKLIST VOOR SITUERING EN INRICHTING

Het is mogelijk een checklist van onderwerpen op te stellen die doorgenomen kan worden indien men aan de verschillende planningsaspecten recht wil doen. Omdat het proces van inpassing overwegend normgebonden is, dus sterk afhankelijk van persoonlijke interpretaties en wensen en ook van lokale omstandigheden, is geen poging gedaan de lijst te voorzien van maatstaven.

Het gaat om de volgende onderwerpen en vragen:

- het maken van onderscheid tussen planningsniveau's;
- de gewenste waterkwaliteit en -kwantiteit;
- welk ander gebruik dan alleen waterzuivering wenst men van het helofytenfilter te maken?
- de positie van het helofytenfilter ten opzicht van de verontreinigingsbronnen:
 - * zo dicht mogelijk bij vervuillingsbron;
 - * als voorzuivering naar waterontvangend gebied.
- relatie met grondwaterhuishouding en grondwater-kwaliteit:
 - * kwel/wegzijging;
 - * waterlopenstructuur;
 - * fluctuaties in grond- en oppervlaktewaterpeil;
 - * stromingspatroon.
- relatie met bodem:
 - * adsorptiecapaciteit;
 - * doorlatendheid;
 - * groeiplaatseigenschappen.
- de keuze van helofyten;
- de mate van isolatie tussen het systeem en de omgeving om de gewenste zuiveringsdoelstelling, annex het nevengebruiksdoel te waarborgen.

Isolatiemiddelen zijn afstand (vorming van òf enerzijds een vage grens, òf anderzijds van een

scherpe scheiding tussen omgeving en moeras) en tijd (ongelijktijdig laten plaats vinden van elkaar negatief beïnvloedende activiteiten);

- de beleving van helofytenfilters door omwonenden;
- de betekenis als verblijfplaats voor dieren (vogels, vissen, zoogdieren, insecten enz.);
- het mogelijk ontstaan van omstandigheden die het optreden van plagen en ziekten bevorderen (muggen, botulisme e.d.);
- onderhoud, bodemsanering;
- aanleg van voorzieningen in verband met waterbeheer, maaibeheer en afvoer van maaisel;
- de invloed van de vorm en inrichting op kosten ten aanzien van:
 - * grondverwerving;
 - * grondbalans;
 - * aanleg, beheer en onderhoud.

5.6. CONCLUSIES

Met betrekking tot de kennislacunes over de technischfunctionele organisatie kan aangesloten worden bij de kennislacunes die in de hoofdstukken 2 t/m 4 naar voren zijn gebracht. Ook is er onvoldoende inzicht over de invloed van het nevengebruik op inrichting en beheer van helofytenfilters.

In de relaties tussen het helofytenfilter en omgevingskenmerken zijn vooral de waterhuishoudkundige en geohydrologische aspecten voor het functioneren van helofytenfilters van betekenis. In hoofdstuk 3 zijn de gesignaleerde kennislacunes over deze aspecten reeds beschreven.

Naar de beleving van helofytenfilters is weinig onderzoek gedaan. Hier ligt nog een terrein braak.

Met betrekking tot de planningsideeën bestaan er nog weinig uitgewerkte voorbeelden. Vanwege het heuristische en het normatieve karakter van het ontwerpproces, zal het benodigde onderzoek vooral baat hebben bij ontwerpstudies op lokatie. Bij ontwerpstudies vormen ontwerpen een middel in het onderzoek. Het ontwerp is geen doel op zichzelf als tussenstadium naar uitvoering, maar een middel om tot onderzoeksvragen te komen. In een ontwerp worden de diverse aspecten die samenhangen met situering, inrichting en vormgeving van helofytenfilters verkend. Daaruit vloeien vragen voort die aanleiding geven tot nader onderzoek. Omdat de oplossing van het planningsprobleem centraal wordt gesteld, zijn de onderzoeksvragen die daarmee samenhangen ook gericht op de oplossing van het probleem, en leggen verband

tussen basiskennis over werking van helofytenfilters en toepassing.

Met behulp van ontwerpstudies kunnen ondermeer de volgende ontwerpproblemen worden onderzocht:

- Kan een helofytenfilter worden opgedeeld in kleinere eenheden zonder dat het benodigde ruimtebeslag toeneemt?
- Wat zijn de gevolgen voor het ontwerp van verschillende stroomsnelheden, debieten en vervuilingbelastingen?
- Hoe hebben verschillende nevenfuncties invloed op het ontwerp?
- Hoe kan in een ontwerp het ruimtebeslag worden geoptimaliseerd (n.a.v. de behoefte om het benodigde oppervlakte zo klein mogelijk te houden)?
- Hoe kunnen verschillende zuiveringssystemen (bezinkput, bodembeluchting, infiltratieveld, actief biologisch beheer, enz.) aan elkaar gekoppeld worden?

Wat de economische aspecten betreft kan worden gewezen op kennislacunes met betrekking tot de volgende thema's:

- Voor de economische optimalisering van het ontwerp, de inrichting en het beheer van helofytenfilters ontbreekt kennis over:
 - * de door een lagere plantdichtheid te realiseren kostenbesparing bij de aanleg van het systeem tegenover de nadelen van een verminderde zuiveringwerking gedurende de 'aanlooperperiode';
 - * het effect van het maaibeheer van de moerasvegetatie op enerzijds de zuiveringseffectiviteit en anderzijds de netto-opbrengsten (saldo: opbrengst gewas minus maaikosten);
 - * de aard en kosten van de uit te voeren werkzaamheden voor groot onderhoud en de tussen de onderhoudsbeurten aan te houden tijdsintervallen in afhankelijkheid van de dimensionering, de inrichting en het beheer.
- Voor een vergelijking met andere zuiveringssystemen ontbreekt inzicht in de kosteneffectiviteit (uitgedrukt in guldens per kg verwijderde stikstof of fosfor) van de diverse helofytenfiltertypen.
- Voor de beoordeling van de aanleg- en exploitatiekosten in een concreet geval ontbreekt een methodiek waarmee de procestechnische, de ruimtelijke en de economische aspecten op een samenhangende en kwantitatieve wijze kunnen worden behandeld. Een dergelijke methode dient de mogelijkheid te bieden voor in-

breng van specifiek lokatiegebonden gegevens met betrekking tot de kosten van het ruimtebeslag, de mogelijkheden om de inrichting in samenhang met ander werk uit te voeren (zogenaamde werk met werk maken) en de multifunctionaliteit van het helofytenfilter.

Naast het uitvoeren van experimenten met helofytenfilters is de ontwikkeling van evaluatiemethoden voor ontwerpen belangrijk.

6. MOGELIJKE TOEPASSINGEN IN DE PRAKTIJK

6.1. INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de mogelijkheden en moeilijkheden bij de toepassing van helofytenfilters in verschillende gebieden. De inventarisatie daarvan heeft plaats gevonden door middel van vraaggesprekken met diverse deskundigen op het gebied van waterbeheer, aquatisch onderzoek en ruimtelijke planvorming. Deze probleemverkenning is bedoeld als een aanvulling uit de praktijk op reeds in de vorige hoofdstukken naar voren gebrachte problemen. Deze verkenning is uitgevoerd voor verschillende gebiedstypen.

De keuze van de gebiedstypen is gebaseerd op verschillen in de waterhuishoudkundige situatie. Dit leidde tot de volgende gebiedstypen en daarbij behorende voorbeeldgebieden.

- a. beekdalen op zandgrond: beken in Twente, met name die behoren tot het stroomgebied van de Bornsche Beek (zoals Gammelkeren en Deurningerbeek);
- b. meren en plassen: Randmeren en meren en plassen in veenweidegebied;
- c. bufferzones rondom waterafhankelijke natuurgebieden: retentiebekken met rietveld ten behoeve van het waterbeheer van natuurgebieden bij Sellingen;
- d. kwelpolders: voorbeelden in Zuid-Holland en Utrecht.

In elk voorbeeldgebied zijn de volgende onderwerpen behandeld:

- problemen in het waterbeheer ten behoeve van natuurontwikkeling;
- toepassingsmogelijkheden en -moeilijkheden van helofytenfilters;
- kennislacunes en onderzoekwensen.

De indeling van de paragrafen is gebaseerd op de hierboven onderscheiden onderwerpen, en niet elk voorbeeldgebied wordt afzonderlijk behandeld, omdat bij zowel de problemen in het waterbeheer als bij de toepassingsmogelijkheden en -moeilijkheden in elk voorbeeld een aantal constateringens steeds terugkeert, en omdat het er om gaat een algemeen beeld te krijgen van de toepassingsproblematiek.

Voor een goed begrip van de problemen in het waterbeheer en van de toepassingsmogelijkheden worden eerst in algemene termen enkele kenmerken van de watersystemen in de voorbeeldgebieden behandeld.

6.2. KENMERKEN VAN DE WATERSYSTEMEN IN DE VOORBEELDGEBIEDEN

Een belangrijk verschil tussen beken en meren/plassen vormt het natuurlijke stromingspatroon. Beken staan onder invloed van een zeker verhang: stroming is een kenmerkende eigenschap. In meren en plassen is sprake van een stagnatie van het stromende water.

Beken in zandgebieden kunnen in de volgende groepen worden ingedeeld:

- a) Beken in gebieden met op geringe diepte slecht doorlatende laag (gestuwde tertiaire kleilagen, keileemafzettingen). De afvoer van neerslagwater naar de beken vindt vrijwel uitsluitend plaats door de ondiepe ondergrond en oppervlakkige afvoer. In perioden met veel neerslag ontstaan er pieken in de waterafvoer. Deze beken komen vooral in reliëfrijke delen van Nederland voor.
- b) Beken in gebieden met goed doorlatende bodems en een watervoerend pakket tot op grote diepte. De afvoer van neerslagwater naar de beken vindt via de (diepe) ondergrond plaats.

De meren en plassen zijn in te delen in:

- a) Meren en plassen met doorstroming (o.a. boezemwateren in Friesland en Holland).
- b) Meren en plassen met stilstaand of zeer gering stromend water (poldermeren, plassen in de Utrechts-Hollandse veengebieden).

Bufferzones worden ingesteld om van belang geachte ecosystemen te beschermen tegen invloeden van buitenaf. Zij vormen een functionele eenheid met het te beschermen natuurgebied. De invloeden van buitenaf kunnen betrekking hebben op verontreinigingen die binnendringen via bodem, water en/of atmosfeer, of op veranderingen in de waterhuishouding, zoals grondwaterstandsverlagingen in de omgeving. In het laatste geval kan een hydrologische bufferzone worden ingesteld.

Een bijzonder geval vormen kwelpolders. In bepaalde delen van deze polders vindt de toestroming van water vanuit de diepere ondergrond plaats. Ze zijn ten opzichte van de omgeving vaak relatief laag gelegen zoals droogmakerijen, polders langs rivieren en kanalen en polders in

de nabijheid van hooggelegen (zand)gronden, zoals de kwelpolders in de Vechtstreek. Belangrijk kenmerk van de waterhuishouding in polders is de noodzakelijke beheersing van de verschillende peilen, tegenwoordig binnen kleinere marges dan vroeger. Dat houdt ondermeer in dat in de winter overtollig water moet worden uitgelaten, en in de zomer ten behoeve van peilbeheersing en kwaliteitsbeheersing gebiedsvreemd water moet worden ingelaten. Stroomrichtingen kunnen daardoor omkeren. Ook kunnen dan veranderingen optreden in de kwaliteit van het oppervlaktewater. De ecologische effecten die kunnen optreden door de inlaat van gebiedsvreemd water zijn in verschillende studies beschreven (Natuurbeschermingsraad, 1987; Roelofs en Cals, 1989; Duel e.a., 1989). Gebieden met zoute kwel en/of hoge nutriëntenbelasting worden veelal doorgespoeld, vaak met gebiedsvreemd water.

6.3. PROBLEMEN IN HET WATERBEHEER IN RELATIE TOT NATUURONTWIKKELING

Waterafhankelijke natuurgebieden ondervinden problemen in het waterbeheer zowel bij kwalitatieve als kwantitatieve aspecten (o.a. Torenbeek, 1988; Duel e.a., 1989; Wassen e.a., 1989). Een groot deel van deze problemen zijn in alle gebiedstypen aan de orde, enkele zijn gebonden aan lokale omstandigheden.

De waterkwaliteit kan nadelig beïnvloed worden door:

- landbouwbedrijfsvoering in het stroomgebied (uitspoeling en/of afspoeling van gebruikte meststoffen, met name nitraten, fosfaten en bestrijdingsmiddelen);
- lozing van RWZI-effluent (ondermeer fosfaat) op het oppervlaktewater;
- industrie-lozingen (ondermeer micro-verontreinigingen);
- atmosferische depositie;
- aanvoer van gebiedsvreemd water.

De aanvoer van gebiedsvreemd water betekent niet in alle gevallen een verslechtering van de waterkwaliteit. Het gebiedseigen water kan van slechtere kwaliteit zijn als gevolg van plaatselijke lozingen en atmosferische depositie.

Het belangrijkste probleem met betrekking tot de waterkwantiteit in **beken** vormt de onvoldoende beschikbaarheid van water voor landbouw en natuurterreinen in perioden met weinig neerslag. Dit is een gevolg van verbeterde ontwatering (normalisatie van beken en rivieren,

verlaging waterstand in landbouwgebieden, verbetering detailontwatering) en grondwateronttrekking ten behoeve van drink- en industriewatervoorziening. Door deze invloeden kunnen beken in droge perioden droogvallen of slechts uitsluitend RWZI-effluent bevatten. Om de droogteschade voor de landbouw te beperken vindt in een aantal gevallen aanvoer van gebiedsvreemd water plaats, hetgeen weer invloed heeft op de kwaliteit van het water ter plaatse.

In de bovenlopen zijn de sterk meanderende diep ingesneden beken in de meeste gevallen recht getrokken. In de middenlopen is de vroeger bestaande diffuse afstroming door moerasen en natte hooilanden geconcentreerd in een smalle beekbedding. Vaak zijn stuwen aangelegd, zodat een geleidelijk verhang is opgedeeld in een aantal gestuwde segmenten. Door verbeterde detailontwatering komen er grotere peilfluctuaties in de beken voor. Het beekwater is voedselrijker geworden door verschillende verontreinigingsbronnen. In en na natte perioden kunnen in de zomer in beken op keileem fosfaat- en nitraatpieken optreden.

De verschillende problemen in het waterbeheer hebben zowel gevolgen voor de kwaliteit van de natuurlijke levensgemeenschappen in de beek als in die gebieden die onder invloed van de beek staan (natte natuurgebieden zoals broekbossen).

Ten aanzien van **meren en plassen** spelen de volgende problemen een rol. In veel situaties is eutrofiëring opgetreden als gevolg van uit- en afspoeling van meststoffen uit landbouwgebieden, en lozing van RWZI-effluent. Ook de vervuiling van de waterbodem en het oppervlaktewater met microverontreinigingen als gevolg van afvalwaterlozingen en wateraanvoer van gebiedsvreemd water vormt vaak een belangrijk probleem. Atmosferische depositie kan ook een bijdrage leveren aan de verontreiniging van oppervlaktewater. Meren en plassen met veel recreatie kunnen periodiek zwaar belast zijn met bacteriën. Ook de recreatievaart beïnvloedt de water- en waterbodemkwaliteit.

De verslechtering van de waterkwaliteit en het gevoerde waterkwantiteitsbeheer hebben in belangrijke mate bijgedragen aan een verlaging en nivellering van de ecologische kwaliteit van meren en plassen. Ook andere factoren hebben hieraan bijgedragen, zoals visserij, oeverbeschermingsmaatregelen en recreatie.

In veel meren en plassen heeft de overmatige toevoer van meststoffen geleid tot het optreden van algenbloei, dominantie van de brasem in de visstand, vermindering van het doorzicht en het

verdwijnen van waterplanten (Hosper, 1987).

Kwelpolders hebben in droge zomers te kampen met watertekorten als gevolg van voorjaarsontwatering, afvang kwelwater en grote verdampingsverliezen. Er treedt dan verdroging van landbouwgronden en natuurgebieden op. Door inlaat van gebiedsvreemd water wordt getracht droogteschade en eventuele maaiveld-daling tegen te gaan. In kwelpolders in veenweidegebieden kunnen natuurgebieden die gebonden zijn aan relatief voedselarm water met zeldzame vegetaties, zoals trilvenen, daardoor bedreigd worden.

