

Definitiestudie ecologische effecten van laagwater

Deze studie is uitgevoerd in opdracht van het Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RIZA)

Definitiestudie ecologische effecten van laagwater

**Een verkenning van de effecten van laagwater op de
levensgemeenschappen van regionale wateren**

**L.W.G. Higler
J.W.H. Elbersen
P.F.M. Verdonschot**

Alterra-rapport 733

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2002

REFERAAT

Higler, L.W.G., Elbersen, J.W.H. en P.F.M. Verdonschot, 2002. *Definitiestudie ecologische effecten van laagwater; Een verkenning van de effecten van laagwater op de levensgemeenschappen van regionale wateren*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 733. 58 blz.; 13 fig.; 10 tab.; 22 ref.

Effecten van laagwater en in extreme gevallen gedeeltelijke of totale droogval op aquatische levensgemeenschappen zijn in het algemeen negatief. Soorten verdwijnen of hele ecosystemen veranderen (bij verzilting). Het toelaten van peilwisselingen, die in het agrarisch gebied tegengegaan worden, leidt tot positieve reacties van water- en oeverplanten, ook als in droge zomers het water extra laag staat. In deze definitiestudie worden aanbevelingen gedaan voor een literatuurstudie en voor een pilotstudie waarbij modellenketens hydrologie-ecologie toegepast zullen worden in concrete situaties met KRW soortengroepen in verschillende watertypen.

Trefwoorden: laagwater, droogval, ecologische effecten

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-Document3. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2002 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info@alterra.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd 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

| | |
|---|----|
| Inhoud | 5 |
| Woord vooraf | 7 |
| Samenvatting | 9 |
| 1 Inleiding | 11 |
| 1.1 Achtergrond | 11 |
| 1.2 Probleemstelling | 11 |
| 1.3 Projectdoelstelling | 11 |
| 1.4 Projectresultaat | 12 |
| 1.5 Verkennende notitie | 12 |
| 2 Quickscan van effecten van laagwater op de belangrijkste regionale watertypen | 13 |
| 2.1 Mogelijke gevolgen van laagwater, algemeen | 13 |
| 2.2 5S-model | 14 |
| 2.3 Beoordeling van de effecten | 15 |
| 2.4 Bronnen en bovenlopen (inclusief sprengen) | 15 |
| 2.5 Semi-permanente poelen en sloten in hoog Nederland | 18 |
| 2.6 Vennen | 19 |
| 2.7 Duinwateren | 20 |
| 2.8 Sloten en greppels in laag Nederland | 21 |
| 2.9 Plassen en meren | 22 |
| 2.10 Conclusies | 23 |
| 3 Verkenning mogelijkheden van een literatuurstudie in relatie tot laagwater | 25 |
| 3.1 Afbakening zoekgebied | 25 |
| 3.2 Mogelijkheden om deze kennis te concretiseren in een literatuurstudie | 25 |
| 3.3 Conclusies | 26 |
| 4 Verkenning bestaande modellen in relatie tot laagwater | 27 |
| 4.1 Relatie modellen en laagwater factoren/-processen | 27 |
| 4.2 Beschikbare modellen | 27 |
| 4.3 Koppeling modellen | 28 |
| 4.4 Conclusies | 30 |
| 5 Verkenning expertkennis in relatie tot laagwater | 31 |
| 5.1 Keuze van instituten en universiteiten waar expertkennis verwacht wordt | 31 |
| 5.2 Vragenlijst aan deskundigen | 31 |
| 5.3 Conclusies | 31 |
| 6 Verkenning concept kennissysteem voor laagwater aan de hand van een pilotstudie | 33 |
| 6.1 Operationalisering kennis | 33 |

| | | |
|-----|--|----|
| 6.2 | Randvoorwaarden voor het functioneel ontwerp van een kennissysteem | 33 |
| 6.3 | Doelgroepen voor het kennissysteem | 35 |
| 6.4 | Conclusies | 36 |
| 7 | Projectplan vervolgfase | 37 |
| 7.1 | Resultaten definitiestudie | 37 |
| 7.2 | Centrale processen, factoren, watertypen en organismengroepen | 37 |
| 7.3 | Verdiepende literatuurstudie | 38 |
| 7.4 | Kaartjes | 39 |
| 7.5 | Modellen | 39 |
| 7.6 | Expert kennis | 40 |
| 7.7 | Oplossen van kennishiaten: onderzoek | 41 |
| 7.8 | Ontwikkeling kennissysteem (DSS) ecologie laagwater | 42 |
| 8 | Aanzet tot projectplan Pilotstudie Laagwater | 43 |
| 8.1 | Inleiding | 43 |
| 8.2 | Gebieds- en probleemgerichte aanpak | 44 |
| 8.3 | De laagwaterproblemen | 45 |
| 8.4 | De uitvoering van de pilot | 45 |
| 8.5 | Het achtergronddocument: Het theoretische raamwerk laagwater | 46 |
| 8.6 | De verbreding naar andere gebieden | 46 |
| | Literatuur | 47 |
| | Bijlagen | |
| 1 | Verklarende woordenlijst | 49 |
| 2 | Verkennde Knelpuntennotitie Laagwater | 51 |
| 3 | Resultaten van de interviews | 57 |

Woord vooraf

Het RIZA voert een grootschalige laagwaterstudie uit in het kader van Waterbeheer in de 21ste eeuw. De achtergrond hierbij is de verwachting dat klimaatverandering ingrijpende gevolgen zal hebben voor de waterhuishouding in Nederland. Deze gevolgen betreffen zowel waterstandsaling en uitdroging als verzilting in de kustgebieden.

Aan ALTERRA is gevraagd een definitiestudie te verrichten naar de effecten van laagwater op de aquatische levensgemeenschappen van de belangrijkste regionale watertypen. De studie mondt uit in een projectplan waarvan een pilotstudie in een geselecteerd gebied een onderdeel moet vormen. In zo'n pilotstudie wordt gebruik gemaakt van een in de definitiestudie ontwikkeld kennisstelsel.

Samenvatting

Binnen de laagwaterstudie van het RIZA is in deze definitiestudie aandacht geschonken aan de ecologische effecten van laagwater in regionale watertypen. De studie vormt een opmaat naar een uitgebreidere studie en had als doel:

1. Het in beeld brengen of en hoe (i) studie van bestaande modellen, (ii) kennisontsluiting bij instituten en universiteiten en (iii) literatuurstudie kan bijdragen aan het in beeld brengen van de ecologische effecten (in termen van processen en factoren) van (nader te definiëren) langdurige droogte op welke levensgemeenschappen in welke oppervlaktewateren.
2. Het ontwikkelen van een concept om de onder 1 bijeen gebrachte kennis om te zetten in een kennissysteem om de ecologische effecten van langdurige droogte en de eventuele maatregelen in dat verband in te schatten en te beoordelen.

In een quickscan zijn de ecologische effecten van laagwatersituaties (peilverlaging, droogval en verzilting) geschetst voor de belangrijkste regionale watertypen die daarmee te maken hebben (plassen, meren, sloten, vennen, duinwateren, poelen, bronnen en beken). De effecten zijn in veel gevallen negatief te noemen, omdat kenmerkende aquatische organismen verdwijnen, soms voorgoed, maar in enkele gevallen positief, omdat bijvoorbeeld natuurlijke peildynamiek bepaalde vegetatievormen juist een kans biedt. De beoordeling van de ecologische effecten is in deze definitiestudie nochtans kwalitatief van aard. Juist in de vervolgfase zal gepoogd worden zoveel mogelijk ecologische effecten te kwantificeren.

In de vervolgfase kan op basis van geïdentificeerde factoren en processen in laagwatersituaties, bepaalde gevoelige organismengroepen en watertypen een gerichte literatuurstudie worden verricht om de ecologische effecten van laagwater zoveel mogelijk te concretiseren en vooral kwantificeren.

De bestudering van bestaande modellen(ketens) leidde tot drie aanbevelingen:

- De in deze studie beschreven Alterra modellenketen omvat momenteel waterkwaliteit, -kwantiteit en ecologie, maar dient uitgebreid te worden met een structuurmodel (morfologie) en een systeemvoorwaarden-module om laagwatersituaties volledig in beeld te kunnen brengen.
- Daarbij dienen ook alle verplichte Kaderrichtlijn Water organismengroepen in beeld te zijn.
- Ook het RISTORI-concept dient daarom uitgebreid te worden met waterplanten, vissen en algen en moet daarnaast ook toepasbaar zijn in kleine waterlopen.

Inventarisatie van expertkennis bij instituten en universiteiten leidden in hoofdlijnen tot twee conclusies:

- uitspraken over de effecten van laagwater op regionale aquatische systemen zijn nagenoeg alleen kwalitatief voorhanden
- Modellenketens met daarin de relatie tussen hydrologie en ecologie bieden veel perspectief.

In de definitiestudie zijn onder meer de volgende randvoorwaarden voor een functioneel ontwerp van een kennissysteem (DSS) geïdentificeerd:

- het moet watertype-afhankelijk zijn
- het moet zo kwantitatief mogelijke uitspraken over ecologische laagwater-effecten kunnen doen
- er moet rekening worden gehouden met organismen(groep) gebonden specifieke effecten
- het kennissysteem dient in de toekomst aan te sluiten op de Kaderrichtlijn Water maatlatten voor organismengroepen
- de uitspraken van het kennissysteem moeten ook een tijdsaspect bevatten zoals langdurige of kortstondige effecten, directe en lange termijn effecten, reversibel of irreversibel, waardoor een extra dimensie gegeven kan worden aan de ernst van de effecten.

Op basis van de bevindingen van deze studie kan een pilotstudie worden uitgevoerd waarin

- (i) met behulp van modellen gebiedsgerichte uitspraken worden gedaan over de effecten van voorspelde laagwatersituaties
- (ii) generiek toepasbare kennis wordt gegenereerd omtrent laagwatersituaties. Met behulp van deze pilot komen ook de mogelijkheden en hiaten in ecologie van de laagwaterproblematiek expliciet naar voren.

In de pilot worden twee sporen gevolgd waarbij het tweede spoor afgeleid wordt uit het eerste:

1. Er wordt direct gewerkt aan laagwatersituaties in een concreet gebied voor concrete problemen in specifieke watertypen.
2. Er wordt indirect gewerkt aan het verder uitbouwen van bestaande kennis omtrent laagwatersituaties om toekomstige generalisaties mogelijk te maken.

Een belangrijke randvoorwaarde van de pilotstudie is de beschikbaarheid van voldoende gegevens van verschillende watertypen en van verschillende KRW-organismengroepen.

- Een gebieds- en probleemgerichte pilotstudie (op voorhand worden gebied en problemen gedefinieerd door de opdrachtgever),
- Een probleemgerichte literatuurstudie waaruit ook generieke kennis wordt afgeleid,
- De invulling van de pilot en de literatuurkennis worden zodanig opgeslagen dat deze geschikt is voor een toekomstig beslissingsondersteunend systeem,
- Om de kennisontwikkeling in gerichte banen te leiden wordt de pilot opgehangen in een (eenvoudig) theoretische raamwerk dat een generieke benadering van de laagwaterproblematiek omvat,
- Om tenslotte de vertaalbaarheid van de pilot naar andere gebieden in Nederland te waarborgen wordt een ruimtelijke en inhoudelijke verbreding voorzien,
- Een en ander kan uitmonden in een tweede pilot in een ander gebied.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In het kader van Waterbeheer in de 21ste eeuw (WB21) wil RIZA een omvangrijke laagwaterstudie uitvoeren. In deze studie zal onderzocht worden op welke wijze bij langdurige droogte de problemen met betrekking tot de waterverdeling in Nederland kunnen worden voorkomen, tegengegaan of geminimaliseerd. Het kerndoel is het in beeld brengen van de mogelijkheden om vraag en aanbod van water af te stemmen tegen acceptabele maatschappelijke kosten. De waterkwantiteit neemt daarom ook een belangrijke plaats in de studie in. Echter ook op het gebied van de kwaliteit (inclusief de ecologische waarden) dient een en ander nog in beeld te worden gebracht. Belangrijk hierbij is het beantwoorden van de vraag of een ecologische studie in fase 2 van de laagwaterstudie bijdraagt aan het kerndoel.

Om dit doel te bereiken dient ecologische kennis te worden opgespoord en ontsloten. De kennis is uit literatuur afkomstig, ligt besloten in bestaande ecologische modellen of is aanwezig bij instituten en universiteiten.

1.2 Probleemstelling

Langdurige droogte kan ingrijpende effecten hebben op aquatische levensgemeenschappen. Het directe effect van droogte is droogval. Deze extreme conditie is fataal voor veel waterorganismen. Het indirecte effect heeft twee aspecten. Ten eerste leidt langdurige droogte tot sterke vermindering van afvoer (stroomsnelheden), tot sterke verlaging van peil en in beide gevallen tot verhoging van stoffenconcentraties en de temperatuur alsmede tot verlaging van het zuurstofgehalte. Ten tweede leidt langdurige droogte tot verandering van de fysisch-chemische toestand door menselijke ingrepen in de externe waterverdeling, zoals waterinlaat en onttrekking (beregening).

Om de mogelijke ecologische effecten van (kortstondige, langdurige of periodieke) laagwatersituaties in beeld te brengen en te beoordelen is een inventarisatie nodig van bestaande ecologische kennis (zie 1.1). Een dergelijke inventarisatie dient uit te gaan van de omstandigheden die behoren bij een toestand van langdurige droogte. Deze toestand moet in deze verkenning in beeld worden gebracht alsmede de te verwachten menselijke ingrepen, indien deze nodig worden geacht om negatieve effecten te voorkomen.

1.3 Projectdoelstelling

Het doel van deze definitiestudie, als opmaat naar een uitgebreidere studie is tweeledig:

1. Het in beeld brengen of en hoe (i) studie van bestaande modellen, (ii) kennisontsluiting bij instituten en universiteiten en (iii) literatuurstudie kan

- bijdragen aan het in beeld brengen van de ecologische effecten (in termen van processen en factoren) van (nader te definiëren) langdurige droogte op welke levensgemeenschappen in welke oppervlaktewateren.
2. Het ontwikkelen van een concept om de onder 1 bijeen gebrachte kennis om te zetten in een kennissysteem om de ecologische effecten van langdurige droogte en de eventuele maatregelen in dat verband in te schatten en te beoordelen.

1.4 Projectresultaat

Deze definitiestudie mondt uit in een projectplan waarin de aanpak van een brede literatuurstudie, modellenverkenning en een kennisinventarisatie is uitgewerkt en waarin een concept ten behoeve van het ontwikkelen van een kennissysteem wordt gepresenteerd. De verkenning resulteert in aanbevelingen voor een vervolgstudie, dat wil zeggen: welke factoren en processen kunnen via een literatuuronderzoek nader gespecificeerd worden en hoe kan deze kennis geïntegreerd worden in een decision support system, dat voor de laagwaterstudie een bruikbaar instrument is om beslissingen te kunnen nemen over situaties van (extreme) droogte.

1.5 Verkennende notitie

In een verkennende notitie (bijlage 2) is een eerste indruk gegeven van (1) de laagwatersituatie, (2) abiotische gevolgen daarvan, (3) ecologische effecten van verdroging op aquatische ecosystemen en (4) mogelijke maatregelen. De abiotische en biotische gevolgen zijn beschreven aan de hand van het zogenaamde 5S-model (Systeem, Stroming, Structuur, Stoffen en Soorten) (Verdonschot *et al.*, 1995). Deze knelpuntennotitie is tot stand gekomen op basis van expert kennis binnen het Alterra team zoetwaterecosystemen en bestaande literatuur. Dit overzicht heeft als uitgangspunt gediend voor de overige fasen van de definitiestudie.

2 Quickscan van effecten van laagwater op de belangrijkste regionale watertypen

2.1 Mogelijke gevolgen van laagwater, algemeen

In onderstaand schema worden de belangrijkste vormen van laagwatersituaties visueel gemaakt. Daarbij worden de beïnvloede parameters benoemd en de ecologische effecten geschetst.

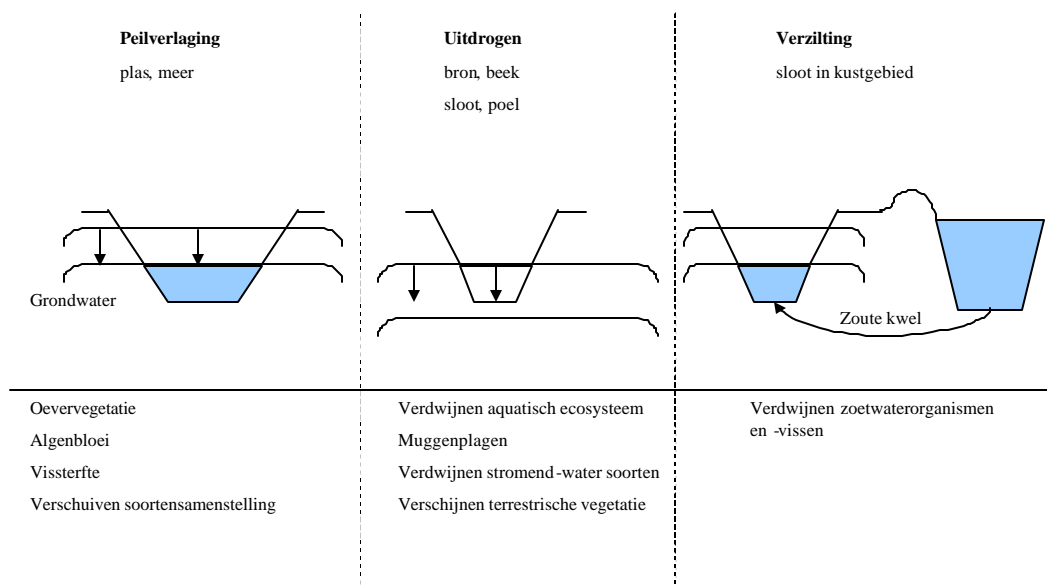
Bij peilverlaging vermindert de waterdiepte. Dit heeft verschillende gevolgen.

