

Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen

Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen

I Literatuurstudie naar hydrologische maatregelen en de effecten op sloot- en beekecosystemen

R.C. Nijboer

Alterra-rapport 1066

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Nijboer, R.C., 2004. *Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen; I, Literatuurstudie naar hydrologische maatregelen en de effecten op sloot- en beekecosystemen*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1066. 98 blz. .14 fig.; 4 tab.; 175 ref.

Dit rapport is het eerste in de reeks: 'Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen'. Het beschrijft de resultaten van een literatuuronderzoek naar de effecten van hydrologische maatregelen op eutrofiëring van aquatische ecosystemen en op aquatische organismen. De doelstelling van deze kennisverzameling is uiteindelijk het bouwen van een expertsysteem waarmee voor een bepaalde situatie de maatregel met het hoogste ecologisch rendement gekozen kan worden.

Trefwoorden: peilbeheer, hydrologische maatregel, eutrofiëring, aquatisch, waterhuishouding, waterbeheer, vernatting

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1066. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Woord vooraf | 9 |
| Samenvatting | 11 |
| 1 Inleiding | 13 |
| 1.1 Peilbeheer | 13 |
| 1.2 Peilverlaging/omgekeerd peilbeheer | 14 |
| 1.3 Problemen met het huidige peilbeheer | 15 |
| 1.3.1 Natte schraalgraslanden | 16 |
| 1.3.2 Broekbossen/moerassen | 16 |
| 1.3.3 Laagveenwateren | 17 |
| 1.3.4 Beken | 18 |
| 1.3.5 Vennen | 19 |
| 1.3.6 Uiterwaarden | 19 |
| 1.4 Nieuwe ontwikkelingen in het waterbeheer | 20 |
| 1.5 Doelstelling | 21 |
| 1.6 Leeswijzer | 22 |
| 2 Methode literatuurzoekactie | 23 |
| 2.1 Catalogi | 23 |
| 2.2 Zoektermen | 23 |
| 2.3 Nabewerking | 24 |
| 3 Waterbeheer en hydrologische maatregelen in laag Nederland | 25 |
| 3.1 Waterberging in laag Nederland | 25 |
| 3.2 Opzetten van het grondwaterpeil | 25 |
| 3.3 Flexibel peilbeheer | 27 |
| 3.4 Gedifferentieerd peilbeheer | 29 |
| 3.5 Retentie | 29 |
| 3.6 Waternoodprofiel | 31 |
| 3.7 Combinatie van waterconserveringsmaatregelen | 31 |
| 4 Waterbeheer en hydrologische maatregelen in hoog Nederland | 33 |
| 4.1 Inleiding | 33 |
| 4.2 Peilverhoging | 34 |
| 4.3 Berging in retentiebekkens en inundatiezones | 35 |
| 4.4 Stromende berging | 36 |
| 4.5 Bovenstroomse waterberging (haarvaten) | 38 |
| 4.6 Beekherstel als combinatie van maatregelen | 39 |
| 4.6.1 De Reest | 40 |
| 4.6.2 Het Merkske | 41 |
| 4.6.3 De Mark en de Vliet | 42 |
| 4.6.4 Oude Graaf en Kievitsbeek | 42 |
| 4.6.5 Beerze | 42 |

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6.6 | Rode beek | 43 |
| 4.6.7 | Beken rondom Groesbeek | 43 |
| 4.6.8 | Tungelroyse beek | 44 |
| 4.6.9 | Drentse Aa | 44 |
| 4.6.10 | Het Reitdiep | 45 |
| 4.6.11 | Maasnielderbeek | 45 |
| 4.6.12 | Vledder- en Wapserveense Aa | 45 |
| 5 | Bescherming van natuurgebieden | 47 |
| 5.1 | Inleiding | 47 |
| 5.2 | Functietoekenning | 47 |
| 5.3 | Hydrologisch scheiden van natuur en landbouw | 48 |
| 5.4 | Hydrologische bufferzones | 48 |
| 5.5 | Diepe droogmakerijen | 51 |
| 5.6 | Bergen van water in natuurgebieden | 51 |
| 6 | De relatie tussen hydrologische maatregelen en nutriëntengehalten in het oppervlaktewater | 53 |
| 6.1 | Inleiding | 53 |
| 6.2 | Af- en uitspoeling van nutriënten | 53 |
| 6.2.1 | Denitrificatie en mineralisatie | 55 |
| 6.2.2 | Af- en uitspoeling in relatie tot de afvoer | 56 |
| 6.2.3 | Drainage-nutriëntengehalten | 57 |
| 6.2.4 | Peilverhoging/verlaging | 57 |
| 6.3 | Peilfluctuaties | 58 |
| 6.4 | Verminderen van de hoeveelheid inlaatwater | 59 |
| 6.4.1 | Inlaatwater en eutrofiëring | 59 |
| 6.4.2 | Inlaatwater in beken | 62 |
| 6.4.3 | Tegengaan van wegzijging: waterconservering | 62 |
| 6.4.4 | Peilscheiding | 63 |
| 6.4.5 | Verlenging van de aanvoerweg | 64 |
| 6.4.6 | Hydrologische isolatie binnen een sloten- en/of petgatensysteem | 65 |
| 6.5 | Doorspoeling/verdunnen | 66 |
| 6.6 | Niet-hydrologische maatregelen | 66 |
| 6.6.1 | Stikstof versus fosfaat | 67 |
| 6.6.2 | Nalevering van nutriënten | 67 |
| 6.6.3 | Baggeren | 67 |
| 6.6.4 | Waterzuivering | 68 |
| 6.6.5 | Actief biologisch beheer | 69 |
| 6.6.6 | Combinaties van maatregelen | 69 |
| 7 | Effecten van hydrologische maatregelen op ecosystemen | 73 |
| 7.1 | Water- en oevervegetatie | 73 |
| 7.1.1 | Water- en oevervegetatie in relatie tot peilverhoging/verlaging | 73 |
| 7.1.2 | Rietmoerassen in relatie tot peilfluctuatie | 74 |
| 7.1.3 | Beekvegetatie in relatie tot eutrofiëring | 77 |
| 7.1.4 | Macrofyten in relatie tot eutrofiëring | 77 |
| 7.2 | Algen | 79 |
| 7.2.1 | Streefwaarden van nutriënten voor blauwalgen | 79 |

| | |
|------------------------------------------------------|----|
| 7.2.2 Fytoplankton in relatie tot doorzicht | 80 |
| 7.2.3 Fytoplankton in relatie tot nutriëntengehalten | 80 |
| 7.3 Macrofauna | 81 |
| 7.4 Vissen | 82 |
| 7.5 Voorbeeld op ecosysteemniveau | 83 |
| 7.6 Modellen | 83 |
| 8 Conclusies & aanbevelingen | 85 |
| 8.1 Beschikbare kennis | 85 |
| 8.2 Verzamelen van gegevens | 86 |
| 8.3 Alternatieven | 86 |
| 8.4 Consequenties voor het gebruik in instrumenten | 87 |
| Literatuur | 89 |

Woord vooraf

Het Nederlandse peilbeheer was in het verleden vooral gericht op het zo snel mogelijk afvoeren van het water. Dit heeft geleid tot verdroging en eutrofiëring van oppervlaktewateren en natte natuurgebieden. Momenteel is in het waterbeheer een omslag gaande. Hierbij wordt het water zo lang mogelijk vastgehouden, wordt de afvoer vertraagd en wordt water geborgen om het in schaarse perioden te kunnen gebruiken. Om deze nieuwe benadering van de waterhuishouding te realiseren zijn hydrologische maatregelen nodig. Er is een groot aantal potentiële maatregelen. Het is moeilijk hierin een afgewogen keuze te maken, omdat het ecologisch rendement van de verschillende maatregelen niet bekend is. Daarom is het van groot belang om effecten van maatregelen goed te monitoren en de gegevens te verzamelen om vergelijkingen te kunnen maken tussen het effect van verschillende maatregelen in verschillende situaties.

Het doel van deze literatuurstudie was het verzamelen van kennis over de effecten van hydrologische maatregelen op eutrofiëring en het aquatische ecosysteem. Deze kennis zal worden gebruikt voor het ontwikkelen van een expertsysteem waarmee water- en natuurbeheerders voor een bepaalde situatie de hydrologische maatregel met het hoogste ecologisch rendement kunnen kiezen.

Dit onderzoek is uitgevoerd binnen het DLO onderzoeksprogramma 'Veranderend Waterbeheer voor een duurzame Groene Ruimte' (417) van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Het rapport is het eerste in de reeks: 'Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen'. Zie voor de andere twee delen Nijboer & Groeneveld (2004) en Nijboer et al. (2004).

Hierbij wil ik Martin van den Hoorn bedanken voor het verzamelen van de literatuur en het maken van de figuren en Linda van Diepen en Piet Verdonschot voor hun opmerkingen op de eerste versie van het rapport.

Samenvatting

Jarenlang is het waterbeheer gericht geweest op een snelle ont- en afwatering. Dit draagt echter veel bij aan zowel wateroverlast in perioden van hevige regenval, als aan verdroging. Bovendien moet hierdoor in de zomer ten behoeve van de landbouw vaak gebiedsvreemd water worden aangevoerd, wat eutrofiëring tot resultaat kan hebben. Een ander probleem is de maaiveldaling die vooral in veengebieden optreedt.

Om al deze problemen in verschillende watertypen tegen te gaan is een andere manier van omgaan met water nodig, waarbij water bovenstrooms in de haarvaten zo lang mogelijk vastgehouden wordt, de afvoer vertraagd wordt en bij een overschot water geborgen wordt voor gebruik in drogere perioden. Om dit te bereiken moeten tal van hydrologische maatregelen getroffen worden.

Hydrologische maatregelen die zorgen voor het langer vasthouden van gebiedseigen water hebben invloed op de natuur in de oppervlaktewateren. Waterplanten, macrofauna, vissen en micro-organismen reageren op een veranderend waterbeheer doordat fysische of chemische factoren veranderen. Hierbij spelen nutriëntengehalten in het water een grote rol.

Er zijn veel hydrologische maatregelen mogelijk om water langer vast te houden. Er is op dit moment echter onvoldoende inzicht in het rendement van diverse hydrologische maatregelen op de ecologische kwaliteit van aquatische systemen. Om waterbeheerders in de toekomst in staat te stellen de beschikbare middelen effectiever aan te wenden, dient een instrument te worden ontwikkeld waarmee het effect van hydrologische maatregelen op de ecologie gekwantificeerd kan worden.

Een eerste stap in dit proces was het uitvoeren van een literatuuronderzoek naar de effecten van hydrologische maatregelen op aquatische ecosystemen. De resultaten hiervan zijn in dit rapport beschreven.

Het is gebleken dat de nieuwe aanpak in het Nederlandse waterbeheer nog in ontwikkeling is. Er zijn nog weinig maatregelen daadwerkelijk uitgevoerd. Wel zijn al veel plannen beschreven en zijn veel scenariostudies uitgevoerd waarin de mogelijke effecten van maatregelen vooral op de hydrologie gemodelleerd zijn.

In het kader van de-eutrofiëring van meren en laagveengebieden zijn al veel herstelprojecten uitgevoerd waarbij hydrologische maatregelen vaak onderdeel waren van een heel maatregelenpakket. De effecten van deze combinaties van maatregelen waren meestal niet duidelijk en niet terug te voeren naar een afzonderlijke maatregel. Effecten waren meestal beschreven in termen van nutriëntengehalten. Effecten op aquatische ecosystemen zijn in veel gevallen niet gemeten, niet beschreven of niet gevonden.

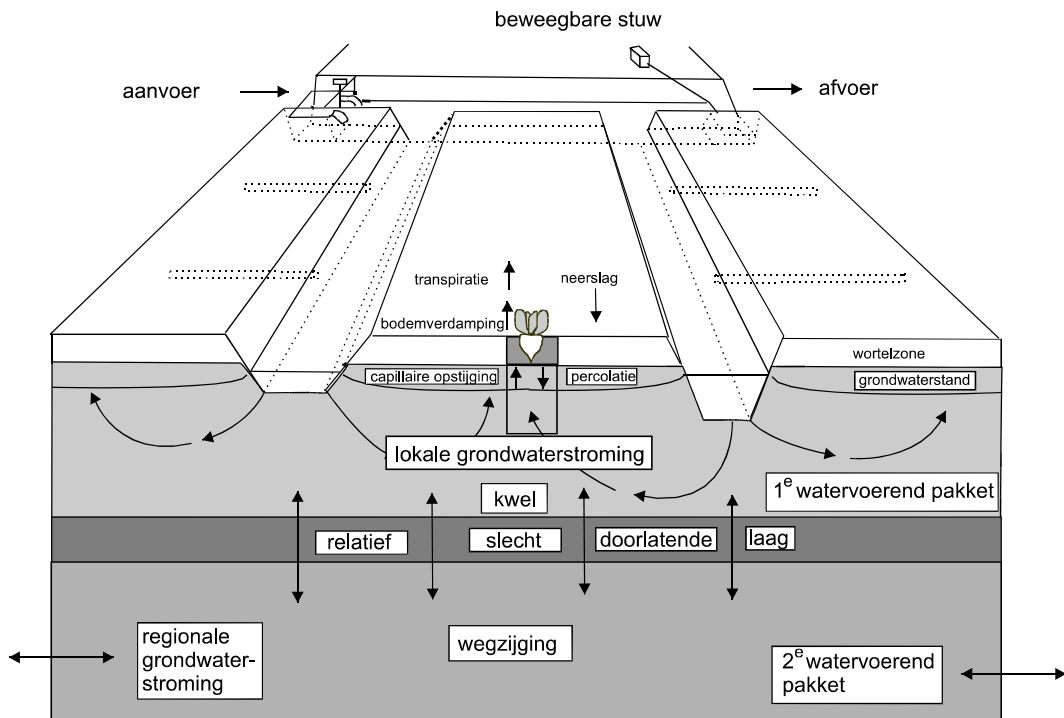
Voor het ontwikkelen van een expertsysteem voor het bepalen van de maatregel met het hoogste ecologisch rendement is het daarom nodig om behalve het verzamelen

van langdurige monitoringsgegevens van oppervlaktewateren waarin hydrologische maatregelen zijn uitgevoerd, een andere benadering te volgen. Hierbij wordt aanbevolen om vanuit indicator- en doelsoorten en hun milieuvoorkeur en gevoeligheid voor verstoring te voorspellen wat de kans is op het voorkomen van een Natuurdoeltype na het nemen van een hydrologische maatregel. Hiervoor is het ook noodzakelijk dat de relaties tussen maatregelen en abiotische variabelen bekend zijn. Inleiding

1 Inleiding

1.1 Peilbeheer

Het waterbeheer in Nederland is er lange tijd op gericht geweest om water zo snel mogelijk af te voeren via een stelsel van riolering, drainage, bemaling en waterlopen. Gemiddeld is er in Nederland een neerslagoverschot in de winter en een neerslagtekort in de zomer. Ook de grondwaterstand is in de winter hoger dan in de zomer. Voor verschillende functies kan het gewenst zijn het natuurlijke verloop van de grondwaterstand te beïnvloeden. Door de ont- en afwatering te verbeteren, probeert men de grondwaterstanden in winter en voorjaar te verlagen. In de zomer probeert men het peil kunstmatig te verhogen om verdroging te voorkomen (Van Bakel, 1986). Het instandhouden van een kunstmatig peil wordt aangeduid met de term peilbeheer.



Figuur 1.1 Schematische weergave van grond- en oppervlaktewaterstromen en peilbeheer in een polder (Van Bakel, 1986)

Peilbeheer richt zich op het bereiken en zo goed mogelijk handhaven van een bepaalde waterstand binnen een beheersgebied of op een bepaalde plaats in een watergang, met behulp van waterstaatkundige middelen. Peilbeheer wordt uitgevoerd met behulp van regelbare stuwen en inlaatwerken (figuur 1.1). Peilbeheer wordt uitgevoerd op lokale schaal (poldersloten, vaarten en andere watergangen), regionale schaal (boezems en kanalen) en landelijke schaal (grote rivieren, afgedamde zeearmen, IJsselmeer). De waterstand in de verschillende wateren wordt afgestemd

op de daarbij betrokken functies en verder bepaald door factoren zoals neerslag, topografie (te bemalen lagere gronden in het westen, naast hogere gronden in het oosten en zuiden, die in principe vrije afstroming van water kennen), bodemgesteldheid (mate van doorlatendheid bodem, klink) en de beschikbaarheid van waterhuishoudkundige middelen. Er zijn verschillende belangen (veiligheid, land- en tuinbouw, industrie, scheepvaart, visserij, recreatie en natuur- en landschapsbehoud) waardoor de besluitvorming vaak moeizaam is. In grote lijnen komt het erop neer dat op de hogere gronden in het zuiden en oosten van het land door de grote fluctuaties van het waterpeil door natuurlijke omstandigheden (vooral het verhang van de waterlopen) nauwkeurige bepaling en handhaving van een vast peil niet goed mogelijk is. Via stuwen is dat tegenwoordig wel verbeterd. Op de lager gelegen gronden in het westen en noorden van het land kan een bepaalde waterstand in de watergangen wel met een redelijke mate van zekerheid worden bepaald en gehandhaafd (Teeuwen, 1987).

1.2 Peilverlaging/omgekeerd peilbeheer

In het verleden is het peil in veel gebieden kunstmatig verlaagd ten behoeve van de landbouw. Te hoge grondwaterstanden zijn nadelig voor de bereikbaarheid en bewerkbaarheid, resulteren in trage groei in het voorjaar en kunnen tijdens het groeiseizoen de gewasgroei ongunstig beïnvloeden (Van Bakel, 1986). Te lage grondwaterstanden, door bijvoorbeeld een verbeterde ontwatering, kunnen echter leiden tot verdroging en eveneens gedurende het groeiseizoen nadelig zijn voor de gewasgroei.

Ook op gronden die van nature al droog zijn, kunnen de zomergrondwaterstanden te diep zijn om voldoende vocht beschikbaar te hebben voor gewasverdamping. Het kan daarom voordelig zijn maatregelen te nemen om de daling van de grondwaterstand gedurende het groeiseizoen tegen te gaan. Dat kan op twee manieren: (1) een continue aanvoer van water als het waterpeil te laag wordt en (2) wanneer in het voorjaar een neerslagoverschot omslaat naar een tekort wordt het wegstromen van het grondwater afgeremd of gestopt door het peil in de waterlopen te verhogen. Dit is alleen succesvol als de waterlopen daadwerkelijk nog worden gevoed vanuit het grondwater. Dergelijke peilverhoging moet op het juiste moment gebeuren, niet te laat daar men anders teveel water heeft laten wegstromen, maar ook niet te vroeg vanwege grotere kans op schade door wateroverlast. Deze maatregel staat bekend als conservering van water. Bij waterconservering kan maar een beperkte hoeveelheid water worden vastgehouden. In de loop van het groeiseizoen zullen (onder normale omstandigheden) de waterlopen alsnog droogvallen. Door water aan te voeren van buiten het gebied, kunnen de waterlopen op peil worden gehouden. Eventueel kan water vanuit de waterlopen de grond in stromen. Deze maatregel wordt subinfiltratie of subirrigatie genoemd. Zowel het conserveren als het aanvoeren van water voor subinfiltratie wordt veelvuldig toegepast door waterschappen, polderdistricten en heemraadschappen. Het handhaven van een laag peil in de winter en het vroege voorjaar en een hoog peil in de zomer wordt ook wel omgekeerd peilbeheer genoemd (Van Bakel, 1986).

1.3 Problemen met het huidige peilbeheer

Door klimaatverandering stijgt de zeespiegel en nemen rivierafvoeren toe. Hierdoor kan in Nederland wateroverlast ontstaan. Om dit te voorkomen, kan ervoor gezorgd worden dat water nog sneller afgevoerd wordt. Jarenlang is het waterbeheer gericht geweest op een snelle ont- en afwatering. Dit draagt echter veel bij aan zowel wateroverlast in perioden van hevige regen, als aan verdroging. Bovendien moet hierdoor in de zomer ten behoeve van de landbouw vaak gebiedsvreemd water worden aangevoerd (STOWA, 2002), wat eutrofiëring tot resultaat kan hebben. Een ander probleem is de maaiveldaling die vooral in veengebieden optreedt (Van Vugt, 1990).

Versnelde afvoer bij wateroverschot en versnelde aanvoer bij watertekorten, lage slootwaterpeilen en rechte sloten en beken hebben geleid tot verdroging enerzijds en afvoerpieken anderzijds. Verdrogingseffecten uit zich in:

- Rechtstreekse gevolgen van vochttekort: (1) planten die aangepast zijn aan de voeding uit grondwater komen droog te staan en verdwijnen, (2) het aantal weidevogels gaat achteruit, (3) macrofauna en micro-organismen in het water die geen speciale aanpassing hebben zullen door verdroging verdwijnen, (4) door verlaging van peilen in oppervlaktewateren is er minder ruimte voor aquatische natuur, (5) waterpeilverlaging stagneert de ontwikkeling van macrofyten en daarmee de mogelijkheden voor macrofauna.
- Veranderingen in de invloed van kwelwater. Bij vermindering van ijzerrijke kwel zal minder fosfaat aan ijzer gebonden worden. Dit niet-gebonden fosfaat zal vooral de productie van algen en kroos doen toenemen, waardoor macrofyten afnemen als gevolg van minder licht;
- Veranderingen in de invloed van neerslagwater. Bij grondwaterstands daling zal de invloed van regenwater in de wortelzone toenemen. Regenwater bevat verzurende stoffen, zodat verdroging ook tot vergroting van het verzuringsprobleem kan leiden. Dit probleem speelt vooral in vennen;
- De indirecte gevolgen van inlaat van gebiedsvreemd water. Inlaatwater is vaak rijk aan calcium en sulfaat, vooral Rijnwater. Hierdoor kan interne eutrofiëring optreden. Karakteristieke planten en dieren verdwijnen hierdoor;
- Effecten van verhoogde mineralisatie. Door toegenomen beluchting van vooral veengronden na daling van de grondwaterstand vindt een snellere mineralisatie van het veen plaats. Bij dit proces komen onder andere nitraat en fosfaat vrij. Zo leidt verdroging opnieuw tot eutrofiëring;
- Verdroging in het veenweidegebied leidt tot bodemdaling. Door de mineralisatie van het veen daalt het maaiveld. Diepere ontwatering versnelt dit proces, waardoor verdere peilverlaging uitgevoerd moet worden. In dit onomkeerbare proces verdwijnen karakteristieke planten- en diergemeenschappen (Wuring, 1994).

Het traditionele peilbeheer is ingesteld en wordt gehandhaafd ten behoeve van de landbouw. Het nadeel is echter dat behalve de wateren binnen het landbouwgebied eveneens nabij gelegen natuurgebieden door het peilbeheer beïnvloed worden. De effecten van het traditionele peilbeheer reiken ver maar zijn afhankelijk van het type

natuur en de kwetsbaarheid. In de volgende subparagrafen zijn per type natuur de problemen geschetst.

1.3.1 Natte schraalgraslanden

Natte schraalgraslanden zijn korte, grazige plantengemeenschappen die op de één of andere manier onder invloed van (min of meer) gebufferd water staan. Daarbij kan het zowel om grond- als oppervlaktewater gaan. Dergelijke vegetaties bevatten vaak bijzondere en zeldzame soorten. De graslanden zijn van nature laag productief, behalve de dotterbloemhooilanden. Blauwgraslanden, trilvenen, kleine zeggen moerassen en veenmosrietlanden behoren ook tot de natte schraalgraslanden. Bedreigingen van deze graslanden zijn: verdroging door verlaagde waterstanden, verzuring door verlaging van de zuurgraad in bodem(water), eutrofiëring en een verhoogde productie veroorzaakt door aanbod van voedingsstoffen (via bodem of water) (Jansen et al., 1997).

Door ontwatering van natte schraalgraslanden, als gevolg van een laag waterpeil in de omgeving, wordt de invloed van basenrijk grondwater in de wortelzone verminderd (Rossenaar & Streefkerk, 1997). Voor het achterhalen van de oorzaken van achteruitgang en het bepalen van de mogelijkheden voor herstel moet bekend zijn tot welk hydrologisch systeemtype een natuurgebied behoort.

Er zijn regionale en lokale ingrepen. Regionale ingrepen hebben meestal een minder zichtbare invloed en zijn vaak van indirect belang. Toch veroorzaken ze meestal fundamentele wijzigingen in de standplaatseigenschappen. Gebieden met een oorspronkelijk geringe kwelintensiteit bijvoorbeeld kunnen door grote ingrepen in de waterhuishouding, zoals peilverlaging veranderen in inzijgingsgebieden. Door het wegvallen van kwel worden geen basen meer toegeleverd en verzuren uiteindelijk de standplaatsen en de vegetatie. Lokale ingrepen zijn meestal veel sneller te herkennen en zijn van direct belang. Het effect van een diepe sloot bijvoorbeeld is ter plekke eenvoudig te herkennen aan de verdroogde vegetatie. Het is van belang de lokale en regionale kenmerken van de waterhuishouding te kennen en indien nodig beide aan te pakken.

In natte schraalgraslanden kan verlaging van het peil in de regio dus verdroging, verzuring en eutrofiëring tot gevolg hebben. Omdat dit rapport zich richt op aquatische ecosystemen zullen de natte schraalgraslanden verder buiten beschouwing blijven.

1.3.2 Broekbossen/moerassen

Ook broekbossen en moerassen zijn gevoelig voor verlaging van het waterpeil. In eerste instantie zal verdroging optreden en zal de karakteristieke levensgemeenschap verdwijnen. Inlaten van gebiedsvreemd water zal ook in moerassen leiden tot eutrofiëring. Er is voor moerasnatuurgebieden te weinig schoon water beschikbaar om wegzijging en verdampingsverliezen van water te kunnen compenseren zonder eutrofiëring te veroorzaken (During, 1991).

Het vasthouden van water in een moerasbos kan verdroging tegengaan maar leiden tot andere problemen. In het Kaldenbroek zijn in 1998 en in het Koelbroek in 1997 antiverdrogingsmaatregelen uitgevoerd. Gebleken is dat interne eutrofiëring optreedt door fosfaatmobilisatie als gevolg van hoge sulfaatconcentraties (het fosfaat wordt van de ijzerfosfaatcomplexen verdrongen). In het Kaldenbroek is door het waterschap een stuw geplaatst door het waterschap, in de waterafvoerende sloot, waardoor het waterpeil er permanent hoog staat en nauwelijks nog doorstroming met vers grondwater optreedt. In de zomer treedt sulfaatreductie op en neemt de fosfaatconcentratie in de waterlaag toe. Het gevolg is een massale ontwikkeling van eendekroos, mannagrass en liesgras. Dit gaat ten koste van de oorspronkelijke elzenbroekvegetatie waaronder de dotterbloem, de elzenzegge en vele andere soorten. Onder natuurlijke hydrologische situaties zal de verhoogde sulfaatreductie die in de zomer optreedt in veel mindere mate tot fosfaatmobilisatie leiden. Dit is bijvoorbeeld zichtbaar in het Dubbroek en het Beeselsbroek, waar nog een natuurlijk doorstromend waterregime heerst.

Om negatieve effecten te voorkomen moet een continuering van de doorstroming gestimuleerd worden door het waterpeil lager dan de stijghoogte van het grondwater op te stuwen. Er treedt dan geen ophoping van fosfaat in de waterlaag op en aanvoer van ijzer via het kwelwater zal plaats blijven vinden. Na baggeren van gedeelten van het Beeselsbroek waarbij doorstroming gehandhaafd werd, ontwikkelden zich soorten kranswieren en fonteinkruiden (Lucassen et al., 2000). Moerasbossen zullen in dit rapport verder buiten beschouwing gelaten worden.

1.3.3 Laagveenwateren

In laagveengebieden is een aantal problemen opgetreden als gevolg van het gevoerde peilbeheer. Maaiveldddaling speelt in deze gebieden een grote rol. Binnen grotere gebieden veroorzaken plaatselijke peilverlagingen ongelijkmatige zakkingen, waardoor de waterhuishouding steeds ingewikkelder wordt en op de lange duur inzigtgebieden kwelgebieden worden. Specifieke flora, fauna en veenlandschappen kunnen verdwijnen. Door de versnelde afbraak van veen ontstaan jaarlijks meer broeikasgassen en komen meer nutriënten vrij, die deels uitspoelen. Maaiveldddaling op dikkere veenpakketten bij slootpeilen van meer dan 0.40 m onder maaiveld blijft doorgaan en peilaanpassingen van gemiddeld circa 1 cm per jaar zijn noodzakelijk. Bij nog diepere ontwatering zijn grotere maaiveldddalingen te verwachten. Als in een polder het slootpeil plaatselijk worden verlaagd, zakt het maaiveld op die plekken het sterkst. Afbraak van veen produceerde in 1991 ongeveer 1% van de jaarlijkse CO₂ emissie in Nederland (Hendriks & ter Keurs, 1992). De maaiveldddaling vanaf de ontginning in de elfde eeuw tot 1875 wordt geschat op circa 1.50 m. Van 1875 tot 1965 is het maaiveld een halve meter gezakt. Daarna is de ontwatering sterk verbeterd en vindt het proces versneld plaats. Bij vergelijking van effecten van waterpeilen op een proefboerderij is gebleken dat verzakking in 25 jaar bij het standaard polderpeil 0.167 m was en bij diepe ontwatering 0.396 m (inclusief effecten van extra grote zakkingen in de beginperiode door klink en extra grote vertering en irreversibele krimp van vers veen dat bij peilverlaging boven water komt).

Het proces achter maaiveld daling. De zinking van het maaiveld als gevolg van ontwatering kan worden onderscheiden in klink (zetting), krimp en oxidatie (vertering). Onder het grondwater wordt de grond inclusief het water gedragen door de vaste delen en de hydrostatische waterspanning. Deze vermindert bij peilverlaging waarbij de vaste delen meer druk opnemen. De slappe bodem wordt samengedrukt tot er een nieuw evenwicht is bereikt (consolidatie). Theoretisch stopt de klink na enige jaren.

Het onttrekken van water aan het veen door peilverlaging en verdamping veroorzaakt krimp. Direct na de peilverlaging komt er veel vers veen boven het grondwater te liggen. Dat veen krimpt sterk doordat het voor het eerst uitdroogt. Bij herbevochtiging zwelt veen maar gedeeltelijk terug. Door herhaald drogen en vernatten wordt de krimp steeds minder en wordt voornamelijk onomkeerbaar. In droge zomers veroorzaakt irreversibele krimp een flinke permanente maaiveld daling. Indien vervolgens het slootpeil aan het verlaagde maaiveld wordt aangepast, dan initieert deze incidentele grote krimp extra grote peilverlagings, waardoor de maaiveld daling wordt versterkt. Dit mechanisme en de eenmalige irreversibele krimp bij de eerste forse peilverlaging vormen de bijdrage van de krimp in de maaiveld daling. Over langere tijd gemiddeld is de gesommeerde irreversibele krimp van het veen boven het grondwater een constante: enerzijds wordt er door de voortdurende peilverlaging steeds nieuwe veen aangesneden dat gaat krimpen, anderzijds wordt er ook steeds (gekrompen) veen door vertering afgevoerd.

Door de lagere grondwaterstand kan lucht tot grotere diepte toetreden en nemen de mogelijkheden voor biologische afbraak toe. Uiteindelijk is de verdwijning van organische stof door oxidatie de enige oorzaak van de voortdurende zinking van het veen. Dit proces wordt in stand gehouden door het voortdurend aanpassen van het slootpeil aan de zinking van het maaiveld.

Uit het onderzoek is gebleken dat droge zomers leiden tot een versnelde oxidatie. In natte jaren eindigend met een natte winter kan de zwel zelfs meer zijn dan de oxidatie, zodat het maaiveld zelfs weer iets omhoog kan komen (Van den Akker & Beuving, 1997).

Behalve maaiveld daling als gevolg van verdroging speelt eutrofiëring als gevolg van het inlaten van gebiedsvreemd water een grote rol in de laagveengebieden. Veel water wordt in de zomer ingelaten om verdroging tegen te gaan. Doordat het water een andere samenstelling heeft dan het gebiedseigen water treedt eutrofiëring op.

Hoofdstuk 3 gaat verder in op hydrologische maatregelen in sloten, onder andere in polders in laagveengebieden.

1.3.4 Beken

Veel beken zijn in het verleden rechtgetrokken en genormaliseerd om onderhoud en beheer te minimaliseren, de dimensionering van het systeem af te stemmen op het landbouwkundig grondgebruik en voor een zo snel mogelijke afvoer van het water. De gevolgen hiervan zijn groot. De levensgemeenschappen in de beken zelf zijn achteruitgegaan, vooral de beekspecifieke soorten worden steeds minder waargenomen. Deze soorten zijn verdwenen door het verdwijnen van de variatie aan microhabitats en substraten, wat het resultaat is van een afname van de stroomsnelheid en het vastleggen van het profiel van een beek. Als geen vrije meandering meer mogelijk is, vervalt de variatie in stroomsnelheid en daarmee de variatie in habitats. Verder heeft achteruitgang van grondwaterafhankelijke vegetaties in beekdalen plaatsgevonden door verdroging. Andere oorzaken van verdroging zijn grondwateronttrekking en peilverlaging (De Kwaadsteniet et al., 1997).

Verstoring van de hydrologie door versnelde afvoer van water is van de laatste decennia en heeft geleid tot het droogvallen van veel bronnen met een lagere afvoer

of tot het optreden van afvoerpieken. Kenmerkende bronsoorten zoals de platworm *Crenobia alpina* en de kokerjuffer *Agapetus fuscipes* zijn hierdoor achteruitgegaan en op veel plaatsen verdwenen. De verstoorde hydrologie heeft behalve op de bronnen een effect op de beken. Als de afvoer niet constant is, is het milieu in de beek niet stabiel. Afvoerpieken kunnen grote gevolgen hebben voor de structuur van de beek. Een effect dat duidelijk veroorzaakt wordt door afvoerpieken is het zich insnijden in het maaiveld. Dat wil zeggen dat de beek steeds dieper in het landschap komt te liggen. Tijdens een afvoerpiek komt er zo veel water door heen dat de bovenste laag van de beekbodem wordt meegenomen. Als deze afvoerpieken elkaar snel opvolgen is er geen tijd waarin de beekbodem zich weer kan herstellen doordat opnieuw zand en ander materiaal wordt afgezet. De beek zal zich dan steeds verder insnijden en daarmee het grondwaterpeil doen zakken. Veel beekdieren zijn niet bestand tegen een wisselende afvoer. Gedurende afvoerpieken kunnen ze door het water meegesleurd worden of worden bedekt met zand. Bovendien kunnen de chemische samenstelling en de temperatuur van het water tijdens een afvoerpiek zodanig anders zijn dat dieren zich niet snel genoeg kunnen aanpassen (Nijboer et al., 2003). Hydrologische maatregelen in beeksystemen zijn beschreven in hoofdstuk 4.