6.4. TOEPASSINGEN: MOGELIJKHEDEN EN MOEILIKHEDEN

Bij de mogelijke toepassing is enerzijds de plaats van het helofytenfilter ten opzichte van de verontreinigingsbronnen aan de orde, anderzijds is de keuze van het type helofytenfilter van belang. In paragraaf 5.3 is reeds een aantal mogelijkheden voor lokatie van helofytenfilters onderscheiden. De keuze van het toegepaste systeem hangt, behalve van praktische mogelijkheden, onder andere af van de keuze voor de bestrijdingsmethode van de verontreiniging. Helofytenfilters leveren met name een bijdrage aan de effectgerichte bestrijding van de verontreiniging. Terugdringing van de verontreiniging aan de bron zelf blijft het meest effectief.

Bij de bestrijding van de effecten van verontreiniging door helofytenfilters kan in het algemeen een onderscheid gemaakt worden tussen een aanpak zo dicht mogelijk bij de vervuilsbron en een aanpak zo dicht mogelijk bij het gebied waarvoor een specifieke waterkwaliteitsdoelstelling geldt. In kleine wateren is een aanpak zo dicht mogelijk bij de vervuilsbron vaak mogelijk, in grote wateren zal meestal alleen een aanpak zo dicht mogelijk bij het toepassingsgebied perspectief bieden. In geval van puntlozingen kunnen gecomprimeerde systemen worden ingezet (vloeivelden). Bij diffuse verontreinigingen kunnen ook zoomsystemen bruikbaar zijn.

De perspectieven voor toepassing van helofytenfilters in **beken** voor vermindering van fosfaat en stikstofgehalte zijn in belangrijke mate afhankelijk van de afvoer karakteristiek van de beek. De zuiveringseffectiviteit van helofytenfilters wordt beïnvloed door de verblijftijd van het water in het systeem. Voor de opvang van grote afvoeren zal een groot helofytenfilter nodig zijn, omdat de bergingscapaciteit van helofytenfilters

gering is. De oude, afgesneden of afgesloten beekmeanders kunnen mogelijk hiervoor gebruikt worden. Door de opvang van gebiedseigen water kan de behoefte aan gebiedsvreemd water worden verminderd. Daar er in het waterbeheer tegenwoordig de tendens bestaat om het debiet meer te bufferen dan vroeger het geval was, maakt dit aspect de toepassing van helofytenfilters ook interessanter.

In een helofytenfilter kan geen hoog waterpeil worden opgezet zonder concessies te doen aan de zuiveringseffectiviteit. De dynamiek in afvoer en waterkwaliteit vormt daardoor een probleem bij de toepassing van helofytenfilters in beekgebieden. Indien helofytenfilters zijn gedimensioneerd op basis van gemiddelde beekafvoeren zal tijdens piekafvoeren geen of slechts in geringe mate een verbetering van de waterkwaliteit optreden. Voor de zuivering van piekafvoeren neemt de benodigde oppervlakte helofytenfilter sterk toe. Een andere oplossing is om de piekafvoeren af te vlakken door de voorschakeling van een retentiebekken of slibbassin. Een andere mogelijke toepassing zou er uit kunnen bestaan oude afgesneden beeklopen die door waterafhankelijke natuurgebieden zoals broekbossen lopen te voorzien van een helofytenfilter om op die wijze een verbetering van de waterkwaliteit te bevorderen voordat het water het natuurgebied bereikt.

Toepassing van helofytenfilters in beekdalen levert een aantal bezwaren op:

- Het benodigde oppervlakte helofytenfilter om de gewenste kwaliteitsverbetering van het water tot stand te brengen is vaak niet of alleen tegen hoge kosten te verkrijgen. In de meeste situaties is er alleen ruimte voor kleine helofytenfilters (vaak minder dan 10 ha).
- De stroming in de beek beperkt het rendement van het helofytenfilter.
- Het onderhoud van het helofytenfilter is bij smalle beken vaak een probleem, o.a. vanwege hoge oevers.
- De riet- en biezenvelden zijn geen van nature voorkomende vegetaties langs beken.
- In de winter, als er veel water in de beek staat, werkt het helofytenfilter nauwelijks. Als het helofytenfilter wel werkzaam is ('s zomers) is er weinig wateraanvoer.
- De toepassing van helofytenfilters in waterretentiebekken levert tegenstrijdige randvoorwaarden op. Voor de helofyten mag de waterstand niet te hoog zijn. Vanwege het ruimtebeslag heeft een retentiebekken meer baat bij hoge waterstand.

Wel kan van het water uit het retentiebekken gebruik worden gemaakt voor een nabijgelegen helofytenfilter.

Door de zeer geringe stroomsnelheid in meren biedt de toepassing van zoomsystemen daar meer perspectief dan in beken. Te denken valt aan oevers met rietkragen en de aanleg van moerassen in ondiepe gedeelten. Hiermee kan de zogenaamde interne belasting van de meren worden verminderd (Fiselier, 1987; Akkerman en Fiselier, 1988.)

Helofytenfilters hebben een mogelijke toepassing bij het verbeteren van de kwaliteit van het suppletiewater bij inlaatpunten. Indien de waterinlaat bedoeld is om verdampingsverliezen in de zomermaanden volledig te compenseren, dan zal in een situatie zonder peilfluctuaties en afhankelijk van de lokale situatie en de kwaliteitsdoelstellingen het ruimtebeslag ongeveer 10–15% van het merooppervlak bedragen. Hierbij is uitgegaan van een gemiddeld waterverlies van 3 mm/dag en een hydraulische belasting van 200–300 m³/ha/dag als richtlijn voor dimensionering van helofytenfilters. Wanneer de waterverliezen groter zijn, dan zullen grotere oppervlakten riet- en/of biezenvelden nodig zijn.

Het gebruik van helofytenfilters bij de verbetering van de kwaliteit van doorspoelwater heeft weinig perspectief. De inlaat zal vaak meerdere m³/sec bedragen, waardoor het ruimtebeslag van het helofytenfilter zeer groot zal moeten zijn.

In meren kan de aanleg van helofytenfilters worden gecombineerd met actief biologisch beheer, vooral gericht op de visstand. Door de vermindering van de nutriëntenbelasting (met name fosfaat), het wegvangen van de brasem en het uitzetten van snoek kan het water zich weer ontwikkelen naar meer helderheid met meer verschillende waterplanten. Door bijvoorbeeld een gradiënt te maken van een dichte vegetatie met riet en biezen naar een ijlere vegetatie met submerse planten (kranswieren, gele plomp, enz.) ontstaat er een geschikt milieu voor ondermeer de snoek. In deze opzet vormt een helofytenfilter een onderdeel van een groter aquatisch systeem waar ook open water deel van uit maakt.

Om de waterkwaliteit in een natuurgebied te handhaven of te verbeteren kan men ook het gebied isoleren van de waterhuishoudkundige omgeving. Zonder gebruik te maken van een helofytenfilter en zonder door te spoelen kan dan na enige tijd een waterkwaliteitsverbetering worden bereikt.

Net zoals bij helofytenfilters in beken vormt in meren de afvoer van het nutriëntenrijke slib een probleem.

Helofytenfilters in **kwelpolders** kunnen bijdragen aan zowel de kwaliteitsverbetering van het ingelaten gebiedsvreemde water als van het vervuilde gebiedseigen water (Meuleman, 1987; De Jongh e.a., 1987; During e.a., 1989). In kwelpolders is vaak de conservering van neerslagwater en kwelwater een belangrijke doelstelling in het waterbeheer. Reservoirs die daarvoor dienen kunnen gecombineerd worden met helofytenfilters. Daarnaast is isolatie van het te zuiveren watergebied van haar hydrologische omgeving vaak een doeltreffende maatregel om de waterkwaliteit te verbeteren.

Resumerend kan worden gesteld dat de grootte van het debiet in hoge mate bepalend is voor de haalbaarheid van een helofytenfilter. Op basis van de huidige, beperkte kennis kan als voorlopige richtlijn voor de dimensionering van helofytenfilters worden gehanteerd dat de hydraulische belasting van deze systemen niet meer dan 200–300 m³/ha/dag zal moeten bedragen. Dit betekent dat bij een debiet van 1 m³/s een moerasoppervlakte nodig is van 300–500 ha. Hiermee zal het ruimtebeslag in veel gevallen de beslissende factor worden. De volgende voorbeelden mogen dienen ter illustratie. Voor herstel van het Eemmeer–Gooimeer (4000 ha) moet de rivier de Eem (gemiddeld debiet ongeveer 10 m³/s) worden aangepakt. Volgens bovenstaande richtlijn zou langs de rivier en in de monding een helofytenfilter nodig zijn van zo'n 3000–5000 ha. Voor het zuiveren van de piekafvoeren zou een nog veel groter systeem nodig zijn. Realisatie van een dergelijk project lijkt gezien het enorme ruimtebeslag onhaalbaar. Voor bestrijding van eutrofiëring van de Rijnlandse boezemmeren (Braasemermeer, Westeinderplas, Kagerplassen e.d.) moet onder meer de inlaat van Rijnwater vanuit de Hollandse IJssel worden aangepakt. Rijnlands boezem wordt doorgespoeld en aangevuld met gemiddeld 10 m³/s. Hiervoor is dus ook een helofytenfilter noodzakelijk met een oppervlakte van 3000–5000 ha. Inpassing van een dergelijk systeem zal op grote problemen stuiten.

Ook bij zuivering van kleinere waterstromen ontstaan er al gauw problemen met de inpassing. Voor herstel van de Randmeren Wolderwijd–Nuldernauw moet onder meer de Schuitenbeek (gemiddeld debiet in het zomerhalfjaar 0,1–0,5 m³/s) worden gesaneerd. Deze beek mondt uit in het smalle Nuldernauw en realisatie

van een voldoende groot helofytenfilter is hier niet mogelijk.

Bovenstaande voorbeelden maken duidelijk dat kansrijke toepassingen gezocht moeten worden in situaties waarin relatief kleine hoeveelheden oppervlaktewater moet worden gezuiverd. Goede mogelijkheden lijken met name aanwezig in situaties waarin oppervlaktewater ter aanvulling van wegzijgings- en verdampingsverliezen wordt ingelaten, zoals in meren, plassen en in natte natuurgebieden.

De volgende toepassingen voor de zuivering van oppervlaktewater bieden geen of weinig perspectief:

- a) zuivering in rivieren of beken met een relatief grote afvoer;
- b) zuivering van boezemwateren met een hoog doorstroomdebiet;
- c) zuivering van in meren uitmondende wateren met een groot debiet.

6.5. ONDERZOEKWENSEN VANUIT DE PRAKTIJK

Uit de gevoerde gesprekken blijkt dat er behoefte is aan kennis over:

- de kwaliteitsdoelstellingen die met helofytenfilters kunnen worden bereikt;
- de hoeveelheid nutriënten die door helofytenfilters uit het oppervlaktewater kan worden verwijderd;
- dimensionering;
- sanering van helofytenfilters;
- de betekenis die helofytenfilters kunnen hebben in meanderende beeksystemen waarin de waterretentie een belangrijke rol speelt;
- beheers- en onderhoudsmaatregelen;
- de kosten van aanleg, onderhoud en beheer.

Een deel van deze vragen kan worden beantwoord vanuit bestaand onderzoek. De toegankelijkheid van de resultaten van het bestaande onderzoek en de informatieuitwisseling tussen onderzoek en praktijk blijkt een belangrijk probleem te zijn. Ook kan een deel van de vragen naar mogelijke toepassingen pas beantwoord worden indien ingegaan wordt op de omstandigheden ter plaatse.

Een aantal onderwerpen is te specificeren naar de volgende onderzoeksvragen:

- * Welke mogelijkheden heeft het maaibeheer om zowel tegemoet te komen aan de eisen vanuit het rendement van het helofytenfilter

als om de nadelige gevolgen voor de natuur te minimaliseren?

- * Hoe kunnen de doelstellingen van enerzijds het zuiveringsrendement en anderzijds de berging van piekafvoeren met elkaar verenigd worden?
- * Wat is de effectiviteit van verschillende vormen van rietaanplant?
- * In hoeverre kan een helofytenfilter gecombineerd worden met een bosaanplant, b.v. met els of populier?
- * Voor invulling van parameters in modelstudies over helofytenfilters moet meer bekend zijn over rietbeworteling, fosfaatadsorptie, organische stofgehalte, enz.
- * Hoe kan het peilbeheer in een helofytenfilter gebruikt worden om verdroging in natuurgebieden tegen te gaan?
- * Welke mogelijkheden bestaan er om in beekdalen voldoende water in de zomerperiode te houden voor de toepassing van een helofytenfilter.
- * Wat moet er gedaan worden met het verontreinigde slib en maaisel?
- * Wat is de invloed van het maaibeheer op de vegetatiesamenstelling en het zuiveringsrendement (op de korte en lange termijn)?

7. HET PROGRAMMA VOOR ONDERZOEK

7.1. INLEIDING

In de voorgaande hoofdstukken is een onderscheid gemaakt tussen kennis over processen in helofytenfilters en kennis met betrekking tot toepassing van helofytenfilters. Deze twee categorieën kennis staan met elkaar in verband. Voor een goede toepassing van helofytenfilters is kennis nodig over de werking van de zuiveringsprocessen en over de ruimtelijke en beheerstechnische voorwaarden die moeten worden vervuld om de zuiveringsprocessen op een gewenste wijze te laten verlopen. Ook zullen wenselijk geachte toepassingen duidelijk maken over welke processen aanvullend basisonderzoek nodig is.

Wat de toepassingen betreft is tijdens de vraaggesprekken en de workshop gebleken dat deze vanuit heel uiteenlopende invalshoeken worden beschreven. Bij de waterkwaliteitsbeheerders staat de zuiveringsfunctie voorop; vertegenwoordigers van andere instanties (zoals landinrichtingsdienst en natuurbeschermingsorganisaties) benadrukken vooral het multifunctioneel gebruik. Kort samengevat kunnen de volgende doelstellingen worden onderscheiden:

1. Het helofytenfilter is een zuiveringssysteem met als doel:
 - a. het verwijderen van zoveel mogelijk nutriënten uit oppervlaktewater. In dit geval wordt de effectiviteit afgemeten aan de hoeveelheden verwijderde nutriënten; of:
 - b. het leveren van oppervlaktewater van een bepaalde samenstelling. In dit geval wordt de effectiviteit afgemeten aan de kwaliteit van het uitstromende oppervlaktewater.
2. Het helofytenfilter is een zuiveringssysteem dat tevens mogelijkheden biedt voor andere functies, zoals natuurontwikkeling en recreatie.
3. Het helofytenfilter is een landschapselement dat ten dienste staat van verschillende functies (zowel ter plaatse van het filter als in de omgeving), waar waterzuivering er één van is.

Bij de opzet van deze programmeringsstudie is een keuze gemaakt voor de invalshoeken 1. en 2. Dit betekent dat de vragen van de waterkwaliteitsbeheerders centraal hebben gestaan en dat tevens is gekeken naar mogelijke neven-

functies ter plaatse van het helofytenfilter. Het onderzoekprogramma is ook van belang voor instanties die helofytenfilters beschouwen vanuit invalshoek 3, maar bestrijkt slechts een deel van het daarbij relevante onderzoekveld.

Bij de behandeling van het onderzoekprogramma worden 4 onderzoeklijnen onderscheiden, die elk op zichzelf leiden tot een groep onderzoeksvragen. Deze onderzoeklijnen zijn de volgende:

1. Het vergroten van het inzicht in de snelheid waarmee transport-, vastleggings- en verwijderingsprocessen zich afspelen en in de mogelijkheden deze processen te sturen door middel van inrichtings- en beheersmaatregelen.
2. Het kwantificeren van de capaciteit van helofytenfilters om verontreinigingen in verschillende onderdelen van het systeem vast te leggen of uit het systeem te verwijderen en het verkrijgen van meer inzicht in de mogelijkheden van inrichting- en beheersmaatregelen om vastlegging of verwijdering te vergroten.
3. Het vergroten van de kennis over de combinatie van de zuiveringsfunctie met andere gebruiksmogelijkheden van een helofytenfilter.
4. Vergroting van het inzicht in de mogelijkheden van situering en inrichting van een helofytenfilter in een landschap.

