

Natuur in de Verdringingsreeks

Natuur in de verdringingsreeks

J. Runhaar

m.m.v. P.F.M. Verdonschot, R.C. Nijboer, J. van Bakel, M. Blok, R.F.A. Hendriks en H. Massop.

Alterra-rapport 1302

Alterra, Wageningen, 2006

REFERAAT

Runhaar, J., 2006. *Natuur in de verdringingsreeks*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1302. 104 blz.; 9 fig.; 6 tab.; 69 ref.

De verdringingsreeks geeft aan welke functies prioriteit krijgen bij de verdeling van water in droge perioden. In de nieuwe reeks uit 2004 krijgt de natuur een hoge prioriteit indien sprake is van onomkeerbare schade. Nagegaan is in welke situaties onomkeerbare schade te verwachten is. Er zijn maar weinig situaties waarin onomkeerbare schade door droogte voorkomen kan worden door de aanvoer van water. Wel zijn er met name in laag-Nederland veel situaties waar onomkeerbare schade aan de natuur kan worden voorkomen door de te zorgen dat water van een verkeerde kwaliteit daarvoor gevoelige gebieden niet op pas in laatste instantie bereikt. Vooral inlaat van (licht) brak en zout water in zoetwatergebieden kan leiden tot grote nadelige effecten op de natuur.

Trefwoorden: verdringingsreeks, droogte, waterinlaat, ecosystemen

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door € 20,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 1302. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2006 Alterra
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

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

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

Inhoud

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
1.1 doel van de studie, onderzoeksvraag	9
1.2 Uitgangspunten en definities	10
1.3 Opzet van de studie	14
1.4 Begeleiding onderzoek	14
1.5 Leeswijzer	15
2 Effecten van droogte en wateraanvoer	17
2.1 Effecten van droogte	17
2.2 Effecten van wateraanvoer	26
2.3 Reversibiliteit effecten	31
2.4 Overzicht effecten droogte en wateraanvoer per gebiedstype	32
3 Onomkeerbare schade door droogte	33
3.1 Inleiding	33
3.2 Onomkeerbare schade	33
3.3 Mogelijkheden om droogteschade te voorkomen	34
3.4 Beoordeling per systeemtype	36
3.5 Conclusie	41
4 Onomkeerbare schade door wateraanvoer	43
4.1 Inleiding	43
4.2 Schade door inlaat zout en brak water	43
4.3 Schade door inlaat hard voedselrijk water	45
4.4 Conclusies	47
5 Discussie	49
6 Conclusies en aanbevelingen	57
Literatuur	59
<i>Bijlagen</i>	
1 Indeling waterplanten naar gevoeligheid voor zout	65
2 Indeling ecosysteemtypen naar droogtegevoeligheid	69
3 Overzicht effecten droogte en wateraanvoer per gebiedstype	73
4 Verslag workshop verdringingsreeks 7 november 2005	81
5 Invloed openwaterstand op grondwaterstand in natuurterreinen in perioden dat onomkeerbare droogteschade kan optreden	89

Samenvatting

De verdringingsreeks geeft aan waar in perioden met watertekorten de prioriteit ligt bij de verdeling van water. In de nieuwe verdringingsreeks die door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat is opgesteld in 2004 wordt, anders dan in de oude reeks uit 1985, een hoge prioriteit toegekend aan het voorkomen van 'onomkeerbare schade' aan de natuur. Dat leidt tot de vraag in welke situaties sprake is van onomkeerbare schade aan de natuur, en natuur prioriteit zou moeten krijgen bij de verdeling van water.

In deze studie is allereerst nagegaan in welke situaties aanvoer van water nodig is om onomkeerbare schade aan de natuur te voorkomen. Criteria die daarbij zijn gebruikt zijn dat droogte leidt tot onomkeerbare schade, dat er mogelijkheden zijn tot wateraanvoer, dat de aanvoer effectief is tegen droogteschade en dat er geen nadelige effecten zijn van de aanvoer van stoffen. Er zijn maar weinig systemen die voldoen aan alle gestelde criteria. Het gaat dan vooral om kunstmatige systemen, waar ook in normale perioden al wateraanvoer plaatsvindt en flora en fauna afhankelijk zijn van die aanvoer, en om bovenlopen van rivieren en beken met een omleidingskanaal, waar in droge perioden een afweging moet worden gemaakt of water wordt afgevoerd via de natuurlijke waterloop of via de omleiding. Omdat in deze situaties ook nu al wordt gekozen voor de continuering van wateraanvoer leidt de verdringingsreeks hier slechts tot een formalisatie van de bestaande situatie.

In volledig natuurlijke ecosystemen is de gevoeligheid voor droogte gering. Veel van de natuurgebieden in Nederland zijn echter aangetast door verdroging en versnippering en daardoor is de kans op het uitsterven van lokale populaties in perioden van extreme droogte sterk toegenomen. Het tegengaan van droogteschade door wateraanvoer is echter vaak niet mogelijk, of is contraproductief doordat de nadelige effecten van de aanvoer van systeemvreemde stoffen groter zijn dan de voordelige effecten van de aanvoer van water. Vermindering van schade door droogte is in deze gebieden alleen mogelijk door structurele maatregelen te nemen om de waterhuishouding te verbeteren en versnippering tegen te gaan.

Onomkeerbare schade aan de natuur kan ook ontstaan door inlaat van water met een afwijkende kwaliteit. Inlaat van brak en zout water in zoetwatergebieden kan leiden tot een zodanige ernstige en langdurige schade aan de natuur dat droogteschade door stopzetten van de inlaat te verkiezen is boven schade door zoutvergiftiging. Stopzetting is echter vaak niet mogelijk omdat inlaat nodig is om de veiligheid te waarborgen of om klink en zetting van veen te voorkomen. De beste oplossing is daarom te kiezen voor voor een zodanige aanvoerbron en aanvoerroute dat brak of zout water de daarvoor gevoelige gebieden niet kan bereiken. Nog onduidelijk is wat de effecten zijn van de inlaat van licht brak water. Op basis van de weinige beschikbare gegevens is aannemelijk dat in gebieden waar zoutgevoelige organismen voorkomen blootstelling gedurende enkele weken aan licht brak water voldoende kan zijn om sterfte te veroorzaken. Op basis van de in het rapport opgenomen indeling

van waterplanten naar zoutgevoeligheid kan worden nagegaan in welke gebieden inlaat van licht brak water vermeden moet worden. Aanbevolen wordt om door middel van proeven na te gaan welke chloridegehalten gedurende welke perioden kritisch zijn voor de overleving van zoutgevoelige organismen.

Inlaat van voedselrijk, hard en/of sulfaatrijk water kan eveneens leiden tot onomkeerbare schade aan de natuur. In voedselarme zwak gebufferde systemen als vennen en hoogvenen is de schade zodanig dat droogte te verkiezen is boven inlaat van water. In veel gevallen is echter onduidelijk of schade door inlaat van water groter is dan schade door peilverlaging en droogval. Bovendien is inlaat van water vaak noodzakelijk om de veiligheid te waarborgen dan wel om klink en zetting van veen tegen te gaan. Daarom geldt hier, net als bij de inlaat van brak en zout water, dat de beste oplossing is te kiezen voor voor een zodanige aanvoerbron en aanvoerroute dat brak of zout water de daarvoor gevoelige gebieden niet kan bereiken.

In deze verkennende studie is alleen is nagegaan in welk *type* situaties mogelijk sprake is van onomkeerbare schade door droogte. Er is niet gekeken waar dergelijke situaties daadwerkelijk voorkomen, en welke maatregelen genomen kunnen worden om droogteschade te verminderen. Dat vraagt om een regionale uitwerkingen waarbij rekening kan worden gehouden met gebiedseigenschappen. In het rapport wordt een voorstel gedaan voor een afwegingsprocedure die daarbij kan worden gebruikt. Aanbevolen wordt deze procedure uit te testen in één of meerdere proefgebieden.

1 Inleiding

1.1 doel van de studie, onderzoeksvraag

De verdringingsreeks geeft aan waar in tijden van droogte en daaruit voortvloeiende watertekorten de prioriteit ligt bij de aanvoer van water. De verdringingsreeks is voor het eerst gepubliceerd in de 2^e Nota waterhuishouding (1985). Naar aanleiding van de droogte in 2003 is door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een nieuwe verdringingsreeks opgesteld (Min. V&W, 2004). In deze reeks wordt –anders dan in de oude verdringingsreeks- ook rekening gehouden met de functie natuur. Daarbij wordt een hoge prioriteit toegekend aan het voorkomen van ‘onomkeerbare schade’ aan de natuur (tabel 1.1). Als schade aan de natuur niet onomkeerbaar is krijgt de aanvoer van water ten behoeve van de functie natuur een veel lagere prioriteit en moeten de belangen van de natuur worden afgewogen tegen die van andere functies als landbouw en scheepvaart.

Tabel 1.1 Verdringingsreeks zoals gepubliceerd in de Evaluatienota waterbeheer aanhoudende droogte 2003 (Min. V&W 2004). De reeks geeft aan waar in perioden van droogte de prioriteiten liggen bij de verdeling van water. Binnen de categorieën 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioritering plaats op basis van minimalisatie van de economische maatschappelijke schade

-
1. Veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade.
 1. Stabiliteit van waterkeringen
 2. Klink en zettingen (veen en hoogveen)
 3. Natuur (gebonden aan bodemgesteldheid)
 2. Volksgezondheid en nutsvoorzieningen.
 1. Drinkwatervoorziening
 2. Energievoorziening
 3. Kleinschalig hoogwaardig gebruik
 - Tijdelijke beregening kapitaalintensieve gewassen
 - Proceswater
 4. Overige belangen (economische afweging, ook voor natuur):
 - Scheepvaart
 - Landbouw
 - Natuur (zolang geen onomkeerbare schade optreedt)
 - Industrie
 - Waterrecreatie
 - Binnenvisserij
 -
-

Voor de plaats van de natuur in het afwegingsproces is het dus van groot belang te weten of sprake is van wel of niet omkeerbare schade. Over de omkeerbaarheid van schade wordt in de Evaluatienota het volgende gezegd:

“Onomkeerbare ecologische schade is vooral gekoppeld aan de bodemgesteldheid en onomkeerbare processen in de bodem, zoals klink maar ook verandering van de samenstelling van de bodem als gevolg van de toevoer van ander water. Door deze processen wordt de vestigingsplaats onherstelbaar vernietigd en kan het ecosysteem zich niet meer herstellen. Hierbij kan gedacht

worden aan gebieden als de veengebieden in Midden-Holland en Noord-West Overijssel. Het voorkomen van onherstelbare schade krijgt een plaats in de categorie met de eerste prioriteit. Herstelbare schade wordt gedefinieerd als die schade die van nature binnen een redelijke termijn uit zichzelf herstelt (bijvoorbeeld de vispopulatie) of hersteld kan worden door investeringen.”