1.3.5 Vennen

In veel natte heideterreinen en vennen is verzuring opgetreden als gevolg van de atmosferische depositie van verzurende stoffen in combinatie met waterpeilverlaging. Bij een hoog (grond)waterpeil, liefst tot vlak onder maaiveld, is de mate van verzuring (en ook eutrofiëring) veel kleiner dan in een drogere bodem. In een natte bodem worden verzurende en eutrofiërende stoffen zoals sulfaat en nitraat door microbiële activiteit gereduceerd en daarbij wordt zuur geneutraliseerd. Bovendien neutraliseert ook het grondwater, indien dit gebufferd is, het zuur. Gebufferd oppervlakkig grondwater is vooral te vinden in gebieden waar leemlagen voorkomen in de oppervlakkige ondergrond. Opzetten van het waterpeil kan in deze gevallen tot goede resultaten leiden (Cals & Roelofs, 1990). Dit wordt bevestigd door Van Dam (2001) die stelt dat door baggeren en aanvoer van gebufferd water vennen op de Veluwe hersteld kunnen worden. Dit schept mogelijkheden om de voorwaarden voor de daarvoor karakteristieke soorten zoals waterlobelia, oeverkruid, en moerashertshooi te creëren, zoals in het Grijzen Veen bij Voorthuizen (Van Dam, 2001). Omdat in vennen vaak specifieke (combinaties) van maatregelen worden uitgevoerd gericht op eutrofiëring en verzuring zijn ze in dit rapport verder buiten beschouwing gelaten.

1.3.6 Uiterwaarden

Verhogen van de overstromingsfrequentie van grote rivieren heeft over het algemeen een negatief effect op de ecologische kwaliteit van de uiterwaardplassen. Een hoge overstromingsfrequentie heeft een negatief effect door fysische verstoring (erosie, resuspensie van sediment, en sedimentatie) en chemische verstoring (eutrofiëring, toxische stoffen, toename saliniteit). De diversiteit van helofyten, macrofyten, zoö-

en fytoplankton en macrofauna neemt af als de inundatiefrequentie toeneemt. Waardevolle uiterwaardplassen moeten daarom geïsoleerd worden van instroom van rivierwater en landbouwinvloeden. Natuurontwikkeling moet in gebieden plaatsvinden waar nog geen rivierbegeleidende wateren zijn of alleen wateren met lage natuurwaarden en liefst meestromende nevengeulen in de oude bedding. In stromende wateren kunnen zich geen nutriënten ophopen (Van den Brink et al., 1993).

Vernatting in relatie tot water en natuur in het rivierengebied wordt beschreven in (Elbersen et al., in prep.) en daarom in dit rapport niet meegenomen.

1.4 Nieuwe ontwikkelingen in het waterbeheer

Een aantal veranderingen in de patronen van neerslag en verdamping wordt verwacht in deze eeuw. Door een klimaatverandering wordt de winterneerslag naar verwachting circa 20% groter. In de zomer treden langere droge perioden op en wordt de neerslagintensiteit groter (hevigere buien). Daarbij komt een toename van het verharde oppervlak in ons land. Door deze veranderingen zullen de knelpunten met betrekking tot piekafvoeren en verdroging naar verwachting toenemen.

Om al deze problemen in de verschillende watertypen tegen te gaan is een andere manier van omgaan met water nodig. Daarom is in het waterbeheer een omslag gaande. Hierbij wordt het water zo lang mogelijk vastgehouden, wordt de afvoer vertraagd en wordt water geborgen om het in schaarse perioden te kunnen gebruiken.

Om de gewenste bescherming tegen hoog water en de gewenste ruimtegebruiksfuncties ook op lange termijn te kunnen realiseren, wordt de ontwikkeling van veerkrachtige watersystemen nagestreefd (Hoogendoorn & Luijendijk, 2000). De sponswerking van het systeem moet worden gestimuleerd. Dit is het vermogen van de buitenste schil van de aarde om water te absorberen (erin op te nemen) en te adsorberen (er aan vast te plakken). Het absorberen betekent dat het water in de grond wordt opgenomen en daar wordt opgeslagen in de vorm van grondwater. Dit wordt ook wel conservering genoemd. Deze opslag is maar tijdelijk want door grondwaterstroming loopt het grondwaterreservoir langzaam leeg naar het oppervlaktewater. Dankzij het permanente neerslagoverschot wordt dit reservoir echter voortdurend aangevuld.

Dankzij het reliëf in het aardoppervlak, in de vorm van beekdalen en depressies ('kuilen') in het maaiveld, is het landschap ook in staat water te adsorberen en wel in de vorm van oppervlaktewater (overstromingsvlakten, vennen en plassen). In dit geval wordt het water vastgehouden op de aarde. Dit is wat verstaan wordt onder retentie: het vermogen van het terrein om water in laagtes als zichtbaar water (tijdelijk) vast te houden (Hoogendoorn & Luijendijk, 2000).

Om dit te bereiken moet tal van hydrologische maatregelen getroffen worden. Met deze maatregelen moeten zo bovenstrooms mogelijk begonnen worden. In een aantal beleidsnota's, onder andere de Vierde Nota Waterhuishouding (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998) en 'Waterbeleid voor de 21^{ste} eeuw (Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000) is ervoor gekozen meer ruimte te creëren voor water, zodat de wateroverlast verkleind wordt.

Het nieuwe waterbeheer is in eerste instantie vooral gericht op beheer en inrichting van oppervlaktewateren en het grondwaterregime ten behoeve van de landbouw. Bij het vasthouden van water speelt het grondwater een belangrijke rol. Hierbij moeten waterbeheerders veel meer dan in het verleden rekening houden met de grondwaterwensen van de verschillende grondgebruiksvormen (Projectgroep Waternood, 1998).

Echter, ook voor wateren met een natuurfunctie is een juist oppervlakte- en grondwaterbeheer van belang. Ook de oppervlaktewateren zelf worden negatief beïnvloed door piekafvoeren of verdroging. Hydrologische maatregelen die zorgen voor het langer vasthouden van gebiedseigen water hebben invloed op de natuur in de oppervlaktewateren. Waterplanten, macrofauna, vissen en micro-organismen reageren op een veranderend waterbeheer doordat fysische of chemische factoren veranderen.

Er zijn veel hydrologische maatregelen mogelijk om water langer vast te houden. Er is op dit moment echter onvoldoende inzicht in het rendement van diverse hydrologische maatregelen op de ecologische kwaliteit van aquatische systemen. Om waterbeheerders in de toekomst in staat te stellen de beschikbare middelen effectiever aan te wenden, dient een instrument te worden ontwikkeld waarmee het effect van hydrologische maatregelen op de ecologie gekwantificeerd kan worden. Dit effect wordt veelal uitgedrukt in de afstand tot de referentietoestand. De referentietoestand beschrijft de natuurlijke situatie van een water.

1.5 Doelstelling

De doelstelling van dit literatuuronderzoek was het bepalen van de effecten van hydrologische maatregelen in het kader van vernatting en de-eutrofiëring op de aquatische natuur. Hiertoe zijn alle mogelijke hydrologische maatregelen verzameld en zijn de ecologische processen waarop deze maatregelen effect uitoefenen beschreven. Tevens is het effect van hydrologische maatregelen op eutrofiëring en de aquatische levensgemeenschap opgenomen.

De resultaten van dit literatuuronderzoek zullen worden gebruikt voor het bouwen van een instrument waarmee een water- of natuurbeheerder voor een bepaalde situatie de maatregel met het hoogste rendement kan kiezen. Het literatuuronderzoek en het te ontwikkelen beslissingsondersteunend systeem worden gericht op de haarvaten (beken en sloten als verbindende elementen in het landschap en als onderdelen van kerngebieden zoals laagvenen en wetlands) in Nederland. De haarvaten vormen vaak het bovenstroomse deel van een stroomgebied. In de kleine wateren verzamelt het water zich en wordt via een stelsel van beken en/of sloten afgevoerd naar de grotere wateren (rivieren en grote meren). Bij het vasthouden van water zijn juist deze kleine wateren van groot belang. Maatregelen die bovenstrooms genomen worden zullen effect hebben op de benedenstroomse afvoer.

Het gaat in dit onderzoek om hydrologische oftewel waterhuishoudkundige maatregelen. Maatregelen die morfologisch van aard zijn (bijvoorbeeld baggeren of het verwijderen van oeverbeschoeiing) of die direct gericht zijn op waterzuivering (bijvoorbeeld defosfatering) zijn buiten beschouwing gelaten. Voorbeelden van hydrologische maatregelen zijn:

- Verhoging van het grondwaterpeil;
- Verlenging van de weg van het inlaatwater;
- Water inlaten bij dreigende droogval;
- Verwijderen van drainagesystemen;
- Berging van water in het gebied;
- Opvang van water in retentiebekkens.

1.6 Leeswijzer

Het zoeken van literatuur is uitgelegd in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 en 4 zijn de hydrologische maatregelen, die zijn genomen of gepland in laag respectievelijk hoog Nederland, besproken. De verdeling tussen laag en hoog Nederland is gemaakt omdat de hydrologie en daarom ook de maatregelen en effecten tussen beide gebieden verschillen.

Hoofdstuk 5 gaat specifiek in op de bescherming van natuurgebieden. Hierin komen twee belangrijke onderwerpen aan bod, namelijk de bescherming van natuurgebieden tegen verdroging door isolatie of hydrologische buffering en het gebruiken van natuurgebieden als retentiegebieden.

In hoofdstuk 6 wordt de relatie tussen hydrologie (en hydrologische maatregelen) en de nutriëntenhuishouding uiteengezet. Hoofdstuk 7 behandelt effecten van hydrologische maatregelen op de aquatische natuur. In hoofdstuk 8 vindt een analyse plaats van de resultaten die het literatuuronderzoek heeft opgeleverd en worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

2 Methode literatuurzoekactie

2.1 Catalogi

Voor de literatuurzoekactie is gezocht in de centrale landbouw catalogus Agralin en in de Land-Soil-Water database. Agralin bevat boeken, tijdschriften en rapporten die aanwezig zijn in de bibliotheken van de Wageningen Universiteit, Nederlandse landbouwkundige onderzoeksinstituten en landbouwkundige proefstations. De catalogus bedekt een groot deel van de internationaal beschikbare literatuur over landbouw- en omgevingswetenschappen. Ten aanzien van de Nederlandse literatuur over deze vakgebieden kan worden gesteld dat de dekking vrijwel 100% is.

De Land-Soil-Water database bevat nationale en internationale literatuur over omgevingswetenschappen met de nadruk op Nederland. Deze database wordt dagelijks bijgewerkt.

Omdat de beide catalogi samen een goede dekking bieden over de vooral Nederlandse literatuur is de zoekactie beperkt tot deze twee catalogi. Beide catalogi hebben een goede exportmogelijkheid naar de referentiedatabase Endnote, wat het verwerken van de potentieel geschikte titels sterk vereenvoudigd. Vanwege de goede dekking van de genoemde catalogi en het ontbreken van een goede exportmogelijkheid naar Endnote is er niet meer gezocht in de Hydrotheek.

2.2 Zoektermen

In de beide databases is er gezocht naar literatuur met behulp van de onderstaande zoektermen.

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Afwatering | Isolatie |
| Baggeren | Onderhoud |
| Beregening | Ontpolderen |
| Berging | Poelen |
| Bufferstroken | Retentie |
| Bufferzone | Schonen |
| Dempen | Stroomgebied |
| Denitrificatie | Terugpompen |
| Doorspoelen | Verbreiden |
| Drainage | Verondiepen |
| Eutrofiëring | Vloeiweiden |
| Horse-shoe wetland | Wadi |
| Hydrologische buffer | Waterisolatie |
| Hydrologische maatregelen | Waterpeil |
| Infiltratie | Wegverlenging |
| Inlaat | Zuiveringsmoerassen |
| Inundatie | |

Deze zoektermen zijn in het Nederlands ingevoerd en worden met behulp van de zoekmodule automatische doorvertaald naar het Engels. Zoektermen zoals drainage en isolatie leverden zeer veel niet-relevante titels op. Tijdens de zoekactie is hier al een eerste selectie gemaakt door de niet-Nederlandstalige titels (die onderzoek in het buitenland beschreven) te verwijderen. Tijdens de zoekactie is geen gebruik gemaakt van negatieve zoektermen.

2.3 Nabewerking

De resultaten van de zoekacties zijn opgeslagen in Endnote (versie 6). Na import van de deelbestanden zijn de dubbele records verwijderd. Omdat er tijdens de zoekactie geen gebruik is gemaakt van negatieve zoektermen is in Endnote met behulp van nieuwe zoektermen een aanzienlijk deel van de niet relevante literatuur verwijderd. Hierbij zijn manuscripten die gaan over: defosfateren, helofytenfilters, schonen, baggeren, de grote meren, de grote rivieren en het duinengebied verwijderd. De overgebleven records zijn handmatig doorgenomen om zo de meest relevante titels te behouden.

3 Waterbeheer en hydrologische maatregelen in laag Nederland

3.1 Waterberging in laag Nederland

In laag Nederland is van oorsprong een wateroverschot. Al sinds lange tijd worden grote delen van het laag gelegen deel van Nederland bemalen om het overtollige water af te voeren. Dit vindt plaats via een stelsel van drainagebuizen en sloten. Polders worden doorsneden met duizenden sloten die afwateren op de boezemwateren. Deze grotere wateren voeren het water af. In veel polders wordt kunstmatig een laag peil gehandhaafd ten gunste van de landbouw. In de winter wordt water afgevoerd en in de zomer wordt water aangevoerd om het tekort te compenseren.

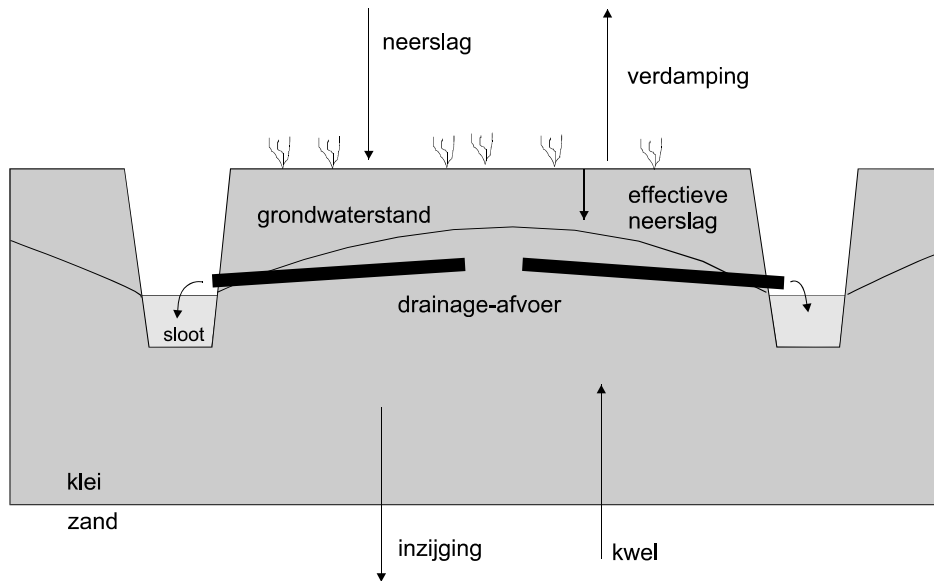
Door water langer vast te houden kan de inlaat van water in de zomer beperkt worden en verdroging van natuurgebieden worden tegengegaan. Water vasthouden kan door conserveren van water in de bodem, door retentie of door vernatting. Bij retentie betekent het vasthouden van gebiedseigen water in perioden met een neerslagoverschot (winter en voorjaar) om hierover te kunnen beschikken in perioden met een tekort aan water (groeiseizoen). Retentie vindt vooral plaats in de bovenlopen (haarvaten) van watersystemen. Dit in tegenstelling tot vernatten: een structurele ingreep waarmee een permanente verbetering van (standplaats)condities voor landbouw en natuur wordt nagestreefd. Bij vernatting zijn maatregelen denkbaar die de ontwatering stremmen. Vaak zijn het inrichtingsmaatregelen die de ontwateringsbasis en/of drainageweerstand verhogen. Structurele vernatting is ongunstig voor piekberging. Door structurele vernatting wordt de grondwaterstand verhoogd, waardoor de beschikbare bodemberging afneemt (Van der Molen, 2002).

Water vasthouden kan op een aantal manieren:

1. Veranderingen in het peilbeheer;
2. Het bergen van water in retentiebekkens, een voorboezem of inundatievlakten;
3. Het voorkomen van wegzijging (De Wolf & Van Stiphout, 1999);
4. Het aanpassen van de slootprofielen.

3.2 Opzetten van het grondwaterpeil

Het opzetten van het grondwaterpeil is één van de belangrijkste maatregelen in het kader van vernatting. De gewenste grondwaterstanden zijn afhankelijk van het grondgebruik en functies van de gronden en de toegekende functies aan de wateren. Vooral de hoogte van de grondwaterstand ten opzichte van het maaiveld is belangrijk (Van Oijen et al., 2001). Vaak wordt het waterpeil in de sloten verhoogd, waardoor de grondwaterstand in de tussenliggende percelen stijgt. Het slootpeil bepaalt het niveau ten opzichte waarvan opbolling of uitzakking van de grondwaterstand optreedt (figuur 3.1) (Menger, 1994).



Figuur 3.1 Schematische weergave van de opbolling van het grondwaterpeil tussen twee sloten bij drainage van het tussenliggende land (Werkgroep Waterspil, 1995)

Onderzocht moet worden met welke oppervlaktewaterpeilen de gewenste grondwaterstanden zo goed mogelijk bereikt kunnen worden. Dit is mede afhankelijk van het bodemtype. De grondwaterstand wordt gekarakteriseerd door de grondwatertrap (Gt). Een lage grondwatertrap betekent hoge grondwaterstanden (nat) en een hoge grondwatertrap betekent een lage grondwaterstand. Deze wordt uitgedrukt in een gemiddelde hoogste (GHG) (matig natte winter) en een gemiddelde laagste waterstand (GLG) (matig natte zomer) (Van Oijen et al., 2001).

Uit metingen is gebleken dat het effect op de grondwaterstand als gevolg van een peilverhoging in de sloten op een afstand > 30 meter van de sloot nooit meer bedraagt dan 20% van de peilverhoging. Op zeer korte afstand van de sloot (< 5m) ligt het effect tussen de 20 en 90% van de peilverhoging (De Louw & Vermeulen, 2000). Een peilverhoging werkt, afhankelijk van de ondergrond, snel door voor de eerste dertig meter, en heeft een duidelijke vertraging op grotere afstand van de sloot van enkele dagen tot weken (De Louw & Vermeulen, 2000).

Door het verhogen van het slootpeil wordt meestal de afvoer van water vertraagd en de drainerende invloed van de sloten verkleind, waardoor de grondwaterstand hoger wordt. In onbeheersbare gebieden zal gedurende drogere perioden als gevolg van een daling van het slootpeil ook de grondwaterstand dalen. In beheersbare gebieden waar water aangevoerd wordt in drogere perioden, kan een constant slootpeil en dus een hogere grondwaterstand gehandhaafd worden (Menger, 1994). In wateraanvoergebieden, zoals in de polders in laag Nederland en in natte zomerperioden wordt door verhoging van het slootpeil ook de infiltratie van slootwater naar het grondwater bevorderd (De Louw & Vermeulen, 2000).

De mate van effect van dergelijke waterconserveringsmaatregelen op de grondwaterstand is mede afhankelijk van de geohydrologische eenheid. Echter, lokale omstandigheden zoals het voorkomen van leem of kleilagen in de ondergrond kunnen in sommige gevallen een nog grotere rol spelen (De Louw & Vermeulen, 2000). Ook Menger (1994) geeft aan dat een lagere grondwaterstand niet automatisch

leidt tot meer vochttekort. Bodemtypen waarbij capillaire opstijging goed mogelijk is, zoals leem, zullen minder snel vochttekorten vertonen dan bodemtypen waarin capillaire opstijging slecht mogelijk is, zoals grof zand (Menger, 1994).

Peilverhoging in landbouwgebieden kan ook positieve effecten hebben op nabij gelegen natuurgebieden. Dit is voornamelijk het geval als vanuit het betreffende natuurgebied water wegzijgt naar het landbouwgebied omdat het peil daar lager ligt. Onderzoek in het Naardermeer heeft uitgewezen dat als bijvoorbeeld rondom het Naardermeer het polderpeil met 20 cm verhoogd wordt, de wegzijging vanuit het gebied met 70% afneemt (Wittmer, 1989). Een hoger peil kan vast ingesteld worden maar ook per seizoen. Het afschaffen van een laag winterpeil kan heel effectief zijn omdat de peilverhoging die in het voorjaar meestal plaatsvindt (na het lage winterpeil) gepaard gaat met de aanvoer van veel boezemwater (During, 1991).

3.3 Flexibel peilbeheer

Onder flexibel peilbeheer wordt verstaan het koppelen van het in te stellen slootpeil aan een gemeten grondwaterstand. Bij een hoge grondwaterstand wordt een laag slootpeil ingesteld en bij een lage grondwaterstand wordt juist een hoger slootpeil ingesteld. Door deze maatregel zouden pieken in de grondwaterstand lager moeten worden en dalen in de grondwaterstand juist hoger. Uit berekeningen met het simulatiemodel SWAP (Kroes & Van Dam, 2003) blijkt flexibel peilbeheer het grootste effect te hebben bij een bodemprofiel dat voornamelijk bestaat uit leemarm, fijn zand. Het peilbeheer zou ook gekoppeld kunnen worden aan de weersvoorspellingen (Kraak, 2003).

Flexibel peilbeheer wordt in een aantal gebieden al toegepast, bijvoorbeeld in het laaggelegen zee- en rivierkleigebied tussen de Merwede en de Bergsche Maas (Hoogheemraadschap Alm en Biesbosch) (Van Oijen et al., 2001). In dit gebied is maaiveldvaling opgetreden tot lokaal 40 cm. De waterpeilen waren gebaseerd op de gewenste grondwaterstanden in het gebied. Vooral 's winters bleken natuur en landbouw tegenstrijdige belangen te hebben die met een vast peil niet opgelost konden worden. Daarom is geëxperimenteerd met flexibel peilbeheer. Hierbij is een hoog of een laag peil mogelijk afhankelijk van de opgetreden neerslag in de voorgaande periode en de neerslagverwachting voor de komende 24 uur (tabel 3.1).

Tabel 3.1 Flexibel peilbeheer aan de hand van neerslaggegevens van de voorgaande dagen en voorspellingen voor de komende 24 uur (Van Oijen et al., 2001)

| neerslag zeven dagen | voorgaande drie dagen | neerslag voorgaande drie dagen | neerslag komende 24 uur | peilinstelling |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------|
| 0 tot 10 mm | | 0 tot 6 mm | minder dan 8 mm | hoog |
| | | | meer dan 8 mm | laag |
| 10 tot 20 mm | | 6 tot 10 mm | minder dan 5 mm | hoog |
| | | | meer dan 5 mm | laag |
| | | 0 tot 10 mm | minder dan 4 mm | hoog |
| | | | meer dan 4 mm | laag |
| 20 tot 30 mm | | 10 tot 20 mm | nauwelijks neerslag | hoog |
| | | | meer dan 2 mm | laag |
| | | 0 tot 5 mm | nauwelijks neerslag | hoog |
| meer dan 30 mm | | | meer dan 2 mm | laag |
| | | alle gevallen | alle gevallen | laag |

Dit kan alleen voor geautomatiseerd in te stellen peilen. Met flexibel peilbeheer wordt voorkomen dat het waterschap onnodig lagere peilen hanteert dan noodzakelijk. Het effect wordt gemonitord: metingen van grondwaterstanden in peilvlakken met traditioneel en flexibel peilbeheer en ecologische beoordeling van de vegetatie in de natuurgebieden binnen het beheersgebied en oevers verdeeld over het gebied. In 2004 zal dit experiment worden geëvalueerd (Van Oijen et al., 2001).

Ook in grotere gebieden zoals het laagveengebied in de Vechtstreek met vele plassen en sloten kan een fluctuerend waterpeil verbetering van de situatie tot gevolg hebben. Het gebied wordt bedreigd door verdroging en eutrofiëring. Verdroging wordt veroorzaakt door wegzijging van water naar de diepe Horstermeerpolder en verminderde kwelaanvoer als gevolg van waterwinningen in het Gooi. Het ontbreken van natuurlijke peilfluctuaties, waardoor in natte perioden snel water wordt afgevoerd en in droge perioden eutroof water vanuit de Vecht moet worden ingelaten zorgt voor eutrofiëring van het water. Enkele regionale maatregelen zijn al genomen. Gebiedseigen kwelwater vanuit de Horstermeerpolder wordt teruggepompt naar de Vechtplassen (polder Kortenhoef). Verder zal de hoeveelheid water die nu nog vanuit het Vechtplassengebied wordt weggepompt voor het doorspoelen van 's Gravelands polder en de Kerkelanden-vijvers sterk worden teruggedrongen nu de waterbodems zijn gebaggerd. Lokaal moeten nu ook maatregelen genomen worden. Het toestaan van grotere peilfluctuaties is één van de geplande maatregelen in het gebied. Als in natte perioden water langer wordt vastgehouden, hoeft pas later water te worden ingelaten, waardoor de totale hoeveelheid ingelaten water zal afnemen. Daarmee wordt de eutrofiëring teruggedrongen. De effecten van flexibel peilbeheer zijn doorgerekend voor de hoeveelheid inlaatwater (tabel 3.2). Inlaat en uitlaat worden behoorlijk teruggedrongen bij toepassing van flexibel peilbeheer (Spieksma et al., 2000). Dit is vooral een gevolg van de grote bergingscapaciteit van de vele plassen en meren in het gebied, die uitstekend kan worden benut bij flexibel peilbeheer. De inlaatbehoefte van het gebied daalt dan naar 7.1 miljoen kubieke meter per jaar, waarbij drie miljoen kubieke meter van deze inlaatbehoefte wordt voorzien door gebiedseigen kwelwater vanuit de Horstermeerpolder terug te pompen naar de Vechtplassen. Door nalevering zal het effect echter niet direct meetbaar zijn. Daarnaast blijft wegzijging vanuit de Vechtplassen naar de Horstermeerpolder een belangrijk knelpunt en inlaat zal altijd nodig zijn ter compensatie van dit verlies.

Tabel 3.2 Gemiddelde jaarlijkse in- en uitlaathoeveelheden in het noordelijk Vechtplassengebied in de huidige situatie, de autonome situatie en de autonome situatie inclusief flexibel peilbeheer in miljoenen kubieke meters per jaar (Spieksma et al., 2000)

| | huidige situatie | autonome situatie | autonome situatie incl. flexibel peilbeheer |
|---------|------------------|-------------------|---------------------------------------------|
| inlaat | 11,7 | 9,5 (-19%) | 7,1 (-39%) |
| uitlaat | 9,9 | 8,3 (-20%) | 5,7 (-42%) |

3.4 Gedifferentieerd peilbeheer

Als verschillende belangen of functies om een verschillend peilbeheer vragen is het mogelijk om het peilbeheer gedetailleerd uit te voeren. Per deelgebied kan dan een bepaald peil gehandhaafd worden. Van Wezel & Nieuwkamer (2003) geven aan dat dit in het Groene Hart mogelijk is als het Groene Hart meer wordt gecompartmenteerd in deelgebieden met een duidelijk toekomstperspectief. Landgebruik en peilbeheer zijn dan beter op elkaar af te stemmen. Het per deelgebied instellen van het waterpeil vraagt wel om de aanwezigheid van technische voorzieningen zoals stuwen en andere kunstwerken.

3.5 Retentie

Retentie van water gebeurt vaak in het kader van veiligheid, maar het opgeslagen water kan ook gebruikt worden in tijden waarin minder water beschikbaar is. Door de mogelijkheden voor berging te vergroten kunnen grote afvoeren tijdelijk opgevangen worden.

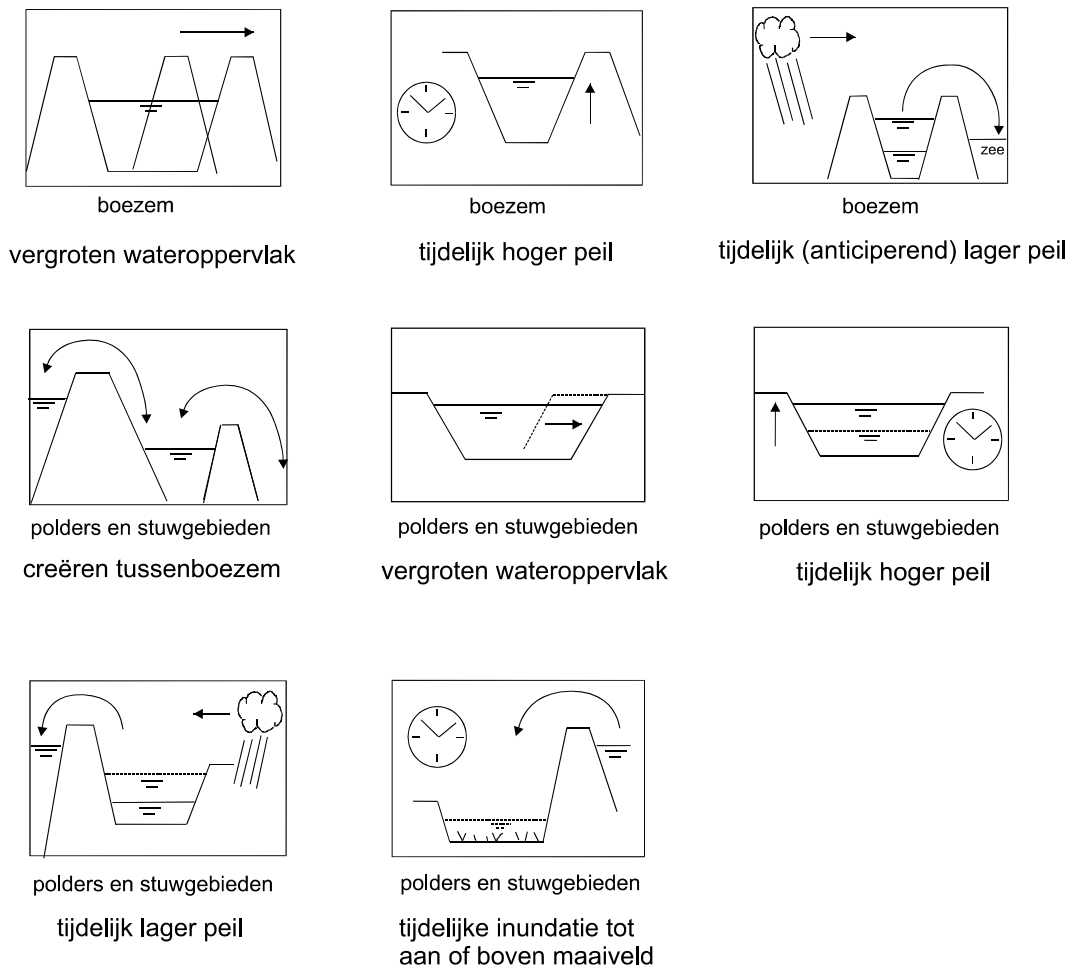
Litjens et al. (1999) onderscheidt drie bergingstypen in het kader van bestrijding van wateroverlast voor het Hollands Noorderkwartier (Waterschap Uitwaterende Sluizen van het Hollands Noorderkwartier). Figuur 3.2 illustreert deze typen:

1. Inlaat: het tijdelijk inlaten van boezemwater in diepe polders;
2. Retentie: tijdelijke aanpassing van het bemalingsregime in de polders. Hierbij wordt het water tijdens een afvoerpiek langer in de polder vastgehouden of juist eerder, voor de afvoerpiek uit, op de boezem geloosd;
3. Boezemvergroting: het permanent koppelen van gebieden aan de boezem.

Relatief grote bestaande natuurgebieden kunnen gebruikt worden voor retentie. De bijdrage aan grotere veiligheid is echter beperkt, omdat het te bergen watervolume relatief klein is. Inlaatgebieden blijken vooral wanneer ze dichtbij knelpunten in het huidige boezemsysteem zijn gelegen, het meest effectief uit het oogpunt van veiligheid. Het betreft vooral kleine droogmakerijen. Het voordeel van inlaatgebieden is dat het boezemwater tijdens het korte verblijf gezuiverd wordt. Het water verliest er zijn slib en kan na de regenperiode als bron van schoner water dienen voor de boezem.

Boezemverbreding geeft een substantiële uitbreiding van het areaal natuurgebied. De overstromingsvlakte wordt fors vergroot waardoor periodiek ondiep overstromende,

voedselrijke graslanden, rietlanden en moerasbossen ontstaan. De boezem reageert dan trager op veranderingen in aan- en afvoer. Dit komt planten en dieren ten goede (Litjens et al., 1999).



Figuur 3.2 Bergingsmogelijkheden in boezem en polders in laag Nederland (De Wolf & Van Stiphout, 1999). Verhoging van het peil, vergroten van het wateroppervlak, inundatie en het creëren van een tussenboezem dienen om het water langer vast te houden. Het tijdelijk verlagen van het peil wordt gedaan in perioden van gevaar voor wateroverlast

Het tijdelijk opslaan van water kan ook gedaan worden om de inlaat van gebiedsvreemd water te beperken. Bescherming van eutrofiëerings- of verdrogingsgevoelige gebieden kan door het beperken van de hoeveelheid in te laten gebiedsvreemd water. Hiertoe moet het gebiedseigen water in perioden van overschot opgeslagen en vastgehouden worden. Eveneens moeten wegzijgingsverliezen teruggedrongen worden. Hiertoe kan men de stijghoogte van het grondwater ter plaatse doen toenemen met het verminderen van wateronttrekking in intrekgebieden, ofwel de wegzijging naar een droogmakerij verminderen met het instellen van een tussenpeil. In tweede instantie is een

verkleining van het gebied dat onder invloed van boezemwater staat aan de orde. Dit kan bereikt worden door het uitslagwater van polders niet direct op de boezem, maar op een voorboezem te lozen. Deze voorboezem fungeert dan als een soort retentiebekken. Waterinlaat geschiedt vervolgens in eerste instantie vanuit die voorboezem. Hiermee kunnen waarschijnlijk goede resultaten behaald worden. (During, 1991).

Het meest voor de hand liggend is het water in de winter/voorjaar (natte tijd) op te slaan voor gebruik in de zomer (seizoensberging). Dit vergt echter grote oppervlakken en brengt daardoor hoge kosten met zich mee. Seizoensberging wordt vooral toegepast in het geval van verdroging of het oprukken van zout of brak water (Van Wezel & Nieuwkamer, 2003). Bakker et al. (1988) stellen voor om seizoensberging toe te passen om het hoogveengebied de Groote Peel te behouden en regeneratie van hoogveen mogelijk te maken. Hiervoor moet de grondwaterstand ook in de zomer hoog blijven (maximaal 40 cm onder maaiveld). Overtollig water in de winter kan opgespaard worden in een bekken en in de zomer in het reservaat ingelaten worden (Bakker et al., 1988).