Dit hoofdstuk is als volgt opgebouwd. In paragraaf 7.2 worden de gesignaleerde kennislacunes en onderzoekwensen die in de vorige hoofdstukken reeds zijn beschreven in een aantal clusters gepresenteerd. Deze clusters sluiten aan bij de hierboven beschreven onderzoeklijnen. In paragraaf 7.3 worden verschillende methoden van onderzoek beschreven.

In paragraaf 7.4 wordt op basis van een prioriteitsstelling en de toe te passen onderzoeksmethoden een onderzoekstrategie beschreven. Er is daarbij gebruik gemaakt van de resultaten van een workshop waarvoor verschillende deskundigen uit onderzoek en beleid waren uitgenodigd.

Tenslotte wordt in dit hoofdstuk nog ingegaan op de behoefte aan coördinatie van onderzoek en kennisoverdracht (7.5).

7.2. OVERZICHT VAN GESIGNALEERDE KENNISLACUNES

In de vorige hoofdstukken is een groot aantal kennislacunes gesignaleerd. Deze kennislacunes worden in deze paragraaf overzichtelijk gepresenteerd. In paragraaf 7.4 wordt aangegeven welke onderzoeksvragen de hoogste prioriteit hebben.

De kennislacunes zijn ingedeeld in:

- a) De transport- en zuiveringsprocessen.
- b) De opslag- en verwijderingscapaciteit.
- c) Het multifunctioneel gebruik.
- d) De situering en inrichting.

7.2.1. De transport- en zuiveringsprocessen

Transportprocessen

Veel processen die bijdragen aan een verandering van de kwaliteit van het oppervlaktewater spelen zich af in de moerasbodem. Over de uitwisseling van stoffen tussen oppervlaktewater en moerasbodem in stromingsmoerassen bestaan nog onzekerheden in de kennis. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De transportsnelheid van nutriënten vanuit het oppervlaktewater naar de verschillende moerasbodems.
- * Factoren die van invloed zijn op de uitwisseling van stoffen tussen oppervlaktewater en moerasbodem, met name naar de invloed van helofyten en denitrificerende micro-organismen.

Procesinteracties

Voor het integreren van de stofgerichte proceskennis tot een samenhangend beeld over de werking van helofytenfilters is inzicht nodig over de interacties van processen. De kennis over procesinteracties en over de effecten van die interacties op de verwijdering van verontreinigingen uit het water is beperkt. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De mogelijke onderlinge relaties tussen de verschillende processen, met name
 - de mogelijke invloed van nitraat-ammonificatie op de denitrificatie;
 - de mogelijke invloed van biologische activiteit (micro-organismen, bodemfauna) op de fosfaatadsorptie.

- * De invloed van de chemische samenstelling van het oppervlaktewater op (de interacties tussen) processen, met name naar de invloed op de afbreeksnelheid van het organisch materiaal.
- * De effecten van procesinteracties op de effectiviteit van helofytenfilters.

Zuurstofafgifte door plantenwortels

Onderzoek naar de zuurstofafgifte door de wortels van moerasplanten is slechts voor een klein aantal soorten bekend. Verder onderzoek hiernaar is nodig, omdat de zuurstofhuishouding van de moerasbodem voor een groot aantal zuiveringsprocessen een belangrijke factor is. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De afgifte van zuurstof van verschillende moerasplanten aan de moerasbodem.
- * De invloed van het peilbeheer op het zuurstoftransport naar de bodem via de moerasvegetatie.

Opname door moerasvegetatie

Met betrekking tot de opname van stoffen door moerasplanten is het onderzoek in ons land vooral gericht op de opname van stikstof- en fosforverbindingen door riet en mattenbies. Over andere moerasplanten is weinig bekend. Meer informatie is ook nodig naar de invloed van beheers- en inrichtingsmaatregelen op de opname van stoffen door helofyten. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De opnamesnelheid van stoffen door verschillende moerasplanten.
- * De relatie tussen de waterdiepte en de opname van stoffen door helofyten.
- * De invloed van bodemtypen op de ontwikkeling van de moerasvegetatie in relatie tot de opname van stoffen.

Nitrificatie en denitrificatie

Over de nitrificatie- en denitrificatiesnelheid in de helofytenfilters bestaan weinig gekwantificeerde gegevens. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De nitrificatie- en denitrificatiesnelheid in het oppervlaktewater en in de bodem van moerassen.
- * De nitrificatie- en denitrificatiesnelheid in watersystemen bij afwezigheid van helofyten.
- * De invloed van milieufactoren op de nitrificatiesnelheid in moerassen.

7.2.2. De vastleggings- en verwijderingscapaciteit

De kwaliteit van het instromende water en de zuiveringseffectiviteit

Verontreinigingen kunnen in verschillende vormen via het oppervlaktewater het helofytenfilter binnenkomen: opgelost, gebonden aan slibdeeltjes, in algen en dood organisch materiaal. Weinig onderzoek is verricht naar de verwijdering van verontreinigingen die niet in het oppervlaktewater zijn opgelost. Dit leidt tot de volgende onderzoeksvragen:

- * Wat is de zuiveringseffectiviteit van helofytenfilters in geval van algenrijk oppervlaktewater? Op welke wijze en in welke mate kan een verbetering van de waterkwaliteit worden bewerkstelligd?
- * Welke rol speelt het zoöplankton in het zuiveringsproces bij algenrijk oppervlaktewater?
- * Wat is de verdeling van verontreinigingen over de verschillende slibfracties en met welke inrichtings- en beheersmaatregelen kan men de meest vervuilde slibfracties laten bezinken?

Vastlegging door en verwijdering via de moerasvegetatie

Met betrekking tot de vastlegging van stoffen door moerasplanten is het onderzoek in ons land vooral gericht op riet en biezen. Over andere moerasplanten is weinig bekend. Ook over de invloed van maaibeheer op de vastlegging en verwijdering is meer informatie nodig. Onderzoeksvragen zijn:

- * Welke moerasplanten/vegetatietypen hebben onder Nederlandse omstandigheden de grootste capaciteit om nutriënten in de ondergrondse en bovengrondse biomassa op te slaan;
- * Bij welk maairegiem vindt de grootste verwijdering van de in de bovengrondse biomassa vastgelegde nutriënten plaats;
- * Wat zijn de mogelijke invloeden van maaien op de soortensamenstelling en vitaliteit van de moerasvegetatie en de opname van nutriënten door de moerasvegetatie, zowel op korte als op lange termijn?

Vastlegging door veenvorming

Over de mogelijkheden voor vastlegging van nutriënten door accumulatie van strooisel in moerassen (veenvorming) bestaan nog veel

kennislacunes. De belangrijkste onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * Het kwantificeren van de strooiselproductie en productie van afgestorven ondergrondse plantedelen van verschillende helofyten.
- * De invloed van de waterkwaliteit op de strooiselafbraak.
- * De invloed van het peilbeheer op de strooiselafbraak.
- * Het kwantificeren van de strooiselafbraak en afbraak van afgestorven ondergrondse plantedelen van verschillende helofyten onder verschillende omstandigheden.

Verwijdering door microbiële processen

Kennis over het optimaliseren van de verwijdering van stikstofverbindingen via nitrificatiedenitrificatie door vegetatiebeheer en peilbeheer is beperkt aanwezig. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De meerwaarde van helofyten bij de stikstofverwijdering via nitrificatiedenitrificatie;
- * De mogelijkheden om de stikstofverwijdering via nitrificatiedenitrificatie te vergroten door de ontwikkeling van de moerasvegetatie hierop af te stemmen;
- * De mogelijkheden voor het vergroten van de stikstofverwijdering in helofytenfilters door de bodem periodiek droog te laten vallen. Welke frequentie en duur zorgt hierbij voor een optimale verwijdering.

Fosfaatvastlegging

Met betrekking tot het optimaliseren van de fosfaatvastlegging in de moerasbodem bestaan er onderzoeksvragen naar:

- * De fosfaatadsorptiecapaciteit van verschillende bodemtypen.
- * De mogelijkheden om de fosfaatvastlegging in moerasbodems te vergroten door het helofytenfilter periodiek droog te laten vallen.
- * Het kwantificeren van de fosfaatvastlegging in de aërobe wortelzone.
- * Het kwantificeren van de relaties tussen fosfaatvastlegging door adsorptie en de strooiselproductie en -afbraak.
- * De mate waarin in het groeiseizoen een verlaging van het fosfaatgehalte in de bodem optreedt als gevolg van fosfaatopname door planten, micro-organis-

men en algen.

- * De invloed van biotische processen op de vastlegging van fosfaat in de bodem.

Waterplanten kunnen evenals moerasplanten mogelijk een bijdrage leveren aan een verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Behalve onderzoek naar de werking van helofytenfilters is onderzoek nodig naar de werking van systemen met waterplanten.

Dimensionering

Voor de dimensionering van helofytenfilters is voor het realiseren van de gewenste kwaliteitsdoelstelling kennis over de transport- en zuiveringsprocessen en over de vastlegging- en verwijderingscapaciteit noodzakelijk.

De dimensionering is bovendien van groot belang voor zowel de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik als voor de landschappelijke inpassing en economische en maatschappelijke haalbaarheid. De onderzoeksvragen hebben betrekking op de ontwikkeling van methoden voor dimensionering van helofytenfilters waarin rekening gehouden wordt met:

- de zuiveringsdoelstelling;
- de afstemming van beheer en inrichting op de zuiveringsfunctie;
- de samenstelling van het instromende oppervlaktewater en eventuele seizoensgebonden variaties daarin;
- de afstemming van het beheer op vormen van medegebruik;
- de ruimtelijke omgeving van het helofytenfilter en de lokale situatie met betrekking tot: bodem, kwel/wegzijging, neerslag/verdamming, atmosferische depositie en de waterbeweging door het filter.

7.2.3. Het multifunctioneel gebruik

Indien een helofytenfilter behalve voor waterzuivering, ook voor andere functies geschikt moet zijn, is inzicht nodig in de beschikbare speelruimte om inrichting en beheer op multifunctioneel gebruik af te stemmen. Met name is onderzoek nodig naar de vraag in hoeverre de zuiveringsfunctie nadelig wordt beïnvloed door:

- * Verschillende vormen van maaibeheer, peilbeheer en in- en uitlaatbeheer, die afwijken van een uitsluitend op zuivering gericht beheer.
- * Het aanbrengen van variatie binnen het helofytenfilter met betrekking tot vege-

tietypen en -structuur, open water/land en diep/ondiep water.

Op basis van dit onderzoek kan dan de speelruimte voor de ontwikkeling van nevenfuncties ter plaatse van het helofytenfilter worden onderzocht.

Het onderzoek naar de mogelijkheden voor natuurontwikkeling zal zich vooral richten op de volgende vragen:

- * Hoe kunnen inrichting en beheer van de verschillende helofytenfiltertypen bijdragen aan een grote ruimtelijke variatie, in combinatie met een grote mate van stabiliteit?
- * In welke mate heeft dit een negatieve invloed op de zuiveringscapaciteit?

Inzake de bergingsfunctie bestaan er onderzoeksvragen over de mogelijkheden voor waterberging gedurende korte perioden (weken) ten behoeve van de watervoorziening in droge perioden, en op de mogelijkheden van waterberging gedurende zeer korte perioden (dagen) ten behoeve van de afvlakking van piekafvoeren. De onderzoeksvragen hebben betrekking op:

- * De perioden van het jaar waarin er bij een gebruik als bergingsreservoir waterpeilen in het helofytenfilter zijn te verwachten, die niet overeen stemmen met een op waterzuivering gericht peilbeheer. Het kan daarbij zowel om te hoge als om te lage peilen gaan.
- * De mate waarin de zuiveringsfunctie nadelig wordt beïnvloed door het met de bergingsfunctie samenhangende peilverloop en het in-/uitlaatregime.
- * De mate waarin, met afvoergolven gepaard gaande, slibtransporten en hoge stroomsnelheden de zuiveringsfunctie nadelig kunnen beïnvloeden.
- * De berging van neerslagoverschotten gedurende relatief korte perioden ten behoeve van de watervoorziening.
- * De berging van piekafvoeren ter voorkoming van wateroverlast benedenstrooms.

Op grond van de huidige kennis kan geen indeling worden gegeven van de voor nader onderzoek in aanmerking komende combinaties van medegebruik. Dit vereist onderzoek dat kan worden opgezet volgens twee principiële verschillende lijnen:

- * Uitgaande van een bepaalde lokatie of terreintype kan worden onderzocht welke combinatie van functies de meeste perspectieven biedt en welk

type helofytenfilter, welke inrichting en welk beheer daar het beste bij passen. Dit type vraagstelling is van groot belang voor de lokale water- en terrein-beheerders.

- * Uitgaande van een bepaalde combinatie van doelstellingen kan worden onderzocht welke lokaties of terreintypen (in relatie tot typen helofytenfilter en inrichtings- en beheersvorm) daar het beste bij passen. Dit type vraagstelling is vooral van betekenis voor de ontwikkeling van het beleid op regionaal en nationaal niveau.

7.2.4. Situering en inrichting

Onderzoekvragen die beantwoord moeten worden om problemen met betrekking tot de situering en inrichting in een landschap tot een goed einde te brengen, zijn gedeeltelijk van een ander karakter dan de vragen die gesteld worden over aard en beïnvloeding van zuiveringsprocessen. Twee factoren die hierbij een belangrijke rol spelen zijn: de eigenschappen van de lokatie waar het helofytenfilter moet worden gesitueerd, en de formulering van de doelstellingen, waaraan het helofytenfilter moet voldoen. Deze twee factoren zijn voor elke situatie specifiek, en mogelijkheden voor meervoudig gebruik en situering hangen in belangrijke mate af van deze specifieke omstandigheden. Dit betekent dat onderzoekvragen bij voorkeur worden gedestilleerd uit verschillende toepassingsstudies.

Voor een goede situering en inrichting is het in de eerste plaats noodzakelijk, dat bekend is welke gevolgen processen hebben voor de ruimtelijke structuur van een helofytenfilter. Indien de zuiveringsfunctie gecombineerd wordt met andere gebruiksvormen, dan stellen deze ook hun eigen eisen aan de ruimtelijke structuur. Voor de technisch-functionele organisatie en mogelijk nevengebruik van helofytenfilters wordt daarom aangesloten bij de onder 7.2.2. en 7.2.3. genoemde onderzoekvragen.

In de relatie tussen helofytenfilter en omgevingskenmerken zijn vooral de waterhuishoudkundige en geohydrologische aspecten belangrijk. Veel daarover is reeds via andere studies bekend. Aangezien het hier geen kennis betreft die specifiek is voor helofytenfilters worden hierover geen onderzoekvragen opgenomen.

Over de beleving van helofytenfilters is weinig bekend. Dit kan een apart omgevingspsychologisch onderzoekonderwerp vormen. Het onderzoek is in dat geval gericht op de wijze waarop omwonenden en gebruikers helofytenfilters

ervaren en waarderen.

Voor zowel de planningsaspecten als de economische aspecten zijn de bovengenoemde factoren "lokatiespecificiteit" en "doelstellingenformulering" van veel belang. Daarnaast spelen planideeën een belangrijke rol. Deze planideeën zullen per situatie verschillen. Ook zijn per situatie verschillende planideeën mogelijk. Ontwerpstudies vormen een methode van onderzoek waarin met behulp van dergelijke planideeën verschillende mogelijke oplossingen voor een inpassingsprobleem worden verkend. Dan wordt ook duidelijk welke kennis ontbreekt om het betreffende planningsprobleem op te lossen. Onderzoekvragen die uit ontwerpstudies kunnen voortvloeien, kunnen betrekking hebben op:

- * De gevolgen van verschillende stroomsnelheden, debieten, nevenfuncties en vuillasten voor het ontwerp;
- * De perspectieven om een helofytenfilter op te delen in kleinere eenheden;
- * De wijze waarop andere methoden van zuivering, zoals bodembeluchting, aanleg van bezinkputten en actief biologisch beheer aan een helofytenfilter kunnen worden gekoppeld om de verontreiniging effectief te kunnen bestrijden.