Deze omschrijving laat echter nog de nodige ruimte voor interpretatie. Met name voor regionale waterbeheerders (provincies en waterschappen) is onvoldoende duidelijk in welke gevallen wel of niet prioriteit moet worden gegeven aan de natuur bij de verdeling van water in tijden van droogte. Om dit hiaat op te vullen is door LNV aan Alterra gevraagd om te onderzoeken wanneer sprake is van onomkeerbare schade aan de natuur en een indicatie te geven van de effectiviteit van wateraanvoer ter bestrijding van verdroging en van de hersteltijd van ecosystemen.

Doel van de studie was:

- een eerste schatting te geven in welke gevallen onomkeerbare schade aan de natuur verwacht kan worden en wat de mogelijke consequenties zijn voor het beheer in droge jaren (waterconservering en aanvoer water, of juist achterwege laten van inlaat i.v.m. mogelijke negatieve consequenties voor natuur);
- aan te geven welke hiaten er zijn in de kennis over de effecten van droogte en wateraanvoer op de natuur;
- een voorstel te doen voor proefgebieden waar de effecten van droogte en maatregelen gericht op tegengaan droogte kunnen worden bestudeerd middels modelberekeningen en experimenten.

De doelgroep van de studie bestaat uit enerzijds de waterbeheerders en anderzijds het ministerie van LNV. De beschrijving van de effecten van droogte en de eerste inschatting in welke situaties droogte leidt tot onomkeerbare schade zijn vooral bedoeld als handreiking aan waterbeheerders om te gebruiken bij de uitwerking van de verdringingsreeks voor hun beheergebied. Het overzicht van kennishiaten en de aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn vooral bedoeld als input voor de onderzoeksprogrammering van het ministerie.

1.2 Uitgangspunten en definities

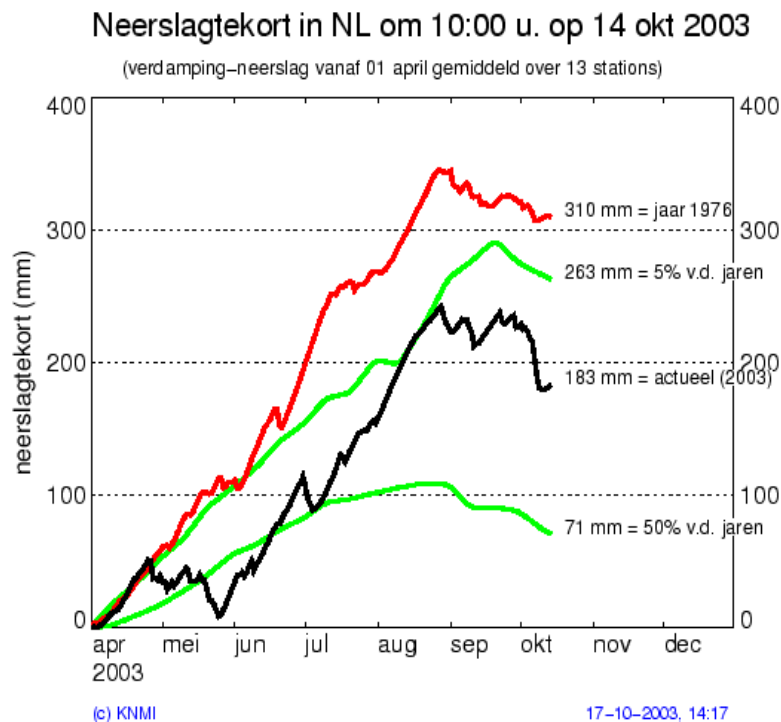
Droogte

De studie richt zich op de effecten van droge jaren, en is bedoeld voor situaties waarin onvoldoende water beschikbaar is en bij de verdeling van water een afweging moet worden gemaakt tussen de belangen van veiligheid, volksgezondheid, natuur en economische belangen (energievoorziening, landbouw, scheepvaart e.d.). In de afgelopen eeuw zijn het vooral de warme zomers van 1949, 1959, 1975 en 1976 geweest waarin watertekorten zodanig waren dat ernstige schade ontstond voor landbouw, scheepvaart en andere belangen. In 2003 waren watertekorten veel minder, maar kreeg de droge zomer veel aandacht door het tekort aan koelwater en de discussie over de inlaat van ‘zout’ water uit de Hollandse IJssel.

Als maat voor de droogte wordt vaak het neerslagtekort in het groeiseizoen gebruikt, dat wil zeggen het verschil tussen de neerslag en de (potentiële) verdamping in het

zomerhalfjaar (1 april tot 1 oktober). Als wordt gekeken naar het neerslagtekort was 1976 een extreem jaar, met een neerslagtekort van ruim 300 mm (figuur 1.1). Een dergelijk droog jaar komt op basis van de huidige statistieken maar eens in de 100 jaar voor (Beersma et al., 2004). Het jaar 2003 was wat dat betreft een veel minder extreme situatie, met een neerslagtekort tot 1 oktober van meer dan 200 mm. Een dergelijk neerslagtekort komt ongeveer eens in de 10 jaar voor.

Het neerslagtekort zegt echter niet alles over het tekort aan water. Dat hangt ook af van de periode waarin het tekort optreedt (aan het begin of het einde van het groeiseizoen) en van de aanvoer van water met de Rijn en de Maas. Het valt daarom niet precies aan te geven bij welke neerslagtekorten sprake is van een zodanige droogte dat ernstige problemen zullen ontstaan bij de aanvoer van water. In deze studie is er van uitgegaan dat dergelijke situaties zich bij benadering eens in de 10 jaar zullen voordoen.



Figuur 1.1. Berekend neerslagtekort in 1976 en 2003 voor de periode 1 april tot 14 oktober. Bron: Ministerie van V&W (2004), op basis gegevens KNMI

Gevolgen van klimaatverandering

Een lastige situatie doet zich voor als onder invloed van klimaatsverandering het voorkomen van zeer droge jaren sterk zou toenemen. Dat zou er toe kunnen leiden dat wat nu als extreem wordt gedefinieerd een normale situatie wordt, en dat een nieuwe afweging nodig waarin wordt nagegaan of het wel zinnig en mogelijk is om bestaande landbouw- en ecosystemen in stand te houden. Berekeningen door het KNMI (Beersma 2004) laten echter zien dat op basis van de huidige gegevens slechts beperkte veranderingen te verwachten zijn in de herhalingsjaren tussen droge jaren.

Daarom wordt in deze studie vooralsnog geen rekening gehouden met een toename van wat nu als droge jaren worden ervaren. Het is de bedoeling dat de uitwerking van de verdringingsreeks eens in de 5 jaar wordt bijgesteld en waar nodig wordt aangepast aan nieuwe omstandigheden. Mocht in de toekomst alsnog blijken dat klimaatsveranderingen leiden tot een significant hogere frequentie van droge jaren dan kan de verdringingsreeks hieraan worden aangepast.

Droogte en verdroging

Droogte en verdroging leiden beide tot vergelijkbare effecten op korte termijn. Een belangrijk verschil is echter dat het bij verdroging gaat om een structurele aantasting van de waterhuishouding met als gevolg verlaging van de gemiddelde grondwaterstanden, het wegvallen van kwel en de inlaat van gebiedsvreemd water (tabel 1.2). Dit leidt tot blijvende veranderingen in het ecosysteem. Bij droogte gaat het om incidentele gebeurtenissen die –als geen rekening wordt gehouden met door de mens veroorzaakte veranderingen in klimaat- een natuurlijk karakter hebben en in goed ontwikkelde en evenwichtige systemen niet leiden tot structurele veranderingen. Alleen wanneer een systeem door natuurlijke oorzaken (successie) of door menselijke ingrepen (verdroging, versnippering of andere aantastingen) in een niet-stabiele situatie verkeert kan een incidentele droogte de katalysator vormen die zorgt voor een omslag naar een nieuw evenwicht. In door verdroging aangetaste ecosystemen kan een incidentele droogte er bijvoorbeeld toe leiden dat de laatste exemplaren van een kwijnende populatie verdwijnen. Ook wanneer gebieden te klein en te geïsoleerd zijn, en de veerkracht daardoor gering is, kan het zijn dat incidentele droogtes leiden tot het uitsterven van soorten.

Deze studie richt zich primair op de effecten van droogte en de vraag wanneer onomkeerbare schade door droogte te verwachten is in de natuur. Omdat de gevoeligheid voor droogte mede afhankelijk is van de mate van verdroging is deze vraag echter niet te beantwoorden zonder ook aandacht te besteden aan verdroging.

Tabel 1.2 Onderscheid verdroging en droogte

	Verdroging	Droogte
Aard ingreep	Structurele veranderingen in de waterhuishouding: verlaging gemiddelde (grond)water-standen of verdwijnen van kwel	Incidenteel optredende perioden met watertekorten
Aard effecten	Blijvende verandering van ecosysteemtype (bv van natte naar droge heide)	Al dan niet tijdelijke veranderingen binnen ecosysteemtype (bv achteruitgang of lokaal uitsterven van Klokjesgentiaan in natte heide)

Droogte en opwarming

Perioden van droogte zijn vrijwel zonder uitzondering ook uitzonderlijk warm. Het effect van verhoogde temperaturen en de koelwaterproblematiek vormen echter geen onderwerp voor deze studie. Wel zal bij de bepaling van de effecten van droogte en aanvoer van water rekening mee worden gehouden dat deze ingrepen plaatsvinden in warmteperiodes.

Te beschouwen maatregelen om droogte te voorkomen

Aanname in deze studie dat de aanvoer van oppervlaktewater uit de rivieren en het IJsselmeer de voornaamste maatregel is die in perioden van extreme droogte kan worden genomen. Weliswaar zijn er ook maatregelen te bedenken die leiden tot een structurele vermindering van watertekorten in natuurgebieden, maar er wordt van uit gegaan dat deze maatregelen deel uitmaken van het reguliere beleid gericht op het tegengaan van verdroging en dus buiten de vraagstelling van deze studie vallen. Wel zal worden aangegeven in welk type gebieden de gevoeligheid voor droogte relatief groot is vanwege verdroging of een sterk versnipperde ligging.