- Er wordt systeemvreemd water aangevoerd als dat op natuurlijke wijze toestroomt om het tekort aan te vullen. Dit water kan verontreinigend of eutrofiërend werken.
- Bij ondiepe wateren kunnen zuurstoftekorten ontstaan en zullen de temperatuurfluctuaties toenemen met periodes van zuurstoftekort of zuurstofloosheid. Ook temperatuurfluctuaties worden groter, waardoor de genoemde processen versneld worden.
- Effecten op het ecosysteem zijn algenbloei, vissterfte en veranderingen in de soortensamenstelling. Gevoelige soorten sterven en ongevoelige soorten nemen toe. De oevervegetatie zal in het algemeen positief reageren. Rietvegetaties zullen profiteren van peilschommelingen en zich uitbreiden. Bij aanhoudende droogte van de oevers, verdwijnen soorten van de aquatische makrofauna, die daar hun belangrijkste schuilplaats hebben.

De meest extreme vorm van laagwater is volledig uitdrogen. Dit betekent bij bronnen en bovenlopen van bronbeken dat de stroomsnelheid in het restant van de beken afneemt en bij sloten en poelen dat de structuur van de oevers aangetast kan worden. Er verschijnt terrestrische vegetatie, die geheel andere processen in de aarde teweegbrengt, zodat na vernatting een heel andere abiotische situatie tevoorschijn komt dan voor de verdroging. Deze vegetatie zal afsterven en rotting en eutrofiëring veroorzaken. Volledige uitdroging betekent uiteraard het einde van de aquatische levensgemeenschap en herstel is sterk afhankelijk van de bereikbaarheid vanuit niet verstoorde systemen en de situatie waarin het opnieuw natte biotoop verkeert. In beken, waarin de stroomsnelheid sterk gereduceerd wordt als gevolg van verdroging van de bron en de bovenloop, verdwijnen de stromend water soorten en ook hiervoor geldt dat de bereikbaarheid een heet hangijzer is. Hier treden vooral lange termijn effecten op die herstel bemoeilijken. De beschreven situaties zijn vaak optimaal voor steekmuggen, die profiteren van de afwisseling van vochtige en natte situaties en zich in korte tijd tot plaag kunnen ontwikkelen.

Verzilting treedt op als de (zoetwater)grondwaterstand daalt en daardoor de aanvoer van zoute kwel bevorderd wordt. Het zal duidelijk zijn dat het zoete ecosysteem daardoor ernstig wordt aangetast of geheel verdwijnt. Daar staat tegenover dat nieuwe brakwater- of zoute ecosystemen kunnen worden ontwikkeld. De kans op interessante brakwaterlevensgemeenschappen is afhankelijk van een bestendige

toestand, omdat er jaren overheen gaan voordat nieuwe brakwatersystemen zich hebben kunnen vestigen en stabiliseren. Een afwisselend zoet en brak systeem heeft weinig mogelijkheden tot ontwikkeling van een rijke biodiversiteit en zal slechts de 'allerhardste' soorten bevoordelen.



Figuur 2.1 weergave laagwatersituaties

2.2 5S-model

In bijlage 2 worden processen en factoren genoemd die zijn afgeleid via het zgn. 5-S model. Dit is een hiërarchisch model met aan de top de Systeemvoorwaarden. Dit zijn (bijna) niet door menselijk ingrijpen te wijzigen eigenschappen zoals klimaat, geomorfologie e.d. Op een lager niveau gaat het om hydrologische, chemische en fysische eigenschappen, gesymboliseerd door Stroming, Stoffen en Structuur. De uiteindelijke resultante van deze eigenschappen in een habitat wordt gevormd door planten en dieren die bij een beschreven situatie thuishoren, de Soorten. De vijf S-sen zullen worden getoetst aan de effecten van verdroging.

- **Systeemvoorwaarden.** Door klimaatverandering zullen er grotere temperatuurfluctuaties optreden. Er wordt aangenomen dat er een temperatuurstijging met 3° zal optreden in de periode tot 2100.
- **Stroming.** De gevolgen van verdroging uiteten zich in grondwaterstandsverlaging met als gevolg een verminderde afvoer, verlaagde stroomsnelheid, vermindering van kwel, toename van wegzijging en bij mitigerende maatregelen toename van waterinlaat.
- **Structuren.** De waterdiepte wordt geringer, er treedt verslibbing op en bij volledige uitdroging verdwijnt het aquatisch habitat.
- **Stoffen.** Er treden grotere zuurstoffluctuaties op en mogelijk zuurstofuitputting. Door de concentratie van stoffen in een kleiner watervolume is er meer kans op eutrofiëring, saprobiëring en verharding. In de kustprovincies kan de dalende grondwaterstand zoute kwel aantrekken met als gevolg verziltting.

- Soorten. De gevolgen van de bovenbeschreven processen zullen per watertype worden geanalyseerd, waarbij het mogelijk is kenmerkende soorten te selecteren, die karakteristiek zijn voor het ecosysteem dat bij die watertypen hoort.
- Duur. Dit is een extra factor, die toegevoegd wordt omdat er zowel naar de korte termijn- als de lange termijn effecten gekeken wordt.

2.3 Beoordeling van de effecten

Een beoordeling van de ernst van de effecten kan voorlopig slechts kwalitatief en gebaseerd op expert judgement plaats vinden.

Het voorstel is om de volgende klassificatie aan te houden:

- - - - het effect is irreversibel. Hierbij speelt de tijd een belangrijke rol. Het kan zijn dat het voor de karakteristieke organismen vele tientallen jaren duurt om het herstelde habitat weer te bereiken of dat dit zelfs onmogelijk is. Het kan ook zijn dat de abiotische omstandigheden zodanig veranderd zijn, dat er een geheel nieuwe situatie is ontstaan.
- - - de effecten zijn zeer negatief. Het is op termijn mogelijk, dat karakteristieke organismen terugkeren of dat de abiotiek weer hersteld wordt. Hier wordt gedacht aan een periode van 10 tot 20 jaar.
- - negatieve effecten. De meeste karakteristieke soorten zijn verdwenen, ubiquisten hebben hun plaats ingenomen. Er is sprake van een mogelijk herstel in een periode van 5 tot 10 jaar.
- er zijn zwak negatieve effecten. De schade lijkt op redelijk korte termijn herstelbaar (in een periode van 1 tot 5 jaar).
- +/- mogelijk gering positief effect. In deze situatie treedt een geringe verbetering op door de terugkomst van enkele karakteristieke soorten, maar van totaal herstel is (nog) geen sprake.
- + positief effect. Er is sprake van duidelijke verbetering doordat droogteminnende soorten, die positief gewaardeerd worden, toenemen of doordat er een duidelijke toename van karakteristieke soorten is na verbetering van de situatie.
- ++ zeer positief effect. Dit kan voorkomen door secundaire effecten, zoals peilwisseling voor helofyten gunstig is. Een andere mogelijkheid is de terugkeer van karakteristieke soorten uit een onbeïnvloed deel van het ecosysteem, bijv. bovenloopsoorten die niet verdwenen zijn door de verdroging van bron en bovenloop, maar zich nog konden handhaven in het gebied. Dit kan alleen optreden bij kortdurende droogtes van weken tot enkele maanden.

2.4 Bronnen en bovenlopen (inclusief sprengen)

Beken worden gevoed door grondwater, dat o.a. in de bronnen uittreedt. Bij laagwatersituaties daalt de grondwaterstand en vallen bron en bovenloop tijdelijk of permanent droog. Er zijn grote verschillen tussen de effecten van verdroging en de effecten (figuur 2.2) van mitigerende maatregelen.

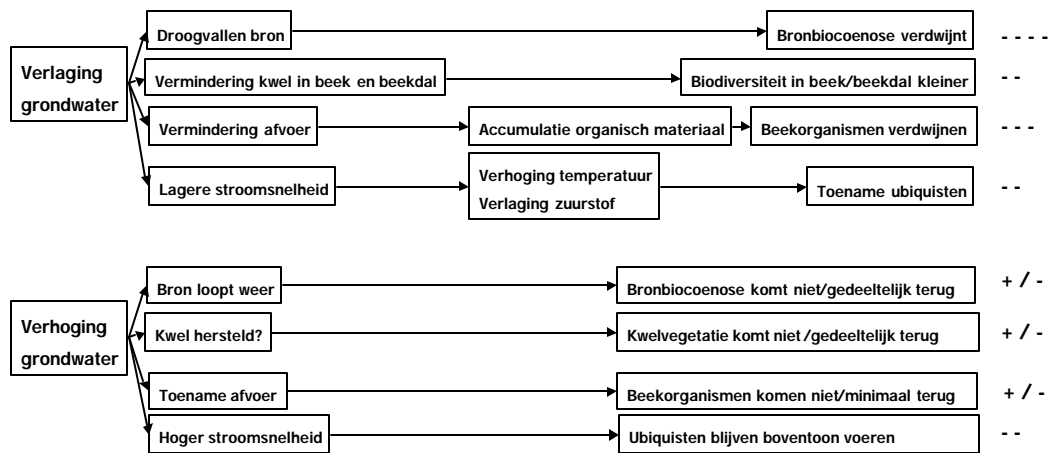
- Bij volledige droogval verdwijnt de hele brongemeenschap. Herkolonisatie is afhankelijk van de nabijheid van plaatsen waar zich nog bronorganismen bevinden en de mogelijkheden van dispersie/migratie. Bron-organismen zijn weinig mobiel en in Nederland ook nog vrij zeldzaam, waardoor herstel van de oorspronkelijke brongemeenschap praktisch uitgesloten is.
- Als tevens de bovenloop droogvalt verdwijnen dieren die voornamelijk in bronnen en bovenlopen voorkomen. Voorbeelden van libellensoorten worden gegeven door Kalkman et al. (2002). Reeds droogvallen van enkele weken worden als fataal beschouwd. Zeldzame soorten kunnen geheel uit Nederland verdwijnen (de gewone bronlibel: *Cordulegaster boltonii*)
- Door vermindering van kwel in de beek en het beekdal verdwijnen de typische planten en beekorganismen, die in dergelijke situaties voorkomen. Bij verhoging van de grondwaterstand is terugkeer moeilijk. Er treden waarschijnlijk onomkeerbare processen op in de bodemstructuur, waardoor herstel van kwel uit kan blijven. Er is weinig ervaring met dergelijke processen.
- Door verminderde afvoer treedt accumulatie op van organisch materiaal en vallen ondiepe trajecten droog. Dergelijke omstandigheden zijn fnuikend voor de levensmogelijkheden van rheofiele organismen, die over het algemeen op kale zandbodems of grunderige substraten leven. De (ook aanwezige) soorten van organisch materiaal/slib habitats kunnen zich in een situatie van verminderde afvoer vermeerderen. Eenmaal verdwenen rheofiele soorten kunnen maar moeizaam terugkeren omdat ze bijvoorbeeld zeldzaam zijn en/of over kleine afstanden migreren vanuit niet beïnvloede systemen. Het is moeilijk voorstelbaar, dat bij extreme droogte nog vergelijkbare systemen in de buurt zijn overgebleven zonder dezelfde verschijnselen, waardoor migratie-afstanden van tientallen tot honderden kilometers nodig zijn.
- De verlaging van de stroomsnelheid, een direct gevolg van verminderde afvoer, is fataal voor beekvissen en andere rheofiele soorten uit de macrofauna. De grotere zuurstofschommelingen (in het algemeen vooral verlaging) en verhoogde temperaturen zijn waarschijnlijk de belangrijkste oorzaken voor het verdwijnen. De effecten zijn vergelijkbaar met vermindering van afvoer. Beekprik, rivierdonderpad, berrmpje, beekforel en rivierkreeft komen, indien verdwenen, praktisch zeker niet meer terug, als na herstel weer een hogere stroomsnelheid gerealiseerd kan worden. Vliegende insecten met een aquatisch larvenstadium maken een betere kans, mits ze de herstelde situatie kunnen vinden en geen afstanden van meer dan enkele kilometers (?) hoeven af te leggen. Omdat vermindering van de afvoer en verlaging van de stroomsnelheid samengaan, is er geen verschil in de grootte van het effect van beiden.

Voorbeeld:

Renkumse beek. Door grondwateronttrekking is de beekfauna verdwenen. Herstel van watervoerendheid heeft weinig resultaat. De bodem blijft bedekt met slib: er komen alleen ubiquisten en 'vuil-water-organismen' voor.

Springendal. Een nieuw gegraven bron wordt uiterst langzaam gekoloniseerd, hoewel er bronnen vlakbij liggen.

Voorkomen: zie figuur 2.3



Figuur 2.2 Ecologische effecten droogte voor bronnen en bovenlopen



Figuur 2.3 Ligging bronnen/bovenlopen (Verdonschot, 2000)

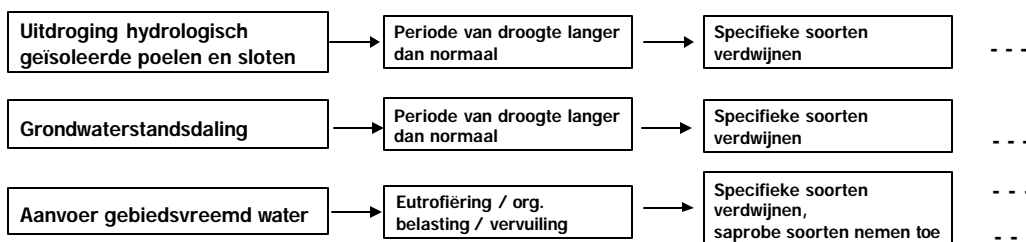
2.5 Semi-permanente poelen en sloten in hoog Nederland

Semi-permanente wateren komen geïsoleerd van grondwater (alleen gevoed door neerslag) of in verbinding met grondwater voor (Cuppen & Timmermans, 1987). Er zijn ook semi-permanente sloten, die in verbinding kunnen staan met water buiten het gebied.

Ze hebben een levensgemeenschap die is aangepast aan een korte of langere periode van droogte. Er zijn nogal wat soorten macro-organismen die alleen in dergelijke watertypen voorkomen. Wat precies de milieufactoren zijn die door deze soorten worden gewenst, is meestal niet duidelijk: het is beslist niet alleen het semi-permanente karakter, maar ook factoren als pH, waterkwaliteit, grondsoort, bodembedekking, omringende vegetatie en temperatuur spelen een rol.

Een aantal van deze soorten is zeldzaam en van enkele is bekend, dat ze overal in hun mondiale verspreidingsgebied zeldzaam zijn (de kokerjuffer *Hagenella clathrata*).

- Als de periode van droogte te lang duurt is het mogelijk dat zeldzame soorten helemaal niet terugkomen. Mitigerende maatregelen veroorzaken vrijwel altijd steekmuggenplagen en het terugkeren van de specifieke soorten is afhankelijk van de mogelijkheden om de periode van droogte als volwassen dier elders door te brengen of verblijf in een niet beïnvloed watertype, dat niet te veraf is gelegen. Volgens Visser (zie bijlage 3) is verdroging de grootste bedreiging van levensgemeenschappen van semi-permanente habitats, maar door de aard van hun levenswijze zullen soorten, die kunnen vliegen en die op andere plaatsen kunnen overleven, waarschijnlijk makkelijker koloniseren dan soorten uit permanente habitats. Overigens bleek uit een Engelse studie (Davy-Bowker, 2002) dat bij toenemende verdroging van semi-permanente wateren, een toenemend aantal soorten waterkevers achteruit gaat of helemaal verdwijnt.
- Door de aanvoer van gebiedsvreemd water, hetgeen een hydrologisch proces kan zijn door de speciale ligging van de wateren, of door bewuste aanvoer, kan er eutrofiëring of vervuiling plaats vinden in de vaak voedselarme en/of zure semi-permanente wateren. Hierdoor verandert de soortensamenstelling en is terugkeer van de karakteristieke soorten onmogelijk geworden. Als er met gebiedseigen water mitigerende maatregelen genomen kunnen worden, bestaat er een reële kans op terugkeer van tenminste een aantal specifieke soorten.