Om bij een bepaalde zuiveringsdoelstelling een optimale keuze te kunnen maken ten aanzien van situering, inrichting en beheer is behalve proceskennis ook economische kennis nodig. Het theoretische kader daarvoor is beschikbaar, maar voor een toepassing op helofytenfilters bestaan er onderzoekvragen over:

- * De mogelijkheden om onder de randvoorwaarden zoals die in een helofytenfilter gelden (waterkwaliteit, zuiveringsdoelstelling), de netto inkomsten uit de verkoop van riet en biezen te vergroten door middel van een aangepast maai- en peilbeheer;
- * De kostenbesparing van een lagere plantdichtheid, gezien tegenover de nadelen van een lagere zuiveringscapaciteit in de beginperiode van het functioneren van het helofytenfilter;
- * De aard en kosten van de maatregelen in het kader van 'groot onderhoud'. Van belang daarbij is ook het tijdsinterval dat dient te worden aangehouden tussen de periodiek noodzakelijke saneringen van het helofytenfilter, en de invloed van de dimensionering, de inrichting en het beheer hierop.

Er bestaat behoefte aan de ontwikkeling van evaluatiemethoden voor ontwerpen, waarbij ook aandacht is besteed aan de kostenaspecten en de mogelijkheden om tot besparingen op de kosten van aanleg en beheer te komen door een geschikte lokatiekeuze en multifunctioneel gebruik. Ook bestaat er behoefte aan inzicht in de mogelijkheden om door middel van dimensio-nering, inrichting en beheer te komen tot een economische optimalisering van het functione- ren van een helofytenfilter gedurende de totale levenscyclus (aanleg, aanloop naar maximale zuiveringscapaciteit, afloop, sanering).

Voor een aantal onderzoeksvragen over land- schappelijke inpassing is het noodzakelijk het vraagstuk in een groter verband te beschouwen (hydrologisch, ruimtelijk en functioneel). Dit betekent dat in het onderzoek ook aandacht zal moeten worden besteed aan het gebruik van het effluent in de omgeving van het helofytenfil- ter en de mogelijkheden om het systeem "influ- ent-filter-effluent" in zijn onderlinge samenhang te beschouwen.

7.3. METHODEN VAN ONDERZOEK

Voor beantwoording van de onderzoeksvragen zijn tal van onderzoeksmethoden beschikbaar. De bij de uitvoering van het onderzoek te han- teren methoden is afhankelijk van de vraagstel- ling. Onderscheid in methoden van onderzoek kan worden gemaakt in:

- * Kleinschalige experimenten in het labo- ratorium of in het veld. Deze zijn vooral van belang om inzicht te krijgen in de zuiveringsprocessen en parameters.
- * Grootschalige veldexperimenten. Deze kunnen inzicht leveren in het functione- ren van de zuivering en andere functies onder praktijkomstandigheden, alsmede in de mogelijkheden voor gerichte in- richtings- en beheersmaatregelen.
- * Monitoring van bestaande moerassys- temen, van belang voor de interpretatie van de uit experimenteel onderzoek verkregen resultaten met betrekking tot het functioneren van de zuiveringspro- cessen en de noodzaak en frequentie van groot onderhoud (sanering) van helofytenfilters.
- * Ontwerpstudies. Deze studies zijn be- doeld om in een bepaalde situatie, uit- gaande van bepaalde doelstellingen voor een helofytenfilter door middel van ontwerpen de diverse aspecten die samenhangen met situering, inrichting

en vormgeving van een helofytenfilter te verkennen en mogelijke onder- zoeksvragen te concretiseren. Deze vra- gen kunnen verschillende onderwerpen betreffen en leiden tot nader onderzoek op het gebied van zuiveringsprocessen, medegebruik en beheersmaatregelen. Het verdient aanbeveling bij ontwerp- studies het helofytenfilter niet alleen op lokaal niveau, maar ook in regionaal verband te beschouwen.

- * Selectie van lokaties of terreintypen die relevant zijn voor nader onderzoek.
- * Modelsimulaties. Deze kunnen een rol vervullen bij de koppeling van verschil- lende typen kennis en bij het formuleren en evalueren van perspectiefrijke com- binaties van doelstellingen, filtertypen en inrichtings- en beheersscenario's.
- * Economische evaluatietechnieken, zoals kostenstudies en kosteneffectiviteits- analyses.

7.4. PRIORITEITEN EN ONDERZOEK- STRATEGIE

7.4.1. Prioriteiten

Vanuit de praktijk van het waterbeheer bestaat een grote behoefte aan toepassingsgerichte kennis. Welke combinaties van doelstellingen bieden het meeste perspectief? Hoe hangen deze samen met de specifieke gebiedsken- merken en de samenstelling van het instromende oppervlaktewater? Hoe moet men een helofy- tenfilter ontwerpen, inrichten en beheren? Hoe lang zal het op het gewenste niveau blijven functioneren? Door welke maatregelen kan het dan worden gesaneerd? Wat zijn de kosten van dit alles?

De urgentie van deze vragen is hoog. Uit de workshop en de vraaggesprekken blijkt dat er onder water- en terreinbeheerders grote be- langstelling bestaat om tot de aanleg van helo- fytenfilters over te gaan. Ten aanzien van het ruimtebeslag wordt vooral gedacht aan gebie- den van enige tot enkele tientallen ha. De ver- wachtingen aangaande de te bereiken water- kwaliteit lopen sterk uiteen en ook de potentiële lokaties vertonen een grote diversiteit. In enkele gevallen is een aanvang gemaakt met de ont- wikkeling en uitvoering van concrete plannen. Op beleidsniveau wordt al gedacht aan toepas- singen van helofytenfilters op grote schaal.

Gezien de bestaande kennis over helofytenfil-

ters blijkt dat een beantwoording van de praktijkvragen in veel gevallen stuit op hiaten in kennis over de werking van de zuiveringsprocessen. In wetenschappelijk opzicht liggen hier de grootste prioriteiten voor het onderzoek. In principe kan bij het onderzoek worden gekozen tussen experimenteel onderzoek in volledig geconditioneerde modelsystemen en praktijkonderzoek op kansrijke lokaties. Het voordeel van een experimentele proefopzet is dat vrijwel alle factoren beheerst en gecontroleerd kunnen worden. Voor het vergroten van de proceskennis is dit de aangewezen weg. Dit onderzoek is echter kostbaar, levert pas op langere termijn resultaten op en zal lang niet op alle praktische vragen een passend antwoord kunnen geven. Prioriteit wordt gegeven aan praktijkonderzoek, omdat hiermee de kennisontwikkeling zich uitstrekt tot problemen op het gebied van multifunctioneel gebruik en landschappelijke inpassing. Daarnaast is het van belang dat kennisontwikkeling wordt gecombineerd met feitelijke herstelmaatregelen voor de betreffende wateren. De mogelijkheden voor het vergroten van de proceskennis binnen de aangelegde helofytenfilters dienen optimaal te worden benut. Op grond van bovenstaande overwegingen is ervoor gekozen om een onderzoekstrategie te ontwikkelen die primair uitgaat van de huidige praktijkvragen.

7.4.2. Onderzoekstrategie in hoofdlijnen.

Het benodigde onderzoek zal betrekking hebben op een kwantificering van de zuiverende werking voor perspectiefrijke combinaties van doelstellingen, beheersvormen, systeemtypen en gebiedskenmerken en op fundamentele kennis over de zuiveringsprocessen.

Voorgesteld wordt het onderzoekprogramma in twee stappen uit te voeren. De eerste stap leidt tot de beantwoording van de vraag of helofytenfilters werken in laag belaste situaties. De vergelijkbaarheid van de veldexperimenten is van het grootste belang. In de tweede stap komen de meer fundamentele onderzoeksvragen uit de onderzoeklijnen 7.2.1. en 7.2.2. aan de orde, alsmede het onderzoek naar multifunctionaliteit en landschappelijke inpassing (7.2.3. en 7.2.4.).

In dit rapport is alleen aan de eerste stap een concrete uitwerking gegeven, die er als volgt uitziet:

STAP 1

In hoofdstuk 6 is reeds aangegeven welke toepassing van helofytenfilters voor verbetering

van de oppervlaktewaterkwaliteit perspectieven bieden. Het onderzoek zal dan ook betrekking hebben op:

- het verbeteren van de kwaliteit van het suppletiewater dat ter compensatie van verdampings- en wegzijgingsverliezen in meren, plassen en natte natuurgebieden wordt ingelaten;
- de helofytenfiltertypen waarvan de inrichting en het beheer zijn afgestemd op verwijdering van nutriënten via de moerasvegetatie en denitrificatie (zie hoofdstuk 3).

De volgende onderzoeksvragen hebben hierbij de hoogste prioriteit:

- Wat is de relatie tussen de zuiverings-efficiëntie en de mate alsmede de vorm waarin het oppervlaktewater belast is met stikstof- en fosforverbindingen?
- Wat is de invloed van het waterbeheer op deze relatie?
- Wat zijn de ontwikkelingen van natuurwaarden in deze systemen?

Voor experimenten op praktijkschaal waarin deze vragen beantwoord zullen worden is het van groot belang om een beoordelingskader te ontwikkelen dat het mogelijk maakt de zuiveringsprestaties tussen diverse lokaties te vergelijken. Hiervoor is een gedetailleerde beschrijving van de uitgangssituatie voor bodem en natuur noodzakelijk, alsmede een water- en stoffenbalans zoals beschreven in hoofdstuk 2. De inrichting van deze veldexperimenten dient te worden gebaseerd op ontwerpstudies aan de hand van bestaande kennis en gegevens. Deze zijn wenselijk om de resultaten van de metingen in een groter verband te kunnen plaatsen en om te kunnen komen tot een goede opzet van het procesgerichte onderzoek in de volgende fase.

Bij de ontwerpstudies dient speciale aandacht te worden gegeven aan het feit dat er nog zeer weinig bekend is over de dimensionering van helofytenfilters. Er dienen dus voorzieningen te worden getroffen voor het geval het beoogde zuiveringsresultaat niet wordt gehaald, of voor het geval de te verwerken hoeveelheid water groter blijkt dan waarvoor het helofytenfilter is ingericht.

STAP 2

Nadat inzicht is verkregen in de zuiveringsresultaten die haalbaar zijn onder verschillende omstandigheden, kunnen in stap twee de meer fundamentele aspecten van de zuiveringsprocessen worden onderzocht en vertaald in me-

thoden voor dimensionering.

Daartoe kunnen de veldexperimenten worden aangevuld met intensieve metingen op zorgvuldig gekozen lokaties (bijv. binnen de ingerichte veldexperimenten) of in laboratoriumopstellingen. Ook monitoring van bestaande moeras-systemen kan in dit stadium waardevolle informatie opleveren.

Vervolgens is onderzoek gewenst naar de mogelijkheden voor multifunctioneel gebruik en de effecten daarvan op de zuiveringseffectiviteit. In ontwerpstudies kunnen ook deze mogelijkheden worden onderzocht. Ook kostenstudies en kosteneffectiviteitsanalyses zijn in dit stadium van belang.

Modelsimulaties kunnen in dit stadium een waardevolle bijdrage leveren op voorwaarde dat de achterliggende relaties voldoende betrouwbaar kunnen worden gekwantificeerd.

Tenslotte kunnen methoden worden ontwikkeld waarmee de helofytenfiltersystemen op een geïntegreerde wijze kunnen worden ontworpen en geëvalueerd.

7.5. KENNISOVERDRACHT EN ONDERZOEKCOÖRDINATIE

Uit de vraaggesprekken en de workshop is gebleken dat de toegankelijkheid van onderzoekresultaten slecht is en de informatie-uitwisseling over lopend onderzoek gebrekkig. Een soortgelijk probleem is eveneens door de Vries e.a. (1990) geconstateerd op het gebied van integraal waterbeheer. De volgende aanbevelingen zijn daarom geformuleerd om de kennisoverdracht tussen onderzoekers en beheerders te vergroten:

- Het bevorderen van informatie-uitwisseling via overleg tussen waterbeheerders en onderzoekers.
- Het bevorderen van publikaties over de toepassing van helofytenfilters in tijdschriften op het gebied van water- en natuurbeheer.
- Het geven van cursussen die specifiek ingaan op het gebruik van helofytenfilters voor verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit en natuurontwikkeling.

Coördinatie en afstemming van onderzoek is noodzakelijk, omdat het onderzoek naar de werking en toepassing een groot aantal vakgebieden bestrijkt.

LITERATUUR

Adriaanse, P.I., 1987.

Hydrologische veranderingen in natuurgebieden: overzicht van benodigde gegevens, analysemethoden en modellen. ICW-rapport nr. 23, Wageningen.

Adriaanse, P.I. en R.H. Kemmers, 1988.

Bufferzones tegen nitraatuitspoeling in beekdalen. Een methode om de ligging en de breedte vast te stellen. ICW-rapport 27 nieuwe serie, Wageningen.

Akkerman, S.S. en J.L. Fiselier, 1988.

Rietgorzen in de Randmeren. CML mededelingen 36, Centrum voor Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden.

Akkerman, S.S., J.L. Fiselier en S.H. Hosper, 1990.

Moerassystemen voor waterzuivering en natuurontwikkeling. Ontwerpstudies voor de Veluwerandmeren. *H₂O* 23 (3): 60-65.

Andersen, F.O., 1981.

Oxygen and nitrate respiration in a reed swamp sediment from eutrophic lake. *Holarctic Ecology* 4: 66-72.

Andersen, J.M., 1977.

Rates of denitrification of undisturbed sediment from six lakes as a function of nitrate concentration, oxygen and temperature. *Archiv für Hydrobiologie* 80 (2): 147-159.

Andersen, J.M., 1985.

Preserving lakes and coastal areas against eutrofication. In: Golterman, H.L. (red.). Denitrification in the nitrogen cycle. NATO conference series (1): Ecology: 171-191.

Baalen, J. van, 1983.

Ecologische effecten van afvalstoffenopslag en -verwerking. Instituut voor Milieuvraagstukken, Vrije Universiteit Amsterdam.

Barendregt, A., M.J. Wassen, J.T. de Smidt en E. Lippe, 1986.

Ingreep-effectvoorspelling voor waterbeheer. *Landschap* 3 (1): 40-55.

Barko, J.W. en R.M. Smart, 1980.

Mobilization of sediment phosphorus by submerged macrophytes. *Freshwater Biology* 10: 229-238.

Berg, J.W. van den, 1968.

Reductiereservoir. Toepassing van een reductiereservoir in het verbeteringsplan van de Aaltense Slinge-Bielheimerbeek. *Tijdschrift Koninklijke Nederlandse Heidemaatschappij* 79(1).

Best, G.R., 1987.

Natural wetlands southern environment: wastewater to wetlands, where do we go from here? In: Reddy, K.R. & W.H. Smith (red.): Aquatic plants for wastewater treatment and resource recovery: 99-120. Magnolia Publ. Inc., Orlando, Florida.

Best, M.D. en Mantai, K.E., 1978.

Growth of *Myriophyllum*: sediment or lake water as the source for nitrogen and phosphorus. *Ecology* 59: 1075-1080.

Biologisch Station Rieselfelder Münster, 1981.

Die Rieselfelder Münster Europare Reservat für Wat- und Wasservögel.

Blindow, I., 1984.

Interactions between submerged macrophytes, epiphyton and phytoplankton: a review. Report of the Institute of Limnology, University of Lund, Sweden.

Bloemendaal, F.H.J.L. en J.G.M. Roelofs, 1987.

Schadelijke stoffen. In: Bloemendaal, F.H.J.L. en J.G.M. Roelofs (red.): Waterplanten en waterkwaliteit: 127–138. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.

Boekhorst, J.K.M. te, J.F. Coeterier en W.J.C. Hoeffnagel, 1987.

Effecten van rijkswegen op de beleving. Rapport 424. De Dorschkamp, Wageningen.

Bosma, H., 1986.

Kosten en effecten van landinrichtingsprojecten in Nederland. Dissertatie.

Bott, T.L., 1976.

Nutrient cycles in natural systems: microbial involvement. In: Tourbier, J. en R.W. Pierson jr (red.): Biological control of water pollution: 42–52. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania.

Boyt, F.L., S.E. Bayley en J. Zoltek jr., 1977.

Removal of nutrients from treated municipal wastewater by wetland vegetation. *Journal of Water Pollution Control Federation* 49 (5): 789–800.

Brix, H. en H-H. Schierup, 1989.

The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. *Ambio* 18 (2): 100–107.

Brock, Th.C.M., 1988.