Beschouwde ecosystemen

De studie heeft zich beperkt tot ecosystemen die afhankelijk zijn van grond- en oppervlaktewater. Droge ecosystemen als duingraslanden, droge heide en kalkgraslanden zijn dus buiten beschouwing gebleven. In dergelijke systemen vormt droogte een natuurlijk fenomeen dat weliswaar op korte termijn nadelige effecten kan hebben op de omvang of reproductie van populaties, maar op lange termijn een voorwaarde vormt voor de handhaving van de voor deze ecosystemen kenmerkende soortensamenstelling met veel droogteresistente soorten. Aanvoer van oppervlaktewater om droogteschade te voorkomen is in dergelijke systemen daarom niet aan de orde. Wel een punt van aandacht is de aanwezigheid van voldoende bluswater van geschikte kwaliteit om eventuele branden te bestrijden. Dit vormt echter een zo afwijkend onderwerp dat hierop in deze studie niet zal worden ingegaan.

Voor de beschrijving van grond- en oppervlaktewaterafhankelijke ecosystemen is uitgegaan van een eenvoudige indeling in typen, gebaseerd op de hydromorfologie, landschappelijke ligging en het watertype. Daarbij is getracht de indeling zoveel mogelijk af te stemmen op de indeling in natuurdoeltypen uit het handboek natuurdoeltypen (Bal et al. 2001).

Onomkeerbaarheid

In de verdringingsreeks wordt hoge prioriteit toegekend aan het voorkomen van 'onomkeerbare' schade aan de natuur, waarbij impliciet wordt verondersteld dat er een tweedeling valt te maken tussen herstelbare en niet herstelbare schade. In werkelijkheid is echter sprake van een gradueel verschil tussen meer of minder herstelbare schade. Dat leidt tot de vraag wanneer mag worden gesproken van 'onomkeerbare' schade. In de Evaluatienota Waterbeheer Aanhoudende Droogte wordt bij de omschrijving van onomkeerbare verdroging (par. 1.1) deels uitgegaan van de aard van het effect (onomkeerbare schade is schade door veranderingen in de bodem) en deels van de reversibiliteit van het effect (omkeerbare schade is schade die vanzelf herstelt of door ingrijpen hersteld kan worden). In deze studie wordt voor de beantwoording van de vraag of wel of niet sprake is van onomkeerbare schade aan de natuur uitgegaan van de reversibiliteit van de effecten. Daarbij wordt er van uit gegaan dat sprake is van onomkeerbare schade wanneer herstel van aanwezige populaties als gevolg van directe en indirecte gevolgen van droogte niet binnen vijf tot tien jaar is te verwachten. In dat geval hebben de ecosystemen niet of nauwelijks de mogelijkheid om zich tussen twee droogteperioden in te herstellen.

In de Evaluatienota wordt geen onderscheid gemaakt naar de omvang van de schade. Dat zou betekenen dat elke blijvende verandering in de populatieomvang van

soorten direct zou leiden tot prioriteit voor de natuur, ongeacht de betekenis van de soort voor het natuurbehoud. Vanwege de consequenties die een prioritering kan hebben voor energievoorziening, drinkwatervoorziening en andere belangrijke maatschappelijke functies lijkt het echter zinnig dit in te perken tot gebieden die een wettelijk beschermde status hebben als natuurgebied en/of gebieden waarin veel soorten voorkomen die vanwege hun landelijke of internationale zeldzaamheid speciale bescherming behoeven. In deze studie is daarom bij de beoordeling van de effecten ook een indicatie gegeven van de omvang van de schade aan de natuur.

Droogte en wateraanvoer

In de studie zal niet alleen worden ingegaan op de effecten van droogte zelf, maar ook op de effecten van maatregelen die worden genomen om droogte te bestrijden. Daarbij wordt met name aandacht besteed aan de aanvoer van water. De discussie rond de inlaat van (licht brak) water uit de Hollandse IJssel in 2003 geeft aan dat effecten van wateraanvoer een belangrijke rol spelen in de maatschappelijke discussie. De aanvoer van water met een afwijkende kwaliteit van het gebiedseigen water (zouter, voedselrijker) heeft effecten op ecosystemen die qua orde van grootte vergelijkbaar zijn met -of in sommige gevallen zelfs groter zijn dan- de effecten van droogte.

1.3 Opzet van de studie

De hoofdvraag is in welke situaties sprake is van onomkeerbare schade aan de natuur die door het nemen van maatregelen of juist door het achterwege laten van maatregelen kan worden voorkomen. In deze studie worden twee mogelijke situaties onderscheiden, namelijk de situaties dat water dient te worden aangevoerd om onomkeerbare schade te voorkomen, en situaties dat aanvoer van water met een afwijkende waterkwaliteit juist moet worden tegengegaan om onomkeerbare schade aan de natuur te voorkomen.

Op grond van literatuur, eigen kennis en kennis van geraadpleegde deskundigen is voor beide situaties nagegaan in welke gevallen onomkeerbare schade aan de natuur te verwachten is als gevolg van droogte. De conclusies uit die verkenning zijn ter beoordeling voorgelegd aan een panel van deskundigen tijdens een workshop. Het verslag van die workshop is opgenomen als een bijlage bij dit rapport.

1.4 Begeleiding onderzoek

Het onderzoek is begeleid door een commissie waarin zitting hadden:

- Joop van Bodegraven (LNV directie natuur, voorzitter)
- Frans van Kruiningen (hoogheemraadschap Rijnland)
- Harold van Waveren (RIZA)
- Luit-Jan Dijkhuis (RWS)
- Nicko Straathof (Natuurmonumenten)
- Heiko Prak en Wim Zeeman (DLG)
- Carla van der Gaag-Schaapveld (Rijkswaterstaat, directie IJsselmeerpolders)

1.5 Leeswijzer

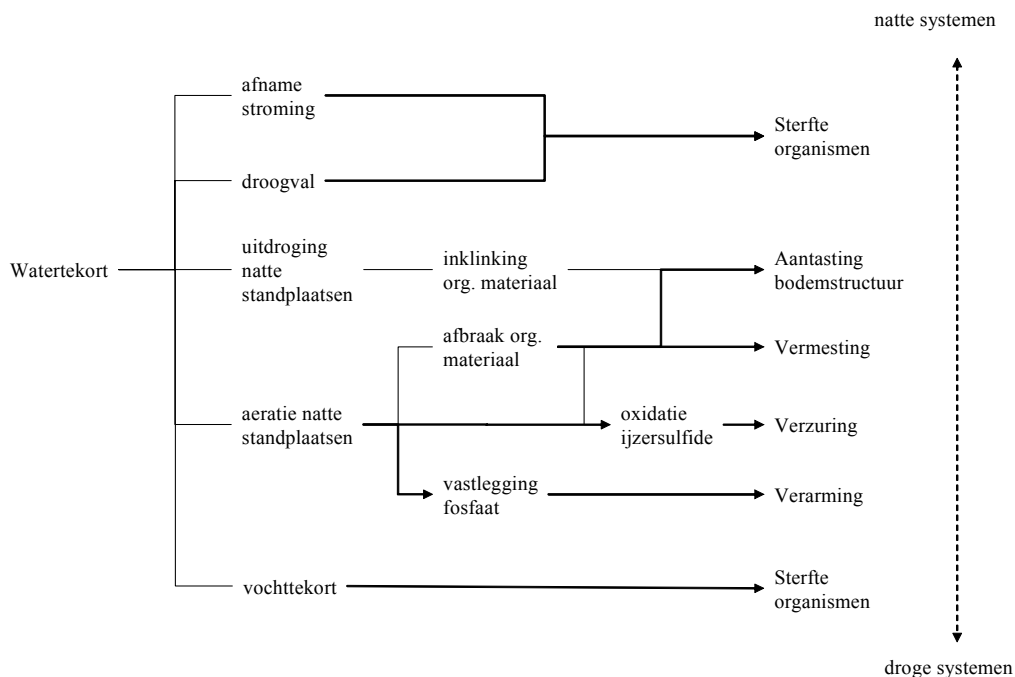
Het rapport begint met een theoretisch hoofdstuk (hoofdstuk 2) waarin wordt ingegaan op de mechanismen die een rol spelen bij droogte en op wat er bekend is over de effecten van droogte op organismen. Dit hoofdstuk is bedoeld als achtergrondinformatie en als verantwoording voor de conclusies en keuzes die worden gemaakt in de daaropvolgende hoofdstukken. Lezers die niet zijn geïnteresseerd in deze achtergrondinformatie kunnen hoofdstuk 2 eventueel overslaan en direct verder gaan met de daaropvolgende hoofdstukken waarin wordt aangegeven in welke situaties onomkeerbare schade te verwachten is als gevolg van respectievelijk een tekort aan water (hoofdstuk 3) dan wel door de aanvoer van water van een verkeerde samenstelling (hoofdstuk 4). In de discussie (hoofdstuk 5) wordt ingegaan op de onzekerheden ten aanzien van de effecten van droogte en wateraanvoer en de consequenties van de verdringingsreeks voor het waterbeheer.

2 Effecten van droogte en wateraanvoer

2.1 Effecten van droogte

In figuur 2.1 staat aangegeven welke effecten verwacht kunnen worden bij een verminderde beschikbaarheid van water. In principe zijn de processen gelijk aan die bij verdroging, maar doordat de ingrepen veel korter en vaak ook veel heftiger zijn dan bij verdroging zijn de effecten vaak anders.

De aard van de effecten is sterk afhankelijk van de vochttoestand in de uitgangssituatie. Aquatische systemen zijn in het algemeen het gevoeligst doordat de aanwezige organismen volledig van water afhankelijk zijn. Bij droogval treedt vaak massale sterfte op door zuurstofgebrek en uitdroging. Echter al voordat het water droogvalt kan sterfte optreden. In stromende wateren kan vermindering van de stroomsnelheid –in combinatie met de hogere temperatuur waarmee droogte meestal gepaard gaat- leiden tot acuut zuurstofgebrek.



Figuur 2.1 Processen die een rol spelen bij de effecten van watertekorten als gevolg van droogte op de natuur.

In natte terrestrische systemen is het voornaamste effect van waterkort dat de normaliter waterverzadigde bodem met lucht in aanraking komt. De toegenomen zuurstofvoorziening leidt tot een heel scala aan biologische en chemische processen. Een belangrijk effect is de versnelde afbraak van organisch materiaal dat zich onder natte, zuurstofarme condities heeft opgehoopt. Toevoer van zuurstof kan door versnelde afbraak leiden tot het stootsgewijs vrijkomen van grote hoeveelheden voedingsstoffen (eutrofiering) en veranderingen in de structuur van de bodem.