Figuur 2.4 Schematische weergaven ecologische effecten verdroging op semi-permanente sloten en greppels

Voorbeeld:

Wijboschbroek: Visser & Moller Pillot, 1986 Gebied waar gebiedsvreemd water toegevoerd kan worden. Typologie van de sloten met goede beschrijving

Oost-Veluwe: Cuppen & Timmermans, 1987 Relatie ecohydrologie/grondtype

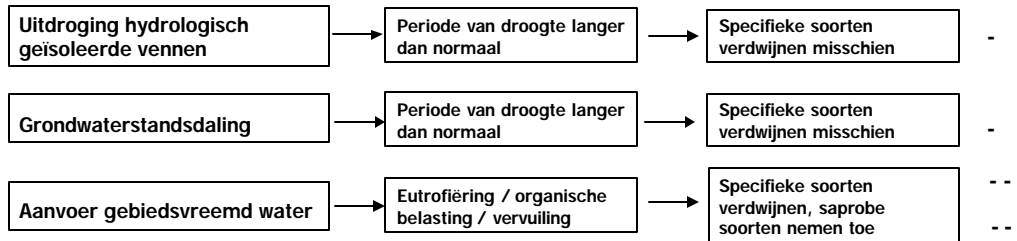
Brummen-Voorst: Cuppen, 1980. Uitgebreide studie van droogvallende watertjes met beschrijving van de soorten

Voorkomen: Noord, Noordoost, Oost, Centraal en Brabant/Limburg

2.6 Vennen

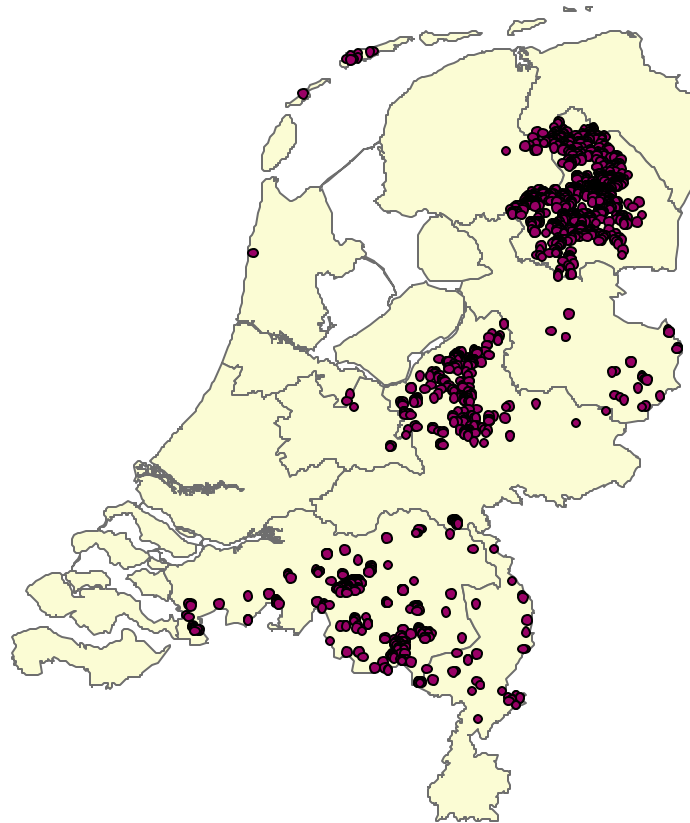
Arts (2000) onderscheidt 9 ventypen. Voor deze verkenning is het vooral van belang om onderscheid te maken tussen vennen op een ondoorlatende laag, vennen die in contact staan met grondwater en vennen die gevoed worden door of in contact staan met beken.

- Hydrologisch geïsoleerde vennen vertonen van nature grote peilfluctuaties en kunnen geheel of gedeeltelijk droogvallen. De fauna bestaat uit goede vliegers van de groepen wantsen, kevers, vedermuggen, libellen en kokerjuffers. Bij een te lange laagwaterperiode kan de droge situatie misschien te lang duren, zodat een aantal soorten niet terug kan komen. Voorbeelden hiervan zijn voor libellen beschreven door Kalkman et al. (2002). Vernatting kan alleen plaats vinden door neerslag met de bekende gevaren van verzuring en eutrofiëring. Veel van de oorspronkelijke soorten kunnen daar niet tegen. In zure vennen die ieder jaar droogvallen, dient geen water ingelaten te worden. Dit is een natuurlijke dynamiek, die gunstig is voor de vegetatie (zie het interview met Roelofs). 'Het periodiek droogvallen van zure vennen heeft een geringer effect op vennen die van nature af en toe droogvallen dan waterinlaat' (Worm et al., 1996)
- Vennen die in contact staan met grondwater vertonen peilfluctuaties en eventueel droogvallen als de grondwaterstand te veel zakt. Dit kan ook van nature in ondiepe vennen voorkomen. In elk geval zijn flauwe oevers onderhevig aan wisselende omstandigheden, waardoor geen of een soort permanente pioniersvegetatie aanwezig is. Het Littorellion hoort bij dergelijke fluctuaties. Effecten zijn vergelijkbaar met hydrologische geïsoleerde vennen. Rekolonisatie is mede afhankelijk van de nabijheid van refugia. Vennen-complexen hebben een rijkere fauna dan geïsoleerde vennen.
- Vennen die door een beek worden gevoed zullen i.h.a. minder invloed van laagwater hebben, omdat het watertekort aangevuld wordt door menselijke ingreep of op natuurlijke wijze.



Figuur 2.5 Schematische weergave ecologische effecten verdroging op vennen

Voorkomen Noordoost, centraal Oost, Centraal en Brabant/Limburg



Figuur 2.6 Ligging van vennen en enkele andere zwak gebufferde wateren. Bron R. Wortelboer, RIVM

2.7 Duinwateren

Ondiepe duinwateren vallen van nature vaak geheel of gedeeltelijk droog. Dat komt door het grote oppervlak en de flauwe oevers. Ze worden gekenmerkt door amfibische plantengedenschappen en goed vliegende waterinsecten (Verdonschot & Janssen, 2000). Bij extreme droogte zullen meer wateren geheel droogvallen en

gedurende langere periodes. De ecologische schade die dit oplevert, lijkt gering, hoewel Kalkman et al. (2002) vermelden dat enkele soorten libellen uit de duinen zijn verdwenen door verdroging.

Voorbeeld: Badhuisplak op Terschelling

Voorkomen: Noordwest en West

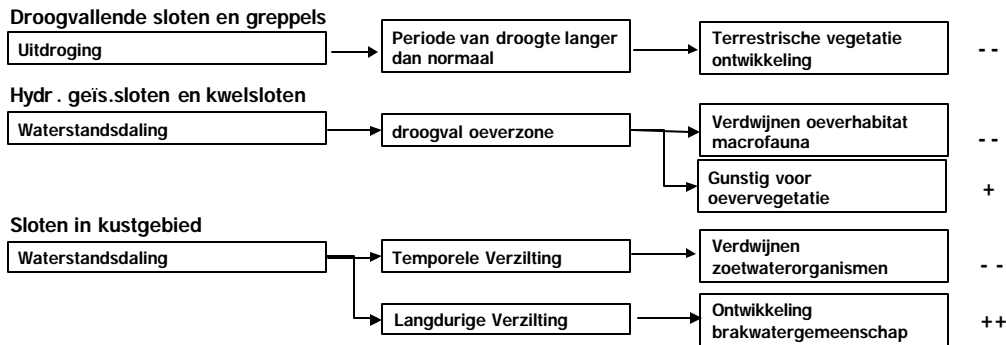
2.8 Sloten en greppels in laag Nederland

Dit zijn kunstmatige systemen die zonder beheer (schonen, baggeren en peilbeheer) verdwijnen. Het peil in sloten wordt bepaald door de grondwaterstand in de percelen en de breedte van de percelen. Door in het natte seizoen geen water uit te malen, blijft de grondwaterstand hoger, hetgeen ook goed werkt tegen oxydatie van het veen.

Ondiepe sloten en greppels kunnen makkelijk droogvallen. In de periode waarin er weer water in staat, is de biodiversiteit van watergebonden organismen laag. In sommige sloten, die elk jaar droogvallen, kunnen zeldzame kreeftachtigen voorkomen zoals de humus-kieuwpootkreeft (*Lepidurus apus*), de leemkieuwpootkreeft (*Triops cancriformis*) en de kieuwpootkreeft (*Siphonophanes grubei*). Deze dieren zijn zeer zeldzaam en komen alleen in voedselarm water voor. Extreem laagwaterjaren zijn niet van invloed, want de eieren kunnen jaren in droge toestand overleven. De begeleidende macrofauna bestaat uit soorten van periodiek droogvallend water (Higler & Repko, 1982).

- In sloten en greppels die langer droog staan ontwikkelt zich terrestrische vegetatie. Als er weer water inkomt, sterft deze af en veroorzaakt rotting met zuurstofloosheid en eutrofiëring en saprobiëring. Hoewel de levensgemeenschap vóór droogvallen al betrekkelijk arm aan soorten is, komen hier wel specifieke soorten van semi-permanente habitats voor. Over het algemeen kunnen deze soorten slechte milieu-omstandigheden verdragen. Het is niet bekend of ze het overleven na een extreem lange periode van droogte.
- Peilverlaging in droge zomers doet het bovenste deel van de oevers droogvallen. Dit is het (soorten)rijkste microhabitat in veensloten (Higler & Verdonschot, 1989), waar vooral jonge stadia van de macrofauna voorkomen. De oevervegetatie, vooral helofyten, heeft voordeel van de dynamiek door peilschommelingen, die bij laagwater op zullen treden. Aanvoer van gebiedsvreemd water (meestal Rijnwater) is schadelijk doordat de peilschommelingen ongedaan worden gemaakt, waardoor de venige oevers verpulveren. In de meeste sloten van laag Nederland wordt al gebiedsvreemd water aangevoerd. Alleen meer hydrologisch geïsoleerde sloten en vooral sloten waarin kwel optreedt, hebben een hoge diversiteit met karakteristieke organismen.
- In de kustprovincies gaat laagwater samen met een grotere invloed van zoute kwel, waardoor de hele levensgemeenschap van het zoete water kan verdwijnen. Hier staat tegenover dat er zich op den duur een brakwatergemeenschap zou

kunnen vestigen. In veel gevallen wordt er echter weer zoet water aangevoerd, omdat de land- en tuinbouw schade ondervinden van verzilting.



Figuur 2.7 Schematische weergave ecologische effecten verdroging op sloten en greppels

Een beheer waarbij gebiedseigen water wordt vastgehouden en dus een hogere grondwaterstand in de winter wordt gehandhaafd, verdient grote voorkeur. De natuurlijke dynamiek van peilwisselingen die hierdoor hersteld wordt, is gunstig voor de vegetatie en de fauna. Vooral in veenweidegebieden gaat dit ten koste van de agrarische rentabiliteit, maar agrarisch natuurbeheer levert winst op voor weidevogels en voor de potentieel zeer rijke vegetatie en fauna van de sloten en slootkanten.

Voorkomen: Noord, Noordoost, centraal Oost, Noordwest, West en Zuidwest

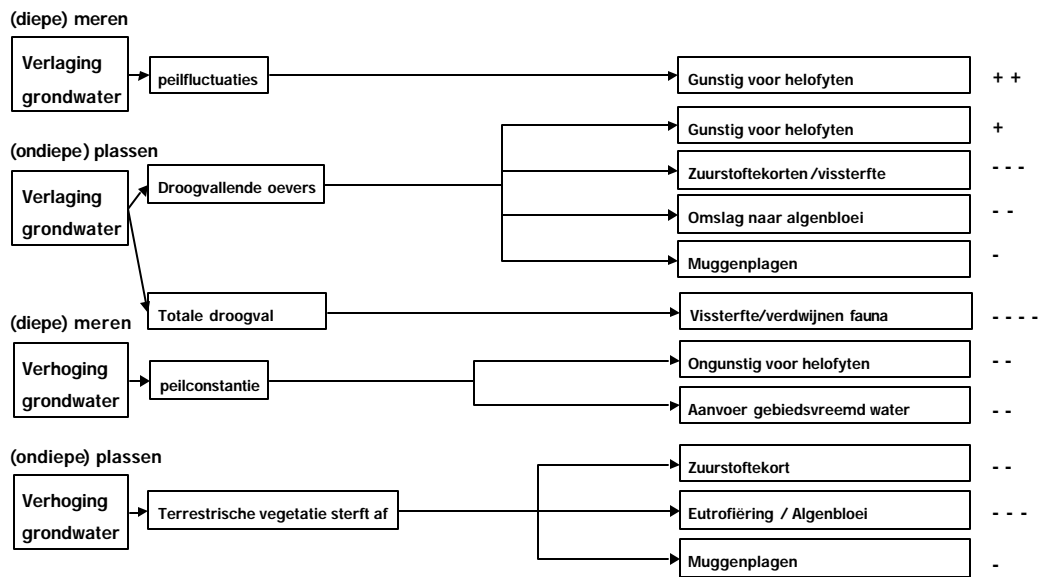
2.9 Plassen en meren

Gezien het permanente karakter van meren en niet al te ondiepe plassen gaat het vooral om peilveranderingen en de invloed daarvan op de oevers met vegetatie en fauna. Plassen en meren zijn meestal onderdeel van een polder/boezemsysteem waarin het peil constant wordt gehouden. Dit betekent bij laagwater aanvoer van gebiedsvreemd water, bijna steeds Rijnwater. Dit heeft negatieve effecten op de waterkwaliteit, omdat de chemische samenstelling van Rijnwater niet overeenkomt met die van de oorspronkelijke samenstelling en omdat eventueel aanwezige lozingen verder verspreid worden. In de eerste helft van de vorige eeuw waren de meeste veenpolderwateren veel voedselarmere dan nu het geval is.

Door het toestaan van peilwisselingen kan overtollig water uit de winterperiode vastgehouden worden, zodat minder of geen gebiedsvreemd water aangevoerd wordt. Dit bevordert een natuurlijke ontwikkeling van oevervegetatie (riet en andere helofyten).

In ondiepe plassen met flauwe oevers kan een aanzienlijk oppervlak van de oeverlengte droogvallen. Dit heeft negatieve effecten op het hele systeem. Op de droogvallende oevers gaat terrestrische vegetatie groeien, die na onder water zetten afsterft en een toename in organisch materiaal vormt. Bij afbraak hiervan zal zuurstofgebrek ontstaan en eutrofiëring. Het gevolg kan een omslag zijn van door hogere waterplanten gedomineerd systeem naar plankton gedomineerd (algenbloei) waardoor het hele systeem verandert. De biodiversiteit neemt sterk af en ubiquisten

(die zuurstoftekorten en eutrofiëring tolereren) gaan in grote aantallen optreden. Bij verdergaande verdroging blijft er zo weinig water over, dat de vissen in hoge concentratie in de laatste plasjes achterblijven en door reigers opgegeten worden.



Figuur 2.8 Schematische weergave ecologische effecten verdroging voor meren en plassen

2.10 Conclusies

De resultaten van de quickscan van effecten van laagwater op de belangrijkste regionale watertypen zijn in de volgende drie tabellen gevat.

Tabel 2.1 beschrijft aan de hand van de indeling van het 5-S model de factoren en processen die bij extreme laagwaters op kunnen treden, tabel 2.2 de behandelde regionale watertypen en tabel 2.3 de organismengroepen, die een signaalfunctie hebben.

Tabel 2.1 Laagwater processen en factoren

| Categorie | Factor/proces |
|---------------------|---|
| Laagwatersituaties | Peilverlaging, uitdrogen, verzilting |
| Systeem | Temperatuurfluctuaties (-stijging) |
| Stroming | Vermindering afvoer, vermindering stroming, afname kweldruk, toename wegzijging, inlaat gebiedsvreemd water, toename zoute kwel |
| Structuren | Verdwijnen aquatisch habitat, geringere waterdiepte, verslibbing |
| Stoffen | Zuurstoffluctuaties, concentratie stoffen: eutrofiëring, saprobiëring, verharding, verzilting, gevolgen inlaat gebiedsvreemd water, verstoring afbraakprocessen, verstoring voedselketenprocessen |
| Soorten | Verdwijnen rheofiele, zuurstofminnende, stenotherme (macrofauna)taxa, opkomst tolerantere soorten, algenbloei (en/of vrijkomende toxinen), steekmuggenplagen, vissterfte, achteruitgang freatofyten oevervegetatie, botulisme |
| Temporele component | Duur en frequentie van droogval/peilverlaging |

Tabel 2.2 Meest relevante regionale watertypen

| Karakter | Watertype |
|------------|--|
| Stromend | bronnen en beekboven- en middenlopen (inclusief de van nature droogvallende) |
| Stilstaand | (semi-permanente) poelen sloten en greppels (droogvallende) vennen duinplassen plasjes en plassen moerassen |

Relevante organismengroepen (en daaruit eventueel bepaalde indicatorsoorten) om de aandacht op te vestigen zijn:

Tabel 2.3 Meest relevante organismengroepen

| Groep | Indicatorsoorten (indien bekend) |
|--------------------------------|--|
| Macrofauna | thermo-, oxy-, acido- en rheofiele soorten, soorten van droogvallende wateren; steekmuggen en andere potentiële plaagsoorten |
| Vissen | beekprik, rivierdonderpad, berrmpje, beekforel in stromende wateren en kleine soorten zoals modderkruipers en driedoornige stekelbaarsjes in stilstaande wateren |
| Oevervegetatie en waterplanten | submerse kwetsbare hogere planten, helofyten, amfifyten; kroosvorming en andere plaagbegrøeiingen |
| Algen | Indicatoren voor saprobiëring en eutrofiëring; plaagalgen zoals bloei van groenalgen, blauwalgen en draadalgen (flabvorming) |

3 Verkenning mogelijkheden van een literatuurstudie in relatie tot laagwater

3.1 Afbakening zoekgebied

De structurering van de ecologie van laagwater aan de hand van het 5S-model leidt tot een overzichtelijke verzameling van de belangrijkste laagwatersituaties, processen, factoren en organismengroepen waarop in een literatuurstudie gefocussed kan worden (tabellen 2.1, 2.2 en 2.3).

