

VOORWOORD

Het voor u liggende rapport vorat de schriftelijke weerslag van een onderzoek uitgevoerd in de periode december 1986 tot mei 1987 (totale belasting 3,2 mnd fulltime) in opdracht van DBW-RIZA. De studie werd van de zijde van de opdrachtgever begeleid door ir. S.H.Hosper en ir.

E.J.B.Uunk; prof. dr. H.A.Udo de Haes fungeerde als projectleider. Voorgenoemde personen hebben ieder een eigen inbreng gehad, waarvoor mijn hartelijke dank. Het concept-rapport werd afgesloten met een discussie-bijeenkomst over moerasaanleg (d.d. 2-6 '87), waaraan werd deelgenomen door vertegenwoordigers van RWS-Zuiderzeewerken, RIJP, NMF-Flevoland, Hoogheemraadschap van Rijnland, SCMO-TNO, OVB en LH-Wageningen. Ook deze

**MEERBEGELEIDENDE MOERASSEN** informatie en suggesties die ten dele voor waterzuivering en natuurontwikkeling en krijgen in de 2e fase van dit onderzoek dat zich zal toelagen op het maken van een aantal concrete ontwerpen. De figuren werden verzorgd door J.Hertzberg.

**J.L.Fiselier**  
onderzoeker  
Centrum voor Milieukunde

**H.A.Udo de Haes**  
projectleider  
Centrum voor Milieukunde

**S.H.Hosper**  
projectbegeleiding  
DBW/RIZA

**E.J.B.Uunk**  
projectbegeleiding  
DBW/RIZA

Leiden, juni 1987



Het voor u liggende rapport vormt de schriftelijke weerslag van een onderzoek uitgevoerd in de periode december 1986 tot mei 1987 (totale belasting 3,2 mnd fulltime) in opdracht van DBW-RIZA. De studie werd van de zijde van de opdrachtgever begeleid door ir. S.H.Hosper en ir. E.J.B.Uunk; prof. dr. H.A.Udo de Haes fungeerde als projectleider. Vorgenomde personen hebben ieder een eigen inbreng gehad, waarvoor mijn hartelijke dank. Het concept-rapport werd afgesloten met een discussiebijeenkomst over moerasaanleg (d.d. 2-6 '87), waaraan werd deelgenomen door vertegenwoordigers van RWS-Zuiderzeewerken, RIJP, NMF-Flevoland, Hoogheemraadschap van Rijnland, SCMO-TNO, OVB en LH-Wageningen. Ook deze bijeenkomst verschafte weer nuttige informatie en suggesties die ten dele in dit rapport zijn verwerkt en voor het overige aandacht zullen krijgen in de 2e fase van dit onderzoek dat zich zal toelagen op het maken van een aantal concrete ontwerpen. De figuren werden verzorgd door J.Hertzberg.

Recreatie	8
2.6. Overige belangen	8
2.7. Resumé	10
<b>3. ECOLOGISCH FUNCTIONEREN VAN MEREN EN MOERASSEN</b>	<b>11</b>
3.1. Algemeen	11
3.2. Moerastypen	11
3.3. Ecologisch functioneren	11
3.3.1. Inleiding	11
3.3.2. Externe dynamiek	12
3.3.3. Interne dynamiek	13
3.3.4. Doorzicht en zelfregulatie/eutrofiëring en de weg terug	22
3.3.5. Open water versus moeras	26
<b>4. WATERZUIVERING DOOR MOERASSEN</b>	<b>27</b>
4.1. Waterzuivering door natuurlijke en kunstmatige moerassen	27
4.2. Maatregelen ter vermindering van de fosforbelasting	30
4.3. Maatregelen ter vermindering van de stikstofbelasting	37
4.4. Maatregelen ter verbetering van het doorzicht	38
4.5. Samenvatting	38
<b>5. NATUURONTWIKKELING DOOR MOERASAANLEG</b>	<b>40</b>
5.1. Inleiding	40
5.2. Natuurbouw op het niveau van ecosystemen	40
5.3. Vegetatie, patroon en proces	43
5.4. Aquatische fauna	45
5.5. Avifauna	46
Leiden 8 juni fauna	Jasper Fiselier
5.7. Landschap	50
5.8. Recreatief medegebruik	50
<b>6. VERENIGBAARHEID IN HOOFDZAAK</b>	<b>51</b>
<b>7. ZEKERHEID VAN ONTWIKKELING EN VOORSPELLING</b>	<b>53</b>
7.1. Onzekerheden in de voorspelling	53
7.2. korte en lange termijn, minimale en maximale voorspelling	55
<b>8. TECHNISCHE EN FINANCIËLE ASPECTEN VAN AANLEG, ONDERHOUD EN BEHEER</b>	<b>57</b>
8.1. Technische aspecten	57
8.2. Kosten en beten	59

Het voor u liggende rapport vormt de schriftelijke weerslag van een onderzoek uitgevoerd in de periode december 1986 tot mei 1987 (totale belasting 3,5 mrd fluitime) in opdracht van DBW-RIZA. De studie werd van de zijde van de opdrachtgever begeleid door ir. S.H. Hooper en ir. E.J.B. Uunk; prof. dr. H.A. Udo de Haas fungeerde als projectleider. Voorzittende personen hebben ieder een eigen inbreng gehad, waarvoor mijn hartelijke dank. Het concept-rapport werd afgesloten met een discussiebijeenkomst over moerasaanleg (d.d. 2-6 '87), waaraan werd deelgenomen door vertegenwoordigers van RWS-Zuidherengewerken, RLP, NMP-Friesland, Hoogheemraadschap van Rijnland, SCMO-TWO, OVB en LH-Waeningen. Ook deze bijeenkomst verschaftte weer nuttige informatie en suggesties die ten dele in dit rapport zijn verwerkt en voor het overige aandacht zullen krijgen in de 2e fase van dit onderzoek dat zich zal toespitsen op het maken van een aantal concrete ontwerpen. De figuren werden verzorgd door J. Hertzberg.

HOOFDSTUKINDELING

SAMENVATTING	
1. Samenvatting	i
2. Conclusies en aanbevelingen	vi
1. INLEIDING	
1. Een groot aantal stagnante wateren in Nederland kampt met waterplanten; waren deze wateren vroeger halver en rijk aan waterplanten, tegenwoordig zijn zij troebel, ontbreken de waterplanten	1
2. RELEVANTE BELANGEN EN ASPECTEN	
2.1. Inleiding	3
2.2. Waterzuivering	3
2.3. Natuurbehoud en -ontwikkeling	5
2.4. Landschapsbeeld	7
2.5. Recreatie	8
2.6. Overige belangen	8
2.7. Resumé	10
3. ECOLOGISCH FUNCTIONEREN VAN MEREN EN MOERASSEN	
3.1. Algemeen	11
3.2. Moerastypen	11
3.3. Ecologisch functioneren	11
3.3.1. Inleiding	11
3.3.2. Externe dynamiek	12
3.3.3. Interne dynamiek	13
3.3.4. Doorzicht en zelfregulatie/eutrofiëring en de weg terug	22
3.3.5. Open water versus moeras	26
4. WATERZUIVERING DOOR MOERASSEN	
4.1. Waterzuivering door natuurlijke en kunstmatige moerassen	27
4.2. Maatregelen ter vermindering van de fosforbelasting	30
4.3. Maatregelen ter vermindering van de stikstofbelasting	37
4.4. Maatregelen ter verbetering van het doorzicht	38
4.5. Samenvatting	38
5. NATUURONTWIKKELING DOOR MOERASAANLEG	
5.1. Inleiding	40
5.2. Natuurbouw op het niveau van ecosystemen	40
5.3. Vegetatie, patroon en proces	43
5.4. Aquatische fauna	45
5.5. Avifauna	46
5.6. Overige fauna	49
5.7. Landschap	50
5.8. Recreatief medegebruik	50
6. VERENIGBAARHEID IN HOOFDZAAK	
7. ZEKERHEID VAN ONTWIKKELING EN VOORSPELLING	
7.1. Onzekerheden in de voorspelling	53
7.2. korte en lange termijn, minimale en maximale voorspelling	55
8. TECHNISCHE EN FINANCIËLE ASPECTEN VAN AANLEG, ONDERHOUD EN BEHEER	
8.1. Technische aspecten	57
8.2. Kosten en baten	59

9.	ONTWERPRICHTINGEN	62
9.1.	Inleiding	62
9.2.	Synthese/ eerste ontwerptypen	62
9.3.	Samenvattend, eerste richtlijnen	68
9.4.	Voorverkenning mogelijkheden voor toepassing	71
9.4.1.	Beschrijving en voorverkenning rijkswateren IJsselmeergebied	71
9.4.2.	Resumé	76
	LITERATUURLIJST	77
	BIJLAGEN	80
1		
3		
3		
3		
5		
7		
8		
8		
10		
11		
11		
11		
11		
11		
11		
12		
13		
22		
26		
27		
27		
30		
37		
38		
38		
40		
40		
40		
43		
45		
46		
49		
50		
50		
51		
53		
53		
55		
57		
57		
59		

## SAMENVATTING, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

**1. Samenvatting****waarom moerassen?**

1. Een groot aantal stagnante wateren in Nederland kampt met het probleem van de eutrofiëring; waren deze wateren vroeger helder en rijk aan waterplanten, tegenwoordig zijn zij troebel, ontbreken de waterplanten en domineren algen het water. Verantwoordelijk voor deze omslag is de toegenomen externe nutriëntbelasting als gevolg van een groeiende bevolking, een toenemend gebruik van fosfaathoudende wasmiddelen en intensivering van de landbouw. Deze ontwikkelingen gaan samen met een groter wordende lozing van afvalwater met een toenemend fosfaat- en stikstofgehalte.

2. Al sinds enige tijd wordt op meerdere plaatsen gebruik gemaakt van kunstmatige en natuurlijke moerassystemen voor de zuivering van afvalwater. Moerassen blijken goed in staat nutriënten en andere verontreinigingen (waaronder coli-bacteriën) te verwijderen en slib in te vangen, zolang de belasting niet al te groot is. In Flevoland zijn een aantal vloeivelden aangelegd voor de zuivering van water afkomstig van campings. Probleem is hierbij evenwel dat de zuiveringsefficiëntie van deze systemen 's winters door een afgenomen microbiologische activiteit sterk vermindert.

3. Natuurbouw, ook wel natuurtechnische milieubouw geheten, wordt in toenemende mate gezien als een wijze voor het handhaven en ontwikkelen van natuurwaarden. Tot dusver boekte men vooral resultaten met zeer voedselarme droge milieus (bv. wegbermen) en matig voedselrijke tot voedselrijke natte milieus (moerassen). Een gericht laten ontstaan van een moerasgebied was hierbij evenwel nog niet aan de orde.

4. De rol van de moerassen voor de waterzuivering is tweërlei. In de eerste plaats werken ze als "groene nier", d.w.z. als zuiveringssysteem voor slib, fosfor, stikstof en bacteriën. Daarnaast werken ze ook als "trigger". Dat wil zeggen dat ze een stimulans kunnen vormen voor een water om van de ene -troebele- evenwichtstoestand over te gaan in een andere -heldere- evenwichtstoestand. Een zuiveringsmoeras kan zowel in het aanvoerende water (o.a. beken, polderwater, effluent RWZI's) gesitueerd worden voor de vermindering van de externe belasting alsook in het meer zelf voor de vermindering van de interne belasting.

**welke processen zijn van belang**

5. Het blijkt dat zowel in eutrofe, alg-dominante wateren alsook in heldere macrofytenrijke wateren sprake is van een zelfinstandhoudend dynamisch evenwicht. In het eutrofe water zijn de belangrijkste terugkoppelmingsmechanismen terug te voeren op algengroei. Door de aanwezigheid van algen is het doorzicht gering en kunnen macrofyten onvoldoende concurreren. Door het ontbreken van waterplanten hebben wind en golven vrij spel met het bodemslib en ontbreekt een habitat voor het algengrazend zoöplankton en de snoek. In een dergelijk water is door het ontbreken van de snoek de brasem dominant; deze vis eet niet alleen zoöplankton maar woelt ook de bodem om, hetgeen een verdere vertroebeling veroorzaakt.

## 9.1. Inleiding

Hierdoor kan de algenpopulatie zich handhaven en blijft het doorzicht gering. In helder water daarentegen treft men wel waterplanten aan en daarmee meer zoöplankton en snoek. Bovendien nemen de planten nutriënten op en verminderen zij de resuspensie door de golven dit beperkt weer de beschikbaarheid van fosfor en zomede de algengroei en bevordert daarmee het doorzicht.

6. Wat de waterzuivering betreft is vooral gekeken naar externe en interne P- en N-belasting, doorzicht en colibacteriën. Bij de natuurontwikkeling is onderscheid gemaakt tussen proceswaarden op het niveau van ecosystemen (natuurlijke vorming en regulatie door geomorfologische, hydrologische en biologische processen), en patroonwaarden op het niveau van soorten en soortengroepen. De proceswaarden houden in dat een systeem dat zich zelf reguleert, waardevoller wordt geacht dan een systeem dat een hoge beheersintensiteit nodig heeft voor de instandhouding.

7. Voor waterzuivering blijkt de belangrijkste rol van moerassen te bestaan uit:

- invang van slib en de daaraangebonden P en N;
- verminderen van de resuspensie van slib door het geven van luwte tegen golven en wind;
- opname van P en N door water- en moerasplanten;
- bevorderen van N-verwijdering door denitrificatie, samenhangend met een sterke doorworteling en het optreden van peilfluctuaties;
- bevorderen van algengraas door het bieden van een habitat aan zoöplankton en snoek.

**mogelijke maatregelen**

8. Voor moerassen in de aanvoer zijn vooral het invangen van slib, de opname van P en N en het bevorderen van de denitrificatie van belang ter vermindering van de externe belasting. Hierbij kan aan de volgende maatregelen worden gedacht:

- aanleg van bezinkingsputten en -velden voor slibinvang, waarmee een groot deel van het aan slib geadsorbeerde fosfor kan worden ingevangen, dat vaak tot ca 50% van het totaal P uitmaakt;
- aanleg van begroeide vloe- en/of infiltratievelden voor de opname van nutriënten door vegetatie; op deze wijze kan maximaal ca 25 kg P/ha.j en 300 kg N/ha.j worden verwijderd door maaien en afvoeren;
- een wisselende inundatie voor het bevorderen van de denitrificatie, waarmee eveneens ca 300 kg N/ha.j kan worden verwijderd.

9. Voor moerassen in het meer zijn vooral het verminderen van de resuspensie van slib en slibinvang, denitrificatie en het bevorderen van algengraas van belang voor het verbeteren van de waterkwaliteit. Hierbij kan aan de volgende maatregelen worden gedacht:

- bezinkingsputten en golfbrekers (bijv. rijshout, zandbanken etc) voor het invangen van slib; hun effectiviteit is sterk plaatsafhankelijk, maar kan zeer aanzienlijk zijn;



-windsingels, golfbrekers en rietvelden voor het verminderen van de resuspensie, welke vrijwel kan worden teruggebracht tot nul;

-inundatieoevers op plaatsen met wisselende waterpeilen (bijv. t.g.v. windstuwing) en rietland voor het bevorderen van de denitrificatie (waarschijnlijk meer dan verdubbeld t.o.v. onbegroeid open water);

-aanplant van watervegetatie en rijshout als habitat voor zoöplankton en snoek voor het vergroten van de algengraas.

10. De proceswaarden hebben een ontwikkelings- en een beheersaspect. Het ontwikkelingsaspect kan met name een rol spelen in de monding van beken en rivieren door omvorming (afwisseling van sedimentatie en erosie) en aanslibbing. Aanslibbing kan ook een rol spelen in de luwte van eilanden en golfbrekers, zoals bijvoorbeeld zandbanken, rijshout etc.

De natuurlijke regulatie kan met name tot zijn recht komen bij het optreden van langjarige peilfluctuaties (in zgn. omloopsystemen met een periodieke verjonging van de vegetatie) en bij de al eerder genoemde regulatie van de brasem door de snoek en van de algen door het zoöplankton.

11. De ontwikkeling van natuurlijke patroonwaarden betreft enerzijds de flora en anderzijds met name de vogelstand. De meest interessante vegetaties zal men aantreffen in open water als een gradiënt met de waterdiepte bij lage nutriëntbelasting en in een moerassituatie als een vochtgradiënt op voedselarme substraten. Dit laatste zal in versterkte mate het geval zijn bij het optreden van zoete kwel. Voor de avifauna zijn geheel andere factoren van belang, en wel met name de broedgelegenheid, voedsel en rust. Wat dit laatste betreft verdragen de meest interessante soorten zich slecht met recreatieactiviteiten, zodat een recreatieve zonering en een rustig broedgebied van voldoende omvang noodzakelijk zijn.

#### de synthese tussen waterzuivering en natuurontwikkeling

12. Bij het opstellen van ontwerprichtlijnen is gezocht naar een synthese tussen natuurontwikkeling in de vorm van moerassen en de zuiveringsfunctie die deze kunnen vervullen voor de stagnante zoete rijkswateren. De aandacht ging daarbij in de eerste plaats uit naar het IJsselmeergebied.

13. Uiteindelijk konden de volgende globale ontwerprichtingen worden samengesteld:

- a. een overloop/omloopvloeivelden systeem in aanvoerende wateren
- b. een deltasysteem aan de monding van een aanvoerende water
- c. een oeverzone systeem in het meer zelf los van de aanvoer

14. Het vloeivelden systeem bestaat uit bergingsvijvers voor het opvangen en gelijkmatige doorgeven van pieken, intensief beheerde vloeivelden met een continue aanvoer en constant waterpeil en extensief beheerde vloeivelden met verschillende inundatiefrequentie en een langjarige cyclus in waterpeil. Het in de aanvoer gelegen systeem kan anticiperen op wisselende belastingen en biedt vooral mogelijkheden aan de avifauna en kan

door langjarige peilfluctuaties en inundatie voor een groot deel natuurlijk gereguleerd worden.

15. Het deltasysteem bestaat uit een aantal achter elkaar gelegen zones; van "binnen naar buiten" zijn te onderscheiden: een omvormingszone waar sprake is van piekafhankelijke sedimentatie en erosieprocessen; een aanslibbingzone waar een netto sedimentatie plaatsvindt in rietland; een bezinkingszone waar sediment, dat bij piekaanvoeren niet in de aanslibbingvelden tot rust komt, kan worden ingevangen; en een buitenzone die bestaat uit zandbanken, eilanden en golfbrekers met als doel luwte te scheppen voor de binnendelta. Dit systeem is in de monding van de aanvoer gelegen en kan anticiperen op wisselende belastingen en erg grote sediment belastingen. Het biedt goede mogelijkheden voor een natuurlijke vorming (door aanslibbing en omvorming) en -regulatie, en een biotoop voor watervogels.

16. Het oeverzone systeem bestaat uit drie achter elkaar gelegen zones. Een oeverzone die, door de periodieke inundaties, een rol speelt bij de denitrificatie en daarnaast van betekenis is voor moerasbosontwikkeling en fourageermogelijkheden voor steltlopers. Daarbuiten ligt een rietzone, die van belang is voor de opname van nutriënten en het invangen van slib, en daarnaast van betekenis is voor de ontwikkeling van moerasruigte en submerse waterplanten. Een aan de buitenzijde is een zone gelegen, die bestaat uit bezinkingsputten, zandbanken, windsingels en golfbrekers voor het scheppen van een rustig "lagunair" milieu in de slibluwte. Dit systeem is in het meer zelf gelegen en richt zich vooral op slibinvang, vermindering van de resuspensie en algengraas door zoöplankton. Mogelijkheden voor natuurlijke vorming zijn nagenoeg niet aanwezig en de natuurlijke regulatie blijft beperkt tot de inundatiezones en algengraas. Goede mogelijkheden worden evenwel geboden aan de aquafauna en daarvan afhankelijke avifauna. Interessante vegetatieontwikkelingen zijn mogelijk daar waar kwelzones meer of minder geïsoleerd kunnen worden.

**kosten**

17. De aanlegkosten variëren waarschijnlijk tussen de 20-30.000 gulden/ha voor intensief beheerde vloeivelden en 5-10.000/ha voor extensief beheerde rietlanden en ruigten. Deze kosten worden hoofdzakelijk bepaald door grondverzet en zijn exclusief grondverwervingskosten. Het grondverzet en additioneel oppervlaktebeslag zijn voor de intensieve velden groter dan voor de extensieve vanwege eisen van mechanisch beheer o.a. de aanleg van brede berijdbare compartimenteringsdammen en smalle vloeivelden. De beheerskosten zijn wat de extensieve velden betreft vooral afhankelijk van het recreatief medegebruik en variëren tussen de 800-2000 gulden /ha per jaar. Voor de intensief beheerde vloeivelden zijn de beheerskosten vooral afhankelijk van de verkoop van riet en biesen, en variëren tussen netto 2000-4500 gulden/ha per jaar.

Extensief beheerde vloeivelden zijn bij een gelijk zuiveringsresultaat zowel uit oogpunt van de kosten (van aanleg en beheer) alsook ook uit oogpunt van de natuurontwikkeling te preferen boven intensief beheerde vloeivelden.

## voorverkenning toepassingsmogelijkheden IJsselmeergebied

18. Er heeft een voorverkenning plaats gehad van de toepassingsmogelijkheden in het IJsselmeergebied. Bij de in dit verband opgestelde ontwerp-richtlijnen zijn waterzuivering en natuurontwikkeling bepalend geweest, maar is ook rekening gehouden met landschappelijke aspecten, een recreatief medegebruik en een minimalisering van de beheersinspanning. Waterhuishoudkundige functies van meren, scheepvaart, recreatie en beroepsvisserij spelen pas een rol bij de concrete uitwerking van plannen en zijn daarom nog niet expliciet in de richtlijnen opgenomen.

19. Een eerste voorverkenning van de toepassingsmogelijkheden bracht vooral het Veluwemeer-Drontermeer en het Nuldernauw-Wolderwijd als potentiële locaties naar voren. In het Veluwemeer-Drontermeer wordt daarbij gedacht aan een vloeiveldensysteem voor de RWZI van Hardewijk en een uitbreiding van het vloeiveld bij de RWZI van Elburg. Daarnaast wordt gedacht aan een vloeiveldensysteem voor het belangrijkste beekstelsel, de Hierdense Beek. Langs de oude landzijde kan een oeversysteem tot ontwikkeling worden gebracht met hierin geïsoleerde kwelbassins, terwijl elders mogelijkheden aanwezig zijn voor inundatieoeveren. De beschikbaarheid van grote hoeveelheden baggerslib (vooral in het Drontermeer) kan de aanlegkosten aanzienlijk terugbrengen. In het Wolderwijd-Nuldernauw wordt vooral gedacht aan vloeiveldsystemen voor de belangrijkste beken. Het is waarschijnlijk dat hierbij mogelijkheden moeten worden geschapen voor een berging van de winterse aanvoer zodat deze tijdens het groeiseizoen door een biologisch actief vloeiveldsysteem kan worden geleid. Ook hierbij kan baggerslib (vooral aanwezig in het Wolderwijd) bij de aanleg gebruikt worden.

20. Daarnaast zijn wellicht meer natuurgerichte ontwikkelingen mogelijk in de IJsseldelta en monding van de Eem zonder dat door deze maatregelen afzonderlijk daarbij direct een aanzienlijke waterkwaliteitsverbetering zou kunnen optreden. Problemen hierbij zijn evenwel de slechte kwaliteit van het slib en de scheepvaart.

## 2. conclusies en aanbevelingen

1. Meerbegeleidende moerassen bieden goede mogelijkheden voor waterzuivering en natuurontwikkeling. In principe zijn drie verschillende moerassystemen denkbaar als mogelijke vorm van synthese van beide belangen, namelijk een vloeiveldensysteem, een deltasysteem en een oeverzonesysteem. De toepassing van deze ontwerpprincipes hangt vooral af van de aanvoercharacteristiek en het meertype.

2. De voorspelbaarheid van zuiveringsresultaten en natuurontwikkelingen is nog beperkt. Dit komt enerzijds door het complexe karakter van aquatische ecosystemen en anderzijds door een groot aantal nog niet eerder in praktijk gebrachte maatregelen voor waterzuivering, zoals windsingels, golfbrekers, algengraas en niet-continu belaste vloeiveldsystemen. Er zijn aanwijzingen dat de moerassen een rol als "trigger" kunnen spelen in de overgang van stabiel troebele systemen naar een stabiel helder systeem. Bij welke belastingreductie een dergelijke omslag bereikt kan worden is evenwel nog onvoldoende duidelijk.

3. In het IJsselmeergebied liggen een aantal goede mogelijkheden voor de toepassing van moerassystemen voor waterzuivering en natuurontwikkeling. Vooral in het Veluwemeer-Drontermeer en het Wolderwijd-Nulder nauw is met moerassen een substantiële verbetering van de waterkwaliteit te verwachten. Daarnaast zijn ook op andere plaatsen mogelijkheden aanwezig voor interessante natuurontwikkelingen die eveneens bijdragen aan de eutrofiëringsbestrijding, zoals in de monding van de IJssel en de Eem, in het Markermeer ten noorden van Zuidelijke Flevoland en langs het oude land van de randmeren als geïsoleerde kwelopvang.

4. Met oog op de onzekerheden wordt voorgesteld nader onderzoek te verrichten naar het zuiveringseffect van moerassystemen en hun bouwstenen (o.a. windsingels, golfbrekers, bezinkingsputten en -velden en vloeiveldsystemen) bij lage en onregelmatige P en N -belastingen en de rol van algengraas op de verbetering van het doorzicht. Dit onderzoek kan bestaan uit veldstudies, waarbij een aantal proeflocaties in ontwikkeling worden gevolgd. Uit een analyse kan al een vergelijking van verschillende bestaande situaties iets worden afgeleid over het zuiveringseffect van voorgenoemde maatregelen. Zo zijn golfbrekers en opgaande oeverbegroeiing op vele plaatsen langs en in meren aanwezig.

5. Van groot belang is ook een nadere studie naar de natuurontwikkelingsmogelijkheden. Ook dit onderzoek kan bestaan uit het monitoren van één of meerdere proeflocaties om het effect van maatregelen te volgen. Aandacht dient daarbij te worden geschonken aan natuurlijke vorming (door omvorming en aanslibbing) en regulatie (door inundatie en lanjarige peilschommelingen). Wellicht dat ook hierbij meer kennis kan worden vergaard door een vergelijking van bestaande situaties waarin sprake is van bovengenoemde processen (bijv. diverse kleinschalige natuurbouwprojecten, uiterwaarden, plasbermen e.d.).

6. Met het oog op de geconstateerde toepassingsmogelijkheden wordt voorgesteld enkele locaties concreter uit te werken; dit betreft met name het Veluwemeer-Drontermeer en Wolderwijd-Nulder nauw. Hierbij dient niet alleen het concrete ontwerp maar ook de planologische inpasbaarheid en verwachte zuiveringseffecten en natuurontwikkelingen nader te worden onderzocht.

## 1. INLEIDING

Enkele tientallen jaren terug, na de aanleg van de Flevopolders, waren de randmeren helder en rijk aan waterplanten. Er was sprake van een dynamisch evenwicht, de vegetatie zorgde voor luwte en de opname van nutriënten en vormde een habitat voor het algengrazend zoöplankton, dat aan de basis stond van een gevariëerde levengemeenschap. Aan de top stonden de snoek en een scala aan watervogels. Alhoewel allerlei zelfregulerende processen de aanvoer van nutriënten aardig wisten te bufferen werd toch dit dynamische evenwicht verbroken. De aanvoer van met name fosfaat en nitraat was ondertussen sterk toegenomen door een intensivering in de landbouw, een toenemend gebruik van fosfaatwasmiddelen en het afvalwater van een groeiende bevolking. De waterplanten werden geleidelijk aan verdrongen door algen, die nog steeds dominant zijn. Ook nu is weer sprake van een zichzelf instandhoudend evenwicht. De vooral door algengroei toegenomen troebelheid voorkomt de groei van waterplanten, zodat de wind vrij spel heeft met het bodemslib en de habitat voor het algenetend zoöplankton en vissoorten als snoek goeddeels ontbreekt. De visstand wordt gedomineerd door brasem, die als een stofzuiger de meerbodem opwoelt en het zoöplankton wegeet en zo op haar wijze het systeem in stand houdt. Een dergelijke ontwikkeling heeft zich ook in veel andere meren en plassen voorgedaan.

Wat de randmeren betreft is echter de laatste tijd al grote vooruitgang geboekt in de bestrijding van de eutrofiëring. Voor het Veluwemeer en een aantal andere meren wordt verwacht dat een verder terugdringen van de fosfaatbelasting een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit zal opleveren (zie Hosper e.a. 1986, PAWN 1985). De mogelijkheid ook moerassen deel te laten uitmaken van de fosfaatbestrijding werd reeds geopperd in het Waterkwaliteitsplan IJsselmeer (RWS 1982) en daarin afhankelijk gesteld van de resultaten van de reeds aangelegde zuiveringsmoerassen in de Flevopolder.

Een moeras kan daarbij niet alleen dienen voor de zuivering van toestromend voedselrijk water (het verminderen van de externe belasting) maar ook als een "groene nier" die het meerwater zuivert (het verminderen van de interne belasting). Op den duur kan deze "nier" uitgroeien tot een groot zelfregulerend (meer/moeras)systeem. Een moeras kan zo de "trigger" zijn die een troebel meer terug naar het vroegere heldere evenwicht brengt.

Het zoeken naar mogelijkheden voor een een dergelijk ecologisch waterbeheer en in het bijzonder naar de rol die moerassen daarbij kunnen spelen vormt de achtergrond voor deze studie, waarvan het doel als volgt is omschreven:

" het formuleren van ontwerprichtlijnen voor de aanleg van meerbegeleidende moerassen ter zuivering van water en voor de ontwikkeling van natuur."

In bovenstaande doelstelling komen twee recente ontwikkelingen samen. De eerste is het toenemende gebruik van moerassen bij de zuivering van met name afvalwater, zoals vooral in de VS, maar ook op een aantal plaatsen

in Nederland al ten uitvoer is gebracht (o.a. in de Flevopolders, zie Greiner en Butijn 1985). De tweede is die van de natuurtechnische milieubouw, die in toenemende mate wordt gezien als een adequaat middel tot handhaving en ontwikkeling van natuurwaarden en ook als zodanig in de planvorming meer en meer een rol begint te spelen. De waterzuivering staat daarbij niet als een belang op zich maar dient natuur, waterwinning, recreatie en andere belangen.

Onderzoek naar de mogelijkheden van een combinatie van natuurontwikkeling en waterzuivering heeft vrijwel nog niet plaatsgevonden. Wel is door SCMO-TNO (Duel 1986) reeds een literatuurstudie verricht naar de mogelijkheden van moerassen ter voorzuivering van water voor de drinkwaterwinning in de Biesbosch. In bovengenoemde studie worden de natuuraspecten wel kort belicht (qua effecten en mogelijkheden) maar qua ontwerp niet verder uitgewerkt. In deze studie staan de ontwerprichtlijnen centraal en zullen zowel de eisen van waterzuivering als van natuurontwikkeling daarbij sturend zijn. Er wordt gezocht naar een synthese tussen natuurlijke en kunstmatige moerassystemen met een beperkt recreatief medegebruik.

Bij het formuleren van ontwerprichtlijnen dient dus niet alleen rekening te worden gehouden met waterzuiverende eigenschappen van moerassen maar ook met de eisen van de beoogde natuurontwikkeling. Daarnaast speelt de inpasbaarheid in relatie tot andere belangen een grote rol. Met name de kosten van aanleg en beheer in verhouding tot de te bereiken waterzuivering en natuurontwikkeling, alsook de mogelijkheden voor recreatie en de effecten op visserij, waterhuishouding e.d. moeten uiteindelijk in een afweging worden meegenomen.

Het rapport is als volgt opgebouwd:

In hoofdstuk 2 wordt kort ingegaan op de voor de ontwerpvorming relevante belangen. Deze zijn geoperationaliseerd in termen van doelvariabelen; dat zijn parameters die als maten kunnen worden beschouwd voor de betreffende belangen. In hoofdstuk 3 wordt het ecologisch functioneren van meren en moerassystemen kort besproken. In hoofdstuk 4 en 5 wordt respectievelijk aangegeven hoe en met welke maatregelen waterzuivering en natuurontwikkeling kunnen plaatsvinden. Er wordt hierbij voorbij gegaan aan maatregelen aan de bron, die op zich altijd de voorkeur hebben. Ook wordt de mate van verenigbaarheid van de voorgestelde maatregelen kort aangegeven (hfst 6). Speciale aandacht wordt tevens geschonken aan de mate van (on)zekerheid van effectvoorspellingen (hfst 7) en de technische en financiële aspecten (hfst 8).

In hoofdstuk 9 wordt vervolgens na een bespreking van alle ontwerpvariabelen een drietal ontwerprichtingen onderscheiden, welke zijn beschreven met globale ontwerprichtlijnen. Ten slotte wordt een eerste verkenning gemaakt van de toepassingsmogelijkheden in het randmerengebied.

## 2. RELEVANTE BELANGEN EN ASPECTEN

### 2.1. Inleiding.

De meeste meren in Nederland kennen een multifunctioneel gebruik. Water en oevers worden intensief gebruikt door recreanten (vaarrecreatie, sportvisserij), en veelal vormen de meren een belangrijke transportweg voor de recreatie- en beroepsvaart. Tevens zijn ze van essentieel belang in de waterhuishouding als hydrologische buffer, als berging voor opvang en transport van overtollig water en afvalwater en als waterleverant aan landbouw en industrie. In een aantal gevallen wordt ook water voor de drinkwaterwinning onttrokken. De beroepsvisserij is plaatselijk van belang en in een aantal meren wordt zand gewonnen (bijv. in het Gooi- en Eemmeer t.b.v. staduitbreiding Almere).

Het landschappelijk karakter van een groot deel van laag Nederland wordt bepaald door de aanwezigheid van plassen en meren. Vooral de opeenvolging van land, oeverbegroeiing en open water is kenmerkend voor het waterrijke landschap. Daarnaast dienen vele meren als een belangrijk fourageer- en overwinteringsgebied voor watervogels. In de randmeren zijn dit met name de Kleine Zwaan en de Slobeend. De zoetwatergetijdegebieden in de delta en het IJsselmeer behoren zelfs tot de hoogste (A)-categorie van ornitologisch belangrijke "wetlands" (Anonymus 1984). Vegetatiekundig zijn de meeste grote wateren echter minder interessant; door een toenemende eutrofiëring en daarmee gepaard gaande vertroebeling komen amper nog hogere (water)planten voor (van Vierssen e.a. 1985). Als gevolg daarvan is ook het aquatisch ecosysteem sterk verarmd in soorten.

In de onderstaande paragrafen wordt een pragmatisch onderscheid gemaakt tussen de ontwerpstorende belangen waterzuivering en natuurontwikkeling, de vormgevende belangen recreatie en landschap en de overige belangen, die kaderstellend en randvoorwaardelijk van aard zijn. Ieder belang wordt zoveel mogelijk geconcretiseerd in de vorm van een beperkt aantal voor de ontwerp- en planvorming relevante aspecten, de zogenaamde doelvariabelen.

### 2.2. Waterzuivering.

De waterzuivering is geen zelfstandig belang maar dient zoals gezegd andere belangen. De eisen die deze belangen aan de waterkwaliteit stellen zijn voor een deel vastgelegd in de vorm van normlijsten, zoals opgesteld voor drinkwaterwinning, zwemwater, viswater en de algemene vereiste basiskwaliteit (zie IMP-Water 85-89).

Voor het aangegeven van deze normen zijn tientallen parameters in gebruik. Aangezien het niet mogelijk en ook niet nodig is al deze normen te laten meespelen in het ontwerp van een waterzuiverend moeras, worden slechts de ecologisch gezien meest cruciaal en indicatief geachte sleutelparameters nader beschouwd. Dit zijn het fosfaat- en nitraatgehalte en het doorzicht van het water, factoren die direct en indirect bepalend en indicatief zijn voor aquatische productie (w.o. algenbloei), soorten-samenstelling, zuurstofhuishouding en zelfreinigend vermogen (zie o.m. Berger 1982, PAWN 1985). De meeste waterkwaliteitsplannen richten zich vooral op fosfaat, dat als dé sleutelfactor in de eutrofiëring wordt gezien. Het uiteindelijke doel is echter in de meeste gevallen een ver-

groten van het doorzicht, dat zowel uit het oogpunt van de vegetatieontwikkeling als ook voor de recreatie, waterwinning en visserij van grote betekenis is. Daarnaast wordt vanwege de norm voor zwemwater apart enige aandacht besteed aan coli-bacteriën.

Naast de bovengenoemde doelvariabelen zijn nog een aantal specifieke parameters van belang, die vooral van invloed zijn op de populatiesamenstelling (o.a. Cl-gehalte, ionenbalans) en daarmee op de natuurwaarde. Deze parameters worden vooral beïnvloed door het waterbeheer (in- en uitlaat boezemwater e.d.) en minder door waterzuivering. Zij worden derhalve bij het opstellen van algemene ontwerprichtlijnen niet verder in beschouwing genomen maar kunnen wel een rol spelen bij de uiteindelijke voorspelling en beoordeling van natuurontwikkelingen van een nader uitgewerkt ontwerp in een concrete situatie. Aangezien de studie zich richt op de zuivering van oppervlaktewater en en minder op eventuele nazuivering van afvalwater afkomstig van RWZI's worden zware metalen en andere toxische stoffen eveneens niet verder in beschouwing genomen bij het formuleren van ontwerprichtlijnen. Hieronder volgt een kort overzicht van de aldus gekozen doelvariabelen:

#### -het fosfaatgehalte

Het fosfaatgehalte vertoont seizoensmatige verschillen, die samenhangen met wisselingen in aan- en afvoer en de opname door algen, planten en bodem. In een aantal waterbeleidsplannen zijn ten aanzien van fosfaat korte en lange termijn streefconcentraties opgesteld. Deze streefwaarden zijn ondermeer afgeleid van de veronderstelde relatie fosfaat-algenbloei-doorzicht. Zo wordt voor het Veluwemeer gestreefd naar 0,5 m doorzicht op de korte en 1 meter op de lange termijn. Er wordt verondersteld dat dit respectievelijk overeen komt met een totaal P-concentratie van 0,08-0,12 en 0,04-0,06 mg/l (Hosper e.a. 1986).

#### -stikstofgehalte

Ook de beschikbaarheid en opname van stikstof kent een sterk seizoensmatige variatie. Alhoewel stikstof niet altijd de beperkende factor is, kan zij van belang zijn zodra het fosfaatgehalte tijdelijk, al of niet seizoensmatig, niet meer beperkend is voor de algengroei (Berger 1982).