3.6 Waternoodprofiel

De vorm van de watergang kan worden beschreven door de natte omtrek en door de bodemhoogte. De natte omtrek van de watergang en een eventuele sliblaag in de watergang zijn bepalend voor de weerstand die het grondwater ondervindt bij de stroming naar de watergang. Wanneer die weerstand groter wordt, neemt de opbolling van de grondwaterstand toe. Aanpassing van de vormgeving van de watergang kan daarom gezien worden als een waterconserverende en grondwaterstandsverhogende maatregel (Menger, 1994).

Het verondiepen van een sloot houdt in dat de ontwateringsbasis hoger komt te liggen. Hierdoor wordt voorkomen dat er te snel water wordt afgevoerd, maar hierdoor worden piekafvoeren juist hoger. Om deze hoge piekafvoeren snel af te voeren, kan de watergang (hoger in het profiel) verbreed worden, zodat juist bij hoge slootpeilen het natte oppervlak veel groter wordt. Berekeningen met het simulatiemodel SWAP hebben aangetoond dat bij alle bodemprofielen, door verondiepen en verbreden van de watergangen, de GLG (gemiddeld laagste grondwaterstand) flink hoger wordt, terwijl ook de GHG (gemiddeld hoogste grondwaterstand) stijgt. De verhoging van de GHG is ongewenst, want te natte situaties wil men juist voorkomen. Eén van de conclusies is dan ook dat het verbreden van de sloten het negatieve effect (te hoge grondwaterstanden) van het verondiepen niet kan compenseren (Kraak, 2003).

3.7 Combinatie van waterconserveringsmaatregelen

Maatregelen worden vaak niet afzonderlijk maar in combinatie uitgevoerd. Dit verhoogt de kans op succes. In het 'Lage Avontuur', een gebied binnen de Tiel- en Culemborgerwaarden wordt een combinatie van maatregelen genomen tegen verdroging en versnelde mineralisatie van het veen en tegen wateroverlast bij hevige

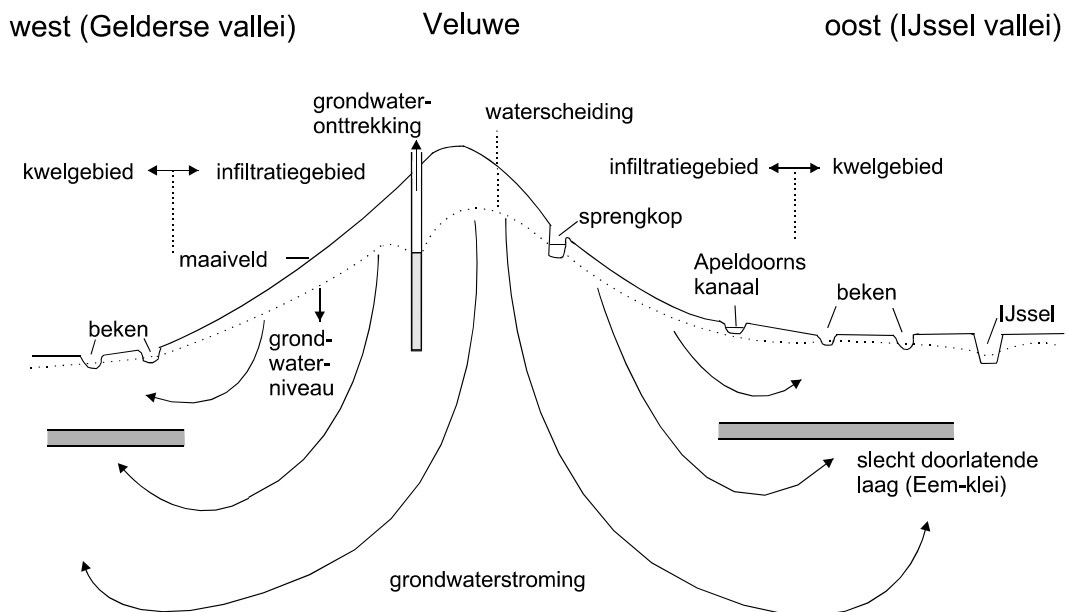
regenval (Veltrop, 1999, provinciaal correspondent Gelderland). Deze maatregelen bestaan uit:

- Verhoging van de waterpeilen;
- In het najaar en voorjaar meer water in het gebied vasthouden door het maken van een berging binnen het gebied (seizoensberging);
- Het watergangenstelsel verbeteren, zodat bij extreme neerslag het water voldoende snel wordt afgevoerd;
- Aanleg van een nieuw gemaal, waarbij bij extreem veel neerslag water snel afgevoerd worden uit de laaggelegen kom. Hierdoor kan het peil in het meest verdroginggevoelige deel structureel verhoogd worden met zo'n 30 cm.

4 Waterbeheer en hydrologische maatregelen in hoog Nederland

4.1 Inleiding

In hoog Nederland wordt water afgevoerd door sloten en beken (figuur 4.1). In het verleden was de afvoer via deze waterlopen gelijkmatig door de vrij constante afvoer van water uit natuurgebieden. Echter, ook in hoog Nederland is het waterbeheer in de vorige eeuw gericht geweest op een zo snel mogelijke afvoer van water. Door vergroting van het verharde oppervlak, ontginning van natuurgebieden en verbetering van de afwatering in landbouwgebieden wordt het water versneld afgevoerd. Voor de polders (slootsystemen) in hoog Nederland zijn dezelfde maatregelen mogelijk als al vermeld zijn in hoofdstuk 3. Hierbij moet wel in de gaten gehouden worden dat in hoog Nederland de afvoer van nature sneller plaatsvindt. In gebieden die van nature waterafvoerend zijn (beeksystemen, waterafvoer over maaiveld, of eeuwenoude begreppeling) blijft afvoer van water na het nemen van antiverdrogings- of natuurontwikkelingsmaatregelen noodzakelijk (Jansen & Schipper, 1997).



Figuur 4.1 Voorbeeld van hydrologie in hoog Nederland: Een schematische west-oost doorsnede van de Veluwe (Kant., 1982)

Ook in beeksystemen is peilbeheer een mogelijkheid om vernatting te bewerkstelligen. Maar als het peil in een hoofdbeek sterk verhoogd wordt kan het gebeuren dat het grondwater gedraineerd wordt waardoor de conservering juist afneemt. In deze gevallen is vergroting van de retentie nodig. Maatregelen in beek en

rivierdalen zijn vaak gericht op veiligheid (bescherming tegen overstroming) of op herstel van de beken zelf. Veel beken zijn namelijk gestuwd, gekanaliseerd en genormaliseerd. Hierdoor is het afvoerverloop in beken steeds grilliger geworden en treden steeds vaker overstromingen op. De meeste maatregelen gericht op herstel van een stabiele afvoer vallen onder waterberging. Het langer vasthouden van het water kan door:

- Peilverhoging;
- Bergen van water in retentiebekkens op het land;
- Bovenstroomse berging (berging in de haarvaten);
- Stromende berging (herstel van het oorspronkelijke profiel van beken).

In de volgende paragrafen zijn deze vormen van berging nader uitgelegd.

Vergroting van de berging biedt een aantal voordelen (Luyterink, 1995):

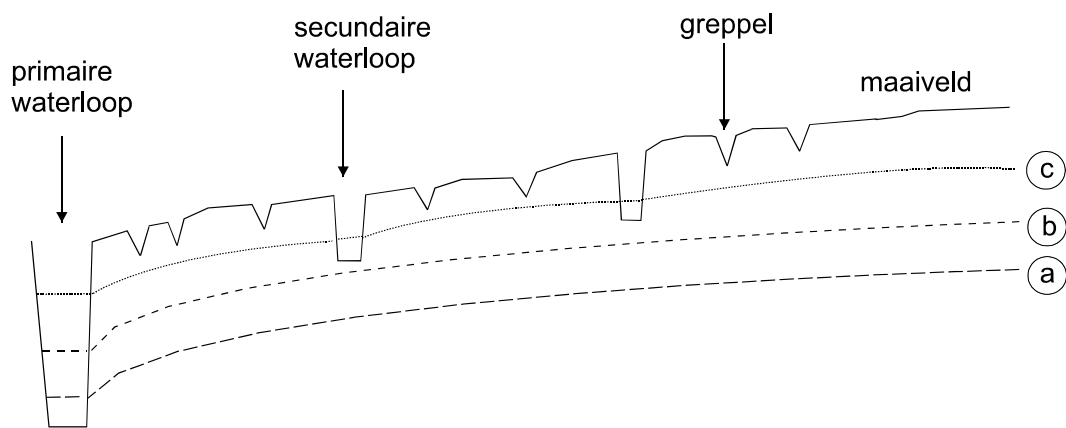
- Afname van de verdroging;
- Verbetering van de waterkwaliteit (door afgifte van water uit de berging in de zomer treedt verdunning op in geval van effluent lozingen en rioolwateroverstorten);
- Minder inundaties;
- Herstel van het oorspronkelijke afvoerverloop.

Modelonderzoek in twee stroomgebieden heeft uitgewezen dat zonder aanvullende maatregelen vernatting of waterberging resulteert in een behoorlijke toename van de piekafvoeren, in de orde van tientallen procenten als het gehele gebied wordt vernat. Door vergroting van de stremming van de afvoer van de kleinere waterlopen kan zeer effectief deze piekafvoer worden omgezet in een reductie, terwijl de grondwaterstandskarakteristieken niet veel veranderen. Aanleg van een extreem accoladeprofiel is vooral een maatregel om de kwel in de naastgelegen natuurgebieden te doen verhogen. Het reducerend effect op de piekafvoeren is beperkt (Van Bakel, 2002). Daarom wordt vaak een combinatie van maatregelen uitgevoerd (paragraaf 4.6).

4.2 Peilverhoging

Peilverhogingen hebben niet alleen gevolgen voor grondwaterstanden, maar ook voor het afvoerregime. Als hogere waterpeilen in de zomer worden doorgevoerd, dan neemt daardoor de afvoer toe en daardoor ook de noodzaak om onderhoud uit te voeren. De toename van de afvoer zal afhangen van de drainagekarakteristieken in het gebied. Bij hogere grondwaterstanden zal het aantal waterlopen dat water afvoert toenemen. Deze toename is van belang voor het afvoerregime (figuur 4.2) (Querner, 1999).

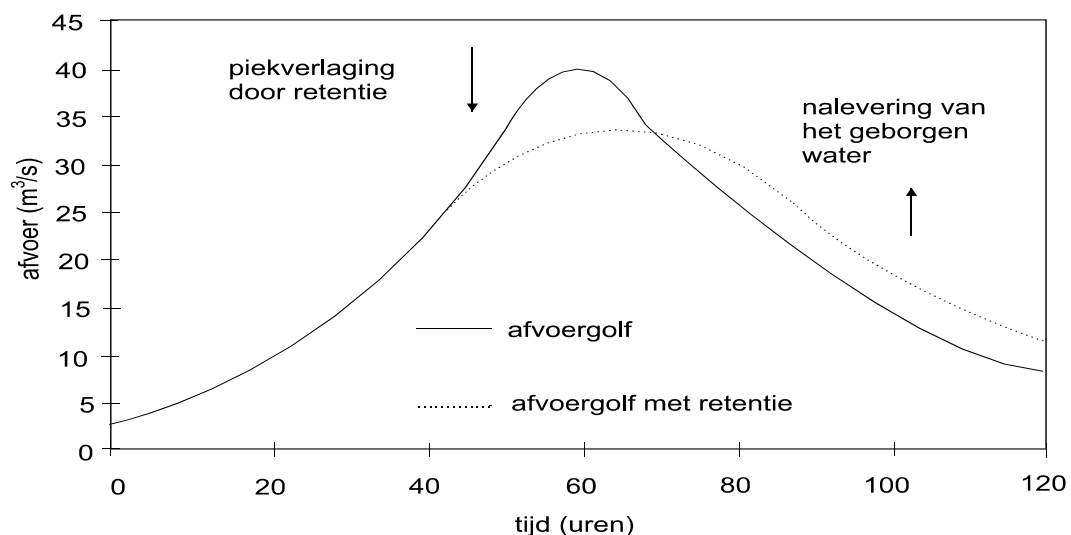
Ook in beeksystemen is peilbeheer een mogelijkheid om vernatting te bewerkstelligen. Maar als het peil in een hoofdbeek sterk verhoogd wordt kan het gebeuren dat het grondwater gedraineerd wordt waardoor de conservering juist afneemt. In deze gevallen is vergroting van de retentie nodig (figuur 4.2). Dit vraagt om extra maatregelen, bijvoorbeeld het dempen van greppels en sloten in het gebied.



Figuur 4.2 Effect van verboging van de drainagebasis in een beekstelsysteem, a = laag waterpeil, b = matig waterpeil, c = hoog waterpeil (Hoogendoorn & Luijendijk, 2000)

4.3 Berging in retentiebekken en inundatiezones

In het kader van veiligheid en om verdroging tegen te gaan worden retentiegebieden aangelegd om water op te vangen in tijden van piekafvoeren. Dit wordt tegenwoordig vaak gedaan als alternatief voor dijkverzwaring. Er zijn verschillende mogelijkheden voor de berging van water in beekdalen. Het creëren van retentiegebieden/-bekken die mogen overstromen is een voor de hand liggende maatregel. Ook het inrichten van inundatiezones langs de beek of rivier is een veel genoemde maatregel (onder andere Hoogendoorn & Luijendijk, 2000; Schilte & Schellens, 1999). Piekafvoeren worden hierdoor afgevlakt (figuur 4.3).



Figuur 4.3 Schematische weergave van het retentie-effect op een afvoergolf (Dormans et al., 1998)

Echter, er zijn meer mogelijkheden om water te bergen, bijvoorbeeld het aankoppelen van oude meanders en nevengeulen (Schilte & Schellens, 1999). Ook andere natuurlijke laagten in het landschap kunnen gebruikt worden, bijvoorbeeld nabij de uitstroming van een waterloop in de rivier. Deze laagtes hebben vaak van nature al een hoge grondwaterstand en hebben belangrijke ecologische potenties. Gezien de voedselrijkdom van dergelijke gebieden en van het in te laten water, en gelet op de grote onregelmatigheid van overstroming, zal het vooral gaan om robuuste natuur, namelijk vochtige kleibossen en rietland (Kwakernaak et al., 2000). Er zijn verschillende typen overstromingsgebieden die gekenmerkt worden door hun overstromingsfrequentie in relatie tot afstand tot de waterloop en de hoogteligging. De maatregelen die gericht zijn op waterberging leiden tot het vasthouden van water in het gebied. Dit betekent een minder snelle afvoer en een kleinere piekbelasting. Dit is vooral van belang bij extreme afvoeren omdat de afvoerpieken juist de problemen veroorzaken. Het geborgen water wordt in een later stadium, wanneer de piek voorbij is, weer afgevoerd. Een inventarisatie van retentieprojecten in Overijssel leverde 40 projecten op. Met behulp van scenarioberekeningen is gebleken dat het effect op de afvoer en waterstand per gebied verschillend is (Dormans et al., 1998). Met het inrichten van inundatiezones langs beken moet rekening gehouden worden met de aanwezige natuur in het beekdal. Het beekwater is vaak voedselrijk. Dit kan een probleem zijn in kwelgebieden aan de rand van een beekdal, waar vaak aan voedselarm water gebonden vegetatietypen voorkomen (Kwakernaak et al., 2000). Hermans & Hilgers (2000) beschrijven een drietal projecten waarin waterberging centraal staat (Oude Diep, Tungelroyse beek en Bossche Broek). Zij concluderen het volgende:

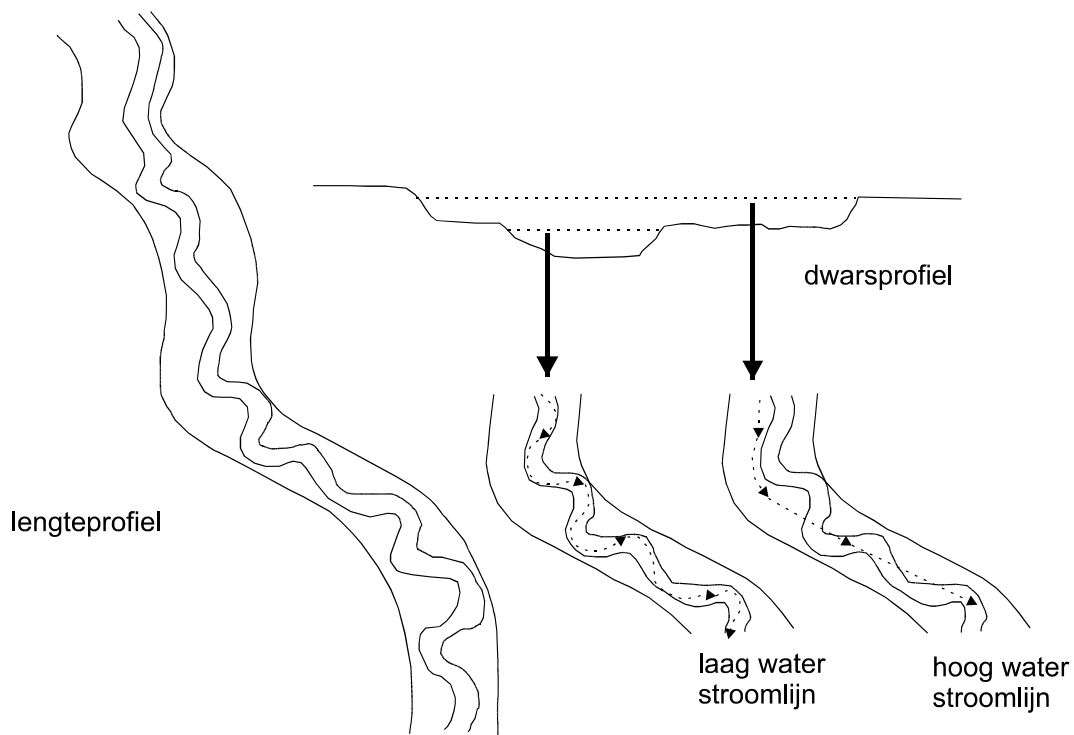
- De combinatie waterberging met natuur moet beter benut worden;
- Vertragen van de afvoer is gunstig voor natuur en verdrogingsbestrijding;
- Waar gewenst is waterberging te gebruiken als motor voor nieuwe natuur, bijv. in kwelgebieden, groene rivieren/overlagen. Voorwaarden zijn toetsing vooraf aan natuurdoelen en alleen schoon water inlaten (Hermans & Hilgers, 2000).

4.4 Stromende berging

Een voor de hand liggend antwoord op wateroverlast is ervoor te zorgen dat het water beter en sneller weg kan. Dit kan echter benedenstrooms problemen opleveren. Technische oplossingen van wateroverlast, zoals retentiebekkens, dijkverhogingen, zomerbedverdieping en stuwaanleg, gaan meestal voorbij aan de oorzaak ervan en zijn zelden duurzaam van aard. Bij verder oplopen van de hoogwaterstanden schieten ze opnieuw tekort. Alleen door er voor te zorgen dat het water langer in het stroomgebied wordt vastgehouden is het mogelijk de extreem lage en hoge waterstanden gelijktijdig en op een structurele manier aan te pakken. De sponswerking van het infiltratiegebied moet weer aangesproken worden. Natuurlijke bossen houden meer water vast dan intensief begreppelde productiebossen en akkers. Uitbreiding hiervan zou moeten plaatsvinden over het hele stroomgebied. Ook als het water eenmaal de beekdalen heeft bereikt zijn er nog grote mogelijkheden. Een vertraging van het water werkt op twee manieren positief uit: de kans neemt af dat watergolven uit verschillende beken samenvallen en elkaar

versterken in de hoofdstroom en door de langere looptijd vlakken watergolven meer af en komen lager benedenstrooms aan. Het vasthouden van water moet dan ook zo bovenstrooms mogelijk uitgevoerd worden.

Het toepassen van stromende berging is de natuurlijke werking van beekdalen bevorderen, waarbij water geborgen wordt terwijl het stroomt. Er zijn twee principes. Het eerste bestaat uit het vergroten van de beddingcapaciteit van de beken door toe te staan dat de dalbodem bij hoogwater onderloopt. Een voorbeeld hiervan is het aanleggen van een accoladeprofiel (figuur 4.4). Daarnaast is het mogelijk om de capaciteit te vergroten door oeverbeschoeiing weg te halen en erosie toe te staan, waardoor achtergebleven sediment beetje bij beetje wegspoelen. De ruimte in het beekdal neemt toe en de beken kunnen een hogere afvoer aan zonder stijging van het waterpeil. Vooral het vlechtende karakter dat de waterstroom krijgt in hoogwatersituaties, waarbij water al snel de hoofdbedding verlaat en via meerdere stromen door het winterbed stroomt, is van belang voor de vertraging en demping. Een natuurlijk beekprofiel voldoet hieraan. Het tweede principe is dat een natuurlijke begroeiing van oobossen en ruigtes in het dal de waterstroming remt, zodat hoogwatergolven kunnen afvlakken (Van Winden et al., 1999).



Figuur 4.4 Accoladeprofiel met meanderend laagwaterbed (naar Verdonschot et al., 1995)

Stromende berging is toegepast door een traject van anderhalve kilometer van de geul in Ingendael (tussen Valkenburg en Meerssen) vrij te laten meanderen (Kolen, 1999). Er is geen oeverbescherming, omgevallen bomen blijven in de beek liggen en de beek heeft een bepaalde zone gekregen waarin zij kan gaan meanderen. Dit project is in 1996 uitgevoerd. Tijdens hoogwater ontstaat een vlechtend systeem

waarin diverse waterlopen kunnen worden onderscheiden. Zij hebben allemaal een andere lengte en staan geregeld met elkaar in verbinding. De natuurlijke bedding vertraagt en dempt de hoogwatergolf ten opzichte van de huidige situatie (berekend met het model SOBEK (Pakes et al., 1998)). De demping van de golf kan oplopen tot 4% van de huidige afvoer. Obstructies zoals bomen en dammen hebben lokaal kleine opstuwings tot gevolg. Dit veroorzaakt in de natuurlijke bedding geen overlast (Kolen, 1999).

4.5 Bovenstroomse waterberging (haarvaten)

Voorbeelden van berging bovenstrooms zijn het weer laten meanderen van de rivieren en beken, het creëren van wetlands, het weghalen van de ontwaterings- en afwateringswerken in de landbouwgebieden en het herstellen van het waterhoudend vermogen in de haarvaten van het systeem. Waterberging in de haarvaten van een watersysteem verbetert de veiligheid en voorkomt verdroging benedenstrooms. Het fijnvertakte waterlopenstelsel (de haarvaten) met verspreide, kleinere inundatievlakten en –plekken biedt veel mogelijkheden voor het vasthouden van water (Hoogendoorn & Luijendijk, 2000). Relatief kleinschalige maatregelen op regionale schaal kunnen groot effect hebben op het terugdringen van de waterhoeveelheid in de benedenstroomse gebieden. Ruimtelijke oplossingen die gekozen zijn in het stroomgebied van de IJssel zorgen bij een hoogwaterpiek tot een 20-30 cm lagere piekafvoer. Op de Veluwe is één van de belangrijkste strategieën bij hoge rivierafvoeren de laterale toevoer vanaf de Veluwe verminderen door optimaliseren van de lozingsstrategie en het langer vasthouden van water in de kleinere toevoerende beken. Daarbij wordt gekozen voor ruimtelijke oplossingen zoals de aanleg van retenties en het creëren van inundatiegebieden. Maar ook het afremmen en vertragen van de afvoer van water door stuwen en knijpduikers kan eraan bijdragen, evenals het gebruik van bestaande natuurlijke moerasgebieden, en het stimuleren van het afkoppelen van regenwater van het riool. Er is veel winst geboekt met de natuurlijke inrichting van flauwe oevers en meanderende beken en de aanleg van nevengeulen en oeverpoelen in het vasthouden van water. Na enkele jaren zijn resultaten voor de terrestrische natuur in de beekdalen waargenomen (Vermeij & Van Boven, 2001).

Echter, het effect van bovenstroomse berging kan wel eens veel minder zijn dan door velen gedacht wordt. Toegevoegde bergingscapaciteit heeft invloed op het tijdstip van het hoogwater, maar het volume dat tijdens echte hoogwaters door Nederland moet worden verwerkt is voornamelijk afhankelijk van de neerslag in het stroomgebied. Extreme hoogwaterstanden treden juist op als het stroomgebied volledig verzadigd is door voorafgaande neerslag (het stroomgebied stroomt gewoon over) en extra berging heeft op dat proces weinig invloed (Luyerink, 1995).

Van Deursen et al., (2002) plaatsen eveneens kanttekeningen bij de berging van overtollig water voordat dit de rivier bereikt en afgevoerd wordt. Het is duidelijk dat in de ideale situatie vasthouden en bergen van water voorkomt dat afvoer optreedt. Toch heeft de berging geen absolute werking, de buffercapaciteit is eindig en er kan maar een beperkte hoeveelheid water worden vastgehouden. Als de berging vol is stroomt hij over en ook de gebufferde hoeveelheid water komt uiteindelijk toch weer

tot afvoer. Berging heeft dus alleen effect zolang de berging nog niet vol is. Hoge afvoeren ontstaan vaak gedurende perioden met depressies en dus veel neerslag. De bodem is dan vaak al verzadigd. Pas dan treedt een afvoergolf op. In situaties met incidentele neerslag zal het vergroten van de bergingscapaciteit binnen het stroomgebied wel degelijk effect hebben. Extra berging kan een afvoerpiek uitstellen, bij aanhoudende regen heeft het geen effect. De hoogte van de afvoerpiek zal nauwelijks verminderen. Concluderend kan gesteld worden dat:

- Binnen grote stroomgebieden individuele afvoerpieken worden uitgemiddeld, (hoge afvoeren komen alleen voor als het in grote delen van het stroomgebied gedurende langere tijd aan het regenen is);
- Om effect te krijgen in grote stroomgebieden moet erg veel extra berging gecreëerd worden om het effect merkbaar te laten zijn (de bergingscapaciteit is al erg groot);
- In lokale situaties incidentele wateroverlast (intensieve regen op een klein oppervlak) verminderd kan worden door het creëren van extra berging;
- Extra berging het tijdstip van overstromen van de berging uitstelt.

Hoewel maatregelen bovenstrooms mogelijk een bijdrage zullen leveren aan het oplossen van problemen in de middelhoge regionen van het afvoerregime, zal hun effectiviteit bij zeer hoge afvoeren op de Rijn en de Maas gering zijn (Van Deursen et al., 2002).

4.6 Beekherstel als combinatie van maatregelen

In beekdalen gaan verdroging en nagenoeg rechte, verstuwde beken vaak samen. In gebieden die in aanmerking komen voor verdrogingsbestrijding en beekherstel moet gezocht worden naar een vorm van herstel van de vroegere situatie. Maatregelen zijn onder andere terugdringing van grondwaterwinningen, herstel van kwelstromen, dempen, verondiepen en/of versmallen van waterlopen in het stroomgebied, hermeandering en het verwijderen van stuwen. Waterinlaat zal na het herstellen van de natuurlijke situatie in veel gevallen niet meer nodig zijn.

Het beheer van beken moet gericht zijn op (Luyerink, 1995):

- Herstel van natuurlijke dynamiek en begroeiing;
- Vrije meandering;
- De aanwezigheid van gradiënten;
- Het tegengaan van verdroging;
- Het bevorderen van waterretentie.

Buijze & Buijze (1991) voegen hieraan nog toe een goede waterkwaliteit en een constante toevoer van water.

Bij het beheer van beeksystemen moet uitgegaan worden van de stroomgebiedsbenadering. Om goede resultaten te bereiken is een integrale bescherming van het hele beekdal inclusief inzigtgebieden noodzakelijk. Vaak is een combinatie van maatregelen nodig. In eerste instantie moet het beheer gericht zijn op het benutten van kansrijke situaties en de aanwezigheid van gradiënten. Kwelstromen zijn hierbij zeer belangrijk. Het vasthouden van regenwater biedt daarnaast goede

mogelijkheden. Hierdoor wordt verdroging voorkomen en is in droge perioden een basisafvoer verzekerd (Luyerink, 1995).

Om te bepalen welke maatregelen in een gebied het meest geschikt zijn is het noodzakelijk de hydrologische werking van (combinaties van) maatregelen te kwantificeren. Dit kan gedaan worden door allereerst te beschrijven hoe maatregelen ingrijpen op hydrologische effecten en afgeleide effecten, zoals beekmorfologie, en deze te toetsen aan de gewenste abiotische situatie. De effecten van de ingrepen (afkoppelen waterinlaat, verwijderen stuwen, profiel versmallen, accoladeprofiel, meanderen, cascade-stuwen) zijn in beeld gebracht als oppervlaktewaterstanden, drooglegging en stroomsnelheden in De Kwaadsteniet et al. (1997). Ecologische effecten zijn echter niet meegenomen. De variant meandering levert de sterkste vernatting, gevolgd door het accoladeprofiel. Versmallen van de profielen levert een geringere bijdrage aan de vernatting van het gebied. Het aanleggen van een accoladeprofiel en hermeandering resulteren alleen in een toename van de stroomsnelheid bij een kleine belasting. De meeste morfodynamiek wordt verwacht bij een meanderend profiel. Bij versmalling of accoladeprofiel zullen door grotere stroomsnelheden in een kleiner profiel, mogelijk enige erosie en sedimentatie plaatsvinden (De Kwaadsteniet et al., 1997).

De resultaten van beekherstel zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie, de gekozen maatregelen en de schaal waarop de maatregelen worden uitgevoerd. In de volgende subparagrafen is een aantal beekherstelprojecten beschreven, waarbij combinaties van maatregelen gepland worden of recentelijk zijn uitgevoerd.

4.6.1 De Reest

Knelpunten in de Reest waren: verlaging van de grondwaterstand, de vermindering van de kwelstroming in de reservaatgebieden en de vermindering van de stroomsnelheid en de waterkwaliteit van de Reest zelf. Voor herstel van het beekdal werden de volgende hydrologische veranderingen noodzakelijk geacht:

1. Verhoging en vermindering van wisselingen in de grondwaterstand, vooral verhoging van de gemiddeld laagste (zomer) grondwaterstand;
2. Versterking van de grondwaterinvloed tot aan het maaiveld in lage dalgedeelten;
3. In stand houden en benedenstrooms lokaal versterken van de overstromingsinvloed. Vooral het frequenter voorkomen van overstromingen is van belang.

De afvoercharacteristiek van de Reest is in de loop van de tijd gewijzigd door:

- Afname van het oppervlak van het stroomgebied;
- Afkoppeling van delen van het stroomgebied in de zomer in verband met aanvoer van gebiedsvreemd water;
- Verbetering van de landbouwontwatering waardoor water sneller wordt afgevoerd;
- Intensivering van het onderhoud (tot voor enkele jaren).

Vooral in de zomer is de stroomsnelheid sterk afgenomen. Bovenstrooms heeft dit geleid tot een verslechtering van de waterkwaliteit in de Reest, met pieken in fosfaat- en nitraatgehalten in de zomer. Stroomafwaarts treedt weer verdunning op met relatief schoon grondwater. De ontwikkeling van de levensgemeenschap wordt hierdoor negatief beïnvloed. Randvoorwaarden voor herstel zijn:

- Toename van de stroomsnelheid in de voorjaars- en zomerperiode;
- Verbetering van de oppervlaktewaterkwaliteit.

Het voorstel is het waterpeil in de Reest te verhogen. Verhoging van de waterstand is mogelijk door het verhogen van de stromingsweerstand en door het vergroten van het debiet. De stromingsweerstand kan worden verhoogd door het stroomprofiel van de Reest te verkleinen via extensivering van het onderhoud. Een ander voorstel om het stroomprofiel te veranderen is het aanleggen van drempels die variëren van 35 tot 80 cm en die altijd onder de waterlijn blijven. Dit is echter een minder geschikte maatregel, omdat hierdoor de variatie in stroomsnelheid juist afneemt, er slib gesedimenteerd wordt en beekorganismen verdwijnen.

Inrichtingsmaatregelen moeten worden gecombineerd met extensiever onderhoud om verhoging van het peil te kunnen realiseren. Het debiet kan worden vergroot door het (langer) aankoppelen van enkele stroomopwaarts gelegen kwelgebieden, die nu nog op een afleidingskanaal afwateren. De aanleg van stuwen is niet acceptabel, doordat het stromende karakter dan wordt aangetast. Om teveel overstromingen in de winter te voorkomen is een aangepast stuwbeheer voor de afwaterende gebieden op de Reest noodzakelijk (As et al., 1994).

4.6.2 Het Merkske

In het Merkske is eutrofiëring opgetreden via diep en ondiep grondwater als gevolg van overbemesting in de landbouw. Effecten zijn vooral merkbaar in gebieden waar ondiepe lokale kwelstromen voorkomen. Het diepe grondwater is door de lang verblijftijd nu nog schoon.

De toestroom van geëutrofiëerd oppervlaktewater vanuit de landbouwgebieden naar de beek zorgt voor een directe eutrofiëring van het beekwater. Hierdoor wordt het water zuurstofarm en troebel.

Door uitdiepen van het Merkske in het verleden is de afvoerbasis van de beek verlaagd. Hierdoor zijn grondwaterstanden in aangrenzende percelen ook lager geworden, waardoor verdroging optreedt. Vooral op de venige bodem leidde dit tot inklinking en veraarding. Dit had interne eutrofiëring van de bodem tot gevolg. Ook vangt de diepere beek meer diep kwelwater af waardoor de kweldruk in de omliggende gebieden is afgenomen. De kanalisatie en normalisatie van vooral de bovenlopen zorgen voor drainerende en dus verdrogende invloeden. De morfo- en hydrodynamische processen in de beek worden beperkt door een stuw, de aanwezigheid van beschoeiing en duikers.

Ten aanzien van de hydrologie wordt aanbevolen op lange termijn de rechtgetrokken delen van de beek weer te laten meanderen en de aanwezige stuw te verwijderen (Dijkema et al., 2000).

4.6.3 De Mark en de Vliet

Ook voor de Brabantse rivieren de Mark en de Vliet ligt een visie voor herstel klaar (Staatsbosbeheer, Hoogheemraadschap West-Brabant en Waterschap Mark en Weerij). Problemen waren verdroging en hoogwaterproblemen. Voorgestelde maatregelen zijn:

- Berging aan de bron: herstel van infiltratie in de brongebieden door het verlagen van de afvoersnelheid;
- Stromende berging: vertraging van de afvoer en retentie langs beken, water vasthouden door vernatting en hermeandering;
- Inrichten van bergboezems: opvang van afvoerpieken in daartoe ingerichte natte graslanden langs de benedenloop;
- Herstel van de uiterwaarden met meestromende nevengeulen en natuurlijke moerassen.

Een aantal initiatieven wordt al genomen maar samenhang ontbreekt nog (Anoniem, 2000).