3.2 Mogelijkheden om deze kennis te concretiseren in een literatuurstudie

- Systeemvoorwaarden. Van de systeemvoorwaarden is de temperatuur de enige factor die waarschijnlijk zal veranderen. De temperatuur zal grotere schommelingen vertonen met in het algemeen een stijgende lijn. Dit kan invloed op het voorkomen van laagwater hebben. In de literatuurstudie dient uitgezocht te worden of ook in aquatische systemen op lange termijn laagwatereffecten als gevolg van temperatuurstijging (of grotere fluctuaties in temperatuur) geconstateerd worden. Daarnaast zal met modellen gesimuleerd moeten worden. Een dergelijke aanpak zal door Lammens met het model PISCATOR worden uitgetoetst voor het IJsselmeer (zie bijlage 3). In de literatuurstudie kan naar andere modellen gezocht worden, die de effecten van temperatuurstijging en -fluctuaties op aquatische levensgemeenschappen voorspellen.
- Stroming. Er zijn zeker studies die veranderingen in afvoer en stroomsnelheid beschrijven. In een eerste literatuurstudie (Higler, 2002) werden alleen beschrijvende voorbeelden gevonden met één conceptueel model. In de hydrologische en hydraulische literatuur moet naar kwantificering gezocht worden zoals de door van Walsum et al. (2002a) opgevoerde afvoerdynamiek-index. De uitdaging zal zijn om hydraulica getalsmatig te koppelen aan de levensgemeenschap.
- Structuren. Afhankelijk van de watertypen (zie hoofdstuk 2) zijn een geringere waterdiepte en het geheel verdwijnen van het aquatisch habitat voorspelbare gevolgen van verdroging. De effecten op de aquatische levensgemeenschap zijn in een aantal gevallen concreetiseerbaar. Een literatuurstudie zal vooral op stilstaande wateren gericht moeten worden, omdat er voor stromende wateren al veel bekend is. Dit betreft overigens uitsluitend beschrijvende resultaten in het literatuuronderzoek van Higler (2002). Verslibbing is een proces, waar weinig over bekend is. Onderzocht dient te worden in hoeverre dit concreetiseerbaar is.
- Stoffen. In de studie van Higler, (2002) zijn aanwijzingen voor zuurstofvermindering en nutriëntenconcentraties gevonden. De literatuurstudie zal gericht verder moeten zoeken naar concrete relaties tussen deze processen en veranderingen in de aquatische levensgemeenschappen. Er bestaan in elk geval

- wel concepten, die gebruikt kunnen worden zoals het habitat-templet concept voor stromende wateren van Scarsbrook & Townsend (1993).
- Soorten. Er moet uitgezocht worden welke kenmerkende soorten en systemen effecten van laagwater ondervinden. In de literatuurstudie kan gericht gezocht worden naar de effecten van bovenvermelde processen op planten en dieren in geselecteerde watertypen (hoofdstuk 2). Hierbij zal waarschijnlijk veel buitenlandse literatuur te voorschijn komen. Er zal daarom een 'vertaling' naar de Nederlandse situatie moeten worden gemaakt door een team van deskundigen.
 - Duur. Afhankelijk van de lengte van de laagwaterperiode zullen de effecten verschillen. Extreem laagwater met als gevolg droogvallen komt in de natuur in sommige watertypen voor. De periode waarin de droogte optreedt en de lengte van de droogteperiode bepalen de mogelijkheden van soorten om te overleven. Maar ook: twee laagwaterjaren achter elkaar hebben een ander effect dan één. Korte termijn-effecten zijn zeker verschillend van lange termijn-effecten, waarbij meer indirecte en vaak irreversibele processen op zullen treden. In de literatuurstudie zal de factor duur extra aandacht moeten krijgen, omdat de ervaring leert dat veel studies over laagwater en droogvallen alleen over korte-termijn-effecten gaan.

3.3 Conclusies

Het is niet op voorhand goed aan te geven van welke van de in Tabel 3.1 genoemde factoren in een literatuurstudie de meest concrete en best gekwantificeerde informatie te vinden zal zijn. Er is wel op basis hiervan een gericht zoekprofiel te maken dat, liefst nog watertype specifiek, het beste zoekresultaat op zal leveren.

Er moet literatuur gezocht worden in alle beschikbare wetenschappelijke literatuur (*literaturoverzichten* Agralin, Land Soil and Waer, CCOD, ASFA, Biological abstracts en de Hydrotheek, zoeken op *internet*) met als centrale ingangen (*zoekprofiel*) de in 7.1 benoemde laagwatersituaties, processen, factoren, watertypen en organismengroepen. Door gebruik te maken van deze zoektermen in een nader te bepalen zoekstrategie kan in de literatuur naar verwachting informatie gevonden worden om de volgende effecten op aquatische levensgemeenschappen (inclusief oevervegetatie) te concretiseren:

- Wat zijn de effecten van temperatuurfluctuaties en -verhoging?
- Wat zijn de effecten van hydrologische en hydraulische veranderingen als gevolg van laagwater en in extremo verdroging?
- Wat zijn de effecten van veranderingen in de structuren van aquatische systemen, waarbij gedacht wordt aan droogvallen van gehele wateren of peilverlaging, c.q. verslibbing?
- Wat zijn de effecten van zuurstofschommelingen en -tekorten?
- Wat zijn de effecten van concentratie van nutriënten en van (organische) verontreiniging ten gevolge van verkleining van het watervolume?
- Wat is de invloed van de duur en frequentie van laagwater en droogvallen op korte en lange termijn op de aquatische levensgemeenschappen van regionale wateren.

4 Verkenning bestaande modellen in relatie tot laagwater

4.1 Relatie modellen en laagwater factoren/-processen

In hoofdstuk 3 zijn aan de hand van het 5-S-model de relevante factoren en processen van laagwatersituaties afgeleid. Voor modellering zijn vanuit de abiotische optiek de kwantificeerbare factoren (ten dele stuurfactoren en ten dele effectfactoren) van Systeem, Structuren, Stroming en Stoffen relevant, terwijl vanuit de biotische optiek de ecologische factoren (Soorten: effectfactoren) spelen.

4.2 Beschikbare modellen

Voor stromende wateren kan voor een verkenning van beschikbare abiotische modellen, die mogelijk (onderdelen van) de processen en factoren van laagwatersituaties voorspellen, worden verwezen naar het uitgebreide overzicht in de verkenning van ecologisch relevante hydrologische en hydraulische modellenmerken (Verdonschot, 2002). Veel modellen die hierin worden genoemd zijn echter ook geschikt voor stagnante wateren.

Voor terrestrische vegetaties is een uitgebreide modellenverkenning in het kader van NOV verricht (van der Veen & Garritsen 1994). Tabel 4.1 geeft een overzicht van deze modellen.

Tabel 4.1. Vereenvoudigd overzicht van de hydro-vegetatiekundige modellen verkend door van der Veen & Garritsen 1994.

| | CML- eco- topen | ECO- MOD | DEM- NAT | MOV E | ICHO RS | ITOR S | HY- VEG | ABIO- FLOR | WA- FLO | NTM | Stalen me- thode | ECA M |
|---------------------|-----------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|----------------|------------------------|---------------------|
| peilverandering | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Droogval | X | X | | | | | | X | X | | | |
| afvoer/ stroming | | | | | | | | | | | | |
| water- kwaliteit | | | | X | X | X | | X | | | | |
| Inlaat | | | X | | X | X | | | | | | |
| Zoutgehalte | X | | X | | | | | X | | | | |
| Vegetatie | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Algen | | | | | | | | | | | | |
| Macrofauna | | | | | | | | | | | | |
| Vis | | | | | | | | | | | | |
| Schaal | lande- lijk | regio- naal | lande- lijk | lande- lijk | regio- naal | regio- naal | regio- naal | lande- lijk | lande- lijk | lande- lijk | lande- lijk | regio- naal |
| land/water | land/ moera s | land | land/ moera s | land | land/ moera s | land | land | land/ moera s | land/ moera s | land | land | land/ moera s |

Specifiek aquatisch ecologische modellen zijn veel minder beschikbaar. Een eerste overzicht is in Tabel 4.2 gegeven.

Tabel 4.2. Overzicht van de hydro-aquatisch ecologische modellen.

| | AET | EKO* | RISTORI | RISYWA |
|---------------------|-----------|-----------|---------------------|-----------|
| peil-verandering | | | | X |
| droogval | X | X | X | |
| afvoer/ stroming | X | X | X | |
| water- kwaliteit | X | X | X | |
| inlaat | | | | X |
| zoutgehalte | X | | X | |
| vegetatie | | | | |
| algen | | | | |
| macrofauna | X | X | X | |
| vis | X | | | |
| toepassing | landelijk | regionaal | boven- regionaal | landelijk |
| land/water | water | water | water | water |

AET: Aquatische Ecotoop-Typen. Het CML heeft in samenwerking met Alterra rekenregels ontwikkeld, waarmee het model aan DEMNAT gekoppeld kan worden aan aquatische ecotooptypen waarin de organismengroepen macrofauna, macrofyten en vissen zijn opgenomen.

EKO: Ecologisch Karakterisering van oppervlaktewateren in een specifieke regio. Voor verschillende regio's in Nederland zijn modellen gebouwd om op basis van cenotypen beheersmaatregelen te extraheren.

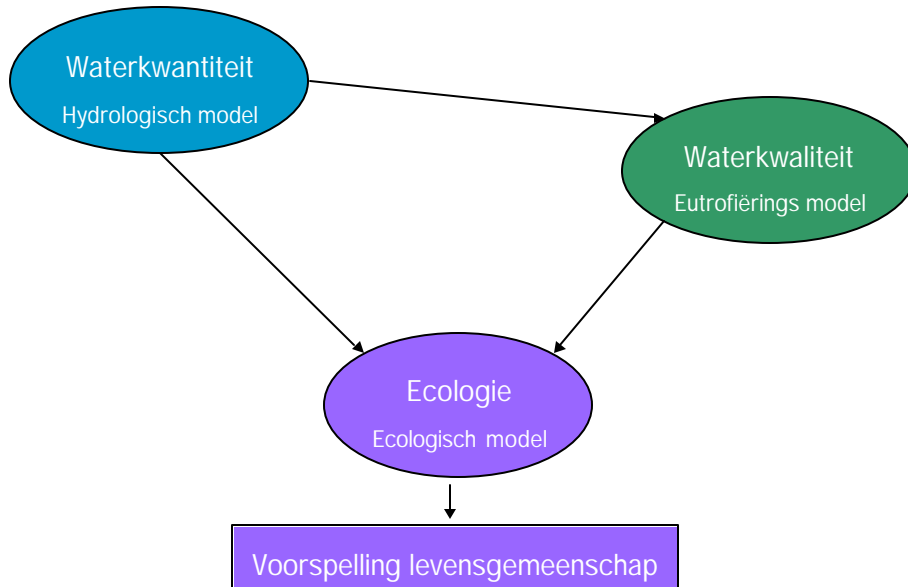
RISTORI: Het consortium RIZA-STOWA-RIVM heeft dosis-effectmodellen ontwikkeld gebaseerd op de soorts- en de gemeenschapsbenadering. De laatste betreft regionale wateren in Overijssel en de beken en sloten van Nederland.

RISYWA: Risico-beoordeling voor de inlaat van gebiedsvreemd water.

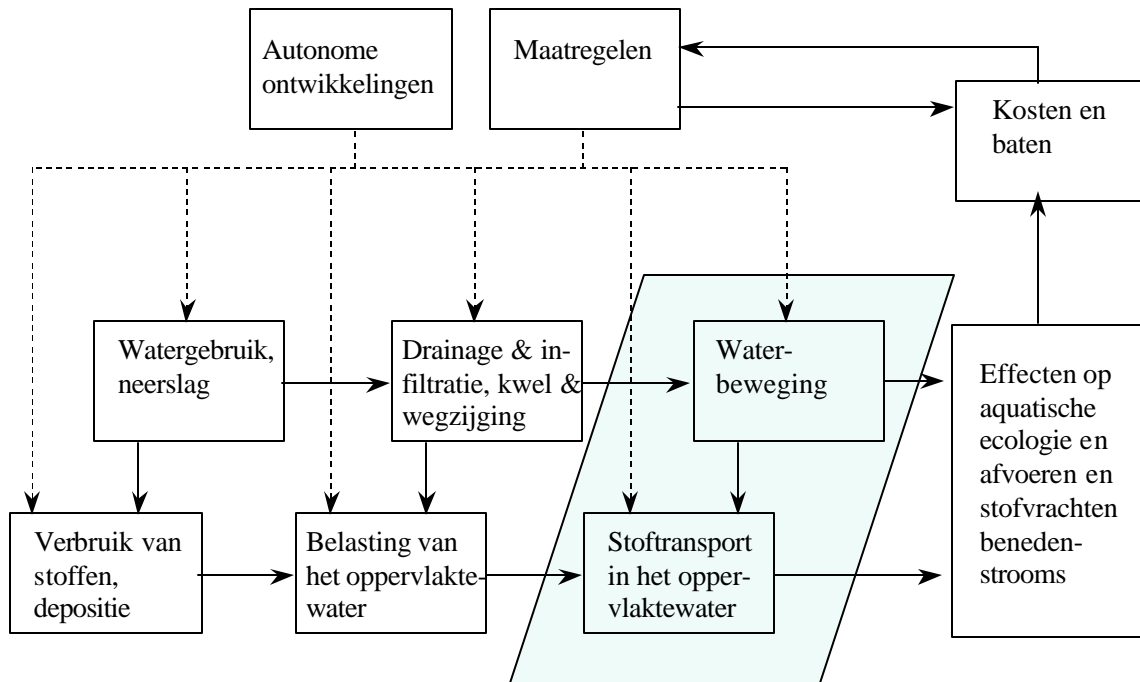
4.3 Koppeling modellen

Koppeling van abiotische modellen (zowel waterkwantiteits- en -kwaliteitsmodellen, als structuurmodellen) aan ecologische (effect-)voorspellingsmodellen geven naar verwachting de beste inschatting van de ecologische effecten van laagwatersituaties. Een eerste aanzet (waarin de structuurmodellen nog ontbreken) van een dergelijk concept (Fig. 4.1) is de modellenketen die Alterra heeft ontwikkeld voor de koppeling van SOBEK/SIMGRO (waterkwantiteit), NUSWA (waterkwaliteit) en EKO (ecologie, voorspelling macrofaunagemeenschap). Bij RIZA wordt gewerkt aan de ontwikkeling van het BOREAS-instrumentarium, waarin de verspreiding van vervuilende stoffen vanaf het verbruik tot aan de ecologische effecten in het oppervlaktewater wordt gemodelleerd. In het BOREAS-instrumentarium is het bovendien mogelijk om de effecten van autonome ontwikkelingen en de kosteneffectiviteit van maatregelen te berekenen. Modellen die op dit moment in BOREAS worden gebruikt zijn onder andere STONE en REVEM voor de af- en uitspoeling van nutriënten en GPST voor de waterbeweging en het stoftransport in

sloten en beken. Voor de niet-agrarische emissiebronnen wordt gebruik gemaakt van het EmissieRegistratie-Collectief (ER-C) en regionale informatie van de waterbeheerders. RISTORI zal aangewend worden om de effecten op de aquatische ecologie in te schatten. Andere combinaties van (andere) modellen zijn natuurlijk ook denkbaar. De modellen die zijn ontwikkeld binnen RISTORI zijn op dezelfde leest geschoeid als EKO en kunnen als landelijke effectmodellen voor voorspelling van ecologische effecten laagwatersituaties voor beken en sloten dienen.