#### -doorzicht

Het doorzicht is vooral afhankelijk van de algenbiomassa (chlorofyl a) en de hoeveelheid slib en dood organisch materiaal in suspensie en hangt zomede niet alleen af van de biologische productie maar ook van de door de wind gegenereerde resuspensie. Ook het doorzicht kent een temporele en ruimtelijke verscheidenheid, die samenhangt met seizoensmatige fluctuaties in algenpopulatie en windafhankelijke resuspensie.

#### -coli-bacteriën

Volgens de norm voor zwemwater mogen niet meer dan 3 coli per ml aanwezig zijn. Op enkele stranden, zoals in het Wolderwijd en Nulder nauw wordt deze norm incidenteel overschreden. Het verwijderen van coli-bacteriën kan dan los van het verminderen van de interne en externe nutriëntbelasting, van betekenis zijn.



tabel 2.1. Overzicht doelvariabelen waterzuivering.

doelvariabelen (in het meer)	meeteenheid	voorspelling naar de conditionerende factoren
fosfaatgehalte	mg/l	verwijderingsefficiëntie
nitraatgehalte	mg/l	verwijderingsefficiëntie
doorzicht	m	relatie fosfaat/algen/ doorzicht en resuspen sie/doorzicht
colibacteriën	x/ml	verwijderingsefficiëntie

Op de voorspelling van de verwijderingsefficiëntie en het doorzicht wordt nader ingegaan in hoofdstuk 7.

### 2.3. Natuurbehoud en -ontwikkeling.

In waterkwaliteitsplannen neemt de betekenis van water voor natuurbehoud en -ontwikkeling (in termen van "ecologische functies") een belangrijke plaats in. Daarbij wordt veelal uitgegaan van actuele natuurwaarden, zoals met name de fourageer- en broedfuncties van vogels. Bij moerasaanleg gaat het om de te versterken actuele en te ontwikkelen potentiële natuurwaarden.

De beoordeling van natuurwaarden is aan discussie onderhevig; meestal worden diversiteit, zeldzaamheid en populatieomvang van vooral vogels en hogere planten als criteria gebruikt. Voor beoordeling en voorspelling van natuurontwikkeling kan men echter ook een onderscheid maken naar integratieniveaus (soort/populatie en ecosystemen) en schaalniveaus (ecotoop en geotoop), waarbij waarde wordt toegekend aan patroon (wat is er?) en proceswaarden (hoe functioneert het?). Ofwel het gaat om de knikkers én het spel. Het zelfstandig waarde toekennen aan proceswaarden is op zich geen nieuw gegeven, het is indirect gerechtvaardigd op de lange termijn als een voorwaarde voor behoud van soorten, ecosystemen en landschappen.

Hiermee kunnen op pragmatische gronden de volgende afzonderlijke doelvariabelen worden onderscheiden:

#### **natuurwaarde op het niveau van ecosystemen**

-natuurlijke ontstaanswijze; er wordt een inherente waarde toegekend aan de natuurlijkheid van vorming van het abiotische milieu

-natuurlijke regulatie; er wordt een inherente waarde toegekend aan het zelfstandig ecologisch functioneren, ofwel er wordt gestreefd naar een minimale beheersinspanning; hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen geomorfologische (erosie en sedimentatie), hydrologische (langjarige peilfluctuaties en frequente inundatie) en biologische regulatieprocessen (predator-prooi relaties, graas e.d.)

### natuurwaarden op het niveau van soorten en soortengroepen

**-vegetatie;** er wordt waarde toekend aan zowel soortensamenstelling op het niveau van gradiënten en ecotooptypen (patroonwaarden), alsook aan de vegetatieontwikkeling/successie als proces. In moerasgebieden hangen deze successies samen met afslag en verlanding en dagelijkse, seizoensmatige en langjarige schommelingen in waterpeil.

**-avifauna;** er wordt waarde toegekend aan de soortensamenstelling op het niveau van soortengroepen

**-aquatische levensgemeenschap;** er wordt waarde toegekend aan de soortensamenstelling (aard, diversiteit) op het niveau van ecotooptypen en hun betekenis voor de overige fauna

**-zoogdieren;** er wordt waarde toegekend aan het voorkomen van voor moerasgebieden karakteristieke inheemse zoogdieren, zoals de otter en de waterspitsmuis en hun betekenis voor aquafauna.

**-reptielen en amphiëën;** er wordt waarde toegekend aan de soortensamenstelling en hun relatie tot de avifauna.

Voor alle natuuraspecten vindt dus zowel een beoordeling plaats naar patroon (op niveau van soorten(groepen) en proces (op niveau van ecosystemen). De voorspelling zal evenwel in vele gevallen op het niveau van gradiënten en ecotooptypen dus op abiotische kenmerken moeten worden uitgevoerd (zie tabel 2.2 en hfd.9). De voorspelling en beoordeling is daarbij drieledig en heeft betrekking op het aangelegde moeras, het moeras/meersysteem en het moeras/meer/systeem in relatie tot de omgeving.

tabel 2.2. Beoordeling en voorspelling van natuuraspecten

doelvariabelen	beoordeling naar patroon en proces	voorspelling naar de conditionerende factoren
<b><u>natuurwaarde op het niveau van ecosystemen</u></b>		
<b>-natuurlijke ontstaanswijze</b>	de mate waarin natuurlijke processen een rol spelen bij het ontstaan	wijze van aanleg type materiaal, invloed golven en wind
<b>-natuurlijke regulatie</b>	de mate waarin natuurlijke abiotische en biotische processen een rol spelen bij instandhouding en beheer de rol die het moeras als "trigger" kan spelen	invloed wind, golven, peilfluctuaties, roofvogels, snoek, grazers etc
<b><u>natuurwaarde op het niveau van soorten(groepen)</u></b>		
<b>-vegetatie</b>	voorkomen waardevolle diënten en successies	gra op ecotoopniveau naar gradiënten in voedselrijkdom, vocht, waterdiepte, fluctuaties in waterpeil, expositie en nutriëntbelasting

-aquatische fauna	voorkomen van diverse levensgemeenschappen	voorkomen submerse en drijvende waterplanten, doorzicht en nutriëntbelasting
-avifauna	voorkomen soortengroepen	vegetatiestructuur, rust, voedsel en waterdiepte
-zoogdieren	voorkomen otter en waterspitsmuis	vegetatiestructuur, rust en waterkwaliteit
-amphibiën en reptielen	voorkomen populaties	vegetatiestructuur, rust en waterkwaliteit

Uit de bovenstaande tabel (2.2.) komt naar voren dat een beoordeling van de potenties van natuurontwikkeling grotendeels neerkomt op een voorspelling aan de hand van conditionerende factoren wind, vegetatiestructuur (niveau van ecotootypen), waterkwaliteit en rust. Voor al deze aspecten dient bij een verdere concretisering van ontwerpen een voorspelling voor de korte (minder dan 20 jaar) en de lange termijn (meer dan 20 jaar) te worden gedaan waarbij rekening wordt gehouden met de inherente ontwikkeling (o.a. natuurlijke aangroei en vegetatiesuccessie) alsook met trends in externe factoren (w.o. defosfateringsbeleid). Bij de uiteindelijke beoordeling speelt de zekerheid van voorspelling een grote rol (zie ook hoofdstuk 9).

#### 2.4. Landschapsbeeld

De aanleg van een moerasgebied zal het landschapsbeeld aanzienlijk beïnvloeden en kan bijdragen aan een gevarieerd landschap en aan de landschappelijke kwaliteit. Volledig kunstmatig aangelegde zuiveringsmoerassen worden op het ogenblik (terecht?) door schaamgroen omgeven. Zonder hiervoor een uitvoerige onderbouwing te geven kan toch wel een globaal oordeel over enkele landschappelijke gevolgen van de aanleg van meerbegeleidende moerassen worden gegeven. Het vergroten van de helderheid van het water en daarmee een toenemen van de watervegetatie (m.n. drijvende soorten) wordt als een verbetering beschouwd. Ook een reconstructie van de vroegere landschappelijke zoneringsweiland, bos, riet, open water kan als iets positiefs worden gezien. Een omvorming van een oude polder tot moerasgebied kan evenwel uit cultuurhistorisch gezichtspunt negatief zijn.

Het landschapsbeeld is vormgevend bij de uitwerking van de ontwerpen en speelt daarmee geen directe rol bij het opstellen van de ontwerprichtlijnen.

#### 2.5. Recreatie

De vaarrecreatie neemt op vele meren een dominante plaats in (zie o.m. van Schaik 1985, Tigelaar 1981). De recreatie stelt niet alleen duidelijk eisen aan inrichting en beheer (recreatief medegebruik) maar heeft ook een invloed op de waterkwaliteit, de natuur en de landschapswaarden (Joolen 1979). Afhankelijk van de eisen en de invloed kan men onderscheiden:

-vaarrecreatie

Het varen met zeilboten, surfplanken en motorjachten stelt specifieke eisen aan de bevaarbaarheid van het water (diepgang, vrij oppervlak), aanlegmogelijkheden (bereikbaarheid van de oever) en andere faciliteiten. De beïnvloeding bestaat uit vervuiling (motorolie, afval), schade (aan oevervegetatie door golfslag en aanleggen) en rustverstoring. Vooral van surfen gaat een sterk versturende invloed uit aangezien zeilplanken ver van de vaarwegen tot in ondiep water kunnen doordringen (Daalder en Brouwer 1984).

-zwemmen

Zwemmen kan als een aparte vorm van recreatie worden genoemd omdat het hoge eisen stelt aan de zwemwaterkwaliteit wat betreft helderheid (meer dan 1 meter doorzicht), en verontreinigingen (o.a. geen colibacterien), maar ook aan de bereikbaarheid van het water en de inrichting van de oevers (bij voorkeur strand). De beïnvloeding bestaat hoofdzakelijk uit rustverstoring.

-sportvisserij

Alhoewel de sportvisserij de laatste tijd sterk is teruggelopen vormt zij qua aantal beoefenaren nog steeds een belangrijke gebruikersgroep, die vooral eisen stelt aan visstand (nadruk op een gevarieerde stand aan goed groeiende vis), de bereikbaarheid van de oever en de bevisbaarheid van het water (niet teveel waterplanten). De beïnvloeding bestaat uit een invloed op de visstand door het selectief wegvangen van enkele soorten, betreding en vervuiling van oevers en rustverstoring.

-wandelen

In moerassen kan worden gewandeld over paden en plankieren. De beïnvloeding bestaat daarbij vooral uit rustverstoring en minder uit vertrapping.

De recreatie heeft vooral een negatieve invloed op de avifauna omdat het vaarseizoen overlapt met de broedtijd en de rui van veel soorten (Daalder en Brouwer 1984). De recreatie speelt een rol bij het opstellen van ontwerprichtlijnen met name met betrekking tot ontsluiting, recreatief medegebruik en recreatieve zonering. Daarbij dient op termijn ook rekening te worden gehouden met het optreden van overmatige plantengroei in weer helder geworden meren, hetgeen beperkingen aan de recreatie op kan leggen of extra beheerslasten met zich mee zal brengen.

2.6. Overige belangen

Naast de waterzuivering en natuurontwikkeling, waarop het ontwerp van de 'meerbegeleidende moerassen' in eerste instantie gericht is, en de mede vormbepalende belangen landschap en recreatie, moet er rekening worden gehouden met die functies van meren, die beïnvloed of beperkt kunnen worden door moerasaanleg of die zelf een invloed hebben en/of een beperking opleggen aan de mogelijke waterzuivering en natuurontwikkeling door moerassystemen. Deze belangen geven samen het ontwerp kader aan.

Als belangrijkste overige belangen kunnen worden genoemd de beroepsvaart en beroepsvisserij, de drinkwaterwinning en plaatselijk ook de zandwinning. Daarnaast dient steeds rekening te worden gehouden met de water-

huishoudkundige functies ten behoeve van de landbouw.

De eisen van en beperkingen door deze belangen zijn hoofdzakelijk randvoorwaardelijk van aard, zoals het openhouden van de vaargeul en het handhaven van de landbouwkundig vereiste waterpeilen.

### beroepsvisserij

De beroepsvisserij concentreert zich met name op een aantal commerciële vissoorten waaronder paling, snoekbaars en baars. In beperkte mate wordt ook gevist op spiering, voorn en brasem. De beroepsvisserij stelt zomede eisen aan de visstand (soortensamenstelling en productie) en de bevis- en bevaarbaarheid van het water. De beïnvloeding bestaat uit het selectief wegvissen van enkele soorten, vervuiling (motorolie) en rustverstoring.

### beroepsvaart

De grotere meren en plassen vormen bijna altijd een belangrijke waterweg. De belangrijkste eisen van de beroepsvaart betreffen de minimale diepte en breedte en ook de ligging (kortste bevaarbare verbinding) van de vaargeul. De beïnvloeding bestaat uit de versturende en vernietigende invloed van golfslag, vervuiling en een frequent baggeren van de vaargeul. In een aantal gevallen wordt het baggerslib in nabij gelegen diepere delen van het meer gestort, hetgeen o.m. gepaard gaat met een tijdelijke vertroebeling van het water.

### zandwinning

Het winnen van zand heeft naast een tijdelijke rustverstoring en vertroebeling tijdens de winning ook een permanente invloed doordat een dieper water ontstaat. Het uitdiepen heeft gevolgen voor N en P huishoudingen, de primaire productie en de helderheid van het water. Ook de aanleg van een moerasgebied in een meer zal in vele gevallen gepaard gaan met een winning van zand en/of slib ter verondieping en voor het opwerpen van kaden.

### waterhuishouding en gebruik t.b.v. landbouw, drinkwatervoorziening en industrie

Op vele plaatsen wordt water onttrokken voor landbouw, industrie (vooral als koelwater) en drinkwatervoorziening. De meeste meren fungeren als een waterbuffer en -berging voor polders en dienen derhalve een bepaald waterpeil en wateropvangcapaciteit te hebben. Het gevolg hiervan is een variabele aanvoer van water en nutriënten en fluctuaties in waterpeil (b.v. zomer- en winterpeil). De drinkwaterwinning stelt eisen aan de kwaliteit van het water (EG-richtlijn m.b.t. waterkwaliteit ten behoeve van de drinkwaterbereiding) maar legt geen directe beperkingen op aan het ontwerp van moerassen. Wel is het niet ondenkbaar dat moerassen water aan de drinkwaterwinning kunnen toeleveren bijvoorbeeld bij geïsoleerde opvang van kwel of als voorzuivering voor spaarbekkens (zie Duel 1986).

### technische en financiële haalbaarheid

Elk ontwerp zal zich moeten begeven binnen de grenzen van het technisch en financieel mogelijke. Er moet bij het ontwerpen van moerasystemen rekening worden gehouden met aanleg-, onderhouds- en beheerskosten (zie hftst 8). Technische realiseerbaarheid, beheersbaarheid en kosten hangen natuurlijk sterk samen. De gevraagde aanlegwijze kan ook beperkingen opleggen aan het ontwerp. Zo vergt de aanleg van riet- en biezelanden veelal een tijdelijke drooglegging, zodat een compartimentering noodzakelijk kan zijn. Een mechanisch maaibeheer stelt weer eisen aan de bereikbaarheid en berijdbaarheid van compartimenteringskaden.

### juridische en planologische aspecten

De meeste plaatsen die voor moerasaanleg in aanmerking komen hebben nog niet de status van natuurgebied. De ontwikkeling en bescherming van potentiële natuurwaarden dient voorafgaand aan de aanleg te zijn vastgelegd en gegarandeerd. Dit geldt ook voor de kosten van het noodzakelijk geachte beheer.

De oeverzones in de randmeren zijn veelal domeingronden, maar vallen ook onder de gemeentelijke bestemmingplannen. Het waterbeheer berust bij Rijkswaterstaat en diverse waterschappen. Deze instanties zullen zeker in de concrete planvorming moeten worden betrokken.

### 2.7. Resumé.

Niet alle bovengenoemde aspecten en belangen zijn even relevant voor de ontwikkeling van ontwerprichtlijnen; de aandacht zal zich met name richten op de waterzuivering en de natuurontwikkeling als sturende belangen. Hierbij zullen zowel de kosten van aanleg, onderhoud, en beheer, alsook de mede vormgevende belangen recreatief medegebruik en het landschapsbeeld worden bekeken. De randvoorwaarde stellende belangen (beroepsvaart, visserij, waterhuidhouding e.d.) zullen pas als een ontwerp kader in een concrete situatie aan de orde komen.

### 3. ECOLOGISCH FUNCTIONEREN VAN MEREN EN MOERASSEN

#### 3.1. algemeen

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de verschillende typen meren en moerassen en de invloed en variabiliteit van externe en interne belasting op het ecologisch functioneren, vegetatieontwikkeling, aquafauna en avifauna. Tenslotte wordt ingegaan op de rol van het doorzicht in zelfversterkende en terugkoppelende mechanismen en op de eutrofiëring en de mogelijke weg terug.

#### 3.2. moerastypen

Meren en moerassen zijn meer of minder gesloten ecosystemen met een eigen interne en externe dynamiek. Tussen meren en moerassen bestaat een graduele overgang tussen diep met weinig emerse vegetatie en ondiep met (potentiëel) veel emerse vegetatie. Onderscheid kan worden gemaakt op basis van voedselrijkdom (eutroof, mesotroof en oligotroof) maar ook naar inundatiefrequentie, doorvoersnelheid en zoutgehalte. Vrijwel gesloten zijn hoogveenmoerassen, die hun water slechts in de vorm van neerslag ontvangen en door verdamping en wegzijging weer kwijtraken. Zeer open aquatische systemen zijn daarentegen de meeste stagnante Rijkswateren, die water en nutriënten ontvangen uit vele verschillende bronnen waaronder neerslag, droge deponie, kwel, boezemwaterinlaat, inlaat afvalwater RWZI's, en afvoer van beeksystemen. De meeste open systemen zijn erg voedselrijk, de slechts door neerslag gevoede zijn veelal voedselarm.

Qua inundatiefrequentie kan men onderscheid maken naar dagelijks overstromende zoetwatergetijde gebieden (zoals de vroegere Biesbosch), seizoensmatig door neerslag of rivierafvoer overstroomde systemen (b.v. delta's en uiterwaarden), moerassen met langjarige waterpeilfluctuaties (b.v. enkele duinvalleien) en systemen met een vrijwel constant waterpeil (meestal polders en boezemwateren), zoals o.a. de plassen in het lage deel van Nederland (bijv. Naardermeer en Nieuwkoopse Plassen). Wat het zoutgehalte betreft kan men in Nederland onderscheid maken tussen de zwak brakke plassen en moerassen van Waterland en de zoete moerassen.

#### 3.3. ecologisch functioneren.

##### 3.3.1. inleiding

In figuur 3.1. is voor meer/moerassystemen een externe en een interne dynamiek onderscheiden. Wordt de grootte en variatie in de externe dynamiek vooral bepaald door het type aanvoerbronnen, de interne dynamiek is afhankelijk van zowel de externe belasting alsook de mate waarin water, sediment en nutriënten door golfslag en stroming worden verplaatst en voedingsstoffen in de voedselketen worden opgenomen. Zowel de interne alsook de externe belasting kennen seizoensmatige en langjarige fluctuaties.

### technische en financiële haalbaarheid

Elk ontwerp zal zich moeten bewegen binnen de grenzen van het technisch en financieel mogelijke. Er moet bij het ontwerpen van moerassystemen

factoren externe dynamiek	factoren interne dynamiek
instraling	waterhuishouding
wind	-waterpeil
neerslag/verdamping	-verblijftijd
droge depositie	-stroming en circulatie
boezemwater	slibhuishouding
RWZI's	-bezinking en resuspensie
rivieren/beken	-erosie en sedimentatie
kwel/wegzijing	
	nutriëntenhuishouding
	-P-kringloop
	-N-kringloop
	voedselketens

Figuur 3.1. Externe en interne dynamiek van meer/moerassystemen

### 3.3.2. Externe dynamiek

#### a. licht en instraling

Straling is de motor van alle biologische en vele abiotische processen. Het functioneren van voedselketens is in Nederland sterk seizoensmatig van karakter, het groeiseizoen is voor vele organismen beperkt tot de zomer.

#### b. wind

De wind genereert golfslag en stromingen en bepaalt daarmee het transport van nutriënten en slib binnen het systeem, het ontstaan van thermoclines en waterpeilschommelingen door windstuwing. De windrichting en sterkte wisselen met de dag en over langere tijd is vooral de stormfrequentie van groot belang voor erosie en sedimentatie. De invloed is groter bij grotere strijklengte en geringere diepte.

#### c. aan- en afvoer van water, slib en nutriënten

De dynamiek van water aan- en afvoer wordt bepaald door de seizoensmatige en langjarige variatie in neerslag en verdamping en andere bronnen, zoals beken, rivieren, RWZI's, boezemwater en kwel. Seizoensmatig zijn de variaties in de in- en uitlaat van boezemwater en de variatie in neerslag en verdamping het belangrijkste. De zomerse verdamping kan met name in relatief gesloten systemen leiden tot 'indikeffecten', waardoor een relatieve toename van concentraties aan nutriënten optreedt.

Zeer groot is tegenwoordig de seizoensmatige en langjarige variatie in aanvoer van water, sediment en voedingsstoffen door beken (Anonymus 1987, hfd.5). De grootste hoeveelheden sediment en nutriënten worden verplaatst



tijdens piekafvoeren. Kwel en wegzijging, maar ook de aanvoer door RWZI's zijn daarentegen relatief constant en respectievelijk slibloos en arm aan slib. Zij kunnen echter wel op de langere termijn worden beïnvloed door veranderingen in waterpeil in de directe omgeving (b.v. vanwege landinrichting). Landinrichting heeft eveneens invloed op de door boezem en beken afgevoerde nutriënten en debieten. Met deze langjarige 'trends' zal bij de uiteindelijke voorspelling van de natuurontwikkeling rekening moeten worden gehouden.

Alhoewel sediment vooral door beken en rivieren wordt aangevoerd kan materiaal ook afkomstig zijn van oppervlakkige afspoeling en afkalving van meeroevers. Zodra een stroom in het meer uitmondt vindt eerst sedimentatie van de grovere en daarna van de fijnere fracties plaats. Bij wind zal de fijnere fractie slechts in de luwte tot bezinking kunnen komen en kan reeds in de monding bezonken materiaal weer in suspensie worden gebracht.

Hoe neerslagafhankelijker het systeem en hoe groter het aandeel in de aanvoer van beken en rivieren hoe groter de seizoensmatige en langjarige variatie in de aanvoer van water, slib en nutriënten.

### 3.3.3. Interne dynamiek

#### a. waterhuishouding

##### **waterpeilfluctuaties**

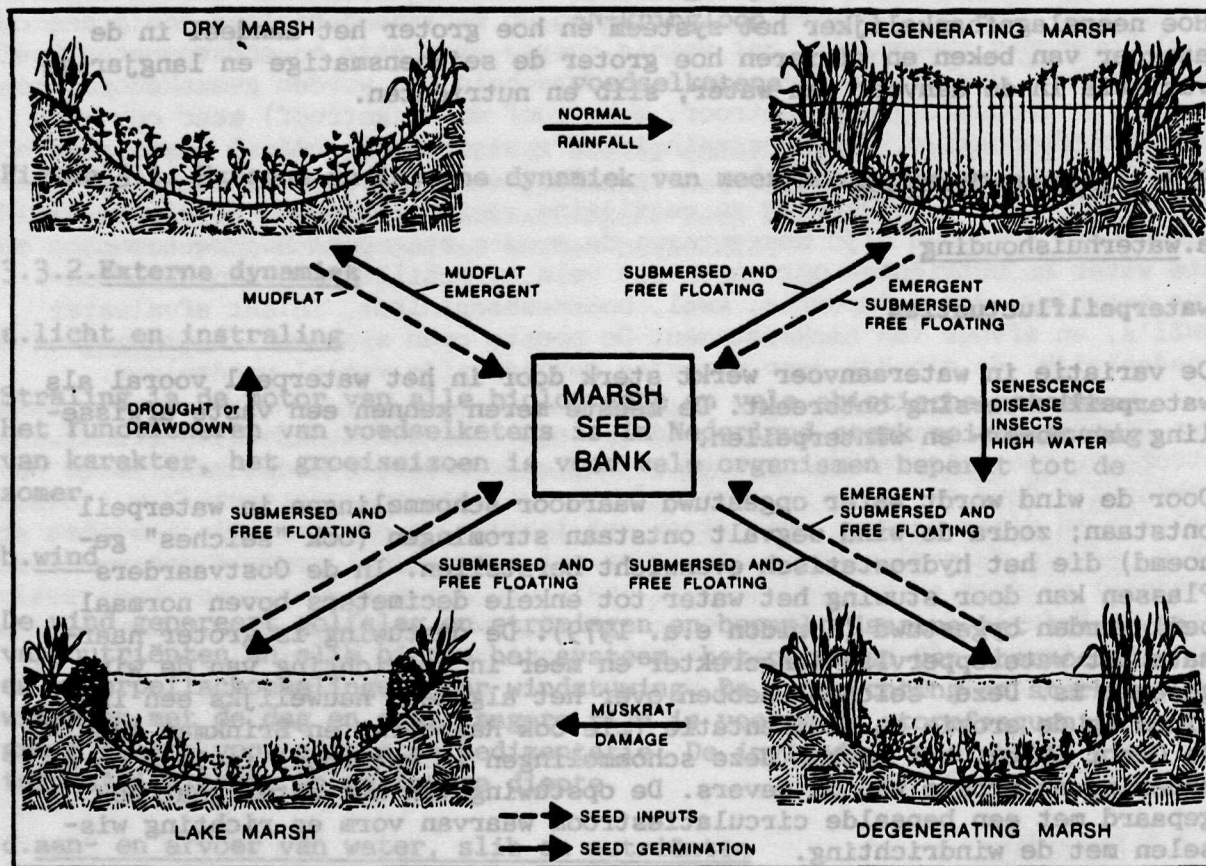
De variatie in wateraanvoer werkt sterk door in het waterpeil vooral als waterpeilbeheersing ontbreekt. De meeste meren kennen een vaste afwisseling van zomer- en winterpeilen.

Door de wind wordt water opgestuwd waardoor schommelingen in waterpeil ontstaan; zodra de wind wegvalt ontstaan stromingen (ook "seiches" genoemd) die het hydrostatisch evenwicht herstellen. In de Oostvaarders Plassen kan door stuwing het water tot enkele decimeters boven normaal peil worden opgestuwd (Koridon e.a. 1979). De opstuwing is groter naarmate het wateroppervlak langerekt en meer in de richting van de wind gelegen is. Deze "seiches" hebben over het algemeen nauwelijks een invloed op de erosie en sedimentatie (zie ook Raaphorst en Brinkman 1986, de Groot 1986). Wel hebben deze schommelingen in waterpeil invloed op de zonering en erosie van de oevers. De opstuwing van het water gaat ook gepaard met een bepaalde circulatiestroom waarvan vorm en richting wisselen met de windrichting.

Waterpeilschommelingen zijn van grote invloed op de vegetatieontwikkeling. Frequentie inundatie leidt meestal tot een dominantie van eenjarige terrestrische en meerjarig emerse soorten, zoals riet. Uiteindelijk kan zich een moerasbos ontwikkelen. Seizoensmatige overstroming, zoals b.v. in uiterwaarden leidt zonder begrazing meestal meer direct tot een bosontwikkeling.

Van groot belang zijn de cycli in vegetatieontwikkeling zoals die samenhangen met langjarige fluctuaties in het (grond)waterpeil. Een dergelijke langjarige cyclus is o.a. door Van der Valk & Davis (1978) beschreven voor een "prairie glacial marsh". Hierin werden onderscheiden (zie figuur

3.7) een "regenerating marsh" bij het stijgen van de waterpeil waarbij éénjarige planten en terrestrische soorten verdwijnen en de emerse, submerse en drijvende sterk toenemen; een "degenerating marsh" gekenmerkt door een constant waterpeil en een grote hoeveelheid drijvende en submerse vegetatie terwijl de emerse soorten zijn beperkt tot de randzone; een "lake marsh" als een verdere ontwikkeling van de "degenerating marsh" waarbij tengevolge van plagen, ziekten, graas en verouderingsprocessen de vegetatie wordt teruggedrongen tot de randzone en in soorten sterk verarmt en een "dry marsh", een net droog gevallen moeras gekenmerkt door éénjarige en overjarig emerse soorten spoedig gevolgd door slechts overjarige soorten. De verschillende stadia worden doorlopen in een periode van 5 tot 20 jaar. De biomassa productie (als stengelmasse) verschilt aanzienlijk tussen de verschillende stadia; zo is de productie van een "regenerating marsh" tot 10-15 maal groter dan van een "lake marsh" (zie tabel 3.1).



Figuur 3.2 Schematische weergave van de vegetatiecyclus in "prairie glacial marsh" gebieden in Iowa (naar van de Valk: in Iedema en Kik 1986)

Door grote schommelingen in waterpeil is zelden sprake van een stabiel evenwicht vergelijkbaar met bijvoorbeeld terrestrische bossystemen.

doorstroming/circulaties/verblijftijd

Als het volume van het meer erg klein is vergeleken met het volume van de aanvoer zullen de concentratie aan slib, P en N erg snel kunnen variëren.

De positie van in- en uitlaat legt ook grotendeels het circulatie patroon vast. De wind kan echter ook van grote invloed zijn, zodat het circulatiepatroon sterk met de windrichting kan wisselen. De circulatie is van grote invloed op het sedimentatiepatroon en het optreden van lokale maxima en minima in zwevende stof en nutriënten.

vegetatie	"dry marsh"	"regenerating marsh"		"degenerating marsh"			"lake marsh"
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
emers	428	544	640	561	453	97	16
submers	22	129	317	108	141	171	37
Totaal	450	673	957	669	594	268	53

Tabel 3.1. Totale stengelbiomassa (10 exp.3 x kg droge stof) van emerse en submerse vegetatie in de 4 fases van Rush Lake, Iowa.

Hoe groter de aan- en afvoer hoe kleiner de verblijftijd. De verblijftijd is o.a. een cruciale factor in het ontstaan van algenbloei (Berger 1982). In de meeste gevallen is de verblijftijd van het water 's winters beduidend korter dan in de zomer.

#### b. slibhuishouding

##### erosie en sedimentatie

Erosie en sedimentatie zijn het gevolg van door de wind geïnduceerde invloed van golfslag en stroming. De invloed van de wind is groter naarmate de strijklengte (aanwaailengte) over onbegroeid kaal oppervlak groter is. Begroeide oppervlakken, zoals rietvelden of opgaande oeverbegroeiing temperen niet alleen de invloed van de wind op het water maar ook de golfslag.

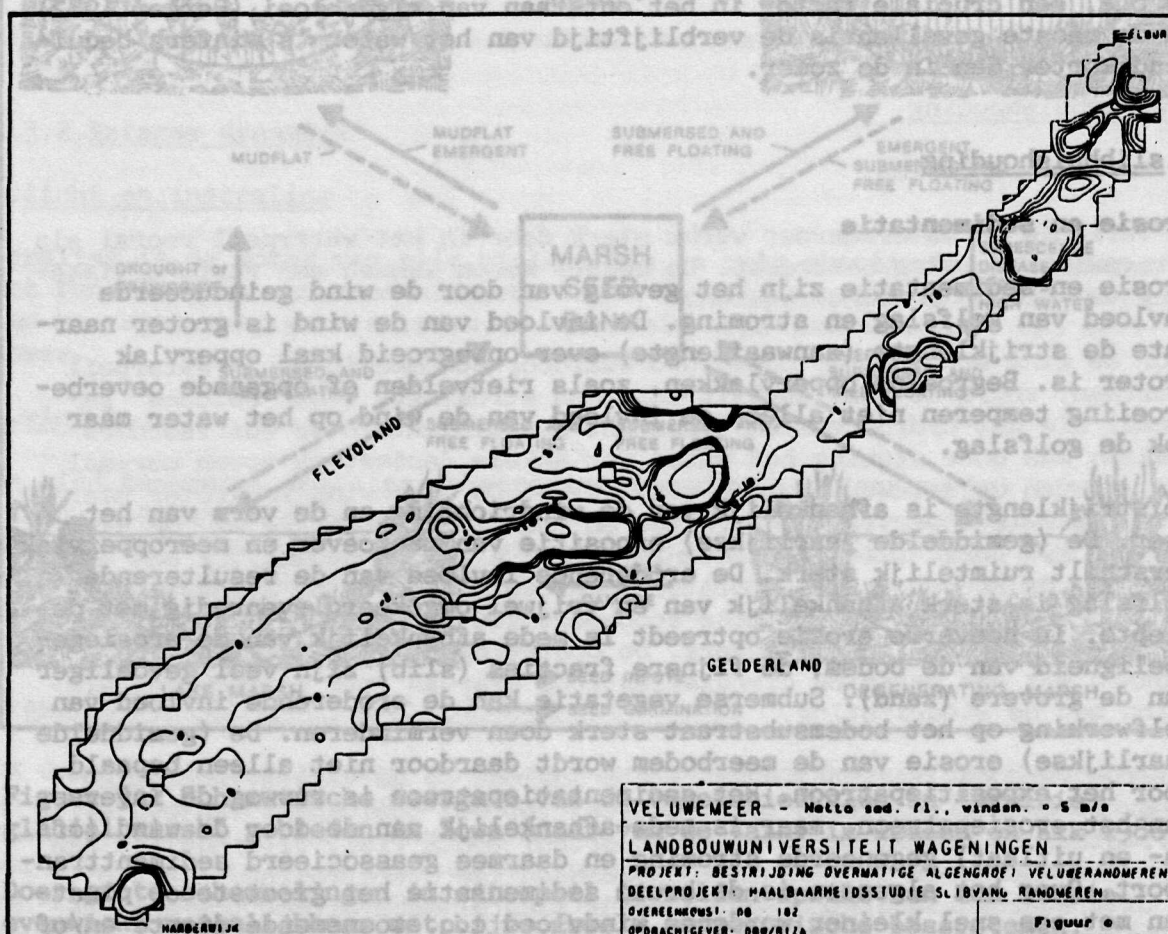
De strijklengte is afhankelijk van de windrichting en de vorm van het meer. De (gemiddelde jaarlijkse) expositie van meeroever en meeroppervlak verschilt ruimtelijk sterk. De eroderende invloed van de resulterende golfslag is sterk afhankelijk van en vrijwel omgekeerd evenredig met de diepte. In hoeverre erosie optreedt is mede afhankelijk van de erosiegevoeligheid van de bodem; de fijnere fracties (slib) zijn veel gevoeliger dan de grovere (zand). Submerse vegetatie kan de eroderende invloed van golfwerking op het bodemsubstraat sterk doen verminderen. De (gemiddelde jaarlijkse) erosie van de meerbodem wordt daardoor niet alleen bepaald door het expositiepatroon. Het sedimentatiepatroon is ruwweg de inverse van het erosiepatroon, maar is mede afhankelijk van de door de wind (of in- en uitlaat) gegeneerde stroming en daarmee geassocieerd sedimenttransport. Over het algemeen is de bruto sedimentatie het grootste op plaatsen met een snel kleiner wordende windvloed c.q. toenemende diepte en/of afnemende strijklengte (de Groot 1986 en Blom 1987, zie figuur 3.3.). Vegetatie vangt derhalve ook veel gesuspenseerd materiaal in.

De sedimentatiesnelheid kan daardoor niet alleen ruimtelijk sterk variëren (bijvoorbeeld tussen de 2 en 35 cm/jaar in het Veluwemeer, Raaphorst

en Brinkman 1986, Blom 1987), maar ook van dag tot dag afhankelijk van windsnelheid en -richting. Zeer dynamisch zijn die oevers en meerbodems die afwisselend sterk en zwak geëxposeerd zijn.

De dynamiek van erosie en sedimentatie en daarmee de rol die gesuspendeerd materiaal speelt in de nutriëntenhuishouding en het doorzicht zijn groter naarmate het meer groter en ondieper is en de bodem bestaat uit makkelijk in suspensie gebrachte slibfracties (Golterman et.al. 1969). Wat dit laatste betreft verschillen de nederlandse meren aanzienlijk. In de Westeinder Plassen is het belang van slib in suspensie op het doorzicht en de fosforhuishouding waarschijnlijk veel groter dan in een minder slibrijk IJsselmeer. In ondiepe meren kan zelfs de opwoeling door motorboten aanzienlijke gevolgen hebben voor de fosforhuishouding (Yousef 1980); het zelfde geldt voor de opwoeling door brasem (=bioturbatie) (zie ook Richter 1985).

Het slib heeft direct (gesuspendeerd materiaal) en vaak ook indirect (meer desorptie van P en daarom meer alg) een invloed op het doorzicht en zo op het ecologisch functioneren. Erosie en sedimentatie bepalen het voorkomen van verlandings- en afslagsuccessies.



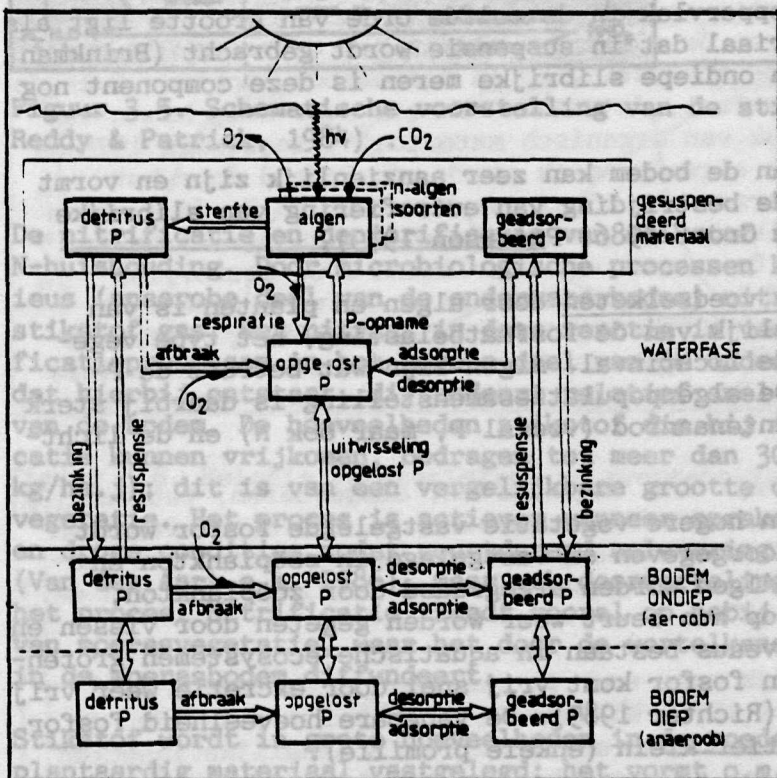
Figuur 3.3. Nettosedimentatieflux Veluwemeer berekend volgens een simulatiemodel; het beeld geeft slechts een kwalitatieve indruk van de ruimtelijke variabiliteit (naar Blom 1987)

### c. nutriënthuishouding

#### P-huishouding

Fosfor komt in verschillende vormen voor in het aquatische milieu: als orthofosfaat, als polyfosfaat of als organisch fosfaat. Deze vormen kunnen opgelost voorkomen, colloïdaal of verpakt in partikels.