4.6.4 Oude Graaf en Kievitsbeek

Bij beekherstel is herinrichting van het hele stroomgebied vaak nodig. Het inrichtingsplan voor het stroomgebied van de Oude Graaf en de Kievitsbeek is hiervan een voorbeeld. Hier worden waterlossingen in het stroomgebied zoveel mogelijk gedempt, worden vennen gegraven in natuurlijke laagten en in delen van de beek vindt hermeandering plaats. Delen van lossingen worden omgeleid zodat landbouwgebieden niet meer via het natuurgebied afwateren. De effecten van deze maatregelen op de biotiek in het aquatische milieu zijn nog niet bekend, dit was nog in het planstadium. Waarschijnlijk zullen afvoerpieken afnemen, de waterkwaliteit toenemen, maar een nadeel is dat sommige trajecten vaker droog kunnen vallen (Oranjewoud, 1997).

4.6.5 Beerze

De meeste beekherstelprojecten bevatten een combinatie van een groot aantal maatregelen. Een voorbeeld is de Beerze waarvoor maatregelen gericht zijn op herstel van stroming en meandering, herstel van morfologie, mogelijkheden scheppen voor buffering, ontwikkeling van een zuiveringsmoeras, vispassages maken bij stuwen, ontwikkeling van natuurlijke begroeiingen zoals moerasbos (Buskens et al., 1998).

De voor de ontwatering aangelegde drainagebuizen en greppels hebben tot gevolg dat het oppervlaktewater versneld wordt afgevoerd. Door het afdammen van de greppels en drains wordt het grondwaterpeil verhoogd. Neveneffect is dat de afvoer van water geleidelijk verloopt en zo de beek over een langere periode watervoerend is (Schut et al., 1992).

4.6.6 Rode beek

Voor de genormaliseerde Rode beek (bij Sittard) is in 1994 een herinrichtingsplan opgesteld. De beek draineert nu de aanliggende broekbossen. In het plan wordt de oude beekloop hersteld. Voor de normalisering traden minder grote afvoerpieken op dan in de huidige situatie. De oude beekloop is door haar dimensies, ruwheid en meandering niet in staat de huidige piekafvoeren te verwerken. Om de waardevolle broekbossen te beschermen tegen overstrooming door riooloverstortwater, moeten de piekafvoeren worden opgevangen in regenwaterbuffers. Verder moet vrije meandering mogelijk zijn waarbij de beek zichzelf aanpast aan de nieuwe situatie. Op sommige trajecten wordt de meandering vastgelegd omdat erosiegevoelige kunstwerken of gebouwen gepasseerd worden. Kwelwater zal zoveel mogelijk worden vastgehouden doordat de diepe genormaliseerde loop gedempt wordt. De nieuwe beekloop zal minder diep zijn ingesneden en daardoor minder draineren. Overige waterconserverende maatregelen zijn het afdammen of dempen van de ontwateringsgeulen in de broekbossen en weilanden.

In een deel van het traject zal weerdverlaging plaatsvinden. Hierbij wordt een gedeelte van de dalbodem verlaagd volgens een getrapt profiel. Op het laagste niveau ligt de vrij meanderende beek. Bij normale afvoer is slechts de beekloop watervoerend, bij hogere afvoer gaan de verlaagde weerden meestromen (De Redelijkheid & Heijnen, 1994).

4.6.7 Beken rondom Groesbeek

Water vanuit de beken rondom Groesbeek zorgde regelmatig voor overlast in Kranenburg (Duitsland). In Groesbeek heeft men erosiebeperkende maatregelen getroffen zoals aanleg van groenstroken en graften gecombineerd met wandelpaden. Dit onderbreekt en remt de waterstroom waarmee de infiltratie verbetert en de erosie vermindert. Verder is een groot aantal retentiebekkens aangelegd. Bijvoorbeeld een vergrote berging van de Drulse beek. Retentiebekkens liggen vooral op de hellingen, onder andere de Sint Jansberg. De berging van een belangrijke A-watergang is vergroot door over een paar kilometer lengte de beek te verbreden. Ook zijn bodemvallen aangebracht die de snelheid van het water vertragen. Populierenbos wordt misschien omgevormd tot elzenbroek- of rabbatbos om zo extra retentie te realiseren. De mogelijkheden hiervoor worden onderzocht. Verder is bij de grens een stuw gekomen. Meer dan 2.5 m³ water per seconde kan de grens niet passeren. Komt er meer dan treedt een groot retentiebekken in werking. Door al deze maatregelen is de herhalingstijd van ernstige wateroverlast van eens per jaar naar ver boven de 10 jaar teruggebracht. Veel kleine maatregelen zijn in relatief korte tijd effectief. Mogelijkheden om stukken grond te kopen moeten worden benut (Bakker & Soppe, 2001). Voor de aquatische organismen in de beken zullen deze maatregelen een negatief effect hebben. Door het verlagen van de stroomsnelheid (door bodemvallen en stuw) zullen karakteristieke snelstromend water soorten verdwijnen.

4.6.8 Tungelroyse beek

Het stroomgebied van de Tungelroyse beek kampt met een aantal problemen: verdroging, wateroverlast en droogteschade in de landbouw, optredende piekafvoeren, erosie, een verontreinigde waterbodem, slechte waterkwaliteit en een gebrekkig ecologisch functioneren. In verschillende deelgebieden van de Tungelroyse beek zijn maatregelen getroffen (Hazeu et al., 2000). Modellerings van het watersysteem van de Tungelroyse beek heeft uitgewezen dat de afwatering (bepaald door het leeglopen van ondiepe maaivelddepressies via greppels en de afmetingen van waterlopen) een primaire rol speelt bij het ontstaan van piekafvoeren in plaats van de ontwatering (verlagen van de grondwaterstand door middel van sloten). Bij hevige neerslag kan vermoedelijk het regenwater door stagnerend hangwater binnen de onverzadigde zone niet meer door de ondergrond opgenomen worden. Tevens kunnen grondwaterstanden in lage gebieden het maaiveld bereiken. De snelle runoff die zich dan ontwikkelt, speelt een aanzienlijke rol bij de vorming van piekafvoeren. Afvoer uit het stroomgebied was vroeger groter dan tegenwoordig, door minder ondergrondse berging bij ondiepe grondwaterstanden. In tegenstelling tot wat wel eens gedacht wordt, was vroeger niet zozeer de berging onder het maaiveld groter, maar juist de berging op het maaiveld, in depressies van het voorheen meer onregelmatige maaiveld en in inundatievlakten die op uitgebreide schaal vanuit de beken konden ontstaan. Het is mogelijk dat ook de sponswerking van voormalige hoogveenpakketten een belangrijke rol speelde. Dit wordt ook wel de 'Wet van behoud van natte ruimte' genoemd: De droge ruimte die we vroeger stroomopwaarts in de zijbeken hebben gewonnen moeten we nu stroomafwaarts langs de grote rivieren uiteindelijk weer inleveren. Herstel van natte ruimte stroomopwaarts is natuurlijk ook mogelijk. In sommige gevallen is het effect van verminderde ontwatering en beekherstel op het voorkomen van afvoerpieken beperkt. Het waterschap Peel en Maasvallei onderzoekt daarom het principe van noodretentie, waarbij tijdens extreme Maas-hoogwaters inundatie van beekdalen wordt geïntroduceerd door het knijpen van de afvoer met behulp van een kunstwerk (Luijendijk et al., 2001).

4.6.9 Drentse Aa

Onderzoek in het stroomgebied van de Drentse Aa heeft uitgewezen dat door verondiepen of dempen van de kleinere waterlopen in het landbouwgebied een aanzienlijke verhoging van de grondwaterstanden bereikt kan worden. Zonder aanvullende maatregelen nemen de piekafvoeren hierdoor enigszins toe. Door de afwatering te 'knijpen' kan deze verhoging worden omgezet in een verlaging. Met het vernatten van bosgebied kan zowel de grondwaterstand worden verhoogd als de piekafvoeren worden gereduceerd. De basisafvoer varieert maar weinig tussen de maatregelenpakketten. Inzet van bergingsgebieden bij het lozingspunt heeft een reductie van de extreme piekafvoeren tot 10% als resultaat.

4.6.10 Het Reitdiep

Boetze & Geraedts (2001) hebben de mogelijkheden voor herinrichting van Reitdiep verkend. De doelstellingen zijn:

- Herstel van de natuurlijke beeksystemen van het Eelder- en Peizerdiep, de Drentsche Aa en de Hunze van de bovenlopen tot aan de Waddenzee;
- Ruimte voor wateropvang en berging in het hele systeem;
- Afstroming onder vrij verval;
- Herstel van de zoet-zoutovergangen;
- Waterconservering voor het minimaliseren van wateraanvoer en herstel van het grondwatersysteem;
- Schoon water benutten voor hoogwaardige functies en gebruik: natuur, drink- en zwemwater;
- Verbetering van de landschapsbeleving;
- Benutting en vergroting van het recreatief gebruik van het watersysteem;
- Levend water in de stad en in stadsuitbreidingen;
- Verbetering van de veiligheid.
- Om deze doelstellingen te bereiken is een aantal mogelijkheden voorgesteld:
- Het scheiden van beken en kanalen, zodat de waterkwaliteit in het bekensysteem wordt verbeterd;
- De verbreding van het Eemskanaal ter bevordering van de veiligheid;
- Het koppelen van waterbergingsgebieden aan het beekstelsysteem in het middenstroomse gebied voor calamiteiten en de conservering van schoon water;
- Het benutten van de oude meanders van de Hunze, het Reitdiep en het Oude Aduarderdiep zodat de bergingscapaciteit, de natuurwaarde en de belevingswaarde vergroot worden.

4.6.11 Maasnielderbeek

Het waterschap Roer en Overmaas heeft in 1992 de Maasnielderbeek heringericht. De belangrijkste maatregel was hermeandering. De beekbedding van ongeveer 2 m breed wordt lokaal begeleid door plasdras situaties. Het betrof een traject van ongeveer 2 km. Vanaf 1993 is geïnventariseerd (o.a. terrestrische vegetatie) (Gubbels, 1994). Over effecten in de beek zelf is niets vermeld.

4.6.12 Vledder- en Wapserveense Aa

In het kader van het beekherstelproject van de Vledder- en Wapserveense Aa wordt een groot aantal ingrepen uitgevoerd. Meanders worden gegraven, plasbermen worden aangelegd, bodemhoogtes worden veranderd en waterlopen worden versmald. Deze ingrepen zullen het huidige afvoerverloop beïnvloeden. Ook zal er meer erosie en sedimentatie optreden en zal de beek op bepaalde plaatsen buiten zijn oevers treden. Met behulp van een model (ISIS FLOW) is berekend dat na

beekherstel de maximale afvoeren 0.8 tot 2 maal lager zijn dan in de huidige situatie. De afvoerpieken treden bovenstrooms gelijktijdig op met die in de huidige situatie maar benedenstrooms treedt de afvoerpiek in de huidige situatie op na 8 uur en in de situatie na beekherstel pas na 21 uur. De afvoerpieken zijn in de situatie na beekherstel dus veel meer afgevlakt dan in de huidige situatie. De basisafvoer wordt in de huidige situatie na 30 uur bereikt en in de situatie na beekherstel bovenstrooms na 120 uur, benedenstrooms nog later. De stroomsnelheden en waterdiepten zijn afgenomen in vergelijking met die in de huidige situatie. In de situatie na beekherstel zal een oppervlak van 68000 m² inunderen bij maatgevende afvoer. Dit oppervlak ligt in de boven- en middenloop van de Vledder Aa (Van Haselen, 1996).

5 Bescherming van natuurgebieden

5.1 Inleiding

Peilverlaging in landbouwgebieden kan leiden tot daling van de grondwaterstand in aanliggende natuurgebieden door wegzijging naar het landbouwgebied. Tevens kunnen kwelstromen veranderen en in de richting van het gebied met peilverlaging gaan bewegen waardoor een natuurgebied minder kwelwater ontvangt. Dit kan zelfs omslaan in een wegzijging vanuit het natuurgebied. De verlaging van de grondwaterstand zorgt ervoor dat er in de zomer meer boezemwater moet worden ingelaten. Het aandeel inlaatwater ten opzichte van regenwater en kwelwater zal toenemen waardoor de waterkwaliteit af zal nemen. Dergelijke processen kunnen modelmatig gekwantificeerd worden, bijvoorbeeld met het model voor regionale grondwaterstroming GROMULA van het Waterloopkundig Laboratorium (Werkgroep Waterstandsnormen van de Natuurwetenschappelijke Commissie van de Natuurbeschermingsraad, 1980; Werkgroep Giethoorn-Wanneperveen, 1982).

In natte en vochtige gebieden komen levensgemeenschappen voor die gebonden zijn aan waterstanden dicht onder of zelfs boven het maaiveld. Verlaging van deze waterstanden leidt tot achteruitgang of verdwijnen van soorten en levensgemeenschappen die meer of minder gebonden zijn aan grond- of oppervlaktewater. Als belangrijkste oorzaken voor blijvende daling van waterstanden kunnen worden genoemd:

- Verbeterde af- en ontwatering ten behoeven van de landbouw;
- Onttrekken van grondwater ten behoeven van de drinkwatervoorziening of de industrie.

Om deze processen tegen te gaan kan een natuurgebied met een hoog peil geïsoleerd worden van landbouwgebied met een laag peil. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden (Werkgroep Waterstandsnormen van de Natuurwetenschappelijke Commissie van de Natuurbeschermingsraad, 1980).

Een tweede aspect dat speelt in natuurgebieden is dat deze vaak aangewezen worden als potentiële retentiegebieden. Het is echter de vraag of de natuur in deze gebieden daar wel tegen bestand is.

5.2 Functietoekenning

Functietoekenning aan gebieden is van groot belang om het grondwaterpeil plaatselijk te kunnen verhogen. Mengbestemmingen zijn ook mogelijk, bijvoorbeeld 'natuurwetenschappelijk gebied met agrarisch medegebruik'. Dergelijke mengbestemmingen zijn toelaatbaar en hebben voor de agrariër en natuurbeheerder tot gevolg dat in de betreffende gebieden ook rekening gehouden moet worden met het belang van natuur respectievelijk landbouw. Bij de keuze van een bestemming kan rekening gehouden worden met de toekomstige functie van een gebied, bijvoorbeeld als er nog enkele boeren hun bedrijf voeren. Of rekening houden met

een in de buurt liggend natuurgebied, bijvoorbeeld ‘agrarisches gebied met bufferfunctie voor aangrenzend natuurgebied’. Op deze manier moeten activiteiten die leiden tot grondwaterpeilverhogingen in het natuurgebied, maar ook daarbuiten (in de bufferzones) mogelijk worden gemaakt (De Putter et al., 1995).

5.3 Hydrologisch scheiden van natuur en landbouw

Technisch gesproken zijn de hydrologische effecten in natuurterreinen die het gevolg zijn van peilverlagingen en grondwateronttrekkingen vaak onderschat. Voorzover al voorzieningen werden getroffen, zoals de instelling van bufferzones en de aanleg van stuwen, blijken deze achteraf meestal niet toereikend. Regenwater en ingelaten oppervlaktewater blijken niet geschikt te zijn als alternatief voor grondwater. Herstel van oppervlaktewateren in natuurgebieden is mogelijk door de verhouding tussen grondwater en regenwater te herstellen en ervoor te zorgen dat inlaten van gebiedsvreemd water niet meer nodig is. Het belangrijkste is dus het tegengaan van afname van de grondwaterinvoer door verlaging van het grondwaterpeil en wegzijging. Hiervoor kunnen landbouw en natuur hydrologisch van elkaar gescheiden worden. Dit betekent dat het peil in het landbouwgebied lager komt te liggen dan in het natuurgebied. Een goed stuwbeheer is dan nodig om wegzijging vanuit natuurterreinen te beperken (Van Beusekom, 1991). Een andere mogelijkheid is het aanleggen van een hydrologische bufferzone.

5.4 Hydrologische bufferzones

Een natuurgebied kan hydrologisch gescheiden worden van omringend landbouwgebied door middel van een bufferzone.

Een hydrologische buffering wordt door Buningh & Adriaanse (1987) gedefinieerd als het geheel aan maatregelen dat nodig is om twee verschillende waterpeilen of twee verschillende waterkwaliteiten naast elkaar te kunnen handhaven. Hydrologische buffering kan op verschillende wijzen tot stand komen. Voorbeelden zijn (Buningh & Adriaanse, 1987):

- Een bufferzone met aangepaste slootafstanden en -peilen tussen het natuurgebied en het landbouwkundige gebied;
- Schermen plaatsen in de bovenste watervoerende laag van het bodemprofiel;
- Intern waterbeheer gericht op het zoveel mogelijk vasthouden van water in het natuurgebied. Dit is bijvoorbeeld realiseerbaar door het bevorderen van een zo hoog mogelijk winterpeil in het gebied, of het afdammen van sloten, die water uit het gebied afvoeren;
- Inlaten van water om het gewenste peil te bereiken. Hierbij is het zinnig om de aanvoerweg van het inlaatwater te verlengen, zodat het zelfreinigend vermogen van water benut en de kwaliteit van het inlaatwater verbeterd wordt.

De werkgroep Giethoorn-Wanneperveen (1982) geeft nog als mogelijkheid het graven van zandwinputten op de grens tussen landbouw- en natuurgebied. Het peil in de zandwinputten kan door middel van waterinlaat worden gehandhaafd op het

niveau van het waterpeil in het reservaat, zodat de grondwaterstandsverlagingen in het achter de zandwinput gelegen deel van het reservaat worden beperkt. De hoeveelheid inlaatwater kan dan worden beperkt. De put moet dan wel het diepe watervoerende pakket aansnijden. Uit modelberekeningen blijkt dat de verlagingen bij de grens wel afnemen maar dat de grootte van het gebied waarin verlaging optreedt niet sterk afneemt (Werkgroep Giethoorn-Wanneperveen, 1982).

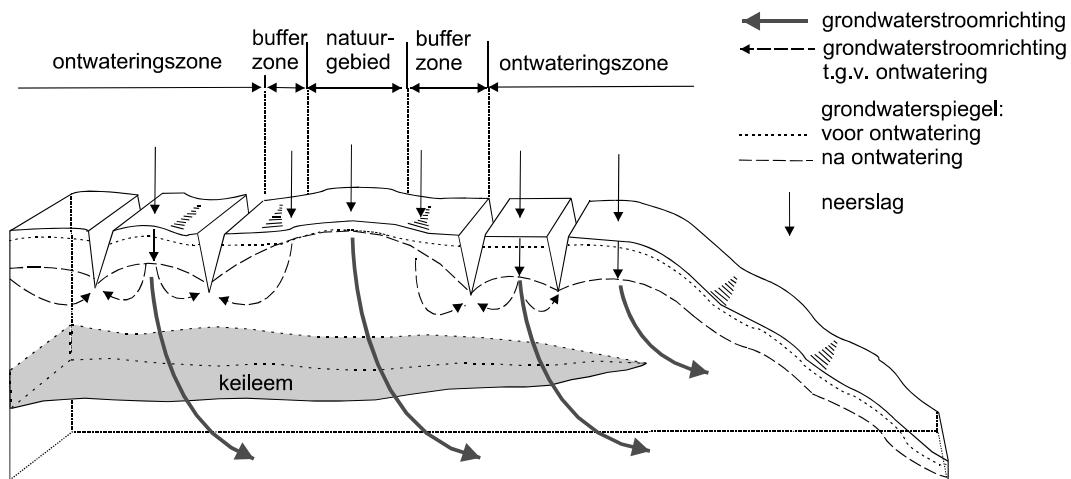
Het bevorderen van stagnatie van water in en rond natuurgebieden kan ook bereikt worden door opstuwning en het vergroten van de afvoerweerstand in de watergangen, waarbij de slootvegetatie een belangrijke rol speelt (During, 1991).

Een veel gebruikte methode is het instellen van een strook waarin geen wateronttrekking plaatsvindt of waarin het waterpeil hoger gehouden wordt dan in het omringende landbouwgebied. Een dergelijke bufferzone is bedoeld om te voorkomen dat de invloed van een grondwaterstandsvaling zich zijdelings uitstrekt tot in het natuurgebied. Een hydrologische bufferzone kan de effecten van ontwatering rondom het natuurgebied verminderen (figuren 5.1 en 5.2). Een belangrijke vraag daarbij is hoe breed zo'n bufferzone moet zijn. Een aantal mogelijkheden hiervoor, de te volgen procedure en te meten gegevens zijn opgesomd in Jansen (1983).

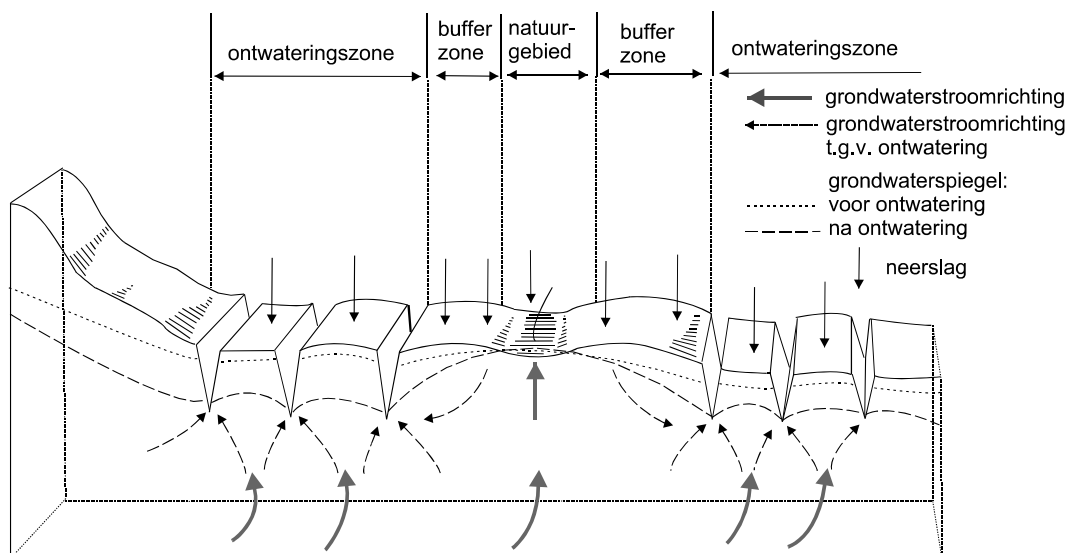
Luijendijk & Helmich (1997) geven aan dat een hydrologische bufferzone een zone van 2 km breed moet zijn waarin geen drainage en grondwaterberegening mogen plaatsvinden. Geconcludeerd werd dat een dergelijke bufferzone vooral geschikt is om de effecten door verbeterde ontwatering tegen te gaan. (Luijendijk & Helmich, 1997).

Bakker et al. (1988) beschrijven het aanleggen van een hydrologische bufferzone rondom een gebied om het effect van beregening en drainage in het omringende landbouwgebied op te heffen. Hiervoor is een strook nodig van 500 tot 2000 m breed, afhankelijk van de mogelijkheid om door middel van wateraanvoer in deze bufferzones gewenste peilen te kunnen handhaven.

Bij onderzoek naar de wenselijkheid van bufferzones moet primair de hydrologische positie van de te beschermen gebieden binnen de regio (grond- en oppervlaktewaterstromen) in beschouwing worden genomen. Dit betekent dat niet alleen het grondwaterregime maar ook de chemische karakteristiek van het grondwater bepalend is voor bodemprocessen waardoor de nutriënten voor de vegetatie beschikbaar komen. Zo zal een beheer waarbij ombrotroef water wordt vervangen door lithotroef water, of omgekeerd, ernstige gevolgen kunnen hebben voor natuurlijke begroeiingen ook al blijft uit kwantitatief oogpunt de beschikbaarheid van water voor de vegetatie ongewijzigd (Kemmers, 1982).



Figuur 5.1 Schematisering van de stroming van grondwater in een landschappelijk hooggelegen gebied met infiltratie voor en na ontwatering (Kemmers, 1982)



Figuur 5.2 Schematisering van de stroming van grondwater in een landschappelijk laaggelegen gebied met keel voor en na ontwatering (Kemmers, 1982)

Het laagveenmoeras Oosterschar, in Friesland is een natuurgebied dat tussen diep ontwaterde landbouwgebieden in ligt. Doordat wegzijging optreedt, is verdroging van het gebied opgetreden. Het gebied werd voorheen gevoed door grondwater en oppervlaktewater met grondwaterkarakter. Het is veranderd in een hoog gelegen gebied met wegzijging. De landbouwgebieden zijn veranderd in kwelpolders door continue maaiveldaling als gevolg van klink en oxydatie van veen. De open waterpeilen zijn hier keer op keer op aangepast. In de zomer wordt alleen bij zeer laag peil IJsselmeer water via de boezem aangevoerd naar het Oosterschar. Uit modelberekeningen blijkt dat het aanleggen van een smalle hydrologische bufferzone slechts een klein effect zal hebben. Wegzijging is vooral verticaal en om

dat op te heffen zal een groot deel van het omringende landbouwgebied natter moeten worden. Hier is echter geen draagvlak voor. Er wordt daarom gekozen in de winter het water in het gebied langer vast te houden en in de zomer meer water aan te voeren maar dit dan te zuiveren in de bufferzones begroeid met biezen- of rietvelden (Steenbruggen & De Wit, 1996).

5.5 Diepe droogmakerijen

Om herstel van de regionale hydrologie mogelijk te maken is het in sommige gevallen nodig om diepe droogmakerijen, bijvoorbeeld de Horstermeerpolder, de polder Groot Mijdrecht of de Bethunepolder, die nu putten in het landschap vormen waarin het regionale grondwater opkwelt, volledig te inunderen en alle grondwaterwinningen stop te zetten. Helaas is dit vaak niet haalbaar. Een mogelijkheid is dan het creëren van bufferzones rondom natuurgebieden met een hoog waterpeil, waardoor de wegzijging vanuit het natuurgebied naar omliggende landbouwpolders gereduceerd wordt. Bij het Naardermeer wordt dit al toegepast. Deze polders kunnen gebruikt worden om in de winter wateroverschotten op te slaan, die in de zomer weer gebruikt kunnen worden. De dominante invloed van de diepe polders op de regionale hydrologie kan verminderd worden door deze polders, die tegenwoordig slechts een marginale agrarische waarde hebben om te vormen in wetlands (Bootsma, 2000).

5.6 Bergen van water in natuurgebieden

Wel of niet bergen in natuurgebieden? Dit blijft een van de belangrijkste vragen in het kader van waterberging. De mogelijkheden zijn sterk afhankelijk van de al dan niet aanwezige natuurwaarden en hun tolerantie tegen inundatie. Tevens hangt de waterkwaliteit van het te inunderen water hiermee sterk samen. Grondwater is voor vernatting het meest geschikt, in ieder geval voor vegetatie van natte gebieden. Vernatting met regenwater leidt tot verzuring en verdroging in perioden met weinig neerslag. Boezemwater is minder geschikt vanwege eutrofiëring (Spieksma, 1994). Onverantwoord bergen kan leiden tot grote schade aan natuurgebieden. Bovenstroomse delen van een stroomgebied zijn van nature geen overstromingsgebied, de middenlopen zeer beperkt en in de benedenlopen vinden van nature wel overstromingen plaats.

In Groningen en Noord-Drenthe is het inrichten van bergingsgebieden voorgesteld in zowel natuur- als landbouwgebieden. De belangrijkste negatieve effecten op de vegetatie worden veroorzaakt door de eutrofiëring vanuit het slib en de fysieke slibafzetting. Het effect op de fauna is dat een deel verdrinkt. Op basis van de kwetsbaarheid en het oppervlak van de (lange termijn) natuurdoelen kan de geschiktheid voor de verschillende bergingsgebieden vastgesteld worden. Berging is goed te combineren met voedselrijke standplaatsen waar regelmatige inundatie mogelijk is. De natte natuur in Nederland verdroogt en waterberging kan bijdragen aan herstel van deze natuurwaarden.

Daartegenover staat de opvatting dat het hypertrofe boezemwater voor eutrofiëring zorgt. Het onder water zetten van (natuur)gebieden heeft de volgende effecten: niet mobiele fauna, eitjes, larven en poppen van insecten en dieren met een winterslaap verdrinken. Voor de vegetatie zijn effecten op de standplaats van belang. Nadelige effecten zijn verminderde zuurstofbeschikbaarheid, eutrofiëring via verschillende processen (aanvoer van nutriënten via het water, via het slib en interne eutrofiëring), sulfidotoxiciteit, erosie van de bovengrond en slibdepositie. Incidentele en relatief kortdurende inundatie heeft vrijwel geen effect op het grondwaterregime van de overwegend vochtminnende vegetaties. Terreinen waar zich geen bijzondere vegetatie kan ontwikkelen en die uitsluitend een weidevogeldoelstelling hebben of waar voedselrijke rietmoerassen en overstromingsgraslanden worden beoogd, zijn geschikt voor berging (Blom et al., 2003).

Een andere mogelijkheid is het bergen van water in bosgebieden. Vernatting van bosgebieden moet geleidelijk plaatsvinden om rotting van het wortelstelsel te voorkomen. Het is beter om de GLG (zomergrondwaterstand) te verhogen dan om de piekafvoer in natte perioden te remmen, want daardoor wordt het negatieve effect van vernatting op de bodem extra groot (Olsthoorn et al., 2002).

6 De relatie tussen hydrologische maatregelen en nutriëntengehalten in het oppervlaktewater

6.1 Inleiding

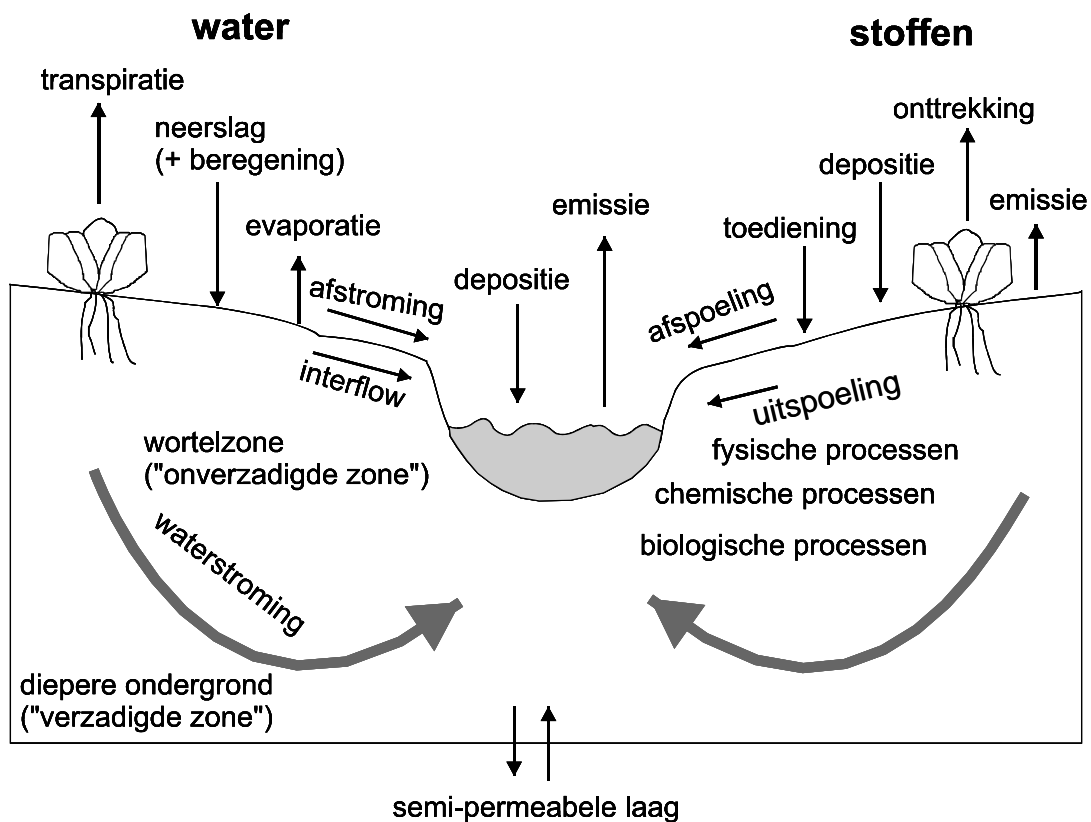
In de CUWVO (Coördinatiecommissie Uitvoering Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren) nota van 1983 werd al aangegeven dat het kwantiteitsbeheer in nogal wat gevallen van grote invloed is op de eutrofiëringstoestand van het oppervlaktewater. Veel hydrologische maatregelen hebben effect op de waterkwaliteit. De belangrijkste relaties tussen hydrologische maatregelen en nutriëntengehalten in het oppervlaktewater zijn in dit hoofdstuk beschreven:

- De relatie tussen peilverhoging en de af- en uitspoeling van nutriënten (paragraaf 2);
- De relatie tussen peilfluctuaties en nutriëntengehalten (paragraaf 3).
- Maatregelen waarbij gebiedseigen water zolang mogelijk wordt vastgehouden zijn brongericht. Ze grijpen aan op een belangrijke oorzaak voor eutrofiëring, namelijk een tekort aan gebiedseigen water waardoor gebiedsvreemd water moet worden ingelaten. Effectgerichte maatregelen zijn ook mogelijk. Vaak worden deze uitgevoerd als brongerichte maatregelen niet haalbaar zijn. Deze maatregelen proberen de nadelige effecten zoveel mogelijk tegen te gaan. De belangrijkste zijn:
 - Het verminderen van eutrofiëring door isolatie of het verlengen van de weg van het inlaatwater (paragraaf 4);
 - Het doorspoelen van gebieden (meren, petgaten- of slootssystemen) met minder nutriëntenrijk water (paragraaf 5).

Maatregelen hebben vaak niet of niet direct effect op de nutriëntengehalten doordat er zich zoveel nutriënten in het systeem bevinden dat er nog lang nalevering van de waterbodem naar de waterkolom plaatsvindt (paragraaf 6). Daarom worden vaak aanvullende maatregelen getroffen om eutrofiëring tegen te gaan. Dit zijn meestal geen hydrologische maatregelen maar maatregelen direct gericht op een afname van de voedselrijkdom. In paragraaf 7 zijn deze maatregelen beschreven.

6.2 Af- en uitspoeling van nutriënten

Nutriënten spoelen uit via het grondwater vanuit landbouwgebieden naar de oppervlaktewateren. Tijdens overvloedige regen vindt tevens oppervlakkige afspoeling plaats waarbij eveneens meststoffen meegenomen worden (figuur 6.1).



Figuur 6.1 Stromen van water en stoffen die de kwaliteit van het grond- en oppervlaktewater beïnvloeden; fysische, chemische en biologische processen bepalen de uiteindelijke concentraties van de stoffen die het grond- en oppervlaktewater bereiken (De Vos et al., 2003)

Van het neerslagoverschot wordt op kleigronden 50-100% (voornamelijk via drains) en op veengronden meer dan 50% via snel transport afgevoerd. De maximale verliezen naar het oppervlaktewater via dit snelle transport zijn aanzienlijk: op veengrond kan 30-40 kg N/ha, op kleibouwland 50-60 kg N/ha en op kleigrasland tot 178 kg N/ha via snel transport verloren gaan (Hendriks & Ter Keurs, 1992).