Figuur 4.1 Schematische weergave van een modellenketen-concept



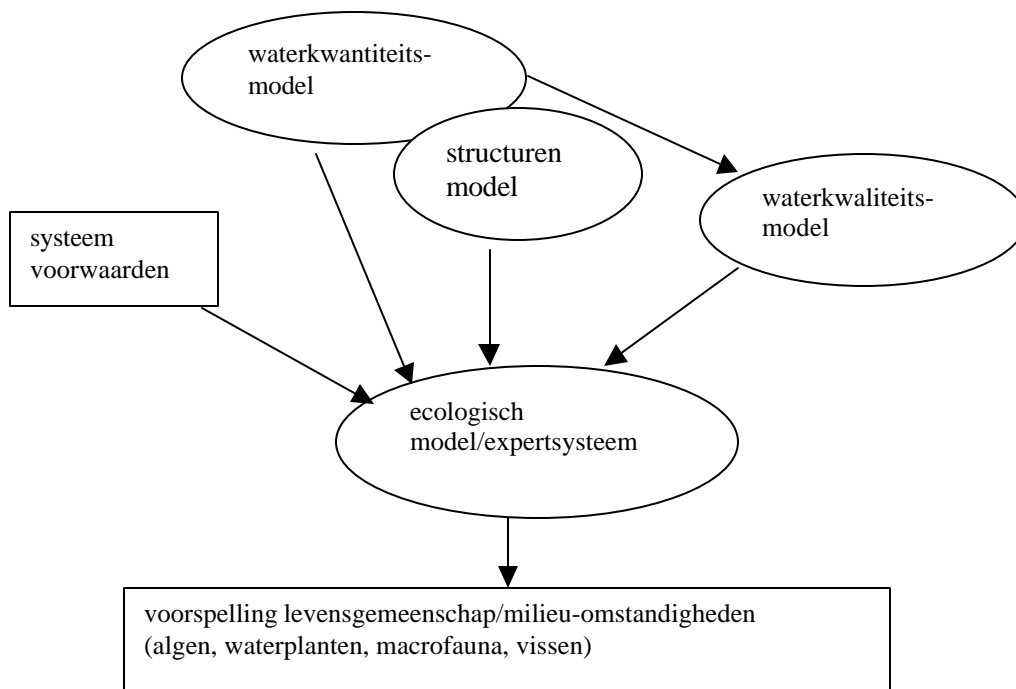
Figuur 4.2 Keten van processen voor regionale stofstromen, zoals opgenomen in het BOREAS-instrumentarium, met daarin omljnd het oppervlaktewaterdeel

4.4 Conclusies

De bruikbaarheid van met name de ecologische modellen om (ecologische)effecten van laagwater in beeld te brengen lijkt nog niet groot . Wel is duidelijk dat het aantal modellen beperkt is en dat ze zich vooral tot een kleine deel van de waterlevensgemeenschap beperken. De vissen en algen ontbreken (bijna) geheel terwijl de macrofauna en aquatische macrofyten beperkt zijn gebruikt.

Aanbeveling:

- uitbreiden modellenketen (zie figuur 4.3)
- opnemen van de KRW organismengroepen in één model
- RISTORI uitbreiden naar aquatische macrofyten, vissen en algen alsook naar kleine waterlopen



Figuur 4.3 Concept van te ontwikkelen modellenketen

5 Verkenning expertkennis in relatie tot laagwater

5.1 Keuze van instituten en universiteiten waar expertkennis verwacht wordt

Een eerste verkenning heeft plaats gevonden via een e-mail enquête (Pieterse, 2002), een zogenaamde Delphi procedure. De vragen waren vooral gericht op klimaateffecten. Er zijn praktisch geen opmerkingen over effecten van laagwater op de levensgemeenschappen van regionale wateren gemaakt en over het algemeen zijn de resultaten voornamelijk op terrestrische systemen gericht.

In bijlage 3 zijn de resultaten van enkele interviews opgenomen.

5.2 Vragenlijst aan deskundigen

In de interviews werd de probleemstelling van de verkenning uitgelegd en op basis van de volgende drie kernvragen besproken;

1. Welke kennis van welke processen en factoren is aanwezig
 2. Hoe concreet is deze kennis
 3. Is deze kennis bruikbaar voor toepassing, beschikbaar en zo ja in welke vorm
- De interviews zijn uitgewerkt in bijlage 2.

5.3 Conclusies

Er vallen twee conclusies uit de interviews te formuleren:

- over de effecten van laagwater en verdroging op regionale aquatische systemen worden door de geïnterviewde deskundigen alleen kwalitatieve uitspraken gedaan. Er zijn geen resultaten van gericht ecologisch onderzoek gemeld met kwantificeerbare uitkomst. De meest concrete resultaten zijn waarnemingen over het effect van peilwisseling op helofyten en het verdwijnen van vissen en soorten van de macrofauna bij uitdrogende wateren.
- Er zijn geen modellen die de effecten van laagwater op regionale aquatische systemen voorspellen. De meest perspectiefrijke mogelijkheid is het gebruik van modellenketens hydrologie-ecologie, waarbij kwantificering van de ecologische effecten nog in de beginfase blijkt te verkeren (hoofdstuk 4).
- In tabel 5.1 zijn de resultaten van de interviews weergegeven in regels die zijn afgeleid van het 5-S-model en vermeld in tabel 2.1. Alleen de belangrijkste effecten, waarover uitspraken zijn gedaan, zijn overgenomen uit tabel 2.1.

Tabel 5.1. Laagwater effect-relaties met de ecologie volgens de geïnterviewde deskundigen

| | waterchemie | helofyten | aquatische vegetatie | vissen | macrofauna |
|-----------------------|-------------|-----------|-------------------------|--------|------------|
| waterstands daling | X | X | | | |
| volumeverandering | X | | | | |
| droogval | | | X | X | X |
| waterpeil | | X | | | |
| Debiet/stroming | | | | X | X |
| waterkwaliteit | X | | X | X | X |
| % gebiedsvreemd water | X | | X | X | X |
| zoutgehalte | X | X | X | X | X |
| fauna | | | | X | X |
| vegetatie | | X | X | | |
| duur droogte | | | X | X | X |

X = heeft invloed op

6 Verkenning concept kennissysteem voor laagwater aan de hand van een pilotstudie

6.1 Operationalisering kennis

De vraag die nu voorligt is hoe de kennis over ecologische effecten van laagwatersituaties operationeel gemaakt kan worden in de volgende fase, bijvoorbeeld met een kennissysteem. Met dit systeem moet het mogelijk zijn om een meer kwantitatieve beschrijving van de effecten te combineren met meer kwalitatieve vuistregels tot uitspraken over met name de ernst van ecologische effecten die bij laagwatersituaties kunnen optreden. De mogelijkheden van het vullen van een dergelijk kennissysteem zijn mede-afhankelijk van wat er in de literatuur aan concrete (kwantitatieve en kwalitatieve) kennis zal worden gevonden om in het kennissysteem op te nemen, en wat de onderzochte modellen aan concrete berekeningen/voorspellingen voor het kennissysteem kunnen leveren. Deze modelberekeningen stellen weer eisen aan de benodigde input die de gebruiker wel beschikbaar moet hebben (zoals onder meer stroomsnelheden/afvoeren, waterdieptes, fractie systeemvreemd water, mate van verzilting, toe- of afname kwel, etc).

6.2 Randvoorwaarden voor het functioneel ontwerp van een kennissysteem

Een laagwater kennissysteem zou in ieder geval watertypeafhankelijke en zo kwantitatief mogelijke uitspraken over ecologische verdrogingseffecten moeten kunnen doen. Daarbij rekening houdend met organismen(groep) gebonden specifieke effecten. Het ziet er naar uit dat voorlopig veelal kwalitatieve input met betrekking tot de ecologie mogelijk is en kwantitatieve input met betrekking tot hydrologische parameters.

De uitspraken moeten ook een tijdsaspect bevatten zoals langdurige of kortstondige effecten of directe en lange termijneffecten, reversibel of irreversibel, waarmee weer een dimensie wordt gegeven aan de ernst van effecten. Deze ernst van de situatie moet ingeschat worden ten opzichte van of de oorspronkelijke uitgangssituatie, of wellicht ten opzichte van een streefbeeld. Het inschatten van de situatie is dus een diagnostische beslissing (beoordeling) die het kennissysteem moet kunnen maken voor landelijke analyses en regionale toepassingen. Ten behoeve van de laagwaterstudie worden een aantal verdrogingskenmerken aan een watersysteem beoordeeld om te bepalen hoe erg dat is ten opzichte van hoe het was danwel ten opzichte van wat nagestreefd wordt. Een andere uitspraak die van het kennissysteem zou kunnen worden gevraagd is te beoordelen wat de meest kwetsbare (ernstigste) situatie in zijn beheergebied is met betrekking tot laagwater. Naast diagnose is prognose een vereiste.

Het moet mogelijk zijn om het kennisstelsel vanuit een bestaande situatie te laten voorspellen wat er al dan niet ecologisch verandert bij wijziging van hydrologische en hydromorfologische aspecten van het watersysteem waardoor mogelijk verdroogde situaties ontstaan. Een voorbeeld: er worden peilaanpassingen overwogen in een beheersgebied. De beheerder zal willen weten hoe ver hij daarmee kan gaan voordat mogelijk irreversibele verdrogingseffecten gaan optreden. Een laagwaterkennisstelsel kan daarin faciliteren. Strategisch waterbeheer i.p.v. operationeel waterbeheer.

Een module met mitigerende maatregelen voor laagwatersituaties moet ook overwogen worden. Dus een adviserend onderdeel van het kennisstelsel naast een diagnostisch deel zoals bovenstaand beschreven.

Op voorhand bekende vormen van kennisstelsels zijn:

- eenvoudige beslis-dendrogrammen die de gebruiker doorloopt met Ja/Nee keuzes
- gekoppelde kennistabellen met meer gedetailleerde inputmogelijkheden en uitspraken

Waar mogelijk is het praktisch om met KRW-klassen te werken om bepaalde aspecten van laagwatersituaties uit te drukken. Een kennisstelsel is tenslotte geen geavanceerd model dat met minimale afwijkingen een andere output kan opleveren.

Er moeten bovenal transparante en reproduceerbare beslissingen worden genomen door het stelsel, duidelijk te volgen voor de doelgroep, zeker als daartoe beleidsmakers en in de toekomst wellicht ook beheerders maar ook toe gaan behoren.

Een kennisstelsel als dit is des te waardevoller wanneer het toepasbaar is op verschillende schaalniveaus (ruimtelijk en temporeel)

Een laatste vooral gebruikersgerichte wens zal zijn dat het hele kennisstelsel in geautomatiseerde versie beschikbaar komt.

Kaderrichtlijn Water

Idealiter zou de ernst van de effecten ook vertaalbaar moeten zijn naar een beoordeling in termen van de EU Kaderrichtlijn Water. De laagwater processen en – factoren hebben zeker een relatie met de biologische, hydromorfologische en fysisch-chemische kwaliteitselementen op basis waarvan de KRW-maatlatten zullen worden gebouwd (Tabel 6.1). De regionale wateren waarvoor het kennisstelsel wordt ontwikkeld zullen vallen onder de oppervlaktewatercategorieën Rivieren en Meren of als sterk veranderd of kunstmatig worden aangeduid.

De Kaderrichtlijn kent voor de biologische elementen een maatlat per organismengroep, waarbij de gevoeligste organismegroep bepalend is voor de ecologische beoordeling in 5 klassen op de maatlat. Voor hydromorfologie vraagt de KRW geen maatlat te ontwikkelen. De fysisch-chemische toestand wordt wel

beoordeeld, maar alleen uitgedrukt in een beoordeling voldoet wel/niet. Waar ligt nu de relatie van de Kaderrichtlijn met de beoordeling van de ernst van de laagwatersituatie. Dit ligt in de randvoorwaarde dat het kennissysteem organismengroep-specifieke uitspraken kan doen in de termen zoals de Kaderrichtlijn die hanteert voor de maatlat: soortensamenstelling, abundantie, leeftijdsopbouw, biomassa (kwalitatief en kwantitatief), oppervlakte en kwaliteit. Is dit het geval, dan kan voor de biologische kwaliteitselementen ook de beoordeling op de KRW-maatlat worden gemaakt.

Tabel 6.1 Relatie KRW kwaliteitselementen en laagwater-parameters

| Oppervlaktewatercategorie | Rivieren | Meren | Kunstmatige & sterk veranderde wateren |
|-------------------------------|----------|-------|--|
| <i>Kwaliteitselementen</i> | | | |
| <i>Biologische</i> | | | X |
| Fytoplankton | X | X | |
| Macroalgen | | | |
| Angiospermen | | | |
| Macrofyten en fytoenthos | X | X | |
| Benthische ongewervelde fauna | X | X | |
| Visfauna | X | X | |
| <i>Hydromorfologische</i> | | | X |
| Hydrologisch regime | X | X | |
| Riviercontinuïteit | X | | |
| Morfologische omstandigheden | X | X | |
| Getijdenregime | | | |
| <i>Fysisch chemische</i> | | | X |
| Algemeen | X | X | |
| Specifieke synth. stoffen | X | X | X |
| Specifieke niet-synth stoffen | X | X | X |

In de vervolgfase wordt een aanpak voorgesteld waarbij per kwaliteitselement gezocht wordt naar een of meer van vier invullingen die te omschrijven zijn als:

- complex kwalitatief
- complex kwantitatief
- simpel kwalitatief
- simpel kwantitatief

Dit is visueel voor te stellen als een kubus met de vier alternatieven aan de voorzijde en de kwaliteitsparameters als schijfjes daarachter. Op deze manier ontstaat een samenhangend beeld van de kennis per watertype als eindproduct.

6.3 Doelgroepen voor het kennissysteem

De vooralsnog beoogde gebruikers van het laagwater kennissysteem zijn het RIZA t.b.v. landelijke analyses en in de toekomst wellicht de beheerders van de regionale wateren (waterschappen). Indien ook de beleidsmakers (provincies) van regionale wateren tot de doelgroep gaan behoren, stelt dit nog meer eisen aan de transparantie, eenvoud en presentatie van beslissingen die het kennissysteem maakt.

6.4 Conclusies

In de verkenning van het concept voor een kennissysteem voor ecologische effecten van laagwatersituaties zijn een aantal randvoorwaarden voor het functioneel ontwerp benoemd. Deze dienen in een nadere inventarisatie van de wensen van de beoogde doelgroep verder te worden gespecificeerd zodat een volledig pakket van eisen kan worden samengesteld. Een laagwater kennissysteem zou in ieder geval watertypeafhankelijke en zo kwantitatief mogelijke uitspraken over ecologische laagwatereffecten moeten kunnen doen. Daarbij rekening houdend met organismen(groep) gebonden specifieke effecten. Het ziet er naar uit dat voorlopig veelal kwalitatieve input met betrekking tot de ecologie mogelijk is en kwantitatieve input met betrekking tot hydrologische parameters. De uitspraken moeten ook een tijdsaspect bevatten zoals langdurige of kortstondige effecten of directe en lange termijneffecten, reversibel of irreversibel, waarmee een dimensie wordt gegeven aan de ernst van effecten.

Er zijn mogelijkheden om het kennissysteem in de toekomst aan te laten sluiten op de Kaderrichtlijn Water maatlatten voor organismengroepen.

In de vervolgstudie dienen ook verschillende vormen van kennissystemen op hun bruikbaarheid voor een laagwater-kennissysteem te worden beoordeeld. Het vinden van deze verschillende vormen van kennissystemen is dus een aspect dat in de literatuurstudie moet worden opgenomen.

7 Projectplan vervolgfase

7.1 Resultaten definitiestudie

In de voorliggende definitiestudie naar de ecologische effecten van laagwater is een aantal methodieken verkend (literatuurstudie, modellen, expertkennis) om in een diepgravender vervolgstudie die ecologische effecten ook daadwerkelijk zo concreet en gekwantificeerd mogelijk in beeld te brengen. Daarnaast zijn de randvoorwaarden benoemd (of is omschreven wat daaraan nog ontbreekt op dit moment), waaraan een kennissysteem (DSS) zou moeten voldoen. In dit kennissysteem moeten alle verzamelde (en nog te verzamelen) kwantitatieve kennis en kwalitatieve vuistregels gecombineerd kunnen worden tot een uitspraak over kortstondige en structurele ecologische effecten van laagwater.

Onderstaand worden de meest kansrijke onderzoeksmethodieken inhoudelijk beschreven. Dit zijn de bouwstenen voor de vervolgfase. Dit hoofdstuk kan gezien worden als een aanzet voor een projectplan.