Voor een overzicht van de factoren die van belang zijn voor het P-gehalte kan het beste de P-huishouding worden geschetst (zie o.a. Brinkman en van Raaphorst 1986; figuur 3.4.).



Figuur 3.4. Sterk vereenvoudigde weergave van de de fosforhuishouding in (ondiepe) meren (naar Brinkman en van Raaphorst 1986).

Belangrijke onderdelen van de fosforhuishouding zijn:

Bezinking en resuspensie van aan slib gebonden fosfaat. Aan het slib zijn veelal grote hoeveelheden fosfor geadsorbeerd, die bij resuspensie weer in oplossing kunnen gaan. Naast deresuspensie door de wind kan de resuspensie tengevolge van het opwoelen van de bodem door fouragerende brassems, ook wel bioturbatie genoemd, aanzienlijk zijn; een gemiddelde Nederlandse brassemsstand van 250-500 kg/ha kan op deze wijze naar schatting 0,13 tot 0,25 mg P/m<sup>2</sup> per uur vrijmaken (Richter 1985). Ook tubifex kan bijdragen aan de P-desorptie (Brinkman en van Raaphorst 1986).

Adsorptie en desorptie aan de bodem is vooral afhankelijk van het specifieke oppervlak en de adsorptiecapaciteit van de bodem en de fosfaatconcentratie in het water. Deze adsorptie is ten dele fysisch en ten dele chemisch van aard, doordat orthofosfaat en organisch fosfaat verbindingen aangaan met calcium, ijzer en aluminiumcomponenten (Brinkman en van Raaphorst 1986). In zure milieus is de vorming van moeilijk oplosbare ijzer- en aluminiumverbindingen groter dan in basische milieus. Voor calciumverbindingen geldt het omgekeerde. De P-adsorptie is groter bij een hoger slibgehalte.

Zodra de opgeloste fosfaat concentraties afnemen, bijvoorbeeld door opname door algen, kan aan de bodem geadsorbeerd fosfaat weer in oplossing gaan. Aangezien de fosfaatconcentratie vooral afhankelijk is van deze opname door algen is er sprake van een duidelijke seizoensgebonden variatie. Recent onderzoek in de Veluwemeer heeft aangetoond dat de desorptie vanaf het bodemoppervlak in de zelfde orde van grootte ligt als de desorptie van het materiaal dat in suspensie wordt gebracht (Brinkman en van Raaphorst 1986). In ondiepe slibrijke meren is deze component nog aanzienlijk groter.

Dit naleverend vermogen van de bodem kan zeer aanzienlijk zijn en vormt een grote belemmering in de bestrijding van eutrofiëring van slibrijke ondiepe meren (zie o.m. De Groot 1986, Peterson 1979).

De opname van fosfor in de voedselketen door algen en planten is van tijdelijke aard en afhankelijk van de fosfaatbelasting, het type vegetatie, de temperatuur en de lichtinval. Algen zijn wat betreft de P-opname het meest actief. De algenpopulatiesamenstelling is daarbij sterk afhankelijk van het nutriëntenaanbod (vooral P, maar ook N) en de lichtinval.

Het door algen, plankton en hogere vegetatie vastgelegde fosfor wordt voor een klein deel weer doorgegeven en vastgelegd in zoöplankton en andere hogere organismen. Algen worden afgegraasd door zoöplankton, mosselen en slakken welke op hun beurt weer worden gegeten door vissen en vogels. De hogere trofieniveaus bestaan in aquatische ecosystemen grotendeels uit vis; de opgenomen fosfor komt vrij snel door excretie weer vrij en beschikbaar voor algen (Richter 1985). De vangbare hoeveelheid fosfor (inde vorm van vis is relatief klein (enkele promille).

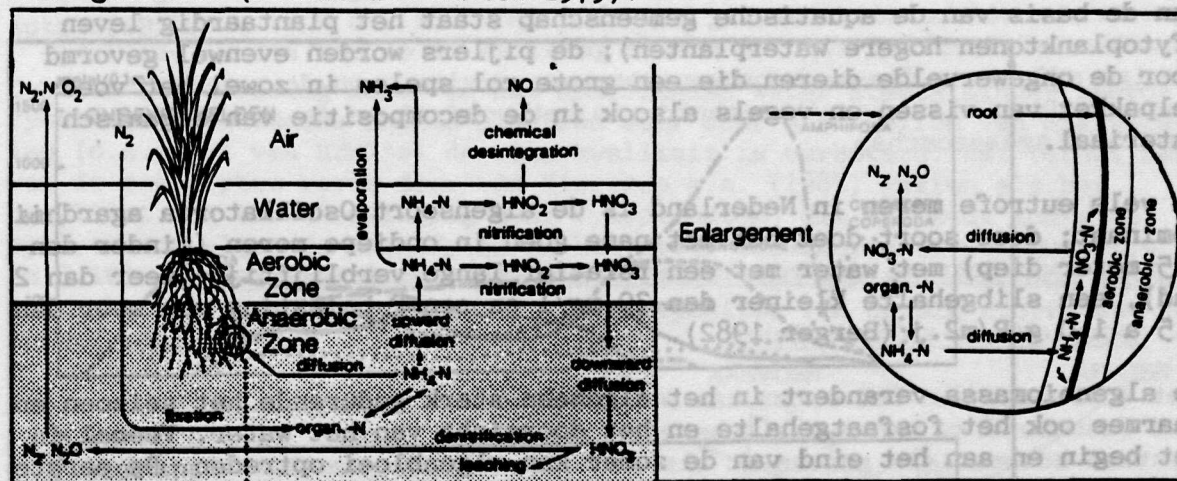
### **N-huishouding**

Stikstof komt in aquatische systemen voor als nitraat, nitriet, stikstofgassen, ammonium en in een groot aantal organische verbindingen. De stikstofkringloop is in grote lijnen gelijk aan die van fosfor maar wijkt op een aantal punten af. In figuur 3 is een schematisch overzicht gegeven van de stikstofkringloop.

Stikstof die gebonden is in dood organisch materiaal (bijv. dode algen en plantenmateriaal) of geadsorbeerd aan bodemdeeltjes kan bezinken en resuspenderen; het gaat echter om kleine hoeveelheden. Wel kan door wind een sterk ruimtelijke variatie ontstaan

De adsorptie en desorptie van stikstof aan bodemdeeltjes in de vorm van

ammonium is zeer gering (Lijklema 1985). Nitraat wordt vrijwel helemaal niet gebonden (Kadlec and Tilton 1979).



Figuur 3.5. Schematische voorstelling van de stikstofhuishouding (naar Reddy & Patrick, 1984).

De nitrificatie en denitrificatie van stikstof is van groot belang in de N-huishouding. Door microbiologische processen kan in zuurstofarme milieus (anaerobe deel van de onderwaterbodem) nitraat worden omgezet in stikstof gas. Het nitraat in deze reactie is veelal afkomstig van nitrificatieprocessen in het aerobe deel van de onderwaterbodem; het nitraat dat hierbij ontstaat, diffundeert relatief snel naar het anaerobe deel van de bodem. De hoeveelheden stikstof die bij de dan volgende denitrificatie kunnen vrijkomen, bedragen tot meer dan 30 g N/m<sup>2</sup> per jaar (300 kg/ha.j); dit is van een vergelijkbare grootte orde als de opname door vegetatie. Het proces is actiever wanneer sprake is van afwisselend natte en droge condities zodat voortdurend nalevering van NO<sub>3</sub> kan plaatsvinden (Van der Aart e.a. 1986), maar ook doorworteling van de bodem versnelt het proces. Nitrificatie treedt vooral op nabij en in de wortelstelsels van moerasvegetatie, waar het door de wortelkanalen aangevoerde zuurstof in de moerasbodem diffundeert.

Stikstof wordt in grote hoeveelheden in de voedselketen opgenomen en in plantaardig materiaal vastgelegd; het vormt o.m. een belangrijk bestanddeel van eiwitten. De bovengrondse opname van hogere planten bedraagt tussen de 130 (Carex) en 300 kg N/ha.j (Phragmites) (Duel 1986) (zie tabel 4.1.). Deze opname vindt vooral plaats aan het begin van het groeiseizoen. Evenals dat bij P het geval is neemt de opname van N toe bij toenemende belasting maar neemt de verwijderingsefficiëntie hierbij af, hetgeen gepaard gaat met een verandering van de soortensamenstelling (Verhoeven 1985).

Tot 10 % van de N-opname wordt vastgelegd in de vorm van hout of blijft continue circuleren tussen onder- en bovengrondse delen. De seizoensmatige translocatie kan zeer aanzienlijk zijn. Bij veenvorming kan uiteindelijk 0,1 tot 4,7 g N/m<sup>2</sup>.jr (1 tot 47 kg/ha.j) (Nichols 1983) worden vastgelegd. De hoeveelheden stikstof aanwezig in hogere trofieniveaus (zoals b.v. vissen) zijn gering.

#### d. voedselketens

Aan de basis van de aquatische gemeenschap staat het plantaardig leven (fytoplanktonen hogere waterplanten); de pijlers worden evenwel gevormd door de ongewervelde dieren die een grote rol spelen in zowel het voedselpakket van vissen en vogels alsook in de decompositie van organisch materiaal.

In vele eutrofe meren in Nederland is de algensoort *Oscillatoria agardhii* dominant; deze soort doet het met name goed in ondiepe meren (minder dan 2,5 meter diep) met water met een relatief lange verblijftijd (meer dan 2 mnd), een slibgehalte kleiner dan 30 mg/l en een P-belasting van meer dan 0,5 a 1,0 g P/m<sup>2</sup>.j (Berger 1982).

De algenbiomassa verandert in het algemeen sterk gedurende het seizoen en daarmee ook het fosfaatgehalte en het doorzicht van het water. Vooral in het begin en aan het eind van de zomer kan algenbloei optreden. De eerste piek is het gevolg van temperatuurstijging en toenemende lichtinval en de beschikbaarheid van orthofosfaat, de tweede van een weer vrij komen van orthofosfaat door de afbraak van organisch materiaal (Ringelberg 1975). In vele eutrofe meren is de algendynamiek sterk verminderd door het optreden van een vrijwel permanente bloei van blauwalgen. In deze meren is de opbouw van de voedselketen (algen-zoöplankton-vis-vogels) veelal verstoord (zie ook 3.3.4.) De opname van nutriënten door macrofyten gebeurt vrijwel uitsluitend in het groeiseizoen en is van tijdelijke aard. Het blijkt dat biez en rietvegetaties tot 9 à 26 kg P/ha.j en 130-300 kg N/ha.j in de bovengrondse maaibare delen kunnen opnemen (zie Ducl 1986, zie tabel 4.1.). De vastlegging in hout en door veenvorming is slechts gering.

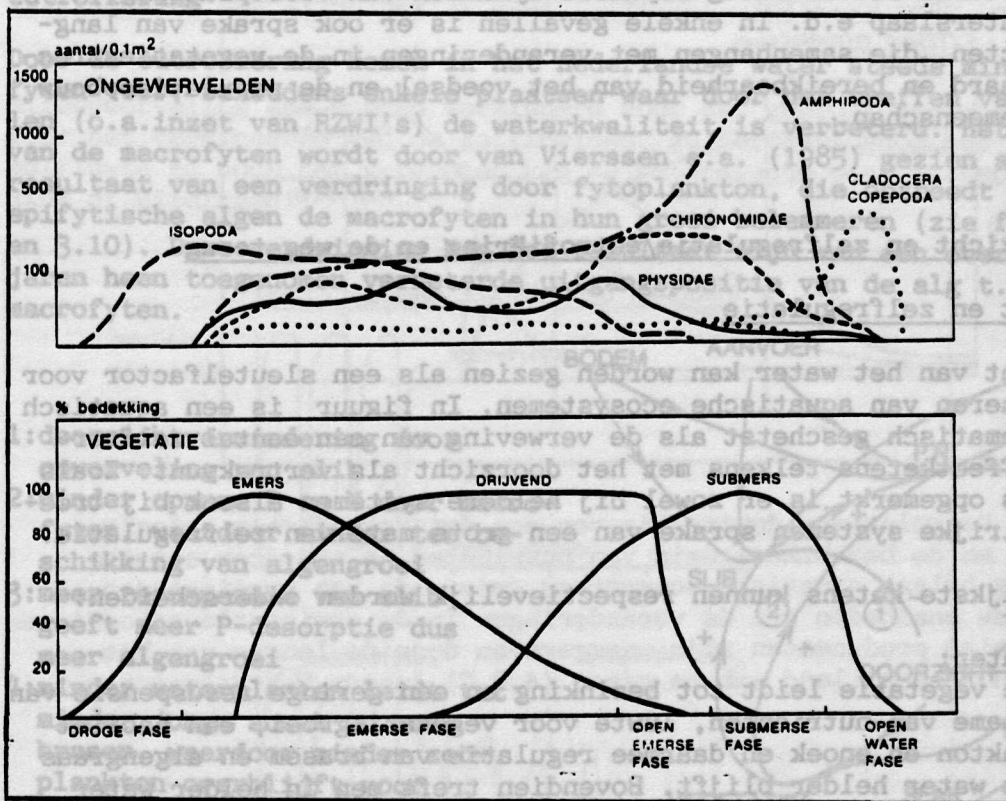
Belangrijke ongewervelden zijn o.a. muggelarven, aasgarnalen, tubifex, slakjes, zoöplankton en zwane- en driehoeksmosselen. Hun diversiteit en aanwezigheid blijkt vooral samen te hangen met de aanwezigheid van submerse en drijvende vegetatie (zie figuur 3.6) en het slibgehalte van de bodem.

Ongewervelden komen duidelijk meer voor in riet dan in opstanden van lisdodde en biez en (Zinevici 1971) en meer in de vegetatiezones dan in open water. Enkele onder hen behoren echter tot de schadelijke insecten zoals de rietstengelboorder en de wortelboorder die het vooral op riet hebben voorzien. Het gevolg van hun activiteit is een vertraagde groei of zelfs volledig afsterven. Beide vormen niet alleen een probleem in het beheer van veel kunstmatige zuiveringsmoerassen maar ook in natuurlijke moerassen kunnen zij een plaag zijn vooral als er te weinig vernieuwing van het riet plaatsvindt.

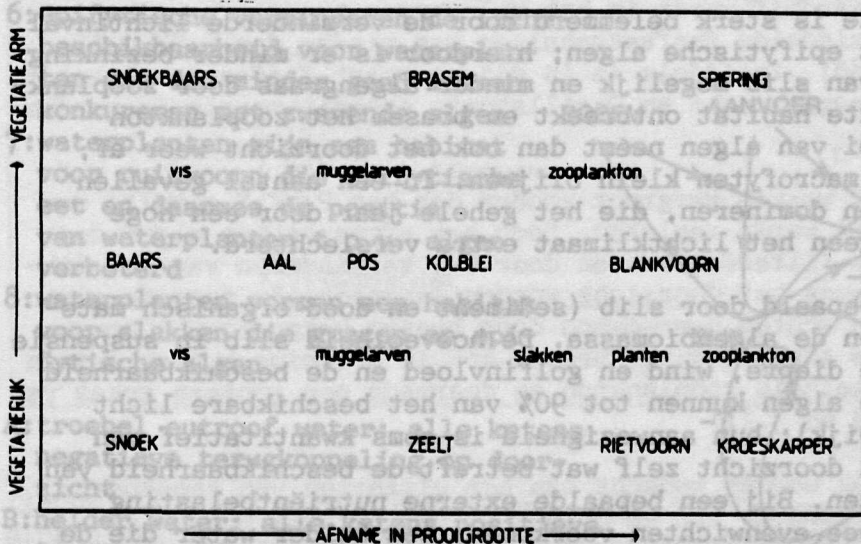
De in eutroof water voorkomende vissoorten zijn m.n. snoekbaars, spiering, paling en brasem; de twee laatste voeden zich vooral met muggelarven en zijn voedselconcurrenten (Lammens 1986). De dominante soorten van het minder eutrofe, heldere water zijn de snoek, kolblei en blankvoorn (zie figuur 3.7). De snoekbaars is succesvoller in troebel water dan de snoek die als zichtjager aangewezen is op helder water met waterplanten als dekking. Er blijkt een duidelijk verband te bestaan tussen de opbouw van de snoekpopulatie en de aanwezigheid van vegetatie (Grimm 1983). De brasem is succesvoller dan bijvoorbeeld kolblei omdat hij efficiënter muggelarven, het meest voorkomende voedsel in eutroof water, weet op te



nemen.



Figuur 3.6. Relatie vegetatietype en evertetendichtheid (naar: Voights 1976)



Figuur 3.7. Indeling van vissoorten in afhankelijkheid van hun voorkeur voor vegetatie. Boven de vegetatiemijdende soorten, onder de vegetatieminnende soorten en midden een groep van soorten die zowel in vegetatie als in open water kan leven (naar Lammens 1986).

Figuur 3.8. Zelfversterkende mechanismen in troebel voedsrijk water (sit:A) en helder voedsrijk water (sit: B).

De aquafauna en avifauna van moerasgebieden volgt de dynamiek van het voedselaanbod en dus die van de seizoenen. Ook de aquatische organismen kennen een sterke seizoenmatig bepaalde dynamiek van voortplanting, broeden, winterslaap e.d. In enkele gevallen is er ook sprake van langjarige effecten, die samenhangen met veranderingen in de vegetatiestructuur en de aard en bereikbaarheid van het voedsel en de populatieopbouw van de visgemeenschap.

### 3.3.4. doorzicht en zelfregulatie/eutrofiëring en de weg terug

#### a. doorzicht en zelfregulatie

Het doorzicht van het water kan worden gezien als een sleutelfactor voor het functioneren van aquatische ecosystemen. In figuur is een aquatisch systeem schematisch geschetst als de verweving van een aantal zelfversterkende effectketens telkens met het doorzicht als vertrekpunt. Zoals al eerder is opgemerkt is er zowel bij heldere systemen alsook bij troebele voedselrijke systemen sprake van een grote mate van zelfregulatie.

Als belangrijkste ketens kunnen respectievelijk worden onderscheiden:

##### in helder water:

de groei van vegetatie leidt tot bezinking en een geringe resuspensie van slib, de opname van nutriënten, luwte voor vegetatiegroei, een habitat voor zoöplankton en snoek en daarmee regulatie van brasem en algengraas waardoor het water helder blijft. Bovendien treft men in helder water slakken aan en meer ruisvoorn die beide epifytische algen eten en zo de groeimogelijkheden voor waterplanten vergroten.

##### in troebel water:

de groei van vegetatie is sterk belemmerd door de verminderde lichtinval en de concurrentie met epifytische algen; hierdoor is er minder bezinking en meer resuspensie van slib mogelijk en minder algengraas door zoöplankton omdat een geschikte habitat ontbreekt en brasem het zoöplankton afgraast; met de groei van algen neemt dan ook het doorzicht weer af, zodat de kansen voor macrofyten klein blijven. In een aantal gevallen gaan blauwalgensoorten domineren, die het gehele jaar door een hoge biomassa houden, hetgeen het lichtklimaat extra verslechterd.

Het doorzicht wordt bepaald door slib (sediment en dood organisch materiaal) in suspensie en de algenbiomassa. De hoeveelheid slib in suspensie wordt bepaald door de diepte, wind en golfinvloed en de beschikbaarheid van slib. Epifytische algen kunnen tot 90% van het beschikbare licht wegnemen (m.n.G. van Dijk); hun aanwezigheid is soms kwantitatief van groter belang dan het doorzicht zelf wat betreft de beschikbaarheid van licht voor waterplanten. Bij een bepaalde externe nutriëntbelasting kunnen in principe twee evenwichten voorkomen, een helder water die de belasting weet te bufferen en een troebel water met overmatige algengroei.

## b. eutrofiëring en de weg terug

### eutrofiëring

Door de eutrofiëring komen in het nederlandse water steeds minder macrofyten voor, behoudens enkele plaatsen waar door het treffen van maatregelen (o.a. inzet van RZWI's) de waterkwaliteit is verbeterd. Het verdwijnen van de macrofyten wordt door van Vierssen e.a. (1985) gezien als het resultaat van een verdringing door fytoplankton, die optreedt zodra de epifytische algen de macrofyten in hun groei belemmeren (zie figuur 3.9 en 3.10). Deze verdringing kan het resultaat zijn van een over een aantal jaren heen toegenomen verbeterde uitgangspositie van de alg t.o.v. van de macrofyten.

1: doorzichtvermindering door opwerveling van slib

2: minder opname P en N door macrofyten, waardoor minder ter beschikking van algengroei

3: meer resuspensie van slib geeft meer P-desorptie dus meer algengroei

4: minder waterplanten leidt tot minder jonge snoek en meer brasem, waardoor minder zoöplankton overblijft voor het grazen van algen

5: waterplanten vormen op zich een habitat voor het algengrazend zoöplankton

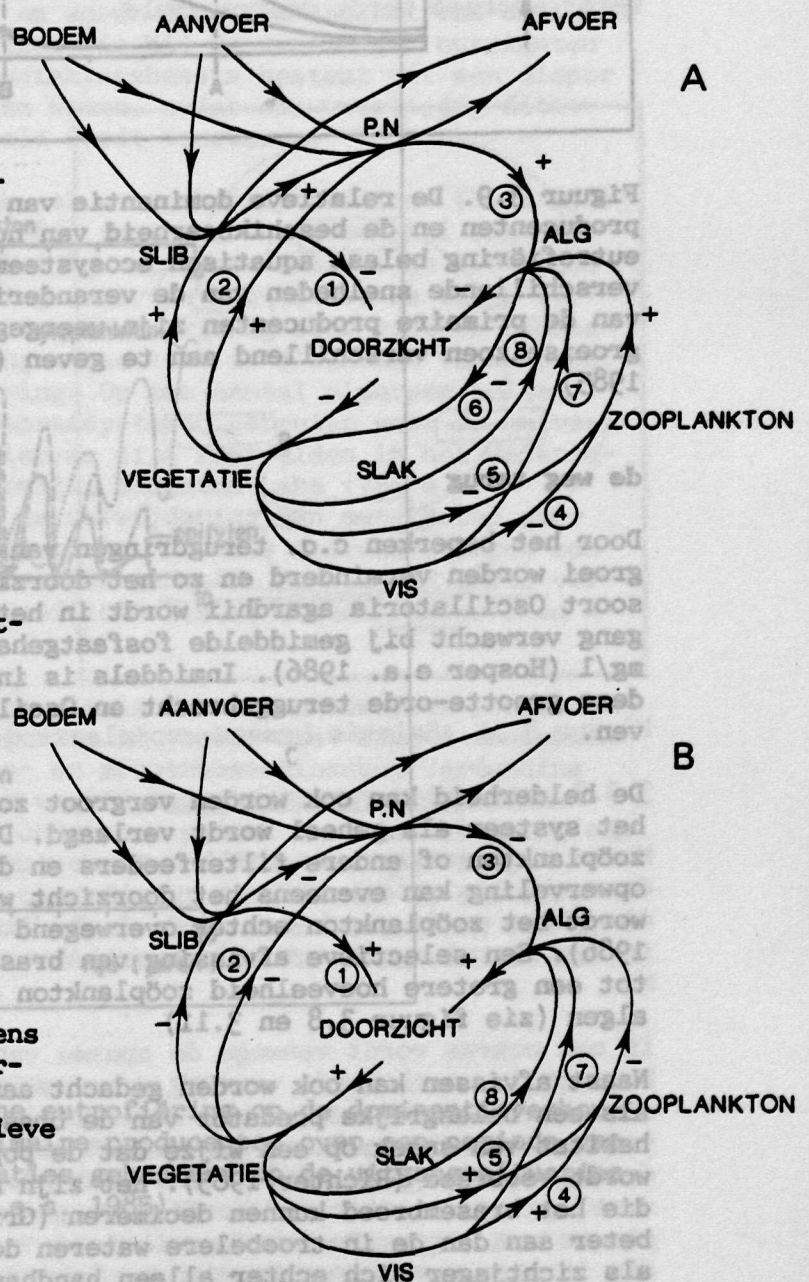
6: epifytische verminderen de lichtbeschikbaarheid voor waterplanten die dan minder goed kunnen concurreren met zwevende algen

7: waterplanten zijn een habitat voor ruisvoorn die epifytische eet en daarmee de positie van waterplanten t.o.v. algen verbeterd

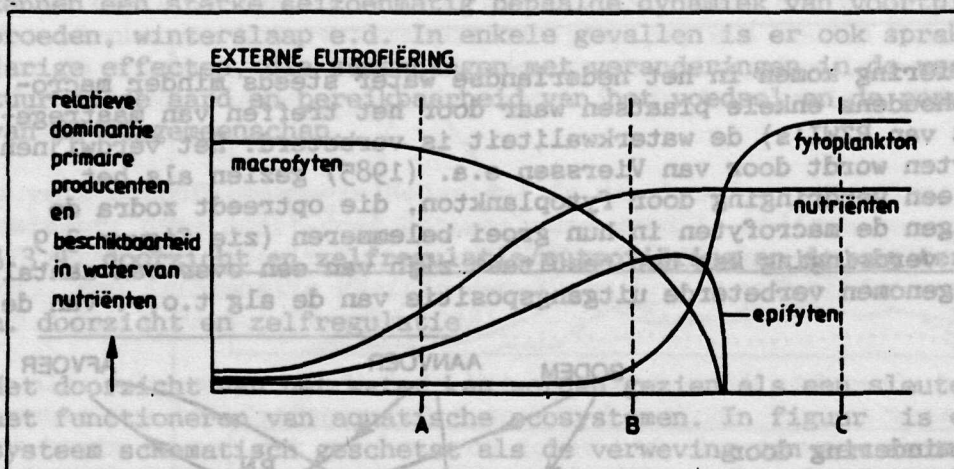
8: waterplanten vormen een habitat voor slakken die grazen op epifytische algen

A: troebel eutroof water: alle ketens negatieve terugkoppeling op doorzicht

B: helder water: alle ketens positieve terugkoppeling op doorzicht



Figuur 3.8. Zelfversterkende mechanismen in troebel voedselrijk water (sit:A) en helder matig voedselrijk water (sit: B).



Figuur 3.9. De relatieve dominantie van een drietal soorten primaire producenten en de beschikbaarheid van nutriënten in een door externe eutrofiëring belast aquatisch ecosysteem gedurende het groeiseizoen. De verschillende snelheden van de veranderingen in de dominantieverhoudingen van de primaire producenten zijn weergegeven door de lengte van het groeiseizoen verschillend aan te geven (A,B,C) (naar: Van Vierssen e.a. 1985)

#### de weg terug

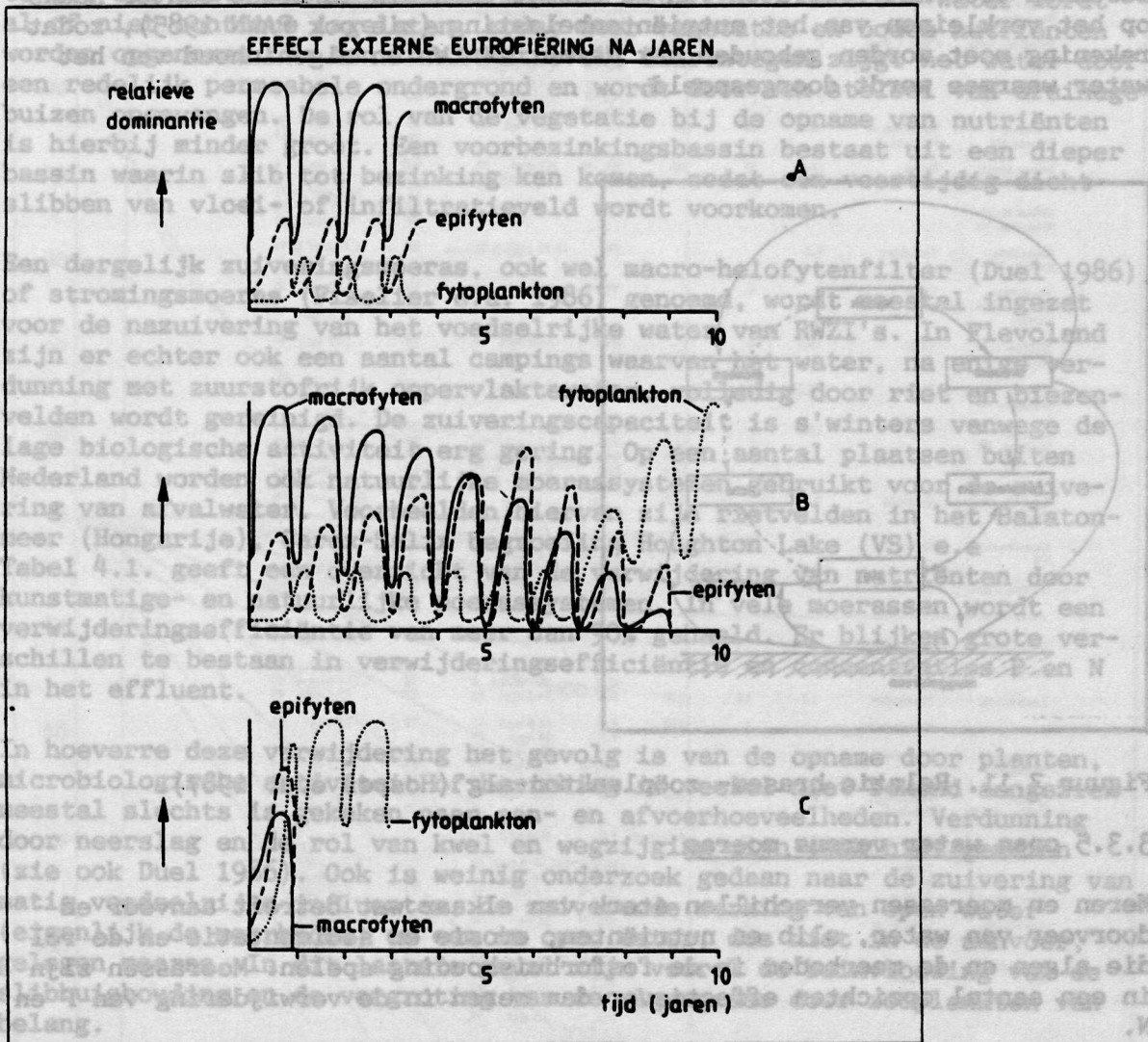
Door het beperken c.q. terugdringen van het N- en P-gehalte kan de algengroei worden verminderd en zo het doorzicht vergroot. Voor de blauwalgensoort *Oscillatoria agardhii* wordt in het Veluwemeer een sterke achteruitgang verwacht bij gemiddelde fosfaatgehalten van minder dan 0,08-0,12 mg/l (Hosper e.a. 1986). Inmiddels is in dit meer het fosfaatgehalte tot deze grootte-orde teruggebracht en *Oscillatoria agardhii* voorlopig verdreven.

De helderheid kan ook worden vergroot zonder dat het P of N gehalte van het systeem als geheel wordt verlaagd. Door het afgrazen van algen door zoöplankton of andere filterfeeders en door het verminderen van de slibopwerveling kan eveneens het doorzicht worden vergroot. In eutrofe meren wordt het zoöplankton echter overwegend door brasem weggegeten (Lammens 1986). Een selectieve afvissing van brasem zou in principe kunnen leiden tot een grotere hoeveelheid zoöplankton en daarmee een grotere graas van algen (zie figuur 3.8 en 3.11)

Naast afvissen kan ook worden gedacht aan het uitzetten van snoekbaars als een belangrijke predator van de brasem en het verbeteren van de habitat van snoek op een wijze dat de populatiepyramide van de snoek wordt verbreed (Richter 1985). Het zijn namelijk vooral de jonge snoekjes die het brasembroed kunnen decimeren (Grimm 1984). Deze vis kan de brasem beter aan dan de in troebelere wateren dominante snoekbaars. Snoek kan als zichtjager zich echter alleen handhaven als het water voldoende helder is en als er voldoende vegetatie aanwezig is waarin en waarachter hij zich kan verschuilen en waarin ook het snoekkroost veilig voor de

grotere snoeken kan opgroeien (zie ook Raat 1987). Snoek kan daarom pas effectief worden uitgezet als de habitat al is verbeterd. Naar verwachting wordt een optimaal regulerende snoekstand verkregen bij een vegetatiebedekking van ca 20-25% en veel randlengte (Richter 1985, Grimm 1983).

Slibopwerveling kan worden verminderd door het gebruik van windsingels, voor het verminderen van de golfinvloed, golfbrekers voor het geven van golfluwte en door het vergroten van de waterdiepte door waterpeilverhoging of uitdiepen.

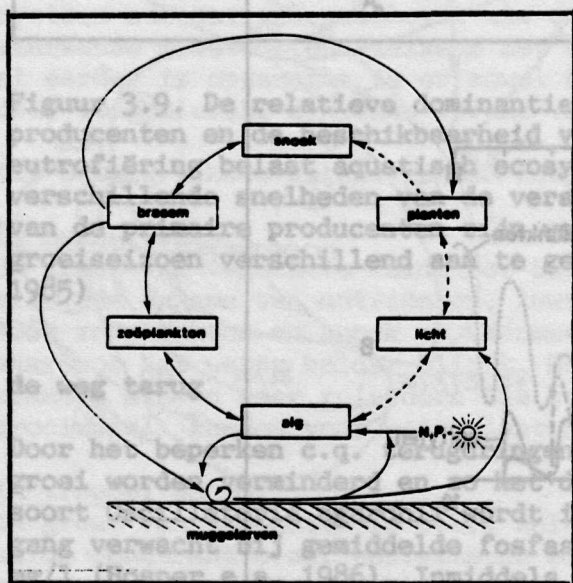


figuur 3.10. Het effect van externe eutrofiëring op de dominantieverhoudingen van een drietal soorten primaire producenten over een periode van enkele jaren. A, B en C zijn situaties gebaseerd op de uitgangssituaties in figuur 3.9 (naar: van Vierssen e.a. 1985).

In hoeverre de relatie meer snoek-minder brasem-meer zoöplankton-minder alg-groter doorzicht (3.11) werkelijk optreedt hangt mede af van andere

zoöplankton etende soorten zoals Spiering en Kolblei (Lammens 1986). Minder brasem leidt tevens tot een vermindering van de door zijn voedsgedrag (als stofzuiger) veroorzaakte troebeling van het water. Het vergroten van de algengraas heeft dus geen directe vermindering van de interne nutriëntenbelasting tot gevolg maar vergroot wel het doorzicht en daarmee de kansen voor macrofyten.

Het is gebleken dat algenbloei van de soort *Oscillatoria aghardii* minder vlug optreedt bij gemiddeld kortere verblijftijden van water (korter dan 2,5 maanden; zie o.a. Berger 1982). Het verkleinen van de verblijftijd te bereiken door het vergroten van de doorstromingsnelheid staat echter haaks op het verkleinen van de nutriëntenbelasting (zie ook PAWN 1985), zodat rekening moet worden gehouden met de nutriënten en algeninhoud van het water waarmee wordt doorgespoeld.



Figuur 3.11. Relatie brasem- zoöplankton-alg (Hosper e.a. 1987).

### 3.3.5 open water versus moeras

Meren en moerassen verschillen sterk van elkaar wat betreft aanvoer en doorvoer van water, slib en nutriënten, erosie en sedimentatie en de rol die algen en de meerbodem in de fosforhuishouding spelen. Moerassen zijn in een aantal opzichten effectiever dan meren in de verwijdering van P en N.

In een moeras wordt vanwege de opname van P door de vegetatie en een door worteling verbeterde vorming van moeilijk oplosbare P-verbindingen, alsook een sterk verminderde desorptie van P door het vrijwel ontbreken van resuspensie, aanzienlijk meer P vastgelegd dan in open water. Ook de denitrificatie is in een moeras veel groter dan in open water, terwijl de vastlegging van stikstof hoofdzakelijk geschiedt door macrofyten in plaats van algen. De resuspensie is in begroeide moerassen veel kleiner dan in open water waar de wind en golven vrij spel hebben. Bovendien kan men in moeras beduidend meer algengraas door zoöplankton verwachten, vanwege een betere habitat en minder brasem.

#### 4. WATERZUIVERING DOOR MOERASSEN

##### 4.1. waterzuivering door natuurlijke en kunstmatige moerassen

Het gebruik van kunstmatig aangelegde moerassen voor waterzuivering is al een twintigtal jaren in zwang en in Nederland vooral in de Flevopolders tot ontwikkeling gekomen (zie o.a. Greiner en de Jong 1984, Greiner en Butijn 1985). Wat vorm en werking betreft kan men onderscheid maken tussen vloeivelden en infiltratievelden, vaak voorafgegaan door een voorbezinkingsbassin. Vloeivelden zijn ondiepe bassins met een waterdiepte tot een halve meter, meestal beplant met riet of biezen. Water wordt al of niet continue ingelaten, zodat door vegetatie en bodem nutriënten worden opgenomen. In een infiltratieveld daarentegen zijt het water door een redelijk permeabele ondergrond en wordt door een stelsel van drainage buizen opgevangen. De rol van de vegetatie bij de opname van nutriënten is hierbij minder groot. Een voorbezinkingsbassin bestaat uit een dieper bassin waarin slib tot bezinking kan komen, zodat een voortijdig dicht-slibben van vloeiveld of infiltratieveld wordt voorkomen.

Een dergelijk zuiveringsmoeras, ook wel macro-helofytenfilter (Duel 1986) of stromingsmoeras (Fiselier e.a. 1986) genoemd, wordt meestal ingezet voor de nazuivering van het voedselrijke water van RWZI's. In Flevoland zijn er echter ook een aantal campings waarvan het water, na enige verdunning met zuurstofrijk oppervlaktewater, volledig door riet en biezenvelden wordt gereinigd. De zuiveringscapaciteit is s'winters vanwege de lage biologische activiteit erg gering. Op een aantal plaatsen buiten Nederland worden ook natuurlijke moerassystemen gebruikt voor de zuivering van afvalwater. Voorbeelden hiervan zijn rietvelden in het Balatonmeer (Hongarije), Carex-Salix begroeiing Houghton Lake (VS) e.a. Tabel 4.1. geeft een overzicht van de verwijdering van nutriënten door kunstmatige- en natuurlijke moerassystemen. In vele moerassen wordt een verwijderingsefficiëntie van meer dan 90% gehaald. Er blijken grote verschillen te bestaan in verwijderingsefficiëntie en concentraties P en N in het effluent.