Daarnaast treden tal van omzettingsprocessen op doordat verbindingen, die zijn gevormd onder zuurstofloze, gereduceerde omstandigheden, onder de invloed van zuurstof worden geoxideerd. Een van die verbindingen is ijzersulfide, dat bij oxidatie wordt omgezet in sulfaat. Doordat daarbij zuur wordt gevormd kan deze reactie aanleiding geven tot verzuring. Uitdroging kan daarnaast ook leiden tot een verbeterde vastlegging van fosfaat in de bodem aan ijzerverbindingen. Tenslotte kan in niet of weinig gerijpte veengronden die voor een belangrijk deel uit water bestaan het uitdrogen van de bodem leiden tot irreversibele structuurveranderingen.

Als laatste kan droogte kan ook leiden tot sterfte van organismen door vochtgebrek. Door droogte kan de vochtspanning in de bodem zo sterk afnemen dat planten verwelken en sterven.

In onderstaande paragrafen zal een korte toelichting worden gegeven op deze processen.

Negatieve en positieve effecten droogte

In deze studie wordt vanwege de vraagstelling (wanneer treedt onomkeerbaar schade op aan de natuur?) de nadruk gelegd op de negatieve effecten van droogte. Dat zou makkelijk de suggestie kunnen wekken dat droogte altijd slecht is voor de natuur. Niets is echter minder waar. Incidentele droogtes zijn een natuurlijk verschijnsel en vormen in sommige meer natuurlijke systemen zelfs een belangrijke voorwaarde voor de handhaving van de soortenrijkdom. Vochtttekorten en droogval kunnen er voor zorgen dat open plekken ontstaan waar pioniersoorten en aan droogte aangepaste soorten zich kunnen vestigen of uitbreiden

In de duinen bijvoorbeeld spelen droogtes een belangrijke regulerende rol. In droge duingraslanden zorgen droogtes er voor dat de vegetatie voldoende open blijft zodat er ruimte aanwezig blijft voor onder meer winterannuellen, kleine eenjarige soorten die aan droogte zijn aangepast doordat ze in de herfst kiemen, aan het begin van het voorjaar vrucht zetten en de rest van de zomer doorbrengen in de vorm van zaad. In de natte duinvalleien zorgt een afwisseling van droge en natte perioden er voor dat natte duinvalleien niet te ver dichtgroeien en dat er voldoende ruimte blijft voor pionierplanten als Duizendguldenkruid en Waterpunge. Zonder afwisseling tussen droge en natte jaren zouden de duinen veel eenvormiger en soortenarmer zijn dan nu het geval is.

Sterfte van organismen door afname stroming

Met name in stromende wateren komen veel soorten voor die gevoelig zijn voor zuurstoftekorten doordat ze zijn aangepast aan de zuurstofrijke omstandigheden die normaliter in stromende wateren heersen. Een tijdelijke verlaging van de stroomsnelheid in combinatie met een verhoging van de temperatuur kan voor deze organismen fataal zijn.

Verhoging van de temperatuur en verlaging van de stroomsnelheid hebben zowel directe als indirecte effecten op de macrofauna. Verlaging van de stroomsnelheid heeft effect op soorten die direct van stroming afhankelijk zijn, zoals de dieren die voedsel dat met de stroming meekomt uit het water filteren. Een tekort aan aanvoer

van grondwater en verlaging van de stroomsnelheid hebben ook een temperatuurverhoging tot gevolg. Eén van de meest karakteristieke eigenschappen van bronnen en bronbeken is de weinig schommelende temperatuur. Grondwater heeft een vrijwel constante temperatuur die vergelijkbaar is met de gemiddelde luchttemperatuur van 8-11 °C. Op basis van het verloop van de temperatuur zijn de meeste bronnen en bronbeken in Nederland te classificeren als koud stenotherm (= smalle temperatuurrange bij lage waarde; Thiennemann 1922). De temperatuur bepaalt in hoge mate de snelheid van chemische, biochemische en fysiologische processen. De constante brontemperatuur is daarom één van de belangrijkste factoren die de levenscycli en productie van bronorganismen bepaalt. Het eigenlijke bronmilieu kan aan de hand van de dagelijkse variatie en het seizoensverloop van de temperatuur worden begrensd. De temperatuur is de verklarende factor voor het bestaan van uitsluitend in bronnen voorkomende soorten (Verdonschot, 2000a).

Een nieuw ontstane bron in het Natuurreservaat het Springendal bijvoorbeeld, heeft door verdroging van het infiltratiegebied (ontstaan door te snelle waterafvoer door drainage) een niet constante aanvoer van koud grondwater. Doordat de bronbeek af en toe zeer langzaam stroomt en vanaf een bepaald punt opdroogt, kan de temperatuur hoog oplopen tot meer dan 20 °C in de zomer (Nijboer et al., 2003). Voor macrofaunasoorten die afhankelijk zijn van een koudwater milieu is dit desastreus. Verder kan een temperatuurverhoging stimulerend werken op de levenscyclus. Deze kan versneld plaatsvinden (Nijboer et al., 2005), waardoor soorten eerder in een volwassen stadium terechtkomen of er zelfs meer generaties per jaar kunnen zijn. Sommige soorten kunnen hier meer van profiteren dan andere en op die manier andere soorten 'wegconcurreren'.

Verlaging van de stroomsnelheid en verhoging van de temperatuur hebben beide een negatief effect op de zuurstofhuishouding. Verhoging van de temperatuur heeft tot gevolg dat het water minder zuurstof kan bevatten en dat afbraakprocessen toenemen waardoor meer zuurstof geconsumeerd wordt door micro-organismen. Een daling van het zuurstofgehalte is funest voor gevoelige soorten, ook als deze periode niet lang duurt. Stromingsminnende soorten van bronnen en beken zijn vaak soorten die voor hun zuurstofvoorziening van water afhankelijk zijn doordat ze kieuwen hebben. Soorten die uit de lucht ademen zoals longslakken leven vaak vlak onder het wateroppervlak en kunnen een drogere periode beter overleven.

Verlaging van de stroomsnelheid veroorzaakt daarnaast nog een verandering van het substraatpatroon in beken. Fijn sediment kan bezinken en andere substraten die als habitat dienen voor macrofauna bedekken. Dieren die strikt gebonden zijn aan bijvoorbeeld grind of detrituspakketten kunnen hierdoor verdwijnen.

Sterfte van organismen door droogval wateren

Droogval ontstaat meestal in de zomer, wanneer door gebrek aan wateraanvoer (neerslag, kwel), als gevolg van wegzijging en een hoge (gewas-)verdamping het (grond-)waterpeil daalt. Hierbij spelen locale en regionale hydrologische factoren (hoe wordt het water gevoed, mate van isolatie) en locale factoren zoals de mate van beschaduwing een belangrijke rol.

Veel van de in het water aanwezige organismen zijn zeer gevoelig voor droogval omdat ze niet in staat zijn tot luchtaademhaling of makkelijk uitdrogen. De mate van

gevoeligheid verschilt echter sterk per organismegroep en het levensstadium waarin de organismen verkeren.

Organismen die bestand zijn tegen droogval hebben hiervoor een overlevingsstrategie ontwikkeld. Waterplanten bijvoorbeeld kunnen een landvorm bezitten of vormen zaden voordat het systeem droog valt (Grime 1979). Ook bij de macrofauna vraagt het droogvallen een overlevingsstrategie om zich te beschermen tegen, of te onttrekken aan uitdroging. Een groot aantal soortengroepen kent dergelijke strategieën echter niet en komt dan ook niet in droogvallende wateren voor (Verdonschot 2000b). Macrofauna-gemeenschappen in droogvallende wateren worden vaak gedomineerd door larven van vliegende insecten die voor de periode van droogval uitvliegen soms met achterlating van droogteresistente eieren. Binnen andere soortengroepen komen soorten voor die zich niet actief kunnen verspreiden. Binnen deze groepen komen soorten voor die droge perioden als ei, cyste, larve of adult kunnen overleven (Wiggins et al. 1980), vooral in vochtige bodems en achterblijvende poelen.

Bij planten zijn het vooral de ondergedoken waterplanten die gevoelig zijn voor droogval (tabel 2.1). Vooral in permanente wateren komen veel ondergedoken waterplanten voor die een dunne cuticula (opperhuid) hebben en daardoor die snel uitdrogen. In ondiepe, regelmatig droogvallende wateren zoals in vennen komen ook veel soorten voor die droogval kunnen overleven, Bijvoorbeeld doordat ze verschillende groeivormen hebben: een water- en een landvorm. Daarbij wordt de landvorm gekenmerkt door een dikke cuticula en soms ook door de aanwezigheid van beharing, die uitdroging tegengaan. Ook de zogenaamde isoetiden, wortelende waterplanten met een rozet van lijnvormige bladeren, zijn goed aangepast aan het leven in droogvallende wateren.

Het minst gevoelig zijn moerasplanten als riet, biezen en zeggen die door het bezit van een uitgebreid wortelstelsel, steunweefsels en een dikke cuticula weinig last hebben van uitdroging.

Tabel 2.1 Vereenvoudigde indeling van waterplanten naar gevoeligheid voor uitdroging

Groeivorm	Voorbeelden	Gevoeligheid voor droogval
ondergedoken waterplanten	Waterpest, Hoornblad, de meeste Fonteinkruiden	++
waterplanten met drijfbladen	Gele plomp en Waterlelie	+/-
planten met land- en watervorm, isoetiden	Waterranonkel, Oeverkruid	+/-
waterplanten met boven water uitstekende stengels en bladen	Egelskop, Pijlkruid	-
moerasplanten met boven water uitstekende stengels en bladen	Zeggen, Riet en Biezen	--

Er zijn ook planten die juist profiteren van droogval. Het gaat dan onder meer om eenjarige soorten die zich vestigen op drooggevalen plekken. Een voorbeeld is de Moerasandijvie, een internationaal zeldzame soort die massaal kan voorkomen op slibrijke en voedselrijke drooggevalen bodems. Ook zijn sommige moerasplanten,

zoals Riet en sommige biezensoorten, voor hun vestiging afhankelijk van tijdelijk drooggevallen plekken (Vermaat 2002)).

Ook voor sommige diersoorten kan droogval gunstig zijn. In geïsoleerde wateren als vennen en poelen kan incidentele droogval er voor zorgen dat al dan niet uitgezette of met overstromingen aangevoerde vissen dood gaan. Voor de meeste amfibieën en insecten is dat een gunstige ontwikkeling omdat daarmee de predatie door vissen sterk afneemt.

Het tijdstip van droogval is mede bepalend voor de aard van de effecten. Droogval aan het begin van de zomer heeft over het algemeen grotere effecten dan droogval aan het einde van de zomer, omdat veel soorten dan zaden of jongen hebben voortgebracht en daardoor minder kwetsbaar zijn voor verstoring. Bij organismen waarvan jonge en volwassen exemplaren even gevoelig zijn voor droogval maakt het tijdstip waarop droogval plaats vindt uiteraard minder uit.