De invloed van waterplanten op hun omgeving. In: Bloemendaal, F.H.J.L. en J.G.M. Roelofs (red.): Waterplanten en waterkwaliteit: 27–42. Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht.

Bumpus, J.A., M. Tien, D. Wright en S.D. Aust, 1985.

Oxidation of persistent environmental pollutants by white rot fungus. *Science* 228.

Burgess, N.D. en C.E. Evans, 1989.

Management case study. The management of reedsbeds for birds. The Royal Society for the Protection of Birds.

Butijn, G.D., 1988.

Evaluatie nareinigingsveld rioolwaterzuivering Elburg. Werkgroep rietvelden.

Carignan, R. en J. Kalff, 1980.

Phosphorus sources for aquatic weeds: water or sediments? *Science* 207: 987–989.

Chalamet, A., 1985.

Effects of environmental factors on denitrification. In: Golterman, H.L. (red.): Denitrification in the nitrogen cycle. NATO conference series, series 1: Ecology: 7–31.

Clevering, O. en W. van Gulik, 1990.

De aanleg van biezenbegroeiingen. De mogelijkheden voor herintroductie van biezen in het Haringvliet-Hollands Diep gebied. Concept-rapport, Instituut voor Oecologisch Onderzoek, Oostvoorne.

Clymo, R.S., 1983.

Peat. In: Gore, A.J.P. (red.): Mires, swamp, bog, fen and moor. Ecosystems of the world 4A: 159–224. Elsevier Scienc. Publ. Comp., New York.

Coeterier, J.F., 1987.

De waarneming en waardering van landschappen. Dissertatie, Landbouw Universiteit, Wageningen.

Coeterier, J.F., R. Peters en L. Langzaal-Van Swaay, 1984.

MER Amsterdam nieuw-oost; de belevingswaarde van het landschap. Rapport 379, de Dorschkamp,

Wageningen.

Cooke, J.G. en R.E. White, 1987.

Spatial distribution of denitrifying activity in a stream draining an agricultural catchment. *Freshwater Biology* 18: 509–519.

Curtis, J.P., C.K. Durran en M.M. Harman, 1975.

Nitrification in rivers in the Trent bassin. *Water Research* 6: 71.

Curtis, J.P., 1989.

Effects of hydrogen ion and sulphate on the phosphorus cycle of a Precambrian Shield Lake. *Nature* 337: 156–158.

Davis, C.B. en A.G. van der Valk, 1978.

Litter decomposition in prairie glacial marshes. In: Good, R.R. e.a. (red): *Freshwater wetlands. Ecological processes and management potential*: 99–113. Academic Press, New York.

Davis, C.B. en A.G. van der Valk, 1983.

Uptake and release of nutrients by living and decomposing *Typha glauca* tissues at Eagle Lake, Iowa. *Aquatic Botany* 16: 75–89.

Dort, T.C.M. van en R.H. Kemmers, 1988.

Bufferzones tegen nitraatinspoeling in beekdalen.

Vuistregels voor het bepalen van de omvang. ICW-rapport 35 nieuwe serie, Wageningen.

Duel, H., 1986.

Waterzuivering door moerassystemen (macro-helofytenfilters) ten behoeve van de drinkwaterwinning. SCMO-TNO, Delft.

Duel, H., J.L. Fiselier, F. Klijn en C. Kwakernaak, 1989.

Gebiedsvreemd water in Nederland. Een verkenning van de problematiek van gebiedsvreemd water en de ruimtelijke oplossingsmogelijkheden. SCMO-rapport R89/42, CML-mededelingen 52.

Duel, H. en F.J.A. Saris, 1986.

Waterzuivering door macro-helofytenfilters. *Landschap* 3 (4): 295–305.

During, R., A.F.M. Meuleman, H. Duel en P.J.A.M. Smeets, 1989.

Toepassing van helofytenfilters in de landschapsplanning. *Landinrichting* 89: 29–33.

DVWK, 1983.

Hochwasserrückhaltebecken. Bemessung und betrieb. Verlag Paul Parey. DVWK Merkblätter 202.

Emerson, K., R.C. Russo, R.E. Lund en R.V. Thuston, 1975.

Aqueous ammonia equilibrium calculations: effects of pH and temperature. *Journal of Fisheries Research Board Canada* 32: 2379–2383.

Feith, A.F., 1987.

Waterkwaliteit, visstand en visserij. Ministerie van Landbouw en Visserij, directie Openluchtrecreatie, Den Haag.

Fillery, I.R.P., 1983.

Biological denitrification. In: Freney, J.R. & Simpson, J.R.(red.): *Gaseous loss of nitrogen from plant-soil systems. Developments in plant and soil sciences* (9): 33–65.

Fiselier, J.L., 1987.

Meerbegeleidende moerassen voor waterzuivering en natuurontwikkeling. CML mededelingen 30, Centrum voor Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden.

Focht, D.D. en W. Verstraete, 1977.

Biochemical ecology of nitrification and denitrification. *Advances in Microbial Ecology* 1: 135–214.

German, J.C., 1985.

Microbiology of denitrification and other processes involving the reduction of oxygenated nitrogenous compounds. In: Golterman, H.L.(red.): Denitrification in the nitrogen cycle. NATO conference series (1): Ecology: 31–47.

Gersberg, R.M., B.V. Elkins en C.R. Goldman, 1983.

Nitrogen removal in artificial wetlands. *Water Research* 17(9): 1009–1014.

Giblin, A.E., 1985.

Comparisons of the processing of elements by ecosystems, II: metals. In: Godfrey, P.J. e.a. (red.): Ecological considerations in wetlands treatment of municipal wastewaters: 158–179. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Golterman, H.L., 1976.

Zonation of mineralization in stratifying lakes. In: Anderson, J.M. en A. Macfadyen (eds.): The role of terrestrial and aquatic organisms in decomposition processes: 3–22. Blackwell, London.

Good, B.J. en W.H. Patrick jr., 1987.

Root–water–sediment interface processes. In: Reddy K.R. en W.H. Smith (red.): Aquatic plants for wastewater treatment and resource recovery: 359–372. Magnolia Publ. Inc., Orlando, Florida.

Greiner, R.W. en G.D. Butijn, 1985.

Afvalwaterzuivering met behulp van begroeide vloeivelden. In: Aart, P.J. van der (red.): Moerassen voor de zuivering van afvalwater. PAO–cursus. Utrecht Plant Ecology News Report: 39–63.

Greiner, R.W. en J. de Jong, 1984.

The use of marsh plants for the treatment of waste water in areas designated for recreation and tourism. *Flevobericht* 225. Rijksdienst voor IJsselmeerpolders.

Gryseels, M., 1989a.

Nature management experiments in a derelict reedmarsh: effects of winter cutting. *Biological Conservation* 47: 171–193.

Gryseels, M., 1989b.

Nature management experiments in a derelict reedmarsh: effects of summer mowing. *Biological Conservation* 48: 85–99.

Hankin, L. en B.L. Sawhney, 1984.

Microbial degradation of polychlorinated biphenyls in soil. *Soil Science* 137: 401–407.

Harmsen, C., L. Pols en N. Zuurdeeg, 1988.

Oeverbeplanting en waterbeheer.. Deelrapport van de werkgroep beekbegeleidende beplantingen. Mededelingen Landinrichtingsdienst 182.

Haslam, S.M., 1970.

The performance of *Phragmites communis* in relation to water supply. *Ann. Botany* 34: 867–877.

Herwaarden, G.J. van, 1987.

Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 2: de otter. Mededelingen Landinrichtingsdienst 170.

Herwaarden, G.J. van, 1988.

Natuurtechnische mogelijkheden voor landinrichtingsprojecten. Deel 5: sloten en vaarten. Mededelingen Landinrichtingsdienst 186.

Higler, L.W.G., 1984.

Stoten. In: Rijksinstituut voor Natuurbeheer: Natuurbeheer in Nederland. Deel 1: Levensgemeenschappen: 56 – 63. Pudoc, Wageningen.

Hosper, S.H., M-L. Meijer en E. Jagtman, 1987.

Actief biologisch beheer, nieuwe mogelijkheden bij het herstel van meren en plassen. *H₂O* 20 (12): 274–279.

Howard-Williams, C., 1985.

Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands: a theoretical and applied perspective. *Freshwater Biology* 15 (4): 391–431.

Iedema, C.W. en P. Kik, 1986.

Het zoetwatermoeras de Oostvaardersplassen. *Flevobericht* 259, Rijksdienst voor IJsselmeerpolders, Lelystad.

Jong, J. de, T. Kok en A.H. Koridon, 1977.

The purification of sewage with the aid of ponds containing bulrushes or reeds in The Netherlands. RYP-rapport 1977–7 Blw.

Jong, J. de en B. Schrikkema, 1988.

Helofytenfilters aan een laaglandbeek. Landbouwniversiteit Wageningen.

Jongh, J. de, K.R. de Poel, O. Vaessen en W. Vos, 1987.

Water en landschap in een veenweidegebied: de Krimpenerwaard. SWNBL 6b.

Kaczynski, V.W., 1985.

Considerations for wetland treatment of spent geothermal fluids. In: Godfrey, P.J. e.a. (red.): *Ecological considerations in wetlands treatment of municipal wastewaters*: 48–65. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Kadlec, J.A., 1987.

Nutrient dynamics in wetlands. In: Reddy K.R. en W.H. Smith (red.): *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*: 393–419. Magnolia Publ. Inc. Orlando, Florida.

Kadlec, R.H. en D.L. Tilton, 1979.

The use of freshwater wetlands as a tertiary wastewater treatment alternative. *CRC Critical Reviews of Environmental Control* 9 (2): 185–212.

Kampf, R. en C. Tutein Nolthenius, 1983.

Verwerking van afvalwaterslib in een rietveld. *H₂O* 16 (20): 461–464.

Katwijk, M.M. van en J.G.M. Roelofs, 1988.

Vegetaties van waterplanten in relatie tot het milieu. Afdeling Aquatische Oecologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.

Kemmers, R.H., 1982.

Hydrologische bufferzones: werking en de relatie tot hun ruimtelijke positie in het landschap. ICW-mededelingen 19 nieuwe serie, Wageningen.

Kerkstra, K. en P. Vrijlandt, 1988.

Het landschap van de zandgebieden. Studiereeks: Bouwen aan een levend landschap, nr 8. LU Wageningen, Bos en Landschapsbouw SBB Utrecht.

Klapotek, J.M., 1978.

Nutrient dynamics of freshwater riverine marshes and the role of emergent macrophytes. In: Good, R.E., e.a. (red.): *Freshwater wetlands. Ecological processes and management potential*: 195–216. Academic Press, New York.

-
- Koerselman, W., 1989.
Hydrology and nutrient budgets of fens in an agricultural landscape. Proefschrift. Rijksuniversiteit Utrecht.
- Koerselman, W. en B. Beltman, 1988.
Evapotranspiration from fens in relation to Penman's potential free water evaporation (E_p) and pan evaporation. *Aquatic Botany* 31: 307–320.
- Leeuwen, R.J. van, 1988.
MER Amsterdam nieuw-oost. Deel 3: bijlage: Het landschapsbeeld van Nieuw-Oost. Dienst Ruimtelijke Ordening Amsterdam, 1988.
- Locht, L.J., 1982.
Allocation of watermanagement costs. ICW Technical Bulletin 19, Wageningen.
- Lijklema, L., 1985.
Massabalansen voor N en P in onderwaterbodems. In: Aart, P.J.M van der (ed.): Moerassen voor de zuivering van afvalwater. PAO-cursus. Utrecht Plant Ecology News Report: 220–237.
- Meuleman, A.F.M., 1987.
Waterkwaliteitsverbetering door helofytenfilters. SCMO-TNO, Delft, 83 p.
- Meuleman, A.F.M., R.P. de Ridder, B. Beltman en J.T.A. Verhoeven, 1987.
Balansstudies en het beheer van trilvenen in het Utrechtse veenweidegebied. *Landschap* 4 (2): 123–134.
- Mihelcic, J.R. en R.G. Luthy, 1988.
Degradation of polycyclic aromatic hydrocarbon compounds under various redox conditions in soil-water systems. *Applied and Environmental Microbiology*: 1182–1187.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1990.
Natuurbeleidsplan, regeringsbeslissing. SDU, Den Haag.
- Ministerie van Landbouw en Visserij, 1989.
Natuurontwikkeling. Een verkennende studie. Den Haag.
- Ministerie van Landbouw en Visserij en Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1984.
Structuurschema natuur- en landschapsbehoud. Deel e. Den Haag.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1989.
Derde Nota Waterhuishouding. SDU, Den Haag.
- Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 1988.
De vierde nota over de Ruimtelijke Ordening. Deel d: regeringsbeslissing. SDU, Den Haag.
- Mook, J.C., R. Lageveen en H.W. Waardenburg, 1986.
Biezenvelden in Houten. Gemeente Houten, Grontmij en Bureau Waardenburg.
- Moorhead, K.K. en K.R. Reddy, 1988.
Oxygen transport through selected aquatic macrophytes. *Journal of Environmental Quality* 17 (1): 138–142.
- Natuurbeschermingsraad, 1987.
Gebiedsvreemd water. Advies over de ecologische effecten van de aanvoer van rivierwater. Utrecht.
- Nichols, D.S., 1983.
Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation* 55 (5): 495–505.
-

Oyen, F.G.F., 1987.

Een onderzoek naar de visfauna in de Molenpolder en de Noordermaarsseveense Plassen en haar relaties met de omliggende gebieden.

Pardue, J. H., R.D. Delaune en W.H. Patrick Jr., 1988,

Effect of sediment pH and oxidation-reduction potential on PCB mineralization. *Water, Air and Soil Pollution* 37: 439-447.

Pearshall, W.H. en C.H. Mortimer, 1939.

Oxidation-reduction potentials in waterlogged soils, natural waters and muds. *Journal of Ecology* 27.

Peverly, J.H., 1982.

Stream transport of nutrients through a wetland. *Journal of Environmental Quality* 11 (1): 38-43.

Ploeg, S.W.F. van der, L.C. Braat, C. Kwakernaak, W.F.J. van Lierop, J.W. van der Linden en F.J.A. Saris, 1984.

Openlucht recreatie en natuurlijk milieu. Instituut voor Milieuvraagstukken Universiteit van Amsterdam en Studie- en Informatiecentrum TNO voor Milieu-onderzoek.

Polman, G.K.R. & S. Schmidt-ter Neuzen, 1987.

Ontwikkelingsvisie Oostvaardersplassen. Flevobericht nr 282, Rijksdienst voor IJsselmeerpolders, Lelystad.

Ponnamperuma, F.N., 1984.

Effects on flooding on soils. In: Kozlowski, T.T. (red.): *Flooding and plant growth*: 10-45. Academic Press, Orlando, Florida.

Poorter, E.P.R., 1982.

Ganzen en riet in de Oostvaardersplassen. *Vakblad voor biologen* 62 (20): 398-399.

Prentki, R.T., T.D. Gustafson en A.S. Adams, 1978.

Nutrient movements in lakeshore marshes. In: Good, R.E., e.a. (red.): *Freshwater wetlands. Ecological processes and management potential*: 169-194. Academic Press, New York.

Putten, W.H. van der en G.B.J. Rijs, 1990.

Waterzuivering met helofytenfilters. Een verslag van twee themadagen over de toepasbaarheid van moerassystemen voor de zuivering van afvalwater en oppervlaktewater. *H₂O* 23 (13): 361-363. Instituut voor Oecologisch Onderzoek en Dienst Binnenwateren/RIZA.

Rebers, S., 1987.

Richtlijnen voor aanleg en beheer van waterzuiveringsmoerassen. Vakgroep Waterzuivering Landbouw Universiteit Wageningen.

Reddy, K.R. en T.A. DeBusk, 1987.

State-of-the-art utilization of aquatic plants in water pollution control. *Water Science and Technology* 19 (10): 61-80.

Reddy, K.R. en D.A. Graetz, 1981.

Use of shallow reservoirs and flooded soils systems for wastewater treatment: nitrogen and phosphorus transformations. *Journal of Environmental Quality* 10: 113-119.

Reddy, K.R. en W.H. Patrick, 1984.

Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. *CRC Critical Reviews in Environmental Control* 13 (4): 273-310.

Reddy, K.R. en W.H. Smith (red.), 1987.

Aquatic plants for water treatment and resource recovery. Magnolia Publ. Inc. Orlando, Florida, VS.