In hoeverre deze verwijdering het gevolg is van de opname door planten, microbiologische activiteit of bezinking is veelal niet bekend aangezien meestal slechts is gekeken naar aan- en afvoerhoeveelheden. Verdunning door neerslag en de rol van kwel en wegzijging zijn vaak niet gemeten (zie ook Duel 1986). Ook is weinig onderzoek gedaan naar de zuivering van matig voedselrijke influenten, de zuiverende werking van open water (eigenlijk de meerbodem) en een in open water, dus niet in de aanvoer, gelegen moeras. In dit laatste geval zijn vooral de beïnvloeding van de slibhuishouding en de vergroting van de algengraas door zoöplankton van belang.

Belangrijk voor de zuiveringsefficiëntie blijken de opname door vegetatie, de bacteriële omzetting (nitrificatie en denitrificatie), adsorptie van fosfor aan bodemdeeltjes en minder de vorming van moeilijk oplosbare verbindingen. De bezinking speelt een grote zometer doorslaggevende rol. De tabel laat zien dat de verwijderingsefficiëntie van natuurlijke moerassystemen over het algemeen groter is dan van de kunstmatige. Duel en Saris (1987) concluderen dat het matig functioneren van kunstmatige moerassystemen vergeleken met natuurlijke systemen te wijten is aan te hoge doorstromsnelheden en piekbelastingen, een te lage C/N-ratio waar-

door de bacteriële nitrificatie wordt geremd en een te slechte aëratie van de moerasbodem, waardoor de nitrificatie en de vorming van slecht-oplosbare P-verbindingen wordt bemoeilijkt.

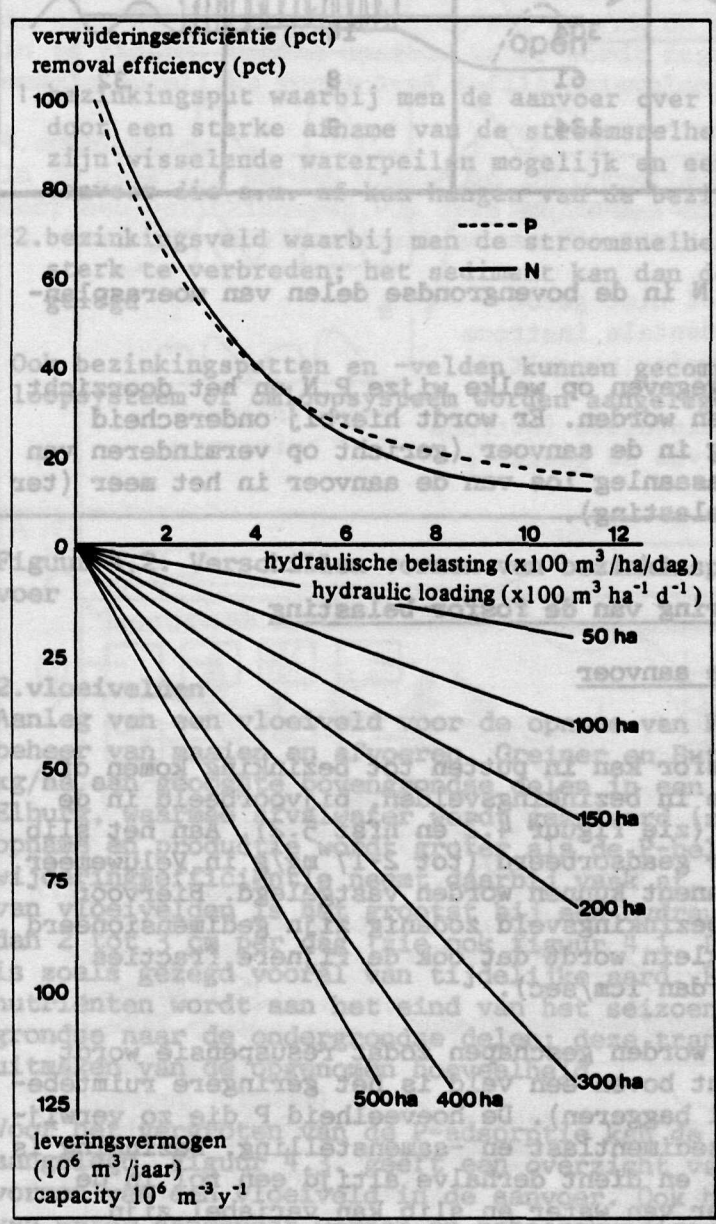
Lokatie	Dominante soort	Moeras opper. (ha)	Aantal jaren	hydraulische belasting (m <sup>3</sup> /ha/d)	N-bron**	N-input	Reduktie (pct)	P-bron**	P-input	Reduktie (pct)
Location	Type of wetland	Size of wetland	Years wetwater applied	Hydraulic load (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	N-source	N-input	N-removal (pct)	P-source	P-input	P-removal (pct)
Balaton-meer, Hongarije	Phragmites				DIN TN	31,2 mg/l 45,4 mg/l	98 98	DIP TP	4,00 mg/l 6,23 mg/l	98 98
Houghton Lake, Michigan, VS	Carex + Salix	1	1	114	NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	0,08 mg/l 0,36 mg/l 0,3 g/m <sup>3</sup> /jr 1,6 g/m <sup>3</sup> /jr	63 99 77 99	DIP DIP	0,41 mg/l 1,7 g/m <sup>3</sup> /jr	73 95
		2	1		NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	0,11 mg/l 1,50 mg/l	73 93	DIP	5,17 mg/l	95
Wilwood, Florida, VS	Taxodium + Fraxinus	204	20	2,8	TN	1,61 mg/l	89	TP	6,4 mg/l	98
Brillon Marsh, Wisconsin, VS	Typha	156	55	106	NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	0,1 mg/l 1,17 mg/l	90 51	DIP TP	3,13 mg/l 3,43 mg/l	6 13
Brillon Marsh, Wisconsin, VS		156	55					TP	15,2 g/m <sup>3</sup> /jr 3,75 mg/l	32 68
Brillon Marsh, Wisconsin, VS								TP	4,28 mg/l	67
Gainesville, Florida, VS	Taxodium	4,2			TN	14,92 g/m <sup>3</sup> /jr	95	TP	11,39 g/m <sup>3</sup> /jr	94
Northwest Territory Can. Canada	Carex		5		NH <sub>4</sub> -N	10,3 mg/l	96	DIP	9,95 mg/l	97
								TP	11,0 mg/l	97
Bellaire, Michigan, VS	Thuja	18,2	2		DIN	4,95 mg/l	91	TP	3,48 mg/l	97
Bellaire, Michigan, VS	Thuja	18,2	5		DIN	7,67 mg/l	91	DIP	2,87 mg/l	93
Bellaire, Michigan, VS	Thuja	18,2	1	10,0	DIN	1,5 g/m <sup>3</sup> /jr	75	TP	0,9 g/m <sup>3</sup> /jr	91
			2	20,3	DIN	6,5 g/m <sup>3</sup> /jr	80	TP	2,6 g/m <sup>3</sup> /jr	88
			3	17,9	DIN	9,3 g/m <sup>3</sup> /jr	80	TP	1,7 g/m <sup>3</sup> /jr	72
			4	15,3	DIN	6,2 g/m <sup>3</sup> /jr	77	TP	1,9 g/m <sup>3</sup> /jr	64
			5	15,7	DIN	9,3 g/m <sup>3</sup> /jr	75	TP	1,7 g/m <sup>3</sup> /jr	65
Lake Hiawatha, Florida	Sagittaria	0,2		54,3				TP	38,04 g/m <sup>3</sup> /jr	98
Massachusetts, VS	Typha	19,4	69	171	NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N TN	8,8 mg/l 1,4 mg/l 53,6 g/m <sup>3</sup> /jr	97 57 31	DIP TP	2,2 mg/l 7,1 g/m <sup>3</sup> /jr	68 47
Ontario, Can.	Glyceria	20	55	512	TN	404 g/m <sup>3</sup> /jr	38	TP	77 g/m <sup>3</sup> /jr	24
Oost Flevoland	Phragmites + Scirpus		3	70-200	K-N	100,4 g/m <sup>3</sup> /jr	87	TP	16,7 g/m <sup>3</sup> /jr	80
Elburg	Phragmites	14		750	NH <sub>4</sub> -N K-N	377 kg/dag 405 kg/dag	4 6	DIP TP	26 kg/dag 33,1 kg/dag	37 43
Lauwersoog	Phragmites	1,3	10	140	K-N	84,0 mg/l	88	TP	15,7 mg/l	69
Almere	Phragmites	1,6	5	630	K-N T-N	55,0 mg/l 56 mg/l	51 47	TP	16 mg/l	63
Ottresum, Duitsland	Phragmites	0,34	4		T-N	96,1 mg/l	90	TP	16,3 mg/l	98
			6		NH <sub>4</sub> -N T-N	69,5 mg/l 83,7 mg/l	93 79	DIP TP	15,2 mg/l 24,1 mg/l	99 99
Santee, Californië, VS	Phragmites, Typha, Scirpus	0,01	1	840	T-N	18,0 mg/l	25	DIP	8,27 mg/l	5
								TP	8,66 mg/l	7
Santee, Californië, VS	Phragmites, Typha, Scirpus	0,01	1	800-2000	T-N	19,0 mg/l	9-19			
					K-N	10,2-44,0 mg/l	70	TP	3,9-39,0 mg/l	80
					K-N	10,3-44,0 mg/l	90	TP	3,9-39,0 mg/l	90
Wisconsin, VS	Scirpus				NH <sub>4</sub> -N	1,5 mg/l		TP	22,6 mg/l	5
					TON	0,7 mg/l				
Cincinnati, VS	Phragmites + Scirpus		1		NH <sub>4</sub> -N	12 mg/l	50	TP	11,5 mg/l	13
Cincinnati, VS	Phragmites + Scirpus		1		NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N TON	25 mg/l 0,1 mg/l 13 mg/l	33 - 72	TP	13 mg/l	9
					NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N	8,4 mg/l 5,5 mg/l	58 53	DIP	4,8 mg/l	73

\*1 DIN Totaal opgelost anorganisch N  
 N-N Kjeldahl-N  
 TON Totaal organisch-N  
 T-N Totaal N  
 DIN Dissolved inorganic N  
 K-N Kjeldahl-N  
 TON Total organic N  
 T-N Total N  
 \*1 DIP Totaal opgelost anorganisch P  
 TP Totaal P  
 DIP Dissolved inorganic P  
 TP Total P

Tabel 4.1. Verwijdering van nutriënten N en P door verschillende kunstmatige (onder) en natuurlijke (boven) moerasystemen (uit Ducl en Saris 1987).



In figuur 4.1. is de verwijderingsefficiëntie van moerassen in relatie tot de hydraulische belasting gegeven. De figuur geeft slechts een indicatie van dit verband, waarbij geen rekening is gehouden met verminderde biologische activiteit in de winter en sterke wisselingen in belasting. Toch zal het hier geschetste verband een eerste leidraad zijn voor het bepalen van het benodigd oppervlak aan reinigend moerasgebied (zie hoofdstuk 9.5)



Figuur 4.1. Verwijderingsefficiëntie en het leveringsvermogen van het helofytenfiltersysteem bij een variabele hydraulische belasting (naar Duel 1986)

Vegetatietype Moeras	Bovengrondse Produktie in g/m <sup>2</sup> /jr	Bovengrondse opname in kg/ha		
		N	P	S
Typha	1230 ± 435	160	26	20
Phragmites	1170 ± 335	304	16	
Scirpus	505 ± 335	61	8	32
Carex	785 ± 300	134	9	

Tabel 4.2. De opname van P en N in de bovengrondse delen van moerasplanten (naar Duel 1986).

In het onderstaande wordt aangegeven op welke wijze P,N en het doorzicht door moerassen beïnvloed kunnen worden. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen de moerasaanleg in de aanvoer (gericht op verminderen van de externe belasting) en moerasaanleg los van de aanvoer in het meer (ter vermindering van de interne belasting).

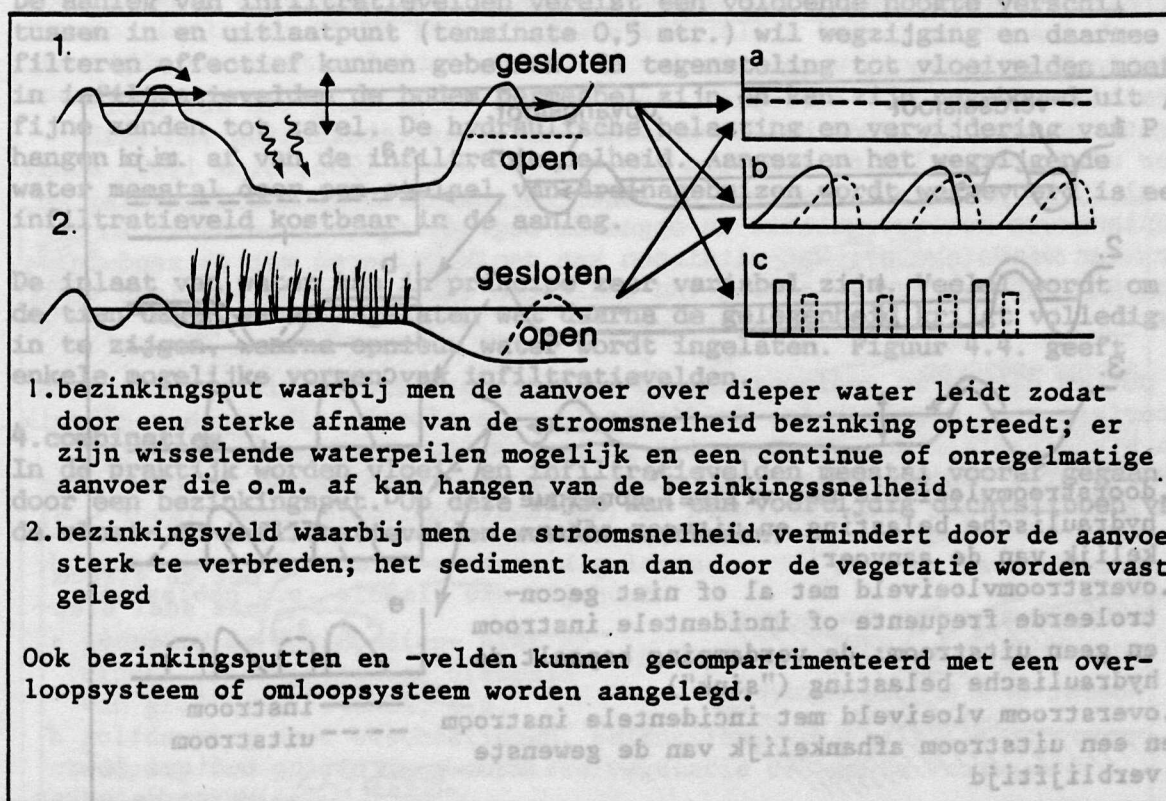
#### 4.2. Maatregelen ter vermindering van de fosfor-belasting

##### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

##### 1. bezinkingsvelden en -putten

Het aan slib geabsorbeerde fosfor kan in putten tot bezinking komen of worden ingevangen in vegetatie in bezinkingsvelden, bijvoorbeeld in de monding van rivieren en beken (zie figuur 4.2 en hfst 5.2). Aan het slib zijn grote hoeveelheden fosfor geabsorbeerd (tot 2-17 mg/g in Veluwemeer slib), die op deze wijze permanent kunnen worden vastgelegd. Hiervoor moet de bezinkingsput of het bezinkingsveld zodanig zijn gedimensioneerd dat de doorstroomsnelheid zo klein wordt dat ook de fijnere fracties kunnen bezinken (b.v. kleiner dan 1cm/sec).

Tevens moet luwte van de wind worden geschapen zodat resuspensie wordt voorkomen. Voordeel van een put boven een veld is het geringere ruimtebeslag en onderhoud (incidenteel baggeren). De hoeveelheid P die zo verwijderd kan worden hangt af van sedimentlast en -samenstelling. Bezinking is 's zomers en 's winters actief en dient derhalve altijd een rol in de zuivering te spelen. De aanvoer van water en slib kan variabel zijn afhankelijk van seizoensmatige schommelingen of beheerskundige eisen (bezinkingsnelheid e.d.).

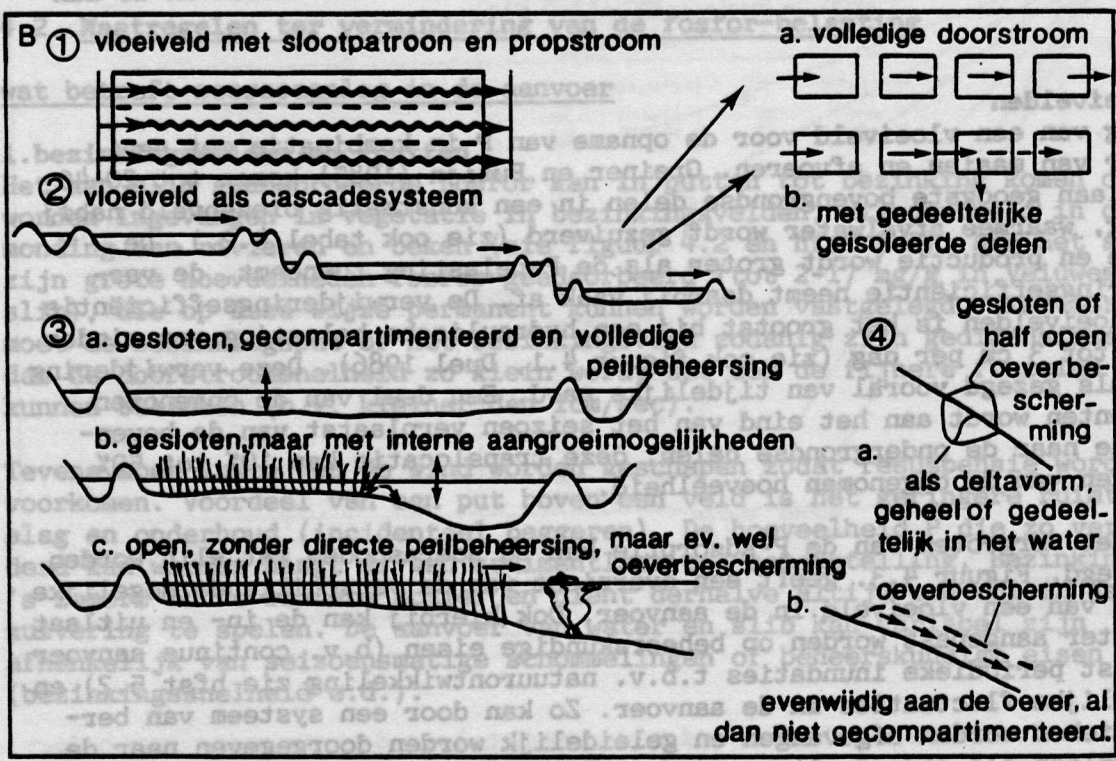
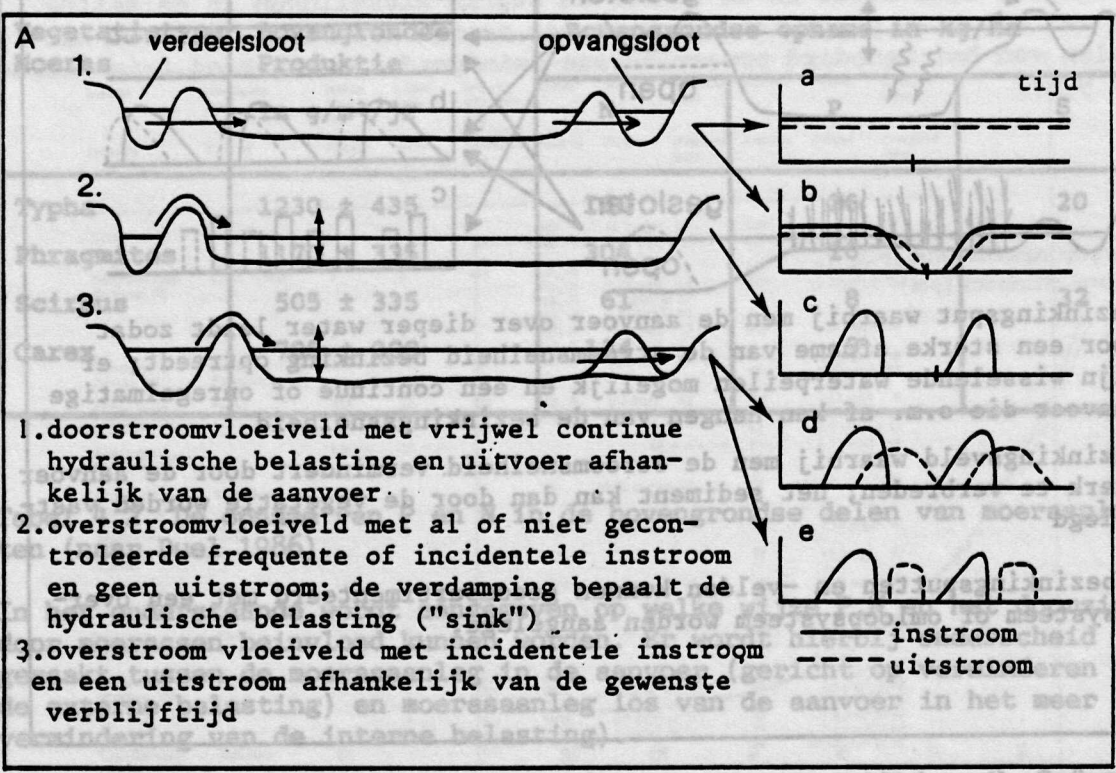


Figuur 4.2. Verschillen vormen van bezinkingsputten en -velden in de aanvoer

## 2. vloeivelden

Aanleg van een vloeiveld voor de opname van P in combinatie met een beheer van maaien en afvoeren. Greiner en Butijn (1985) komen tot 20-40 kg/ha aan geogoste bovengrondse delen in een kunstmatig biezenveld nabij Elburg, waarmee afvalwater wordt gezuiverd (zie ook tabel 4.2.). De opname en productie wordt groter als de P-belasting toeneemt, de verwijderingsefficiëntie neemt daarbij vaak af. De verwijderingsefficiëntie van vloeivelden is het grootst bij een hydraulische belasting van minder dan 2 tot 3 cm per dag (zie ook figuur 4.1, Duel 1986). Deze verwijdering is zoals gezegd vooral van tijdelijke aard. Een deel van de opgenomen nutriënten wordt aan het eind van het seizoen verplaatst van de bovengrondse naar de ondergrondse delen; deze translocatie kan 10% tot 50% uitmaken van de opgenomen hoeveelheid.

Voor het vergroten van de P-adsorptie kan de moerasbodem met slib worden aangelegd. Figuur 4.3. geeft een overzicht van de verschillende mogelijke vormen van een vloeiveld in de aanvoer. Ook hierbij kan de in- en uitlaat van water aangepast worden op beheerskundige eisen (b.v. continue aanvoer of juist periodieke inundaties t.b.v. natuurontwikkeling zie hfst 5.2) en natuurlijke fluctuaties in de aanvoer. Zo kan door een systeem van berging pieken worden afgevangen en geleidelijk worden doorgegeven naar de vloeivelden als onderdeel van een overloopsysteem, waarbij afhankelijk van de aanvoer verschillende vloeivelden in werking treden (zie ook figuur 9.1)



Figuur 4.3. Verschillende vormen van vloeivelden en waterbeheer in de aanvoer.

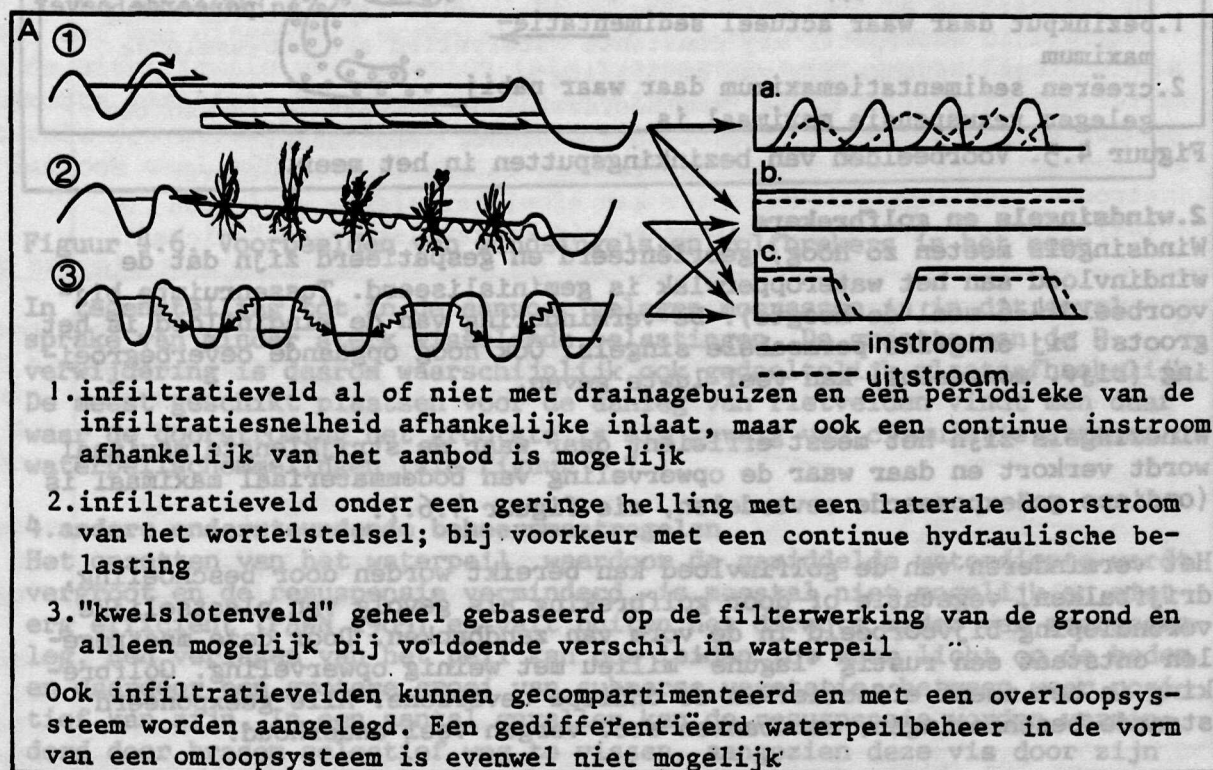
### 3. infiltratievelden

De aanleg van infiltratievelden vereist een voldoende hoogte verschil tussen in en uitlaatpunt (tenminste 0,5 mtr.) wil wegzijging en daarmee filteren effectief kunnen gebeuren. In tegenstelling tot vloeivelden moet in infiltratievelden de bodem permeabel zijn en kan zijn opgebouwd uit fijne zanden tot zavel. De hydraulische belasting en verwijdering van P hangen o.a. af van de infiltratiesnelheid. Aangezien het wegzijgende water meestal door een stelsel van drainagebuizen wordt weggevoerd is een infiltratieveld kostbaar in de aanleg.

De inlaat van water kan in principe zeer variabel zijn. Veelal wordt om de tien dagen water ingelaten wat daarna de gelegenheid krijgt volledig in te zijgen, waarna opnieuw water wordt ingelaten. Figuur 4.4. geeft enkele mogelijke vormen van infiltratievelden.

### 4. combinaties

In de praktijk worden vloei- en infiltratievelden meestal vooraf gegaan door een bezinkingsput. Op deze wijze kan een voortijdig dichtslibben van de vloei- en infiltratievelden worden voorkomen.



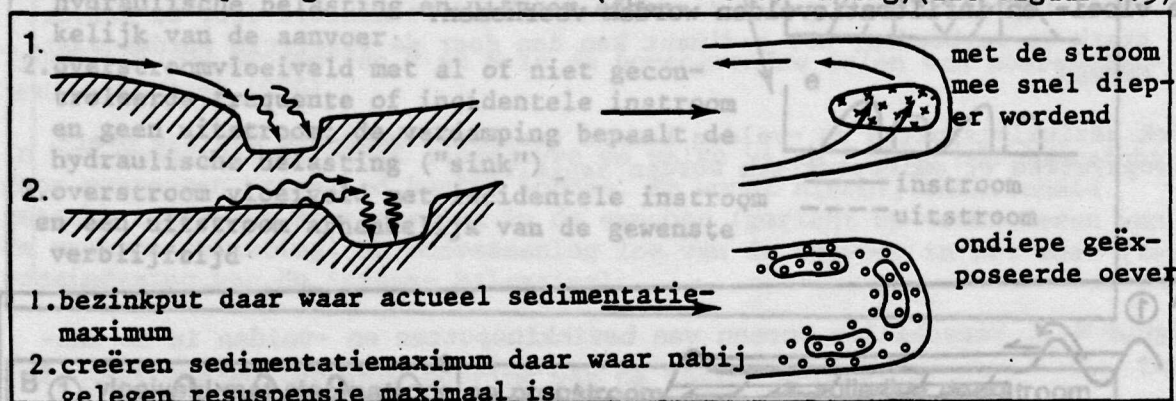
Figuur 4.4. Enkele vormen van infiltratievelden met wisselend waterbeheer.

## wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

### 1. bezinkingsvelden en -putten

Vermindering van de P-desorptie, maar ook de vergroting van het doorzicht, is mogelijk door het bevorderen van de nettobezinking van slib door uitdiepen (slibinvangputten zie o.m. De Groot 1986, Blom 1987, Dunst et al 1974) en verminderen van de wind- en golfinvloed door de aanleg en aanplant van moerasvegetatie en opgaande begroeiing (bijvoorbeeld in de vorm van windsingels). Het uitdiepen kan men combineren met de zandwinning ten behoeve van de aanleg van ondiepere delen voor de aanplant van riet

De putten dienen zo gedimensioneerd te zijn dat resuspensie van bezonken materiaal niet mogelijk is; de diepte is mede afhankelijk van het gebruik van windsingels). Qua ligging zijn putten het meest effectief op sterk geëxposeerde ondiepe delen (ter voorkoming van resuspensie) of daar waar het slibtransport geconcentreerd is (maximale bezinking) (zie figuur 4.5).



Figuur 4.5. Voorbeelden van bezinkingsputten in het meer.

### 2. windsingels en golfbrekers

Windsingels moeten zo hoog, georiënteerd en gespatieerd zijn dat de windinvloed aan het wateroppervlak is geminimaliseerd. Tussenruimte bijvoorbeeld 4-6 maal de hoogte). De vermindering van de windinvloed is het grootst bij enigszins permeabele singels. Ook hoog opgaande oeverbegroeiing (bijv. moerasbos) kan veel luwte geven.

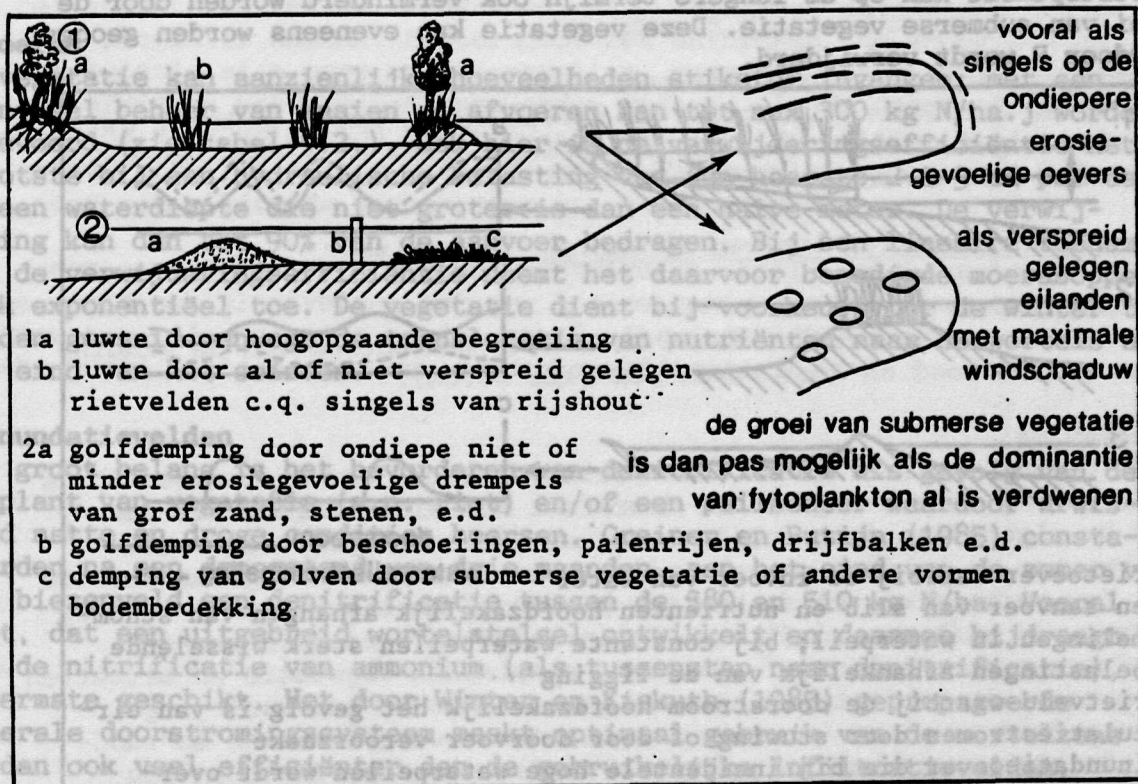
Windsingels zijn het meest efficiënt daar waar de strijklengte maximaal wordt verkort en daar waar de opwerveling van bodemmateriaal maximaal is (ondiepe geëxposeerde oeverdelen, zie figuur 4.6.).

Het verminderen van de golfinvloed kan bereikt worden door beschoeiing, drijfbalken, vegetatie of door golfbreking als gevolg van plaatselijke verondieping bijvoorbeeld in de vorm van zandbanken. Door deze maatregelen ontstaat een rustig "lagune" milieu met weinig opwerveling. Golfbreking is het meest effectief in de ondiepe oeverzone. Alle geëxposeerde staande beschoeiingen, zandbanken etc. vergen veel onderhoud.

### 3. moeras

Moerasaanleg in het meer leidt tot opname van P door de vegetatie en tevens tot vastlegging van slib en vermindering van resuspensie. De hydraulische belasting en nutriëntbelasting is binnen een meer plaatsaf-

hankelijk. De grootste belastingen treft men aan op de geëxponeerde in loef gelegen oevers en daar waar de grootste waterbeweging plaatsvindt. Binnen rietlanden is de belasting waarschijnlijk het grootste aan de meerzijde en neemt geleidelijk aan af met groter wordende afstand tot het open water.



Figuur 4.6. Voorbeelden van windsingels en golfbrekers in het meer

In tegenstelling tot in de aanvoer gelegen moerassen is in dit geval sprake van minder sterk wisselende belastingen. De grootte van de P-verwijdering is daarom waarschijnlijk ook gedeeltelijk plaatsafhankelijk. De meest geschikt plaatsen voor de aanleg van rietvelden vindt men daar waar de doorstroming het grootste is als gevolg van circulatie stromen of waterpeilschommelingen (zie figuur 4.7.).

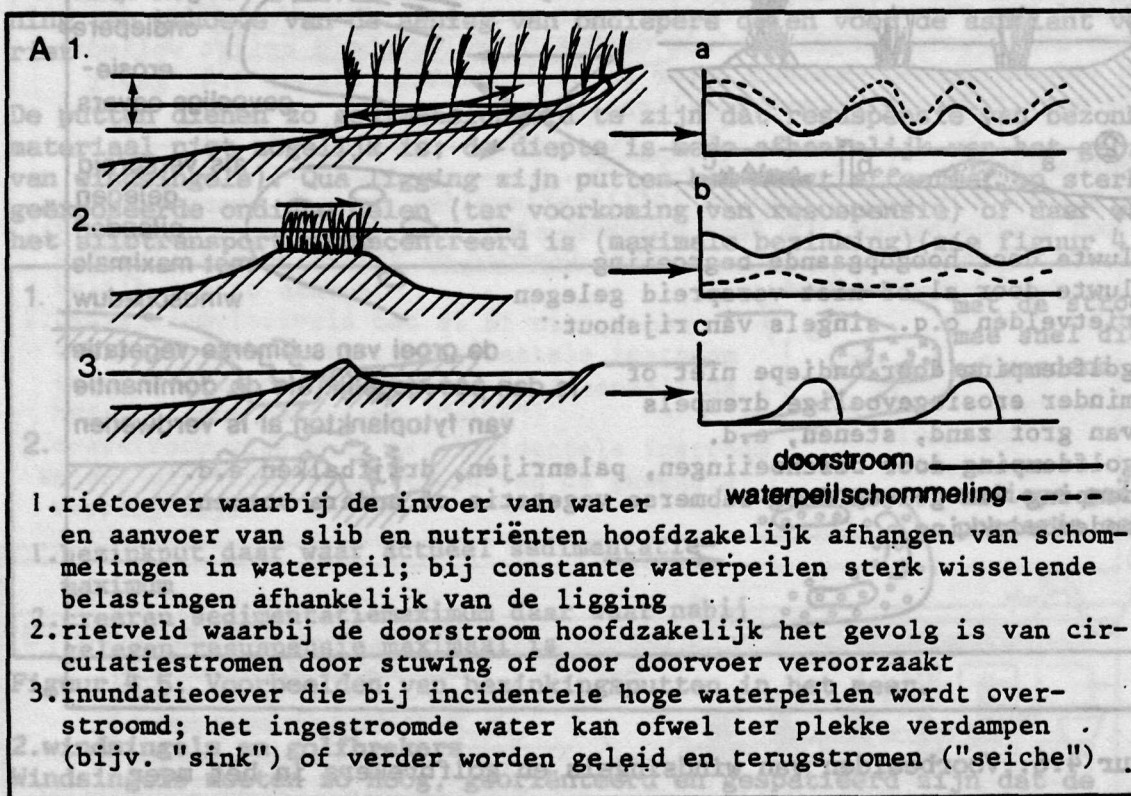
#### 4. andere ondersteunende beheersmaatregelen

Het opzetten van het waterpeil, waardoor de gemiddelde waterdiepte wordt vergroot en de resuspensie verminderd, is meestal niet mogelijk en niet erg efficiënt (PAWN 1985) en valt buiten het directe kader van moerasaanleg. Een verlagen van het peil kan ook leiden tot meer licht op de bodem en daardoor een grotere groei van submerse vegetatie, hetgeen weer positief kan zijn. In een aantal gevallen kan de resuspensie worden vermindert door brasem selectief weg te vissen, aangezien deze vis door zijn zoekgedrag aanzienlijk bijdraagt aan de resuspensie en daarmee aan de desorptie van P. Andere mogelijke beheersmaatregelen voor het tegengaan van de brasem zijn het uitzetten van snoekbaars op de korte en van snoek op de lange termijn (zodra de habitat geschikt genoeg is). In een enkel geval worden ook bodembedekkende plastic netten gebruikt voor de vermin-

dering van resuspensie, die tevens dienen als refugium voor zoöplankton (zie Moss 1987).