Dit probleem speelt zowel in sloten als in beken, alhoewel het voor beken vaker beschreven is. Dit komt doordat veel sloten een landbouwfunctie hebben en er weinig aandacht is voor deze problematiek. Voor sloten met een natuurfunctie geldt vaak dat het effect van inlaatwater veel groter is dan het effect van af- en uitspoeling. Bekken daarentegen hebben vaak een natuurfunctie ondanks dat ze door landbouwgebied stromen. Hierdoor is het proces van nutriënteninput via af- en uitspoeling voor beken erg belangrijk. Het grootste gedeelte van deze paragraaf zal dan ook op beken gericht zijn.

Oppervlaktewater wordt gevoed door vier bronnen: toestroming van oppervlaktewater van elders, neerslag, oppervlakte-afvoer over het maaiveld en toestroming van diep en ondiep grondwater. Elk van deze bronnen heeft een andere weg afgelegd en andere invloeden ondergaan. Het heeft daardoor een andere samenstelling en veroorzaakt diengevolge een andere waterkwaliteit in een watersysteem (Goossensen, 1989b).

De belangrijkste oorzaak van de eutrofiëring van beken in het landelijke gebied is de belasting van de beken met landbouwmeststoffen via uitspoeling. Hier en daar spelen ook afspoeling en het strooien van kunstmest tot in het oppervlaktewater een rol. Eutrofiëring begint in de brongebieden. Bekken in het landelijk gebied hebben vaak een laag ammoniumgehalte, een middelhoog fosfaatgehalte en een hoog nitraatgehalte, als gevolg van de uitspoeling van meststoffen (Uunk & Schmidt, 1995). De nitraatconcentratie in de Veluwe sprengen bijvoorbeeld, zal in de komende decennia verder oplopen tot circa 10 mg/l. Voor de ene spreng zal dat sneller gaan dan voor de andere (Meinardi, 1999).

De meeste beken zijn gelegen in het Pleistocene deel van Nederland, waar de bodem vooral uit zand bestaat. Ammonium spoelt weinig uit in zandgronden door de goede doorluchting. Ammonium wordt in dergelijke bodems vlot omgezet in nitraat, dat erg gemakkelijk uitspoelt, zeker waar weinig organische stof in de bodem aanwezig is en de grondwaterstanden laag zijn, zoals in droge zandgebieden. In de lager gelegen delen van Twente zijn de nitraatgehalten in landelijke waterlopen iets minder hoog, omdat daar gemiddeld hogere grondwaterstanden voorkomen, wat de nitraatafbraak door denitrificatie bevordert. Fosfaat kan in zandbodems maar in beperkte mate worden gebonden; er treedt vrij snel oplading op met als gevolg verhoogde gehalten in het uitspoelende water. De stikstof- en fosfaatgehalten in beken zijn, zo blijkt uit het voorgaande, zeker niet lager dan in sloten, vaarten en plassen in Laag-Nederland, terwijl beken vroeger in verhouding juist voedselarme wateren waren. In dat opzicht zijn beken de afgelopen decennia sterker geëutrofiëerd dan de meeste oppervlaktewateren in Laag-Nederland. Bij de effecten van eutrofiëring in de zandgebieden gaat het om zaken als de verruiging van brongebieden, broekbossen en oevers en om overmatige groei van algen en waterplanten (belemmering van de waterafvoer, hoge maaikosten, lage zuurstofgehalten door verbruik 's nachts en afbraak van dood plantenmateriaal) (Uunk & Schmidt, 1995).

6.2.1 Denitrificatie en mineralisatie

Niet alleen de belasting van het oppervlaktewater met nutriënten is belangrijk maar ook processen in de waterbodem en het oppervlaktewater. Voor stikstof speelt de waterbodem een belangrijke rol, omdat deze kan zorgen voor een verwijdering van stikstof uit het systeem ten gevolgen van denitrificatie. Dit kan een reductie van stikstof in de waterkolom opleveren. Er zijn weinig kwantitatieve gegevens voorhanden betreffende de denitrificatiesnelheid in kleine langzaam stromende, ondiepe wateren. Bij denitrificatie worden onder anaërobe omstandigheden nitraat gereduceerd tot moleculair stikstof (N_2), dat uit het systeem verdwijnt. Bij de omzetting van nitraat naar stikstofgas wordt organische stof geoxideerd. Voor denitrificatie van nitraat is een reductiemiddel nodig. Als reductiemiddel kan organisch materiaal, dat van nature in de bodem aanwezig is, dienst doen. Denitrificatie onder invloed van organisch materiaal is een traag proces, waarvan de snelheid wordt bepaald door de decompositie van dat organisch materiaal.

Vanuit het water diffunderen ammonium en nitraat naar de aërobe bovenste bodemlaag. In de aërobe laag wordt organisch materiaal onder invloed van zuurstof omgezet tot ammonium (mineralisatie). Dit ammonium kan achtereenvolgens door de aanwezigheid van zuurstof worden genitrificeerd tot nitraat. Opgeloste organische stoffen, ammonium en nitraat kunnen diffunderen naar de anoxische (zuurstofarme) zone in de waterbodem. Daar wordt eveneens ammonium gevormd uit organische stof. Nitraat wordt in deze zone gedenitrificeerd. Dit is de reductie van nitraat tot distikstofoxide (N_2O) en stikstofgas (N_2). Stikstofgas en distikstofoxide zijn gasen en verdwijnen via het water naar de atmosfeer (Snodgrass & Klapwijk, 1986). Zweers & Van der Kolk (1988) hebben een techniek ontwikkeld voor het meten van de denitrificatiesnelheid in waterbodems. Zij maten dat de denitrificatiesnelheid in de kleine waterlopen in het landelijk gebied beduidend hoger was dan in het grote Wolderwijd. Echter, de belasting van kleine waterlopen in agrarische gebieden met nutriënten is ook vele malen hoger.

Ook in het onderzoek van Negate et al. (1997) is aangetoond dat denitrificatie belangrijk is. In perceelssloten in het stroomgebied van de Schuitenbeek bleek netto 3 tot 21% (195 tot 965 $mg/m^2/dag$) van de uitspoelende stikstof te 'verdwijnen' door denitrificatie en vastlegging in biomassa. Ook in de Schuitenbeek zelf bleek nog stikstof te verdwijnen in de orde grootte van 8% van de belasting van de beek per 3 km. De netto verdwijning van stikstof bleek in de winter groter te zijn dan in de zomer. In verhouding tot de denitrificatie in de perceelsloot was de denitrificatie in het grondwatersysteem slechts zeer gering (10 $mg/m^2/dag$). Door de geringe relatieve oppervlakte van de sloot vond desalniettemin 90% van de denitrificatie plaats in het grondwatersysteem en slechts 10% in de sloot (Negate et al., 1997).

6.2.2 Af- en uitspoeling in relatie tot de afvoer

De nutriëntenbelasting in beken die afkomstig is van af- en uitspoeling is afhankelijk van het type water in de beek (regenwater versus grondwater) en de afvoer. Onderzoek in het stroomgebied van de Schuitenbeek heeft uitgewezen dat afwijkingen van het gemiddelde in de jaarlijkse waterafvoer versterkt werden in de jaarlijkse nutriëntenvruchten. Een hogere waterafvoer viel samen met een hogere concentratie en een lagere waterafvoer viel samen met een lagere concentratie in de gebiedsafvoer. Een periodieke hoge afvoer duidt op snelle afvoer van regenwater door af- en uitspoeling waarbij veel nutriënten meegenomen worden.

Wel is het zo dat in gebieden die gekenmerkt worden door een hogere jaarlijkse waterafvoer dan het gemiddelde (in natuurlijke omstandigheden), de nutriëntenconcentraties geringer waren en in gebieden, met een lagere jaarlijkse waterafvoer dan het gemiddelde, deze concentraties hoger waren. Een hogere waterafvoer kan in deze gevallen verklaard worden door het optreden van een sterkere kwelstroming en een relatief hoge grondwateraanvoer. In het Schuitenbeekgebied was de nutriëntenconcentratie in de kwel blijkbaar lager dan die in het water afkomstig uit de landbouw. Een lagere waterafvoer kan verklaard worden door het optreden van wegzijging naar de ondergrond. Blijkbaar was de concentratie in de wegzijging geringer dan de concentratie in de afvoer naar het oppervlaktewater (Negate et al., 1997).

Een ander voorbeeld is de Hierdense beek. Deze beek reageert snel op een regenbui; direct na de bui neemt het debiet van de beek snel toe en vanuit de gebieden met intensieve veehouderij, ook de hoeveelheid fosfaat en stikstof. De grootste hoeveelheid stikstof en fosfaat in het stroomgebied wordt veroorzaakt door de uit- en afspoeling (Swenne et al., 2002).

6.2.3 Drainage-nutriëntengehalten

De aanwezigheid van drainage kan invloed hebben op de af- en uitspoeling van nutriënten naar het oppervlaktewater. Uunk & Schmidt (1995) stellen dat drainage de afvoer van nutriënten vanuit het landbouwgebied naar een beek versnelt. Omdat er in de korte tijd totdat de meststoffen de drains bereiken minder afbraak en binding aan bodemmateriaal heeft kunnen plaatsvinden dan bij uitspoeling zonder drainage, mag worden verondersteld, dat drainwater relatief veel fosfaat, organisch stikstof en ammonium bevat. Deze stikstofvormen zijn voor het oppervlaktewater relatief schadelijk, omdat de afbraak veel zuurstof kost. Mc. Duff et al. (1990) concludeerden dat uit gedraineerd grasland op klei meer nitraat uitspoelt dan uit ongedraineerd grasland. Voor zandgronden is dit nog niet aangetoond (Uunk & Schmidt, 1995).

Ook Boers et al. (1997) adviseren om de afvoer van water naar de beken te vertragen door het verwijderen of niet meer aanleggen van drainagepijpen of door het afsluiten van drainagebuizen in de winter wanneer de meeste afspoeling plaatsvindt. Daarnaast noemen zij het verminderen van de slootdichtheid door het dempen van sloten en het opstuwen van de resterende sloten, zodat het water langer vastgehouden wordt en natuurlijke verwijderingsprocessen in het oppervlaktewater een betere kans krijgen als potentiële maatregelen. Hermeandering van de beek zelf en het aanleggen van beekbegeleidende moerassen heeft waarschijnlijk niet veel effect door de korte verblijftijd van het water.

6.2.4 Peilverhoging/verlaging

Torenbeek & Voskamp (2003) schrijven dat het opzetten van het grondwaterpeil een aanvullende maatregel kan zijn om de stikstofuitspoeling te verminderen. Verhogen van het waterpeil resulteert in een toename van de denitrificatie. Hierbij verdwijnt stikstof in de vorm van niet schadelijk stikstofgas naar de atmosfeer. Realisatie van maatregelen in het kader van “Waterbeheer 21^{ste} eeuw”, die gericht zijn op het vasthouden van water in het landelijke gebied, zullen de nitraatuitspoeling verminderen. Nadeel van een hogere grondwaterstand is de kans op toename van de ammonium- en fosfaatuitspoeling (op zand in Twente) (Torenbeek & Voskamp, 2003).

Dit is bevestigd door Goossensen (1989a) die andersom stelt dat verbetering van de ontwatering (peilverlaging) leidt tot een lagere grondwaterstand en een betere doorluchting van de bodem. Hierdoor ontstaat een toename van de hoeveelheid nitraat ten gevolge van toename van de mineralisatie en afname van de denitrificatie. Door meer mineralisatie zal daarom de basisuitspoeling toenemen mede omdat de

hoeveelheid gemineraliseerde stikstof die buiten het groeiseizoen vrijkomt toeneemt (Goossensen, 1989a).

Van Boheemen (1987) vond dat bij een laag peil door de bodem meer stikstof beschikbaar gesteld wordt door mineralisatie. Bij een peilverlaging (verlaging van de slootwaterstand) van 30 naar 70 cm onder maaiveld bedraagt bij een koopveengrond (veen zonder kleilaag erop) het extra aanbod circa 100 kg N per ha per jaar (Van Boheemen, 1987).

Peilverlaging heeft voor op het fosfaatgehalte in het water echter een gunstige invloed. De oppervlakte-afvoer (vooral op gras- en maisland) en interflow (vooral voor fosfaat) nemen af, doordat het fosfaatbindend vermogen van de grond toeneemt. Zolang de grond nog niet fosfaatverzadigd is, neemt door diepere ontwatering de uitspoeling van fosfaat naar het grond- en oppervlaktewater af (Goossensen, 1989a).

Jansen et al. (1996) geeft echter aan dat peilverlaging als gevolg heeft zowel een lagere N- en P-belasting. Als gevolg hiervan kunnen ook de concentraties in het oppervlaktewater dalen. De resultaten waren echter niet overtuigend. Er was geen sprake van significante veranderingen in de N- en P- belasting en de concentraties in het oppervlaktewater als gevolg van de grote onzekerheden die aan de verschillende uitgangspunten kleven. De concentraties van totaal-P en totaal-N in het polderwater worden vooral beïnvloed door de inlaat van water enerzijds en door processen als vastlegging en nalevering van fosfor door de waterbodem en (de)nitrificatie anderzijds; veranderingen als gevolg van peilverlaging worden hierdoor volledig overschaduwd (Jansen et al., 1996).

In een modelstudie voor het peilgebied Bergambacht hebben Hendriks et al. (1994) verschillende scenario's doorgerekend. Opzetten van het waterpeil in het natuurgebied en tegelijkertijd handhaven of verder verlagen van het peil in het landbouwgebied heeft als resultaat een verlaging van zowel P als N concentraties in het oppervlaktewater. Wel bleek dat de daling van deze concentraties klein is en vele jaren nodig heeft. De grenswaarden zullen waarschijnlijk niet bereikt worden (grenswaarden 2.2 mg/l N of 0.15 mg/l P) (Hendriks et al., 1994).

Het blijkt dus dat effecten in het oppervlaktewater nauwelijks waarneembaar zijn en dat concentraties in het oppervlaktewater sterker worden beïnvloed door inlaatwater dan door het waterpeil op zich.

6.3 Peilfluctuaties

Wienk et al. (2000) hebben een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de effecten van een natuurlijk (fluctuerend) peil op de nutriëntenconcentraties. Zij concludeerden dat er geen kwantitatieve inschatting gemaakt kan worden, er kan slechts een zeer globaal kwalitatief beeld worden geschetst van de effecten van een natuurlijker peilbeheer. Nutriëntenstromen en waterpeildynamiek hangen in sterke mate samen en natuurlijkere peilen zullen uiteindelijk bijdragen aan de vermindering van de (over)belasting van het ecosysteem met nutriënten.

Nitrificatie-denitrificatie en fosfaatadsorptie lijken door peilwisselingen versterkt te kunnen worden. Hierdoor kan een wisselend waterpeil wellicht bijdragen aan reductie van de belasting van het ecosysteem met stikstof en fosfaat. Ook de vastlegging van

koolstof wordt bevorderd als de afbraak wordt verlaagd, bijvoorbeeld onder invloed van een hoge grondwaterstand of regelmatige of langdurige overstroming van de oeverzone. Uiteindelijk kan door de accumulatie van organisch materiaal verlanding optreden. Een wisselend waterpeil leidt tot een vermindering van erosie van oevers en de ondiepe waterbodem. Resuspensie en vrijkomen van nutriënten in de waterfase worden hierdoor verlaagd.

Een natuurlijk waterpeil in meren en plassen heeft tot gevolg dat de oeverzone die in de winter inundeert en in de zomer droogvalt groter wordt. Een natuurlijker meerpeil heeft waarschijnlijk een gunstige invloed op de nutriëntengehalten doordat deze oeverzone een sink is voor nutriënten. Een lager zomerpeil vergroot de zuurstoftoevoer juist als de afbraak van organisch materiaal het hoogst is. Hierdoor wordt tevens de gekoppelde nitrificatie-denitrificatie gestimuleerd, en het vrijkomen van fosfaat door reductie van ijzer(hydr)oxiden verminderd. Ze worden in de oevervegetatie vastgelegd en zullen minder gemakkelijk weer door erosie in het water terugkeren. Voorts worden mineralisatie van gesedimenteerd organisch materiaal, denitrificatie en fosfaatbinding in de afwisselend natte en droge zone bevorderd (Wienk et al., 2000).

6.4 Verminderen van de hoeveelheid inlaatwater

In de meeste gebieden zijn drie soorten water te onderscheiden:

1. Grond/kwelwater met een kwelachtig karakter; een hoog ijzer- en kalkgehalte;
2. Regenwater; gekenmerkt door een zeer lage ionenconcentratie;
3. Inlaatwater, wat meestal voor een groot deel bestaat uit Rijnwater met een hoge fosfaatbelasting in de orde van grootte van 0.2 mg/l en een hoge alkaliniteit en sulfaatconcentratie.

Ongeveer 80% van de Nederlandse natuurgebieden lijdt onder verdroging (Steenvoorden et al., 1991). De potentiële waterbron om verdroging te compenseren is vooral Rijnwater. Meer dan 60 % van de oppervlaktewateren in Nederland wordt op deze manier al gedeeltelijk gevoed met Rijnwater (Bloemendaal & Roelofs, 1988). Recente hydrologische maatregelen zorgen voor het langer vasthouden van gebiedseigen water. Dit heeft als effect dat de kwelaanvoer in een gebied behouden blijft en dat in droge perioden minder gebiedsvreemd water (Rijnwater) ingelaten hoeft te worden. Dit is gunstig voor de waterkwaliteit, omdat gebiedsvreemd water een andere chemische samenstelling heeft dan kwel- of regenwater.

Inlaten van gebiedsvreemd water zorgt voor extra aanvoer van nutriënten en interne eutrofiëring, vooral op veenbodem. Het beperken van de waterinlaat kan dus in grote gebieden in Nederland een positief effect hebben.

6.4.1 Inlaatwater en eutrofiëring

Inlaat van Rijnwater levert een belangrijke bijdrage aan de eutrofiëring in minimaal 60% van de Nederlandse oppervlaktewateren. Eutrofiëring ontstaat door een verrijking van de waterlaag, doordat voedingsstoffen zoals fosfaat en stikstof vanuit

omringende landbouwgebieden in het oppervlaktewater terechtkomen. Ook ingelaten rivierwater bevat vaak een hoger nutriëntengehalte dan het oorspronkelijke water en zorgt daardoor voor eutrofiëring.

Maar ook als het ingelaten water nutriëntenarm is, kan er toch eutrofiëring optreden door mobilisatie van voedingsstoffen binnen het systeem (Roelofs & Cals, 1989). In dat geval is er sprake van interne eutrofiëring (figuur 6.2). Binnen het systeem komen nutriënten vrij door biologische en chemische veranderingen in zowel de waterlaag als het sediment. Dit gebeurt vooral in laagveengebieden, omdat het sediment daar een hoog gehalte aan organische stof bevat. Fosfaten, die een belangrijke rol spelen bij eutrofiëring, kunnen door verschillende processen vrijkomen en vanuit het sediment in de waterlaag terechtkomen.

Rijnwater bevat een hoog sulfaat- en bicarbonaatgehalte. Deze stoffen zijn verantwoordelijk voor interne eutrofiëring. Bij een lage redoxpotentiaal, beneden die waarbij reductie van nitraat optreedt, wordt sulfaat gereduceerd tot sulfide. Dit gebeurt vooral in anaërobe sedimenten. Bij deze omzetting treedt een redoxpotentiaaldaling op. Het gevormde sulfide verstoort daardoor de in het sediment aanwezige ijzerfosfaatcomplexen (Baccini, 1985). De oplosbaarheid van strengiet $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ neemt namelijk sterk toe bij een verlaging van de redoxpotentiaal in de bodem (Roelofs, 1991). IJzer (III) wordt gereduceerd tot ijzer (II) dat vervolgens met sulfide bindt (FeS, pyriet). Dit slaat neer met als gevolg een afname van de hoeveelheid ijzer, die beschikbaar is voor binding van fosfaten.

In door regenwater gevoede systemen of in gebieden waar gebiedsvreemd water wordt ingelaten, kan al snel een tekort aan ijzer optreden, als het niveau van sulfaatreductie hoog is (Schindler, 1985; Carignan & Tessier, 1988). De concentratie van ijzer neemt af vooral wanneer sprake is van wegzijging in plaats van aanvoer van ijzerrijk grondwater. Een tekort aan ijzer veroorzaakt dus een verhoging van de sulfideconcentratie in het bodemwater en mobilisatie van fosfaat dat uiteindelijk ook in de waterlaag terecht kan komen (Roelofs & Smolders, 1993).

Ook door toename van de alkaliniteit door inlaten van rivierwater kan fosfaat vrij komen (Curtis, 1989). De grote hoeveelheid bicarbonaat in inlaatwater zorgt voor externe alkalinisatie. De toename van alkaliniteit heeft een positief effect op de decompositieprocessen, doordat de zuren die bij de afbraak van organisch materiaal gevormd worden, en remmend werken op deze afbraak, worden geneutraliseerd (Brock et al., 1985). Hierdoor zal de afbraaksnelheid toenemen en zullen er meer nutriënten vrijkomen (Brock et al., 1985). Door de snellere decompositie is er meer zuurstof nodig in het sediment en zal de redoxpotentiaal dalen. Dat heeft een snellere reductie van ijzerfosfaatcomplexen tot gevolg (Boström et al., 1982; Roelofs, 1991).

Als het water zowel veel bicarbonaat als sulfaat bevat, zal dit proces versneld worden. Door de aanwezigheid van sulfaat treedt namelijk interne alkalinisatie op, doordat bij de sulfaatreductie waterstofionen worden opgenomen (Schiff & Anderson, 1987; Giblin, 1990; Psenner, 1988).

Als gevolg van interne alkalinisatie kan interne eutrofiëring doorgaan ook al is de externe eutrofiëring al gestopt (Schindler et al., 1986; Bloemendaal & Roelofs, 1988; Curtis, 1989).

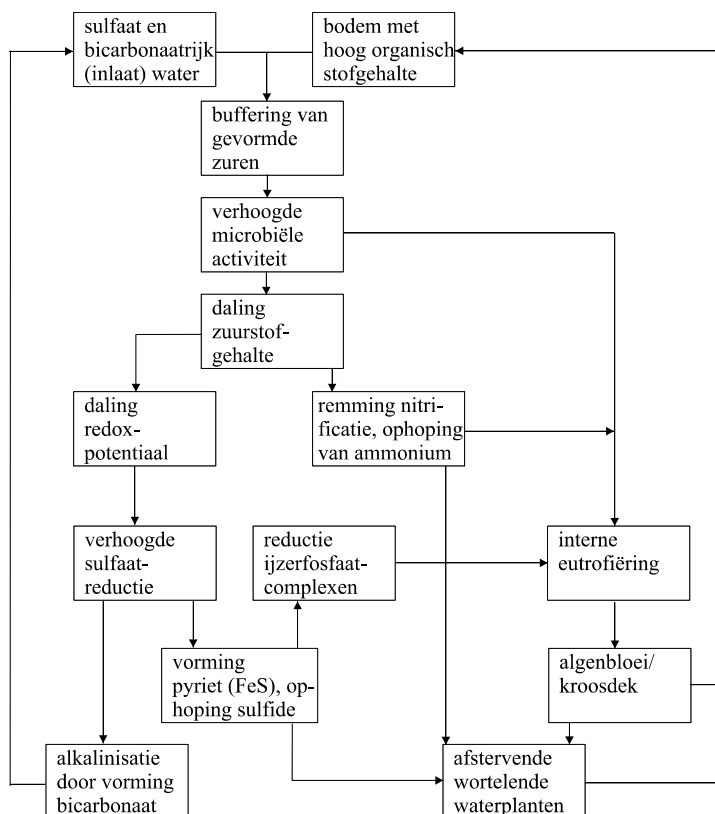
In Rijnwater zijn andere ionen dominant waardoor verschuivingen in de ionverhoudingen optreden bij het inlaten van Rijnwater. Vooral de verhouding tussen één- en tweewaardige ionen is sterk verschoven. Chloride, sulfaat, natrium en

kalium zijn dominant en zorgen voor verschuivingen in het bodemadsorptiecomplex. De hoeveelheid geadsorbeerd calcium neemt af door de toegenomen natrium en kalium waardoor de adsorptie van fosfaat aan calcium vermindert. De fosfaatbeschikbaarheid neemt hierdoor toe (Kemmers, 1990; Kooijman & Beltman, 1990).

Door interne eutrofiëring komen stoffen vrij die toxisch zijn voor wortelende waterplanten (vooral ammonium en sulfide). Hierdoor verdwijnen deze planten en krijgen kroos en algen meer kans om te gaan domineren. Het effect van eutrofiëring wordt dus nog eens versterkt.

Tenslotte zou de hogere zoutconcentratie van Rijnwater de adsorptie van P aan bodemdeeltjes kunnen beïnvloeden, doordat een hogere ionenconcentratie in het water/bodemmilieu de verhouding van bijvoorbeeld Ca^{2+} en Na^+ aan het bodemcomplex wordt beïnvloed. Beltman & Van der Krift (1997) hebben laten zien dat een verhoging van 15-20 mg/l chloride naar 100 mg/l chloride kan leiden tot een 100-200% toename van fosfaatopname door planten. Er komt dus veel meer fosfaat direct beschikbaar uit de veenbodem. Door opname door planten komt na het afsterven van deze planten de nutriënten direct in de waterkolom (Beltman & Van der Krift, 1997).

Het hoge sulfaatgehalte in het inlaatwater bevordert tevens verzuring als toch nog droogval optreedt. Sulfide dat gebonden is aan ijzer komt vrij waarbij zuur geproduceerd wordt (Lamers et al., 1996).



Figuur 6.2 Schematische weergave van effecten van sulfaat- en bicarbonaatrijk inlaatwater op macrofyten (naar Roelofs & Cals, 1989)

6.4.2 Inlaatwater in beken

Inlaatwater speelt zowel een rol in poldersloten als in (voornamelijk genormaliseerde) beken. Onderzoek in beken in het stroomgebied van de Dortherbeek heeft aangetoond dat inlaat van water uit het Twentekanaal via de Schipbeek negatieve effecten heeft op de chemische samenstelling van het water en op de vegetatie. Hydrologische processen veroorzaken in het onderzoeksgebied lokale verschillen in de waterkwaliteit en het voorkomen van plantensoorten. Deze verschillen worden door inlaat van water uit het Twentekanaal genivelleerd. In perioden zonder inlaat kan het water in de Voorste, Haar- en Zaalbeek getypeerd worden als hard, waarbij calcium en bicarbonaat de dominante ionen zijn, hetgeen kan duiden op toestroming van diep grondwater. Ook het ijzergehalte is hoog. Inlaatwater leidt tot een verstoring van de macro-ionenbalans, waarbij de concentraties van calcium, bicarbonaat en ijzer dalen en die van chloride, kalium, natrium en magnesium stijgen. Over het algemeen stijgen ook de nutriëntengehalten (Boedeltje et al., 1997).

Onderzoek naar effecten van inlaatwater op de Aalder- en Westerstream, genormaliseerde beken in Drenthe heeft aangetoond dat zowel de waterkwaliteit als de waterplanten en macrofauna een duidelijke gradiënt vertonen vanaf het inlaatpunt naar de meer geïsoleerde delen van het systeem. Ver van het inlaatpunt verwijderd kwam een soortenrijke en rijk gestructureerde watervegetatie voor met onder andere kwelindicatoren. Dichterbij het inlaatpunt was de vegetatie soortenarm, met enkele soorten die kenmerkend zijn voor zeer voedselrijk en hard water (bijvoorbeeld *Elodea nuttallii*). De bodem macrofaunasamenstelling nabij het inlaatpunt leek op die nabij de rioolwateroverstort (Gijsen et al., 1989).

6.4.3 Tegengaan van wegzijging: waterconservering

Om eutrofiëring tegen te gaan moet de kwelstroom gehandhaafd en zo mogelijk vergroot worden en moet de hoeveelheid inlaatwater beperkt worden. Hierdoor worden de mogelijkheden voor herstel en ontwikkeling van voedselarme ecosystemen verbeterd. De toename van kwel in polders kan bereikt worden door de onttrekkingen van grondwater te verminderen, de afvang van kwel door diepe droogmakerijen te verminderen met een tussenpeil en de afvang van kwel door diepe ontwateringssloten met inrichtingsmaatregelen te verminderen. Langs diepe droogmakerijen kunnen een gehele of gedeeltelijke inundatie of het instellen van een subboezem langs de randen goede maatregelen zijn (During, 1991).

Aanvoer van gebiedseigen water uit nabij gelegen polders is ook een oplossing. In het project integrale bestrijding eutrofiëring Ankeveense en Kortenhoefse Plassen is besloten tot vervanging van het gebiedsvreemd, nutriëntenrijk boezemwater door gebiedseigen, nutriëntenarm kwelwater uit de randzone van de diepgelegen Horstermeer polder (Verstraelen et al., 1988). In een gemiddeld jaar kan met het zoete kwelwater voorzien worden in de waterbehoefte van de omliggende polders. Hiermee is een aanzienlijke reductie mogelijk in de fosfaatbelasting (Verstraelen et al., 1988).

Ook in de Loosdrechtse plassen is het tegengaan van wegzijging één van de belangrijkste maatregelen om eutrofiëring tegen te gaan. Eutrofiëring in de Loosdrechtse plassen kan tegengegaan worden door een aantal hydrologische

maatregelen: herstel van de grondwaterinflux, doen afnemen of stoppen van het wegzijgen van water uit de meren door overstroming van nieuwe ingepolderde gebieden, zoals het voormalige Horstermeer en de Bethunepolder en reductie van grondwateronttrekking in het Gooi (stroomgebied van de plassen). Hierdoor zal de input van kwelwater van goede kwaliteit toenemen en is minder inlaat van Amsterdam-Rijnkanaal water nodig. Het (gedeeltelijk) overstroomen van de Bethunepolder is ook een mogelijkheid. Hierbij wordt de oorspronkelijke hydrologische situatie hersteld (Engelen et al., 1992).

In Brandemeer en de Rottige Meente in Friesland, laagveenmoerassen met petgaten, is het peilbeheer aangepakt (Thannhauser-Douwma, 1998). In delen van het gebied zijn de waterpeilen verhoogd en zijn er sloten gegraven met hoogwaterpeilen om wegzijging zoveel mogelijk te voorkomen. Ook worden er hogere winterpeilen en lagere zomerpeilen geaccepteerd om de inlaatbehoefte te verminderen. Het areaal open water is en wordt nog verder vergroot door het graven van nieuwe petgaten en het opengraven van verlande petgaten. Deze nieuwe petgaten dienen ook voor wateropslag van gebiedseigen water, waaruit in droge perioden geput kan worden. Verder is er gebaggerd in dit gebied (Thannhauser-Douwma, 1998).

De hoeveelheid inlaatwater die nodig is kan ook verlaagd worden door de inlaatstuw en de overstort goed op elkaar af te stemmen. Hiermee kan een reductie van 10% bereikt worden. Vergroting van de berging en tijdelijke peilverhogingen van vijf centimeter ten opzichte van het huidige peil kunnen een reductie van circa 15% van de totale hoeveelheid inlaatwater opleveren (De Hoog et al., 2000).

Het kwantitatieve waterbeheer in landbouwpolders beïnvloedt niet alleen de belasting van het oppervlaktewater in de polders, maar ook de eutrofiëring van het oppervlaktewater waarop de polders lozen. De relatieve bijdrage van hogere peilen en conservering van water in landbouwpolders aan de vermindering van de eutrofiëring lijkt echter gering (Iwaco, 1992, Hendriks, 1993). Uitzonderingen zijn situaties waarin hogere peilen nutriëntrijke kwel doen afnemen, bijvoorbeeld in kleigebieden langs de Waddenzeekust waar zoute nutriëntrijke kwel voorkomt of in eutrofe veengebieden. Aangepast waterbeheer lijkt dus nog geen effectieve maatregel voor de bestrijding van de eutrofiëring. Het effect kan toenemen wanneer andere aanvullende maatregelen zijn gerealiseerd. In natuurgebieden, waar geen bemesting (meer) plaatsvindt, kan waterconservering wel effectief zijn. Deze maatregel wordt in Friesland al veelvuldig toegepast. Voorbeelden zijn De Alde Feanen, De Deelen en het Nanne Wijd. Vooral in de Alde Feanen, waar al voor 1990 geëxperimenteerd werd met waterconservering, blijkt dit een effectief middel voor de terugkeer van waterplanten die typisch zijn voor voedselarme situaties (Altenburg & Wymenga, 1993, Claassen, 1992). Wel is deze maatregel in combinatie met andere maatregelen uitgevoerd.

6.4.4 Peilscheiding

Peilscheiding kan gebruikt worden als maatregel om de hoeveelheid inlaatwater te beperken in specifieke gebieden. Rip et al. (1989) presenteren een waterbeheersplan voor het Botshol in het kader van eutrofiëringsbestrijding. Om input van nutriënten via inlaatwater te voorkomen, vindt een peilscheiding plaats tussen natuurgebied en

landbouwgebied. Het natuurgebied heeft een hoger peil. Indien een wateroverschot optreedt, kan het overtollige water door middel van een duiker in een stuw naar het agrarisch gebied stromen. Doordat het natuurgebied afgestuwd wordt is het in het voorjaar en in de zomer, in tijden van neerslagoverschot mogelijk, om het waterpeil iets op te zetten (buffervorming). Na aanpassing van de peilen zal meer wegzijging optreden vanuit het natuurgebied naar de polder Groot Mijdrecht en naar het agrarisch gebied. Maar door de mogelijkheid van buffervorming en een efficiënter peilbeheer zal naar verwachting de totale hoeveelheid van het in te laten water niet toenemen. De verwachting is dat de externe fosfaatbelasting met 55% vermindert (Rip et al., 1989).

6.4.5 Verlenging van de aanvoerweg

Als afname van de hoeveelheid inlaatwater niet haalbaar is of als een aanvullende maatregel nodig is, kan de aanvoerweg van het inlaatwater verlengd worden. Dit heeft als voordeel dat al enige natuurlijke zuivering is opgetreden, voordat het water het gebied bereikt.