Reddy, K.R., J.C. Tucker en W.F. DeBusk, 1987.

The role of *Egeria* in removing nitrogen and phosphorus from nutrient enriched waters. *Journal of Aquatic Plant Management* 25: 14–19.

Reijnen, M.J.S.M., 1989.

Invloed van watersport op de natuur. Een programmeringsstudie voor zoetwater- en moerasgebieden in Nederland. Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, nr 37.

Richards, B.N., 1987.

The microbiology of terrestrial ecosystems. Longman Scientific and Technical, Longman Group UK Limited, Harlow, Engeland, 399 p.

Richardson, C.J. en P.E. Marshall, 1986.

Processes controlling movement, storage and export of phosphorus in a fen peatland. *Ecological Monographs* 56 (4): 279–302.

Richardson, C.J. en D.S. Nichols, 1985.

Ecological analysis of wastewater management criteria in wetland ecosystems. In: Godfrey, P.J. e.a. (red.): *Ecological considerations in wetlands treatment of municipal wastewaters*: 351–391. Van Nostrand Reinhold Company, New York.

Rodewald-Rudescu, L., 1974.

Das Schilfrohr. Die Binnengewässer Band XXVII. Schweizerische Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Roelofs, J.G.M. en M.J.R. Cals, 1989.

Effecten van de inlaat van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit en vegetatie-ontwikkeling in laag- en hoogveenplassen. In: Roelofs, J.G.M. (red.): *Aanvoer van gebiedsvreemd water: omvang en effecten op ecosystemen*: 72–85. Katholieke Universiteit Nijmegen.

Rozema, J. en M.L. Otte, 1986.

Ecosysteem onderzoek Noordelijk deltabelken: (an)organische microverontreinigingen. Vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie, Vrije Universiteit Amsterdam.

Rutten, H., 1988.

Spaarbekken/rietveldonderzoek Sellinger. Inrichting, beheer en onderhoud. Afdeling Onderzoek Landinrichtingsdienst Groningen.

Saris, F.J.A., 1988.

Houtkaden en stromingsmoerassen in het veenweidegebied. *Zuidhollands Landschap* 17 (1): 17–21.

Särkkä, J., M.L. Hattula, J. Janatuinen en J. Paasivirta, 1978.

Chlorinated hydrocarbons and mercury in aquatic vascular plants of Lake Päijänna Finland. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 16: 361–368.

Schierup, H-H. en V.J. Larsen, 1981.

Macrophyte cycling of zinc, copper, lead and cadmium in the littoral zone of a polluted and non-polluted lake. Availability, uptake and translocation of heavy metals in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. *Aquatic Botany* 11: 197–210.

Schlesinger, W.H., 1978.

Community structure, dynamics and nutrient cycling in the Okefenokee cypress swamp forest. *Ecological Monographs* 48: 43–65.

Schroeder, L.D., D.R. Anderson, R.S. Pospahala, G.W. Robinson en F.A. Glover, 1976.

Effects of early water application on waterfowl production. *Journal of Wildlife Management* 20: 227–232.

Seidel, K., 1976.

Macrophytes and water purification. In: Tourbier J. & W.H. Pierson jr (red.): *Biological control of water pollution*: 109–121. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania.

Singer P.C., 1972.

Anaerobic control of phosphate by ferrous ion. *Journal of Water Pollution Control Federation* 44 (4): 663–669.

Sloey, W.E., F.L. Spangler en C.W. Fetter jr, 1978.

Management of freshwater wetlands for nutrient accumulation. In: Good, R.E., e.a. (red.): *Freshwater wetlands: ecological processes and management potential*: 321–340. Academic Press, New York.

Smid, P., 1975.

Evaporation from a reed swamp. *Journal of Ecology* 63: 299–330.

Sørensen, S.J., 1982.

Reduction of ferric iron in anaerobic, marine sediments and interactions with reduction of nitrate and sulphate. *Applied and Environmental Microbiology* 43 (2): 319–324.

Spangler, F., W. Sloey en C.W. Fetter, 1976.

Experimental use of emergent vegetation for the biological treatment of municipal wastewater in Wisconsin. In: Tourbier, J. en W.H. Pierson jr. (red.): *Biological control of water pollution*: 161–171. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania.

Stortelder, P.B.M., M.A. van der Gaag en L.A. van der Kooij, 1989.

Kansen voor waterorganismen: een ecotoxicologische onderbouwing voor waterkwaliteitsdoelstellingen voor water en waterbodern. Dienst Binnenwateren/RIZA, Rijkswaterstaat.

Studiegroep Polderland, 1987.

Waterlinies. Centrum voor Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden.

Stumm, W. en J.J. Morgan, 1981.

Aquatic chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters: 230–322.

TAUW, 1989.

Studie toedeling kosten waterbeheersing. Tauw Infraconsult BV, Deventer.

Taylor, G.J. en A.A. Crowder, 1983.

Uptake and accumulation of heavy metals by *Typha latifolia* L. in wetlands of Sudbury, Ontario region. *Canadian Journal of Botany* 61: 63–73.

Tilton, D.L. en R.H. Kadlec, 1979.

The utilization of a freshwater wetland for nutrient removal from secondarily treated wastewater effluent. *Journal of Environmental Quality* 8(3): 328–334.

Toet, C., 1987.

Riet .. of niet. Modelstudie naar de te verwachten nutriëntengehalten in een aan te leggen spaarbekken/rietveld in Oost-Groningen. LUW, vakgroep Waterzuivering, doktoraalverslag no. 47.

Toorn, J. van der, 1972.

Variability of *Phragmites australis* in relation to the environment. *Van zee tot land* 48.

Toorn, J. van der, 1982.

Invloed van beschadigingen op de groei van riet en vegetatie-ontwikkeling in de IJsselmeerpolders. *Vakblad voor biologen* 62 (20): 394–397.

Torenbeek, R., 1988.

Hydrobiologie en waterhuishouding. Een beleidsvoorbereidende studie. Rijksinstituut voor Natuurbeheer.

Verhoeven, J.T.A., 1985.

De nutriëntenhuishouding van zoetwatermoerassen, speciaal met betrekking tot verrijking. In: Aart, P.J.M. van der (red.): *Moerassen voor de zuivering van afvalwater*. PAO-cursus. Utrecht Plant Ecology News

Report: 16-38.

Verhoeven, J.T.A., W. Koerselman en B. Beltman, 1988.

The vegetation of fens in relation to their hydrology and nutrient dynamics. In: Symoens, J.J. (red.): The vegetation of inland waters. Handbook of Science 15: 249-282. Junk, Den Haag.

Vermeer, J.G., 1985.

Effects of nutrient availability and ground water level on shoot biomass and species composition of mesotrophic plant communities. Dissertatie, Rijksuniversiteit Utrecht, 142 p.

Vincent, W.F. en M.T. Downes, 1980.

Variation in nutrient removal from a stream estuary by watercress (*Nasturtium officinale*). Aquatic Botany 9: 221-235.

Voigts, D.K., 1976.

Aquatic invertebrate abundance in relation to changing marsh vegetation. Am. Midl. Nat. 95.

Vries, I. de, P.J.A. Baan, L.W.G. Higler, P.F.M. Verdonschot, 1990.

Ecologische aspecten van integraal waterbeheer. Programmeringsstudie. RMNO-rapport nr. 41.

Wassen, M.J., E. van Donk, W. Koerselman en G.A. den Hartogh, 1989.

Ecologische effecten van alternatieve vormen van integraal waterbeheer voor Noorderpark. In: Liere, van L., e.a. (red.): Integraal waterbeheer in het Goois/Utrechts stuwwallen- en plassenengebied: 280-299.

Waterschap de Berkel, 1984.

Kwantiteitsbeheersplan 1985-1995. Lochem.

Weber, J.B. en E. Mrozek jr., 1979.

Polychlorinated biphenyls: phytotoxicity, adsorption and translocation by plants and inactivation by activated carbon. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 23: 412-417.

Weisner, S.E.B., 1988.

Factors affecting the internal oxygen supply of *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in situ. Aquatic Botany 31: 329-335.

Weller, M.W., 1978.

Management of freshwater marshes for wildlife. In: Good, R.E., e.a. (red.): Freshwater wetlands. Ecological processes and management potential: 267-284. Academic Press, New York.

Wentz, W.A., 1987.

Ecological/environmental perspectives on the use of wetlands in water treatment. In: Reddy, K.R. en W.H. Smith (red.): Aquatic plants for water treatment and resource recovery: 17-26. Magnolia Publishing Inc., Orlando, Florida.

Winter, M. en R. Kickuth, 1985.

Elimination of nutrients (sulphur, phosphorus, nitrogen) by the root zone process and simultaneous degradation of organic matter. In: Aart P.J.M. van der (red.): Moerassen voor de zuivering van afvalwater. PAO-cursus. Utrecht Plant Ecology News Report: 123-140.

Wolverton, B.C., 1987.

Artificial marshes for wastewater treatment. In: Reddy K.R en W.H. Smith (red.): Aquatic plants for water treatment and resource recovery: 141-152. Magnolia Publ. Inc., Orlando, Florida.

BIJLAGE 1.

BEGRIPPENLIJST

Aëroob milieu	Milieu waarin zuurstof aanwezig is. In een moerasbodem kunnen aërobe omstandigheden voorkomen in de toplaag en rondom de wortels van moerasplanten.
Ammonificatie	De biologische omzetting van organisch-N en van nitraat in ammonium.
Anaëroob milieu	Milieu waarin geen zuurstof aanwezig is.
Bezinkbaas of bezinkput	Een systeem waarin de bezinking van slibdeeltjes centraal staat.
Case-studie	Studie van voorbeeld in de praktijk.
Debiet	Hoeveelheid water dat per tijdseenheid een bepaald punt passeert (m^3/s).
Denitrificatie	De biologische reductie van nitraat in stikstofgassen. Denitrificatie vindt plaats in anaërobe milieus.
Effectiviteit van helofytenfilters	Het vermogen van helofytenfilters om verontreinigingen uit het oppervlaktewater te onttrekken per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid ($kg/ha/jaar$).
Eutroof water	Voedselrijk water.
Helofyten	Moerasplanten die in de waterbodem wortelen, maar met bladeren boven het wateroppervlak uitsteken. Door het bezit van luchtkanalen kunnen deze planten ook in een zuurstofarm bodemmilieu groeien.
Helofytenfilter	Moerassen die vrijwel geheel zijn begroeid met helofyten en die zijn ingericht en worden beheerd als systemen voor de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater. Het beheer en de inrichting van helofytenfilters kan afgestemd zijn op: <ol style="list-style-type: none">stikstofverwijdering naar atmosfeervastlegging in biomassa primaire productie;vastlegging in dood organisch materiaal;vastlegging in de bodem.
Hydraulische belasting van een helofytenfilter	De hoeveelheid water die per tijdseenheid in een helofytenfilter van een bepaald oppervlakte wordt ingelaten (uitgedrukt in $m^3/ha/dag$ of cm/dag).
Infiltratievelden	Systemen waarin het oppervlaktewater in de bodem infiltreert om verontreinigingen uit het water te verwijderen.
Mesotroof water	Matig voedselrijk water (vgl. eutroof water).
Minerotroof moeras	Moerassen die worden gevoed door mineraalrijk water.
Modellsimulaties	Het nabootsen van het gedrag van een bepaald systeem door middel van een (wiskundig) model van dat systeem. In deze programmeringsstudie worden modellsimulaties gezien als een methode om gekwantificeerd inzicht te krijgen in de

zuiveringsresultaten van verschillende helofytenfiltertypen onder uiteenlopende omstandigheden met betrekking tot gebiedskenmerken, inrichting en beheer.

- Nitrificatie** De biologische oxidatie van ammonium tot nitriet en vervolgens tot nitraat. Dit proces speelt zich af in een aëroob milieu.
- Nutrlënten** Voedingsstoffen die door planten worden opgenomen, zoals anorganisch koolstof, nitraat, ammonium, fosfaat, sulfaat e.d.
- Ontwerpstudie** Een studie die bedoeld is om, met behulp van één of meer ontwerpen, in een bepaalde situatie, uitgaande van bepaalde doelstellingen voor een helofytenfilter, de diverse aspecten die samenhangen met situering, inrichting en vormgeving van een helofytenfilter te verkennen en mogelijke onderzoeksvragen nader te preciseren.
- Stikstoffixatie** De biologische vastlegging van stikstofgassen in organisch materiaal.
- Stromingsmoerassen** Moerassen waar het oppervlaktewater doorheen stroomt en die kunnen dienen voor verbetering van de waterkwaliteit.
- Vloelvelden** Systemen waar het oppervlaktewater over de bodem stroomt. Indien deze systemen begroeid zijn met helofyten fungeren ze als helofytenfilters.
- Waterplantenfilter** Systemen die begroeid zijn met (drijvende) waterplanten en waarbij de inrichting en het beheer is afgestemd op het bewerkstelligen van een verbetering van de waterkwaliteit.
- Zulveringsprocessen** De processen in helofytenfilters waarbij de verontreinigingen uit het water worden verwijderd. Deze processen kunnen omkeerbaar zijn of aan verzadiging onderhevig zijn.

BIJLAGE 2.

LIJST VAN DEELNEMERS AAN DE WORKSHOP HELOFYTENFILTERS

S.S. Akkerman	OD 205
H. Alberts	NMF Overijssel
J.K.M. te Boekhorst	Staring Centrum
H.M. de Boois	RMNO
J.H. Brinkman	Waterschap Regge en Dinkel
B. Bulten	VEWIN
G.D. Butijn	Rijkswaterstaat, directie Flevoland
E. van Donk	Provincie Utrecht, dienst Water en Milieu
J. Drent	Staring Centrum
H. Duel	TNO Studiecentrum voor Milieu-onderzoek
R. During	TNO Studiecentrum voor Milieu-onderzoek
J. Duijsing	Provincie Limburg, hoofdgroep Ruimtelijke Ordening en Volkshuisvesting
J.L. Fiselier	DHV
R. Gerritsen	Hoogheemraadschap van Rijnland
W.B. Harms	Staring Centrum
K.P.H. Hesseling	Waterschap Regge en Dinkel
R. van den Hoek	Landinrichtingsdienst
S.H. Hosper	Rijkswaterstaat, DBW/RIZA
P. van Iersel	Provincie Utrecht, dienst Water en Milieu
J.M.L. Jansen	Staring Centrum
R.H.G. Jongman	Landbouwuniversiteit Wageningen, vakgroep Ruimtelijke Vormgeving
M. van Koten-Hertogs	RMNO-bureau
F.A. Kouwe	Gemeenschappelijke Technische Dienst, Waterschap de Dommel
L. van Liere	Limnologisch Instituut
L.J. Locht	Staring Centrum
L. Lijklema	Landbouw Universiteit Wageningen, vakgroep Natuurbeheer
A.P. van der Meché	Nederlandse Vereniging voor Sportvissersfederatie
A.F.M. Meuleman	Natuurwetenschappelijke Commissie
A.W.M. Mol	Provincie Noord-Brabant, dienst Waterstaat, Milieu en Vervoer
R. van Oosterhoudt	Landinrichtingsdienst Groningen
A. Paarlberg	Provincie Limburg, dienst Verkeer, Waterstaat en Milieu
J.G.W. Pfeiffer	RMNO
I. van der Putte	Adviesbureau BKH
W.H. van der Putten	Instituut voor Oecologisch Onderzoek
R. de Ridder	Landinrichtingsdienst
G.B.J. Rijs	Rijkswaterstaat, DBW/RIZA
F.J.A. Saris	SOVON
W. van Starckenburg	Rijkswaterstaat, DBW/RIZA
N. Straathof	Natuurmonumenten
J.T.A. Verhoeven	Universiteit Utrecht, vakgroep Botanische Oecologie
P. de Vries	Unie van Waterschappen

BIJLAGE 3.

ENKELE ONDERZOEKPROJECTEN NAAR DE WERKING VAN NATUURLIJKE EN AANGELEGDE MOERASSEN ALS WATERZUIVERINGSSYSTEEM

1. PROJECTEN IN NEDERLAND

Op verschillende plaatsen in Nederland zijn of worden studies verricht de naar werking van helofytenfilters. Veel van deze studies hebben betrekking op afvalwaterzuivering. Recent zijn echter enkele projecten gestart waarbij helofytenfilters worden ingezet voor de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater in het landelijk gebied.