Op het ogenblik vindt in het Veluwemeer een vermindering van de P-desorptie plaats door het inlaten van calciumrijk water, waardoor het fosfor beter aan de bodem wordt gebonden (zie o.a. Brinkman en Raaphorst 1986).

De resuspensie kan op de langere termijn ook verminderd worden door de groei van submerse vegetatie. Deze vegetatie kan eveneens worden geoogst waardoor P wordt verwijderd.



Figuur 4.7. Voorbeelden van de mogelijke vorm en ligging van rietvelden in het meer.



#### 4.3. Maatregelen ter vermindering van de N-belasting

##### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

###### **1. bezinkingsputten en -velden**

Het bezinken van aan slib geadsorbeerd stikstof of in dood organische materiaal gebonden stikstof in putten of velden heeft veel minder effect dan bij fosfor (zie boven).

###### **2. moeras**

De vegetatie kan aanzienlijke hoeveelheden stikstof invangen; met een eventueel beheer van maaien en afvoeren kan tot max 300 kg N/ha.j worden afgevoerd (zie tabel 4.2.). Ook hier is de verwijderingsefficiëntie het grootste bij een hydraulische belasting van ten hoogste 2 à 3 cm per dag en een waterdiepte die niet groter is dan een halve meter. De verwijdering kan dan tot 90% van de aanvoer bedragen. Bij een lineaire toename van de verwijderingsefficiëntie neemt het daarvoor benodigde moerasoppervlak exponentieel toe. De vegetatie dient bij voorkeur voor de winter te worden gemaaid vanwege de translocatie van nutriënten naar de wortels aan het eind van het seizoen.

###### **3. inundatievelden**

Van groot belang is het bevorderen van denitrificatie als gevolg van de aanplant van vegetatie (m.n. riet) en/of een peilbeheer waardoor afwisseld natte en droge condities heersen. Greiner en Butijn (1985) constateerden na een droogstand van drie maanden aan het eind van de zomer van een biezenveld een denitrificatie tussen de 380 en 510 kg N/ha. Vooral riet, dat een uitgebreid wortelstelsel ontwikkelt en daarmee bijdraagt aan de nitrificatie van ammonium (als tussenstap naar denitrificatie), is uitermate geschikt. Het door Winter en Kickuth (1985) gepropageerde laterale doorstromingssysteem maakt optimaal gebruik van de wortelzone en is dan ook veel efficiënter dan de gebruikelijke infiltratievelden.

##### wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

###### **1. bezinkingsputten en -velden**

Het bezinken van met name organisch materiaal kan bevorderd worden door bezinkingsputten, windsingels, golfbrekers e.d. (zie boven). Het effect is echter geringer dan bij fosfor aangezien de hoeveelheid aan slib gebonden stikstof relatief gering is.

###### **2. moerasaanleg**

De opname van stikstof wordt vergroot door de aanleg van moerassen eventueel gecombineerd met een beheer van maaien en afvoeren (zie boven).

###### **3. inundatieoeveren**

In tegenstelling tot in de aanvoer gelegen moerassen kan hier gebruik worden gemaakt van natuurlijke waterpeilschommelingen als gevolg van windstuwing voor het bevorderen van de denitrificatie vooral als er sprake is van flauw oplopende oeveren of plasoevers die periodieke onderwater staan.

###### **4. andere beheersmaatregelen**

Het verwijderen van stikstof door het wegvangen van vis betreft slechts

kleine hoeveelheden (300-500 kg vis per ha komt waarvan slechts enkele promille stikstof). Door afscheppen aangewaaid vegetatie en oogsten van submerse vegetatie op de langere termijn kan meer stikstof worden verwijderd (zie boven).

#### 4.4. Maatregelen ter verbetering van het doorzicht

##### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

###### 1. bezinkingsputten en -velden en moerassen

Vergroten van de nettosedimentatie en vermindering van de externe nutriëntbelasting door de aanleg van bezinkingsputten en bezinkingsvelden en moerassen (zie boven P en N).

##### wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

###### 1. bezinkingsputten en velden

Bevorderen van de nettosedimentatie door het verminderen van de windinvloed en golfinvloed en door verdiepen (zie boven).

###### 2. moerasaanleg

Naast de opname van nutriënten door moerasvegetatie en hun invloed op de slibhuishouding is met oog op het doorzicht vooral de algengraas van belang. De algengraas door zoöplankton kan worden vergroot door het verbeteren van de habitat en verminderen van de zoöplanktongraas door de brasem. Het verbeteren van de habitat kan door aanplanten van vegetatie en creëren van slib- en windluwte. De invloed van brasem kan worden teruggedrongen door selectief afvissen, aanplanten vegetatie en uitzetten van snoekbaars en habitatvorming voor een snoekstand met veel jonge individuen door aanplant van moerasvegetatie en vergroten van de randlengte. De algengraas kan ook vergroot worden door het inzetten van filterfeeders zoals mosselen door het vergroten van de sedimentatiemogelijkheden (grof zand, schelpen, stenen, wilgehout e.d.).

#### 4.5. Samenvatting.

Uit het voorgaande mag duidelijk zijn dat een conversie van open water naar moerasgebied en de aanleg van moerasgebied voor de opvang van voedingsstoffen en slib op vele directe en indirecte manieren bij kan dragen aan de waterzuivering. De belangrijkste processen waarvan gebruik wordt gemaakt zijn daarbij bezinking (P, slib), opname door de vegetatie (P en N), en denitrificatie (N). Een aantal maatregelen beweegt zich in de beheerssfeer (waterpeilverhoging voor verminderen resuspensie, verkleinen verblijftijd water, inlaten Ca-rijk water, afvissen brasem e.d.) en valt buiten het kader van moerasaanleg. Deze maatregelen kunnen wenselijk zijn in een overgangsfase, zolang de condities nog onvoldoende optimaal zijn voor snoek, zoöplankton en macrofyten. Dit geldt o.m. voor afvissen brasem, uitzetten van snoekbaars, onderhoud aanplant ten behoeve van snoek teneinde de dominantie van de algen te breken. Zodra zich een nieuwe evenwichtstoestand heeft ingesteld kan door maaien en afvoeren van submerse vegetatie ook veel P uit het systeem worden verwijderd.

In principe grijpen de voorgestelde maatregelen op verschillende plaatsen in op een van vele effectketens van het systeem (zie figuur 3.8). Zodra

men er in geslaagd is een effectketen om te keren kan het zijn dat daarmee ook andere ketens omgaan. Het aanplanten van voldoende vegetatie voor een optimale snoekstand zal leiden tot meer doorzicht en daarmee een verbeterde groei van de vegetatie. Een verbeteren van de groeimogelijkheden van de vegetatie bijvoorbeeld door creëren van luwte zal op den duur ook leiden tot een optimale snoekstand. De ene maatregel zal daarbij sneller en directer resultaat hebben dan een andere. Het afvissen van de brasem leidt sneller tot een vergroten van de algengraas door zoöplankton dan het verbeteren van de snoekstand, die voorsnog de grotere brasems niet als prooidier aankan. Echter door het ontbreken van snoek kan de brasempopulatie zich weer snel herstellen, waardoor het positieve effect van het afvissen weer teniet kan worden gedaan, als de vegetatie zich tussentijds niet voldoende heeft kunnen ontwikkelen. Hieruit blijkt dat men zoveel mogelijk elkaar ondersteunende maatregelen samen moet laten gaan voor een blijvende verbetering van het doorzicht.

Een groot aantal van de opgesomde maatregelen, zoals windsingels, algengraas, maar ook vloeivelden met een onregelmatige belasting met oppervlaktewater zijn nog niet eerder proefondervindelijk toegepast zodat onzekerheden bestaan over hun zuiveringsefficiëntie.

2.2.2. Natuurlijke oorzaken van verzuivering

Meer ervaring is er met het beheer van natuurlijke oorzaken van verzuivering, vooral in de vorm van natuurlijke overstromingen. Het is bekend dat deze overstromingen tot een natuurlijke verzuivering van de waterloop leiden door het afvoeren van de overmaat aan organisch materiaal en de vermindering van de sedimentatie. Dit proces is afhankelijk van de frequentie en de omvang van de overstromingen. In Nederland worden deze overstromingen vaak door dijken voorkomen, wat tot een verslechtering van de waterloop kan leiden. Het is daarom belangrijk om de natuurlijke oorzaken van verzuivering te behouden en te bevorderen, bijvoorbeeld door het aanplanten van vegetatie langs de waterloop en het creëren van overstromingsvelden. Dit kan tot een verbetering van de waterkwaliteit en het milieu leiden.

## 5. NATUURONTWIKKELING DOOR MOERASAANLEG

### 5.1. inleiding

Het spreekt voor zich dat de natuurontwikkeling ook gebaat is bij waterzuivering. De meest waardevolle en diverse aquatische levensgemeenschappen (planten zowel als dieren) treft men aan in de heldere matig voedselrijke wateren. Het kan echter zijn dat bepaalde biotoopeisen niet stroken met de meest efficiënt geachte zuiveringsmaatregelen of juist goed te combineren zijn (zie hfst.6). Wat betreft de natuurontwikkeling is onderscheid gemaakt tussen de ontwikkeling van natuurwaarden op het niveau van ecosystemen en op het niveau van soorten(groepen) (zie hoofdstuk 2).

Er is tot dusver niet veel ervaring opgedaan met het "laten" ontstaan van natuurlijke moerasgebieden. De belangrijkste voorbeelden zijn waarschijnlijk de Oostvaardersplassen in Zuidelijk Flevoland, polder de Dood in de Biesbosch en Vlietland nabij Leiden. Andere grote moerassystemen zijn meestal ontstaan door een conversie van zee naar land (b.v. Lauwersmeer) en zijn niet representatief voor een moerasaanleg in zoet water. De meeste veenplassen zijn op zich ook uniek doordat ze door afturving van veenlagen en verdere afslag zijn ontstaan uit petgaten en kunnen daarom ook niet als voorbeeld dienen.

Op kleinere schaal is wel meer moerasgebied aangelegd bijvoorbeeld in de vorm van moerassige oevers (b.v. "Kromme Aar", "Wilhelminakanaal" en "Velserbeek"), als onderdeel van stadsparken (b.v. Waterpark Wassenaar, Ploossche Plas s'Hertogenbosch en Stroombroek Hummelo), of na ontgronding ("de Groene Rivier" een overlaatgebied van de Maas) en plaatselijk in uiterwaarden ("de Berendonck" een broekbos op verlande rivierarmen).

De natuurontwikkeling in kunstmatige moerassystemen is nooit een doel op zich geweest. Vogelinventarisaties van de vloeivelden in Flevoland zijn niet uitgevoerd. Van de Rieselvelder Münster zijn wel ornithologische gegevens voorhanden. Bovengenoemde voorbeelden Oostvaardersplassen, Vlietland en polder de Dood wijzen echter op grote potenties ook van eutrofe moerassen als broed- en fourageergebied van watervogels.

Meer ervaring is er met het beheer van natuurlijke moerassen omdat zij vrijwel zonder uitzondering eigendom zijn van een natuurbeschermingsinstantie. Wat meerrestauratie en regeneratie betreft kan de Gouwee als een voorbeeld dienen.

### 5.2. natuurwaarden op het niveau van ecosystemen

#### natuurlijke ontstaanswijze

In een voorgaand hoofdstuk is al gewezen op het belang van erosie- en sedimentatieprocessen. Het geheel natuurlijk laten ontstaan van een moeras komt eigenlijk slechts voor in de monding van slibrijke beken en rivieren (vergl. IJsseldelta) en in mindere mate ook in de luwte van geprononceerde oevers, oeverbescherming en eilanden in meren waar volop slib in beweging is.

De meeste beken en rivieren hebben een sterk fluctuerende afvoer die gepaard gaat met fluctuaties in waterpeil c.q. aanvoerhoogte. Deze stro-

ming zorgt voor de voortdurende omvorming van eerder neergelegd materiaal; stroomgeulen en oeverwallen en textuurgradiënten worden hierbij verplaatst en het bodemoppervlak telkens vernieuwd. Deze omvorming treft men van nature aan in uiterwaarden en delta's. Incidenteel treedt een gelijksoortige omvorming van bestaand land op bij dijkdoorbraak.

Een natuurlijke vorming door verlandingsprocessen, zoals veenvorming, puur door de opbouw van organisch materiaal, vergt niet alleen erg veel tijd maar ook een stabiel milieu met een constante aanvoer van nutriëntenwater. Men treft verlanding hoofdzakelijk aan in vennen en in periodiek overstroomde gebieden (het dichtslibben en dichtgroeien van oude stroomgeulen en poelen in uiterwaarden).

maatregelen voor de stimulering van een natuurlijke onstaanswijze

wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

### 1. Deltavorming

In de monding van slibrijke beken en rivieren kan door een systeem van oeverbescherming luwte worden geschapen waardoor het slib ter plaatse kan sedimenteren. Dit gaat samen met de spontane uitbreiding van in eerste instantie aangeplante rietvelden. De spatiëring moet rekening houden met waterdiepte etc. Voor een versnelling van dit proces is een verondieping wellicht gewenst door opbrengen of opspuiten van zand. De luwte kan worden gegeven door rijshout, zandbanken etc.

### 2. Omvormingsvelden

Een natuurlijke "omvorming" kan worden ingezet met de aanleg van een sterk verondiept gedeelte. De hoogte dient daarbij zo te worden gekozen dat bij periodieke hogere afvoeren overstrooming plaats vindt bijvoorbeeld net onder de gemiddelde aanvoerhoogte. Een systeem van oeverbescherming is noodzakelijk voor het geven van beschutting en voor de spreiding van water en sediment. Ook kan bestaand laaggelegen polderland worden omgevormd, waarvoor een in- en uitlaat gemaakt moet worden.

wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

### 1. Aanslibbingsvelden

Het aanslibben kan bevorderd worden door het creëren van extra luwte door middel van oeverbescherming (rijshout, wilgenhout, zandbanken, e.d.) en de aanplant van vegetatie (op de oever en in het water, zie ook hfst.4). Dit heeft echter slechts in meren met een groot intern slibtransport enige kans van slagen. Luwte alleen kan wel op zich al voldoende zijn om de groei van vegetatie te bevorderen.

### 2. Oeverafslag

Afslag van bestaand land als een wijze van natuurlijke vorming (vergelijkbaar met de uitbreiding van petgaten) behoort weliswaar tot de mogelijkheden, maar draagt niet bij aan de waterzuivering.

natuurlijke regulatieprocessen

Veel van de bovengenoemde geomorfologische vormingsprocessen spelen ook een rol bij de natuurlijke regulatie van een gebied, zoals oeverafslag en aangroei waardoor vegetatie worden verjongd. Een afwisseling van beiden

komt voor op plaatsen met wisselende expositie. Een verplaatsen van het "afslag-aangroefront" door fluctuaties in waterpeil treft men aan bij een flauw oplopende oeverzone (zie b.v. Koridon 1982).

Van groot belang zijn hydrologische processen zoals inundatie en waterpeilschommelingen als een vegetatiegroei regulerend proces (zie ook hfst 3). Frequente inundatie zoals die optreedt in zoetwater getijdemoerassen, zoals o.a. kenmerkend voor de Biesbosch, treft men elders in Nederland niet aan. Veel algemener zijn onregelmatige inundaties zoals die samenhangen met variaties in aanvoerhoogte van beken en rivieren (bijv. uiterwaarden), variaties in neerslagoverschot (bijv. seizoensmatig onderlopen duinvalleien) en tengevolge van de stuwning van water door de wind (on-diepe oeverzones van uitgestrekte meren). Het gevolg van deze inundaties is vooral een dominantie van éénjarigen bij zeer frequente inundatie, en anders een ontwikkeling van wilgebossen tot elzebroekbos.

Langjarige waterpeilfluctuaties, zoals die van nature regulerend werkzaam zijn in bijvoorbeeld duinvalleien zijn het gevolg van langjarige fluctuaties in neerslag en verdamping. Hun effect op de vegetatieontwikkeling is nader beschreven in hoofdstuk 3.3.3a.

Biologische regulatieprocessen zoals de regulering van de visstand door de snoek en algenraas door zoöplankton zijn van groot belang voor het voorkomen van ziekten en plagen. Over hun biotoepeisen wordt nader ingegaan in 5.4.3. en 5.4.4.

### Maatregelen voor het stimuleren van natuurlijke regulatie

#### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

##### 1. overloopsysteem

Voor beken met een onregelmatige aanvoer kan een overloopsysteem worden aangelegd zodat naast continue doorstroom ook periodieke inundaties mogelijk zijn t.b.v. verjonging van vegetaties. Een dergelijk systeem bestaat uit meerdere compartimenten met verschillende drempelhoogte. Hierdoor komen bassins voor die vrijwel continu water ontvangen naast bassins met een meer of minder periodieke aanvoer. Bij zeer hoge pieken kan eventueel een deel van het water via een "by-pass" direct in het meer worden geleid. Enkele basins kunnen dienen voor de berging van pieken en/of de bezinking van slib. Een overloopsysteem is te combineren met de omvormende werking van sedimentatie en erosie. Eventueel kan hiervoor de aanvoerhoogte met behulp van stuwen worden vergroot.

##### 2. omloopsysteem

Met de aanleg van een gecompartmenteerd systeem met gecontroleerde waterpeilen kunnen langjarige waterpeilfluctuaties worden bewerkstelligd. Dit vergt niet alleen volledige waterpeilbeheersing maar ook een voldoende aanvoerhoogte wil men niet met pompen werken. De cyclus in waterpeil kan 5 tot meer dan 15 jaar bedragen, de fluctuatie in gemiddeld waterpeil die daarbij optreedt bedraagt tussen de enkele decimeters en meer dan 1 meter. De doorvoersnelheid van water kan daarbij variëren afhankelijk van de gewenste hydraulische belasting. Bij een gediversificeerd omloopsysteem komen compartimenten naast elkaar voor in verschillende fasen van de cyclus. Op deze wijze is ook een gevariëerd voedselaanbod voor vogels en een minimale beheersinspanning gegarandeerd.

### 3. volledig moerassysteem

Een optimale biologische regulatie vergt de realisatie van een zo volledig mogelijk moerasgebied waardoor de vesting van roofvogels en een optimaal regulerende snoekpopulatie mogelijk is (zie 3.4.3. en 3.4.4.). Met oog op het algengrazend zoöplankton kan het kunstmatig creëren van een habitat, b.v. netten en vlechtwerken van wilgetenen of zelfs plastic in de aanloopfase nodig zijn.

wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

#### 1. geprononceerde oevers

De aanleg van sterk geprononceerde oeverdelen waar een afwisseling van oeveraangroei en -afslag tot de mogelijkheden behoort. Dit is echter maar moeilijk te realiseren.

#### 2. inundatieoevers

Aanleg van flauw oplopende oeverzones of plasbermen op plaatsen waar door stuwung van de wind waterpeilfluctuaties voorkomen, zodat er sprake kan zijn van periodieke inunaties.

### 5.3. vegetatie, patroon en proces

#### Patroonwaarden

Kenmerkende terrestrische ecotootypen in zoetwatermoerassen zijn het matig voedselrijke natte en vochtige grasland en matig voedselrijke ruigte, struweel en bos. Deze ecotootypen worden gekenmerkt door soorten als fioringras, reukgras (nat grasland), reukgras, zwenkgras (vochtig grasland), riet, moeraszegge, oeverzegge, harig wilgeroosje, gele lis (ruigte) en vuilboom, grauwe wilg en braam (struweel) en elzen en wilgen (bos) (zie Runhaar e.a. 1985). Zonder maaien en afvoeren en frequente inundatie zullen de niet zeer voedselarme gronden snel verruigen met wilgen en ander struikgewas, zodat uiteindelijk sprake is van elzenbroekbos.

Waardevolle terrestrische gradiënten kunnen zich ontwikkelen als een gradiënt van nat/vochtig naar droog op voedselarm en matig voedselarm substraat, en gradiënten van voedselarm naar voedselrijk in vochtige milieus.

Wat de aquatische vegetatie betreft zijn vooral interessante zonerings met de waterdiepte in niet te eutrofe en mesotrofe heldere wateren het meest waardevol. Een volledige zonering bestaat dan uit submerse, drijvende en emerse waterplanten. Karakteristieke soorten zijn langs de oever: riet, biezten, gele lis, pijlkruid e.a., in ondiep water: kikkerbeet, drijvend fonteinkruid, krabbescheer, en iets dieper water: gele plomp, waterlelie, ondergedoken fonteinkruiden en tenslotte in de diepste delen kranwierden. Een volledige zonering waarborgt tevens het bestaan van de submerse soorten (slak-epifyt-macrofyt relatie). In eutroof troebel water treft men vrijwel geen submerse en drijvende vegetatie (m.u.v. kroos) aan (zie ook 3.3.4).

Voor het instandhouden van met name de vochtige en natte graslanden is een streng beheer van maaien en afvoeren of grazen vereist; verstruiking kan ten dele ook worden voorkomen door frequente inundaties. Het instandhouden van watervegetaties kan geschieden door een omloopsysteem met

langjarige waterpeilschommelingen (Iedema en Kik 1986) en/of door maaien en afvoeren van riet.

### Successies

De vegetatieontwikkeling in moerasgebieden is gekenmerkt door verlandings- en afslagsuccessies. Kolonisatie vindt meestal plaats door riet en wordt daarin gevolgd door andere soorten. Een en ander hangt sterk af van de overstromingsfrequentie, bodemsoort en afslagdynamiek en in enkele gevallen van het chloridegehalte. Het climaxstadium voor zover van verlanding sprake is, wordt gevormd door nat moerasbos.

### Maatregelen voor het creëren van waardevolle vegetatie

In alle gevallen heeft helder water en een lage nutriëntbelasting de voorkeur, zodat onderstaande maatregelen altijd samen dienen te gaan met de in hoofdstuk 4 beschreven maatregelen voor de waterzuivering. Voor een spontane vegetatieontwikkeling in een meer moet zoveel mogelijk luwte van wind, golven en slib worden geboden.

#### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

##### 1. voedselarme vochtig/nat gradiënt

Nat-droog gradiënten in matig voedselarme en voedselarme substraten boven de waterlijn kunnen worden opgespoten of per as aangebracht. Bij voorkeur dient het materiaal in een flauwe helling worden neergelegd, zodat zo volledig mogelijke gradiënten tot ontwikkeling kunnen komen.

##### 2. terrestrische voedselrijk/voedselarm gradiënt

Realiseren van voedselrijk-voedselarm gradiënten kan eveneens door het gericht aanbrengen (opsputten, opschuiven) van voedselarme substraten op voedselrijke ondergrond.

##### 3. aquatische voedselrijk/voedselarm gradiënt

Een gradiënt in voedselrijkdom kan binnen het moeras door isolatie worden verkregen. Deze isolatie kan bestaan uit volledig of gedeeltelijk afsluiten van de aanvoer.

##### 4. overloopsysteem

Door een overloopsysteem (zie ook hfst 5.2) kan de inundatie worden geregeld, wisselend van zeer frequent tot incidenteel, waardoor ten dele de vegetatiesuccessie kan worden beïnvloed. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van natuurlijke variatie in aanvoer (bij beken) of van een gecontroleerd inlaten (bij gelijkmatige aanvoer zoals van RWZI's)

##### 5. omloopsysteem

Een omloopsysteem waarbij verschillende compartimenten een verschillende cyclus in waterpeil doormaken vergt ook een volledige peilbeheersing (zie 5.2).

#### wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

Creëren van gradiënten in voedselrijkdom (substraat), vocht en waterdiepte, zoals boven (1, 2, 3 en 4).



## 6. kwelvelden

Door moerasaanleg kan ook kwel geïsoleerd worden opgevangen zodat plaatselijk voedselarme aquatische milieus ontstaan. Dergelijke mogelijkheden komen o.a. langs de oude landzijde van de randmeren voor.

## 7. inundatieoever

Door de aanleg van flauw olopende oevers en plasbermen kunnen inundatieoever worden verkregen, die tengevolge van waterpeilfluctuaties als gevolg van wind stuwning incidenteel overstromen.

## 8. geprononceerde oevers

Door een onregelmatige oeverlijn worden plaatsen met luwte en sterke expositie gecreëerd waardoor afslag en aangroei plaats kan vinden.

## 5.4. Aquatische fauna.

In hoofdstuk 3 is reeds gewezen op het verschil tussen de diverse aquatische levensgemeenschap van het heldere water en van het soortenarme troebele water. Helder water met veel watervegetatie is dan ook altijd te prefereren. Gradiënten hangen sterk samen met gradiënten in vegetatiestructuur en zijn dus vooral afhankelijk van de waterdiepte.

De Snoek is de belangrijkste regulator op het hogere trofieniveau terwijl zoöplankton vooral op het lagere niveau actief is. Er is al eerder gewezen op het belang van watervegetatie en randlengte voor zowel snoek alsook zoöplankton. Daarnaast vormen de vele ongewervelden een voedingsbron voor vis en vogels en daarnaast ook de jonge vis voor vogels.

## Maatregelen ten behoeve van een diverse aquatische levensgemeenschap

Aanwezigheid van diepere altijd waterhoudende delen die tevens dienen ter overwintering; stagnant ondiep water moet zoveel mogelijk met oog op botulisme worden voorkomen.

### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

#### 1. open snoekhabitat

Door het aanleggen van niet te voedselrijke delen enigszins geïsoleerd van de aanvoer kan een snoekhabitat worden verkregen; er moeten delen met permanent water zijn en voldoende diep om overwintering van vis mogelijk te maken. Een open verbinding van moerasgebied naar het open water toe, zodat het kan gaan dienen als paaigrond, voor eiafzetting en grootworden van jonge vis en als fourageergebied.

### wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

#### 1. snoekhabitat

Aanplant van macrofyten (of materialen, w.o. wilgehout, rijshout etc.) als paai- en broedplaats en refugium voor jonge vis is onontbeerlijk; hierbij moet rekening worden gehouden met de specifieke biotoopeisen van zowel juveniele als volwassen exemplaren. Ten behoeve van een optimaal regulerende snoekstand dient gestreeft te worden naar ca 25% vegetatiebedekking en veel randlengte te combineren met een subtiel waterbeheer dat rekening houdt met paaitijd etc.

Eventueel kan als beheersmaatregel al of niet in een overgangsfase actief snoekbaars worden uitgezet en/of selectief brasem worden weggevangen totdat zoöplankton en snoek zich kunnen handhaven en strijd met alg en brasem aan kunnen.

### 5.5. Avifauna.

De nederlandse laaglandmoerassen herbergen een groot aantal van de voor Nederland meest karakteristieke vogelsoorten. Een groot aantal daarvan behoort tot de rode lijst soorten (zie ook bijlage 2), zoals fuut, aalscholver, roerdomp, purperreiger, lepelaar, bruine kiekendief, grote karekiet en baardmannetje. We zullen ons bij de bespreking beperken tot de broedvogels; doortrekkers en overwinteraars worden geacht grotendeels dezelfde eisen te stellen aan open water en moeras. De moerasvogels kunnen qua biotoopeisen pragmatisch worden onderverdeeld in een aantal groepen (zie ook bijlage 2):

-zwemeenden, die fourageren in water tot 0,5 meter diep; voedsel bestaat uit ongewervelden

-duikeenden, die tot grotere diepte fourageren (ca 2-4 meter); het belangrijkste voedsel bestaat uit ongewervelden, plantenwortels e.d.

-zangvogels en kleinere moerasvogels van rietland en moerasstruweel, die leven van insecten en zaden

-grote moerasvogels, die voor hun voedsel aangewezen zijn aan op de oevers voor het vangen van vis (zoals reigers) of op een ondiepe (ca 1 à 3 cm) en/of periodiek droogvallende oeverzone voor het fourageren op ongewervelde dieren (zoals lepelaar)

-roofvogels, die fourageren op kleinere vogels en zoogdieren en/of vis in uitgestrekte rietlanden en moerassen.

Van bovengenoemde groepen zijn de grote moerasvogels (Kwak, Roerdomp, Purperreiger, Lepelaar en Aalscholver) en roofvogels (Blauwe en Bruine Kiekendief) het meest zeldzaam en storingsgevoelig (zie tabel 5.1 en bijlage 2.1.). Hun aanwezigheid kan pas worden verwacht als er sprake is van zeer grote ongestoorde moerasgebieden. Een grote afwisseling van open stukken water- en moerasvegetatie lijkt bevordelijk te zijn voor een groter aantal vogelsoorten (Weller 1978).

In tegenstelling tot vissen onderhouden vogels wel relaties met nabij liggende broed- en fourageergebieden, die op deze wijze ondersteunend kunnen zijn voor een potentiëel moerasgebied of die door een aan te leggen moeras ondersteund kunnen worden. Daarbij kunnen slaappleats, broedgebied en fourageergebied zeer verschillend zijn qua vegetatiestructuur en ligging. Voor moerasgebied is vooral de nabijheid van bos (voor boombroeders), open water (eenden, fouragerende aalscholvers) en polderland (voor in moeras broedende weidevogelsoorten en purperreigers) van belang. Als algemene regel wordt ervan uitgegaan dat hoe beter moerassen aansluiten op bestaande natuurgebieden (incl. open water) hoe groter deze wederzijdse ondersteuning en betekenis zal zijn.

GEVOELIGHEID VAN WATER- EN MOERASVOGELS VOOR INVLOEDEN VAN DE WATERSPORT

Soort	Golfslag	Doorvaren	Invaren	Saprobiëring Eutrofiëring Troebelning	Betreding	Verstoring
woudaapje	*	*	?	*	*	*
roerdomp	*	*	?	*	*	*
kwak			?	?	*	*
kleine karekiet			?	?	?	?
grote karekiet	*	*	*	?	*	?
visdief			?	?	*	?
zwarte stern	**	*	*	?	?	?
snor			?	?	*	?
sprinkhaanriet- zanger			?	?	*	?
baardmannetje			?	?	*	?
porceleinhoen			?	?	*	?
kleinst waterhoen			?	?	*	?
klein waterhoen			?	?	*	?
dodaars	*	*	*	?	?	?
fuut	**	*	*	?	?	?
bruine kiekendief			?	?	?	**

Uit: Joolen, 1979.

Betekenis symbolen:

- ? = gevoeligheid onbekend
- \* = gevoelig
- \*\* = zeer gevoelig

Figuur 5.1 Storingsgevoeligheid moerasvogels (uit: Joolen 1979)

Maatregelen ten behoeve van de avifauna

wat betreft moerasaanleg in het algemeen

vogelgemeenschap

**1.groot aaneengesloten gebied**

Streven naar het creëren van een gebied van voldoende omvang (meerdere honderden ha inclusief aansluitend natuurgebied), waarin aan alle biotoopeisen van de beoogde soorten (voedsel, broedgelegenheid, rust) voldaan wordt, zodat een volledige vogelgemeenschap tot ontwikkeling kan komen. Het gebied is bij voorkeur voldoende groot om de permanente aanwezigheid van enkele broedparen Kiekendieven mogelijk te maken. Op zich kan het aangrenzende meer ook voor een deel hierin bijdragen. Aangezien de grotere en zeldzamere soorten bijna uitsluitend op vis fourageren behoort een goede visstand tot de vereisten.

## 2. kerngebied en recreatieve zonerings

Van groot belang voor de meeste soorten is een recreatieve zonerings om de rust in een als kern aangewezen broedgebied te waarborgen. Deze recreatieve zonerings dient bij voorkeur fysiek van aard te zijn, zoals open water, zompig moeras of ondoordringbare doornstruiken. Het broedgebied dient te bestaan uit uitgestrekte rietlanden afgewisseld met poelen met plaatselijk overjarig riet, moerasruigte en struweel en moerasbos. Rust is waarschijnlijk het beste gewaarborgd op door onbevaarbaar water omgeven eilanden. Het zoveel mogelijk aansluiten bij bestaande natuurgebieden en een ligging ver van jachthavens, bebouwing en campings heeft de voorkeur.

## 3. tegengaan botulisme

Botulisme komt vooral voor bij ondiep voedselrijk en slibrijk stagnant water. Helemaal voorkomen is niet mogelijk; wel kan men stagnant water zoveel mogelijk vermijden.

### specifieke eisen per soortengroep:

-zwemeenden, gevariëerde oeverzone tot ca 0,5-1 meter diep; helder water en submerse planten voor een gevariëerd menu van ongewervelde dieren; rietkragen voor broeden, bij voorkeur af te wisselen met kleinere delen open water

-duikeenden, idem maar water tot 2 à 4 meter diep

-zangvogels en kleine moerasvogels gevariëerde moerasvegetatie, afwisseling riet, ruigte en open water (bijv. poelen)

-grote moerasvogels; ondiepe oeverzone (1 à 3 decimeter) eventueel gekombineerd met wisselingen in waterpeil en veel randlengte; voor enkele soorten is de ontwikkeling van moerasbos (purperreiger, aalscholver) ruigte (bijv. lisdodde, biezen voor woudaapje) en/of overjarig riet (Roerdomp) als broedgelegenheid een vereiste.

-roofvogels; voor de Blauwe Kiekendief en de Velduil moerasland met ruigte en voor de Bruine Kiekendief uitgestrekt rietland met veel overjarig riet.

### wat betreft moerasaanleg in de aanvoer

#### 1. overloopsysteem

Gebruik maken van de fluctuaties in wateraanvoer voor de aanleg van moerassen met verschillende inundatiefrequentie ten behoeve van de voedselbeschikbaarheid van o.a. steltlopers.

#### 2. omloopsysteem

Een blijvende gevariëerdheid aan vogelbiotopen is het best gewaarborgd met een omloopsysteem (zie Iedema en Kik 1986 en hfst 5.2. en 3).

wat betreft moerasaanleg los van de aanvoer in het meer

### 3. inundatieoevers

Ook hier gebruik maken van de natuurlijke dynamiek in waterpeilen voor wisselend natte en droge oevers.

### 5.6. Overige fauna

Nederland kent maar een viertal zoogdiersoorten die vooral in moerasgebieden voorkomen nl. de muskusotter, bisamrat, waterspitsmuis en de otter. Van deze vier zijn alleen de waterspitsmuis en de otter inheems. De otter wordt op het ogenblik zeer bedreigd en is de laatste jaren sterk in verspreiding achteruitgegaan. Op het ogenblik komt hij nog op meerdere plaatsen langs het IJsselmeer en in enkele grotere laaglandplassen met veel oeverbegroeiing voor.

Als oorzaken voor de sterke achteruitgang wordt de teruggang in visstand, de visserij (otter als bijvangst) en de teruggang in biotoop genoemd. Maar ook de landbouwbestrijdingsmiddelen hebben hun tol geëist. De otter leeft van vis en is aangewezen op grote gebieden om te kunnen fourageren. Het is een soort die vooral 's nachts actief is en daarbij grote afstanden kan afleggen. De om het IJsselmeer aanwezige populaties worden dan ook weleens als één enkele populatie beschouwd. Van groot belang is dat de otter zich overdag kan verschuilen bijvoorbeeld onder ondermijnde oevers of in kreupelhout. De waterspitsmuis vereist vooral schoon helder water en een gevarieerd aanbod van waterinsecten.

### Maatregelen ten behoeve van de otter en waterspitsmuis

wat betreft moerasaanleg in de aanvoer en het meer

Uitgestrekte verruigde rietlanden, waarin rust kan worden geboden liefst afgewisseld met poeltjes met schoon water rijk aan waterfauna (vis en insecten). Plaatselijk permanent droge en geïsoleerde delen (eilandjes) met oevers met struikgewas dat kan dienen als een refugium

Van de in Nederland levende reptielen komt hier en daar in moerasgebieden nog de ringslang voor; een beschermde soort die sterk wordt bedreigd (Bergmans en Zuiderwijk 1986). Over zijn biotoop is maar weinig bekend. Alhoewel geen cultuurvlinder is naast rust vooral ook de aanwezigheid zijn prooidieren ( m.n. kikkers) van belang.

Alle **amphibiën** zijn beschermd. Sterk bedreigd zijn enkele soorten kikkers (Boomkikker, Heikikker), padden (Vroedmeesterpad, Geelbuikpad en Knoflookpad) en vrijwel alle soorten salamanders (Vuursalamander, Kamsalamander, Vinpootsalamander en Alpenwatersalamander) met uitzondering van de Kleine Watersalamander. Een groot aantal van de voorgenoemde soorten treft men vooral in Limburg aan. Alhoewel amphibiën met name in kleinere wateren zijn aan te treffen kan ook op voldoende geïsoleerde plaatsen in een groter moerasgebied hun aanwezigheid worden verwacht (m.n. de Meerkikker ook wel Grote Groene Kikker genoemd). De groene en bruine kikkers komen zowel in kleine sloten en poelen alsook langs de oevers van de grotere wateren voor. De aanwezigheid van salamanders beperkt zich meer

tot poeltjes en sloten. Alle amphiënen voeden zich met insecten. Van groot belang is dat er overwinteringsmogelijkheden zijn in de nabijheid van het water; de zomerhabitat bestaat vaak uit zuidgeëxposeerde oevers langs ondiep water met veel submerse en drijvende waterplanten. Amphiënen zijn erg gevoelig voor verontreinigingen met uitzondering misschien van de Bruine Kikker.

Maatregelen ten behoeve van amphiënen en reptielen

wat betreft moerasaanleg in de aanvoer en in het meer

Plaatselijk dient geïsoleerd ondiep water met bijvoorkeur zuidgeëxposeerde oevers aanwezig te zijn in de nabijheid van geschikte overwinteringsplaatsen. Het voedselaanbod, een gevarieerd menu van insecten, is het beste gewaarborgd in helder water met submerse en drijvende waterplanten.