Aantasting bodemstructuur

Voorals in niet of weinig gerijpte veengronden die nog voor een belangrijk deel uit water bestaan kan uitdroging leiden tot irreversibele veranderingen in de bodemstructuur. Dit is vooral een probleem bij hoogvenen, waar de bovenste veenlaag een belangrijke rol speelt in de waterhuishouding. Door de grote waterberging en mede dank zij het vermogen van het veenmosveen om afhankelijk van het watergehalte mee te krimpen dan wel op te zwellen (sponswerking) is er in levende hoogvenen, zoals in het Meerstalblok in het Bargerveen, sprake van een zeer constante waterhuishouding waarbij permanent sprake is van natte omstandigheden en de grondwaterstand nooit verder dan tot enkele decimeters onder maaiveld zakt. Na grondwaterstandsval, en de daaropvolgende inklinking en veraarding van de bovengrond, is het vochtbergend vermogen van de bodem sterk verminderd en zakt de grondwaterstand in de zomer veel verder weg. Er is sprake van een irreversibele verandering: door de toegenomen grondwaterstandsfluctuaties kan geen veenmosgroei meer optreden, die nodig is om weer nieuw veenmosveen te vormen. Alleen door de veengroei opnieuw te laten plaatsvinden vanuit open water is herstel van het veen nog mogelijk. Als het al lukt om de veenvorming vanuit open water weer op gang te krijgen duurt herstel van levend hoogveen vele tientallen jaren tot honderden jaren (Joosten 1995).

In hoeverre ook incidenteel optredende droogteperioden kunnen leiden tot irreversibele veranderingen van de bodemstructuur in hoogvenen is onduidelijk. In stabiele omstandigheden, waarin zowel klimatologische omstandigheden als de lokale hydrologie geschikt zijn (voldoende neerslag, geringe wegzijging), is het effect van incidentele droogte waarschijnlijk beperkt. In fossiel hoogveen worden vaak op regelmatige afstanden veenlagen aangetroffen die wijzen op een tijdelijk stop in de veenmosgroei en een uitbreiding van heideplanten en Wollegras, waarschijnlijk als gevolg van perioden van droogte. De droge perioden duurden echter blijkbaar niet lang genoeg om te leiden tot de vestiging van bodem en struiken, en daarmee tot moeilijker omkeerbare veranderingen (Joosten 1995). In minder stabiele situaties, bijvoorbeeld in gebieden waar veenvorming zich net begint te herstellen, valt niet uit te sluiten dat een incidentele droogte leidt tot een moeilijk herstelbare schade en dat de veenvorming voor langere tijd wordt geblokkeerd. Voor een onderzoekslocatie in de Mariapeel kon Joosten op basis van veenresten vaststellen dat na de extreme

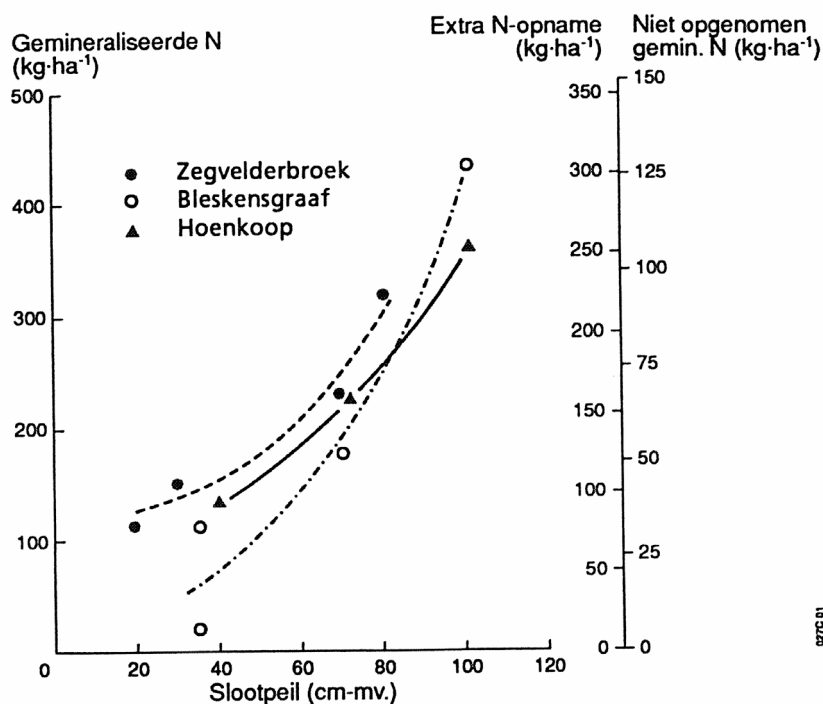
droogte in 1920 en 1921, waarin een groot deel van de Peel werd getroffen door veenbranden, er slechts een geringe uitbreiding plaats vond van Pijpenstrootje (een soort die wijst op uitdroging omdat de soort slecht groeit op permanent natte plaatsen). Nadat begin jaren 40 het gebied gedeeltelijk was ontwaterd als gevolg van ontginning nam de invloed van droge jaren toe: na een aantal droge jaren in 1947 en 1949 en het extreem droge jaar 1959 was in het veen een sterke toename van Pijpenstrootje terug te vinden.

Verarming door vastlegging fosfaat

De mobiliteit van fosfaat in de bodem wordt mede bepaald door het watergehalte. In waterverzadigde bodems is de mobiliteit van fosfaat veel groter dan in niet waterverzadigde bodems (Ponnamperuma 1972). Dat hangt waarschijnlijk samen met de sterkere binding van fosfaat aan het driewaardige ijzer, dat de dominante vorm is waarin ijzer voorkomt onder geoxideerde omstandigheden. Maar ook andere processen als de daling van de pH en de afbraak van ijzersulfide bij droogvallen spelen waarschijnlijk een rol. Het tijdelijk laten droogvallen van natte gebieden in de zomer wordt door Smolders et al. (2003) en Lucassen et al. (2005) genoemd als effectieve maatregel om de beschikbaarheid van fosfaat in natte systemen te beperken. Bij incidentele droogtes zal de betere vastlegging van fosfaat door uitdroging naar verwachting van beperkte betekenis zijn omdat het effect niet blijvend is: door vernatting zal in de jaren na een droogteperiode de beschikbaarheid van fosfaat weer vrij snel verbeteren.

Vermesting door afbraak organisch materiaal

Waar in hoogveen de verandering van de bodemstructuur en daarmee van de vochthuishouding het grootste probleem is, vormt in laagvenen juist de afbraak van organisch materiaal en het daardoor vrijkomen van voedingsstoffen (N, P en K) een mogelijk probleem. In weinig of niet veraarde veengronden kunnen door grondwaterstands daling jaarlijks tot enkele honderden kilo's N per hectare vrijkomen (figuur 2.2). De hoeveelheid stikstof die vrij komt door mineralisatie hangt behalve van de grondwaterstand ook af van het type veen: in oligotrofe veengronden en in sterk veraard veen is de afbraak minder groot dan in relatief weinig veraarde en eutrofe veengronden (tabel 2.2).



Figuur 2.2 Verband tussen het polderpeil en de omvang van de jaarlijkse mineralisatie en opname van stikstof in veengrasland (eutroof veen). Uit: Hendriks, 1992, naar gegevens van Schotborst 1977.

Tabel 2.2 Hoeveelheid stikstof vrijkomend door afbraak van veen bij verschillende ontwateringsdiepten in een drietal natuurgebieden op basis van modelberekeningen. Bron: Hendriks, 1993.

Drooglegging (cm - mv):	N-mineralisatie (kg N/(ha.j))			Type veen
	20	45	70	
Akmarijp (Fr)	70	101	107	koopveengrond op oligotroof veenmosveen
Jisp (NH)	102	120	144	koopveengrond op oligotroof veenmosveen
Donkse Laagten (ZH)	116	152	183	koopveengrond op eutroof bosveen

In vergelijking met stikstof is fosfor in veel geringere hoeveelheden aanwezig in veen. De gewichtsverhouding tussen koolstof en fosfor (de C/P verhouding) in veen varieert van 350 tot ruim 5000, terwijl de verhouding tussen koolstof en stikstof (de C/N verhouding) varieert van 15 tot 70 (Hendriks et al. 1992). Zelfs als rekening wordt gehouden met het feit dat wilde planten qua gewicht ca. 10-15 keer zo veel stikstof als fosfor nodig hebben voor hun groei, betekent dit dat er bij afbraak van veen in verhouding met de hoeveelheid stikstof te weinig fosfor vrijkomt. In welke mate veenafbraak dus leidt tot eutrofiëringverschijnselen hangt dus mede af van de beschikbaarheid van fosfaat uit andere bronnen.

Het risico op de afbraak van veen en het vrijkomen van grote hoeveelheden voedingsstoffen is het grootst in laagveenmoerasgebieden, waar de aanwezige (vliet)veengronden geheel bestaan uit makkelijk afbreek materiaal dat rijk is aan

voedingsstoffen, en waar alleen de permanente waterverzadiging en het gebrek aan zuurstof voorkomen dat het materiaal in hoog tempo wordt afgebroken.

In hoeverre droogval in laagveenmoerasgebieden inderdaad leidt tot eutrofiëringsproblemen is niet duidelijk omdat normaliter om droogval te voorkomen water wordt aangevoerd. Uitzonderingen vormen het Oosterschar in Friesland, waar begin jaren 90 van de vorige eeuw gedurende een aantal jaren geen water werd ingelaten en sloten in de zomer deels droogvielen (Gieske et al. 1994), en het Naardermeer, waar in de jaren 60 en 70 van de vorige eeuw een tijd lang geen water werd ingelaten vanwege de slechte kwaliteit van het Vechtwater (Barendregt 1993). In de Oosterschar zijn de effecten niet gemonitord maar de toenmalige beheerders (Zoetendal en de Wit) kunnen zich geen plotselinge veranderingen (algenbloei, toename brandnetels en andere ruigteplanten) herinneren die wijzen op een sterke eutrofiëring. Genoemd werden wel toename van Rietgras, Pitrus, Pijpenstrootje en bramen. Maar deze toename vond al plaats voordat de waterinlaat werd gestopt en is waarschijnlijk het gevolg van structurele verdroging door toegenomen wegzijging naar de omgeving en als gevolg daarvan lagere zomergrondwaterstanden. In het Naardermeer werd de inlaat van water gestaakt in 1960. Omdat de jaren 1960-1969 relatief nat waren leidde dit aanvankelijk niet tot waterstands dalingen, maar in de drogere periode 1970-1977 daalde de zomerwaterstand met ca 30 cm en de winterwaterstand met ca 10 cm (Barendregt 1993). Het is niet duidelijk in hoeverre deze waterstands daling heeft geleid tot afbraak van veen en bagger en daarmee tot eutrofiëring. Omdat de sterkste afname in kranswiervegetaties en toename in de algengroei werden waargenomen eind jaren 70 en begin jaren 80 is het mogelijk dat de afbraak van organisch materiaal heeft bijgedragen aan de eutrofiëring. Het kan echter ook goed zijn dat nalevering vanuit de dikke baggerlaag in combinatie met een geringe waterdiepte de belangrijkste oorzaak vormt voor de waargenomen eutrofiëringsproblemen (mond. med. Nicko Straathof, Natuurmonumenten).