In het zuidelijk deel van Zuid-Holland is onderzoek uitgevoerd naar deze maatregel. In dit gebied worden veel natte natuurgebieden gevoed met voedselrijk polderwater vanuit het landelijk gebied wat tot eutrofiëringproblemen zoals algenbloei en lage zuurstofgehaltenes leidt. De waterkwaliteit in het landelijk gebied wordt vaak gekenmerkt door hoge nutriëntengehaltenes als gevolg van belasting vanuit landbouw en overstorten. Een natuurlijke manier van het zuiveren van oppervlaktewater biedt mogelijkheden om de kwaliteit van het inlaatwater en van het natuurgebied zelf te verbeteren. Een verlengde aanvoerweg is een voorzuivering van inlaatwater waarbij de afstand tussen het inlaatpunt en het natuurgebied door middel van het graven van een sloot is verlengd. Er is een afweging gemaakt tussen een verlengde aanvoerweg (beplant met macrofyten en helofyten op flauwe oevertaluds) en een helofytenfilter. De verlengde aanvoerweg is gemaakt voor het Grootte Gat. Dit is een geïsoleerd kreekgedeelte dat oorspronkelijk brak was maar nu zoet. Door wegzijging naar het omliggende landbouwgebied en verdamping treedt watertekort op in het natuurgebied. De enige mogelijkheid om dit aan te vullen is het inlaten van voedselrijk polderwater. De verlengde aanvoerroute is aangelegd in voedselrijk grasland. Het doel was de minimumkwaliteit (grenswaarde) voor stikstof en fosfaat te bereiken. Het rendement van een verlengde aanvoerweg is bij een goede vegetatieontwikkeling vergelijkbaar met een helofytenfilter. Doordat bij een verlengde aanvoerweg meer bodemmateriaal wordt verwijderd bij onderhoud is het rendement ten aanzien van de zuivering van fosfor beter dan bij een helofytenfilter. In deze studie bleek fosforverwijdering maatgevend te zijn voor het benodigde oppervlak. Wel is onderhoud nodig in de verlengde aanvoerroute: in september maaien en verwijderen van de water- en oevervegetatie en een keer per vier jaar baggeren. Verse bodem komt dan beschikbaar voor adsorptie van voedingsstoffen (vooral fosfor). De werking van de aanvoerweg wordt gevolgd. Het rendement van fosfor- en stikstofreductie wordt gemeten, evenals het inlaatregiem, de plantengroei en de onderhoudsmethoden. De monitoring zal 5 jaar duren (Delleman & Jorna, 1999). De Hoog et al. (2000) stellen voor de verbetering van de kwaliteit van het laagveenplassengebied de Haak bij Nieuwkoop eveneens verlenging van de

aanvoerweg van het inlaatwater voor, eventueel in combinatie met het scheiden van de Boschwetering en de noordelijk gelegen petgaten, waardoor ook binnen de Haak de aanvoerweg naar de petgaten verlengd wordt. Bij een redelijke ontwikkeling van vegetatie in de aanvoersloten zal bijna 20% van het aanwezige fosfaat in het inlaatwater verwijderd worden. Een uitgebreide vegetatieontwikkeling in de sloten kan echter niet op korte termijn verwacht worden (de Hoog et al., 2000).

Kooijman & Beltman (1990) stellen dat een langere aanvoerweg wel de nutriëntenconcentraties verlaagt maar veelal niet die van de overige macro-ionen waardoor nog steeds interne eutrofiëring kan optreden (Meuleman et al., 1990).

6.4.6 Hydrologische isolatie binnen een sloten- en/of petgatensysteem

Om het effect van inlaatwater op een zo klein mogelijk deel van het oppervlaktewaterstelsel tot uiting te laten komen, kan isolatie van delen van het systeem plaatsvinden. Hierbij vinden waterinlaat en afvoer op hetzelfde punt plaats. Water dat ingelaten wordt zal zorgen voor opstuwning van het gebiedseigen water in de smalle watergangen. Hoe verder van het inlaatpunt verwijderd, hoe minder sterk het effect van waterinlaat zal zijn (During, 1991).

Door hydrologische isolatie verandert de verhouding tussen de aanvoer van grondwater, inlaatwater en regenwater naar een ecosysteem (During, 1991). De wateren ver van het inlaatpunt afgelegen zullen meer onder invloed staan van gebiedseigen water (grondwater en regenwater).

Door aan- en afvoerwater gedwongen een langere weg af te laten leggen of zelfs om te leiden (hydrologische isolatie) kan de kwaliteit van oppervlaktewater in landbouwpolders (plaatselijk) behoorlijk verbeteren. In landbouwpolders zou deze maatregel goede mogelijkheden bieden voor een flinke reductie van het mineralengehalte van overtollig polderwater voordat dat op de Friese boezem wordt geloosd (De Haan & Veeningen, 1995).

Voor het isoleren van een kwetsbaar deel van het gebied kan het noodzakelijk zijn om het inlaatpunt te verleggen. In de Wieden en Weerribben is het inlaatpunt verplaatst van het noordelijke deel van de Weerribben naar het westelijk deel van de Wieden. Hierdoor zullen de Weerribben minder onder invloed komen te staan van het inlaatwater. Om het kwetsbare deel van de Wieden, de Achterwieden te beschermen is de rechtstreekse verbinding tussen dit gebied en de Beulakerwijde/Ettenlandskanaal afgesloten. Om verdroging te voorkomen moet er toch water ingelaten worden in de Achterwieden. De weg van dit water werd door de aanleg van een lange, slingerende sloot kilometers lang gemaakt en tevens werd door de aanleg van verbrede, petgatachtige wateren het bufferend en het zelfreinigend vermogen van het water sterk vergroot. De effecten zullen gemonitord worden. Er wordt een grote verbetering van de situatie in de Wieden en Weerribben verwacht (Moonen, 1997).

In de Oude Venen heeft eveneens hydrologische isolatie plaatsgevonden. Dit leidde tot een drastische afname van de (blauw)algengroei, mogelijk door de beëindiging van de invloed van inlaat van algen- en nutriëntenrijk boezemwater en door de invloed van ijzer en humusrijk gebiedseigen water, wat voor binding van fosfaat zorgt. Ook de verlaging van de stikstofvrucht is van belang. Algengroei wordt nu

waarschijnlijk door stikstof in plaats van P gelimiteerd. Effecten van hydrologische isolatie zijn sterk afhankelijk van de lokale situatie (Claassen, 1997).

6.5 Doorspoeling/verdunden

In sommige situaties kan het gunstig zijn een gebied door te spoelen met water van een betere kwaliteit dan in het gebied zelf aanwezig is. Deze methode wordt vooral toegepast bij geëutrofiëerde meren en plassen. Dit wordt bijvoorbeeld aanbevolen door Van Liere et al. (1986) voor de sterk geëutrofiëerde Vuntus (Loosdrechtse Plassen).

Bij verdunden wordt het voedselrijke water in het gebied verdund door aanvoer van minder voedselrijk water, waardoor de nutriëntenconcentratie verlaagd wordt. Als het systeem helemaal doorgespoeld wordt, is de afvoercapaciteit groter en zal versnelde uitspoeling van nutriënten en fytoplankton (zowel zwevend materiaal als uit het sediment) plaatsvinden. Doorspoelen is het regelmatig verversen van polderwater met boezemwater. In tegenstelling tot het 'gewone' inlaten ter compensatie van verdamping wordt bij doorspoelen gelijktijdig water uitgeslagen. Doorspoeling wordt gebruikt om het nutriëntengehalte in bijvoorbeeld meren omlaag te brengen. Uit simulaties is gebleken dat het grootste effect bereikt wordt als enkele keren met een hoeveelheid van telkens een meervolume boezemwater wordt doorgespoeld.

Beide maatregelen zijn alleen effectief als het toegevoegde water nutriëntenarm is. Doring (1991) geeft aan dat doorspoelen pas zin kan hebben als het doorspoelwater minstens 0.2 mg/l minder fosfaat bevat dan het door te spoelen oppervlaktewater, zo is gebleken voor de Nieuwkoopse plassen (Doring, 1991). Hierbij moet wel gelet worden op interne eutrofiëring. Dit wordt bevestigd door Kooijman & Beltman (1990) die stellen dat doorspoelen met Rijnwater leidt tot interne eutrofiëring en daarom voorkomen moet worden.

Het effect van doorspoelen is driedelig. Ten eerste wordt het ontvangende water verdund. Ten tweede neemt de afvoer van algen en nutriënten toe als gevolg van uitspoeling vanuit het water en het sediment. Het effect hiervan is doorgaans niet groot. Ten derde bestaat de mogelijkheid dat het fosfaat in het sediment geïnactiveerd wordt, vooral bij gebruik van calcium- of nitratrijk doorspoelwater, omdat dat water een bufferende werking heeft. Hierdoor kan het een pH-stijging (gedeeltelijk) voorkomen, waardoor de bindingscapaciteit van het sediment voor fosfaat toeneemt.

Beide maatregelen zijn doorgaans tijdelijk en aanvullend (Rijsdijk, 1996).

6.6 Niet-hydrologische maatregelen

Hydrologische maatregelen zoals peilverhoging zijn vrij nieuw en het effect van deze maatregelen is vaak nog niet duidelijk. Bij veel andere hydrologische maatregelen is het effect niet voldoende om de eutrofiëring terug te dringen. Het uitblijven van effecten kan veroorzaakt worden doordat een andere factor ook van groot belang is. Zo worden maatregelen vaak gericht op vermindering van de fosfaatconcentratie maar stikstof kan ook beperkend zijn. Een andere reden voor het uitblijven van

effecten kan zijn de nalevering van nutriënten vanuit het sediment. Om dit te verhelpen kunnen een aantal aanvullende maatregelen genomen worden.

6.6.1 Stikstof versus fosfaat

In ondiepe meren blijkt de beperking van de fosfaatbelasting niet altijd succesvol te zijn. Vermindering van de stikstofbelasting blijkt eveneens belangrijk te zijn. De basiskwaliteit van 100 µg/l chlorofyl-a komt overeen met een totaal stikstofgehalte van 2.2 mg N/l. Door denitrificatie kunnen grote hoeveelheden stikstof uit een meer worden verwijderd, maar dit proces lijkt bij afnemende stikstofbelasting steeds minder belangrijk te worden. Het gevaar voor het optreden van een massale bloei van stikstoffixerende algen lijkt, door hun relatief grote lichtbehoefte, vooralsnog klein te zijn. De uitspoeling van stikstofverbindingen uit landbouwgronden reageert veel sneller dan de uitspoeling van fosfaat op een vermindering van de mestgift. Daarom kan mogelijk in die gevallen, waar een nutriëntenbelasting vanuit landbouwgronden een belangrijke rol speelt, langs het stikstofspoor aanzienlijk sneller resultaat worden geboekt dan langs het fosfaatspoor (Boers & Visser, 1990). Waarschijnlijk speelt stikstof ook in de haarvaten een rol. Vooral in hoog-Nederland zijn de nitraatgehalten in bijvoorbeeld beken erg hoog.

6.6.2 Nalevering van nutriënten

Vaak treedt nalevering van nutriënten op vanuit het sediment. Vermindering van de externe aanvoer van fosfaat hoeft dan niet direct te leiden tot een afname van het fosfaatgehalte. Vermindering van de interne belasting kan onder andere worden bereikt door op de externe fosfaatreductie aanvullende maatregelen te nemen. Sanering via vermindering van de fosfaatbelasting zal in veengebieden en in gebieden waar het grondwater wegzijgt snel tot vermindering van de algengroei leiden. Daar waar fosfaathoudende kwel optreedt, zal dit proces worden vertraagd, terwijl de veranderingen waarschijnlijk minder spectaculair zullen zijn. In het laatste geval is meer onderzoek nodig om de door kwel ontstane fosfaatbelasting te kwantificeren. De mate van nalevering en de naleveringstijd is sterk afhankelijk van het bodemtype, wegzijging (minder nalevering) of kwel, de samenstelling van het eventuele kwelwater en de verzadiging van de bodem met fosfaat (Van Liere et al., 1983).

Verstraelen et al. (1989) beschrijven dat de nalevering van fosfaat na baggeren met een factor 10 is verminderd. Daarom worden vaak aanvullende maatregelen genomen die direct gericht zijn op water(bodem) zuivering. Maatregelen tegen fosfaat zijn bijvoorbeeld defosfateren van inlaatwater, het baggeren van fosfaatrijke bodem en actief biologisch beheer (Kiestra, 1995).

6.6.3 Baggeren

Baggeren van poldersloten heeft een aantoonbaar gunstig effect op de aquatische levensgemeenschap. Er ontwikkelt zich na baggeren minder kroos. Draadwieren en

onder water groeiende planten nemen toe. Bij de macrofauna neemt het aantal soorten en het aantal positief gewaardeerde soorten toe. Naarmate de waterdiepte toeneemt, geven zowel de biologische als de fysisch-chemische waterkwaliteitsparameters bij de onderzochte waterdiepten (20-100 cm) een duidelijk gunstiger beeld. Enkele jaren na baggeren heeft de levensgemeenschap de neiging om naar de uitgangssituatie terug te keren. Dit hangt nauw samen met de snelheid waarmee zich weer nieuwe bagger vormt (5-12 cm per jaar). Baggeren moet met een zekere cyclus herhaald worden. De vergroting van de waterdiepte die met baggeren optreedt, blijkt de belangrijkste factor voor de gemeten verbeteringen in waterkwaliteit. De diversiteit en de kwaliteit (positief gewaardeerde soorten) van zowel de vegetatie als van de macrofauna nemen toe met toenemende diepte in sloten (Boeyen et al., 1992).

Baggeren wordt vaak als aanvullende maatregel toegepast om het effect van nalevering van nutriënten te verminderen. In de Ankeveense en Kortenhoeftse Plassen wordt gebiedseigen water uit de Horstermeerpolder gebruikt om de hoeveelheid inlaatwater te beperken. In de plassen zelf zal aanvullend gebaggerd moeten worden (Verstraelen et al., 1988).

In de polder Wormer, Jisp en Nek is een experiment uitgevoerd naar het effect van baggeren en visstandsbeheer. Baggeren van de sloten gaf voldoende verbetering van de ecologische kwaliteit (doorzicht, zwevend stof, algen, blauwalgen en ondergedoken waterplanten). Visstandbeheer versterkt het resultaat van baggeren. Aanleggen van bezinksystemen (schermen, kuilen) voor zwevende stof en algen op strategische plaatsen biedt in plaats van het dure baggeren zowel voor sloten als voor de meertjes perspectief. Door een sloot goed in te richten, dat wil zeggen voldoende diepte (meer dan 40 cm), een dunne baggerlaag (minder dan 35 cm) en bij voorkeur ook door variatie te scheppen in de oevers als biotoop voor snoek, kan ondanks hoge fosfor- en stikstofgehalten, een voldoende verbetering van de ecologische kwaliteit plaatsvinden. Visstandbeheer lijkt in een goed ingerichte sloot nauwelijks meer nodig (Hovenkamp-Obbema & Bijlmakers, 2001).

6.6.4 Waterzuivering

Waterzuivering kan op verschillende manieren plaatsvinden. De meest gebruikte zuiveringsmaatregel is defosfateren van inlaatwater. Hierbij wordt de fosfaatconcentratie gereduceerd voordat het water ingelaten wordt. Andere manieren van zuivering zijn bijvoorbeeld het aanleggen van een helofytenfilter en fosfaatfixatie. Dit laatste is een techniek voor bestrijding van eutrofiëring, waarbij ijzer(III)chloride in de toplaag van het sediment wordt gebracht. Door deze behandeling wordt fosfaat uit de waterkolom gebonden en vindt geen nalevering van fosfaat vanuit de bodem meer plaats. Zowel onder oxidische als onder anoxische omstandigheden vermindert de fosfaatnalevering sterk. In de plas Groot Vogelenzang is aangetoond dat dat een onmiddellijke verbetering van de waterkwaliteit tot gevolg heeft. Het doorzicht is verbeterd, het fosfaatgehalte en de chlorofylconcentratie in het water zijn significant verminderd en nadelige bijverschijnselen zijn niet waargenomen. Om een goed inzicht te krijgen in de effecten op lange termijn wordt de ontwikkeling van de waterkwaliteit gedurende twee jaar nog intensief gevolgd (Boers & Uunk, 1990).

6.6.5 Actief biologisch beheer

Het blijkt dat er bij gematigde nutriëntenconcentraties in meren twee verschillende stabiele toestanden kunnen bestaan: een heldere en een troebele. Onder zulke omstandigheden kan biomanipulatie leiden tot een stabiele heldere situatie. Bij hoge nutriëntenconcentraties is de heldere toestand niet of nauwelijks stabiel. Biomanipulatie zonder aanvullende beperking van de nutriëntenbelasting zal in zo'n geval slechts een tijdelijk effect hebben. Uitdunning van de brasem- en karperstand kan leiden tot een aanzienlijke toename van de helderheid van het water en tot het terugkeren van waterplanten (Scheffer, 1988).

In de plas Zwemlust waren de resultaten van actief biologisch beheer (wegvangen van witvis en uitzetten van snoek) veelbelovend: doorzicht tot op de bodem door een toename aan algenetende watervlooien, geen blauwwieren meer en waterplanten op de bodem (Van Donk et al., 1988).

Waterplanten spelen bij het herstel van de heldere toestand een belangrijke rol vooral in relatief ondiepe wateren. Wanneer een ingreep eenmaal heeft geleid tot een terugkeer van de waterplanten, zijn de eerste elementen voor een gezonder ecosysteem aanwezig. De waterplanten zorgen voor een verdere verlaging van de nutriëntengehalten en kunnen mogelijk de algengroei remmen. Onder deze omstandigheden wordt tevens schuilgelegenheid geboden aan het zoöplankton en krijgt de snoek meer kans. In deze situatie zal de brasembiomassa laag gehouden kunnen worden en kan een nieuwe stabiele toestand ontstaan. In het Galgje, een kleine plas, kon binnen een jaar aan de eerste voorwaarden voor een systeem gedomineerd door snoek worden voldaan. Of sprake is van een stabiele toestand is nog niet bekend (Meijer, 1988).

6.6.6 Combinaties van maatregelen

Een integrale aanpak van het eutrofiëringsprobleem is een noodzaak. Nationale, brongerichte maatregelen dienen tot het verlagen van de basisbelasting. Aanvullende maatregelen in de sfeer van het waterhuishoudkundig beheer, landbouwmaatregelen, aanpak van verspreide lozingen, sanering van fosfaatrijke bodems en actief biologisch beheer moeten de beoogde waterkwaliteitsverbetering van het oppervlaktewater bewerkstelligen. Voor een effectieve aanpak van het eutrofiëringsprobleem is het essentieel om deze combinatie van brongerichte maatregelen enerzijds en de gebedsgerichte, integrale aanpak anderzijds overeind te houden (Jagtman, 1988). Hydrologische maatregelen worden vaak niet alleen uitgevoerd maar in combinatie met maatregelen die direct gericht zijn op een verbetering van de waterkwaliteit.

Om eutrofiëring van de meren in Zuidwest Friesland tegen te gaan worden hydrologische maatregelen genoemd zoals verleggen van inlaatpunten om juist het merengebied te ontzien, doorspoelen van de boezem met IJsselmeerwater, isoleren van bijvoorbeeld het Slotermeer. De nadruk ligt op het zoeken naar de voor beleid en beheer juiste combinaties van maatregelen die kunnen leiden tot de terugdringing van de gevolgen van eutrofiëring met fosfaat (Van Huet et al., 1987). Hydrologische maatregelen worden gecombineerd met waterzuivering, zoals defosfatering van

inlaatwater en zuivering van effluent van rioolwaterzuiveringen. Een integrale aanpak wordt steeds meer toegepast.

Het laagveenmoerasgebied de Deelen (circa 500 ha) is hydrologisch gecompartmenteerd en waterinlaatvoorzieningen zijn aangepast. Deelgebied 1 ontvangt water uit een zandwinplas en deelgebied 2 ontvangt via een helofytenfilter voorgezuiverd boezemwater. Verder is er gebaggerd, visstandsbeheer uitgevoerd, zijn onderwaterwindschermen geplaatst en kaden/legakkers verstevigd (Oldenkamp, 1995). Tot 1995 hebben de getroffen maatregelen wat eutrofiëringsverschijnselen betreft nog vrijwel niet tot zichtbare resultaten geleid. Eutrofiëring treedt nog steeds op door de aanvoer van voedingsstoffen, die sterk accumuleren in het gebied (er is geen doorspoeling), door nalevering vanuit de waterbodem en door interne eutrofiëring.

Ook voor de Nieuwkoopse plassen is een dergelijke combinatie van maatregelen voorgesteld in 1988: Het ingelaten water defosfateren, het landbouwgebied scheiden van het plassengebied, het beperken van de waterdoorvoer naar omringende polders en het rioleren en/of opvangen van ongezuiverde lozingen. De Geerplas zou hierbij geïsoleerd worden van de overige Langeraarase plassen door het afsluiten van de enige verbinding met de zuidelijker gelegen plas. Daarvoor was het nodig een eigen waterinlaat vanuit, en een bemaling naar de Drecht in te richten. Daarnaast werd voorgesteld de bovenste fosfaatrijke sliblaag te baggeren en het in te laten Drechtwater te defosfateren en te zuiveren in een helofytenmoeras. Als al deze maatregelen zijn uitgevoerd zal de fosfaatbelasting van de Geerplas naar verwachting zijn teruggebracht tot circa 0.08 g P/m²/jaar, hetgeen extreem laag is (Klapwijk et al., 1988).

Ook in het Botshol zijn zowel hydrologische als waterzuiverende maatregelen genomen vanaf 1988, namelijk uitvoering van een waterbeheersingsplan door het waterschap, zodat het agrarisch gebied waterstaatkundig gescheiden is van het natuurgebied en defosfatering van het inlaatwater afkomstig van de Oude Waver door de provincie. Deze maatregelen hebben geleid tot herstel van het doorzicht, een afname van het fosfaatgehalte en een verbetering van de soortensamenstelling van de vegetatie (Anoniem, 1991).

In het laagveengebied de Haak bij Nieuwkoop hebben maatregelen (eind jaren tachtig) wel geleid tot een verbetering van de waterkwaliteit maar niet tot een verbetering van de ecologie. Maatregelen waren:

- Sanering van lozingen;
- Beperking van de hoeveelheid inlaatwater;
- Defosfatering van inlaatwater;
- Hydrologische isolatie.

Er waren een aantal ecologische doelen gesteld:

Het creëren van een goede zuurstofhuishouding en niet zo omvangrijke maar wel soortenrijke algenpopulatie;

Stekelharig kransblad, waterviolier en kransvederkruid proberen te laten komen (afhankelijk van helder water met een lage voedselrijkdom);

Trilvenen, moerasheide, blauwgrasland, kleine zeggenmoerassen, dotterbloemhooiland en veenmosrietland terug krijgen.

Knelpunten waardoor de ecologische doelen niet gehaald zijn, zijn dat er nog veel water wordt ingelaten, doordat het gebied een watertekort heeft (circa 45% inlaatwater). Totaal fosfaat- en totaal stikstofgehalten liggen nog ver boven de streefwaarde van respectievelijk 0.02 en 0.7 mg/l. Ook doorzicht tot op de bodem wordt niet gehaald. Hieraan wordt bijgedragen door grote hoeveelheden benthivore vis (de Hoog et al., 2000).

7 Effecten van hydrologische maatregelen op ecosystemen

7.1 Water- en oevervegetatie

7.1.1 Water- en oevervegetatie in relatie tot peilverhoging/verlaging

Bootsma & Van Leerdam (1993) hebben het effect van peilverhoging en –verlaging op water- en oeverplanten onderzocht met behulp van het ecologisch voorspellingsmodel ICHORS (dit model is ontwikkeld voor water- en oeverplanten in Zuid-Holland). Verandering van het waterpeil bleek, mede door de daarbij optredende waterkwaliteitsverandering in alle gevallen (zowel verhoging als verlaging) ingrijpende gevolgen te hebben voor de water- en oevervegetaties van de sloten in de peilgebieden. Er traden verschuivingen op in soortensamenstelling en abundantie (mate van voorkomen) van soorten. Voor de meeste oeversoorten nam de trefkans toe bij verhoging van de waterstand en af bij peilverlaging. De drooglegging van het gebied werkt dus remmend op de ontwikkeling van een soortenrijke oevervegetatie. Wat betreft waterkwaliteit zijn er verschillen tussen soorten, maar in een milieu met alleen boezemwater was de trefkans van de meeste oeversoorten sterk afgenomen. Alleen zeer algemene, hypertrafente soorten zoals liesgras, gele waterkers en blaartrekkende boterbloem, voelen zich hier thuis.

De responsie van waterplantensoorten op kwaliteitsveranderingen was duidelijker dan die van oeversoorten. De trefkans bij zuiver boezemwater was voor vrijwel alle soorten laag. Alleen lemniden en zwak brakke soorten zoals *Zannichellia* en *Enteromorpha* bleken hiertegen goed bestand. De meer zeldzame en bedreigde waterplantensoorten hadden over het algemeen de hoogste responsie bij de toen actuele waterkwaliteit. De toenemende invloed van boezemwater die bij peilverandering optreedt, leidde steeds tot duidelijke verschuivingen in de watervegetatie. In het ene gebied kon deze verschuiving als een duidelijke achteruitgang opgevat worden, in het andere geval (bijvoorbeeld de gebieden met peilverhoging) was slechts sprake van het ‘stuivertje wisselen’ van soorten met een vergelijkbare zeldzaamheid en tendens.

De ecologische gevolgen van peilverlaging zullen overwegend negatief zijn en nivellering van de vegetatie zal plaatsvinden. Dit is vooral het geval als onnodig veel gebiedseigen water wordt uitgeslagen en boezemwater wordt ingelaten. Dit zal leiden tot een kroosdek van voornamelijk Veelwortelig kroos. De ecologische gevolgen van peilverhoging zijn overwegend positief, vooral voor de oevervegetatie. Van belang is dat gebiedseigen water wordt gebruikt voor het ophogen van het waterpeil (Bootsma & Van Leerdam, 1993).

Het negatieve effect van peilverlaging wordt ook vermeld door Knol & Runhaar, (1998). Zij stellen dat door verlaging van het peil in een groot oppervlaktewater zoals het IJsselmeer de kweldruk in de omgeving kan afnemen (bepaald op basis van hydrologische berekeningen) waardoor sloten in het omringende gebied minder kwelwater ontvangen. Kwelsoorten, zoals Lidsteng, Waterviolier, Holpijp en Paarbladig fonteinkruid zullen hierdoor achteruitgaan. Als bovendien inlaatwater nodig is heeft dit een extra negatief effect (Knol & Runhaar, 1998).

Peilverhoging in de sloten leidt tot een grotere waterdiepte. Uit onderzoek in veenweidegebied blijkt dat er zich bij toenemende waterdiepte minder kroos ontwikkelt. Boeyen & Van der Honing (1988) constateren dat bij een waterdiepte van minder dan 0.40 m een kroosdek aanwezig was van 60% of meer en dat kroosbedekkingen van 100% uitsluitend werden aangetroffen bij een waterdiepte kleiner dan 0.30 m.

Westera (1995) geeft aan dat er een duidelijke relatie bestaat tussen de fysisch-chemische kwaliteit en de waterdiepte. Een toename van de waterdiepte betekent een vergroting van het volume water in de sloot en heeft de volgende positieve effecten voor de waterkwaliteit tot gevolg:

- Minder invloed van bodemprocessen op de waterkolom (o.a. biochemisch zuurstofverbruik en fosfaatnalevering);
- Grotere verdunning van nutriëntenemissies uit de landbouw;
- Geringere temperatuurverschillen tussen dag en nacht;
- Een betere zuurstofhuishouding

In de praktijk blijken deze effecten echter moeilijk verifieerbaar.

De periode waarin en de snelheid waarmee het peil veranderd wordt, zijn ook van belang. Waterplanten (zowel submers als met drijfbladeren) die vroeg in het voorjaar bij winterpeil gaan groeien of kiemen, kunnen na het opzetten van het zomerpeil door een gebrek aan licht weer afsterven (Ligtvoet & Grimm, 1992). Het geringe doorzicht van het water en de snelheid van peil opzetten zijn hierbij factoren van belang. Het opzetten van het peil met hoogtes tot meer dan 50 cm heeft een zo groot effect op het lichtklimaat dat waterplanten afsterven. Een beperkt aantal drijfbladplanten (o.a. Gele plomp en Waterlelie) zijn in staat door celstrekking in de bladstelen in korte tijd het contact met het wateroppervlak te herstellen (Westera, 1995). Waterplanten die wat later in het voorjaar bij zomerpeil gaan groeien of kiemen, sterven af wanneer ze bij het instellen van het winterpeil, waarbij het peil tot meer dan 50 cm wordt verlaagd, droogvallen (Westera, 1995).

Bij gehele overstroming van wateren is het effect behalve van de overstromingsduur en –frequentie afhankelijk van het seizoen. In zomer is het effect op vegetatie groter dan in de winter, doordat planten fysiologisch actief zijn en de watertemperatuur hoger is (Van der Molen, 2002)

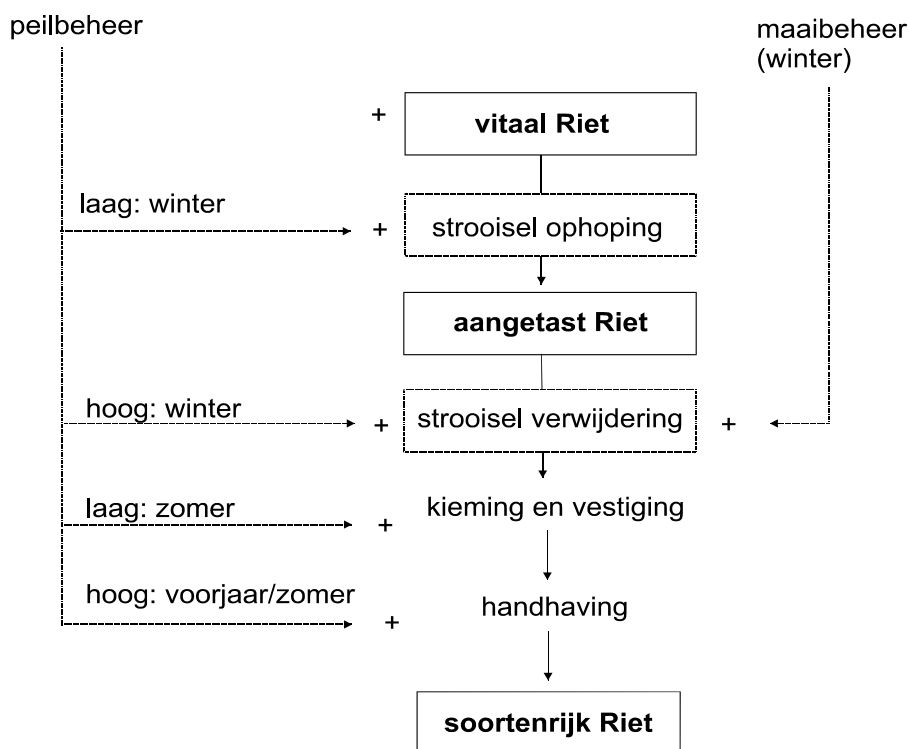
7.1.2 Rietmoerassen in relatie tot peilfluctuatie

Voor de ontwikkeling van moerasvegetatie in inundatiezones of oevers langs meren is een natuurlijk peilbeheer met in de winter hoge en in de zomer lage waterstanden optimaal. Een natuurlijk waterpeil in meren en plassen zal, afhankelijk van de hellingshoek van de oeverlanden, het areaal dat aan winterinundatie/zomerdroogval blootstaat doen toenemen. Bij een natuurlijk peilverloop zijn de condities voor een vitale moerasvegetatie aanmerkelijk gunstiger dan bij een vast peil (Wienk et al., 2000).

Een soortenrijk rietmoeras (of oeverbegroeiing) heeft een natuurlijk waterpeil dat wisselt nodig. Rietbegeleidende soorten handhaven zich op lange termijn alleen op plaatsen die droogvallen en overstromen. Daling van het peil tot enkele centimeters

onder maaiveld is noodzakelijk voor kieming en vestiging. Overstromingen belemmeren de groei en de vegetatieve uitbreiding van ruigtesoorten en voorkomen zodoende de verdringing van rietbegeleidende soorten. De maximale waterdiepte waarbij rietbegeleiders zich kunnen handhaven ligt op ca. 50 cm (Coops, 1999) maar vegetatieve voortplanting wordt al in ondieper water beperkt. De frequentie van droogvallen en overstromen zal mede bepalen welke soorten kunnen voorkomen. Jaarlijks droogvallende oeverstroken herbergen meer soorten, doordat ook kortlevende moerassoorten, zoals Gele waterkers, Watertorkruid en Grote waterweegbree hier herhaaldelijk kunnen kiemen en zich vestigen. Voor overblijvende soorten, zoals Watermunt, Wolfspoot en Moerasvergeetmijnietje, is kieming iets minder belangrijk. Deze zullen zich ook bij minder frequente dalingen weten te handhaven. De soortensamenstelling wordt dus bepaald door diepte en frequentie en duur van de overstroming.

Daarnaast is de ophoping en afvoer van strooisel tussen het riet van belang. Geringe accumulatie van strooisel bevordert de kieming van andere soorten tussen het riet (grotere diversiteit) maar teveel strooisel belemmert dit juist. Figuur 7.1 geeft de relaties weer tussen peilbeheer, maaibeheer en rietvegetatie.



Figuur 7.1 Schematische weergave van de invloed van peilbeheer en maaibeheer ('s winters maaien en afvoeren) op de ontwikkeling van een vitaal rietbestand naar een soortenrijke rietvegetatie (Lenssen et al., 1999)

Tabel 7.1 Effecten van verschillende peilscenario's op de kieming en vestiging van rietbegeleidende moerassensoorten, handhaving van deze soorten (groei en vegetatieve uitbreiding) en afvoer van strooisel: - = in een enkel geval mogelijk, + = goede mogelijkheden, ++ = optimaal (Lenssen et al., 1999)

| peilbeheer | regereneratie | handhaving | strooiselafvoer | lange termijn perspectieven |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| getijdenbeweging | - | ++ | ++ | +/- |
| | alleen waar oever enkele weken droog ligt | | | regeneratie en hoge vitaliteit riet zijn beperkend |
| natuurlijk peil | ++ | ++ | + | ++ |
| | | | door afwisseling van winters met hoog en laag peil goede balans accumulatie/afvoer | |
| gereguleerd peil | ++ | ++ | - | + |
| | | | beter naarmate verschil zomer-winterpeil stijgt | eventuele geringe strooiselafvoer compenseren door maaibeheer |
| vast omgekeerd peil (zomer hoog/winter laag) | - | + | - | - |
| | geen zone die afwisselend droogvalt en overstroomt | | | |
| vast 'natuurlijk peil' (zomer laag/winter hoog) | - | - | - | - |
| | geen zone die afwisselend droogvalt en overstroomt | verdringing door ruitesoorten tot aan de waterlijn | beter naarmate verschil zomer-winterpeil stijgt | |
| vast peil (zomer=winter) | - | + | - | - |

Zowel waterstand als strooiseldynamiek zijn te beïnvloeden via peilbeheer. Een natuurlijk peilverloop biedt de beste mogelijkheden voor rietbegeleidende soorten (tabel 7.1). Variatie in neerslag en verdamping veroorzaken natuurlijke peilschommelingen binnen een groeiseizoen of tussen jaren, door afwisseling van natte en droge zomers. Door een afwisseling van winters met en zonder hoge waterstanden is er in de zone met riet en andere moerassensoorten een evenwicht tussen strooiselaccumulatie en -verwijdering. Een natuurlijk peilverloop is bovendien noodzakelijk voor de ontwikkeling van riet aan de waterkant (Lenssen et al., 1999). Een goed ontwikkelde rietkraag in het water dempt veel golfslag en voorkomt zodoende dat de oppervlakkig wortelende rietbegeleiders wegspoelen. Natuurlijk peilbeheer kan dus kostenbesparend werken, omdat het zowel maaien als de aanleg van golfwerende constructies overbodig maakt. Een omgekeerd peilbeheer of een constant peil zorgt voor verruiging van oevers en achteruitgang van het riet en de rietbegeleidende soorten. Bij een dergelijk peilbeheer zal aanleg van vooroververdedigingen en/of maaibeheer dan ook geen effect hebben op de diversiteit van de rietoevers. Herstel van verruigd rietland kan moeilijk zijn omdat de

wortelstokken aangetast zijn door ruigtesoorten, als deze weer onder water komen gaan ze rotten en tasten ook de gezonde planten aan (Lenssen et al., 1999). Bij een laag winterpeil komen wortels van riet en andere oeverplanten bloot te liggen waardoor ze vorstschade kunnen oplopen. Het hoge zomerpeil beperkt vervolgens de herstelmogelijkheden. Uitlopers van riet blijven op het water drijven en kunnen met hun wortels niet aan de bodem hechten.