### 5.7. Landschap

Het landschap zal in dit kader slechts vormgevend bij de concrete uitwerking worden meegenomen. Als algemene maatregel kan gelden dat kunstmatige elementen zoveel mogelijk moeten worden vermeden dan wel ingepast, en dat voorts gestreefd wordt naar een zo natuurlijk mogelijke zonering. Voor de randmeren bestaat deze zonering uit landbouwgrond, moerasbos, rietland en helder water.

### 5.8. Recreatief medegebruik

Zoals al eerder is aangestipt is een recreatief medegebruik tot op zekere hoogte gewenst en mogelijk voor zover maar wordt voorzien in een recreatieve zonering van rustversturende activiteiten (zie 3.4.4.).

maatregelen voor recreatief medegebruik van moerassen

#### 1. recreatieve ontsluiting

Recreatief medegebruik is mogelijk in de vorm van wandelen en fietsen in en langs het moerasgebied te combineren met vogelobservatie, hengelen aan de rand en gedeeltelijk in het moerasgebied (bijv. bezinkingsvijvers), en varen aan de rand. Voor de recreatieve ontsluiting kunnen worden gebruikt dammen, dijken, begaanbare oeverbescherming, en plankieren.

#### 2. recreatieve zonering

Al eens eerder is benadrukt dat de recreatieve zonering bij voorkeur fysiek van aard moet zijn in plaats van bijvoorbeeld gebodsbepalingen en hekwerken. Voor fysieke isolatie kunnen dienen doornstruiken, zompig moeras en open water (t.a.v. wandelaars) en onbevaarbaar water en oeverbescherming, windsingels etc. (t.a.v. van vaarrecreanten).

## 6. VERENIGBAARHEID IN HOOFDZAAK

### waterzuivering versus natuurontwikkeling

Waterzuivering is maar ten dele te combineren met een natuurlijke ontstaanswijze en regulatie door waterpeilfluctuaties, zoals die van belang zijn voor interessante vegetatieontwikkelingen en minimalisatie van de beheersinspanning. Wel goed samen gaan bezinkingsvelden met natuurlijke aangroei, bergingsvelden en waterpeilfluctuaties t.b.v. denitrificatie met periodieke en frequente inundatie. Langjarige peilfluctuaties vormen op zich geen belemmering voor de zuiveringsefficiëntie maar verlagen wel de beheersinspanning en zomede de beheerskosten. Alle vormen van biologische regulatieprocessen, maar met name algengraas door zoöplankton gaan uitstekend samen met waterzuivering.

Een interessante vegetatieontwikkeling is vanwege de hoge nutriëntbelastingen niet goed mogelijk in het moeras zelf met uitzondering van de compartimenteringsdammen. Wel kunnen op de lange termijn door een substantiële verbetering van de waterkwaliteit van het aangesloten meer zich wel interessante vegetaties ontwikkelen. De hoge nutriëntenbelasting verdraagt zich eveneens slecht met interessante aquatische ontwikkelingen in het aangelegde moeras.

Eutrofe moerassen kunnen wel uiterst waardevol zijn voor vogels, zolang voldoende rust, voedsel en broedgelegenheid wordt geboden. Het voedselaanbod voor steltlopers kan worden vergroot door periodieke inundatie, de op moerasvegetatie aangewezen soorten (zoals de kleinere zangvogels) zullen in de rietvegetatie voldoende voedsel vinden. Een zeer intensief maaibeheer verdraagt zich echter minder met een avifaunaontwikkeling. Het ondiepe water en de lange verblijftijden vergroten wel de kans op botulisme en ingevangen toxische stoffen kunnen schadelijk zijn voor organismen.

### natuurontwikkeling versus recreatie en landschap

Natuurlijke aanslibbing en verlanding maakt een recreatief medegebruik slechts ten dele mogelijk. Op haar beurt leidt recreatie tot vertrapping en vernieling van vegetatie maar kwalijker is de rustverstoring waardoor vooral vogels getroffen worden. Het hoogseizoen valt namelijk samen met broed- en ruitijd. Ook kan er overlast van muggen optreden nabij vloeivelden; deze overlast kan echter door de aanleg van struiken grotendeels worden verholpen (de Maeseneer 1985).

Een aantrekkelijk moeras heeft anderzijds grote potenties voor recreatief medegebruik. Wandelen in combinatie met vogelobservering komt meer en meer in trek. Bovendien biedt een moeras een gevarieerde omgeving waarin door vaarrecreanten kan worden aangelegd.

### waterzuivering en natuurontwikkeling versus andere belangen

De beroepsvisserij wordt niet direct negatief beïnvloed door de aanleg van moerasgebied; wel zal uiteindelijk een verandering in visbezetting verwacht mogen worden.

De scheepvaart en de eis van een vaargeul maken het volledig door een ondiep moerasgebied leiden van het toevoerwater onmogelijk als dit een scheepvaartfunctie heeft. Het door baggeren van de vaargeul vrijgekomen materiaal kan daarentegen weer gebruikt worden voor de aanleg van moeras.

De in verband met de landbouwkundige waterhuishouding vereiste zomer- en winterpeilen maken een flexibele waterpeilbeheersing onmogelijk. Mocht men kiezen voor het "omvormen" van laaggelegenpolders dan is vanzelfsprekend sprake van elkaar uitsluitende belangen landbouw en waterzuivering en natuurontwikkeling.

Zuiveringsmoerassen kunnen eventueel worden ingezet voor de voorzuivering van water ten behoeve van de drinkwaterwinning; vooral een geconcentreerde kwelopvang lijkt hiervoor uiterst geschikt. Het kwelwater wordt dan eerst voor de natuurontwikkeling gebruikt en vervolgens voor de drinkwaterwinning.

Het industriële koelwater kan misschien gebruikt worden voor het vergroten van de microbiologische activiteit in de winter, waarmee in die tijd de verwijderingsefficiëntie toe kan nemen.

De zandwinning ten behoeve van stedelijke uitbreiding en wegaanleg kan eventueel worden gekombineerd met de aanleg van bezinkingsputten.

Voor zover wensen en maatregelen niet verenigbaar zijn kan worden gezocht naar een ruimtelijke differentiatie of een tijdelijke fasering van functies. Recreatief medegebruik zal zoveel mogelijk moeten worden gezoneerd om een kerngebied van verstoring te vrijwaren; daarnaast kan de toegang en het medegebruik tijdens de broedtijd geheel worden verboden.

#### Maatregelen voor recreatief medegebruik van moerassen

1. Recreatieve ontluiting van moerassen en landschap  
 Recreatief medegebruik is mogelijk en wenselijk in moerassen en landschap. Natuurlijke recreatieve mogelijkheden zijn vaak aanwezig in moerassen en landschap. Het is belangrijk om de mogelijkheden te benutten en de natuur te beschermen. Dit kan worden gedaan door de toegang te reguleren en de natuurontwikkeling te ondersteunen.

2. Recreatieve ontluiting van moerassen en landschap  
 Recreatief medegebruik is mogelijk en wenselijk in moerassen en landschap. Natuurlijke recreatieve mogelijkheden zijn vaak aanwezig in moerassen en landschap. Het is belangrijk om de mogelijkheden te benutten en de natuur te beschermen. Dit kan worden gedaan door de toegang te reguleren en de natuurontwikkeling te ondersteunen.

De bevoegdvervalsing wordt niet direct negatief beïnvloed door de aanleg van moerassen; wel zal uiteindelijk een verandering in vaststelling verwacht mogen worden.



## 7. ZEKERHEID VAN ONTWIKKELING EN VOORSPELLING

### 7.1 onzekerheden in de voorspelling

Het voorspellen van de mate van waterzuivering en de wijze van natuurontwikkeling is een onzekere zaak die afhangt van een groot aantal met elkaar samenhangende onzekerheden. Bij de voorspelling spelen de volgende onzekerheden een rol (zie ook figuur 3.8):

#### **moerasaanleg in de aanvoer**

1. aanvoer: De aanvoer van slib en nutriënten die het moeras zal belasten blijft onzeker. Vooral de aanvoer afkomstig van beeksystemen is moeilijk te voorspellen. Dit geldt ook voor de langere termijn.

2. moerasontwikkeling en verwijderingsefficiëntie: De verwijderingsefficiëntie hangt niet alleen af van ontwerpvorm en grootte maar vooral ook van de spontane verdere ontwikkeling na aanleg (ontwikkeling wortelstelsel, sedimentophoging, aangroei en afslag e.d.). De verwijderingsefficiëntie is op basis van de hydraulische belasting slechts globaal in te schatten; erg onzeker wordt deze schatting bij niet continue en sterk fluctuerende belastingen, vooral als deze hoger liggen dan de gewenste hydraulische belasting van ca 2 à 3 cm per dag. Ook is tot dusver te weinig onderzoek gedaan naar de verwijderingsefficiëntie bij een belasting met matig voedselarm oppervlaktewater (het lagere P, N-traject) en moerasaanleg in het meer en effect van algengraas (zie 4.1.). Naar verwachting bestaat er een exponentieel toenemend verband tussen de nutriëntenconcentratie en de verwijdering. De sedimentatie in bezinkingsputten is op basis van de slibfractie, sedimentaanvoer en verwachte stroomsnelheden te voorspellen. Op de langere termijn (bijvoorbeeld meer dan 20 jaar) kan de verwijderingsefficiëntie in vloeï- en infiltratievelden afnemen door het oprukken van het 'fosfaatfront', een gevolg van een toenemende verzadiging van de bodem met fosfor (Lijklema 1985). Er zal dan een herstelactie moeten worden uitgevoerd.

3. de bruto en netto sediment- en nutriëntbelasting van het meer: Naast de aanvoer die door het moeras wordt geleid zijn er andere bronnen die medebepalend zijn voor de totale nutriëntenbelasting van het meer. Ook de bodem is een bron voor slib en nutriënten. Het is te verwachten dat als de totale slibbelasting sterk afneemt de resuspensie van al aanwezig bodemmateriaal toeneemt. In niet P-beperkte systemen is een versterkte desorptie van fosfor te verwachten zodra de aanvoer van orthofosfaat sterk zou teruglopen. Er is al eerder op gewezen dat vooral in ondiepe slibrijke meren deze "fosfaatbuffer" een wezenlijke belemmering vormt in de eutrofiëringsbestrijding. Het uitputten van deze bodemvoorraad en daarmee de nettofosfaatvermindering kan erg lang op zich kan laten wachten.

4. de relatie nutriënten-algengroei-doorzicht: Voor enkele meren is deze relatie al geschat. Voor het Veluwemeer wordt een marge in de voorspelling van 50% aangehouden, de schatting blijft dus toch nog speculatief (Hosper e.a. 1986). Dit komt o.a. door de onderlinge concurrentie van algensoorten, de rol van zelfbeschaduwing, een sterk wisselende nutriëntbelasting gedurende het jaar en andere factoren.

5. de relatie doorzicht-vegetatie-zoöplankton-algengraas-doorzicht; Zodra het doorzicht toeneemt krijgen macrofyten weer een kans waardoor ook het zoöplankton en daarmee de algengraas en het doorzicht kunnen toenemen. Bovendien heeft de vegetatie een effect op de populatiesamenstelling van de snoek en deze weer op de brasem, waardoor ook weer het zoöplankton, de algengraas en het doorzicht beïnvloed worden. Daarnaast heeft de vegetatie een direct effect op het doorzicht, doordat het de resuspensie vermindert. Er is dus sprake van een aantal zelfversterkende relatieketens, die gaan werken zodra het doorzicht voldoende is voor de groei van macrofyten. Door van Vierssen e.a. 1986 is de concurrentie tussen het fytoplankton en de macrofyten al eens beschreven als een "alles of niets"-reactie, die misschien zelfs suggereert dat waterplanten het fytoplankton kunnen onderdrukken met remstoffen. Wanneer de macrofyten weer de overhand krijgen is al met al moeilijk te voorspellen.

Bij welke nutriëntbelasting het omslagpunt ligt en interessante aquatische vegetaties ontstaan is nog onzeker. De terrestrische vegetatieontwikkeling lijkt daarentegen op ecotoopniveau redelijk te voorspellen, aangezien de conditionerende factoren voedselrijkdom substraat en vocht-huishouding en hun invloed beter bekend zijn.

6. ontwikkeling avifauna: Het voorspellen van de avifauna ontwikkeling gebeurt op basis van de factoren vegetatiestructuur, aanwezigheid en bereikbaarheid van voedsel en rust. De vegetatiestructuur is redelijk voorspelbaar en hetzelfde geldt voor het voedselaanbod, voorzover dat niet uit ongewervelden van het heldere water bestaat. De bereikbaarheid van het voedsel is vooral afhankelijk van de waterdiepte en daarmee eveneens goed te voorspellen.

Rust blijft zomede de meest onzekere factor. Hoe groter de ontoegankelijkheid van het gebied voor recreanten en hoe strikter het beheer (m.n. de bewaking) hoe groter de rust die gegarandeerd kan worden. Terwijl de meeste eendachtigen en kleine moerasvogels zich vrijwel zeker zullen vestigen zodra biotoop en rust worden geboden is dit met de verstoringgevoelige grotere moerasvogels zeker nog niet het geval. Wel neemt de kans op hun vestiging toe naarmate het gebied groter is en aansluit bij andere natuurgebieden waar de beoogde soorten reeds voorkomen.

**moerasaanleg los van de aanvoer in het meer.**

Alle bovengenoemde onzekerheden gelden in principe ook voor de aanleg van een moerasgebied los van de aanvoer in het meer. Er worden echter een aantal schakels overgeslagen doordat vegetatie direct in het meer wordt aangeplant. Dit wil overigens niet zeggen dat daarmee de mate van zekerheid van de beoogde waterzuivering is toegenomen. Het moment waarop de aanplant zich spontaan verder ontwikkelt, hangt namelijk af van de verbetering van het doorzicht en daarmee van de concurrentiepositie van de macrofyten ten opzichte van het fytoplankton.

Aangezien deze concurrentiepositie in eerste instantie matig tot slecht is, moet een spontane ontwikkeling zoveel mogelijk worden ondersteund met kunstgrepen. Daartoe behoort niet slechts de aanplant maar ook het bieden van luwte ten opzichte van wind (singels), golven (zandbanken, drijfbalken etc) en slib (bergingsputten). De nulsituatie, ofwel het reinigend vermogen van open water is vaak niet bekend, de algengraas moeilijk in te

schatten en het effect van de aanplant op de slibhuishouding lokaal en uiterst moeilijk te berekenen. Kortom de verwijderingsefficiëntie is moeilijk voorspelbaar.

#### concluderend

Er is eigenlijk sprake van een niet-graduele "alles-of niets" situatie, die is opgebouwd uit twee fasen. Een eerste fase waarin hoofdzakelijk waterzuivering als een gevolg van abiotische processen plaatsvindt en door verwijdering door aangeplante vegetatie; en een 2e fase waarin door meerdere zelfversterkende terugkoppelingsmechanismen met name ook "biologisch zelfreiniging", zoals algengraas en vegetatiegroei een rol spelen. Het moment waarop de eerste in de tweede fase over zal gaan is moeilijk te voorspellen. De overgang kan wellicht door tijdelijke beheersmaatregelen worden overbrugd, waarmee dan de zekerheid van een inzetten van de tweede fase toeneemt. Enkele van deze tijdelijke maatregelen zijn bijvoorbeeld:

-uitzetten van snoekbaars, zodat via deze weg de populatiesamenstelling van snoek gunstig wordt beïnvloed

-afvissen van brasem, waardoor de hoeveelheid zoöplankton kan toenemen

-een voortdurend herstel van de beplanting als deze het opgeeft of eventueel gebruik van (tijdelijk) kunstmatige refugia, b.v. netten etc.

-een éénmalige grote doorstroming zodra er sprake is van een neerslagoverschot (in een nat jaar) zodat de verblijftijd van het water sterk wordt verkort en de dominantie van de alg *Occilatoria agardii* doorbroken kan worden.

Bij voorkeur dienen al deze maatregelen tergelijktijd te worden uitgevoerd voor een maximaal zeker en beoogd effect. Mogelijk moet ook op langere tijd nog met dit soort maatregelen worden bijgestuurd en kan daarmee de zekerheid van het beoogde resultaat toenemen. Dat deze omslag überhaupt plaats kan vinden en de nieuwe evenwichtssituatie kan worden gehandhaafd zonder een uitgebreid pakket van beheersmaatregelen is echter van groter belang dan het moment waarop dit zal gebeuren.

#### 7.2.korte en lange termijn, minimale en maximale voorspelling

Vanwege een groot aantal lange termijn effecten, zoals bosontwikkeling, spontane aangroei delta, fosfaatverzadiging van de bodem etc. is een onderscheid tussen een voorspelling op de korte en op de lange termijn wenselijk.

Omdat de ontwikkeling slechts met grote onzekerheid voorspeld kan worden is een minimale en een maximale voorspelling noodzakelijk. De minimale voorspelling kan daarbij uitgaan van een te verwachten direct zuiveringsresultaat bij een gegeven aanlegvorm en -grootte, dus een vermindering van de externe nutriëntbelasting maar spreekt zich niet uit over een vermindering van de interne belasting door toenemende algengraas en vegetatiegroei als gevolg van een verminderde externe belasting. Een maximale voorspelling gaat daarentegen wel uit van een indirecte vermindering van de interne belasting. Op soortgelijke wijze kunnen ook voor de



## 8. TECHNISCHE EN FINANCIËLE ASPECTEN VAN AANLEG, ONDERHOUD EN BEHEER

### 8.1. technische aspecten

#### **aanleg**

De aanleg van een moerasgebied in een meer zal in vele gevallen een verondieping vergen. Dit kan door depositie of opspuiten van bagger of ander bij voorkeur in de directe omgeving gewonnen substraat. Er kan hierbij in fasen worden aangelegd, b.v. door gebruik te maken van de jaarlijkse noodzakelijke uitbaggering van vaargeulen. Opspuiten in open water leidt tot tijdelijke grote vertroebeling van het water. De opgespoten substraten zijn o.h.a. zeer compact en gelaagd zodat vooral de ontwikkeling van diepwortelende soorten (bomen en struiken) wordt onderdrukt (zie o.a. Fiselier e.a. 1986 en Haans 1984).

In principe is het mogelijk gebruik te maken van natuurlijke sedimentatieprocessen door invangen van sedimentstromen (b.v. afkomstig van rivieren, beken of door opwerveling). Deze sedimentatie en aangroei kan gestimuleerd worden door de aanleg van wilgehout, beschoeiingen, verondiepingen e.d. die beschutting geven en de golfinvloed verminderen.

Mogelijkheden voor een natuurlijke aanwas zijn aanwezig in de monding van slibrijke rivieren (bijvoorbeeld Eem en IJssel) en eventueel in de luwte van eilanden (zie 3.2.1. en figuren hsft 4). De aanleg kan op deze wijze tientallen jaren vergen. Natuurlijke aangroei zal hoofdzakelijk slibrijke en voedselrijke ondergrond opleveren, met opspuiten en opbrengen per as heeft men ook de mogelijkheid voedselarmere en minder erosiegevoelige zanden te gebruiken. Bij aanslibbing moet rekening worden gehouden met toxische stoffen.

Wel moet hierbij erosie en afslag worden voorkomen. Dit kan door een al of niet in de vorm van compartimenten aan te leggen oeverbescherming welke kan bestaan uit stenen, grof zand (als zandbanken), rijshout, wilgematten of een combinatie van beschoeiing, drijfbalken en oevervegetatie (zie o.a. Kampf 1981, Sipkes 1982).

De terrestrische delen (zoals dijken, dammen, eilandjes, etc.) kunnen worden opgespoten of gestort. Beide technieken hebben consequenties voor het substraat wat betreft compactie, gelaagdheid en zomede voor de vegetatieontwikkeling.

#### **inrichting**

Bij het inrichten van het gebied moet niet alleen rekening worden gehouden met noodzakelijke oeverbescherming en beheer, maar ook met de gewenste recreatieve zonering en ontsluiting (ev. bevaarbaarheid) van het gebied. Mechanisch maaibeheer van biezenvelden vergt de aanleg van berijdbare compartimenteringsdammen van voldoende breedte (tot 8 m). De recreatieve zonering kan bestaan uit hekken en rasterwerk, maar ook uit vegetatieve afscherming (doornstruiken), open water en zompig moeras. De ontsluiting van het moeras zelf zal waarschijnlijk moeten bestaan uit een verharde weg ten behoeve van beheer en onderhoud, en eventueel wandel- en fietspaden en andere recreatieve inrichting, zoals aanlegsteigers, picknicplaatsen, bewegwijzering etc. Ook moet worden voorzien in peilbeheersingswerken (stuwen, schotten, overloopconstructies, duikers) en voor het

beheer noodzakelijke gebouwen en materieel.

Voor wat de aanplant betreft kan worden gekozen voor een monocultuur van riet of biezen of eventueel een spontaan gegroeide gevariëerde vegetatie. Tot dusver is er geen ervaring opgedaan met de aanplant en het beheer van andere monoculturen zoals b.v. kroos, waterpest; echter wel met waterzuivering door natuurlijke moerassen (zie tabel 3.1). Zo werden goede zuiveringsresultaten bereikt met een Carex-Salix moeras (Tilton & Kadlec 1979). In enkele gevallen zijn ook kunstmatige cascades ontwikkeld met lisdodde, riet, zeggen e.d. Riet is overigens veel minder beheersintensief dan biezen; het is namelijk droogte- en vorstresistent, stelt weinig eisen aan bodemtextuur en kan goed tegen verontreiniging en fluctuaties in waterpeil (de Maeseneer & Verhoeven 1984). Biezen zijn daarentegen gevoelig voor waterpeilschommelingen, maar leveren meer geld op.

Het planten van riet wordt over het algemeen gedaan bij vochtig/droge omstandigheden door het inzetten van rhizoomstukken (de Maeseneer 1985). Hierna kan een geleidelijke waterpeil-verhoging worden doorgevoerd die de vegetatiegroei op de voet volgt. Het planten van riet in open water kan in principe gebeuren door middel van volledige rietzoden, die door een puur vegetatieve ontwikkeling zich vrij snel uit kunnen breiden vermits er optimale omstandigheden heersen (ondiep rustig water). Biezen kunnen ook bij open water spontaan tot ontwikkeling komen, en dat geldt natuurlijk ook voor alle submerse en drijvende waterplanten.

#### beheer en onderhoud

Het beheer van moeras kan op verschillende wijze plaats vinden. Riet wordt in kunstmatige zuiveringsmoerassen in een aantal gevallen meermaals per jaar gemaaid, maar meestal slechts éénmaal per jaar gedurende een vorstperiode in de winter. Vaak wordt hierbij het rietveld drooggezet om het maaien te vergemakkelijken. Probleem in de winter is evenwel de geringe afvoer van nutriënten vanwege de translocatie. Het maaien bij een geringe waterdiepte b.v. met aangepaste voertuigen, of vanuit een maai-boot leverde in Zuid-Flevoland in een aantal gevallen problemen op met de hergroei in het voorjaar. Een verstikking van de onder water geraakte/gedrukte gemaaide stengels was daarvan de oorzaak. Naar verwachting behoeft een rietveld niet noodzakelijkerwijs elk jaar te worden gemaaid en zou men zich kunnen beperken tot die winters die ideale omstandigheden voor het maaien bieden (langdurige vorst) teneinde de vegetatie zoveel mogelijk van vertrapping en verrijding te verschonen. Op het ogenblik wordt door de RIJP ook een brandbeheer nader onderzocht op regeneratie van de vegetatie in het voorjaar. Fosfor wordt op deze wijze echter niet afgevoerd.

Riet en biezen kennen een aantal natuurlijke vijanden, waaronder ganzen, muskusratten en konijnen; de laatste kunnen slechts zeer moeilijk worden geweerd. Muskusratten vormen ook een probleem voor dijken en oevers die door hen worden ondermijnd. Ook periodiek optredende plagen moeten worden bestreden; zodra de aanwezigheid van wortelboorder wordt vastgesteld wordt vaak direct tot afbranden besloten zodat de vegetatie zich vanuit de wortelstokken weer kan ontwikkelen. In biezenvelden moet men vaak het dominantere riet bestrijden. Over het beheer van andere monoculturen is niet veel bekend, maar zal kunnen bestaan uit maaien van emerse, afschep-pen van drijvende, en eventueel baggeren van submerse vegetatie. Vroeger

werd bijvoorbeeld krabbescheer als groenbemester geogst.

Het beheer van natuurlijke moerassystemen beperkt zich meestal tot gedeeltelijk éénmaal in het najaar maaien. In het geval van de Oostvaarders Plassen wordt ook meerdere jaren niet gemaaid en zorgt een fluctuatie in waterpeil en graas door ganzen voor het open houden van de plassen.

## 8.2. Kosten en baten

### aanleg

De aanlegkosten worden hoofdzakelijk bepaald door grondverwerving, grondverzet, aanleg van oeverbescherming en de inrichting bestaande uit duikers, pompen, bijgebouwen, wegen e.d. In gevallen waarbij volledig in open water wordt aangelegd speelt de verwerving van grond waarschijnlijk slechts voor de ontsluiting een rol. De kosten van het grondverzet zijn vooral afhankelijk van de beschikbaarheid van geschikt substraat in de directe omgeving en de hoeveelheid op te spuiten materiaal. Kosten voor opspuiten variëren tussen de 3 en 10 gulden/m<sup>3</sup> al naar gelang de locatie en de hoeveelheid materiaal. De benodigde hoeveelheden kunnen bij aanleg sterk variëren afhankelijk van de waterdiepte en moerastype. Het per as aanvoeren is bij kleine hoeveelheden goedkoper dan opspuiten.

De oeverbescherming kan erg prijzig zijn. De aanleg van beschoeiingen kost tot 150 gulden per meter, het neerzetten van steenblokken, gobimatten is duurder (palenbeschoeiing tot 500 gulden per m). Oeverbescherming in de vorm van halfopen beschoeiingen en oevervegetatie is goedkoper en flexibeler. In geval van infiltratievelden kan ook het inbrengen van drainage buizen duur zijn.

De kosten van aanleg kunnen aanzienlijk worden verminderd als gebruik kan worden gemaakt van baggerslib afkomstig uit de vaargeulen. In het Veluwerandmeren ligt op het ogenblik 500.000 m<sup>3</sup> baggerslib die nodig moet worden verwijderd en gebruikt kan worden voor de aanleg van moerassen. Ook een natuurlijke aanleg door sedimentatie is goedkoper.

### inrichting

Het inplanten van riet en biezten kost respectievelijk ca 1000 en 1500 gulden per ha. Het planten van riet in open water is waarschijnlijk duurder. Een spontane ontwikkeling van moerasvegetatie kost niets maar duurt veel langer. Rasters en hekwerken kosten ca 5-10 gulden/m, inrichting picknicplaatsen e.d. ca 20 gulden/m<sup>2</sup>. Wandel- en fietspaden kosten respectievelijk 0-20 en 10-50 gulden/m.

### beheer en onderhoud

De kosten van beheer bestaan vooral uit het maaien van de vegetatie en het onderhoud aan wegen, dijken, oeverbescherming en aanwezige gebouwen (incl. gas en licht) en andere kunstwerken. Voor de laatste wordt meestal uitgaande van de levensduur een vervangings/onderhoudspercentage op jaarbasis gerekend (gebouwen ca 2%, materieel 20%).

Het maaien kost bruto tussen de 1000 en 2000 gulden per ha. In de meeste gevallen worden de maaikosten door de opbrengst van het gewas bestreden. Dit geldt m.n. voor biezten, die tot meer dan het dubbele van de maaikosten kunnen opleveren als zij van goede kwaliteit zijn (tot 8.000 gulden/ha); riet kan tot 2000 gulden/ha opleveren. Gebruiksmogelijkheden van andere planten zijn niet bekend; wellicht dat kroos te gebruiken is als groenbemester (al dan niet gecomposteerd), als veevoer (na een voorbehandeling) en voor de productie van biogas.

In geval van grote, nieuwsoortige proefsituaties kan het gewenst zijn te voorzien in wetenschappelijke ondersteuning en begeleiding. Verder is teneinde de rust te waarborgen van die delen die als natuurkerngebied worden aangemerkt is bewaking noodzakelijk. Deze post is groter naarmate het gebied dicht bij een bevolkingsconcentratie is gelegen, beter bereikbaar en minder goed gezoned is. De bewaking bedraagt voor de rustige Wieden ca 0,02 mensdag/ha.j en voor het minder rustige Nieuwkoop ca 0,1 mensdag/ha.j. Daarbij komen nog de kosten voor terreinbeheer dat toeneemt met het aantal recreanten en vooral bestaat uit herstelwerkzaamheden en vuilopruim.

Al met al liggen de totale beheerskosten van natuurlijk moerasgebied met een beperkt recreatief medegebruik ongeveer tussen de 500 en 2000 gulden per ha, terwijl de aanlegkosten kunnen variëren tussen ca 5.000 (vrijwel natuurlijk ontstaan) tot 25.000 gulden per ha (gemiddelde verondieping ca 0,5 meter incl. bekading maar zonder grondverwerving). Greiner en de Jong (1984) komen tot 30.000 gulden/ha (excl. grondkosten) voor vloeivelden met 4.500 gulden/ha aan exploitatiekosten per jaar; de aanleg en exploitatiekosten van infiltratievelden zijn grofweg het dubbele. Bij eenzelfde grondverzet en inrichtingskosten is een locatie in open water ca 20.000 gulden goedkoper dan op land vanwege de grondverwerving. Tabel 8.1 geeft een eerste inschatting van de aanleg en (gekapitaliseerde) beheerskosten van extensief en intensief beheerde vloeivelden. Voor de intensief beheerde vloeivelden is uitgegaan van 6 meter brede dammen en vloeivelden

vloeiveld type	grondverzet (in m <sup>3</sup> /ha*)	aanlegkosten (in f/ha*)	beheerskosten (in f/ha*.j)	totaal 1 (in f1000/ha*)	totaal 2 (in f1000/ha*)
intensief	3000	15-30.000	2000-4500	41-56 (73-88)	73-88 105-120)
extensief	1000	5- 10.000	500 -2000	11-16 (31-36)	35-40 55-60)

Tabel 8.1. Globale schatting van aanleg-, beheers- en totale kosten per natte hectare vloeiveld. De zandbehoefte is vooral ten koste van de compartimenteringsdammen en kost 5 to 10 f/m<sup>3</sup>. Voor de aanleg van een natte hectare intensief vloeiveld is ca 1,6 ha grondoppervlak nodig, voor een extensieve hectare slechts 1,2 ha. De aanlegkosten zijn verondersteld grotendeels voor rekening van het grondverzet te komen; immers kosten van inrichting (beplanting, duikers etc) zullen tussen verschillende typen vloeivelden minder sterk verschillen. De beheerskosten zijn gekapitaliseerd door middel van factor 13. De grondverwervingskosten zijn gesteld op f 20.000/ha. Totaal 1 en totaal 2 zijn respectievelijk de totale aanleg- en gekapitaliseerde beheerskosten met minimale en maximale beheerskosten. De bedragen tussen haakjes zijn inclusief grondverwerving.





BV=beziukingsveld; sediment komt door verruiming in de breedte tot bezinking; hierbij treedt aangroei en omvorming op; wateraanvoer kan onregelmatig zijn; het waterpeil is over de waterloop.

van 10 meter breed zodat een mechanisch beheer mogelijk is. Voor de extensief beheerde vloeivelden is uitgegaan van 4 meter brede dammen en velden van gemiddeld ca 20 meter breed; het beheer bestaat hierbij uit het incidenteel maaien en afvoeren tijdens daarvoor erg gunstige omstandigheden (b.v. langdurige vorst).

Uit deze tabel blijkt dat voor de prijs van een intensief vloeiveld altijd tenminste 2 ha extensief vloeiveld kan worden aangelegd; bij aanleg in het meer (dus exclusief grondverwerving) zelfs tenminste 2,5 ha. Vallen de beheerskosten van het intensieve vloeiveld tegen, bijvoorbeeld biezten zijn op de langere termijn misschien minder verkoopbaar, en/of vallen de beheerskosten van de extensieve vloeivelden mee bijvoorbeeld door veel zelfregulatie e.d. dan bedraagt de verhouding zelfs 1 op 4 tot 6. Dit betekent dat extensieve vloeivelden waarschijnlijk uit oogpunt van de kosten altijd voordeliger zijn dan intensieve vloeivelden bij een zelfde zuiveringsresultaat. Immers de hydraulische belasting op de extensieve velden kan tot minder dan 50% van die van de intensieve vloeivelden bedragen bij de zelfde kosten (zie ook figuur 4.1.).

Op de langere termijn moet men echter rekening houden met hogere beheerskosten vanwege een uitgroeiend moeras, eventueel een toenemende recreatiedruk, maar vooral vanwege een toenemende groei van waterplanten. Vooral drijvende en submerse vegetatie kan een belemmering zijn voor de de recreatie, zodat voor het openhouden van water extra beheer noodzakelijk zal zijn.

#### baten

Naast de waterzuivering en de natuurbaten heeft een moerasaanleg ook nog andere baten, m.n. recreatief (met een mogelijke spinoff naar horeca), landschappelijk (eventueel zelfs leidend tot een grondprijsverhogend effect), baten van de oogst van riet en biezten, eventuele voorzuivering drinkwaterwinning. Een vergroting van het doorzicht in het meer leidt tot een andere visgemeenschap waarbij snoekbaars en brasem grotendeels vervangen kunnen worden door snoek, blankvoorn en paling(?). Snoek is echter als consumptievis minder gevraagd dan snoekbaars, die zo'n 35 gulden/kg (?) oplevert bij export.

#### resumé

Uit oogpunt van de kosten en natuurontwikkeling lijkt een extensiever vloeiveldensysteem te preferen boven een intensief systeem. Onder bepaalde omstandigheden kan wellicht een combinatie van beiden worden nagestreefd, bijvoorbeeld als verwacht mag worden dat de beheerskosten zich zelf op kunnen leveren.

## 9. DRIE VORMEN VAN SYNTHESE

### 9.1. Inleiding

Een moeras voor de ontwikkeling van natuur en zuivering van water kan op vele verschillende wijzen worden aangelegd. In principe kan een spectrum van volledige natuurlijk tot volledig kunstmatige systemen worden ontworpen; de aspecten van kunstmatige en natuurlijke systemen zijn in de voorgaande hoofdstukken besproken. In dit hoofdstuk wordt getracht te komen tot een eerste voorselectie van een beperkt aantal realistische en kansrijke moerastypen als mogelijke vormen van synthese tussen waterzuivering en natuurontwikkeling. De voorgestelde ontwerptypen lijken weliswaar grootschalig van aard, maar zijn in principe schaalloos en in delen uit te voeren.

Voor een eerste indeling wordt, analoog aan de bespreking van de maatregelen, een pragmatisch onderscheid gemaakt tussen 'in de aanvoer' en 'los van de aanvoer' in het meer gelegen moerassen. Maatregelen die slechts de bron en de aanvoer betreffen worden niet verder besproken.

### 9.2. Synthese /eerste ontwerptypen.

In hoofdstuk 4 en 5 zijn mogelijke bouwstenen voor moerassen behandeld, een aantal daarvan blijkt goed samen te kunnen gaan, een paar zijn niet verenigbaar. Een aantal ontwerpmogelijkheden wordt niet verder in beschouwing genomen, dit zijn:

-infiltratievelden, hun aanleg is duur, er is geen natuurlijke ontwikkeling mogelijk en de ontwikkeling van natuurwaarden is beperkt, bovendien kunnen zij alleen worden aangelegd als er een aanzienlijk peilverschil tussen aanvoerhoogte en meerpeil is

-windsingels waarbij grotere meren worden gecompartmenteerd, hun aanleg is duur en gaat moeilijk samen met veel andere functies van meren zoals de vaarrecreatie en de scheepsvaart, bovendien zijn windsingels effectiever wanneer aangelegd op de ondiepere delen langs de oevers

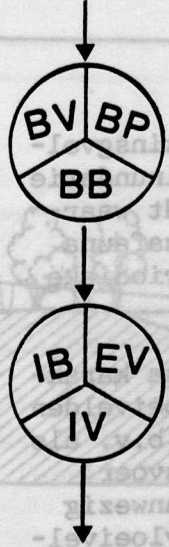
-rietvelden los van de oever, hun zuiverend effect is waarschijnlijk niet groter dan van langs de oever gelegen rietvelden terwijl hun aanleg duurder is en de mogelijkheden voor natuurlijke vorming en natuurontwikkeling beperkt

Uiteindelijk ontstaan door een samennemen van diverse ontwerpvariabelen drie sterk van elkaar verschillende ontwerprichtingen:

**in de aanvoer gelegen**

-een gesloten gecompartmenteerd vloeivelden systeem met zo mogelijk een overloop- en een omloopsysteem (zie figuur 9.1)

Dit moerassysteem is gericht op waterzuivering door bezinking, opname en verwijdering van vegetatie en denitrificatie, maar maakt geen gebruik



BV=bezinkingsveld; sediment komt door verruiming in de breedte tot bezinking; hierbij treedt aangroei en omvorming op; wateraanvoer kan onregelmatig zijn; het waterpeil is over kortere tijd constant de afvoer onregelmatig.