In het gebied De Deelen is door Wetterskip Fryslân recent een flexibel peilbeheer ingevoerd met maximale peilverschillen van 50 centimeter. De effecten hiervan worden in het kader van het OBN (Overlevingsplan Bos en natuur) onderzocht (Bontes et al. 2005). Doordat het onderzoek nog maar net gestart is zijn er nog geen resultaten te melden. Wel zijn in het kader van dit onderzoek ook experimenten gedaan met de afbraak van Nederlandse en Ierse laagveenbodems. Opvallend daarbij is dat alleen bij de anaërobe afbraak (door aantal keer flushen van incubatieflessen met bodemmonsters met stikstof) in de Nederlandse waterbodems significante hoeveelheden P worden gemobiliseerd. Bij aërobe afbraak (door aantal keer flushen incubatieflessen met lucht) komt nauwelijks fosfor vrij. In de Ierse water- en laagveenbodems leiden geen van beide behandelingen tot het vrijkomen van fosfor. Ammonium komt in alle gevallen wel beschikbaar, zij het iets meer bij anaërobe dan bij aërobe behandeling van de bodemmonsters. De (voorlopige) conclusie van de onderzoekers is dat er in Nederlandse laagveenwateren weinig risico is op eutrofiëring bij peildaling. In hoeverre dit valt te verenigen met hiervoor beschreven effecten van veenmineralisatie na waterstands daling is niet duidelijk.

Omdat peilverlaging zowel kan leiden tot een toename van de voedselrijkdom (vrijkomen van vooral stikstof bij afbraak organisch materiaal) als tot een afname van de voedselrijkdom (vastlegging van fosfaat) en omdat niet bekend is welke effecten in welke situaties overheersen, valt voorlopig nog weinig met zekerheid te zeggen

over de effecten van peilverlaging of droogval in droge zomers op de voedselrijkdom en de soortensamenstelling van laagveengebieden.

Verzuring door oxidatie ijzersulfide

Als gevolg van de reducerende omstandigheden wordt in permanent natte milieus een groot deel van de zwavel die wordt aangevoerd met atmosferische depositie of met oppervlaktewater in de bodem vastgelegd in de vorm van ijzersulfide. Bij het droogvallen van de bodem en het in contact komen met zuurstof uit de lucht wordt dit sulfide omgezet in sulfaat, waarbij zuur wordt gevormd. Dat kan aanleiding geven tot acute verzuring, zoals bijvoorbeeld gebeurde bij veel vennen die in de droge zomer van 1976 droogvielen (Van Dam 1987, 1988). Deze verzuring kan leiden tot sterfte onder planten en dieren. Voornaamste oorzaak van sterfte is vergiftiging door aluminium, dat in de bodem vrijwel altijd in overmaat aanwezig is en dat bij een pH van 4,5 en lager in oplossing gaat en daarmee opneembaar wordt.

Sterfte van planten door vochttekorten

In een gemiddeld jaar bedraagt in Nederland het neerslagtekort, het verschil tussen neerslag en verdamping in het zomerhalfjaar, ruim 100 mm. Daarbij is het tekort in de kuststreek groter (>150 mm) en in het oosten wat minder groot (< 80 mm). Dat betekent dat ook in gewoon jaar de neerslag onvoldoende is voor een optimale verdamping. Op zavel-, klei- en leemgronden en op plekken met een ondiepe grondwaterstand kunnen neerslagtekorten geheel of deels worden gecompenseerd door aanwezigheid van hangwater en capillaire opstijging vanuit het grondwater. Dat betekent dat vochttekorten hier meestal beperkt zijn. Alleen in zeer droge jaren kunnen hier zodanig vochttekorten optreden dat sterfte van planten plaats vindt.

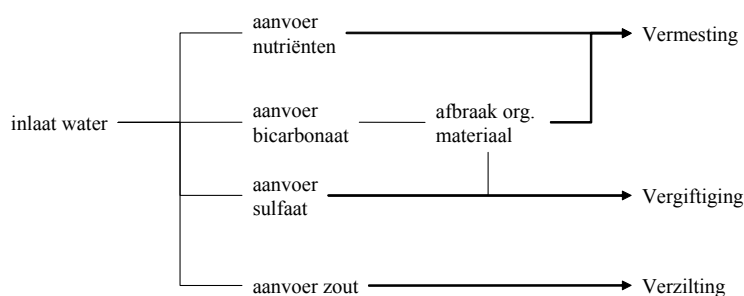
Op zandgronden met een diepe grondwaterstand is dat anders. De hoeveelheid voor de plantengroei beschikbare hangwater is gering. Vaak spoelt een belangrijk deel van de zomerse neerslag oppervlakkig af doordat de humeuze bovenlaag door uitdroging waterafstotend wordt. Hierdoor neemt de hoeveelheid nuttige neerslag nog verder af. Gevolg is dat op zandgronden ook in gemiddelde zomers al ernstige watertekorten kunnen optreden, waarbij in de bovengrond de vochtspanning afneemt tot het verwelkingspunt (Jansen en Runhaar 2001). De plantengroei is hieraan op verschillende manieren aangepast. De meeste soorten die op dergelijke droge standplaatsen voor komen zijn in staat door het afsluiten of afdekken van huidmondjes en door beharing de verdamping te beperken. Veel soorten vermijden eenvoudigweg de droge zomerperiode: eenjarige soorten die kiemen in de herfst en in het vroege voorjaar bloeien en zaad zetten om vervolgens de zomerperiode in de vorm van zaad te overleven.

Op droge standplaatsen vormt incidentele droogte naar verwachting geen al te groot probleem. Integendeel, incidentele droge zomers kunnen helpen om de vegetatie open te houden zodat er voldoende plek blijft voor eenjarige, aan droogte aangepaste soorten. Nadelige effecten van incidentele droogte zijn wel te verwachten op vochtige standplaatsen, waar planten niet of minder zijn aangepast aan vochttekorten. Op natte waterverzadigde standplaatsen is sterfte door vochttekorten alleen te verwachten wanneer de grondwaterstand zo sterk daalt dat het grondwater de wortelzone niet meer bereikt via capillaire opstijging. Tot 1 à 2 m boven de

freatische grondwaterstand is de capillaire opstijging van grondwater meestal voldoende om te voorzien in de waterbehoefte van planten.

2.2 Effecten van wateraanvoer

Om watertekorten voor landbouw en natuur tegen te gaan wordt in droge periodes water ingelaten. Vaak is dat water direct of indirect afkomstig uit de grote rivieren. Voor natuurgebieden kan de inlaat van water ongunstig uitwerken omdat het gebiedsvreemde water rijk is aan nutriënten en aan sulfaat en bicarbonaat. De aanvoer van nutriënten leidt tot vermesting. De aanvoer van sulfaat en carbonaat leidt indirect tot vermesting omdat door deze stoffen de afbraak van organisch materiaal wordt gestimuleerd. Dit wordt meestal aangeduid als 'interne eutrofiering'. Bij de reductie van sulfaat kan in ijzerarme omgeving bovendien waterstofsulfide worden gevormd dat al in lage concentraties toxisch is voor planten en dieren.



Figuur 2.2 Processen die een rol spelen bij de inlaat van water.

De risico's op interne eutrofiering en vergiftiging zijn het grootst wanneer hard sulfatrijk water wordt ingelaten in gebieden met veel organisch materiaal en weinig ijzer in de bodem, d.w.z. in veengebieden. In de volgende paragrafen zal een korte toelichting worden gegeven op bovenstaande processen.

Vermesting door aanvoer nutriënten

Met het oppervlaktewater worden ook nutriënten als N, P en K aangevoerd. Hoewel de kwaliteit van het Rijn- en Maaswater de laatste jaren aanzienlijk is verbeterd, zijn de hoeveelheden N en P nog steeds relatief hoog. Voor fosfor bedroegen de gemiddelde concentraties in 2004 respectievelijk 0,21 en 0,35 mg P/l voor Rijn en Maas, voor stikstof respectievelijk 3,5 en 4,4 mg N/l. De mediane totaal-P en totaal-N concentraties in de landbouwbeïnvloede wateren waren de laatste jaren vrijwel gelijk aan die in de Rijn bij Lobith: ca 0,2 mg P en ca 4 mg N per liter (Portielje et al. 2004). Er zijn echter grote regionale verschillen, waarbij het oppervlaktewater in het rivierengebied en het zandgebied vaak een betere, en in het westen en noorden van het land vaak een slechtere waterkwaliteit heeft dan het Rijnwater.

In de meeste Nederlandse oppervlaktewateren liggen de hoeveelheden fosfor en stikstof dus nog boven de normen volgens het Maximaal Toelaatbaar Risico uit de 4^e Nota Waterhuishouding (0,15 mg P/l en 2,2 mg N/l). Voor waterafhankelijke natuur

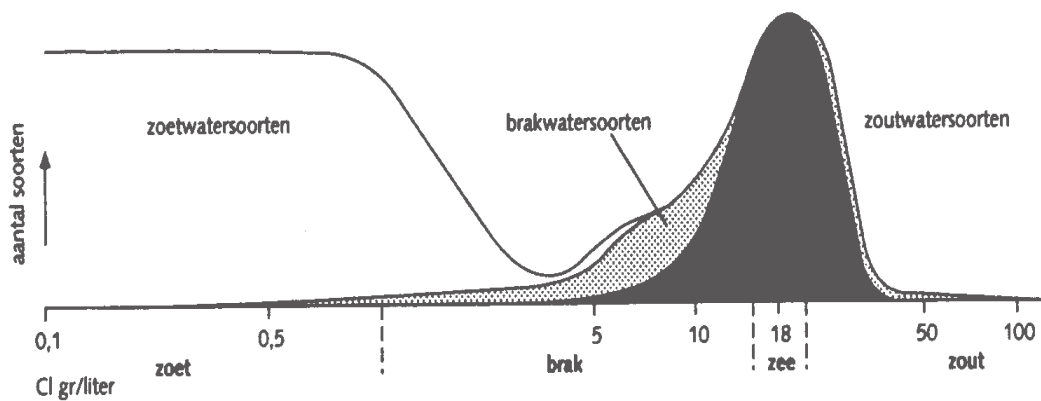
is dat meestal te hoog. Alle in het Handboek Natuurdoeltypen genoemde (half)natuurlijke watertypen hebben een bovengrens die gelijk is aan of lager ligt dan 0,1 mg P/l, voor de meest voedselarme typen als vennen, duinplassen en petgaten geldt een optimum bij waarden van minder 0,04 mg P/l. (Bal et al. 2001). Inlaat van voedselrijk oppervlaktewater in natuurgebieden leidt doorgaans tot eutrofiëringsproblemen, doordat ondergedoken waterplanten worden weggeconcentreerd door algen en de soortenrijkdom sterk afneemt. Door middel van voorzuivering kan het eutrofiërende effect van de inlaat van oppervlaktewater worden tegengegaan. De voorzuivering kan mechanisch zijn (defosfatering van inlaatwater zoals in het Naardermeer) of biologisch (verlengde aanvoerweg of zuivering middels helofytenfilters).