Hoofdstuk 8 gaat in op een pilotstudie, waarmee concrete vragen geïdentificeerd worden

7.2 Centrale processen, factoren, watertypen en organismengroepen

Uit de verkenning is gebleken dat met betrekking tot het in beeld brengen van de ecologische effecten van laagwatersituaties de vervolgfase zich moet richten op de volgende processen en factoren, welke gerubriceerd kunnen worden naar het 5S-model:

Tabel 7.1 Meest relevante laagwater processen en factoren

| Categorie | Factor/proces |
|--------------------|--|
| Laagwatersituaties | Peilverlaging, uitdrogen, verzilting |
| Systeem | Temperatuurfluctuaties (-stijging) |
| Stroming | Vermindering afvoer, vermindering stroming, afname kweldruk, toename wegzijging, inlaat gebiedsvreemd water, toename zoute kwel |
| Structuren | Verdwijnen aquatisch habitat, geringere waterdiepte, verslibbing |
| Stoffen | Zuurstoffluctuaties, concentratie stoffen: eutrofiëring, saprobiëring, verharding, verzilting, gevolgen inlaat gebiedsvreemd water, verstoring afbraakprocessen, verstoring voedselketenprocessen |
| Soorten | Verdwijnen rheofiele, zuurstofminnende, thermofiele (macrofauna) taxa, opkomst tolerantere soorten, algenbloei (en/of vrijkomende toxinen), steekmuggenplagen, vissterfte, achteruitgang freatofyten oevervegetatie, botulisme |
| Duur | Duur en frequentie van peilverlaging en droogval |

De belangrijkste regionale watertypen waarin ecologische effecten van laagwater optreden zijn:

Tabel 7.2 Meest relevante regionale watertypen

| Karakter | Watertype |
|------------|--|
| Stromend | bronnen en beekboven- en middenlopen (inclusief de van nature droogvallende) |
| Stilstaand | (semi-permanente) poelen sloten en greppels (droogvallende) vennen duinplassen plasjes en plassen moerassen |

Relevante organismengroepen (en daaruit evt bepaalde indicatorsoorten) om de aandacht op te vestigen zijn:

Tabel 7.3 Meest relevante organismengroepen

| Groep | Indicatorsoorten (indien bekend) |
|--------------------------------|--|
| Macrofauna | thermo-, oxy-, acido- en rheofiele soorten, soorten van droogvallende wateren; steekmuggen en andere potentiële plaagsoorten |
| Vissen | beekprik, rivierdonderpad, berrmpje, beekforel in stromende wateren en kleine soorten zoals modderkruipers en driedoornige stekelbaarsjes in stilstaande |
| Oevervegetatie en waterplanten | submerse kwetsbare hogere planten, helofyten, amfifyten; kroosvorming en andere plaagbegroeiingen |
| Algen | Indicatoren voor saprobiëring en eutrofiëring; plaagalgen zoals bloei van groenalgen, blauwalgen en draadalgen (flabvorming) |

7.3 Verdiepende literatuurstudie

Kernuitgangspunten in de verdiepende literatuurstudie zijn:

- aan de inputzijde: de wijzigende milieuv variabelen en aan de output zijde: het effect op het aquatische ecosysteem
- de optredende processen in het systeem en hun effecten op de soorten en gemeenschappen
- de meest gevoelige watertypen
- de aard van het watersysteem: met name in eerste instantie peil en afwateringstype en daarna de doorwerking in de abiotiek en tenslotte de biotiek
- de ruimtelijke schaal (lokaal, regionaal, super-regionaal = wb21 stroomgebied of KRW stroomgebied),
- de temporele schaal: vooral de variatie (één- of meerjarig) in het proces
- het opsporen van kennishiaten

Met het in de voorgaande paragrafen beschreven zoekgebied, dient literatuur gezocht te worden in alle beschikbare wetenschappelijke bronnen (*literatuurdatabases* Agralin, Land Soil and Water, CCOD, ASFA, Biological abstracts en de Hydrotheek, zoeken op *internet*) met als centrale ingangen (*zoekprofiel*) de in 7.1 benoemde laagwatersituaties, processen, factoren, watertypen en organismegroepen. Door gebruik te maken van deze zoekterm in een nader te bepalen zoekstrategie kan in de literatuur naar verwachting informatie gevonden worden om de volgende effecten op aquatische levensgemeenschappen (inclusief oevervegetatie) te concretiseren:

- Wat zijn de effecten van temperatuurfluctuaties en -verhoging?

- Wat zijn de effecten van hydrologische en hydraulische veranderingen als gevolg van verdroging?
- Wat zijn de effecten van veranderingen in de structuren van aquatische systemen, waarbij gedacht wordt aan de effecten van droogvallen of peilverlaging op de bodemstructuur (verslibbing), de veraarding en het mineraliseren van organische substraten?
- Wat zijn de effecten van zuurstofschommelingen en -tekorten?
- Wat zijn de effecten van concentratie van nutriënten en van (organische) verontreiniging ten gevolge van verkleining van het watervolume; en de effecten van de veraarde bodem op de waterkwaliteit bij hernieuwd watervoeren?
- Wat is de invloed van de duur en frequentie van droogteperiodes op korte en lange termijn op de aquatische levensgemeenschappen van regionale wateren.

7.4 Kaartjes

In 2.4 is een kaartje van Nederland met de positie van bronnen opgenomen.

Een dergelijk kaartje bestaat ook voor vennen (RIVM).

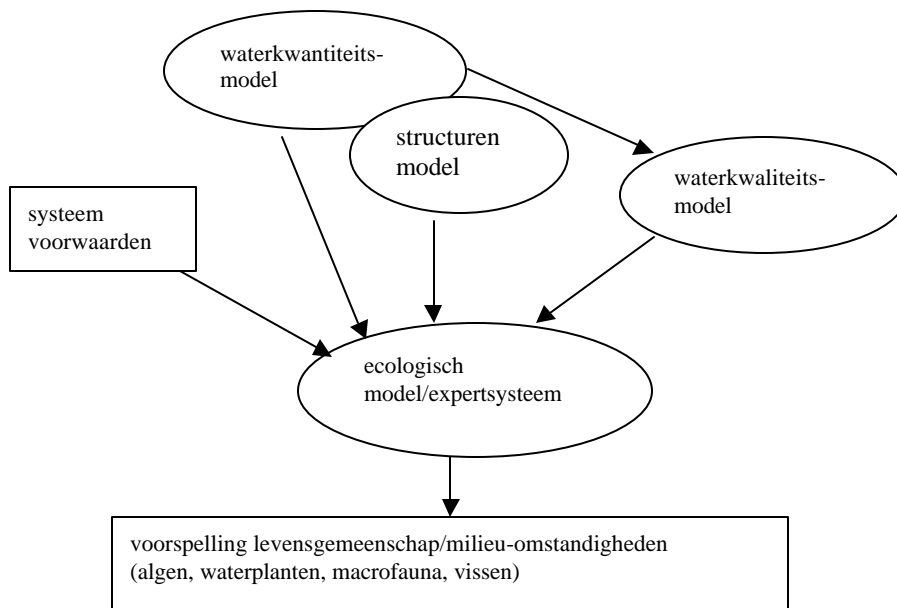
Het is wenselijk om ook voor semi-permanente poelen en sloten in hoog Nederland, voor duinwateren, sloten en greppels in laag Nederland (alleen de kwetsbare?) en plassen en meren een kaartje te vervaardigen.

7.5 Modellen

De conclusies omtrent de bruikbaarheid van met name de ecologische modellen om (ecologische)effecten van laagwater in beeld te brengen zijn dat dit niet eenvoudig is. Wel is duidelijk dat het aantal ecologische modellen beperkt is en dat ze zich vooral tot een klein deel van de waterlevensgemeenschap en de watertypen beperken. De vissen en algen ontbreken (bijna) geheel terwijl de macrofauna en aquatische macrofyten beperkt zijn gebruikt. Poelen en greppels of moerassen zijn veelal buiten beschouwing gebleven.

Ten aanzien van de modellen verdient het aanbeveling om:

- potentieel geschikte modellenketens te onderzoeken en waar nodig te integreren dan wel uit te breiden (zie figuur 7.1)
- in het ecologische model alle KRW organismegroepen met verschillende modules per groep op te nemen hetgeen kan via een uitbreiding van het gemeenschapsmodel van RISTORI. Bijkomend voordeel van RISTORI is dat ook modules voor andere watertypen in dezelfde structuur toegevoegd kunnen worden.



Figuur 7.1 Concept van te ontwikkelen modellenketen

7.6 Expert kennis

De geraadpleegde experts hebben vooral kwalitatieve uitspraken kunnen doen over de ecologische effecten van laagwater in regionale wateren. Er zijn geen kwantitatieve resultaten naar voren gekomen. Dit is een gevolg van de beperkte steekproef van expert kennis die in deze verkenning kon worden gedaan. Toch lijkt het onwaarschijnlijk dat geen ecologisch gericht onderzoek met kwantificeerbare uitkomsten beschikbaar is. Daarom dient een gerichte en veel uitgebreidere zoektocht naar kennis te worden ondernomen. Dit kan in een brainstorm onder experts de vooraf gericht worden benaderd en informatie vooraf kunnen verzamelen. Een brainstorm over de relevante problemen die zich voor kunnen doen tijdens laagwater situaties (zoals bijvoorbeeld de zomer van 1976) op het gebied van de aquatische ecologie in de regionale watersystemen heeft dan als doel: het opstellen van het kader met trefwoorden waarop een ecologische laagwater beslissingsondersteunend systeem zich zal gaan richten.

Trefwoorden voor de brainstorm zijn ondermeer:

- systeemvoorwaarden: o.a. verhoging watertemperatuur, langdurig droogvalling
- hydrologie: o.a. afname en stagneren van afvoer en stroomsnelheid, afhankelijkheid grondwater
- structuren: veenoxidatie/veraarding, destabilisatie oevers, afbraak organisch bodemmateriaal, verdwijnen van waterplanten als interne structuur
- waterkwaliteit: o.a. verslechtering door verhoging stofconcentraties en zuurstoftekort
- biologisch: o.a. botulisme, opkomst exoten, verdwijnen soorten, wijzigen functionele relaties

- maatregelen en beheer: o.a. veel systeemvreemd water (inlaat) met als gevolg interne oxidatie en verzilting, en bij gebruik van effluent voor peil houden sloten in land

7.7 Oplossen van kennishiaten: onderzoek

Nadere bestudering van literatuur en modellen zullen ongetwijfeld bepaalde kennishiaten in de benodigde ecologische kennis van laagwatersituaties aan het licht komen. Het opvullen van deze kennisbehoefte kan door middel van gerichte onderzoeken worden gedaan. Onderstaand enkele mechanismen/methoden om doelgericht te werk te gaan:

Mesocosms

Mesocosms zoals kunstbeken en proefsloten zijn uitermate geschikt om deelprocessen en soorten of soortencombinaties onder gecontroleerde omstandigheden nader te onderzoeken. Een voorbeeld van een dergelijk probleemaanpak is het verhogen van de watertemperatuur, met als gevolg de versnelling van biologische processen waardoor effecten zoals te vroeg uitvliegen van volwassenen kan leiden tot grote omkeringen in het functioneren van het systeem, maar ook oplossingen kunnen worden getoetst. Doel van de mesocosmstudies is het invullen van essentiële kennislacunes in de oorzaak-gevolg keten.

Trefwoorden bij de mesocosm studies zijn ondermeer:

- kernsoorten en sleutelprocessen
- gecontroleerd, doelgericht en meetbaar
- inzoomen op kennishiaten uit literatuurstudie
- sleutelfactoren: temperatuur, stroming (peil), zuurstof, voedsel
- sleutelsoorten: indicatoren van sleutelprocessen

Veldexperimenten

Laagwater treedt met tussenpozen van decennia op. Ontbrekende kennis over effecten kan gericht worden opgedaan indien in veldsituaties laagwater wordt gesimuleerd. Niet alleen ecologische maar ook fysische (veraarding) en chemische (zuurstofhuishouding) processen kunnen direct en continu worden gemeten. een multidisciplinaire aanpak is hier mogelijk en gewenst.

Doel van veldexperimenten is het kwantificeren en aanvullen van kennis in enkele representatieve watersystemen van de gevolgen van laagwater condities.

- Trefwoorden bij veldexperimenten zijn bijvoorbeeld;
- gefundeerde keuze van watersystemen
- betrouwbaar en gekwantificeerd inzicht in gevolgen
- gericht op kernwatertypen, kernprocessen en kernorganismen
- inzoomen op kennishiaten uit literatuurstudie

Scenario-studies

Scenario-studie naar daadwerkelijk optredende effecten met behulp van het expertsysteem en voor concrete ruimtelijke eenheden met modellenketens om vast te

stellen wat de ecologische schade zou kunnen zijn wanneer die droogweer-situatie heel lang aan houdt (kwalitatieve inschatting)? Hierin kunnen modellen zoals RISTORI, Alterra modellenketen (SOBEK-NUSWA-EKOO) en anderen worden betrokken. Doel is het doorrekenen in kwalitatieve of semi-kwantitatieve termen van de effecten van laagwatercondities.

Trefwoorden bij deze exercities zijn onder andere:

- aard en omvang van ecologische effecten
- problemen en knelpunten signaleren
- mogelijke (tegen-)maatregelen en oplossingen

7.8 Ontwikkeling kennissysteem (DSS) ecologie laagwater

In de verkenning van het concept voor een kennissysteem voor ecologische effecten van laagwatersituaties zijn een aantal randvoorwaarden voor het functioneel ontwerp benoemd. Deze dienen in een nadere inventarisatie van de wensen van de beoogde doelgroep (waterbeheerder, beleidsmakers) verder te worden gespecificeerd (bijvoorbeeld middels een brainstorm) zodat een volledig pakket van eisen kan worden samengesteld. Een laagwater kennissysteem zou in ieder geval watertypeafhankelijke en zo kwantitatief mogelijke uitspraken over ecologische verdrogingseffecten moeten kunnen doen. Daarbij rekening houdend met organismen(groep) gebonden specifieke effecten. Het ziet er naar uit dat voorlopig veelal kwalitatieve input met betrekking tot de ecologie mogelijk is en kwantitatieve input met betrekking tot hydrologische parameters. De uitspraken moeten ook een tijdsaspect bevatten zoals langdurige of kortstondige effecten of directe en lange termijneffecten, reversibel of irreversibel, waarmee weer een dimensie wordt gegeven aan de ernst van effecten.

De mogelijkheden van het vullen van een dergelijk kennissysteem zijn mede afhankelijk van wat er in literatuur aan concrete (kwantitatieve en kwalitatieve) kennis zal worden gevonden om in het kennissysteem op te nemen, en wat de onderzochte modellen aan concrete berekeningen/voorspellingen voor het kennissysteem kunnen leveren. Deze modelberekeningen stellen weer eisen aan de benodigde input die de gebruiker wel beschikbaar moet hebben (zoals onder meer stroomsnelheden/afvoeren, waterdieptes, fractie systeemvreemd water, mate van verzilting, toe- of afname kwel, etc).

Er zijn mogelijkheden om het kennissysteem in de toekomst aan te laten sluiten op de Kaderrichtlijn Water maatlatten voor organismegroepen.

In de vervolgstudie dienen ook verschillende vormen van kennissystemen op hun bruikbaarheid voor een laagwater kennissysteem te worden beoordeeld. Het vinden van deze verschillende vormen van kennissystemen is dus een aspect dat in de literatuurstudie moet worden opgenomen.

8 Aanzet tot projectplan Pilotstudie Laagwater

8.1 Inleiding

Een pilotstudie wordt uitgevoerd waarin (i) met behulp van modellen gebiedsgerichte uitspraken worden gedaan over de effecten van voorspelde laagwatersituaties en (ii) generiek toepasbare kennis wordt gegenereerd omtrent laagwatersituaties. Met behulp van deze pilot komen ook de mogelijkheden en hiaten in ecologie van de laagwaterproblematiek expliciet naar voren.

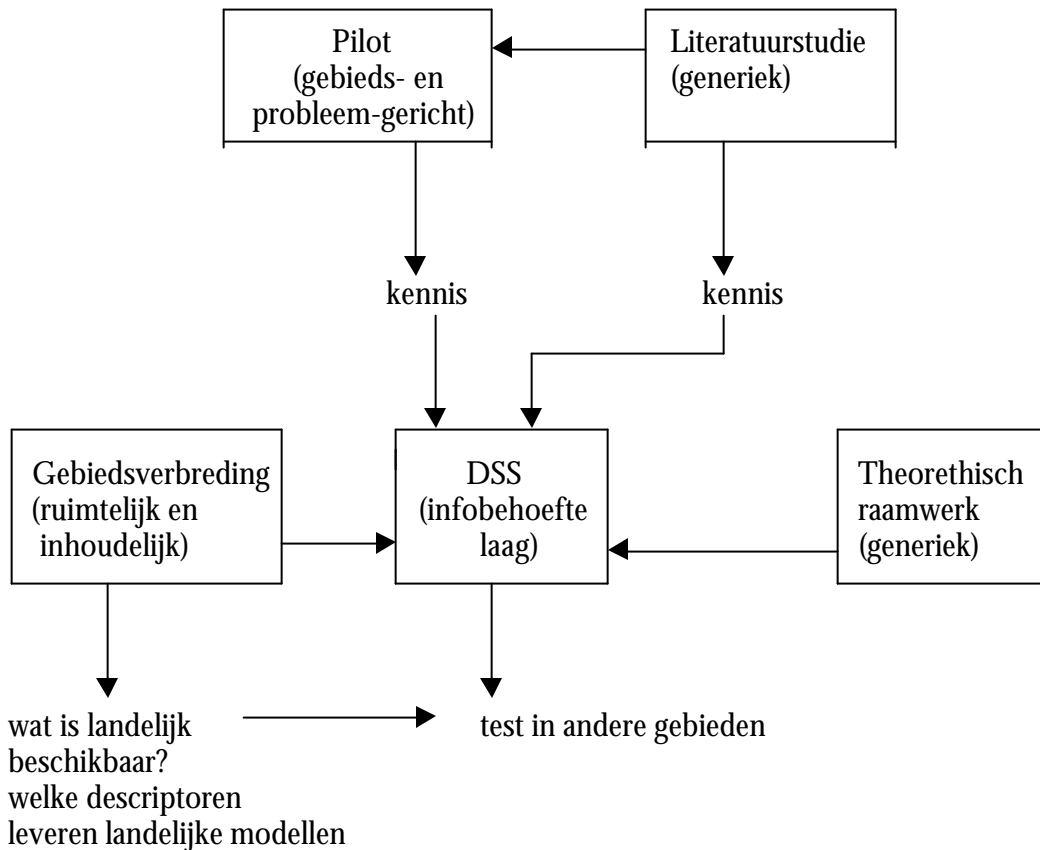
In de pilot worden twee sporen gevolgd waarbij het tweede spoor afgeleid wordt uit het eerste:

1. Er wordt direct gewerkt aan laagwatersituaties in een concreet gebied voor concrete problemen in specifieke watertypen.
2. Er wordt indirect gewerkt aan het verder uitbouwen van bestaande kennis omtrent laagwatersituaties om toekomstige generalisaties mogelijk te maken.