BP=bezinkingsput; sediment komt door verruiming in de diepte tot bezinking; wateraanvoer kan onregelmatig zijn, het waterpeil is over kortere tijd constant en de afvoer is onregelmatig

BB=bergingsbassin voor de opslag van pieken; ook sediment kan tot bezinking komen; waterafvoer constant of vertraagd. (opslag in de winter, doorvoer in de zomer)

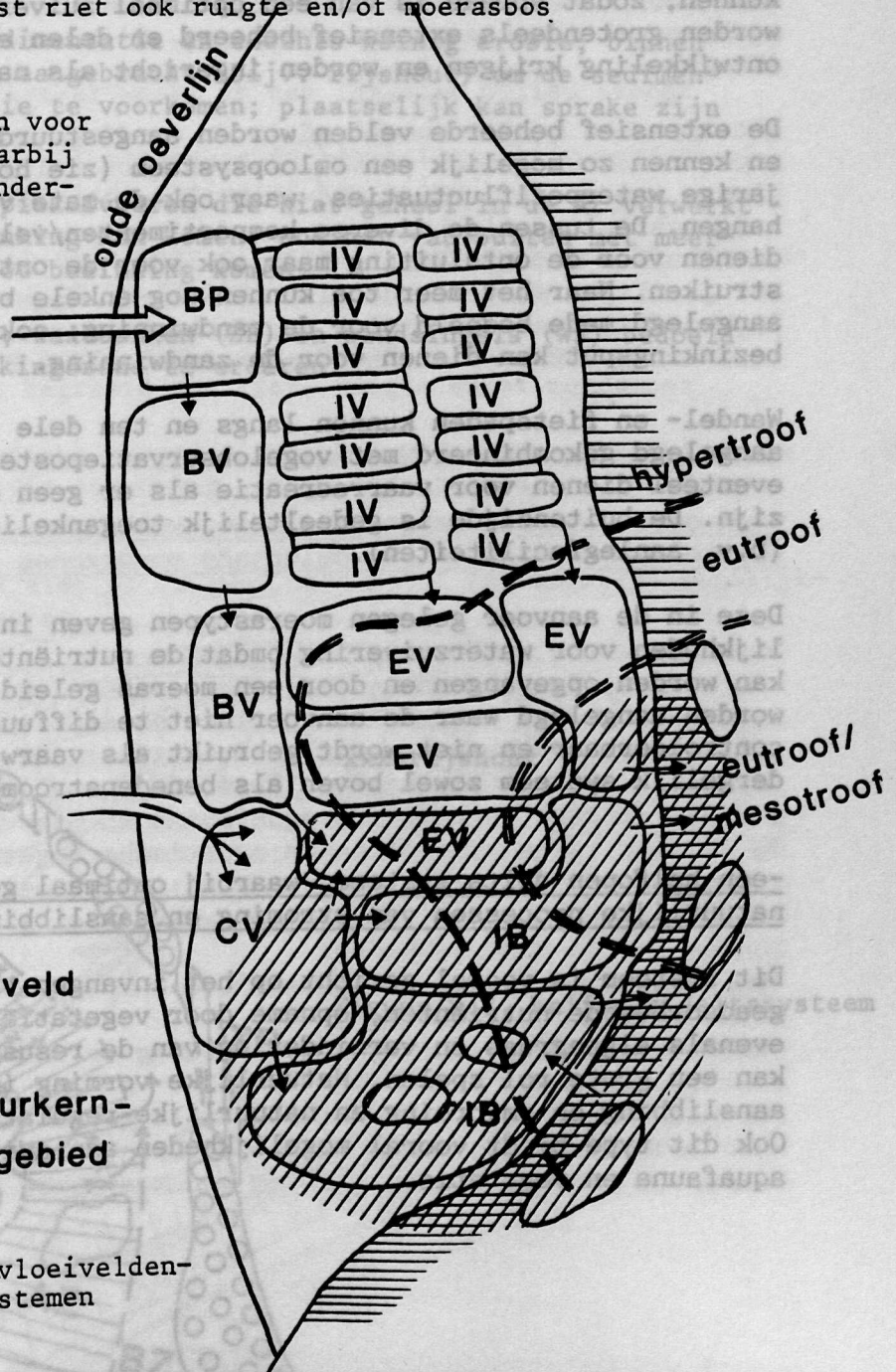
IV=intensief vloeiveld; continue aanvoer, intensief beheerd riet- en/of biezenveld; constante waterpeilen en afvoer, vooral op zuiveringsresultaat gericht.

EV=extensief vloeiveld; continue aanvoer, extensief beheerd riet- en of biezenveld of andere vegetatie (b.v. moerasbos); constante waterpeilen en afvoer, mede gericht op natuurontwikkeling, mogelijk langjarige peilfluctuaties.

IB=inundatiebassin; periodieke tot incidentele aanvoer, onregelmatige waterpeilen en een onregelmatige afvoer afhankelijk van zuiveringsresultaat en natuurontwikkeling; naast riet ook ruigte en/of moerasbos

**OMLOOPSTELSTEEM:**

BV/BP en EV bieden mogelijkheden voor langjarige peilfluctuaties, waarbij verschillende velden/bassins onderling in fase verschillen.



Figuur 9.1. gecompartmenteerd vloeiveldenstelsysteem; overloop- en omloopstelsystemen

van algengraas. Een natuurlijke vorming blijft beperkt (in bezinkingsvelden) wel zijn er mogelijkheden voor natuurlijke regulatie (door inundatie en langjarige waterpeilschommelingen). Een dergelijk systeem biedt waarschijnlijk goede mogelijkheden voor avifauna, maar minder aan aquafauna en vegetatieontwikkeling vanwege de hoge nutriëntbelasting en periodieke droogstand.

Het systeem bestaat uit een bezinkingsput of -veld en meerdere qua karakter verschillende vloeivelden. Men kan onderscheid maken naar vloeivelden met een continue doorstroming en een eventueel intensief beheer (b.v. als biezenveld) en vloeivelden die incidenteel afhankelijk van de aanvoer worden overstroomd. Daarnaast kunnen ook enkele bergingsvelden aanwezig zijn om de grootste pieken op te vangen en door te geven aan de vloeivelden. Hiermee kan niet alleen een tijdelijk te grote belasting van de vloeivelden worden voorkomen, maar kan ook water in de wintertijd worden opgeslagen, zodat het tijdens het groeiseizoen biologisch gereinigd kan worden. Het oppervlak van de intensief beheerde velden dient zo gekozen te zijn dat bij gemiddelde aanvoeren een optimaal zuiveringsresultaat wordt bereikt. De overige vloeivelden dienen de piekaanvoeren aan te kunnen, zodat sprake is van een optimaal zuiveringsresultaat. Deze velden worden grotendeels extensief beheerd en delen ervan kunnen een moerasbosontwikkeling krijgen en worden ingericht als natuurkerngebied.

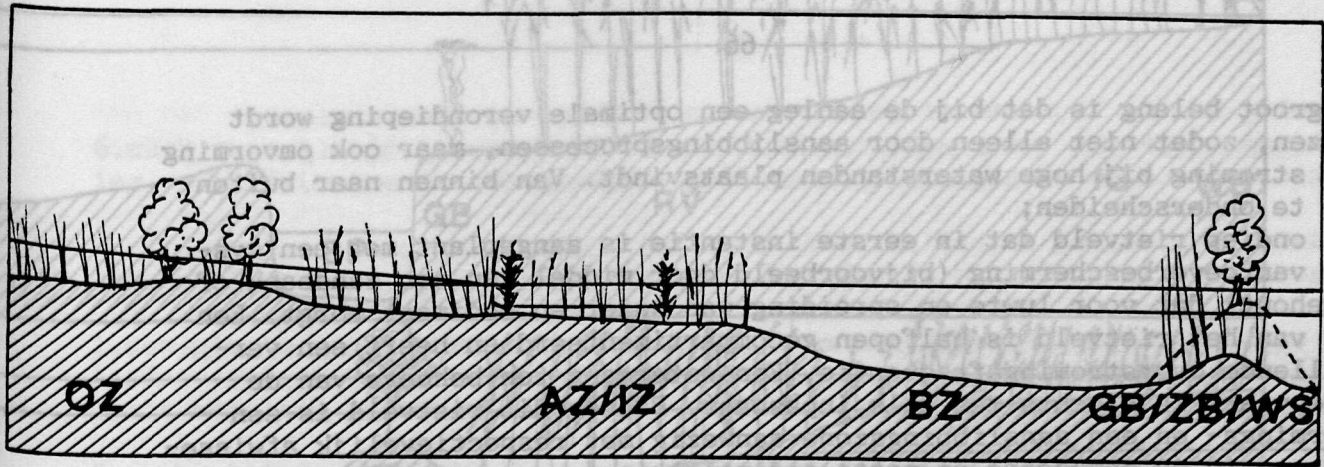
De extensief beheerde velden worden aangestuurd met een overloopstelsel en kennen zo mogelijk een omloopstelsel (zie hoofdstuk 4 en 5) met langjarige waterpeilfluctuaties, waar ook de mate van doorvoer mee samen kan hangen. De tussen de diverse compartimenten/velden gelegen dijklichamen dienen voor de ontsluiting maar ook voor de ontwikkeling van bos en struiken. Naar het meer toe kunnen nog enkele bezinkingsputten worden aangelegd mede bedoeld voor de zandwinning; ook de in de aanvoer gelegen bezinkingsput kan dienen voor de zandwinning.

Wandel- en fietspaden kunnen langs en ten dele in het gebied worden aangelegd gekombineerd met vogelobservatieposten. De bezinkingsput kan eventueel dienen voor vaarrecreatie als er geen milieuhygiënische bezwaren zijn. De buitenzijde is gedeeltelijk toegankelijk voor de vaarrecreatie (b.v. aanlegfaciliteiten).

Deze in de aanvoer gelegen moerastypen geven in principe de beste mogelijkheden voor waterzuivering omdat de nutriëntenaanvoer geconcentreerd kan worden opgevangen en door een moeras geleid. Zij kunnen vooral daar worden aangelegd waar de aanvoer niet te diffuus is en in redelijke mate controleerbaar en niet wordt gebruikt als vaarwater. In principe kan een dergelijk systeem zowel boven als benedenstrooms worden aangelegd.

-een halfopen delta systeem, waarbij optimaal gebruik wordt gemaakt van natuurlijke processen van stroming en aanslibbing (zie figuur 9.2)

Dit systeem is vooral gericht op het invangen van sediment en de daaraan geadsorbeerde nutriënten, opname door vegetatie is van minder belang evenals algengraas en vermindering van de resuspensie. Ook denitrificatie kan een grote rol spelen. Natuurlijke vorming is goed mogelijk door aanslibbing en omvorming en natuurlijke regulatie slechts door inundatie. Ook dit type biedt vooral mogelijkheden aan avifauna en minder aan de aquafauna en vegetatie.

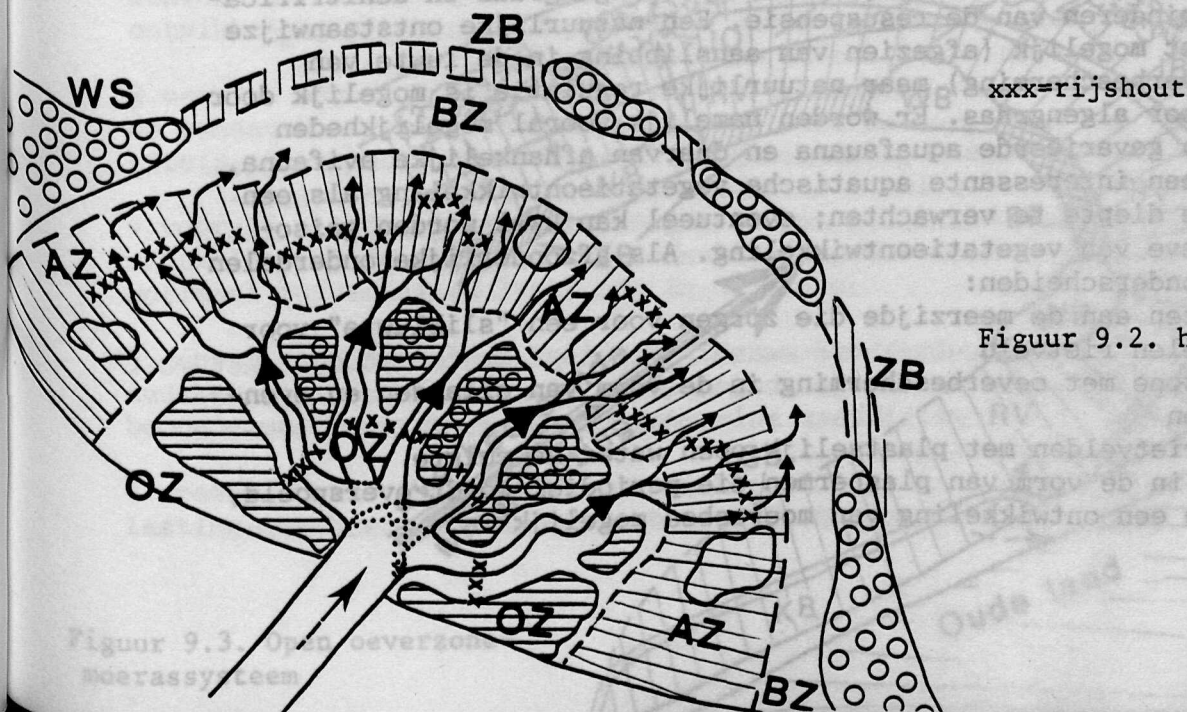


OZ=omvormingszone, waarin afwisselend erosie en sedimentatie afhankelijk van de variatie in de aanvoer, maar niet per sé netto sedimentatie (afgezien van de zandfractie); binnen deze zone komen gradiënten voor in textuur en inundatiefrequentie; de begroeiing bestaat zowel uit riet als moerasbos; door rijshout en andere constructies kan het proces van omvorming enigzins gestuurd worden; van te voren kan desgewenst een verondieping plaats vinden.

AZ/IZ=aanslibbingszone met netto sedimentatie en slechts weinig erosie; binnen deze rietvelden zijn golfbrekers aangebracht (bijv. rijshout) om de sedimentatie te bevorderen en resuspensie te voorkomen; plaatselijk kan sprake zijn van periodieke inundatie (IZ).

BZ=bezinkingszone, waar vooral bij piekafvoeren die niet geheel in de AZ verwerkt kunnen worden, sediment tot bezinking kan komen; ook het van buiten met meerwater meegekomen slib kan hier tot bezinking komen.

GB/ZB/WS= zone met golfbrekers (GB), zandbanken (ZB) en windsingels (WS) bedoeld om voldoende luwte voor de bezinkingszone te creëren.



Figuur 9.2. halfopen deltasysteem

Van groot belang is dat bij de aanleg een optimale verondieping wordt gekozen, zodat niet alleen door aanslibbingsprocessen, maar ook omvorming door stroming bij hoge waterstanden plaatsvindt. Van binnen naar buiten zijn te onderscheiden;

- een ondiep rietveld dat in eerste instantie is aangeplant met een systeem van oeverbescherming (bijvoorbeeld door middel van een zandbank of wilgehout) dat voor luwte en spreiding van water en sediment zorgt. Een deel van het rietveld is halfopen gecompartmenteerd en heeft een verschillende overstromingsfrequentie. Een watergang ten behoeve van de scheepvaart is slechts ten dele inpasbaar. Binnen dit rietveld is een omvormings- en een aanslibbingszone aanwezig met respectievelijk afwisselend erosie en denudatie en netto sedimentatie.

- een diepere bezinkingszone voor het invangen en vastleggen van slib dat niet in de aanslibbingsvelden is ingevangen (bijv. bij hoge piekafvoer)

- een onderbroken buitenring die bestaat uit een complex van bezinkingsputten, eilanden, rietvelden en oeverbescherming met een extensief beheer. In deze ring kan het natuurkerengebied worden aangelegd.

Er kan aan de landzijde en plaatselijk tot op de oeverbescherming gewandeld worden te combineren met vogelobservatie. Aan de meerzijde kunnen aanlegmogelijkheden worden geschapen. Figuur 4.x geeft een impressie van dit type.

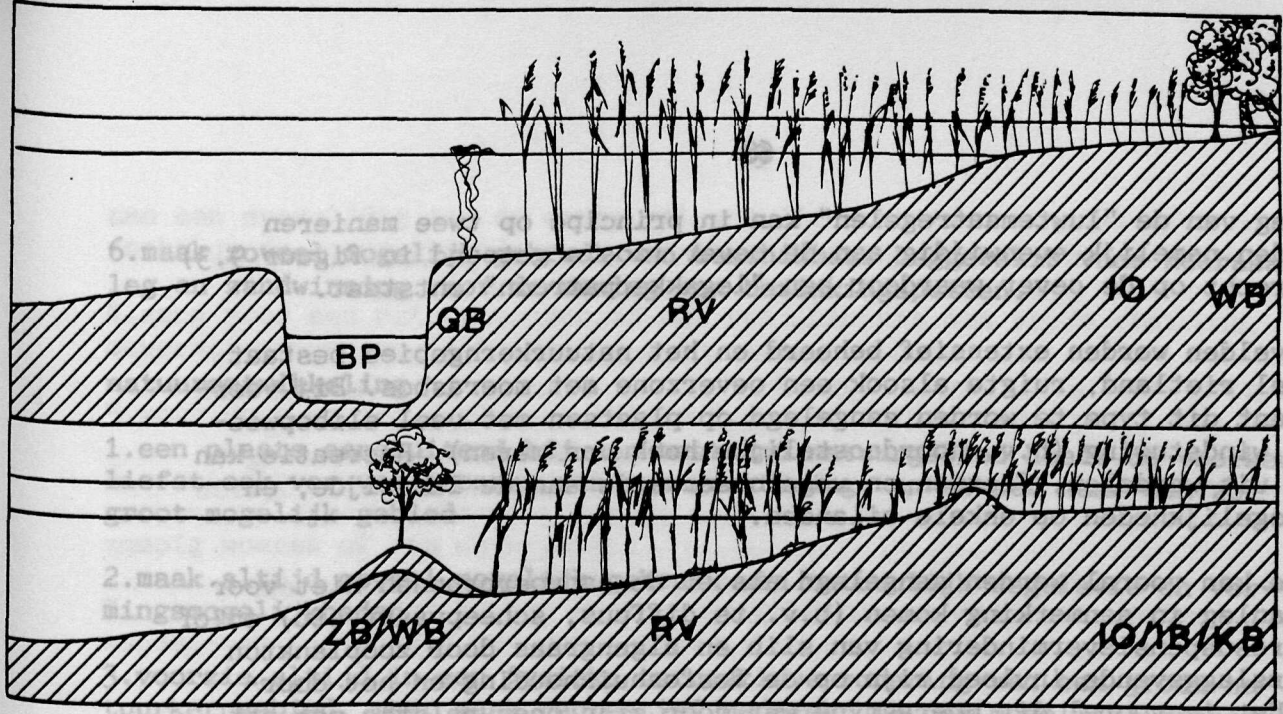
Dit type kan worden aangelegd in de monding van beken en rivieren met een grote sedimentaanvoer vooral als een vloeiveldensysteem bovenmatig veel plaats zou vergen. Ook dit type verdraagt zich slecht met scheepvaart; er zijn echter mogelijkheden om een deel van vooral de piekafvoer via een overloop in dit systeem te leiden, zodat toch een aanzienlijk deel van het jaarlijks meegevoerde slib kan worden ingevangen. Een andere mogelijkheid is een uitbreiding van de bezinkingszone en buitenring, zodat toch een groot deel van het meegevoerde slib in luwte kan bezinken.

**los van de aanvoer in het meer gelegen**

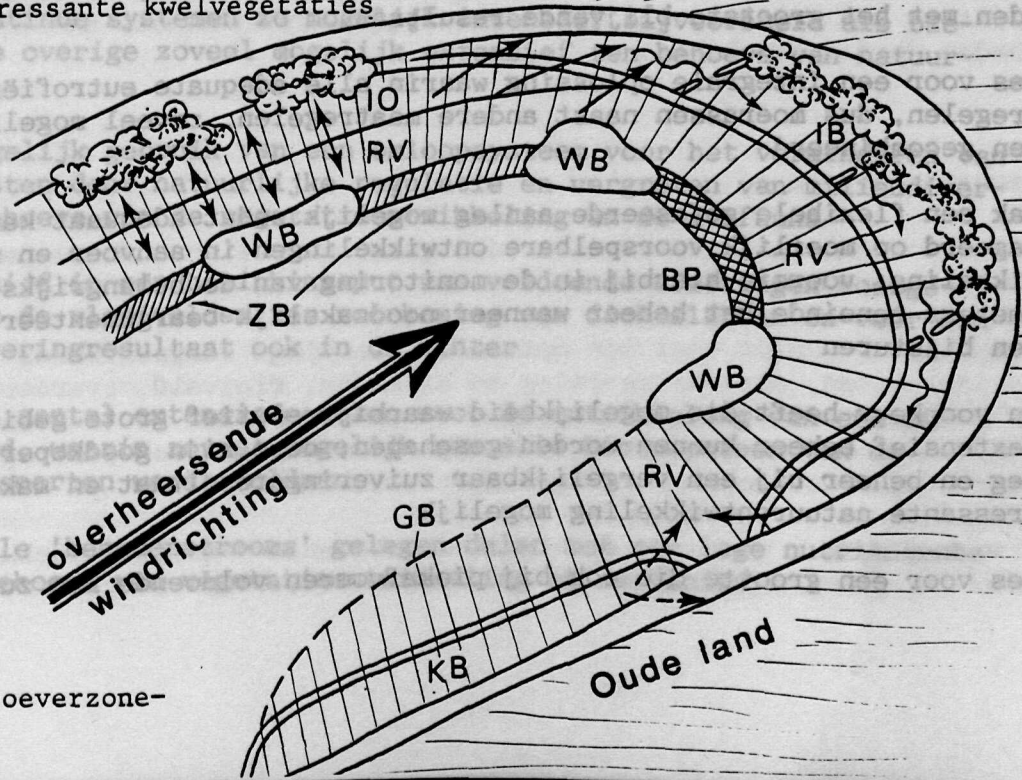
- een open oevermoerasysteem als een combinatie van bezinkingputten, rietvelden en brede flauw oplopende oeverzones (zie figuur 9.3)

Dit systeem is gericht op het vergroten van de algengraas en denitrificatie en het verminderen van de resuspensie. Een natuurlijke ontstaanwijze is nagenoeg niet mogelijk (afgezien van aanslibbing in de luwte van eilanden en oeverbescherming) maar natuurlijke regulatie is mogelijk door inundatie en door algengraas. Er worden namelijk vooral mogelijkheden geboden aan een gevariëerde aquafauana en daarvan afhankelijke avifauna. Op termijn is een interessante aquatische vegetatieontwikkeling als een zonering met de diepte te verwachten; eventueel kan kwel worden geïsoleerd ten behoeve van vegetatieontwikkeling. Als afzonderlijke onderdelen kunnen worden onderscheiden:

- bezinkingsputten aan de meerzijde die zorgen voor een "slibluwte" voor het te ontwikkelen rietveld
- een halfopen zone met oeverbescherming in de vorm van eilanden en eventueel zandbanken
- uitgesterkte rietvelden met plaatselijk open water en ruigte
- een oeverzone in de vorm van plasbermen die periodiek wordt overspoeld, waarop ten dele een ontwikkeling van moerasbos mogelijk is.



- BP=bezinkingsput, diepte afhankelijk van expositie
- GB=Golfbrekers welke kunnen bestaan uit rijshout, drijfbalken in een ligging parallel of loodrecht op de oevers
- ZB=zandbank die eveneens als een golfbreker werkt en een lagunair milieu schept
- WB=windbreker/singel welke kan bestaan uit hoogopgaande begroeiing (bijv.moerasbos) en zowel aan de meer- als aan de landzijde geplaatst kan zijn
- RV=rietveld gelegen in de golf- en slibluwte maar plaatselijk ook geëxposeerd, binnen- in een afwisseling van open water, riet en ruigte
- IO=inundatieoever, een flauw oplöpende oever die t.g.v. waterpeilschommelingen als gevolg van windstuwung overspoeld; begroeid met riet, ruigte en/of moerasbos
- IB=inundatiebasin, eveneens met periodieke overspoeling, het water kan echter langere tijd blijven staan, verdamping of via een omweg worden teruggeleid; begroeid met riet, ruigte en vooral moerasbos
- KB=basin voor de opvang van kwel, die niet of vrijwel niet wordt geïnundeerd; mogelijkheden voor interessante kwelvegetaties



Figuur 9.3. Open oeverzone-  
moerassysteem

De aanleg van de "luwtemaatregelen" kan in principe op twee manieren geschieden namelijk evenwijdig aan de oever (zoals getoond in figuur 9.3) en loodrecht op de oever waardoor een "legakkerpatroon" ontstaat.

De rietvelden worden extensief beheerd en het natuurkerngebied bestaat uit zowel rietland, ruigte alsook een oeverzone met moerasbos. Bij voorkeur dient dit type te worden aangelegd op plaatsen met veel slibopwoeiing en windstuwing (b.v. noordoostelijke hoek van meren). Recreatie kan bestaan uit wandelen, fietsen en vogelobservatie aan de landzijde, en aanlegmogelijkheden op enkele eilanden.

Dit type kan vooral worden aangelegd als er de aanvoerbronnen niet voor moerasaanleg in aanmerking komen (b.v. te diffuus, scheepvaart etc) en/of als de resuspensievermindering van slib en algengraas door zoöplankton van doorslaggevende invloed zijn op de fosfoshuishouding en het doorzicht. Het is vooral dit moerastype wat door zijn open relatie met het aangrenzende meer de functie van "trigger" kan vervullen, van een "kristallisatiepunt" waarom en vanuit waar het gehele watersysteem weer in een heldere evenwichtstoestand kan worden gebracht. Het oevermoeras kan daarom zowel als een doorlopende of onderbroken zone worden aangelegd op de meest gunstige plaatsen. Figuur 9.4 geeft een impressie van dit type.

### 9.3. Samenvattend, eerste richtlijnen

Aan de hand van het voorgaande selectie kunnen een aantal algemene richtlijnen en een aantal specifieke per ontwerprichting worden opgesteld:

#### ALGEMEEN

#### waterzuivering

1. kies voor elke situatie de meest adequate oplossing, dus een oevermoerassysteem waar resuspensie erg belangrijk is, een moerasdelta systeem waar veel sediment wordt aangevoerd en een gecompartmenteerd vloeivelden systeem voor de overige aanvoer, ofwel kies voor een accent op die maatregelen waarmee de belangrijkste effectketen het makkelijkst is te beïnvloeden met het grootste blijvende resultaat
2. kies voor een integrale oplossing waarin alle adequate eutrofiëringsmaatregelen, dus moerassen naast andere maatregelen, zoveel mogelijk worden gecombineerd
3. maak een flexibele gefaseerde aanleg mogelijk zodat adequaat kan worden gereageerd op moeilijk voorspelbare ontwikkelingen in aanvoer en moerasontwikkeling; voorzie hierbij in de monitoring van de belangrijkste parameters teneinde het beheer wanneer noodzakelijk beargumenteerd te kunnen bijsturen
4. een voorkeur heeft die mogelijkheid waarbij relatief grote gebieden met een extensief beheer kunnen worden geschapen; deze zijn goedkoper in aanleg en beheer bij een vergelijkbaar zuiveringsresultaat en maken een interessante natuurontwikkeling mogelijk
5. kies voor een grootte die ook bij piekafvoeren voldoende kan zuiveren



6. maak zoveel mogelijk gebruik van beschikbaar baggerslib voor moerasaanleg en zandwinning voor de aanleg van bezinkingsputten.

#### **natuurontwikkeling**

1. een plaats aansluitend bij een bestaand natuurgebied heeft de voorkeur, liefst ook ver van bronnen van rustverstoring, en streef naar een zo groot mogelijk gebied

2. maak altijd zoveel mogelijk gebruik van natuurlijk regulatie en vormingsmogelijkheden

3. voorzie altijd in een fysieke recreatieve zonering van een groot natuurkerngebied, maar maak recreatief medegebruik ook mogelijk. Binnen het kerngebied moet worden voldaan aan alle biotoopeisen van de beoogde soorten en het dient 'open' te zijn aan de meerzijde. De recreatieve zonering moet echter in zoverre flexibel zijn dat rekening kan worden gehouden met niet voorspelbare natuur- en recreatieve ontwikkelingen

4. zorg ervoor dat de status van het gebied als natuurgebied vooraf aan de aanleg geregeld is evenals het beheer, watergebruik alsook de beheers- en onderhoudskosten

5. voorkom botulisme door stagnant, voedselrijk en ondiep water zoveel mogelijk te vermijden.

#### **PER ONTWERPRICHTING**

##### **gesloten vloeiveldensysteem**

1. pas het oppervlak van de diverse eenheden aan op gemiddelde en piekafvoeren c.q. hydraulische belasting; dus intensief beheerde vloeivelden voor de gemiddelde afvoer en extensief beheerde vloeivelden en bergingsvelden voor piekafvoeren

2. gebruik continue systemen zo mogelijk intensief bijvoorbeeld als bienveld en de overige zoveel mogelijk extensief ten behoeve van natuurontwikkeling

3. maak zo mogelijk gebruik van een omloopsysteem voor het verminderen van de beheerskosten door natuurlijke regulatie en vergroten van milieudiversiteit ten behoeve van de vegetatieontwikkeling en de avifauna

4. voorzie altijd in een bezinkingsput van voldoende afmetingen voorgeschakeld voor de vloeivelden ter voorkoming van dichtslibben en voor een optimaal zuiveringresultaat ook in de winter

5. gebruik een aantal extensieve delen voor de ontwikkeling van een natuurkerngebied, waarin zoveel mogelijk aan alle biotoopeisen van de beoogde vogelsoorten wordt voldaan

6. creëer enkele 'benedenstrooms' gelegen delen met een lage nutriëntenbelasting ten behoeve van vegetatieontwikkeling en amfibieën

De aanleg van de "luwtelaanregelen" kan in principe op twee manieren

7. de meerzijde dient zo mogelijk halfopen te worden uitgevoerd met name ten behoeve van de aquatische interactie tussen meer en moeras

8. ten behoeve van de recreatie kunnen de intensievere vloeivelden en de bezinkingsput bereikbaar worden gemaakt, alsook overige delen met uitzondering van een kerngebied; de bezinkingsput kan eventueel worden ingericht voor hengelen en kleine vaarrecreatie, de meerzijde voor aanlegmogelijkheden en het overige gebied een wandelinfrastructuur met vogelobservatie posten

9. gebruik de bezinkingsputten zoveel mogelijk ook ten behoeve van de zandwinning om de aanlegkosten te drukken.

#### **deltamoerassysteem**

1. zorg voor een optimale luwte door middel van oeverbescherming, zandbanken en eilanden zodat een bezinkingsmilieu wordt geschapen

2. zorg voor voldoende verondieping (gem. ca 10cm beneden wp) zodat bezinkingsvelden eerder tot ontwikkeling komen en er meer natuurlijke omvorming op kan treden

3. zorg voor een gefaseerde aanleg waarbij flexibel kan worden ingesprongen op beschikbare bagger (b.v. vanuit vaargeulen)

4. gebruik oeverbescherming ook voor een optimale en flexibele spreiding van de aanvoer en voor de ontwikkeling van terrestische vegetatie voor het geven van luwte (b.v. bos) en als broedgebied

5. gebruik de rand van de delta voor de winning van grof substraat en tevens voor het maken van een onderbroken "bezinkingsring"

6. zorg in de rietvelden voor een aantal open plekken, verruigde delen en geïsoleerd gelegen eilanden als natuurkerngebied

7. gebruik begaanbare oeverbescherming voor een beperkte recreatieve ontsluiting van het gebied; aan de meerzijde kunnen enkele aanlegmogelijkheden worden geschapen.

#### **oevermoerassysteem**

1. zorg voor een optimale positie, dus geëxponeerde en ondiepe oevers, waarbij ook sprake is van maximale stuwings door de wind

2. zorg bij de aanleg voor een optimale onderlinge rangschikking van bezinkingsputten, oeverbescherming en eilanden, rietveld, overstromingszones en plasbermen. De bezinkingsputten en zandbanken moeten een ideale "slibluwte" voor het rietveld geven, maar daarbij een zo open mogelijke relatie tussen oevermoeras en meer niet belemmeren.

3. streef naar een grote oeverlengte en voldoende vegetatiebedekking ten behoeve van de snoekpopulatie en de avifauna; hierbij kan gedacht worden

aan een evenwijdig aan de oever gelegen (idee van een lagune) of loodrecht op de oever staande zonering (idee van een legakker)

4. zorg voor een natuurkerngebied wat ten dele uit een brede rietzone, oeverstromingszone, eilanden en open water bestaat

5. zorg voor kleine poelen en ruigte binnen de rietvelden

6. recreatieve zonering kan bestaan uit ondiepe zandbanken en andere vormen van oeverbescherming aan de meerzijde en aan de landzijde uit zompig moeras of een watergang

7. op enkele eilanden kunnen aanlegmogelijkheden en aan de landzijde wandel- en fietspaden met vogelobservatieposten worden aangelegd.

#### 9.4. Voorverkenning mogelijkheden voor toepassing

##### 9.4.1. beschrijving en voorverkenning rijkswateren IJsselmeergebied.

Voor een eerste toepassing van de ontwerprichtlijnen wordt eerst een voorselectie gepleegd in de rijkswateren van de IJsselmeerboezem. Daarbij wordt gekeken of een moerasaanleg een substantiële bijdrage aan de eutrofiëringsbestrijding kan leveren bij een redelijk geachte omvang.

##### 1. IJsselmeer-Ketelmeer.

Het oppervlak van deze meren bedraagt respectievelijk 1136 en 37 vierkante kilometer bij een gemiddelde waterdiepte van ca 4,3 meter; het oostelijke deel van het Ketelmeer is sterk verondiept. De belasting van deze wateren bedraagt 7 g (IJsselmeer) tot 85 g P/m<sup>2</sup>.j (Ketelmeer) en wordt hoofdzakelijk aangevoerd door de IJssel nl. 7800 van de 8983 ton P per jaar. Het debiet bedraagt ca 10 exp 9 m<sup>3</sup>/j met een gemiddeld zwevend stofgehalte van 30-40 mg/l (30-40 g/m<sup>3</sup>). Tijdens piekafvoeren bedraagt het gehalte ca 100 mg/l.

De belasting van het Ketelmeer is erg groot. Het is waarschijnlijk niet mogelijk de aanvoer van P door de IJssel dusdanig te beperken dat een reële verbetering van de waterkwaliteit voor dit water is te verwachten. Het IJsselmeer heeft iets betere vooruitzichten. De slibhuishouding speelt echter waarschijnlijk een grote rol en is de P-buffer in de bodem erg waarschijnlijk erg groot.

##### mogelijkheden

Het is duidelijk dat de IJssel het aanknopingspunt voor de moerasontwikkeling dient te zijn. Deze rivier wordt echter intensief voor binnenscheepvaart gebruikt. Er is daartoe ondermeer een dubbele strekdam aangelegd ten einde een adequate vaargeul te handhaven. Het overige water mondt uit op het Kattediep. Het oostelijke deel van het Ketelmeer waarin de IJssel uitmondt is sterk verondiept tengevolg van sedimentatie. Omdat echter geen maatregelen zijn genomen om het slib vast te leggen komt naar verwachting een groot deel ervan in open water.

De vracht aan P is zo enorm dat een vloeiveldensysteem dat voldoende groot is om slechts 10 % hiervan vast te leggen al niet meer in het Ketelmeer past. De enig reële mogelijkheid is de bezinking te bevorderen door het stimuleren van een deltaontwikkeling (deltamoerassysteem). Hiervoor kan echter slechts een deel van de sedimentaanvoer in aanmerking komen vanwege de strekdammenconstructie. De grootste sedimentaanvoer treedt echter op tijdens piekafvoeren, zodat wellicht door middel van een overloop (zoals eigenlijk al aanwezig is) voldoende naast de vaargeul naar het Kattediep kan worden afgeleid en gedeeltelijk vastgelegd. Aangezien de hoeveelheid sediment die wordt aangevoerd ca 60.000 m<sup>3</sup>/j bedraagt lijkt een spontane ontwikkeling toch goed mogelijk. (Bij 50% via de overloop, waarvan 50% kan worden vastgelegd, is dit altijd nog 15.000 m<sup>3</sup>/j, voldoende om 3 ha per jaar te verondiepen met een halve meter sediment. Alhoewel een gestimuleerde moerasontwikkeling goed mogelijk lijkt is daarmee geen grote verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit te verwachten, aangezien misschien slechts een kwart van de P-belasting wordt weggenomen. Bovendien is het slib sterk vervuild, hetgeen van invloed kan zijn op de natuurontwikkeling.

**conclusie**

Er lijken mogelijkheden aanwezig voor een natuurlijke moerasontwikkeling. Een substantiële verbetering van de kwaliteit van het oppervlakte water van IJsselmeer en Ketelmeer is hiermee echter (waarschijnlijk) niet te verwachten. Wellicht dat wel plaatselijk in de door windsingels en rijs-hout gecreëerde luwte er sprake kan zijn van een verbetering van de groei-mogelijkheden voor waterplanten. Wel kan het een belangrijk onderdeel zijn van een integrale aanpak van de eutrofiëring als een ondersteunende maatregel. Het Markermeer en de Waddenzee die weer water uit het IJsselmeer ontvangt zullen ook een vermindering van de externe nutriëntenbelasting te zien geven. Een dergelijke moerasontwikkeling kan mogelijkheden bieden aan de moerasvogels, m.n. de kleinere soorten en steltlopers. Bij een verwachte aangroeisnelheid van max 3 ha per jaar kan al na enige jaren een interessant gebied zijn ontstaan, dat bovendien aansluit op de reeds aanwezige oeverlanden. Kampen en een druk bevaren water blijven echter nabij. Men moet echter rekening houden met slibverontreinigingen en ev. calamiteiten.

**2. Zwarte meer, Vossemeer en Kadoelermeer.**

Het oppervlak van de meren is ca 17 km<sup>2</sup> met een gemiddelde diepte van minder dan 1 meter. De belasting van het Zwarte Meer bedraagt nu 30 g p/m<sup>2</sup>, het grootste deel hiervan is afkomstig van het boezemwater en de V-echt, totaal ca 800 ton per jaar. Daarnaast treedt er nog een aanzienlijke belasting op door opwaaiing vanuit het voedselrijke Ketelmeer. Op dit moment ontbreken voldoende gegevens over piekafvoeren, scheepvaart e.d.

**conclusie**

Eventueel nader te onderzoeken

**3. Veluwemeer-Drontermeer**

Het oppervlak van deze meren bedraagt ca 34,5 km<sup>2</sup> bij een gemiddelde diepte van 1,30 meter. Er wordt een zomerpeil van NAP-0,30 m in de winter en NAP-0,10 m in de zomer gehandhaafd. Over windstuwing zijn geen gegevens bekend. Langs de Flevopolderzijde is een diepere vaargeul gelegen (-3,20 m), die periodiek moet worden gebaggerd. Aan de zijde van het oude land bedraagt de kwel plaatselijk tot 5 mm/dag.

Op het ogenblik bedraagt de P-belasting ca 1 g /m<sup>2</sup>.j. De helft (ca 45%) van deze belasting is afkomstig van de RZWI's van Harderwijk (8,9 ton) en Elburg (9,0 ton). Daarnaast is er een aanzienlijke belasting door beken (ca 10,5 ton) en gemalen (10,0 ton). Het aandeel van de Hierdense Beek hierin is aanzienlijk. Sedert het opvoeren van de winterse doorspoeling via gemaal Lovink is voor het Veluwemeer een aanzienlijke verbetering opgetreden die zich uit in een verbreken van de dominantie van de alg *Oscillatoria agardii* en een groter doorzicht. Naar verwachting kan een verder terugdringen van de P-belasting een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit tot gevolg hebben. De waterkwaliteit van het Drontermeer is sedert de vergrote doorspoeling slechts in mindere mate verbeterd.