7.1.3 Beekvegetatie in relatie tot eutrofiëring

Onderzoek naar de effecten van inlaatwater in het stroomgebied van de Dortherbeek heeft aangetoond dat Grof hoornblad alleen in opnamen nabij het inlaatpunt aangetroffen is (Boedeltje et al., 1997). Het is een soort kenmerkend voor zeer hard, zeer eutroof water met chloridepieken. Ook Schedefonteinkruid en Zwanebloem met overeenkomstige milieu-eisen hebben hun zwaartepunt in opnamen die dichtbij het inlaatpunt zijn gelegen. Soorten die gevoelig zijn voor zeer sterke eutrofiëring en voor chloridepieken, zoals Grote waterranonkel, Drijvend fonteinkruid, Beekpunge, Waterviolier en Pijlkruid, zijn alleen op grote afstand van het inlaatpunt gevonden.

Haarfonteinkruid en Stomphoekig sterrekroos kwamen enkele decennia geleden nog niet of nauwelijks in Oost-Nederland voor. Hun voorkomen nu moet als negatief worden beoordeeld aangezien beide soorten eutroof water en chloridepieken verdragen. Deze soorten zijn toegenomen door waterinlaat. Kwelindicatoren zijn alleen ver van het inlaatpunt aangetroffen, zoals Paarbladig fonteinkruid die een duidelijke gradiënt in voorkomen vertoont, gerelateerd aan de waterinlaat (Boedeltje et al., 1997).

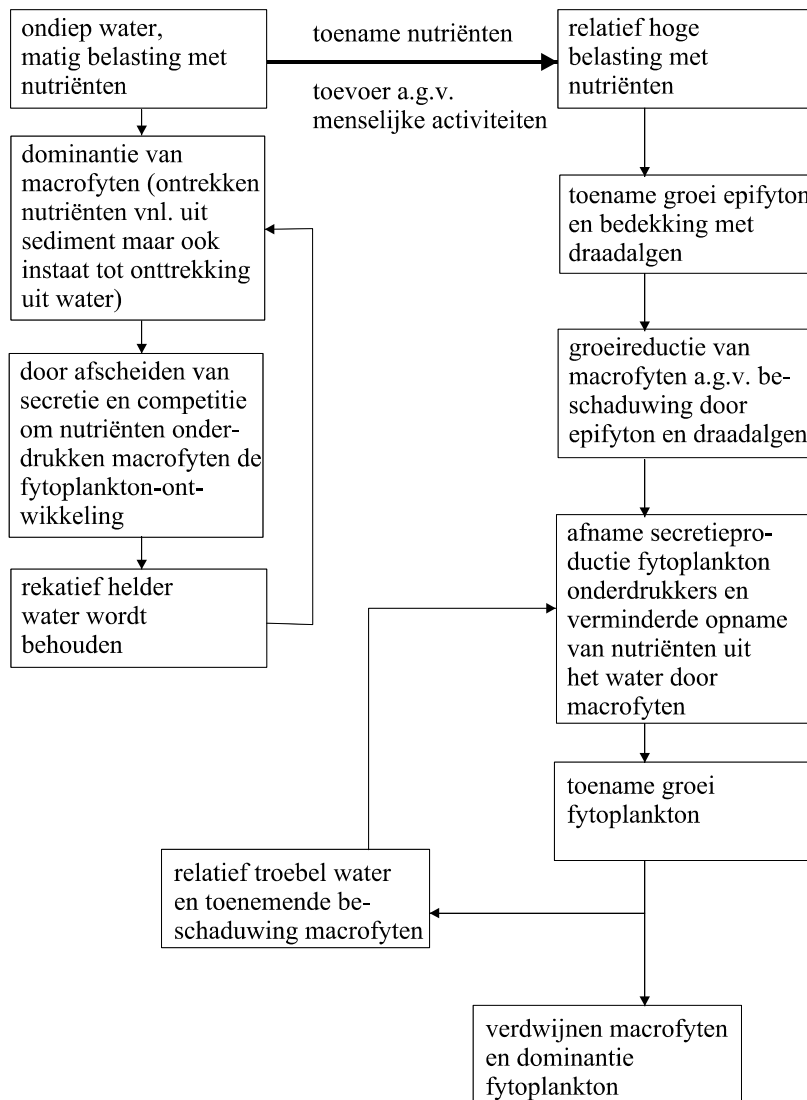
Eutrofiëring van het beekwater heeft ook effect op beekbegeleidende kwelvegetaties, vooral als inundaties plaatsvinden. Door verdroging en door eutrofiëring van het aangevoerde kwelwater of door inundatie met geëutrofiëerd beekwater treedt verruiging op van schraallandvegetaties van natte milieus, bijvoorbeeld in het beekdal van de Hierdense beek (Van den Brink et al., 1999).

7.1.4 Macrofyten in relatie tot eutrofiëring

Eutrofiëring wil zeggen dat het water rijker wordt aan nutriënten. Een belangrijke stof die in het eutrofiëringsproces een rol speelt, is fosfaat. Deze stof is namelijk limiterend voor de primaire productie in de waterlaag (Stumm & Morgan, 1981). Bij toename van fosfaat in de waterlaag vindt er een snelle uitbreiding van het fytoplankton plaats. Hierdoor wordt het water troebeler en is er minder licht beschikbaar voor macrofyten. In tegenstelling tot de wortelende waterplanten zullen de planten die in het water zweven of aan het oppervlak drijven (lemniden) zich uitbreiden, omdat deze planten hun nutriënten uit het water of de lucht halen en bevoordeeld worden door een hoog nutriëntengehalte in de waterlaag. Bovendien ondervinden drijvende planten geen hinder van vertroebeling van het water door uitbreiding van fytoplankton.

Een ander bijkomstig effect is beschreven door Philips et al. (1978). Macrofyten geven organische stoffen af die remmend werken op de groei van fytoplankton. Als

de macrofyten in aantal afnemen door afname van de lichtintensiteit zullen er minder van deze remmende stoffen afgescheiden worden. Hierdoor zal het fytoplankton zich nog sneller kunnen uitbreiden. Dit is ook duidelijk te zien bij krabbescheer. De soort neemt sterk in aantal af, wat algen en kroos de kans geeft zich te ontwikkelen. Alleen rondom de krabbescheerplanten komen geen algen voor. Hiervoor zijn twee mogelijke oorzaken: krabbescheer geeft allelopathische stoffen af (Bloemendaal & Roelofs, 1988) of rondom de plant zijn te weinig voedingsstoffen beschikbaar voor algen (Brammer, 1979). De effecten van eutrofiëring op het voorkomen van macrofyten zijn in fig 1.1 weergegeven.



Figuur 7.2 Oorzaken voor het verdwijnen van macrofyten bij eutrofiëring (naar Philips et al., 1978)

Bij interne eutrofiëring komen vaak ook toxische stoffen vrij zoals sulfide en ammonium. Bij een langdurig tekort aan ijzer zal zich op een gegeven moment sulfide gaan ophopen in het bodemwater. Sulfide zal normaliter niet, zoals dat bij

fosfaat het geval is, in de waterlaag terechtkomen, doordat het daar meteen geoxideerd wordt tot sulfaat.

Voor veel planten is sulfide toxisch en veel wortelende waterplanten zullen dan ook verdwijnen als het sulfidegehalte in het bodemwater te hoog wordt. Al in lage concentraties blijkt sulfide schadelijk te kunnen zijn voor de wortels van waterplanten. Zo remt sulfide onder andere de enzymen die betrokken zijn bij de aërobe ademhaling van de wortels. Dit zal leiden tot een vergroting van de anaërobe ademhaling en een remming van de voedingsstoffenopname. Hierdoor blijft er op den duur onvoldoende energie nodig voor de basale processen van de wortelcellen. Bovendien kunnen de producten van anaërobe ademhaling zoals ethanol en lactaat zich in toxische concentraties ophopen in de wortels. Uiteindelijk gaat de wortel dood. Wortels in sulfiderijk sediment vertonen vaak zwarte ijzersulfide neerslagen en wortelrot (Roelofs & Smolders, 1993).

Krabbescheer, *Stratiotes aloides* L., blijkt voor sulfidevergiftiging erg gevoelig te zijn. Een concentratie van 10µM kan de levensduur van de wortels met meer dan de helft verminderen. Met name tijdens de overwintering van de plant op het sediment is de plant gevoelig. Nymphaeïde soorten daarentegen blijken beter bestand te zijn tegen hoge sulfidegehalten (Roelofs & Smolders, 1993).

Ook ammonium, dat vrijkomt als gevolg van alkalinisatie (verhoogde afbraak), is schadelijk voor veel waterplanten. In eerste instantie wordt de groei van ammonium gebruikende waterplanten, waaronder krabbescheer en vele fonteinkruiden, gestimuleerd door een hogere concentratie van deze stof. Als de plant echter meer ammonium binnenkrijgt dan deze kan verwerken, kan de ademhaling geremd worden door ophoping van ammonium in de cellen (Bloemendaal & Roelofs, 1988). Daarnaast remt ammonium de opname van kalium waardoor een gebrek aan dit element kan ontstaan.

Een tekort aan ijzer op zich kan ook nadelige gevolgen hebben voor waterplanten. Dit is bijvoorbeeld aangetoond voor *Nymphoides peltata* (Smolders & Roelofs, 1995). Van deze plant zijn in een geëutrofiëerde sloot bladeren met chlorose aangetroffen. Chlorose wordt veroorzaakt door een zeer lage ijzerconcentratie in de bladeren. Ook in het sediment was weinig vrij ijzer aanwezig. De bladeren waren tevens kleiner dan gezonde bladeren en stierven vroegtijdig.

7.2 Algen

7.2.1 Streefwaarden van nutriënten voor blauwalgen

Vinke (1993) stelde dat de gehanteerde grenswaarden van 0.08 mg P/l en 2.2 mg N/l onvoldoende waren voor het bereiken van ecosystemen met een normale successie omdat ze geen blauwwierdominantie verhinderen. De eutrofiëringsgevoelige wateren maken pas kans op herstel wanneer de streefwaarde voor fosfaat rond de 0.05 mgP/l ligt; dan treedt geen blauwwierdominantie meer op en kunnen zich weer waterplanten vestigen. Bij deze waarde past een chlorofyl-a concentratie van maximaal 40 µg/l (Vinke, 1993).

Op basis van gegevens van 11 ondiepe meren waar pakketten van saneringsmaatregelen zijn uitgevoerd is bepaald dat de uiteindelijke effecten van de

reductie in fosfaatbelasting sterk verschillen tussen systemen (De Deckere et al., 1994). In de Botshol was na twee jaar herstel opgetreden van de kranswiervegetatie. Ondanks de reductie van fosfaat in de Loosdrechtse plassen is er geen significante verandering opgetreden in dit ecosysteem. Zonder een vergaande reductie van de externe belasting is een blijvend herstel van eutrofiëring niet mogelijk. Een jaar na de reductie van de fosfaatbelasting is in vrijwel alle gevallen de fosfaatconcentratie slechts marginaal gedaald. Naarmate variabelen verder in de reeks: fosfaatbelasting – fosfaatconcentratie – fytoplankton – doorzicht, gesitueerd zijn neemt het effect verder af. Minimaal vijf jaar na sanering kunnen de uiteindelijke effecten pas geëvalueerd worden (De Deckere et al., 1994).

7.2.2 Fytoplankton in relatie tot doorzicht

Aan de relatie tussen doorzicht en het fytoplankton in meren en plassen is onderzoek uitgevoerd door Van der Molen et al. (1998). Deze relatie blijkt niet altijd even duidelijk en is afhankelijk van een groot aantal factoren. Fytoplankton, uitgedrukt in het chlorofyl-a gehalte, legt een duidelijke bovengrens op aan het bereikbare doorzicht. Omgekeerd is het goed mogelijk dat het doorzicht zeer gering is, hoewel het chlorofyl-a gehalte heel laag is. Het mediane doorzicht bij een bepaald chlorofyl-a gehalte neemt toe van ondiepe naar diepere systemen, waarschijnlijk door een verminderde resuspensie. In ondiepe systemen (<1.5 m) is geen verschil in de relatie doorzicht-chlorofyl-a gevonden tussen verschillende bodemtypen. In systemen met een diepte tussen 1.5 en 4 m is het mediane doorzicht geringer in systemen met veenbodems bij chlorofyl-a gehalten lager dan 80 µg/l. Mogelijk is hier de invloed van opgeloste, licht-absorberende stoffen (bijvoorbeeld humuszuren) groter. Van de systemen dieper dan 4.0 m heeft 86% een zandbodem, en voor deze groep was een eventuele invloed van het bodemtype dus niet vast te stellen (Van der Molen et al., 1998).

7.2.3 Fytoplankton in relatie tot nutriëntengehalten

Ook de relatie tussen fytoplankton en nutriëntengehalten geven geen eenduidig beeld. De maximale chlorofyl-a gehalten bij een bepaalde nutriëntenconcentratie verschillen per dominante algengroep. De maximale chlorofyl-a : nutriënt ratio's zijn in het algemeen hoger in door draadvormige blauwalgen gedomineerde systemen. Tevens is gebleken dat de zeer hoge chlorofyl-a : totaal P ratio's in systemen gedomineerd door blauwalgen, alleen voorkomen in systemen met een veenbodem. Hierbij bleken ook geografische verschillen een rol te spelen. Dominantie van draadvormige blauwalgen (>30% van het aantal in de zomer) is niet gevonden beneden 0.05 mg/l totaal-P. Dominantie van *Microcystis* is niet aangetroffen beneden 0.12 mg/l totaal-P. Zowel voor draadvormige blauwalgen als voor *Microcystis* is dominantie niet gevonden beneden 1.35 mg/l totaal-N (Van der Molen et al., 1998). In de Friese meren is de relatie tussen chlorofyl-a en totaal-P ook niet goed zichtbaar. Maar in drie meren is deze significant. De correlaties tussen chlorofyl en totaal-N waren nog minder duidelijk (Veenings, 1998).

In de plas Vechten heeft eutrofiëring geleid tot de jaarlijks terugkerende massale opbloei van *Oscillatoria agardhii* (Steenbergen et al., 1992). De biomassa van het fytoplankton is de laatste twee decennia stapsgewijs toegenomen. Vroeger was het een mesotrofe plas. Significant was de toename van anorganisch stikstof sinds begin jaren zeventig. De stikstofverrijking is waarschijnlijk voor een groot deel afkomstig van neerslag en in mindere mate van aanvoer met het grondwater. Geïsoleerde plassen zijn dus niet gevrijwaard van eutrofiëring. Afspoeling en depositie vormen belangrijke bronnen van stikstof. De duidelijke relatie tussen de nitraatconcentratie tijdens de winter en het chlorofylgehalte tijdens de zomer in deze plas wijst op het grote belang om de uitstoot van stikstof te reduceren. De eutrofiëring veroorzaakte aanvankelijk een toename in de biomassa van de regulier aanwezige soorten. Het periodiek optreden van een massale opbloei van Cyanophyceae is blijkbaar in relatief diepe plassen evenals in ondiepe wateren een fase in het proces van versnelde eutrofiëring. Beheersmaatregelen voor het terugdringen van de effecten van eutrofiëring in geïsoleerde, gestratificeerde plassen moeten gericht zijn op het behouden van de macrofytenstand en op een maximale invloed van de wind (bijvoorbeeld door snoeien van houtwallen) (Steenbergen et al., 1992). In ondiepe plassen is dit laatste echter niet aan te bevelen. Wind zorgt daar voor opwerveling van bodemdeeltjes waardoor het water troebel wordt en macrofyten minder kans krijgen.

7.3 Macrofauna

Cranen & Odijk (1979) hebben onderzocht of polderpeilverlaging effect heeft op macrofauna door verhoogde landbouwintensiteit of een kleinere waterkolom. In onderzoek in een gebied met polderpeilverlaging en een gebied zonder polderpeilverlaging zijn geen significante verschillen gevonden tussen aantal soorten en tussen de saprobie-index. Dit kan echter worden veroorzaakt door het lage aantal monsters.

Peeters & De Klein (1996, 1997) hebben aangetoond dat inlaat van IJsselwater in de watergangen van Salland en de Oostelijke Veluwe leidt tot een verandering in de samenstelling van de macrofaunagemeenschap. Deze veranderingen waren slechts ten dele te vertalen naar veranderingen in de verspreidingspatronen van individuele soorten. Door inlaat van IJsselwater verdwijnen op en nabij inlaatpunten een aantal gevoelige soorten. Soorten kenmerkend voor wateren rijker aan voedingsstoffen nemen hier toe (Tabel 7.3).

Tabel 7.2 Gevoeligheid van enkele macrofaunasoorten voor inlaatwater (Peeters & De Klein, 1997)

| taxon | mate van gevoeligheid voor inlaatwater | | |
|-----------------------------|----------------------------------------|----------|----------|
| | zeer gevoelig | gevoelig | tolerant |
| Helophorus soorten | x | - | - |
| Hydroporus soorten | x | - | - |
| Agabus soorten | x | x | - |
| Bathyomphalus contortus | x | x | - |
| Bithynia leachi | x | x | - |
| Planorbis planorbis | x | x | - |
| Planorbis carinatus | x | x | - |
| Agraylea soorten | - | x | - |
| Ceratopogonidae | - | x | - |
| Cloeon simile | - | x | - |
| Endochironomus tendens | - | x | - |
| Ephemera vulgata | - | x | - |
| Eylais extendens | - | x | - |
| Parachironomus gr arcuatus | - | x | - |
| Piscicola geometra | - | x | - |
| Polypedilum gr sordens | - | x | - |
| Polypedilum nubeculosum agg | - | x | - |
| Potamopyrgus jenkinsi | - | x | - |
| Prodiamesa olivacea | - | x | - |
| Stylaria lacustris | - | x | - |
| Tanytarsus soorten | - | x | - |
| Tipulidae soorten | - | x | - |
| Cataclysta lemnata | - | - | x |
| Cyrrnus flavidus | - | - | x |
| Dreissena polymorpha | - | - | x |
| Gammarus tigrinus | - | - | x |
| Physa acuta | - | - | x |

Westera (1995) geeft ook aan dat peilverlagingen een negatieve invloed hebben op macrofauna vanwege habitatverlies, vooral door afname van oevervegetatie.

7.4 Vissen

Voor het bereiken van de waterkwaliteit en habitats die horen bij het snoek/zeelt-type moeten de volgende eisen worden gesteld aan het peilbeheer (Westera, 1995):

- Er moeten voldoende goed bereikbare diepwaterarealen zijn ter bescherming van vis tegen vorst en verkleining van de kans op zuurstofloosheid van het water (40 % van de hoofdwatgangen). De gewenste diepte van de diepwaterarealen lopen uiteen van 1 tot 2 m, ook na instelling van het winterpeil voor de hoofdwatgangen/A-watgangen;
- De waterdiepte in overige watgangen moet minimaal 0.5 m zijn om paaiplaatsen bereikbaar te houden voor vis en om de watervegetatie in deze watgangen te behouden;
- In de periode van half maart tot eind april moet een zo constant mogelijk waterpeil worden nagestreefd ten behoeve van de paai van snoek;
- Een wisselend waterpeil waarbij oeverzones overstroomd (ontstaan van moerasgebieden) leidt tot interacties tussen open water en overstroomingsgebied

dat bijvoorbeeld door vissen als voortplantingshabitat kan worden benut (Wienk et al., 2000).

7.5 Voorbeeld op ecosysteemniveau

In de Nieuwkoopse Plassen is een groot pakket aan maatregelen uitgevoerd om de fosfaatinput te beperken (Van Schaik & Vuister, 2000). Het is een combinatie van hydrologische en zuiveringsmaatregelen. De hydrologische maatregelen waren:

- Het beperken van de hoeveelheid inlaatwater. Een aanzienlijk deel van het ingelaten water werd doorgevoerd naar omliggende polders. De belangrijkste onttrekkingspunten zijn gesaneerd waardoor de inlaat met 30 % gereduceerd is;
- Het aanbrengen van een waterscheiding tussen het landbouwgebied en het plassegebied;
- Verminderen schut- en lekwater van de sluizen door renovatie.

Het fosfaatgehalte is afgenomen. Het stikstofgehalte is ook afgenomen waarschijnlijk door de waterscheiding tussen landbouw en plassegebied. Het chlorofyl-a gehalte is eveneens afgenomen en het doorzicht is toegenomen. De meeste variabelen voldoen nog niet aan de streefwaarde. Het aandeel blauwalgen is in het begin afgenomen maar later weer op het oude niveau teruggekeerd. De abundantie van 'schoon water diatomeeën' is na de maatregelen toegenomen. Het aantal vindplaatsen van zeldzame macrofyten zoals Groot nimfkruid, Groot blaasjeskruid, Sterkranswier en Gewoon watervorkje is na de maatregelen in de sloten en petgaten toegenomen. Ook de soorten Witte waterlelie, Krabbescheer, Kikkerbeet, Gele plomp, Kransvederkruid zijn in aantal vindplaatsen en hoeveelheid toegenomen. In de plassen hebben de maatregelen niet het gewenste effect op de vegetatie gehad. Doorzicht tot op de bodem is nog niet bereikt. De visbiomassa is nog steeds erg hoog en het aandeel brasem varieert van 82 tot 92 %.

Het systeem is nog niet overgegaan naar een helder water toestand (Van Schaik & Vuister, 2000). Aanvullende maatregelen kunnen zijn:

- Retentie van de winterneerslag en deze in de zomer terug voeren naar de Nieuwkoopse plassen;
- Vergroting van de peilfluctuatie (met als doel het verminderen van de zomerinlaat), ingrepen in de morfometrie (verbetering kolonisatie door onderwaterplanten vanuit het petgatengebied);
- Baggeren;
- Actief biologisch beheer.

7.6 Modellen

Er is een groot aantal modellen beschikbaar voor het voorspellen van soorten of gemeenschappen bij bepaalde abiotische omstandigheden. Tevens bestaan er ingreep effect modellen waarin effecten van ingrepen worden voorspeld op het ecosysteem. Voorbeelden zijn de RISTORI modellen voor soorten (Ertsen & Wortelboer, 2002) en levensgemeenschappen (Verdonschot et al., 2003). Een ander voorbeeld is pc-

ditch, een model dat slootvegetatie relateert aan eutrofiëring (Janse, 1998). Vlek et al. (2004) geven een overzicht van dergelijke modellen.

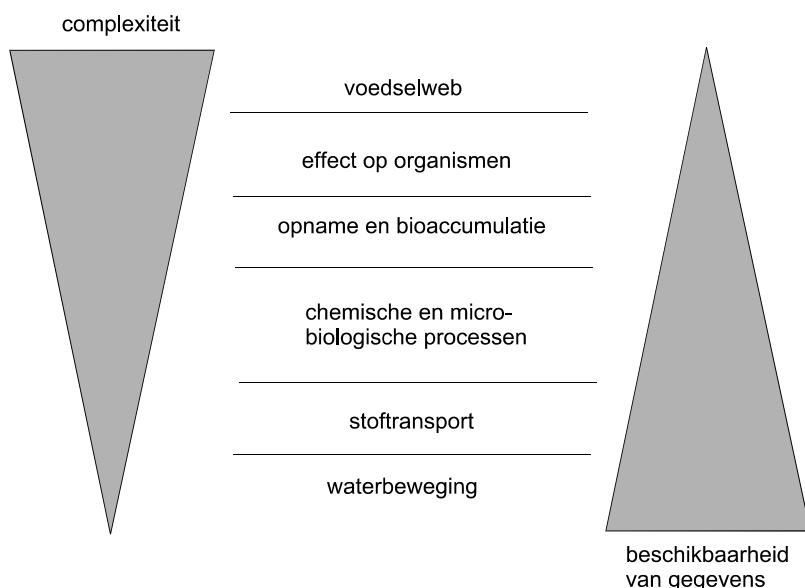
Peeters & Gardeniers (1997) hebben een model ontwikkeld dat het risico van het inlaten van gebiedsvreemd water op het ecosysteem voorspelt. Het model is gebaseerd op responsies van de maatstaven op veranderingen in abiotische variabelen die in relatie staan tot inlaatwater. Hierbij wordt de voorspelling gedaan voor de maatstaven in het STOWA beoordelingsstelsel voor sloten die relevant zijn in relatie tot inlaatwater. Als inputvariabelen zijn gebruikt: chloride, geleidbaarheid, ortho-fosfaat, totaal fosfaat, ammonium, Kjeldahl-stikstof, zuurgraad, calcium en bicarbonaat. Aan de hand van een voorbeeld, namelijk het inlaten van Vechtwater in de watergangen van het gebied Wijthmen-Den Berg is gebleken dat de verhoging van het ortho- en totaal fosfaatgehalte het grootste risico met zich meebrengt. Vooral de trofische maatstaven veranderen sterk (daling in ecologische klasse). Chloride, ammonium en bicarbonaat leveren een matig risico en de toename van geleidbaarheid, Kjeldahlstikstof, zuurgraad en calciumgehalte hebben slechts een klein risico (Peeters & Gardeniers, 1995, 1997).

8 Conclusies & aanbevelingen

8.1 Beschikbare kennis

De doelstelling van dit onderzoek was het bestuderen van de effecten van hydrologische/waterhuishoudkundige maatregelen op aquatische ecosystemen. Het literatuuronderzoek heeft echter niet veel kennis over deze relaties opgeleverd. Hoe verder in de keten van maatregel naar effect op ecosystemen, hoe complexer en hoe minder gegevens beschikbaar zijn (figuur 8.1). Hiervoor zijn een aantal redenen. De veranderingen die recent optreden in het waterbeheer en –beleid zijn nog niet in het uitvoeringsstadium. Er worden veel plannen gemaakt voor peilverhoging, instellen van een natuurlijk peil, waterconservering en retentie. Veel rapporten beschreven geplande maatregelen of scenariostudies waarbij het effect van een maatregel werd gemodelleerd. Na uitvoering moet de monitoring beginnen. In rapporten waarin effecten van een maatregel beschreven waren ging het veelal om hydrologische effecten. In de rapporten waarin wel effecten van maatregelen werden beschreven ontbraken vaak de effecten op aquatische organismen of waren de effecten niet eenduidig. Dit kan veroorzaakt worden doordat veel effecten pas op lange termijn waar te nemen zijn. In de meeste gevallen is zeker vijf jaar nodig voordat een effect op het ecosysteem verwacht kan worden. Dit komt doordat het ecosysteem langzaam verandert. Soorten hebben tijd nodig om een water te herkoloniseren en een nieuw evenwicht moet zich instellen. Een ander probleem is dat in veel gevallen combinaties van maatregelen uitgevoerd zijn waarbij hydrologische maatregelen werden gecombineerd met waterzuivering of baggeren. De doelstelling van deze maatregelenpakketten was meestal het terugdringen van eutrofiëring. Hierbij werd het effect vooral beschreven in termen van nutriëntengehalten. Vaak waren de effecten minimaal. Effecten op aquatische organismen beperkten zich vaak tot algen en macrofyten. Er waren slechts enkele publicaties beschikbaar waarin de directe relatie tussen hydrologische maatregelen en aquatische organismen onderzocht was. Het betrof in die gevallen meestal effecten van een fluctuerend waterpeil op oevervegetatie of het effect van waterdiepte op macrofauna of macrofyten.

Hydrologische maatregelen kunnen een grote invloed hebben op nutriëntengehalten in het oppervlaktewater als de maatregel leidt tot een beperking van de hoeveelheid ingelaten gebiedsvreemd water in de zomer. In veel projecten was dit het geval. Hydrologische maatregelen kunnen dus door een beter gebruik van gebiedseigen water een positief effect hebben op aquatische organismen door afname van de nutriëntengehalten. Echter deze effecten zijn nog niet duidelijk aangetoond. Waarschijnlijk is het effect van de afname van de hoeveelheid inlaatwater die nodig is groter dan het directe (fysische) effect van waterpeilverhoging.



Figuur 8.1 Complexiteit en beschikbaarheid van gegevens voor meerdere niveaus van een systeem (Van Beek, 1993)

8.2 Verzamelen van gegevens

Aangezien veel van de literatuurbronnen beschrijvingen gaven voor plannen voor maatregelen of alleen de uitgevoerde maatregelen beschreven is het wellicht zinvol om voor die projecten navraag te doen of de maatregelen inmiddels zijn uitgevoerd en of de effecten gemonitord zijn. Hierbij is het van belang dat gegevens verzameld worden van de periode voor de uitvoering van de herstelmaatregelen en van een lange periode na de maatregelen (minstens 5 jaar).

Tegelijkertijd met dit literatuuronderzoek is een inventarisatie van lopende projecten bij waterbeheerders uitgevoerd. Hieruit is een lijst met projecten gekomen. Deze lijst kan worden aangevuld met de projecten die in dit onderzoek in de vele literatuurbronnen beschreven zijn. Vervolgens zullen van de projecten waarin hydrologische maatregelen zijn uitgevoerd, gegevens opgevraagd worden. Projecten waarbij alleen hydrologische maatregelen zijn uitgevoerd hebben de voorkeur. Bij combinaties van maatregelen kan niet de relatie gelegd worden tussen effecten en afzonderlijke maatregelen. Behalve biotische gegevens om de effecten te bepalen moeten ook abiotische gegevens meegenomen worden om de effecten op bijvoorbeeld waterdiepte, droogval, fluctuaties in waterpeil, afvoer en hoeveelheid inlaatwater te bepalen. Dit zijn variabelen die direct van invloed zijn op de aquatische organismen.

8.3 Alternatieven

Als ook na data verzameling blijkt dat er onvoldoende gegevens beschikbaar zijn om relaties te leggen tussen hydrologische maatregelen en effecten op aquatische

ecosystemen zullen er alternatieve wegen bewandeld moeten worden. Hiervoor zijn twee opties.

- Het uitvoeren van gericht onderzoek en daarin de effecten meten. Hierbij kan gericht gekozen worden voor een aantal maatregelen waarvan het hoogste rendement verwacht wordt. Deze maatregelen zouden in het veld als proef uitgevoerd kunnen worden waarbij de effecten op belangrijke abiotische variabelen en op aquatische organismen gemeten worden. De laatste stap, het effect van veranderingen in abiotische variabelen op aquatische organismen kan ook in laboratoriumopstellingen of in mesocosmussen getest worden
- Het modelleren van effecten waarin het voorkomen van soorten of gemeenschappen voorspeld kan worden aan de hand van abiotische factoren. Er is een aantal modellen beschikbaar (Vlek et al., 2004). Binnen het project 'Waternood' zal tevens een model gemaakt worden waarin de mate van doelrealisatie van een maatregel bepaald wordt aan de hand van het voorkomen van soorten of natuurdoeltypen bij bepaalde abiotische omstandigheden. Hiervoor zijn twee dingen vereist. Het eerste is een goede kennis van het voorkomen van soorten en hun relaties met de milieu-omstandigheden. Het tweede is dat de relatie tussen maatregelen en veranderingen in abiotische variabelen bekend is. Dit is niet altijd het geval. Hiervoor zal eerst per maatregel bepaald moeten worden welke effecten de maatregel heeft op alle variabelen die voor de verschillende aquatische organismengroepen van belang zijn. De 'sleutel'-variabelen verschillen per groep. Zo zullen voor macrofyten andere variabelen belangrijk zijn dan voor macrofauna. Nutriënten hebben een sterke relatie met macrofyten, het zuurstofgehalte is van groot belang voor macrofauna. Het nadeel van modellen is dat er altijd een grote mate van onzekerheid is. Ook modellen moeten gebaseerd zijn op juiste gegevens. Vaak zijn ze voor een ander doel of gebied gemaakt en niet direct toepasbaar. Effecten van maatregelen kunnen verschillen tussen gebieden. Vaak zijn lokale factoren zelfs van invloed.

8.4 Consequenties voor het gebruik in instrumenten

Het doel van dit literatuuronderzoek was het leveren van gegevens ten behoeve van de ontwikkeling van een expertsysteem waarmee een gebruiker voor een situatie de hydrologische maatregel met het hoogste ecologisch rendement kan kiezen. Doordat weinig gegevens beschikbaar zijn over effecten van maatregelen op aquatische organismen is het waarschijnlijk het beste om het probleem van twee kanten uit te werken. De eerste is het verzamelen van alle gegevens die wel beschikbaar zijn. De tweede is het verzamelen van informatie over het voorkomen van soorten bij bepaalde milieu-omstandigheden en de relatie tussen maatregelen en abiotische variabelen. Beide benaderingen zouden tot hetzelfde resultaat moeten leiden. Ze kunnen daarmee aan elkaar getoetst worden. Beide benaderingen zullen gebruikt worden in het te ontwikkelen expertsysteem, zodat ze elkaar aan kunnen vullen.

Van belang in instrumenten, waarmee een water- of natuurbeheerder een geschikte maatregel kan kiezen, is ook het ecologisch rendement of de mate van doelrealisatie. Hiervoor is altijd een vergelijking met de referentietoestand, de meest natuurlijke

toestand, nodig. De referentietoestanden zijn in het Aquatisch Supplement behorende bij het Handboek Natuurdoeltypen beschreven (Bal et al., 2001). Deze beschrijvingen van indicator- en doelsoorten kunnen gebruikt worden als uitgangspunt door voor die soorten hun relatie tot het abiotische milieu te bepalen. Daarbij is de gevoeligheid van de soorten voor verstoringsfactoren van belang. Hierbij zijn vooral de factoren die worden beïnvloed door hydrologische maatregelen relevant. Met behulp van dergelijke indicatoren kan aan de hand van hun gevoeligheid bepaald worden wat de kans is op hun voorkomen na het uitvoeren van een maatregel mits het effect van de maatregelen op de verstoringsfactoren ook bekend is. Een dergelijke indicatorenbenadering zal gebruikt worden voor de 'Waterlood' module doelrealisatie aquatische ecologie.