Een belangrijke randvoorwaarde van de pilotstudie is de beschikbaarheid van voldoende gegevens van verschillende watertypen en van verschillende KRW-organisatiegroepen.

Om bovengenoemde sporen in te vullen is in figuur 8.1 een schema van bouwstenen gegeven. Het betreft:

- Een gebieds- en probleemgerichte pilotstudie (op voorhand worden gebied en problemen gedefinieerd door de opdrachtgever),
- Een probleemgerichte literatuurstudie waaruit ook generieke kennis wordt afgeleid,
- De invulling van de pilot en de literatuurkennis worden zodanig opgeslagen dat deze geschikt is voor een toekomstig beslissingsondersteunend systeem,
- Om de kennisontwikkeling in gerichte banen te leiden wordt de pilot opgehangen in een (eenvoudig) theoretische raamwerk dat een generieke benadering van de laagwaterproblematiek omvat,
- Om tenslotte de vertaalbaarheid van de pilot naar andere gebieden in Nederland te waarborgen wordt een ruimtelijke en inhoudelijke verbreding voorzien,
- Een en ander kan uitmonden in een tweede pilot in een ander gebied.



Figuur 8.1 Processchema pilotstudie laagwater

8.2 Gebieds- en probleemgerichte aanpak

Voor de pilot wordt een concreet gebied in Nederland uitgezocht dat in ieder geval (zie paragraaf 7.2):

1. voldoende verschillende watertypen in zich herbergt,
2. voldoende informatie over organismengroepen beschikbaar heeft,
3. voldoende informatie over relevante milieuv variabelen in de tijd op kan brengen,
4. voldoende probleem ten aanzien van laagwatersituaties zal gaan opleveren.

Een optie is een deelgebied in het beheersgebied van Reest en Wieden. Dit gebied herbergt een grote variatie aan watertypen.

De eerste stap in de aanloop naar de pilot bestaat uit het vaststellen van de informatie-beschikbaarheid, hetgeen geënt wordt op de informatie-behoefte vanuit de te kiezen laagwaterproblemen (vast te stellen door de opdrachtgever) en de beoogde modellen.

De informatie-behoefte wordt sterk gestuurd door de data-vraag van de te hanteren modellen en expertises. De informatie-vraag zelf dient echter ook op praktische toepasbaarheid en noodzaak te worden onderzocht. Is bepaalde informatie

daadwerkelijk relevant, wat gebeurt er indien deze informatie ontbreekt, hoe kan ontbrekende informatie op eenvoudige wijze worden aangevuld en zijn alternatieven of zelfs weglating mogelijk?

De volgende modellen zijn in beeld bij de pilot:

- RISTORI danwel de Alterra modellenketen die werkt op lokaal/regionaal niveau,
- RIZA modellenketen die werkt op regionaal/bovenregionaal niveau,
- de landelijke RIZA en RIVM modellen benadering.

Van de modellen wordt de informatie-vraag bepaald.

Om aan een bepaalde informatie-behoefte te kunnen voldoen wordt gebiedsgericht (het pilotgebied) naar de vraag en –aanbod van de ruimtelijke en inhoudelijke informatie gekeken. Met behulp van GIS zijn bepaalde gegevens eenvoudig beschikbaar maar ontbreken anderen. Welke zijn dat?

Tevens wordt deze ruimtelijke informatie-vraag ook landelijk getoetst. Deze toets is nodig om na de pilot ook de landelijke mogelijkheden in beeld te krijgen. Een voorbeeld is de beschikbaarheid van gegevens van een bepaalde milieuvariabele. Mogelijk is dergelijke informatie voor het pilotgebied beschikbaar maar ontbreekt deze voor veel andere gebieden in Nederland. Op dat moment is een dergelijke variabele vanuit verbredingsoptiek minder gewenst.

8.3 De laagwaterproblemen

In de pilot kunnen een aantal vragen aan de orde komen die vanuit de laagwateroptiek als zeer relevant worden beschouwd:

- Hoe werken de principes vasthouden, bergen en afweren door op de aquatische ecologie: per regio/watertype?
- Wat is beter: aanvoer van gebiedsvreemd water of droogvallen?
- Wat is een 'ideaal' hydrologisch jaar: 1976? Hoe was de neerslagverdeling over het jaar (literatuuronderzoek)?
- In welk seizoen is laagwater of droogvallen fataal voor welke organismen?
- Waar liggen de meest kwetsbare of relevante watertypen. Kaartje mogelijk?

Afhankelijk van de specifieke problemen in het pilotgebied zullen de bovenstaande vragen uitgewerkt gaan worden.

8.4 De uitvoering van de pilot

De pilotstudie richt zich op het combineren van drie methoden die specifiek voor het gebied en de laagwaterproblemen toegepast worden:

- het verzamelen van generieke kennis uit de literatuur gericht op de laagwaterproblemen in het gebied, gespecificeerd naar watertype en organismengroep; het voordeel van de methode literatuurstudie in een concrete pilot is dat de zoekwijde beperkt blijft en de mate van detail groot zal zijn ten aanzien van de problemen in het betreffende gebied,

- het toepassen van een of meerdere bestaande effectmodellen (afhankelijk van de keuze van de opdrachtgever) (voor de ecologische effecten het modellen-instrumentarium RISTORI) om voor verschillende watertypen met op basis van voldoende invoer informatie uitspraken te doen over de ecologische effecten van te verwachten laagwatersituaties in het betreffende gebied.
- het vertalen van de literatuurkennis en de uitvoer van de effectmodellen in kennisregels, die gewoonlijk door de onderzoekers als expert kennis leiden tot de interpretatie van de resultaten maar die op deze wijze een meer formeel en reproduceerbaar karakter krijgen. Hiermee is deze slag in de toekomst ook door beheerders te maken. Een tweede eis aan een dergelijk kennissysteem (beslissingsondersteunend systeem) is dat de informatie-behoefte, die nu nog erg hoog is, omlaag wordt gebracht.

8.5 Het achtergronddocument: Het theoretische raamwerk laagwater

Gelijktijdig met de aanpak van de laagwaterproblematiek in het pilotgebied wordt gewerkt aan een theoretisch raamwerk. Dit raamwerk dient richting te geven aan de in de pilot opgedane kennis. En wel om op zodanige wijze deze kennis te verankeren dat deze op termijn ook een meer landelijk bruikbare en op generieke toepassing gerichte basis krijgt.

8.6 De verbreding naar andere gebieden

De vraag doet zich voor of de aanpak van de pilot zich leent om op eenvoudige wijze door te vertalen naar andere gebieden in Nederland. Kan met meer eenvoudige middelen de kennis opgedaan in gebied 1 toegepast worden in gebied 2. Kan zelfs bij herhaling gewerkt worden aan een groeimodel van kennis en toepassing. We denken dat met het theoretisch raamwerk en een modulair opgezette aanpak van de pilot een dergelijk groeimodel haalbaar is.

Literatuur

- Arts, G.H.P., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de nederlandse binnenwateren deel 13, vennen. Rapport AS13, EC-LNV. 80 pp.
- Cuppen, H.P.J.J. 1980. De macrofauna in een aantal droogvallende en permanente stilstaande wateren in het ruilverkavelingsgebied Brummen-Voorst. Rapport Regionale Milieuraad Oost-Veluwe. 112 pp
- Cuppen, H.P.J.J. & W. Timmermans, 1987. Grondwaterrelaties en het milieu van stilstaande wateren op de Oost-Veluwe. DLN 88: 114-118.
- Davy-Bowker, J., 2002. A mark and recapture study of water beetles (Coleoptera: Dytiscidae) in a group of semi-permanent and temporary ponds. *Aquatic Ecology* 36: 435-446.
- EEA (Estrela, T. et al.), 2001. Sustainable water use in Europe Part 3: Extreme hydrological events: floods and droughts. Environmental issue report no 21 European Environment Agency 74 pp.
- Grootjans, A.P., J. Delvigne, J. Huisman & deelnemers cursus Landschapsecologie april/mei 1990. Verdroging in de madelanden van Menssinghe. RUG Biologiewinkel rapport 29.
- Higler, L.W.G., 1981. Bottom fauna and littoral vegetation fauna in Lake Maarsseveen. *Hydrobiol. Bull.* 15: 82-86.
- Higler, L.W.G., 2002. De relatie tussen de macrofauna in beken en de sleutelfactoren hydraulica en substraat bij veranderend klimaat. ALTERRA-rapport 230.
- Higler, L.W.G. & F.F. Repko, 1982. Een populatie van de humus-kieuwpootkreeft (*Lepidurus apus* (L.)). Excursierapport, 3 pp.
- Higler, L.W.G. & P.F.M. Verdonschot, 1989. Macroinvertebrates in the Demmerik ditches (The Netherlands): the role of environmental structure. *Hydrobiol. Bull.* 23: 143-150.
- Kalkman, V.J., R. Ketelaar & D. Groenendijk, 2002. Veranderingen in de libellenfauna. Hfds. 8 in: K.-D.B. Dijkstra, V.J. Kalkman, R. Ketelaar & M.J.T. van der Weide (ed.) *De Nederlandse libellen (Odonata)*: 107-120.
- Nijboer, R.C. , 1996. IJzeradditie in een geëutrofiëerde sloot: effecten op plantengroei, sulfide- en nutriëntengehalte. Verslag. K.U. Nijmegen.
- Ringelberg, J. 1975-1980. (ed.) *Limnological research in the Maarsseveen lakes*. Rapportage Univ. van Amsterdam. 299 pp.
- Visser, C.M. & H.K.M. Moller Pillot, 1986. Aquatic animal communities of ditches temporary filled with water threatened by artificial lowering of the ground waterlevel. *Proc. 3rd Europ. Congr. Entom. Amsterdam* :159-162
- Van Walsum, P.E.V., J.F.M. Helming, E.P.A.G. Schouwenberg, L.C.P.M. Stuyt, P. Groenendijk, C.J.A.M. de Bont, P.H. Vereijken, C. Kwakernaak, P.J.T. van Bakel, L.C. van Staalduinen & K.W. Ypma, 2002a. Waterwijs. Plannen met water op regionale schaal. ALTERRA-rapport 433. 298 pp.
- Van Walsum, P.E.V., P.F.M. Verdonschot & J. Runhaar (eds), 2002b. Effects of climate and land-use change on lowland stream ecosystems. ALTERRA rapport 523. 200 pp.

- Veen, G.J. van der & A.C. Garritsen, 1994. Kennisoverzicht Ecohydrologie. Een inventarisatie van kennis en expertise op het gebied van ecohydrologie en verdroging. Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging NOV-rapport 7.
- Verdonschot, P.F.M., 1995. Beken stromen. Leidraad voor ecologisch beekherstel. STOWA/WEW-06.
- Verdonschot, P.F.M., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren. Deel 1. Bronnen. Achtergronddocument bij het 'handboek natuurdoeltypen in Nederland'. In opdracht van het EC-LNV Code AS-01
- Verdonschot, P.F.M., 2002. Nutriënten in stromende wateren. Een verkenning van ecologisch relevante hydrologische en hydraulische modelkenmerken. ALTERRA-rapport 516a.
- Worm, P.B., P.J.T. van Bakel & E.J. Jansen, 1996. Effecten van systeemvreemd water. Een op bestaande kennis gebaseerde methodiek om risico's van het (wel of niet) inlaten van systeemvreemd water in te schatten. Nationaal Onderzoeksprogramma Verdroging. NOV-rapport 10.
- Worm, P.B. & R.W.C. Platte, 1997. Effecten van systeemvreemd water. Handleiding behorende bij het computermodel RISYWA.. Bijlage bij NOV-rapport 10.

Bijlage 1 Verklarende woordenlijst

| | |
|----------------------------|--|
| Acidofiel | zuur minnend |
| Amfifyten | planten van natte oevers |
| Angiospermen | zaadplanten |
| Benthisch | op de bodem levend |
| Biocoenose | levensgemeenschap |
| Biodiversiteit | variatie van soorten (in het kader van dit rapport) |
| Eutrofiëring | proces van voedselrijk worden |
| Freatofyten | landplanten, die met hun wortels in grondwater staan |
| Fytobenthos | op en tussen planten levende macrofauna |
| Fytoplankton | plantaardig plankton |
| Habitat | leefomgeving |
| Habitat-Templet concept | overlevingsstrategiën worden toegeschreven aan combinaties van habitateigenschappen |
| Helofyten | boven water uitstekende planten |
| Macroalgen | met het blote oog herkenbare algen |
| Macrofauna | met het blote oog herkenbare soorten(groepen) |
| Macrophyten | hogere waterplanten |
| Oxyfiel | zuurstofbehoefstig |
| Rheofiel | stroming minnend |
| Saprobiëring | proces van organische verrijking |
| Semi-permanent | gedurende een zekere tijd droogvallend water |
| Stenotherm | bij een beperkt temperatuurtraject voorkomend |
| Thermofiel | warmte minnend |
| Ubiquist | overall voorkomend |

Bijlage 2 Verkennende Knelpuntennotitie Laagwater

De voorliggende notitie wordt een beknopt overzicht gegeven van de meest voorkomende laagwaterproblemen (in ecologisch opzicht), de vermoedelijke oorzaken ervan en mogelijke oplossingsrichtingen.

Deze knelpuntennotitie is tot stand gekomen op basis van expert kennis binnen het Alterra team zoetwaterecosystemen en bestaande literatuur. Dit overzicht zal als uitgangspunt dienen voor de overige fasen van de definitiestudie.

De belangrijkste conclusies zijn aan het einde van deze notitie samengevat in tabelvorm met daarin de onderdelen:

- 1) laagwatersituatie
- 2) abiotische gevolgen
- 3) ecologische gevolgen
- 4) mogelijke maatregelen

De abiotische en ecologische gevolgen zijn beschreven naar het denkraam van het zgn. *5-S-model* (Systeem, Stroming, Structuur, Stoffen en Soorten) (Verdonschot).

1. Laagwatersituatie

Alvorens uitspraken te doen over laagwater is een omschrijving of definiëring van het begrip een laagwatersituatie noodzakelijk? Voor de definitiestudie wordt er vanuit gegaan dat laagwater alle toestand omvat die optreden binnen de gradiënt van substantiële peilverlaging tot werkelijke droogval. Langdurige perioden van extreme droogte kunnen tot gevolg hebben dat ondiepe stilstaande wateren volledig opdrogen. Bronnen en bovenlopen van beken kunnen (langer dan normaal) droogvallen of door een verminderde afvoer stagnant van karakter worden. In diepere wateren treden grote peilverlagingen op met als gevolg dat delen van het natte profiel en van madelanden droogvallen (*e.g.* Grootjans *et al.*, 1990).

Zonder direct in te gaan op de oorzaken van laagwatersituaties, kan wel gesteld worden dat als gevolg van klimaatverandering de kans hierop in de zomer groter wordt. Algemeen wordt aangenomen dat de zomertemperaturen zullen stijgen en dat daardoor de waterpeilen meer zullen fluctueren met als gevolg een extra verhoogde watertemperatuur en een snellere uitdroging.

2. Abiotische gevolgen

De geleidelijke vermindering van het watervolume in watersystemen heeft een aantal abiotische effecten tot gevolg met betrekking tot de componenten systeem, stoffen, structuren en stroming van aquatische ecosystemen. Onderstaand volgt een schets van deze effecten.

Systeemvoorwaarden

Er treden grotere temperatuurfluctuaties op en over het algemeen een verhoging van de watertemperatuur als het water ondieper wordt en sneller opwarmt.

Stroming

Laagwater leidt in beken tot een verminderde afvoer en stroomsnelheid waardoor uiteindelijk geïsoleerde poeltjes in het oorspronkelijke beekbed overblijven. Het stromende water verandert dan in een stagnant systeem.