Het Veluwemeer en Drontermeer worden intensief gebruikt voor de vaarrecreatie; in Harderwijk en op enkele plaatsen langs het oude land zijn jachthavens aangelegd en op meerdere plaatsen strand. Het oude land dat aan het Veluwemeer grenst is een waardevol gebied zowel uit landschappelijk alsook natuur oogpunt en op meerdere plaatsen zijn natuurgebieden aangewezen (o.a. monding Hierdense Beek).

#### **mogelijkheden**

Moerasaanleg zal zich in eerste instantie moeten richten op de nazuivering van het water afkomstig van de RZWI's van Harderwijk en Elburg. In Elburg is al een vloeiveld aangelegd maar dit is duidelijk overbelast. Daarnaast kan ook worden gedacht aan de aanleg van moerassystemen voor de grotere beken (m.n. Hierdense Beek). In geval van de Hierdense Beek dient ook een aanleg bovenstrooms te worden overwogen, zodat een kwaliteitsverbetering voor het gehele beekstelsel kan optreden. De aanvoer van de gemalen is moeilijker aan te pakken. Een oevermoerasontwikkeling langs het oude land, die aansluit op bestaande natuurgebieden ev. in combinatie met de aanleg aan de monding van beken biedt wellicht interessante mogelijkheden voor natuurontwikkeling. Op het ogenblik wordt een plan ontworpen om de 500.000 m<sup>3</sup> baggerslib te storten in een eiland langs de vaargeul en dat in te richten voor recreatieve doeleinden. Een groot deel van dit slib kan echter uitstekend gebruikt worden voor de aanleg van oevermoerassen.

De belasting door de RZWI's is continu, ca de helft ervan vindt dus plaats gedurende het groeiseizoen. Effluenten uit RWZI's zijn over het algemeen relatief arm in slib. Afhankelijk van het beoogde zuiveringsresultaat en de wijze van aanleg bedraagt als eerste schatting het benodigde oppervlak ca 75-90 ha (50% verwijdering) tot 135-170 ha (90% verwijdering) exclusief puur natuurgedeelten. Voor Elburg bedragen deze hoeveelheden ca 80-100 ha (50%) en 140-180 ha (90%). Deze waarden houden evenwel nog geen rekening met verbeterde defosfatisering op termijn. De te verwachten zuivering vermindert de belasting zomers met ca 50% (wat P betreft). Hiermee komt de belasting van het Veluwemeer in die periode beneden de 1 g P/m<sup>2</sup>.j zodat er kans is op een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit.

Natuurlijke vorming en regulatie zijn nagenoeg niet mogelijk en ook een interessante vegetatie ontwikkeling is niet direct te verwachten; wel dus een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit. In dit geval zal sprake kunnen zijn van het eerder beschreven "trigger-effect". Afhankelijk van inrichting en beheer biedt een dergelijk moerassysteem wel mogelijkheden aan de kleinere moerasvogels en fouragerende grotere soorten. Het moeras kan bijvoorbeeld in de vorm van een 2 tot 300 meter brede en 3 tot 5 km lange oeverstrook worden aangelegd op deze wijze de zoneringsland, moerasbos, riet open water ondersteunend en de mogelijkheden voor recreatie vergrotend. Dit voorzover geen recreatiestranden aanwezig zijn. Ook kan binnen deze strook voor zover aanwezig plaatselijk geconcentreerd kwel worden opgevangen voor een interessante natuurontwikkeling en eventueel voor toelevering aan de drinkwaterwinning. Mogelijkheden voor recreatie blijven eveneens beperkt. Een verbeterde waterkwaliteit van het Veluwemeer zou een uiterst interessante ontwikkeling in gang gezet kunnen worden, waarbij vooral het verbeterde doorzicht en groei van submerse en drijvende vegetatie op termijn verwacht mogen worden.

De onregelmatige afvoer van de Hierdense Beek biedt waarschijnlijk betere mogelijkheden voor een gevariëerde moerasaanleg. Echter aangezien de afvoer van nutriënten hoofdzakelijk plaats vindt in het vroege voorjaar is er niet direct een substantiële vermindering van de P-belasting te verwachten, als tenminste deze afvoer niet tijdelijk wordt geborgen en weer vrijgegeven wordt in het groeiseizoen. De ondiepe oever aan de oude landzijde biedt op zich optimale mogelijkheden voor een moerasoeverstelsel; de verwachte vermindering van de interne belasting is echter moeilijk te voorspellen.

#### **conclusie**

Het Veluwemeer-Drontermeer lijkt op het eerste gezicht goede mogelijkheden te bieden voor de aanleg van moerasgebieden voor de zuivering van water en ontwikkeling van natuur. Het meest efficiënt is de aanleg van moerassen voor de nazuivering van het afvalwater van de RWZI's van Harderwijk en Elburg. Hoewel niet direct een spectaculaire spontane ontwikkeling van natuurwaarden in de moerassen zelf is te verwachten kunnen ze gezien hun grootte misschien wel als broed- en fourageergebied voor een aantal soorten worden ingericht. Een verbetering van de waterkwaliteit van het Veluwemeer op de lange termijn kan van zeer grote betekenis zijn voor natuurontwikkeling. Naar verwachting zal met deze aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit ook de groei van waterplanten massaal toe kunnen nemen. Dit laatste zal van invloed kunnen zijn op de recreatie en waterhuishoudkundige functie van de meren.

Moerasaanleg in de monding van beken biedt waarschijnlijk in combinatie met de aanleg van oevermoerassen goede mogelijkheden voor natuurontwikkeling door de aanwezigheid van kwel, en door de aansluitende natuurgebieden. De vermindering aan de P-belasting is echter niet substantieel.

#### **4. Wolderwijd en Nuldernauw**

Het oppervlak van deze meren bedraagt ca 26,6 km<sup>2</sup> bij een gemiddelde waterdiepte van 1,60 m, over de gehele lengte is een vaargeul aanwezig van -3,20 m. Over stuwung van water door wind is niets bekend.

De externe belasting bedraagt 0,8 g P/j en is hoofdzakelijk afkomstig van beken (13 v.d. 20 ton) met daarnaast inlaat van polderwater. Van groot belang voor de belasting is de Schuitenbeek (36% van de totale P-belasting). De afvoer is echter uiterst onregelmatig en vindt vooral in de winter en vroege voorjaar plaats; in de zomer staat deze beek vaak en lang droog. Vermindering van de beekbelasting zou een aanzienlijk verbetering van de waterkwaliteit op kunnen leveren.

#### **mogelijkheden**

De meeste beken lenen zich voor de aanleg van vloeiveldsystemen met een overloopsysteem. Het benodigde oppervlak is echter aanzienlijk vanwege de piekafvoeren. Zo bedraagt de gemiddelde afvoer van de Schuitenbeek 72 000 m<sup>3</sup>/dag met piekdagen van 384.000 m<sup>3</sup>/dag. Tijdens de pieken wordt ook verreweg het grootste deel van de P-vracht aangevoerd. Een vloeiveldensysteem gedimensioneerd naar deze pieken zou al gauw 1000 ha groot moeten zijn. Met een bergingssysteem, waarin een waterschijf van ca 0,5 meter kan worden geborgen waarmee pieken worden opgevangen en daarna continu worden doorgegeven, kan dit oppervlak aanzienlijk terug worden gebracht

tot ca 350 ha. Nadeel kan evenwel zijn dat bij geringe aanvoerhoogte pompen noodzakelijk kan zijn. Een dergelijk systeem voor alle beken beslaat waarschijnlijk een oppervlak van ca 700 ha. Een ruimtebeslag dat wellicht moeilijk planologisch valt in te passen.

Een vermindering van de P-belasting is zomers echter gering vanwege de relatief kleine aanvoer en 's winters niet zo groot vanwege de geringe biologische activiteit. Wellicht dat ook hier gezocht moet worden naar mogelijkheden om de winterse afvoer tijdelijk in bergingsbassins op te bergen en weer af te geven in het groeiseizoen. Bezinking leidt echter altijd tot een vermindering. Hoe groot de vermindering van de externe belasting kan zijn? stel 50% door bezinking van de aan het slib geadsorbeerde hoeveelheid P (dus ongeveer 25% van het totaal P) en 50% van de niet slibgebonden P gedurende het groeiseizoen; dus 25 tot 50%.

De interne belasting als onderdeel van de slibhuishouding is niet bekend.

#### **conclusie**

De externe belasting van het Wolderwijd en Nulderneauw kan aanzienlijk worden teruggebracht door de moerasaanleg in de monding van beken. Het benodigd oppervlak is vanwege het onregelmatig karakter van de aanvoer echter groot, maar biedt mede daardoor goed mogelijkheden voor natuurontwikkeling. Een substantiële verbetering van de waterkwaliteit en het doorzicht is vooral afhankelijk van het effect van vooral een vermindering van de zomerse externe P-belasting, voorzover geen berging en doorschuiven van de winterse aanvoer naar de zomer mogelijk is. Deze additionele berging bedraagt voor de Schuitenbeek waarschijnlijk al 100-200 ha.

#### **5. Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw**

Het oppervlak van deze meren bedraagt 41 km<sup>2</sup> en de gemiddelde diepte ca 2 meter. Er is nagenoeg geen kwel en het verschil tussen zomer en winterpeil bedraagt 20 cm. Door afwaaiing kunnen aanzienlijke peilvariaties optreden. Ook in dit water is een vaargeul op -3,20m aanwezig.

De belasting bedraagt op het ogenblik ca 10 g/mr.j hoofdzakelijk afkomstig van de Eem (600 van de 800 ton). Het gemiddelde jaarlijkse debiet van de Eem bedraagt 300 miljoen m<sup>3</sup> (een factor 10 groter dan de Schuitenbeek) en het P is afkomstig van landbouw etc. Het verloop van de belasting gedurende het jaar is niet bekend evenmin als de sedimentlast.

Naar verluidt is ook de interne P-belasting als gevolg van de opwerveling van slib en desorptie van de bodem aanzienlijk, zodat een eventuele vermindering van de belasting door de Eem nog niet direct resultaat zal hebben.

#### **mogelijkheden**

Het is duidelijk dat de sleutel van dit systeem bij de Eem is gelegen. Een moeras wat hier wordt aangelegd kan een deltamoerassysteem zijn, vooral gericht op bezinking en/of een omloop-vloeiveldensysteem. Vanwege de verwachte grote rol van de interne belasting lijkt ook een oevermoeras een noodzaak. De scheepsvaart op de Eem maakt echter de aanleg van een efficiënt vloeiveldensysteem vrijwel onmogelijk.



### conclusie

Er is voor dit merenstelsel niet direct een moerasaanleg te bedenken die tot een substantiële verbetering van de waterkwaliteit leidt. De zandwinning ten behoeve van Almere kan eventueel gebruikt worden voor de aanleg van bezinkingsputten.

### 6. Markermeer-IJmeer

Het oppervlak van deze beide meren bedraagt ca 702 km<sup>2</sup> bij een gemiddelde diepte van 3,3 meter, ondermeer vanwege het voorkomen van zandwinputten. Het verschil tussen zomer- en winterpeil bedraagt 20 cm (resp NAP-0,20 en NAP-0,40m). De doorvoer bedraagt zomers 70 m<sup>3</sup>/s en s' winters 40 m<sup>3</sup>, vanwege terugdringen van het zoutgehalte in het meer.

De waterkwaliteit is redelijk, er is niet direct sprake van een algenprobleem, en een verbetering moet waarschijnlijk vooral gezocht worden in een vermindering van de toevoer van IJsselmeerwater.

### mogelijkheden

Gezien de grote diepte van het Markermeer lijkt een moerasaanleg voor de inlaat van IJsselmeerwater geen reële mogelijkheid.

### conclusie

Er is in dit meer sprake van een goede roofvisstand en er speelt geen algenprobleem, waardoor er niet direct een aanleiding bestaat voor moerasaanleg ten behoeve van waterzuivering.

### 9.4.2. resumé

Na de bovengenoemde korte karakterisatie van de rijkswateren van het IJsselmeergebied en een eerste aanduiding van de mogelijkheden voor moerasaanleg voor de zuivering van water en ontwikkeling van natuur lijken de meest interessante mogelijkheden te liggen in :

-het Veluwemeer en Drontermeer, waar een aanzienlijke verbetering van de waterkwaliteit verwacht kan worden ("trigger"-effect) door de aanleg van twee moerassen voor de zuivering van het water afkomstig van de RZWI's van Hardewijk en Elburg die afhankelijk van de inrichting ook een interessante natuurontwikkeling mogelijk kunnen maken. De beken die van het oude land afwateren en de ondiepe oeverzone met kwel bieden op zich goede voortuizichten voor met name interessante natuurontwikkelingen met een beperkt recreatief medegebruik; zij leveren evenwel geen substantiële bijdrage aan het verkleinen van de externe belasting, kunnen evenwel van belang zijn voor het verminderen van de interne belasting. Ook belangrijk is het beschikbaar zijn van baggerslib waarvoor een locatie wordt gezocht en die uitstekend kan dienen voor moerasaanleg.

-het Wolderwijd en Nuldernauw, waar een waterkwaliteitsverbetering valt te verwachten door moerasaanleg in de monding van de belangrijkste beken. Het benodigde oppervlak is echter groot bij een relatief gering verwijderingsefficiëntie, op zich lijken wel redelijke mogelijkheden aanwezig voor natuurontwikkeling met name vanwege het benodigde oppervlak en de afvoerdynamiek.

Andere interessante mogelijkheden voor natuurontwikkeling zijn wellicht aanwezig in de monding van de IJssel en de Eem. Alhoewel hiermee de externe P-belasting aanzienlijk kan worden teruggebracht is daarmee nog geen verbetering van de waterkwaliteit te verwachten. De mogelijkheden van het Zwarte Water zijn nog niet bekend. In het Markermeer zijn wellicht mogelijkheden aanwezig voor de aanleg van een moerasgebied dat aansluit bij de Oostvaarders Plassen ter zuivering van de inlaat van IJsselmeerwater. Langs vele plaatsen langs het oude land in de randmeren kan kwel eventueel geïsoleerd worden opgevangen in kwelbassins, die daarmee interessante mogelijkheden kunnen bieden voor natuurontwikkeling.

Op de langere termijn kan een overmatige plantengroei een probleem vormen voor onder meer de recreatie. Bij welke bedekkingsgraad een toekomstig evenwicht zich in zal stellen is nog niet bekend en ook niet hoeveel extra beheersinspanning het zal vergen om de daardoor onstane problemen zoveel mogelijk terug te dringen. Onderzoek door de LH zal hierover ter zijner tijd informatie kunnen leveren.

In de volgende fase van het onderzoek zal eerst een keuze moeten worden gemaakt voor een meersysteem alvorens ontwerpen verder te concretiseren. Bij deze keuze kan men zich afvragen of het effect op de waterkwaliteit (demonstratie-effect) of het onderzoek naar de werking en de zuiveringsefficiëntie van moerasystemen (experiment t.b.v. onderzoek) voorop dient te staan. Vooralsnog willen we een voorkeur uitspreken voor moerasaanleg die leidt tot een substantiële verbetering van de waterkwaliteit, waarbij onderscheid gemaakt kan worden naar effecten op verschillend schaalniveau. Kleine ingrepen, zoals rijshoutdammen, leiden waarschijnlijk al tot locale effecten (meer luwte, meer planten), terwijl het grootschalige effect pas volgt nadat er sprake is geweest van een "trigger" waarmee het gehele watersysteem in een helder evenwicht is gebracht.

De belasting draagt op het ogenblik ca 10 g/m<sup>2</sup> j hoofdzakelijk uitkomst van de P-belasting. Het oppervlak van deze meren bedraagt 41 km<sup>2</sup> en de diepte ca 2 meter. Er is een aanzienlijke afvoer van water naar de IJsselmeergebied en een aanzienlijke afvoer van water naar de IJsselmeergebied voor de zuivering van het water. Het oppervlak van deze meren bedraagt 41 km<sup>2</sup> en de diepte ca 2 meter. Er is een aanzienlijke afvoer van water naar de IJsselmeergebied en een aanzienlijke afvoer van water naar de IJsselmeergebied voor de zuivering van het water.

Anonymus 1984; Rapport Werkgroep Evaluatie Beheersmethoden. Snoek, Snoekbaars en Brasem, RIVO, S&B, OVB.

Anonymus 1984; Prioriteitsstelling Natuurgebieden, Adviescommissie Aankoop Natuurterreinen. Zuid-Holland.

Anonymus 1987; Eutrofiëringsonderzoek Wolderwijd-Nulder nauw, vergadernotitie t.b.v. projectgroep Eutrofiëringsonderzoek Randmeren.

Berger C. 1982; Een benadering v.d. habitat van Oscillatoria agardhii gorn; Flevobericht 1, nr. 205. Rijksdienst voor IJsselmeerpolders, Lelystad.

Bergmans W. en A. Zuiderwijk 1986; Atlas van de nederlandse amphiënen en reptielen.

Blom G. 1987; Modelling van de slibhuishouding in het Veluwemeer. LH, DBW/RNA. Brinkman A.G., W. van Raaphorst: De fosfaathuishouding in het Veluwemeer.

Brinkman A.G. en W. van Raaphorst; De fosfaathuishouding in het Veluwemeer, proefschrift THT, Enschede.

Daalder R. en Brouwer H. 1984; Plankzeilen in Natuur en Landschap. Biologie en Samenleving. VU.

De Groot W.T. 1986; Using the wind in shallow lake eutrophication control. CML-report nr. 24.

Duel H. 1986; Waterzuivering door macro-helofytenfilters (moerassystemen) SCMO-TNO Delft, RUU Milieukunde.

Duel H. en Saris, F.J.A. 1986; Waterzuivering door macro-helofyten filters. Landschap nr. 4.

Dunst R.C. 1974, S.M. Boon, P.D. Uttomark, S.A. Smith, S.A. Nichols, J.O. Peterson, D.R. Knauer, S.L. Serns, D.R. Winter, T.L. Wirth, "Survey of Lake Rehabilitation techniques and Experiences". Techn. Bull. no. 75. Dpt. of Nat. Res. Madison, Wis.

Fiselier J.L. 1986, R.A.M. Stevers, H.A. Udo de Haes; Kosten-Baten Analyse Natuurbouw Kustlocatie. CML-mededelingen 25. Leiden 1985.

Fiselier J.L. 1986, G. Huppes en H.A. Udo de Haes; Extensieve Milieuvriendelijke Landinrichting, toepassing en evaluatie voor het veenweidegebied Bodegraven Noord.

Golterman H.L., C.C. Bakels and J. Jacobs-Mögelin; "Availability of Mud Phosphates for the Growth of Algae," Verk. Internat. Verein. Limnol. Vol. 17.

Greiner R.W. en de Jong, J. 1984; Flevobericht no. 226.

Greiner R.W. en Butijn G.D. 1985; Afvalwaterzuivering met behulp van begroeide vloeivelden. The Utrecht Plant Ecology News Report.

Grimm M. 1984; Snoek; in Rapport Werkgroep Evaluatie Beheersmethoden; Snoek, Snoekbaars en Brasem. RIVO, S&B, OVB.

Haans J.C.F.M. 1984; Bodemkartering en haar toepassingen. In: Op grond van de bodem. Publ. Fys. Gegr. en Bodemk. Lab. nr.39. Ontwikkelingen in het bodemgeschiktheidsonderzoek en de bodemkaartinterpretatie in Nederland.

Hosper S.H., M.L. Meijer, J.R. Eulen 1986: Herstel van het Veluwemeer, recente ontwikkelingen. H<sub>2</sub>O (19)1986, nr. 18.

Hosper S.H., M.L. Meijer en E. Jagtman 1987; Aktief biologisch beheer, nieuwe mogelijkheden voor het herstel van meren en plassen H<sub>2</sub>O 20 (in pr.H20).

Iedema C.W. en Kik, P. 1986; Het zoetwatermoeras de Oostvaardersplassen. Flevovericht 259.

IMP-water 1985-1989.

Joolen M.L. 1979; Gevoeligheidskartering watersport-natuurlijk milieu. RPD, Den Haag.

Kadlec R.H. and Tilton, D.L. 1979; The use of freshwater wetlands as a tertiary wastewater treatment alternative. CRC. Critical Reviews in Environmental Control 9.

Kampf H. 1981; Natuurtechniek bij civiel- en cultuurtechnische werken(2). Ned. Heidemij. nr. 12, 1981.

Koridon A.H., G.K.R. Polman, E.P.R. Poortes, G.A. Ven, M. Zijlstra; De Oostvaardersplassen. RIJP, Flevovericht nr. 169.

Lammens E. 1986; Interactions between fishes and the structure of fish communities in dutch shallow, entrophic lakes.

Lijklema L. 1985; Verwijdering van nutriënten bij afvalwaterzuivering. In: P.J.M. v.d. Aart 1985 (ed).

De Maeseneer & Verheven R. 1984; Toepassing van rietvelden in de waterzuivering. Water nr. 17 en nr. 18.

De Maeseneer J. 1985; Afvalwaterbehandeling met kunstmatige rietvelden in België. In. P.J.M. van der Aart 1985(ed).

Moss B. 1987; Ecology of fresh water. Blackwell Scientific Publications. London.

Nichols D.S. 1983; Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater. J. Water Poll. Contr. Fed. 55.

PAWN 1985; Beleidsanalyse van de waterhuishouding van Nederland, Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

Peterson S.A. 1979; Dredging and lake restoration. Lake restoration EPA 440-5

Raat A.J.P. 1987; Synopsis of biological data on northern pike (*Esox Lucius Linnaeus, 1758*), FAO Fisheries Synopsis 30 rev.

Reddy K.R. & Patrick W.H. 1984; Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. CRC. Critical Reviews in Environmental

Control 13.

Richter B. 1985; Mogelijkheden van Biomanipulatie ten behoeve van Waterkwaliteitsbeheer in Nederland. Limnologisch Instit. 1985-8.

Runhaar J., R.A.M. Stevers en H.A. Udo de Haes 1985; Uitwerking CML-ecotopensysteem voor de Randstad. CML-mededelingen no. 20.

Sipkes C. 1982; Oeverbeplantingen. Ned. Heidemij. nr. 3.

Tigelaar L. 1981; Het verband tussen recreatie en natuur in de randmeren van Flevoland. Uit: RUP 50 jaar onderzoek.

Tilton D.L. & R.H.Kadlec 1979; The utilization of a fresh water wetland for nutrient removal from secundarily treated wastewater effluent. - J.Env.Qual.8

Van der Aart P.J.M. (1985) (ed); PAO-cursus "Moerassen voor de zuivering van afvalwater". The Utrecht Plant Ecology News Report.

Van der Aart P.J.M., R.H.Kemmers en J.T.A.Verhoeven 1986; Eutrofiëring in het landelijk gebied; Probleemschets en mogelijke oplossingen. Bijdrage Symposium Intergraal Waterbeheer.

Van der Valk A.G. & Davis C.B. 1978; The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes. Ecology 59. + Van der

Valk A.G. & C.B. Davis 1978; Primary production of prairie glacial marshes. In: Freshwater Wetlands; Good, R. Et al. Acad.Press. Inc.

Van Schaik A.J.W. 1985; Ecologische Studie ten behoeve van het onderzoek naar waterrecreatie en natuur in de Nieuwkoopse Plassen en in de Kagerplassen. R.I.N.

Van Vierssen W. 1985, M.J.M. Hootsman, J.E. Vermaat. Waterplanten: Bondgenoten bij het waterkwaliteitsbeheer? H<sub>2</sub>O (18) nr. 6.

Verhoeven J.T.A. 1985; De nutriëntenhuishouding van zoetwatermoeras sen, speciaal met betrekking tot verrijking. In: v.d. Aart 1985 (ed).

Voights D.K. 1976; Aquatic unvertebrate abundance in relation to changing marsh vegetation. Am. Midl. Nat. 95.

Weller M.W. 1978; Management of freshwater marches for wildlife; In: Freshwater Wetlands; Good, R.E. et al. Acad. Press. Inc.

Winter H. en Kickuth R. 1985; Elimination of nutrients (sulphur, phosphorus, nitrogen) by the root zone process and simultaneous degradation of organic matter).

Yousef, Y.A. 1980; W.M. McLellon, H.H. Zebuth; "Changes in Phosphorus Concentrations due to Mixing by Motorboats in Shallow Lakes", Water Research, Vol. 14.

Control 13  
 Haans J.C.F.M. 1984; Bodemkartering en haar toepassingen. In: Opbouw van de bodem. Publ. Fys. Geogr. en Bodemk. Lab. nr. 39. Ontwikkelingen in het bodemgeschiedeniswetenschappelijk onderzoek van Rijksuniversiteit Groningen. Waterwetenschappelijk Instituut. 1982-8.

Hosper S.H., M.L. Meijer, J.R. Eulen. 1981; Het verband tussen recreatie en natuur in de randmeren van Friesland. Rijkswaterstaat, RIVM, Bilthoven, 1981; 50 pp.

Punhaar J., R.A.M. Stevers en H.A.A. Ude. 1987; Hittwering van ecotopenstelsels voor de Randstad. CML-medelingen no. 20.

Hosper S.H., M.L. Meijer, B. van der Meulen. 1981; Het verband tussen recreatie en natuur in de randmeren van Friesland. Rijkswaterstaat, RIVM, Bilthoven, 1981; 50 pp.

Tilman D.L. & R.H. Kadlec. 1979; The utilization of a fresh water wetland for nutrient removal from secondary treated wastewater. *Water Poll. Res. J. Can.* 16: 259-269.

Joolen M.L. 1991; Gecultiveerde waterplanten in de Randstad. Rijkswaterstaat, RIVM, Bilthoven, 1991; 100 pp.

Van der Aart P.J.M. (ed); PAO-cursus "Moerassen voor de toekomst". Rijkswaterstaat, RIVM, Bilthoven, 1985; 100 pp.

Kadlec R.H. & Tilman D.L. 1979; The utilization of a fresh water wetland for nutrient removal from secondary treated wastewater. *Water Poll. Res. J. Can.* 16: 259-269.

Van der Aart P.J.M., R.H. Kadlec, J. Joolen, M.L. Meijer, S.H. Hosper, J. Punhaar, J. Stevers, H.A.A. Ude. 1987; Hittwering van ecotopenstelsels voor de Randstad. CML-medelingen no. 20.

Koridon A.H., G.K.K. Polman, E.P.P. Poort, A.G. van der Zanden. 1981; De vegetatiedynamiek van de Rijnlandse moerassen. *Ecology* 62: 1-10.

Van der Valk A.G. & Davis G.B. 1978; The role of aquatic plants in the vegetation dynamics of prairie riparian marshes. *Ecology* 59: 1-10.

Van der Valk A.G. & Davis G.B. 1978; Primary production in prairie riparian marshes. *Ecology* 59: 1-10.

Lammens E. 1986; Interactions between fish and newwetland ecosystems. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

Van Schaik A.J.W. 1987; Ecologische veranderingen in de Rijnlandse moerassen. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

Van der Valk A.G. & Davis G.B. 1978; Primary production in prairie riparian marshes. *Ecology* 59: 1-10.

Van der Valk A.G. & Davis G.B. 1978; The role of aquatic plants in the vegetation dynamics of prairie riparian marshes. *Ecology* 59: 1-10.

Verhoeven J.T.A. 1985; De nutriëntenuitvoering van zoetwatermoerassen. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

De Maesseneer J. 1985; J. Maesseneer. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

Volz D.K. 1976; Aquatic vegetation abundance in relation to changing riparian vegetation. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

Weller M.W. 1978; Management of freshwater marshes for wildlife. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

Winter H. & Kitchin R. 1982; Elimination of nutrients (sulphur, nitrogen, phosphorus) by the freshwater marshes of the Randstad. *Hydrobiologia* 133: 1-10.

Yousef Y.A. 1980; W.M. McElroy, H.H. Sebuth. Concentrations due to mixing by motorboats in shallow lakes. *Water Res.* 14: 5-44.

Baas J.P. 1981; Synopsis of biological data on northern pike. *FAO Fisheries Synopsis* 30 rev. 1981.

Reddy K.R. & Patrick W.H. 1984; Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. *CRC. Critical Reviews in Environmental*

**RODE LIJST: vogelsoorten die in ons land met uitroeiing bedreigd worden, of speciaal gevaar lopen (onderstreept de soorten die afhankelijk zijn van moerasgebieden en/of grote open wateren). (Uit Daalder en Brouwer 1984)**

### BROEDVOGELS

- A. Soorten waarvan de Nederlandse populatie in Europees verband van groot belang is.

Fuut, aalscholver, roerdomp, blauwe reiger, purperreiger, lepelaar, bruine kiekendief, kluut, kemphaan, grutto, grote karekiet, baardmannetje.

- B. Soorten die in recente tijd zodanig sterk in aantal zijn achteruitgegaan dat ze plaatselijk weinig of niet meer voorkomen of zelfs het gevaar lopen geheel als broedvogel uit ons land te zullen verdwijnen.

Wouwaapje, zomertaling, grauwe kiekendief, korhoen, kwartelkoning, kemphaan, watersnip, dwergstern, zwarte stern, kerkuil, nachtzwaluw, boomleeuwerik, oeverzwaluw, blauwborst, paapje, grote karekiet, grauwe klauwier, roek, ortolaan.

- C. Soorten die in recente tijd in aantal zijn achteruitgegaan maar in tegenstelling tot soorten uit de vorige categorie nog relatief vrij talrijk zijn. Sommige soorten zijn weliswaar weer toegenomen in de laatste jaren, maar de stand blijft nog onder het niveau van de jaren vijftig.

Dodaars, roerdomp, purperreiger, lepelaar, sperwer, kwartel, grutto, tureluur, grote stern, visdief, noordse stern, holenduif, tortelduif, velduil, gele kwikstaart, tapuit, geelgors, grauwe gors.

- D. Soorten die potentieel bedreigd zijn en in sommige gevallen mogelijk zelfs al in aantal achteruitgegaan. Bij talrijke soorten is dit echter moeilijk vast te stellen.

Aalscholver, slobeend, bruine kiekendief, blauwe kiekendief, kluut, bontbekplevier, strandplevier, steenuil, gierzwaluw, ijsvogel, kleine bonte specht, boerenzwaluw, huiszwaluw, grote gele kwikstaart, roodborsttapuit, sprinkhaanrietzanger, grauwe vliegenvanger, baardmannetje.

- E. Schaarse en zeldzame soorten die in Nederland voor zover bekend nooit talrijk zijn geweest, maar waarvan het voorkomen desalniettemin karakteristiek is.

Geoorde fuut, kwak, pijlstaart, krooneend, witoogeend, porseleinhoen, kleinst waterhoen, draaihals, duinpieper, klapekster.

- F. Soorten die òf in deze eeuw als jaarlijkse broedvogel uit Nederland verdwenen of bijna verdwenen zijn òf ook vroeger alleen als onregelmatige broedvogel voorkwamen.

Ooievaar, slechtvalk, middelste bonte specht, griel, goudplevier, bosruiter, bonte strandloper, roodkopklauwier.

## Bijlage 2

## Literatuur bij bijlage 2 ( Uit: Daalder en Brouwer 1984 )

1. Alleyn, W.F. et al., 1971.  
Avifauna van Midden-Nederland. Assen.
2. Delden, H. van.  
Mondelinge mededeling.
3. Held, J.J. den en A.J. den Held. 1977.  
Het Nieuwkoopse plassengebied. Zutphen.
4. Koopman, K. 1977.  
Invloed van water- en oeverrecreatie op de vogelstand in Friesland.  
Watervogels 2: 180-183.
5. Starre, H. van der. 1976.  
Onderzoek naar de broedgewoonten van het woudaapje. Ongepubl. rapport.
6. Straaten, J. van der en B. van der Hoef. 1971.  
Avifaunistische rijkdom van de Beneden-Linge met haar oeverlanden. De  
Levende Natuur 74: 1-7.
7. Teixeira, R.M. (ed.). 1979.  
Atlas van de Nederlandse broedvogels. SOVON/Natuurmonumenten.
8. Zeeuw, J.G. de. 1976.  
De invloed van recreatie op de broedvogelpopulatie van de Kortenhoefse  
plassen. In: P. Bakker e.a. De Noordelijke Vechtplassen. Zutphen.

## BIOTOOPKEUZE VAN RIETVOGELS EN DE KWETSBAARHEID TEN OPZICHTE VAN RECREATIE

Soort + aantal broedparen <sup>7</sup> in Nederland	Broedbiotoop	Kwetsbaarheid
roerdomp 500-700 paar	moerasgebieden van wisselende grootte, bij voorkeur met overjarig riet. Beschutte oevervegetaties, verlandingsvegetaties van riet en lisdodden. Broedt minder dicht langs de rand van het water dan het woudaapje. Type water doet er niet veel toe <sup>1</sup> .	de soort kan zeer tolerant zijn t.o.v. menselijke beïnvloeding <sup>1</sup> . Een negatief effect van watersport is echter aangetoond in het Wormer- en Jisperveld en kreken in Zeeuws-Vlaanderen <sup>7</sup> .
woudaapje 100-135 paar	met riet, lisdodden, biez en wilgen begroeide oevers van stilstaand of langzaam stromend water <sup>7</sup> . Nest wordt bij voorkeur gebouwd in overgangszones van open water naar oevervegetatie.	grote gevoeligheid t.o.v. waterrecreatie en andere verstoringen, vooral door keuze nestelplaats. - golfslag door motorboten vernielt nesten <sup>1, 6, 7</sup> - achteruitgang in verschillende watersportgebieden in Midden-Nederland <sup>1</sup> - van belang is dat de watersport in aanvaardbare banen wordt geleid <sup>1</sup> - Reeuwijkse plassen: door afmeren van boten in de oevervegetatie zijn veel nesten verloren gegaan <sup>5</sup> - sterke achteruitgang Kortenhoefse plassen t.g.v. watersport <sup>8</sup>
purperreiger 900 paar	nestelen zowel in struiken (wilg, els) als in riet. Kolonies liggen in moerasgebieden nabij slootrijk weiland <sup>1</sup> .	de kolonies liggen vrijwel altijd in beschermde natuurreservaten; hierdoor weinig conflict-situaties met watersport; de soort is erg gevoelig voor verstoringen <sup>4</sup> .
waterral 2.400-3.600 paar	praktisch alle moerasgebieden (groot en klein). Dichtbegroeide oevervegetaties van verlandingszones langs meren, plassen, rivieren e.d. <sup>7</sup> . Het optimale biotoop is riet dat in zeer ondiep water staat. Minst gespecialiseerde ral <sup>1</sup> .	verstoringengevoeligheid niet bekend in literatuur. Vanwege schuwheid wellicht gevoelig ten aanzien van betreding van het broedterrein.



Soort + aantal broedparen <sup>7</sup> in Nederland	Broedbiotoop	Kwetsbaarheid
porceleinhoen 50-100 paar	vrij open russen- en zeggemoerassen met hoogstens 15 cm water. Verder in verlandingszones van oude kleiputten en rivierstrengen aan de oevers van doorbraakkolken. Vooral in laag- en hoogveenmoerassen en rivierkleigebied <sup>7</sup> .	niets bekend. Vanwege schuwheid wellicht gevoelig ten aanzien van betreding van het broedterrein. Kwetsbaar door het broeden aan de rand van de verbindingszone.
klein/kleinst waterhoen resp. 0-10 en enkele tientallen paren	zeggemoerassen, verlandingszones <sup>7</sup> .	zeer zeldzame soorten. Door verborgen levenswijze zeer weinig van bekend.
kwartelkoning		Verstoring mogelijk in uiterwaarden. Verstoring bij Oude Maas wordt waarschijnlijk geacht <sup>2</sup> .
zwarte stern 2.000-3.000 paar	kleine en grote kolonies in kleine en grote plassen en sloten met stilstaand water en natte hooilanden. Nestbouw vooral op krabbescheer, maar ook rietstoppels, gagelzoden <sup>1</sup> .	achteruitgang door: - verandering broedterrein - vernietigen nesten en vogels door beroeps- vissers - uitbaggeren sloten en verwijderen krabbescheer - ruilverkaveling - ratten, kraaien en andere predatoren - toenemende watersport <sup>1</sup> .
bruine kiekendief 725-850 paar	overjarig riet en lage struikbegroeiing <sup>1</sup> .	de reden van achteruitgang grotendeels onbekend, maar uit literatuur en dagboeken blijken watervervuiling en onrust door intensieve recreatie de boosdoeners <sup>1</sup> .
blauwborst 900-1.200 paar	wilgen- en elzenbroekbos, moerassige ruigten <sup>7</sup> .	geen gegevens.
sprinkhaanrietzanger 1.500-2.000 paar	dichte lage vegetaties in vochtige (soms droge) terreinen <sup>7</sup> . Ook in rietmoerassen als het riet niet in het water staat.	uit Nieuwkoopse plassen verdwenen ten gevolge van watersport <sup>3</sup> .
snor 1.750-3.000 paar	dichte moerasvegetaties boven ondiep water; riet, lisdodde, moeraszegge en galigaan. Ongemaaide vegetaties vereist vanwege vroege broedseizoenen <sup>7</sup> . Vooral moerassen in het laagveengebied. Aanwezigheid van oud riet van belang. Min. enkele 100 m <sup>2</sup> kruidachtige vegetatie <sup>1</sup> .	geen gegevens.
rietzanger 17.500-30.000 paar	allerhande oever- en moerasvegetaties, vooral rietland, verruigd rietland, smalle moeras- en oevervegetaties <sup>1</sup> .	zie snor.
bosrietzanger 15.000-22.500 paar	vochtige biotopen <sup>7</sup> .	zie snor.
kleine karekiet 35.000-50.000 paar	alle typen rietland, vrijwel alle verlandingsstadia. Terrein bezit gevarieerder karakter dan bij grote karekiet. Oppervlakte riet kan zeer gering zijn <sup>7</sup> .	
grote karekiet 1.200-1.600 paar	goed uitgegroeid, stevig, overjarig riet van enige oppervlakte langs de oever van zoet en brak water. Vooral riet in de buitenste gordel van de vegetatiezonering langs vrij diep water is favoriet <sup>7</sup> .	oorzaken voor achteruitgang: - onjuist rietbeheer - verlanding - verstoring door recreanten en hengelaars Nieuwkoop: waterrecreatie, golfslag en verlanding zorgen voor achteruitgang <sup>3</sup> . Linge: verstoring door recreatie, het afmeren van boten <sup>1</sup> . Deze soort is door de keuze van de nestelplaats aan de rand van de vegetatie gevoelig voor verstoringen door waterrecreanten.
baardmees 7.500-8.000 paar (7.000 p. Z.Flevo '75)	typische rietvogel, bouwt nest enkele dm. boven het wateroppervlak. Er moet voldoende dekking zijn <sup>7</sup> .	geen gegevens.