Aanvoer van water hoeft niet altijd te leiden tot een verslechtering van de waterkwaliteit. In wateren die sterk verontreinigd zijn kan aanvoer van water zelfs nodig zijn om te voorkomen dat nutriëntengehaltes zover oplopen dat algenbloei en zuurstoftekorten gaan optreden. Dat speelt vooral een rol bij beken, kanalen en boezemwateren die worden gevoed door effluent van zuiveringsinstallaties. Over het algemeen is de natuurwaarde van dergelijke wateren echter beperkt.

Aanvoer bicarbonaat en sulfaat

Aanvoer van water kan ook indirect, via de afbraak van organisch materiaal, leiden tot verhoogde concentraties aan voedingsstoffen. In de eerste plaats kan de aanvoer van hard, bicarbonaatrijk water leiden tot een verhoging van de pH en daarmee de bacteriële afbraak stimuleren. Dat is het geval wanneer hard oppervlaktewater (het merendeel van de oppervlaktewateren in Nederland is rijk aan bicarbonaat en heeft daardoor een hard karakter) wordt ingelaten in regenwatergevoede gebieden met bicarbonaatarm, zacht water. Vooral hoogveengebieden zijn gevoelig voor inlaat van bicarbonaatrijk water omdat er veel organisch materiaal voorhanden is dat afgebroken kan worden.

Ook het in het inlaatwater aanwezige sulfaat kan de afbraak van organisch materiaal stimuleren, in dit geval doordat sulfaat onder anaërobe omstandigheden de rol van zuurstof als electronenacceptor overneemt. Bij de anaërobe afbraak onder invloed van sulfaat wordt bovendien sulfide gevormd, dat in de vorm van waterstofsulfide (H_2S) uiterst toxisch is. Volgens Smolders en Roelofs (1996) zijn gehalten van 10 μ Mol/l al lethaal voor wortels van Krabbescheer, een soort die zeer gevoelig is voor sulfaataanvoer. Of wel of niet waterstofsulfide wordt gevormd is afhankelijk van het ijzergehalte van de bodem: wanneer voldoende ijzer voorhanden is wordt het gevormde sulfide gebonden aan ijzer (Lamers, 2001).



Figuur 2.3 De kromme van Remane: het verband tussen het zoutgehalte (in g Cl/l) en de soortenrijkdom (Remane en Schlieper, 1971; Wolff, 1989).

anvoer zout

Niet aan zout water aangepaste organismen kunnen ernstige gevolgen ondervinden van de inlaat van brak of zout water, doordat de verhoogde zoutconcentraties leiden tot uitdrogingsverschijnselen en/of de opname van een overmaat aan Na en Cl leidt tot vergiftigingsverschijnselen.

Remane en Schlieper (1971) beschreven het verband tussen het zoutgehalte van een water en de soortenrijkdom in de zogenaamde 'Kromme van Remane' (figuur 2.3). Uit deze kromme valt af te lezen dat de soortenrijkdom het grootst is in zoete en zoute milieus, en dat er relatief weinig soorten zijn die zijn aangepast aan het leven in brakke milieus. Het verdwijnen van sommige echte zoetwatersoorten begint al bij 300 mg Cl/l, en boven de 1000 mg Cl/l nemen deze sterk in aantal af. In het tussenliggende traject kunnen zich nog een groot aantal braktolerante zoetwatersoorten handhaven, met name insectensoorten zoals vedermuggen, waterwantsen en waterkevers. Deze 1000 mg/l wordt ook vaak als een grenswaarde beschouwd, omdat er tot deze waarde nog verscheidene zoetwatersoorten van nutriëntenrijke (belaste) wateren kunnen voorkomen. Boven deze waarde kunnen vrijwel alleen de echte brakwatersoorten zich handhaven.

Met het verder stijgen van het chloridegehalte daalt het aandeel van de insecten, en stijgt het aantal soorten kreeftachtigen (Krebs et al. 1995). Voor de echte brakwaterorganismen ligt het optimum tussen de 3000 en 4000 mg Cl/l. Rond de 10.000 mg Cl/l bereiken ze hun maximum grens van voorkomen (WEW, 1995). In het gebied tussen de 3000 en 5000 mg Cl/l, het optimum van de échte brakwatersoorten, wordt juist ook het minimum aan soorten gevonden (Remane & Schlieper, 1971). Dit traject, waarin grote veranderingen optreden in de ionensamenstelling van het water, vormt min of meer de grens in het voorkomen tussen de zout- en zoetwaterorganismen. Het bovengenoemde soortenminimum komt voor bij macrofauna, macro-algen en vissen (de Boer & Wolff, 1996).

De meeste dierlijke organismen die in brakke wateren voorkomen, zijn eigenlijk braktolerante zoet- of zoutwaterorganismen (Van Beers & Verdonshot, 2000). Slechts een beperkt aantal organismen, de echte brakwaterorganismen, is aangepast

aan de schommelingen in het zoutgehalte. Daardoor zijn de brakwaterlevensgemeenschappen vrijwel steeds relatief soortenarm (WEW, 1995).

De geologisch gezien meestal korte levensduur van brakke wateren speelt waarschijnlijk ook een rol bij de soortenarmoede. Door de overwegend geïsoleerde ligging van brakke wateren (isolatie door land, zoet water of de zee) is de kans op uitsterven van de brakwaterfauna bij het verdwijnen van hun biotoop groter dan bijvoorbeeld bij de zoetwaterfauna (Weeber, 1979). De soortenrijkdom van brakke wateren is het hoogst als ze in contact staan met zeewater of met zoet water. Isolatie heeft dus een nadelig effect op de soortenrijkdom (de Kroon et al, 1985).

Naast de echte brakwaterorganismen komt er ook nog een klein aantal euryhalie organismen (dit zijn organismen die in een brede range van zoutgehalten kunnen voorkomen) voor in de brakke wateren, die hun oorsprong hebben in het zoete of zoute milieu. In het algemeen geldt dat veel soorten van zoete tot licht brakke milieus periodiek hoge zoutgehalten niet overleven. Zoutminnende soorten zijn op hun beurt weer niet aangepast aan periodieke verzoeting (IWACO, 1994).

De aanpassing aan wisselend lage zoutgehalten is moeilijker dan aan permanent lage zoutgehalten. In een stabiele zoutgradiënt kunnen euryhalie mariene soorten tot veel lagere zoutgehalten voorkomen dan in een fluctuerende gradiënt (Den Hartog, 1964). Brakke wateren met een fluctuerend zoutgehalte zijn soortenarmer dan die met een constanter zoutgehalte (Heerebout, 1970).

Organismen die leven in brakke milieus, waarin regelmatig fluctuaties in zoutgehalte voorkomen, hebben veelal morfologische en/of gedragsaanpassingen ontwikkeld. Morfologische aanpassingen zijn met name reductie in grootte en vormveranderingen (Remane & Schlieper, 1971). Gedragsaanpassingen zijn o.a. migratie van fauna (in getijdewateren), zich ingraven (bij borstelwormen) en het sluiten van huisjes bij slakken en schelpdieren, om extreme schommelingen in het zoutgehalte en droogte te overleven (de Boer & Wolff, 1996). Sommige plantensoorten hebben mechanismen ontwikkeld om opgenomen chloride-ionen actief uit te scheiden via secretiecellen. Daarnaast zijn er plantensoorten (o.a. van het geslacht *Ruppia*) die door aanmaak van niet-toxische en goed oplosbare organische verbindingen de osmotische waarde van het cytoplasma in hun cellen verhogen, tot deze gelijk is aan die van de omgeving. Op deze wijze kunnen ze waterverlies voorkomen (Bloemendaal & Roelofs, 1988).

Runhaar et al. (1997) geven op basis van literatuurgegevens en de verspreiding van soorten over Nederland een overzicht van de gevoeligheid van waterplanten voor zout. Daaruit blijkt dat er een vrij grote groep van planten is die zodanig gevoelig is voor zout (of aan zout gerelateerde stoffen) dat ze normaliter alleen voorkomen in wateren met een chloridegehalte van minder dan 200 mg/l. Daaronder vallen veel fonteinkruiden en soorten als Slangenwortel en Krabbenscheer. Een iets grotere groep van soorten is weliswaar gebonden aan zoet water maar kan chloridegehalten tot ca 1000 mg/l nog goed overleven. Er zijn maar weinig waterplanten die hun optimum hebben in licht brak water, met een chloridegehalte van 200-1000 mg/l. Van de vaatplanten is dat alleen Groot Nimfkruid (*Najas marina*). Daarnaast zijn ook veel kranswiersoorten goed aangepast aan het leven in licht brak water, reden waarom in licht brak en matig voedselrijk water vaak door kranswieren gedomineerde vegetaties voorkomen.

Er zijn maar weinig vaatplanten die in water met Cl-gehalten van meer dan 10000 mg/l kunnen overleven, of zelfs gebonden zijn aan brak of zout water. Tot de laatste groep behoren *Ruppia* (*Ruppia* spec.), Zeegras (*Zostera* spec.), Gesteelde zannichellia (*Zannichellia palustris* ssp. *pedicellata*) en Zilte waterranonkel (*Ranunculus baudotii*). In bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van de indeling van waterplanten naar zoutgehalte van het water waarin ze groeien. De indeling is gebaseerd op gegevens uit bij benadering stabiele omstandigheden.