1. Vloeveld nabij Elburg.

- Moerassysteem: – aangelegd vloeveld begroeid met riet
 – oppervlakte 14 ha
- Toepassing: – nazuivering van RWZI-effluent Elburg
 – in gebruik van 1978 – 1980 en na herinrichting opnieuw in gebruik in 1984
 – hydraulische belasting was gemiddeld 7.5 cm/dag
 – verblijftijd was gemiddeld 14 dagen
- Resultaten: – geringe verbetering in de gehalten aan fosfaat en Kjeldahl-stikstof in het oppervlaktewater
 – momenteel vindt onderzoek plaats naar de fosfaathuishouding van het vloeveld
- Referenties: – Greiner en Butijn (1985)
 – Butijn (1988).

2. Kleinschalige vloevelden in Flevoland.

- Moerassysteem: – een aantal aangelegde vloevelden begroeid met riet en/of biezen
- Toepassing: – zuivering van afvalwater afkomstig van recreatieterreinen
 – nazuivering van RWZI-effluent Zeewolde
- Resultaten: – sterke reductie van het N- en P-gehalte van het oppervlaktewater
- Referenties: – De Jong e.a. (1977)
 – Greiner en Butijn (1985).

3. Helofytenfilters bij Houten.

- Moerassysteem: – aangelegd vloeveld begroeid met biezen
- Toepassing: – berging en zuivering van overstortwater uit rioleringsstelsel
- Resultaten: – indien de bergingscapaciteit van de biezenvelden niet wordt overschreden vindt een verbetering van de kwaliteit van het overstortwater in de biezenvelden plaats. In de eerste dagen is de verbetering van de waterkwaliteit voornamelijk het gevolg van menging met het relatief schone water in de biezenvelden en bezinking van slib
 – na een verblijftijd van 2–4 weken zijn de concentraties van stoffen in het water van het biezenveld weer op oorspronkelijk niveau
- Referentie: – Grontmij (1988).

4. Recente projecten.

Momenteel worden op verschillende plaatsen kleinschalige helofytenfilters ingezet als een effectgerichte maatregel voor verbetering van de waterkwaliteit. Voorbeelden hiervan zijn de helofytenfilters bij de Geerplas en in de Aalkeet-Buitenpolder nabij Vlaardingen.

Bij de Geerplas gaat het om een helofytenfilter (rietveld) van 0,4 ha. In zomermaanden wordt vanuit de

Drecht water naar de Geerplas aangevoerd. Dit water wordt eerst chemisch gedefosfateerd en vervolgens wordt het water door een rietveld geleid. Sinds begin 1989 is het rietveld in gebruik. De waterkwaliteit wordt zowel voor als na het rietveld maandelijks gemeten.

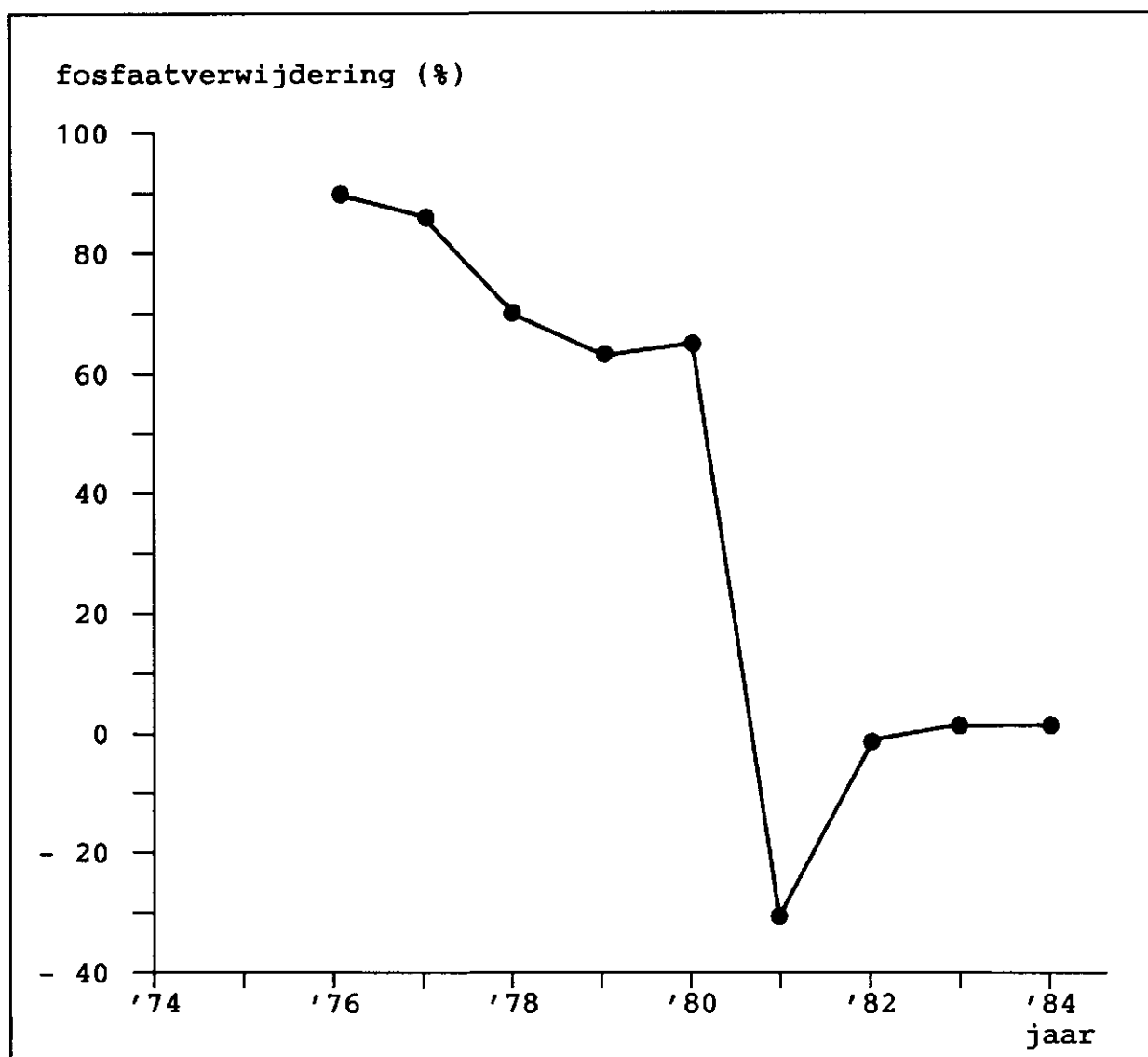
In de Aalkeet-Buitenpolder gaat het om een ongeveer 4 ha groot helofytenfilter voor de verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater, dat vanuit het Bommeer wordt aangevoerd naar een 75 ha groot reservaatgebied.

5. Projecten over de werking van infiltratievelden.

Door de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders is onderzoek verricht naar de werking van infiltratievelden die begroeid zijn met moerasplanten. Voor een overzicht van deze resultaten wordt verwezen naar Butijn en Greiner (1985).

2. PROJECTEN IN HET BUITENLAND.

In de Verenigde Staten en Canada worden verschillende moerasgebieden gebruikt voor het zuiveren van afvalwater. In West-Europa wordt weinig gebruik gemaakt van natuurlijke moerassen voor verbetering van de waterkwaliteit. Wel wordt een groot aantal kleinschalige aangelegde moerassystemen gebruikt



FIGUUR I. De verwijdering van fosfaat in een cypresmoeras nabij Bellaire, Michigan, Ver. Staten (naar Kadlec, 1987).

voor de zuivering van afvalwater.

Voor een overzicht van onderzoeksprojecten inzake moerassen voor zuivering van afvalwater wordt verwezen naar Reddy en Smith (1987) en een themanummer van Water Science and Technology (nr 10, jaargang 19). Enkele projecten worden in het kort beschreven.

1. Bellaire, Michigan, Verenigde Staten

- Moerassysteem: - natuurlijk cypresmoeras (Thuja spec.)
 - oppervlakte 18,2 ha
- Toepassing: - afvalwaterzuivering
 - in gebruik vanaf 1976
 - de hydraulische belasting van afvalwater is 35-75 cm/jaar
 - afvalwater wordt in alleen in de zomer ingelaten
 - in die periode is de hydraulische belasting van overig water 100-200 cm/jaar
- Resultaten: - in 1980 nam het fosfaatgehalte van 2.87 mg P/l nog af tot 0.20 mg P/l, maar in 1981 was er sprake van nalevering (FIGUUR I)
 - de verwijdering van anorganisch stikstof bedroeg 75-80%
- Referenties: - Nichols (1983)
 - Kadlec (1987).

2. Wilwood, Florida, Verenigde Staten

- Moerassysteem: - natuurlijk moeras
 - vegetatietypen: Lemna-Typha type en Fraxinus-Taxodium type
 - oppervlakte 202 ha
- Bodem: - veenlaag met een kleilaag op 90-120 cm diepte
- Toepassing: - behandeling van RWZI-effluent
 - in 1977 meer dan 20 jaar in gebruik
 - hoeveelheid afvalwater dat werd ingelaten was in 1976 gemiddeld 570 m³/dag
- Resultaten: - water en fosfaatbalans in tabel I
 - door het moeras wordt 89% van de totale hoeveelheid fosfaat die het systeem binnenkomt vastgelegd. Het fosfaatgehalte van het oppervlaktewater is na het moeras met 98% afgenomen
 - het totaal fosfaatgehalte in het oppervlaktewater nam in 1976 af van 6.4 mg/l tot 0.12 mg/l en het totaal stikstofgehalte nam af van 15.3 mg/l tot 1.6 mg/l.

IN:	water	fosfaat	
	m/j	mg P/l	g P/m ² /j
oppervlaktewater	0.102	6.40	0.653
neerslag	1.460	0.03	0.044
afspoeling	0.550	0.37	0.203
totaal	2.112		0.900
UIT:	water	fosfaat	
	m/j	mg P/l	g P/m ² /j
oppervlaktewater	0.931	0.12	0.115
verdamping	1.200	-	-
wegzijging	0.010	0.00	0.000
totaal	2.141		0.115

TABEL I. Water- en fosfaatbalans van een 202 ha groot moeras in Florida waarin oppervlaktewater dat belast is met RWZI-effluent wordt ingelaten (naar Boyt e.a., 1977).

Referentie: - Boyt e.a. (1977).

3. Houghton Lake, Michigan, Verenigde Staten.

- Moerassysteem: - natuurlijk moeras
 - vegetatietypen: Carex-Salix type en Betula pumila-type
- Bodem: - 1-2 m dikke veenlaag bestaande uit zeggestrooisel in het Carex-Salix moeras
 - 2-5 m dikke veenlaag van veenmosstrooisel in het Betula-moeras
 - onder de veenlagen is een ondoorlatende kleilaag aanwezig, waardoor geen kwel of wegzijging in het moeras optreedt.
- Toepassing: - sinds 1978 wordt RWZI-effluent ingelaten
 - het afvalwater wordt via een pijpleiding op verschillende plaatsen in het moeras ingelaten
 - maximale hoeveelheid afvalwater dat wordt ingelaten, bedraagt 10.000 m³/dag
 - inlaat van afvalwater vindt alleen in de zomermaanden plaats
 - in 1975-1977 is op kleine schaal afvalwater ingelaten: 360 m³/dag in 1-2

Parameter	Waste-water	Peak in wetland	Wetland "outflow"	Permit target	Back-ground
	-----mg L ⁻¹ -----				
Total Dissolved P	4	12	0.08	0.15	0.05
Ammonium N	8	9	0.13	3.0	0.70
BOD	13	12	5.0	--	--
Suspended Solids	20	40	5.0	--	--
Sulfate Sulfur	8	25	1.0	--	--
Chloride	100	160	95.0	--	28.0

TABEL II. De gemiddelde waterkwaliteit in Houghton Lake, Verenigde Staten (Kadlec, 1987).

- Resultaten: - ha moeras
 - zijn samengevat in tabel II.
- Referenties: - Tilton en Kadlec (1979)
 - Richardson & Marshall (1986)
 - Kadlec (1987).

4. Brillion marsh, Wisconsin, Verenigde Staten.

- Moerassysteem: - natuurlijk moeras
 - lisdoddenvegetatie (Typha ssp.)
 - oppervlakte 156 ha
- Bodem: - veenbodem
- Toepassing: - nazuivering van RWZI-effluent
 - afvalwater wordt via een beek ingelaten
 - hoeveelheid afvalwater was gemiddeld 5.37 m³/dag
 - beekafvoer was gemiddeld 6.0 miljoen m³/jaar.
- Resultaten: - uit fosfaatbalans blijkt dat 32% van totale P-input door het moerassysteem wordt vastgelegd

-
- Referenties:
- het ortho-fosfaatgehalte van het oppervlaktewater veranderde van 3.13 mg P/l in 2.93 mg P/l en het nitraatgehalte nam af van 1.17 mg N/l tot 0.57 mg N/l
 - het ammoniumgehalte nam af van > 2 mg N/l tot minder dan 0.1 mg N/l
 - Fetter e.a. (1978)
 - Spangler e.a. (1976).

5. Gainesville, Florida, Verenigde Staten.

- Moerassysteem:
- natuurlijk cypresmoeras (Taxodium)
 - oppervlakte 4.2 ha
- Bodem:
- de bodem bestaat uit een organische toplaag met daaronder een 30 cm dikke zandlaag;
 - de onderlaag bestaat uit een (zandige) kleilaag
- Toepassing:
- nabehandeling van voorgezuiverd afvalwater
 - in gebruik van 1974 tot 1981
 - gegevens over de hydraulische belasting ontbreken
- Resultaten:
- na het stopzetten van de afvalwaterlozing namen de gehalten aan totaal-fosfaat en totaal-stikstof in het oppervlaktewater sterk af, maar het fosfaatgehalte was na 6 jaar nog steeds hoger dan de achtergrondwaarden
 - de fosfaat- en stikstofgehalten waren in het grondwater niet hoger dan in een nabijgelegen gelegen cypresmoeras waarin geen afvalwater werd ingelaten
 - door de kalkrijke bodem is in het cypresmoeras veel fosfaat vastgelegd
- Referenties:
- Dierberg en Brezonik (1983)
 - Van Peer (1985).

6. Glumsøer, Denemarken

- Moerassysteem:
- rietmoeras
 - oppervlakte ongeveer 1 ha
- Toepassing:
- waterkwaliteitsverbetering van het riviertje Susa, dat verontreinigd is met nitraat en fosfaat afkomstig van landbouwgronden
- Resultaten:
- op beperkte schaal hebben experimenten plaats gevonden, met name naar de invloed van de hydraulische belasting op het nitraatgehalte van het oppervlaktewater (figuur II). Momenteel worden ook beekbegeleidende toepassingen onderzocht. Resultaten hiervan zijn nog niet bekend.
- Referentie:
- Hoffman (1985).