In het algemeen geldt dat de kweldruk vermindert door verlaging van het grondwaterpeil. Dit heeft ook invloed op de samenstelling van het water. Een ander gevolg van een verlaagd zoetwaterpeil in onder meer binnendijkse wateren is dat verzilting optreedt door opdringend zout kwelwater. Een aantal van deze processen gaat altijd samen, waardoor cumulatieve ecologische gaan optreden. Inlaat van gebiedsvreemd water is een indirect abiotisch gevolg van laagwatersituaties als gevolg van menselijk ingrijpen, maar heeft zowel op kwalitatieve als kwantitatieve aspecten van de waterhuishouding een veelal negatieve invloed.

Structuren

Het oppervlak aan aquatische habitats neemt door indamping af en kan bij extreme droogval zelfs volledig verdwijnen. Bij sterke peilverlaging sterven delen van waterplanten af waardoor belangrijke structuren verdwijnen.

Bij het wegvallen van stroming in beken treedt bezinking van fijn materiaal op. Hierdoor verdwijnt de habitatmozaïekstructuur van de beekbodem.

Stoffen

Door een afname van de waterdiepte (en in extreme gevallen volledige droogval) zullen stoffen in het water zich concentreren. Als gevolg van concentratie van nutriënten, macro-ionen en organische verbindingen treedt eutrofiëring, saprobiëring, verharding en verzilting op. Daarnaast treden grotere zuurstoffluctuaties op (overdag meestal (over)-verzadiging, 's-nachts onderverzadiging wat leidt tot zuurstofloosheid).

Eutrofiëring kan extern optreden als gevolg van inlaat van gebiedsvreemd water met een hoger nutriëntengehalte, maar ook al is het ingelaten water nutriëntenarm is, kan er toch eutrofiëring optreden door mobilisatie van voedingsstoffen binnen het systeem (Roelofs & Cal, 1989 in Nijboer, 1996).

3. Ecologische effecten (Soorten)

De onderstaande ecologische effecten zijn van toepassing in bijna alle watertypen, maar de intensiteit waarmee het effect optreedt is per watertype verschillend. Dimensies en aan- en afwezigheid van stroming zijn daarbij zeer bepalend. Ook in het licht van de KRW zijn beide factoren bepalend voor de typologie.

Totale uitdroging zorgt voor vernietiging van het aquatische systeem, mits dit betrekking heeft op niet van nature droogvallende wateren. Sommige waterplanten kunnen via zaden in de droogvallende bodem overleven en er zijn organismen, die

'duurstadia' vormen tot er weer water aanwezig is. Andere kruipen op de kant of kunnen wegvliegen. Deze mogelijkheden zijn afhankelijk van het tijdstip en duur van droogval en de levensfase van de betreffende organismen.

Bij geïsoleerde wateren (vennen, bronnen) is de ecologische schade bij laagwater en/of droogval zeer groot, omdat bij deze watertypen meestal organismen horen die sterk gespecialiseerd zijn en niet makkelijk herkoloniseren. Dit betekent dat de typische levensgemeenschap na een laagwatersituatie niet meer terugkeert of hooguit in de loop van jaren fragmentarisch wordt hersteld.

Organismen die aangepast zijn aan regelmatige droogval kunnen echter ook getroffen worden, wanneer de periode van droogvallen zo lang duurt dat de voor hen te overbruggen tijd overschreden wordt. Dit is vermoedelijk de reden dat dergelijke aan droogval geadapteerde organismen toch steeds zeldzamer worden.

Algemene en minder gevoelige organismen zijn in veel gevallen ook goede koloniatoren en worden in hun populatieomvang veel minder sterk getroffen dan soorten die meer gevoelig zijn en vaker ook slechter herkoloniseren. Extreme situaties bevoordelen daarom de toch al algemene en 'gewone' soorten ten koste van gevoeliger soorten.

Door de concentratie van voedingsstoffen (en de hogere temperaturen) ontwikkelen algen (aan te duiden als plaagalgen) zich tot extreme algenbloei. Dit zorgt overdag voor oververzadiging van zuurstof en 's nachts voor zuurstoftekort of zuurstofloosheid. Hierdoor komen vissen en macro-organismen, die niet in staat zijn aan het oppervlak adem te halen onder druk te staan.

Als gevolg van eutrofiëring kunnen dichte krooslagen en de eerder genoemde algenbloei ontstaan waardoor in het onderstaande water zuurstof niet goed meer diffundeert en licht niet meer kan doordringen. Dit heeft tot gevolg van de wortelende waterplanten afsterven, waardoor eveneens schuilplaatsen voor macrofauna, zoöplankton en vis verdwijnen. Ook ophoping van sulfide en ammonium (a.g.v. interne eutrofiëring, dalend zuurstofgehalte en inlaat van sulfaat- en bicarbonaatrijk water) hebben tot gevolg dat wortelende waterplanten afsterven (Nijboer, 1996). Afstervend organisch materiaal in een steeds ondieper wordend water zorgt voor extra bacterie-ontwikkeling en zuurstoftekort (tot zelfs anaërobe situaties ontstaan).

De oevervegetatie die via het grondwater in verbinding stond met het oppervlaktewater sterft af. Dit geldt ook voor vegetatie op de madelanden langs beken. De oeverzone van sloten, vennen en beken en (bij extreme droogte) ook van grote wateren valt droog. De biodiversiteit in oeverzones is vaak veel groter dan in de rest van het water (Higler, 1981; Higler & Verdonschot, 1989) zodat bij peilverlaging ernstige verliezen van macrofauna en oeverplanten optreden. Peilverlaging scheidt wel de mogelijkheid voor landriet om uitlopers in het droogvallende oevergedeelte te vormen.

Een ander effect is dat bepaalde steekmugsoorten kans zien om zich op de uitdrogende, maar nog vochtige oevers in grote getale te vermenigvuldigen. Dit kan ook in uitdrogende poeltjes. De muggen zijn in staat om in zeer korte tijd de cyclus van ei tot adulte steekmug te doorlopen.

Bij sterfte van bepaalde blauwalgen kunnen (ook voor de mens) toxische stoffen vrij komen. De combinatie van hoge temperaturen en (zeer) voedselrijk water kan botulisme tot gevolg hebben.

Bij aanzienlijk peilverlaging in grote meren zullen processen in het epilimnion veranderen die wellicht ook het hypolimnion beïnvloeden. Hierbij kan gedacht worden aan een hogere biomassa productie van algen en kroos, wat een grotere hoeveelheid organisch materiaal oplevert als dat afsterft. Dit zakt naar het hypolimnion, waar extra afbraak plaatsvindt. Dit leidt tot bacterie-ontwikkeling en zuurstofarme tot zuurstofloze situaties in het hypolimnion. De oeverzone van het epilimnion is van grote betekenis voor het hele ecosysteem (Ringelberg, 1975-1980). Veranderingen in de voedselketen (de verschillende verbanden tussen algen, zooplankton, vissen en waterplanten) zijn dikwijls gevonden bij verschillende vormen van uitdroging van (delen van) beken (Higler, 2002) en het ligt voor de hand dat dit ook bij peilverlaging in stilstaande wateren optreedt.

4. Maatregelen

De maatregelen die ter beschikking staan in laagwatersituaties zijn te vatten onder

- 1) gebiedseigen water vooraf vasthouden en conserveren om vroegtijdig opdroging te voorkomen en om eventueel later in te laten,
- 2) extern water inlaten (evt. vanaf 1 zijde van een gebied zodat een gradiënt van beïnvloeding ontstaat), en
- 3) toch kiezen voor een toelaatbare periode van droogval.

Vasthouden

Het vasthouden van gebiedseigen water kan op drie manieren:

- Verhoging van de grondwaterstand. In veengebieden betekent dat, dat de percelen pas op een later tijdstip in het jaar betreden kunnen worden. In zandgebieden moet daartoe de drainage opgeheven worden. Het voordeel is dat de huidige wateraanvoerproblemen in de noordoostelijke en oostelijke regio's in Nederland, waarschijnlijk minder zullen worden of wellicht zelfs opgelost. In de regio's noord, noordwest, west en zuidwest kan met verhoging van de grondwaterstand een grotere tegendruk van zoet grondwater opgebouwd worden.
- Opslag van water in bestaande systemen zoals sloten, kanalen, plassen, en minder gewent stromende wateren. Dit komt vaak overeen met grondwaterstandsverhoging en/of opheffing van de drainage. Compartimentering en stuwing van beken heeft echter sterk negatieve effecten op de karakteristieke levensgemeenschappen. Opslag in grotere wateren zoals plassen en het IJsselmeer is ook een optie, maar in de regel zijn de eisen aan geringe peilveranderingen in deze wateren zo stringent, dat hier weinig

- mogelijkheden zijn voor extra peilverhoging t.o.v. de huidige marges. Daarnaast is het minder gewenst om later het water over al te grote afstanden terug naar de haarvaten te transporteren.
- Opslag in nieuw te creëren bekkens wordt in diverse studies onderzocht (Cie Luteyn i.v.m. hoogwaterproblematiek in het rivierengebied, DWK-programma Integraal Waterbeheer in Noord-holland). De keuze bestaat uit geheel droge bekkens en bekkens met laag water, waar veel ruimte voor meer water is ('bergen op nat').

Aanvoeren

Aanvoer van gebiedsvreemd water betekent meestal aanvoer van Rijnwater. Gezien de verschillen in chemische (en toxische) kwaliteit met het gebiedseigen water, is dit ecologisch sterk negatief. Uitgezocht moet worden of in sommige gebieden filtratie of biologische zuivering een mogelijkheid is om toch Rijnwater te gebruiken. Ook een eenzijdige beïnvloedingsgradient (inlaat aan één zijde van een polder bijvoorbeeld) beantwoordt min of meer aan de wens om de schadelijke effecten zo veel mogelijk te beperken.

Droogvallen

Kiezen voor een toelaatbare periode van droogval betekent inzicht hebben in de gevolgen hiervan. Hierover is echter weinig gekwantificeerde kennis over voorhanden. In hoeverre droogval toelaatbaar is, is nog zeer onduidelijk. Er zijn aquatische ecosystemen, die aangepast zijn aan een periode van een tot enkele maanden van droogte. Als deze in droge jaren een verlengde periode van uitdroging te verduren krijgen, zullen er toch (meer) negatieve effecten optreden. De grote vraag *Wat is erger: gebiedsvreemd water of tijdelijke uitdroging?* dient nadert geanalyseerd te worden.

| agwater iatie | Abiotisch gevolg op: | Ecologisch effect (Soorten) | Kleine stromende wateren | Grote stromende wateren | Kleine stilstaande wateren | Grote stilstaande wateren | Mogelijke maatregelen |
|------------------|--|--|---|--|---|--|---|
| ilverlaging | Systeemvoorwaarden Temperatuurfluctuaties (meestal stijging) | verdwijnen van aquatisch ecosysteem vissen macrofauna hogere planten algen | ++ + ++ + + | - - + - + | ++ ++ + + + | - - + + + | Water vooraf vasthouden en conserveren om later in te laten |
| | Stroming Verminderde afvoer Verminderde stroming Afname kweldruk Toename wegzijging Toename waterinlaat | zuurstofminnende, rheofiele en thermofiele (macrofauna) taxa onder druk algemener, toleranter taxa in het voordeel | ++ + | + - | ++ + | + - | Van extern water inlaten, evt. van kant van watersysteem zodat gradiënt van beïnvloeding ontstaat |
| | Structuren Verdwijnen aquatisch habitat Geringere diepte Verslibbing | Kansen voor steekmuggen Algenbloei (groenalg, draadalg, blauwalg, plaagalg) | + ++ | - | ++ ++ | + + | Tocht laten droogvallen voor een toelaatbare periode (watertype gebonden) |
| | Stoffen Zuurstoffluctuaties, | Afsterven submerse waterplanten door algenbloei en kroosdek agv eurofiëring Vissterfte | + + | - | + ++ | - + | |
| | Concentratie van stoffen, wat leidt tot Eutrofiëring (intern en extern) | Achteruitgang freatofyten in oeervegetatie Botulisme | + - | + - | + + | + + | |
| | Saprobiëring Verharding Verzilting | Toxinen v algen Verstoring van afbraak processen in epi- en mogelijk ook hypolimnion Verstoring van voedselketen vis – zooplankton – fytoplankton – etc. | - - + | - - + | + - + | + + + | |

Bijlage 3 Resultaten van de interviews

1. Claartje Visser (RIKZ)

Zij heeft gespecialiseerde ervaring op het gebied van temporaire wateren .

*Claartje ziet verdroging als de grootste bedreiging voor de macrofauna van temporaire wateren. Deze fauna bevat specifieke soorten (aangepast aan verschillende perioden en tijdsduur van droogte), die soms zeer zeldzaam (in Nederland tenminste) zijn. Ik ken een kokerjuffer die hierbij hoort (*Hagenella clathrata*) die overal in zijn verspreidingsgebied zeldzaam is.*

Ref.: Visser, C.M. & H.K.M. Moller Pillot, 1986.

Indeling in 11 typen temporaire wateren, waarbij criteria van belang zijn voor een DSS:

- *de lengte van de natte periode (vaak direct gerelateerd aan verandering in de grondwaterstand)*
- *waterkwaliteit (trofie, pH)*
- *bodemsamenstelling*
- *bodembedekking*

aanwezigheid van verschillende typen wateren, waarbij refugiumfunctie een rol speelt

Effect van aanvoer van (eutroof) water in droge periode is desastreus als te voedselrijk water aangevoerd wordt

2. Eddy Lammens (RIZA)

Telefonisch contact. Hij stuurde het plan van aanpak van de studie 'The potential effects of climate change on aquatic ecosystems'. Daaruit komt naar voren, dat hij vnl. het IJsselmeer wil gebruiken en zijn model PISCATOR, en dat de grotere meren in het project centraal staan. Er is een samenwerking met CL. Andere genoemde modellen zijn PCLake, BASIS, CHARISMA en FUZZYSCUM. Ik krijg de indruk, dat er niet veel overlap is en dat voor hem de temperatuureffecten het allerbelangrijkste zijn.

3. Hugo Coops (RIZA)

Vooral gesproken over peilverandering.

- *Bij peilhandhaving wordt extern water aangevoerd, meestal eutroof. Nadelige invloed op waterkwaliteit.*
- *Bij vrij laten van peil wordt gebiedseigen water beter benut en ontstaat een natuurlijker peil door het jaar heen. Peilverlaging kan leiden tot uitbreiding van waterplanten (en verdwijnen van algenbloei). Positief effect derhalve.*
- *Het peil kan ook bewust gevarieerd worden, waarbij buffering optreedt. Wegnemen van drainage geeft verhoging grondwaterstand en voorraadvergroting*
- *Het Zuidlaarder meer wordt gevoed door de Hunze. Zou je die aanvoer afsluiten, dan gaat het peil variëren. De referentie (met veel Characeën) is bekend uit een proefschrift uit het begin van de 20ste eeuw.*
- *Genoemde modellen CHARISMA (procesmodel: groei van individu), MACROMIJ (ruimtelijk model) en ECOMIJ (gebaseerd op ecotopen).*

4. Han Runhaar (ALTERRA)

Han is betrokken bij de droogtestudie, maar werkt puur terrestrisch. We hebben gesproken over zijn model NATLESS en de pogingen om een beter model dan DEMNAT te ontwikkelen (NVEG). Hieraan wordt gewerkt door RIZA (Remco van Ek), KIWA en ALTERRA.

Mijn idee om verdroging van bronnen e.d. te koppelen aan grondwaterstandmodellen wordt door Han aanbevolen om dat met voor gebieden ontwikkelde modellen te doen en niet met het landelijke model (NAGROM)

5. Theo de Jong (bureau Viridis)

Theo liet fotomateriaal zien van sloten en vaarten, waar de waterstand zo laag was, dat bij vorst alles kapot vriest en bij hoge zomertemperaturen zuurstofarmoede optrad. In beide gevallen vissterfte en 'verdwijnen' van het gehele aquatische ecosysteem.

6. Jan Roelofs (KUN)

De kernboodschap van Jan is dat de natuurlijke dynamiek van peilwisselingen altijd gunstig is en dat voor grote delen van Nederland zwavel het grote gevaar is.

Vennen en duinwateren. Natuurlijke dynamiek, inclusief gehele of gedeeltelijke droogval is gunstig, maatregelen om een hoog waterpeil te handhaven zijn slecht en geven eutrofiëring. De minerale oever moet door uitdroging in stand worden gehouden.

Door verzuring ging dit mooie verhaal tijdelijk niet op, maar thans is de hoeveelheid zwavel uit de lucht zodanig verminderd dat de natuurlijke dynamiek weer vrij spel mag hebben (aangenomen dat de zwavelrijke prut eerst verwijderd wordt).

Veenweidegebied. De grootste schade wordt aangebracht door het omgekeerde peilregime. Permanent hoog-water geeft een grote fosfaatmobilisatie, waar bij de rol van zwavel en ijzer vooral van belang is (piriet uit vroegere mariene afzettingen). Hierover zijn proefschriften van Fons Smolders en Leon Lamers geschreven. Door het hoog-water in de zomer verpulveren de oevers, waardoor de sloten vol prut raken. Tijdelijke peilverlagingen leiden tot oligotrofiëring.

De veel beleden kreet: hoe natter hoe beter, klopt absoluut niet, zoals op allerlei plaatsen geconstateerd kan worden.