Literatuur

- Altenburg, W., Wymenga, E., 1993. Natuurontwikkeling in de Alde Feanen. Ontwikkelingen in vegetatie en broedvogels in 1990-1992. A&W rapport 56, Altenburg & Wymenga, Veenwouden.
- Anoniem, 1991. Gebiedsgerichte aanpak eutrofiëring Botshol werpt vruchten af. H2O, 24(22): 620-621.
- Anoniem, 2000. Brabantse rivieren de Mark en de Vliet worden in ere hersteld. Duurzame oplossing voor wateroverlast rond Breda. H2O, 33 (18): 10-11.
- As, D.P., Post, H., van Bergen, P., 1994. Hydrologische aspecten van het systeemonderzoek Reestdal: aanbevelingen voor integraal beheer van een beekdalsysteem. H2O, 27(5): 122-127.
- Baccini, P., 1985. Phosphate interactions at the sediment-water interface. In: W. Stumm (red). Chemical processes in Lakes. Wiley, New York: 189-224.
- Bakker, J.J.S., Soppe, G.N.A., 2001. Stroomdal Groesbeek: veerkracht werkt. Het waterschap, 86(13): 628-631.
- Bakker, T.W.M., Joosten, J.H.J., Poelman, A., 1988. De Grootte Peel: kweekvijver voor veenmossen of natuurgebied. Landschap, 5(3): 170-185.
- Bal, D., Beije, H.M., Fellingner, M., Haveman, R., Van Opstal, A.J.F.M., Van Zadelhoff, F.J., 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Tweede, geheel herziene editie. Rapport nr. 2001/020. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
- Beltman, B., Van der Krift, T., 1997. De invloed van sulfaat en chloride op de fosfaatbeschikbaarheid in veenbodem, een bijdrage aan integraal waterbeheer. H2O, 30(1).
- Bloemendaal, F.H.J.L., Roelofs, J.G.M. (red), 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. Stichting Uitgeverij van de Koninklijke Natuurhistorische Vereniging, Utrecht en Vakgroep Aquatische Oecologie en Biogeologie van de Katholieke Universiteit Nijmegen. 189p.
- Blom, E., Bijkerk, W., de Boer, N., 2003. De effecten van waterberging op natuur en landbouw. H2O, 36(18): 26-29.
- Boedeltje, G., Weenink, H., Van Zalinge, A., 1997. Effecten van de inlaat van Twentekanaalwater op de waterkwaliteit en de plantengroei in het stroomgebied van de Dortherbeek. Bureau Daslook, Lochem.
- Boers, P., Laane, W., De Vries, I., 1997. Nieuwe wegen naar helder water. RIZA-rapport 97.008, RIKZ-rapport 97.00597.01, RIZA, Lelystad: 26 p.
- Boers, P.C.M., Visser, C.M., 1990. Vermindering van de stikstofbelasting: een middel om de eutrofiëring van plassen en meren te bestrijden? H2O, 23(12): 314-318.
- Boers, P., Uunk, J., 1990. Methode voor het schatten van de nalevering van fosfaat door de waterbodem na vermindering van de externe belasting. Nota nr. 90.032, Rijkswaterstaat, Dienst binnenwateren/RIZA, Lelystad.
- Boetze, W., Geraedts, J., 2001. De herontdekking van het Reitdiep. Een veiliger, schoner, mooier en duurzamer watersysteem. Noorderbreedte nr. 5: 1-3.
- Boeyen, J.H., Van der Honing, H., 1988. Effect van baggeren op de waterkwaliteit in sloten in de Alblasserwaard en de Krimpenerwaard. H2O (21) nr 7.

- Boeyen, J.H., Beljaars, C.N., Van Gerve, R., 1992. Vergroten van waterdiepte in sloten heeft een positief effect op de waterkwaliteit. *H2O*, 25(16): 432-437.
- Bootsma, M., 2000. Stress and recovery in wetland ecosystems. *Nederlandse Geografische Studies*, 273: 1-193.
- Bootsma, M.C., Van Leerdam, A., 1993. Ecologische effecten van het peilbesluit Vijfheerenlanden: berekeningen met ICHORS. Rijksuniversiteit Utrecht, 55p.
- Boström, B., Jansson, M., Forsberg, C., 1982. Phosphorus release from lake sediments. *Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol.* 18: 5-59.
- Brammer, E. S., 1979. Exclusion of phytoplankton in proximity of dominant watersoldier, *Stratiotes aloides*. *Freshwater Biol.* 9: 233-249.
- Brock, Th.C.M., Boon, J.J., Paffen, B.G.P., 1985. The effects of the season and water chemistry on the decomposition of *Nymphaea alba* L.: weight loss and pyrolysis mass spectrometry of the particulate matter. *Aquat. Bot.* 22: 197-229.
- Buijze, S., Buijze, R., 1991. Beekdalen. p 145-168. In: Roos, R. & Vintges, V. (eds). *Het milieu van de natuur, herkennen van verdroging, vermessing en verdroging in de natuur*. Stichting natuur en milieu, Utrecht.
- Buningh, T.A., Adriaanse, P.I., 1987. Afstemming streekplan - landinrichtingsplan. Deelrapport Hydrologische buffering. LD Mededeling 177. Rijksplanologische Dienst, Landinrichtingsdienst, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Utrecht.
- Buskens, R.F.M., Luning, E.J., Elemans, H., 1998. Waterconservering, waterzuivering en beekherstel in het stroomgebied De Beerze: voorbeeldproject moerasbos bij Hapert. Iwaco vestiging Zuid, 's-Hertogenbosch.
- Cals, M.J.R., Roelofs, J.G.M., 1990. Prae-advies effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in matig mineraalrijke heide- en schraallanden. Katholieke Universiteit Nijmegen, Isn279543, 116p.
- Carignan, R., Tessier, A., 1988. The co-diagenesis of sulfur and iron in acid lake sediments of southwestern Québec. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52: 1179-1188.
- Claassen, T.H.L., 1992. Herstelmaatregelen in de Oude Venen als voorbeeld van gebiedsgericht waterkwaliteitsbeheer in Friesland. CHO-TNO rapport nr. 28: 151-174.
- Claassen, T.H.L., 1997. Mogelijke invloed van hydrologische isolatie op de waterkwaliteit. *H2O*, 30(12): 376-381.
- Commissie Waterbeheer 21^e eeuw, 2000. Waterbeleid voor de 21^e eeuw. Geef water de ruimte en aandacht die het verdient. Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- Coops, H., 1999. Oeverbescherming door riet [themanummer riet]. *De levende natuur*, 100(2): 46-49.
- Cranen, I., Odijk, M., 1979. Effecten van een voorgenomen polder-peilverlaging op de slootmakrofauna in de polder Groot Wilnis-Vinkeveen: project milieueffektrapportering. Projektgroep MER, Utrecht.
- Curtis, P.J., 1989. Effects of hydrogen ion and sulphate on the phosphorus cycle of a precambrium shield lake. *Nature* 337: 156-157.

- De Deckere, E.M.G.T., Rijdsdijk, R.E., Boers, P.C.M., 1994. Effecten van de reductie van de fosfaatbelasting in ondiepe plassen en meren. RIZA Werkdocument nr. 94.162X. RIZA, Lelystad, 116 p.
- De Haan, H., Veeningen, R., 1995. Vermindering eutrofiëring polderwater: aanvullende maatregelen in polders in Friesland. *Landschap*, 12(6): 23-34.
- De Hoog, J.C.J., Heuts, P., Croese, T.H.M., 2000. Natuurherstel in De Haak. *H2O*, 33(25/26): 25-27.
- De Kwaadsteniet, P.I.M., Siemonsma, M., Van Bakel, P.J.T., Marsman, D.J., 1997. Ingrep-gevoeligheidsanalyse bij verdrogingsbestrijding en beekherstel. Ervaringen in het stroomgebied van de Vledder- en Wapserveense Aa. *Landinrichting*, 37(3): 8-14.
- De Louw, P.G.B., Vermeulen, P.T.M., 2000. Uitwerking slootproeven. Delft, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- De Putter, P., Verschuuren, J., Van der Vlies, J., 1995. Verdrogingsbestrijding en vernattingschade. *Het waterschap*, 80(13): 486-494.
- De Redelijkheid, M.R., Heijnen, H., 1994. Herinrichting dal van de Rode Beek. *Landinrichting*, 34(3): 5-9.
- De Vos, J.A., Clevering, O.A., Sival, F.P., Alblas, J., Reijers, N., Van Reuler, H., 2003. De invloed van de waterhuishouding op stikstof- en fosfaatverliezen in open teelten. *Alterra-rapport 596*, Alterra, Wageningen. 67p.
- De Wolf, I., Van Stiphout, A.T.F.M., 1999. Meer water in de berging? Een indicatie van de mogelijkheden voor extra berging in het beheersgebied van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht: op zoek naar extra berging bij extreme, natte weersomstandigheden. *DHV Water*, Amersfoort.
- Delleman, I.M.E., Jorna, F.J., 1999. Verlengde aanvoerweg goed alternatief voor natuurlijk zuiveringsfilter. *Het waterschap*, 84(22): 1032-1037.
- Dijkema, F., Koekkoek, H., Ruppert, T., 2000. Grensoverschrijdend stroomgebied: voorstel voor herinrichting van het stroomgebied van het Merkske. *Afstudeerverslag Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein, Studierichting Bos en Natuurbeheer, Velp*.
- Dormans, M.P., Geerlink, H.T., De Groot, G., 1998. Retentie in Overijssel: een nieuwe functie in het landelijk gebied. *Landinrichting*, 38(7): 3-6.
- During, R., 1991. Water in het groene hart: maatregelen ter bestrijding van verdroging en eutrofiëring. *TNO-INRO*, Delft.
- Engelen, G.B., Kal, B.F.M., Buyse, J.J., Van Pruissen, F.G.M., 1992. The hydrology of the Loosdrecht Lakes area. *Hydrobiologia*, 233(1-3): 21-38.
- Ertsen, A.C.D. & F.G. Wortelboer, 2002. *Ristori 2001; Responsmodellen voor aquatische systemen. Rapport 38931/R0325/DE/DenB*. Royal Haskoning, Den Bosch.
- Giblin, A.E., Likens, G.E., White, D., Howarth, R.W., 1990. Sulfur storage and alkalinity generation in New England lake sediments. *Limnol. Oceanogr.* 35(4): 852-869.
- Gijsen, M., Driessen, O., Jansen, M., 1989. Ecologische effecten van gebiedsvreemd water in de Aalder- en Westerstream en de Boksloot. *Zuiveringsschap Drenthe, Assen*.
- Goossensen, F.R., 1989a. Invloed van drainage op de uit- en afspoeling van milieubelastende stoffen. *De buffer*, 35(1): 1-10.

- Goossensen, F.R., 1989b. Landbouw en eutrofiëring, nu en in 2000. De buffer, 35(2): 62-75.
- Gubbels, R., 1994. Herinrichting Maasnielderbeek door het Waterschap Roer en Overmaas. De levende natuur, 95(1): 9.
- Hazeu, W., de Groot, J., Paarlberg, A., 2000. Herstel watersysteem Tungelroyse beek. 1. Gezamenlijke aanpak biedt kans op snelle uitvoering. H2O, 33(13): 23-26.
- Hendriks, J.H.W., Ter Keurs, W.J., 1992. Stikstofbelasting van oppervlaktewater door snel stikstoftransport op klei- en veengronden. H2O, 25(6): 155-158.
- Hendriks, R.F.A., 1993. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden. Rapport 251, DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Hendriks, R.F.A., Van der Kolk, J.W.H., Oosterom, H.P., 1994. Effecten van beheersmaatregelen op de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater van peilgebied Bergambacht: een modelstudie. Rapport 272, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 161 p.
- Hermans, B., Hilgers, A., 2000. Waterberging en functiecombinaties. Het waterschap, 85(17): 828-829.
- Hoogendoorn, J.H., Luijendijk, L., 2000. Ruimte voor duurzaam herstel van de veerkracht van Limburgse watersystemen: een verkenning van de ruimtelijke brongerichte mogelijkheden voor waterretentie en waterconservering in Limburg. Tauw, Deventer.
- Hovenkamp-Obbema, I., Bijlmakers, L., 2001. Van troebel naar helder slootwater. H2O, 34(2): 11-14.
- IWACO, 1992. Onderzoek peilverlagingen. Rapportage 220.5300, IWACO, Groningen.
- Jagtman, E., 1988. Eutrofiëringsbeleid in ontwikkeling: 1987 omslagjaar? H2O, 21(17): 268-269.
- Janse, J.H., 1998. A model of ditch vegetation in relation to eutrophication. Wat. Sci. Tech. Vol. 37 (3): 139-149.
- Jansen, J.M.L., 1983. Hydrologisch modelonderzoek in de ruilverkaveling Giethoorn - Wanneperveen. Cultuurtechnisch tijdschrift, 23(3): 125-137.
- Jansen, A., Schipper, P.N.M., 1997. Tips voor herstel van natte schraallanden. De levende natuur, 98(7): 304-309.
- Jansen, A., Schipper, P., Van Opstal, S., 1997. Het herstel van natte schraalgraslanden. De levende natuur, 98(7): 242-246.
- Jansen, E.J., van Vilsteren, W.A., Marsman, D.J., 1996. Peilbesluit Zuid- en Noordeinderpolder: gevolgen voor de waterkwaliteit. Tauw, Deventer.
- Kant, G.R., 1982. Beken op de Veluwe: onderzoek naar de mogelijkheden voor herstel en behoud. Basisrapport 1: Hydrologische aspecten in relatie tot de watervoering van de beken op de Oost- en de Zuid-Veluwe. Werkgroep Sprengen en Beken op de Veluwe, Arnhem.
- Kemmers, R.H., 1982. Hydrologische bufferzones: werking en de relatie tot hun ruimtelijke positie in het landschap. Mededelingen van de Werkgemeenschap Landschapsecologisch Onderzoek, 9(3/4): 99-108.
- Kemmers, R.H., 1990. De stikstof- en fosfaathuishouding van mesotrofe standplaatsen in relatie tot mogelijkheden van aanvoer van gebiedsvreemd water. The Utrecht Plant Ecology News Report 10, 7-22.
- Kiestra, A., 1995. Fosfaatbeleid en heldere plassen. Het waterschap, 80(2): 96.

- Klapwijk, S.P., van der Does, J., van der Vlugt, J.C., 1988. Eutrofiëring in Rijnland. *H2O*, 21(17): 474-477,493.
- Knol, W.C., Runhaar, J., 1998. Mogelijke effecten van peilveranderingen in het IJsselmeer op binnendijkse natuur. Rapport 646, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 58 p.
- Kolen, B., 1999. Stromende berging. Afstudeerverslag Universiteit Twente, 59 p.
- Kooijman, A.M., Beltman, B., 1990. Interne eutrofiëring, een discussie waard. *The Utrecht Plant Ecology News Report* 10, 47-51.
- Kraak, I., 2003. Effecten van waternoodmaatregelen: een onderzoek naar de effecten van het verondiepen en verbreden van watergangen en flexibel peilbeheer. Afstudeerverslag Wageningen Universiteit, vakgroep agrohydrologie.
- Kroes, J.G., Van Dam, J.C., 2003. Reference manual SWAP version 3.0.3. Alterra rapport 773, Alterra, Wageningen.
- Kwakernaak, C., Wintjes, A., van der Haar, M., 2000. Waterberging in beeld: mogelijkheden voor inrichting en gebruik van waterretentie-gebieden in Gelderland. Alterra-rapport 087, Alterra, Wageningen, 34 p.
- Lamers, L.P.M., Smolders, A., Brouwer, E., Roelofs, J.G.M., 1996. Sulfaatverrijkt water als inlaatwater? De rol van waterkwaliteit bij maatregelen tegen verdroging. *Landschap*, 3.
- Lenssen, J.P.M., Menting, F.B.J., van der Putten, W.H., 1999. Soortenrijk rietmoeras vereist een natuurlijk fluctuerend waterpeil. *De levende natuur*, 100(4): 131-135.
- Ligtvoet, W., Grimm, M.P., 1992. Basisdocument vis in het waterbeheer van Friesland, een visecologische benadering; Raadgevende ingenieurs Witteveen en Bos; in opdracht van de Provincie Friesland.
- Litjens, G., Hemker, C.J., Janssen, G.J.M., 1999. Levende berging. Het grondwatermodel als civieltechnisch gereedschap. *Aarde en Mens*, 3(3): 13-18.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P., Roelofs, J.G.M., 2000. De effecten van verhoogde sulfaatgehalten in het grondwater op grondwater gevoede ecosystemen. *H2O*, 33 (25/26): 28-31.
- Luijendijk, J., Helmich, F.A.M., 1997. Hydrologische bufferzones tegen verdere verdroging natuurgebieden. *Praktijkstudie provincie Noord-Brabant*. *H2O*, 30(4): 100-103.
- Luijendijk, J., Hoogendoorn, J., Peerboom, J., 2001. Herstel watersysteem Tungelroyse Beek. 4. Modelleren van het watersysteem, hoogwater in perspectief. *H2O*, 34(2): 18-20.
- Luyerink, S., 1995. Inundatie van beken: een studie naar integraal waterbeheer in beekdalen met inundaties. Luyerink, 50 p.
- Mc. Duff, J.H., Steenvoorden, J.H.A.M., Scholefield, D., Cuttle, S.P., 1990. Nitrate leaching losses from grassland. In: Gáborcik, V., Krajcovic & Zimková, M. (eds): *Soil-Grassland-Animal Relationships*. Proc. 13th General Meeting of the European Grassland Federation, June 25-29, 1990, Czechoslovakia. Vol 2: 18-24.
- Meijer, M.L., 1988. Actief biologisch beheer als herstel maatregel voor de Bleiswijkse Zoom: eerste resultaten. *H2O*, 21(13): 344-348.
- Meinardi, C.R., 1999. Verzuring en eutrofiëring van de Veluwe vanuit de lucht. *H2O*, 32(9): 17-19.

- Menger, I., 1994. Verdrogingsbestrijding door oppervlaktewaterbeheer: een modelstudie naar peilbeheer en vormgeving watergangen. Waterserienr. 19, Provincie Gelderland, Arnhem: 71 p.
- Meuleman, A.F.M., Beltman, B. & De Bruin, H., 1990. The use of vegetated ditches for water quality improvement. Symposium Proceedings, Cambridge, sept 1990.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 1998. Vierde Nota Waterhuishouding Regeringsbeslissing. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag.
- Moonen, B., 1997. Gebiedsvreemd water in Noordwest-Overijssel. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, Themanummer 11.
- Negate, G.L., Oosterom, H.P., Pankow, J., Oude Voshaar, J., Roest, C.W.J., Van der Toorn, A., 1997. Afvoer van water, stikstof en fosfor in het Schuitembeekstroomgebied. Veldonderzoek 1988-1994. Rapport 424.1, DLO-Staring Centrum, Wageningen, 84p.
- Nijboer, R.C., Wiggers, R., Van den Hoek, Tj.H., Van Rhenen-Kersten, C.H., 2003. Herstel van een brongebied in natuurreservaat het Springendal. Kolonisatie van nieuwe bronnen door macrofauna. Alterra-rapport 857. Alterra, Wageningen, 102 p.
- Nijboer, R.C. & Groeneveld, R., 2004. Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen. II. Mogelijkheden en ontwerp van het systeem. Alterra, intern rapport, Wageningen.
- Nijboer, R.C., Van Diepen, L.T.A. & Higler, L.W.G., 2004. Een expertsysteem voor de keuze van hydrologische maatregelen; III Inventarisatie van hydrologische herstelprojecten. Alterra-rapport 1067, Alterra, Wageningen.
- Oldenkamp, A., 1995. Beschrijving en evaluatie van de herstelmaatregelen in de Deelen. Waterschap Friesland, Leeuwarden, 59 p.
- Olsthoorn, A. F. M., Tolkamp, G.W., Koch, M.J., 2002. Effecten van vernatting op de groei en vitaliteit van eik, beuk en douglas in Roden, Leende en Gees. Alterra-rapport 276, Alterra, Wageningen.
- Oranjewoud, 1997. Inrichtingsplan stroomgebied Oude Graaf en Kievitsbeek. Oranjewoud, Heerenveen.
- Pakes, U., Van der Veen, R., Van Essen, J., 1998. SOBEK – Maas (1998.1): beschrijving geografische gegevens en GIS applicatie. RIZA rapport 98.053. RIZA, Lelystad.
- Peeters, E.T.H.M., De Klein, J.J.M., 1996. Gebiedsvreemd water in de IJsselvallei. Rapportnr. M273, Vakgroep Waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Peeters, E.T.H.M., Gardeniers, J.J.P., 1995. Responsie van biotische maatstaven. Deelproject Sloten. Vakgroep waterkwaliteitsbeheer en Aquatische Oecologie, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Peeters, E.T.H.M., De Klein, J.J.M., 1997. Macrofauna en gebiedsvreemd water in de IJsselvallei. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, Themanummer 11.
- Peeters, E.T.H.M., Gardeniers, J.J.P., 1997. Risico inschatting inlaten gebiedsvreemd water. Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, Themanummer 11.
- Philips, G.L., Eminson, D., Moss, B., 1978. A mechanism to account for macrophyte decline in progressively eutrophicated freshwaters. Aquat. Bot. 4: 103-126.

- Projectgroep Waterlood, 1998. Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater. DLG publicatie 98/2. Dienst Landelijk Gebied, Den Haag en Unie van Waterschappen, Utrecht.
- Psenner, R., 1988. Alkalinity generation in a soft-water lake: Watershed and in-lake processes. *Limnol. Oceanogr.* 22(6, deel 2): 1463-1475.
- Querner, E.P., 1999. Invloed anti-verdrogingsmaatregelen op afvoerregime. *Het Waterschap*, 84(13): 588-593.
- Rip, W.J., Pluim, J.W., Simons, J., 1989. Integrale eutrofiëringsbestrijding in het natuurgebied Botshol: 229-245.
- Roelofs, J.G.M., Smolders, A., 1993. Effecten van de inlaat van Rijnwater op de waterkwaliteit en plantengemeenschappen in aquatische oecosystemen, in het bijzonder laagveenplassen. *De Levende Natuur* 94(2): 78-82.
- Roelofs, J.G.M., 1991. Inlet of alkaline river water into peaty lowlands: effects on water quality and *Stratiotes aloides* L. stands. *Aquat. Bot.* 39: 267-293.
- Roelofs, J.G.M., Cals, M.J.R., 1989. Effecten van de inlaat van gebiedsvreemd water op de waterkwaliteit en vegetatie-ontwikkeling in laag- en hoogveenplassen. In: Roelofs, J.G.M. (red.), 1989. Aanvoer van gebiedsvreemd water: Omvang en effecten op oecosystemen. Proceedings van een symposium gehouden op 21 dec. 1988, te Nijmegen. Vakgroep Oecologie, werkgroep Aquatische Oecologie, Faculteit Natuurwetenschappen, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Rossenaar, A.J.G.A., Streefkerk, J.G., 1997. Herstel van een pleistoceen blauwgrasland: het Stelkampsveld. *De levende natuur*, 98(7): 266-272.
- Rijsdijk, R.E., 1996. Mogelijke maatregelen bij de bestrijding van eutrofiëring in Nederlandse plassen en meren. RIZA rapport 96.049C, RIZA, Lelystad.
- Scheffer, M., 1988. Actief biologisch beheer; dweilen met de kraan open? Een minimodel. *H₂O*, 21(13): 349-355.
- Schiff, S.L., Anderson, R.F., 1987. Limnocorral studies of chemical and biological acid neutralization in two freshwater lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44 (suppl.): 173-187.
- Schilte, L., Schellens, P., 1999. Inundatie en meandering: een aangename verandering: ecologisch herstelplan voor de Buurserbeek. IAHL verslagen; BN 99-6, 49p..
- Schindler, D.W., 1985. The coupling of elemental cycles by organisms: Evidence from whole lake chemical perturbations. In: W. Stumm (red). *Chemical Processes in Lakes*. Wiley Interscience, New York: 225-250.
- Schindler, D.W., Turner, M.A., Stainton, M.P., 1986. Natural sources of acid neutralizing capacity in low alkalinity lakes of the Precambrian Shield. *Science* 232: 844-848.
- Schut, J.N., Klein, M.E., Cusell, J., 1992. Beken in beschouwing: voorstudie voor een uitwerking van geïntegreerd gebiedsgericht beleid in het stroomgebied van de Boven-Dommel. Landbouwuniversiteit Wageningen, 278p.
- Smolders, A., Roelofs, J.G.M., 1995. Internal eutrophication, iron limitation and sulphide accumulation due to the inlet of river Rhine water in peaty shallow waters in the Netherlands. *Arch. Hydrobiol.* 206:
- Snodgrass, W.J., Klapwijk, A., 1986. Lake Oxygen Model 1: Modelling sediment water transport of ammonia, nitrate and oxygen. In: Sly, P.G. (ed). *Proc. 3 Int Symp. Int Sed & Water 1984*, chapter 21.

- Spieksma, J., 1994. Waterbeheer in Friese boezemlanden: maatregelen tegen verdroging en verzuring. *Noorderbreedte*, 18(4): 160-163.
- Spieksma, J.F.M., Scheffer - Ligtermoet, Y., Salverda, A.P., 2000. Flexibel peilbeheer als middel tegen verdroging: in het Vechtplassengebied. *H2O*, 33(6): 32-34.
- Steenbergen, C.L.M., Korthals, H.J., Wortelboer, F.G., 1992. De plas Vechten: veranderingen in waterkwaliteit van een geïsoleerd en gestratificeerd systeem, 1963 - 1991. *H2O*, 25(26): 722-727.
- Steenbruggen, T., De Wit, A., 1996. Verdrogingsbestrijding in Friesland. *Landinrichting* 36 (7): 9-13
- Steenvoorden, J.H.A.M., Stuyt, L.C.P.M., Van Bakel, P.J.T., 1991. Van verdrogen naar vernatten: verkennende studie naar huidige kennis en wenselijk onderzoek. NRLO-rapportnr. 91/10, NRLO, 's-Gravenhage, 59 p.
- STOWA, 2002. Naar grondwatergestuurde oppervlaktewatersystemen. Samenvatting van het STOWA programma Waterlood. STOWA rapport 2002-36, STOWA, Utrecht.
- Stumm, W.A., Morgan, J.J., 1981. *Aquatic chemistry*. Wiley, New York, 2nd edition, 583 p.
- Swenne, A., Aalderink, H., Rem, H., Willemsen, G., 2002. Nutriëntenbelasting Hierdense Beek neemt af. *H2O*, 35(23): 17-19.
- Teeuwen, H.H.A., 1987. De Wet op de Waterhuishouding en de regeling van het peilbesluit. *Waterschapsbelangen*, 72(8): 226-231.
- Thannhauser - Douwma, M., 1998. Ontwikkelingen in de Rottige Meente en de Brandemeer: waterkwaliteitsonderzoek en beheersmaatregelen. Waterschap Friesland, Leeuwarden.
- Torenbeek, R., Voskamp, T., 2003. Nieuwe inzichten over uit- en afspoeling van meststoffen. *H2O*, 36(18): 19-21.
- Uunk, J., Schmidt, G., 1995. Bescherming van beken tegen vermessing; een aanzet voor aanvullend regionaal beleid. *Landschap*, 12(6): 35-46.
- Van Bakel, P.J.T., 2002. Waterberging en verdrogingsbestrijding: een nadere analyse van de mogelijkheden en beperkingen aan de hand van modelberekeningen in 2 stroomgebieden. Alterra Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen.
- Van Bakel, P.J.T., 1986. Gebruik van een simulatiemodel voor het peilbeheer Peilbesluiten en landinrichtingsplannen. *Waterschapsbelangen*, 71(12): 312-315.
- Van Beek, E., 1993. Duurzame modellering voor duurzaam waterbeheer. *Intreerede Technische Universiteit Delft*, 26 p.
- Van Beusekom, C.F., 1991. Natuur in Nederland: grondwater beneden peil. *Landbouwkundig tijdschrift*, 103(3): 18-21.
- Van Boheemen, P.J.M., 1987. Peilverlaging in veenweidegebieden gewenst, ook bij extensieve bedrijven. *De buffer*, 33(3): 94-102.
- Van Dam, H., 2001. Veluwse vennen in de tang. *Vakblad Natuurbeheer*, 40(7): 140-142.
- Van den Akker, J.J.H., Beuving, J., 1997. Vijfentwintig jaar peilverlaging versus polderpeil: maaiveld daling van veengrasland bij twee slootpeilen in de polder Zegveldbroek. *Landinrichting*, 37(3): 15-20.

- Van den Brink, C., Vegter, U., Huijsmans, T., 1999. Eutrofiëring via grondwater rondom de Hierdense Beek: van stikstofoverschot naar Snavelzegge? *Landschap*, 16(3): 153-168.
- Van den Brink, F., Klink, A., Van der Velde, G., 1993. Natuurontwikkeling in uiterwaarden door verhoging rivierdynamiek? *De levende natuur*, 94(2): 59-64.
- Van der Molen, D.T., Portielje, R., Klapwijk, S.P., 1998. Vierde eutrofiëringsenquête van de Nederlandse meren en plassen. *H2O*, 31(11): 16-22.
- Van der Molen, P.C., 2002. Ecologische aspecten van overstrooming en inundatie: literatuuronderzoek naar de gevolgen van overstrooming en inundatie voor de Brabantse natuurdoeltypen. Dienst Landelijk Gebied Noord-Brabant, Tilburg.
- Van Deursen, W.P.A., Middelkoop, H., Kwadijk, J.C.J., 2002. Grenzen aan de werking van bovenstroomse berging. *H2O*, 35(5): 17-20.
- Van Donk, E., Slim, F.J., Grimm, M.P., 1988. Herstel van de recreatieplas "Zwemlust" door toepassing van actief biologisch beheer: eerste resultaten. *H2O*, 21(13): 338-343.
- Van Haselen, C.O.G., 1996. Inundatie na beekherstel: een beschrijving van de hydrologische gevolgen die op kunnen treden voor en na een beekherstelproject. Stageverslag Vakgroep Waterhuishouding, Landbouwniversiteit Wageningen.
- Van Huet, H.J.W.J., de Haan, H., Claassen, T.H.L., 1987. Fosfaat-eutrofiëringsonderzoek in het merengebied van zuid-west Friesland. *H2O*, 20(6): 131-135.
- Van Liere, E., Engelen, G.B., Boers, P.C.M., 1986. Eutrofiëringsbestrijding door middel van het doorspoelen van de Vuntus: verslag studiedag. rapport 1986-3, WOL, 31 p.
- Van Liere, L., Peters, J., Mur, L.R., 1983. Fosfaatnaleveringscapaciteit van sedimenten en naleveringstijd. *H2O*, 16(13): 298-302.
- Van Oijen, M., Roovers, G., Klein, J., 2001. Peilbesluit Alm en Biesbosch: flexibel beheer op basis van grondwaterstanden. *H2O*, 34(14/15): 20-23.
- Van Schaik, F.H., Vuister, L.W.M., 2000. Evaluatie eutrofiëringsbestrijdingsproject Nieuwkoopse Plassen. Hoogheemraadschap van Rijnland, Leiden.
- Van Vugt, P.A., 1990. Peilverlaging en duurzaam landbouwkundig gebruik in diepe veenweidegebieden. *Landinrichting*, 30(6): 11-16.
- Van Wezel, H., Nieuwkamer, R., 2003. Blauw goud van Natte Hart naar Groene Hart. Pleidooi voor betere benutting van zoetwaterbron. *H2O*, 36 (18): 19-21.
- Van Winden, A., Kolen, B., Overmars, W., 1999. Stromende berging. *Aarde en mens*, 3(3): 8-12.
- Veeningen, R., 1998. De betekenis van de resultaten van de vierde eutrofiëringsenquête voor Friesland. *H2O*, 31(11): 27-29.
- Veltrop, B., 1999. Tieler- en Culemborgerwaarden neemt maatregelen: het lange avontuur: een waterhuishoudkundig dilemma. *Het waterschap*, 84(2): 77-79.
- Verdonschot, P.F.M. (red.), 1995. Beken stromen, leidraad voor ecologisch beekherstel. Handleiding opgesteld door de Werkgroep Ecologisch Waterbeheer in opdracht van STOWA. STOWA rapport 95-03, WEW-06, 236 p.

- Verdonschot, P.F.M., Goedhart, P.W., Nijboer, R.C., Vlek, H.E., 2003 Voorspelling van effecten van ingrepen in het waterbeheer op aquatische gemeenschappen: De ontwikkeling van cenotypenvoorspellingsmodellen voor beken en sloten in Nederland. Rapport nr. 738, Alterra, Wageningen, 239p.
- Vermeij, I., Van Boven, H., 2001. De Veluwe als spons? Water in een flexibel systeem: gezamenlijk symposium van Waterschap Veluwe en IRMA. Het waterschap, 86(22): 1094-1095.
- Verstraelen, P.J.T., Roijackers, R.M.M., Barendregt, A., 1989. Voorwaarden voor restauratie in het gebied van de Ankeveense en Kortenhoefse plassen. 214-227.
- Verstraelen, P.J.T., Roijackers, R.M.M., Landman, J.E.F., 1988. Restauratieproject Ankeveense en Kortenhoefse Plassen. H2O, 21(17): 478-481.
- Vinke, G.B., 1993. Eutrofiëringsbestrijding in binnenwateren eist verdere reductie van nutriënten en aanvullende maatregelen: RWS - studiedag "Eutrofiëring en beleid". H2O, 26(4): 84-85.
- Vlek, H.E., Van der Molen, J.S., Verdonschot, P.F.M., 2004. Naar een doelrealisatie voor aquatische ecologie in het waternoodinstrumentarium. Alterra rapport, in druk, Alterra, Wageningen.
- Werkgroep Giethoorn-Wanneperveen, 1982. Ruilverkaveling Giethoorn-Wanneperveen: effecten van een peilverlaging op de waterhuishouding van het reservaat. Landinrichtingsdienst, Utrecht.
- Werkgroep Waterspil, 1995. Voorbeeldplan Waterspil: peilverhoging in de ruilverkaveling Axel. Landinrichtingsdienst Provincie Zeeland, Goes, 90p.
- Werkgroep Waterstandsnormen van de Natuurwetenschappelijke Commissie van de Natuurbeschermingsraad, 1980. Bufferzones ter regulatie van de waterhuishouding van natuurgebieden bij cultuurtechnische ingrepen. Natuurbeschermingsraad, Utrecht.
- Westera, H.B., 1995. Waterkwaliteit en peilbeheer in het Gelders Rivierengebied: een onderzoek naar de kwaliteitsoverweging betreffende waterdiepte en peilfluctuatie, 57 p.
- Wienk, L.D., Verhoeven, J.T.A., Coops, H., Portielje, R., 2000. Peilbeheer en nutriënten. Literatuurstudie naar de effecten van peildynamiek op de nutriëntenhuishouding van watersystemen. RIZA rapport 2000.012, RIZA, Lelystad.
- Wittmer, M.C.H., 1989. Integral water management at regional level. An environmental study of the Gooi and the Vechtstreek. Dissertatie Rijksuniversiteit Utrecht, 172 p.
- Wuring, G., 1994. Tips voor natuurlijk waterbeheer: een handleiding voor waterbeheerders in Friesland: peilbeheer, slootbeheer, oevers, grondwaterbeheer. Friese Milieu Federatie, Leeuwarden.
- Zweers, A.J., Van de Kolk, J.W.H., 1998. Methode voor de bepaling van de denitrificatiesnelheid in waterbodems: ontwikkeling en toepassing. DLO-Staring Centrum, Wageningen.