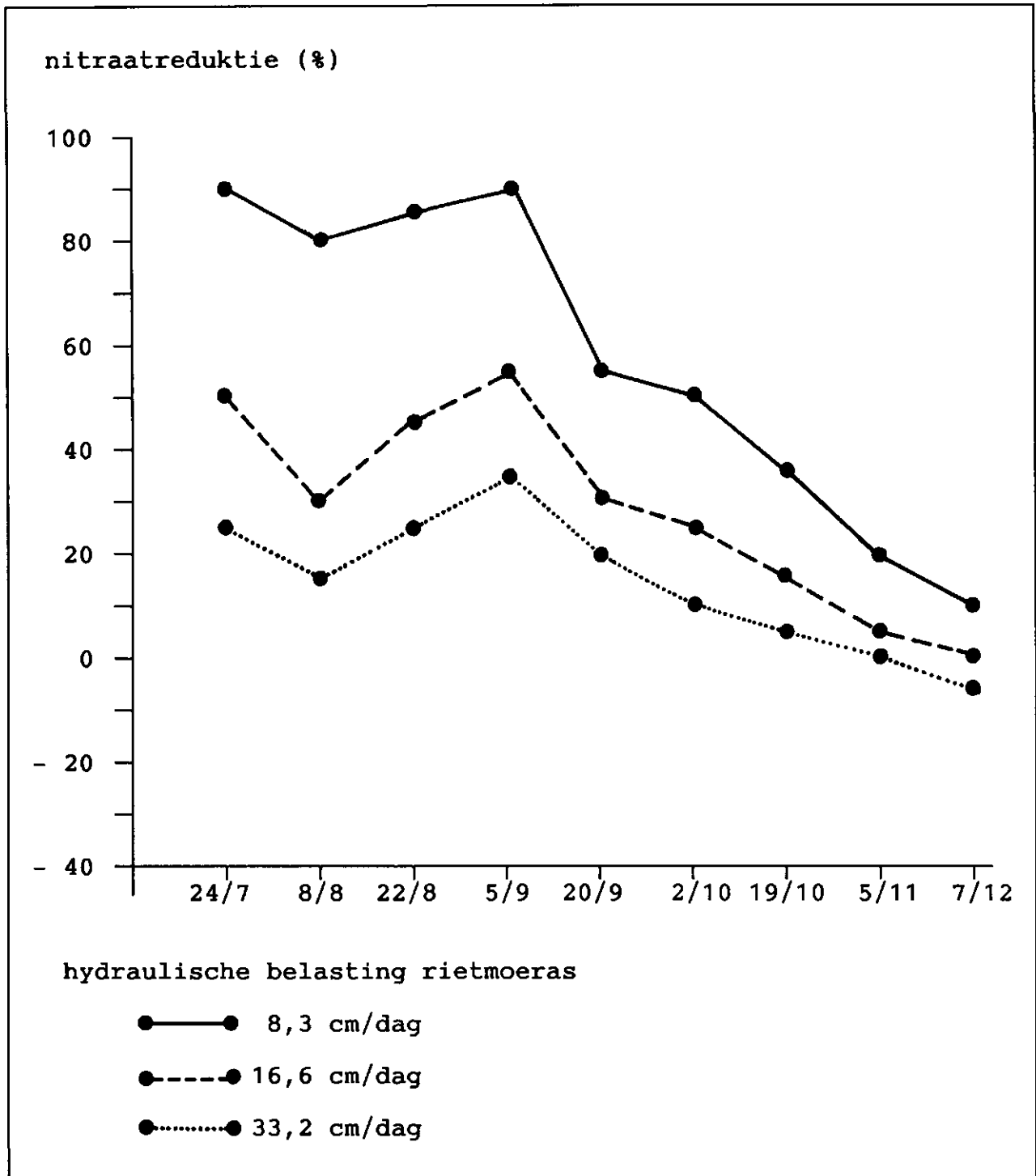
7. Balaton-meer, Hongarije

- Moerassysteem:
- meerbegeleidende rietmoerassen
- Toepassing:
- nabehandeling van RWZI-effluent
 - afvalwater wordt geloosd op afwateringskanalen
- Resultaten:
- in de zomermaanden waren de stikstof- en fosfaatgehalten van het instromende water 45 mg N/l resp. 6.25 mg P/l; in de rietvelden waren de fosfaat- en stikstofgehalten nabij het open water van het meer aanzienlijk lager, namelijk 0.1 mg P/l en 0.8 mg N/l
 - deze verlagingen zijn vermoedelijk het gevolg van verdunning met het oppervlaktewater uit het meer
- Referentie:
- Tóth (1972).

8. Aangelegde moerassystemen.

In West-Europa wordt op een groot aantal plaatsen gebruik gemaakt van kleinschalige aangelegde moerassystemen (< 1 ha) voor afvalwaterzuivering, met name in West-Duitsland, Denemarken en Groot-Brittannië. In veel gevallen betreffen het dan systemen, die bekend staan als "root-zone process". In deze systemen vindt een horizontale doorstroming van geïnfiltreerd oppervlaktewater door de moerasbodem plaats langs de ondergrondse plantedelen. Het systeem is via een (aangebrachte) ondoorlatende laag

van het grondwatersysteem geïsoleerd. Meer informatie over deze systemen is te vinden in: Winter en Kickuth (1985), Cooper en Boon (1985), Alexander en Wood (1987), Brix (1987), Bucksteeg (1987), Wrigley en Toerien (1988), Brix en Schierup (1989) en Sundblad en Wittgren (1989). In Europa en Verenigde Staten zijn ook kleinschalige helofytenfilters aangelegd voor afvalwaterzuivering. Meer informatie hierover is te vinden in: Seidel (1976), Spangler e.a. (1976), Lakhsman (1979), Gersberg e.a. (1983) en De Maeseneer en Verheven (1984).



FIGUUR II De verwijdering van nitraat uit het oppervlaktewater in een rietveld bij verschillende hydraulische belastingen (naar: Hoffman, 1985).

LITERATUUR

Alexander, W.V. en A. Wood, 1987.

Experimental investigations into the use of emergent plants to treat sewage in South Africa. *Water Science and Technology* 19: 51-59.

Boyt, F.L., S.E. Bayley en J. Zoltek jr., 1977.

Removal of nutrients from treated municipal wastewater by wetland vegetation. *Journal of Water Pollution Control Federation* 49 (5): 789-800.

Brix, H., 1987.

The applicability of the wastewater treatment plant in Ohtfresen as scientific documentation of the root-zone method. *Water Science and Technology* 19 (10): 19-24.

Brix, H. en H-H. Schierup, 1989.

The use of aquatic macrophytes in water-pollution control. *Ambio* 18 (2): 100-107.

Bucksteeg, K., 1987.

Sewage treatment in helophyt beds: first experiment with a new treatment procedure. *Water Science and Technology* 19 (10): 1-10.

Cooper, P.F. en A.G. Boon, 1987.

The use of *Phragmites australis* for wastewater treatment by the root zone method. The Uk Approach. In: Reddy, K.R. & W.H. Smith (red.): *Aquatic plants for wastewater treatment and resource recovery*: 153-174. Magnolia Publ. Inc., Orlando, Florida.

Dierberg, F.E. en Brezonik, 1983.

Nitrogen and phosphorus mass balances in natural and savage enriched Cypres-domes. *Journal of Applied Ecology* 20 (1): 323-337.

Fetter, C.W. jr., W.E. Sloey en F.L. Spangler, 1978.

Use of a natural marsh for wastewater polishing. *Journal of Water Pollution Control federation* 50 (2): 290-307.

Gersberg, R.M., B.V. Elkins en C.R. Goldman, 1983.

Nitrogen removal in artificial wetlands. *Water Research* 17(9): 1009-1014.

Greiner, R.W. en G.D. Butijn, 1985.

Afvalwaterzuivering met behulp van begroeide vloeivelden. In: Aart, P.J. van der (red.): *Moerassen voor de zuivering van afvalwater*. PAO-cursus. Utrecht Plant Ecology News Report: 39-63.

Grontmij, 1988.

De biezenvelden bij Houten. Onderzoekperiode mei-oktober 1987. Vakgroep Riolerings, Hoofdafdeling Civiele Techniek. De Bilt.

Hoffmann, C.C., 1985.

Nitrate reduction in a reedswamp receiving water from agricultural watershed. Proc. 13th. Nordic Symp. on Sediments, Aneboda, Sweden: 41-62.

Jong, J. de, T. Kok en A.H. Koridon, 1977.

The purification of sewage with the aid of ponds containing bulrushes or reeds in The Netherlands. RYP-rapport 1977-7 Blw.

Kadlec, J.A., 1987.

Nutrient dynamics in wetlands. In: Reddy K.R. en W.H. Smith (red.): *Aquatic plants for water treatment and resource recovery*: 393-419. Magnolia Publ. Inc. Orlando, Florida.

Lakhsman, G., 1979.

An ecosystem approach to the treatment of wastewaters. *Journal of Environmental Quality* 8(3), 353–361.

Maeseneer, J. de en R. Verheven, 1984.

Toepassingen van rietvelden in de waterzuivering. *Water* 3(17): 104–107 en 3(18):127–131.

Nichols, D.S., 1983.

Capacity of natural wetlands to remove nutrients form wastewater. *Journal of Water Pollution Control Federation* 55 (5): 495–505.

Peer, R. van, 1985.

Changes in Florida cypress domes during and after sewage treatment. In: Aart, P.J.M. van der (red): *Moerassen voor de zuivering van afvalwater*. PAO–cursus. Utrecht Plant Ecology News Report: 149–170.

Reddy, K.R. & W.H. Smith (red.), 1987.

Aquatic plants for water treatment and resource recovery. Magnolia Publ. Inc. Orlando, Florida, VS.

Seidel, K., 1976.

Macrophytes and water purification. In: Tourbier J. & W.H. Pierson jr (red.): *Biological control of water pollution: 109–121*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania.

Spangler, F., W. Sloey en C.W. Fetter, 1976.

Experimental use of emergent vegetation for the biological treatment of municipal wastewater in Wisconsin. In: Tourbier, J. en W.H. Pierson jr. (red.): *Biological control of water pollution: 161–171*. University of Pennsylvania Press, Philadelphia, Pennsylvania.

Tilton, D.L. en R.H. Kadlec, 1979.

The utilization of a freshwater wetland for nutrient removal from secondarily treated wastewater effluent. *Journal of Environmental Quality* 8(3): 328–334.

Toth, L., 1972.

Reeds control eutrophication of Balaton Lake. *Water Research* 6: 1533–1539.

Wrigley, T.J. en D.F. Toerien, 1988.

The ability of an artificial established wetland system to upgrade oxidation pond effluent to meet water quality criteria. *Water SA* 14 (4): 171–178.

LIJST VAN PUBLIKATIES

1.	Jaarverslag 1981/82, mei 1983. (niet meer voorradig)	--
2.	RMNO Meerjarenprogramma, juli 1983. (niet meer voorradig)	f 15,00
3.	Agendapunten voor Natuur en Milieu, juli 1983. (niet meer voorradig)	f 13,00
4.	Beleidsvoorstellen en onderzoeksuggesties inzake Milieu en Natuur. Een analyse van beleidsstukken ten behoeve van de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, juli 1983.	f 10,00
5.	Aanzet voor een programma in hoofdlijnen voor sociaal-wetenschap- pelijk onderzoek op het gebied van milieu en natuur, december 1983.	f 8,00
6.	Milieu en economie. Een programmatische eerste verkenning naar behoefte aan milieu- economisch onderzoek, december 1983.	f 25,00
7.	Jaarverslag 1983, april 1984. (niet meer voorradig)	--
8.	Verzuring door atmosferische depositie. RMNO-advies over het in het IWACO-rapport voorgestelde onderzoek, mei 1984.	f 3,50
9.	RMNO-advies inzake het onderzoek in Nederland naar de gevolgen van de toename van CO ₂ en andere sporengassen in de atmosfeer door menselijke activiteiten, mei 1984.	f 5,50
10.	RMNO-jaaradvies 1984, januari 1985.	f 10,00
11.	Bijdragen van de Programmerings- en studiegroepen aan het RMNO-jaaradvies 1984, januari 1985.	f 15,00
12.	Grond tot zorg, maart 1985.	f 12,50
13.	Jaarverslag 1984, april 1985.	--
14.	Milieumeetnetten. Inventarisatie, analyse, perspectief, oktober 1985.	f 6,00
15.	Onderzoeksprogramma voor bepaling, preventie en herstel van de luchtverontreiniging op cultuurgoederen in Nederland, november 1985.	f 6,50
16.	Jaarverslag 1985, april 1986. (niet meer voorradig)	--
17.	Een aanzet voor een onderzoekprogramma voor de onderwaterbodem, mei 1986.	f 5,00
18.	Oranje licht. (overdruk) Programmerende studie voor de maatschappelijke activiteit 'Verkeer en Vervoer', juni 1986.	--
19.	Geïntegreerde beleidsstudies: bezien vanuit het perspectief van milieubeheer, juni 1986.	f 8,00

20.	Natuur en Milieu in de Toekomst, februari 1987.	f 8,00
21.	Ontwerpen en afvalpreventie; een programmeringsstudie over produkt-planning en produktontwerpen in relatie met afval, februari 1987.	f 12,50
22.	Consumentengedrag en afval: aanzet tot onderzoeksprogrammering, mei 1987. (niet meer voorradig)	f 8,00
23.	Innovatie, Milieu en Ondernemingsbelissingen, maart 1987.	f 12,50
24.	Scenario-analyse voor lange termijn milieuproblemen, april 1987.	f 8,00
25.	Jaarverslag 1986, april 1987.	--
26.	Troposferische chemie; voorstel voor een Nederlands onderzoek-programma in internationaal kader, mei 1987. (overdruk)	--
27.	Naar meer preventie/gerichte milieutechnologie in de industriële produktiesektor; aanzet tot onderzoekprogrammering, januari 1988.	f 10,00
28.	Militaire activiteiten, Natuur en Milieu; deel B: aanzet tot een onderzoekprogramma, januari 1988. (overdruk)	f 8,00
29.	RMNO-Meerjarenvisie 1987, januari 1988. (niet meer voorradig)	f 15,00
30.	Vijf visies op natuurbehoud en natuurontwikkeling; knelpunten en perspectieven van deze visies in het licht van de huidige maatschappelijke ontwikkelingen, maart 1988.	f 12,50
31.	Jaarverslag 1987, april 1988.	--
32.	Natuur en Economie, juni 1988.	f 12,50
33.	Ecologische duurzaamheid en economische ontwikkeling, december 1988.	f 30,00
34.	Milieukartering; van inventarisatie tot interpretatie, februari 1989.	f 25,00
35.	Jaarverslag 1988, maart 1989..	--
36.	Milieumanagement bij bedrijven, april 1989.	f 15,00
37.	Invloed van watersport op de natuur; een programmeringsstudie voor zoetwater- en moerasgebieden in Nederland, mei 1989.	f 30,00
38.	Advies over het Natuurbeleidsplan, oktober 1989.	f 10,00
39.	Het Nationaal Milieubeleidsplan in onderzoekperspectief, oktober 1989.	f 10,00
40.	Ammoniak-advies; advies inzake het Plan van aanpak beperking ammoniak-emissie van de landbouw, november 1989.	f 15,00
41.	Ecologische aspecten van integraal waterbeheer, Programmeringsstudie, november 1989.	f 25,00
42.	Research on global change in the Netherlands; opportunities for research in the Netherlands in an international framework, maart 1990.	f 25,00
43.	Erop of eronder? Verkenning van aardwetenschappelijke mogelijkheden tot herroepelijk opbergen van chemisch afval in de Nederlandse ondergrond, maart 1990.	f 25,00

44.	Problemen rond innovatie en diffusie van milieutechnologie; een onderzoekprogrammeringsstudie verricht vanuit een technologie-dynamica perspectief, maart 1990.	f 15,00
45.	De versnippering van het Nederlandse landschap, Onderzoekprogrammering vanuit zes disciplinaire benaderingen juni 1990.	f 35,00
46.	Signaaladvies over de derde nota waterhuishouding, mei 1990.	f 10,00
47.	Jaarverslag 1989, juni 1990.	- -
48.	Preventie-gerichte afvalverwijdering, juli 1990.	f 15,00
49.	Duurzame ontwikkeling, Een verkenning van de consequenties voor wetenschapsbeoefening en onderzoek, augustus 1990.	f 25,00
50.	Duurzame ontwikkeling door verbetering van de besluitvorming over milieuproblemen: de (on)mogelijkheden van de consensusbenadering, september 1990.	f 25,00
51.	Het beïnvloeden van het gedrag van recreanten in natuurgebieden, Een programmeringsstudie over sturingsmaatregelen, oktober 1990.	f 30,00
52.	De financiering van het milieubeleid; verslag van de gelijknamige studiedag van de Programmerings- en Studiegroep Milieu en Economie, december 1990.	f 35,00
53.	Helofytenfilters voor verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater in het landelijk gebied, een programmeringsstudie, februari 1991.	f 25,00
RMNO-boeken:		
A.	Zelf gemaakte toekomst, milieu-aspecten van nieuwe materialen, auteur Drs. J.C. van Weenen, november 1987.	f 35,00
B.	Verslag symposium Milieuvriendelijk Ontwerpen d.d. 7 september 1989. Organisatie: VVM, KIVI, RMNO.	f 30,00

Deze nummers zijn te bestellen bij het bureau van de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek door overmaking van het achter de titel vermelde bedrag (verzendkosten) op postrekeningnr. 48.76.50, ten name van de RMNO te Rijswijk (Z-H), onder vermelding van *Toezending RMNO-publicatie* en het nummer van de gewenste *publicatie*. Graag duidelijk naam en adres voor verzending vermelden.