Wat het effect is van een tijdelijke verhoging van het zoutgehalte, zoals meestal het geval zal zijn bij de inlaat van brak of zout water, is minder goed bekend. Haller et al. (1974) vonden bij de relatief zouttolerante soort Aarverderkruid (*Myriophyllum spicatum*, in bijlage 1 met indeling waterplanten naar zoutgevoeligheid aangegeven als kenmerkend voor zoet tot licht brak water) dat sterfte na 4 weken blootstelling pas plaatsvond bij relatief hoge zoutgehaltes van meer dan 10.000 mg/l. Dat staat in contrast met de bevindingen van Rabe (1982) die onderzoek deed naar de effecten van tijdelijke blootstelling aan verhoogde zoutgehaltes op de groei van de zoutgevoelige soort Rossig fonteinkruis (*Potamogeton alpinus*, in bijlage 1 aangegeven als kenmerkend voor zeer zoet water). Hij vond dat bij chloridegehalten van 500 mg/l of meer al binnen 14 dagen leiden tot het volledig afsterven van de planten. Hij maakt daarbij de kanttekening dat de proef werd gedaan in zacht water, en dat in water rijker aan calcium de effecten mogelijk minder sterk zijn omdat calcium de versturende werking op de ionenbalans (door uitwisseling met kalium in de plant) vermindert. Desondanks geeft deze proef aan dat schade aan zoutgevoelige organismen als kan optreden bij relatief lage chloridegehalten en relatief kortdurende blootstelling.

Door Maarten Ouboter van de DWR (mond. med.) wordt gemeld dat de inlaat van brak water met een chloridegehalte van 1200 mg Cl/l in 2003 heeft geleid tot het verdwijnen van Krabbenscheer uit de polder Groot Wilnis-Vinkeveen. Het gaat om water afkomstig uit de polder Groot-Mijdrecht, een diepe polder (-6.70 NAP) met een dunne deklaag waarin veel brak grondwater opkwelt. In normale zomers wordt dit water via de Amstel afgevoerd richting het IJsselmeer, maar in 2003 was de stroomrichting naar het zuiden gericht in verband met de grote hoeveelheden boezemwater die werden ingelaten in de polders. Op die manier kon het water doordringen tot in de polder Groot Wilnis-Vinkeveen. In hoeverre ook het hoge sulfaatgehalte van het water (tussen de 60 en 70 mg sulfaat bij inlaat in polder) een rol heeft gespeeld is niet duidelijk. Gezien de snelle reactie van de plantengroei (een boer meldde dat hij 'de waterplanten onder zijn ogen zag verdwijnen'; ging in dit geval waarschijnlijk om Waterpest) is het echter het meest waarschijnlijk dat het verhoogde chloridegehalte de hoofdoorzaak is van het verdwijnen van Krabbenscheer. Tot op heden is de soort niet teruggekeerd in het gebied, en ook een poging in 2004 om de soort weer uit te zetten mislukte. Meer systematische waarnemingen over de effecten op de plantengroei ontbreken helaas, en ook is niet bekend of de inlaat van zeer licht brak water uit de Hollandse IJssel (ca 300 mg Cl/l) in Reewijk effecten heeft gehad op de aanwezige plantengroei.

Of de snelheid waarmee het zoutgehalte verandert nog een rol speelt is niet bekend, hoewel er wel aanwijzingen zijn dat de snelheid waarmee het zoutgehalte verandert van invloed is op de overleving (Slyter 1961, in Haller et al. 1974). Voor soorten die

zeer gevoelig zijn voor zout zal het weinig uitmaken, maar het zou kunnen dat normaliter meer zouttolerante soorten, zoals de hiervoor genoemde Waterpest, toch problemen krijgen als het zoutgehalte te snel toeneemt.

2.3 Reversibiliteit effecten

Over de snelheid waarmee na droogte herstel optreedt is weinig bekend. De waarnemingen over de effecten van droge jaren zijn al schaars en anekdotisch van aard, en beschrijvingen van het herstel na extreme droogte zijn vrijwel geheel afwezig. Van Dam en Apeldoorn (1978) geven aan dat de effecten van de droogte in 1976 sterk afhankelijk zijn van de mate waarin de waterhuishouding is verstoord. In relatief ongestoord gebieden als de duinvalleien op Voorne, de vochtige duingraslanden op Goeree en in het natte schraalgrasland de 'Veerslootlanden' bij Staphorst konden kritische soorten als Parnassia, Slanke duingentiaan, Bitterling, Herfstschröeforchis en Vlozegge zich handhaven of konden ze zich na de droogte weer herstellen. In gebieden waar de waterhuishouding al verstoord was, en veel grondwaterafhankelijke soorten zich nog net konden handhaven ondanks de ongunstige hydrologische omstandigheden, zouden veel soorten definitief zijn verdwenen. Genoemd wordt de achteruitgang van de Vlozegge in de Allemanskamp in de Gelders Vallei. Dat is echter een weinig gelukkig voorbeeld omdat Vlozegge nooit uit het gebied verdwenen is (Bax et al. 2003). Ook zouden in veel beken zeldzame en kwetsbare stroominnende soorten (genoemd wordt het BERPJE) zijn verdwenen en niet zijn teruggekeerd. Verder wordt genoemd het verdwijnen van Krabbenscheer uit een groot deel van het Kromme-Rijngebied.

Sykora (1978) onderzocht na de droogte in 1978 enkele vennen en natte duinvalleien op Terschelling op veranderingen ten opzichte van de situatie vóór 1976. In de vennen bleken de veranderingen als gevolg van de droge zomer afhankelijk van de voedselrijkdom. In voedselarme vennen waren de vegetatieveranderingen gering, voornaamste effect was een toename van Knolrusvegetaties. In meer voedselrijke vennen was een sterke toename waar te nemen van soorten als Pijpenstrootje, Snavelzegge en Pitrus, en lokaal ook Moeraszuring. Soorten die sterk onder de droogte hadden geleden waren Ronde zonnedauw, die op aantal plekken geheel was verdwenen, en veenmossen en Veenpluis, die deels waren afgestorven. De grootste floristische achteruitgang trad op in het Winkelsven, waar zeldzame soorten als Oeverkruid, Veelstengelige waterbies en Moerasmele sterk waren achteruitgegaan en Ondergedoken moerasscherm geheel verdwenen. In de natte duinvalleien waren de veranderingen minder drastisch, en deels positief (toename van soorten als Oeverkruid, Stijve waterweegbree, Duinrus en Waterpunge door droogvallen plasjes). Dit wordt toegeschreven aan het voedselarme karakter van de duinvalleien.

Over de lange-termijn effecten is zo goed als niets bekend. Voor planten zijn geen blijvende effecten van de droge zomer uit 1976 bekend. Eddy Weeda, die als auteur van de Oecologische Flora en de Atlas van der Nederlandse Plantengemeenschappen een goed kennis heeft van de Nederlandse flora in heden en verleden, kon desgevraagd geen planten bedenken die door de droogte van 1976 definitief uit een natuurgebied verdwenen zijn. Voor libellen zijn wel blijvende effecten bekend: door

het droogvallen van plasjes op de Utrechtse Heuvelrug is de Noordse winterjuffer hier verdwenen en is naderhand niet meer waargenomen (Bos en Wasscher 1997).

Of soorten bij droogte wel of niet verdwijnen hangt sterk af van ruimtelijke aspecten. In grote gebieden met veel ruimtelijke variatie is de kans op uitsterven gering, omdat er altijd wel refugia overblijven waarin soorten zich kunnen handhaven. Dat is waarschijnlijk ook de reden dat, zoals hierboven aangegeven, in natte duingebieden de effecten van droogte beperkt lijken te zijn ondanks het feit dat de fluctuaties in (grond)waterstand daar vaak aanzienlijk zijn. In kleine geïsoleerde systemen als vennen en bovenloopjes van beken is de kans op uitsterven veel groter, en zijn de mogelijkheden voor hervestiging veel kleiner. Een voorbeeld vormt het Schorpioenmos, dat in de 50-er jaren is verdwenen uit het brongebied van de Mosbeek en daar niet is teruggekomen nadat de milieu-omstandigheden weer gunstig waren geworden (Kooijman 1993).

2.4 Overzicht effecten droogte en wateraanvoer per gebiedstype

Zoals hierboven regelmatig aangegeven zijn niet alle ecosystemen even gevoelig voor droogte en wateraanvoer. De gevoeligheid hangt onder meer af van de hydrologie en de bodemopbouw. In bijlage 3 wordt een overzicht gegeven welke typen ecosystemen het meest gevoelig zijn voor de in de paragrafen 2.1 en 2.2 genoemde processen. Daarbij is rekening gehouden met ligging van ecosystemen: inlaat van water heeft weinig effect op wateren die geïsoleerd zijn van het oppervlaktewater (vennen) en inlaat van brak of zout water is in hoog-Nederland niet erg waarschijnlijk.

3 Onomkeerbare schade door droogte

3.1 Inleiding

Criterium voor plaatsing hoog op de verdringingsreeks is dat er sprake is van onomkeerbare schade aan de natuur. Daarnaast moeten er ook mogelijkheden zijn om de droogte tegen te gaan door middel van wateraanvoer. De verdringingsreeks is immers opgesteld om in tijden van watertekorten te besluiten over de verdeling van water. Of het mogelijk is de droogte te bestrijden met wateraanvoer is afhankelijk van het antwoord op de volgende vragen:

- Is aanvoer van water mogelijk?
- Is aanvoer van water effectief om watertekorten tegen te gaan?
- Wegen positieve effecten van waterbeschikbaarheid op tegen mogelijke negatieve effecten van waterkwaliteitsveranderingen?

In de volgende paragrafen wordt verder ingegaan op deze criteria en wordt aangegeven in hoeverre er in Nederland situaties voorkomen die aan al deze criteria voldoen.

3.2 Onomkeerbare schade

In de inleiding is aangegeven dat onomkeerbare schade verwacht kan worden wanneer herstel van droogte langer dan een tiental jaren duurt en het systeem zich tussen twee droogteperiodes in dus onvoldoende kan herstellen. Omdat er weinig bekend is over het herstel van ecosystemen na droogte (par. 2.4) valt echter op basis van empirische gegevens niet af te leiden in welke situaties dat het geval zal zijn. Wel is duidelijk dat de gevoeligheid voor droogteschade afhangt van de natuurlijkheid en de omvang van het systeem. In volledig natuurlijke systemen leidt droogte zelden tot het volledig verdwijnen van soorten en kunnen incidentele droogtes zelfs een voorwaarde zijn voor de instandhouding van de biodiversiteit doordat daarmee successie wordt tegengegaan en geschikte milieus worden gecreëerd voor pioniersoorten. In Nederland komen echter nauwelijks of geen volledig natuurlijke systemen voor. Vrijwel altijd is er sprake van menselijke beïnvloeding. In drie situaties kan die menselijke beïnvloeding leiden tot een vergrootte gevoeligheid voor droogte, te weten:

- (1) in gebieden waar de veerkracht van het systeem is verminderd doordat de waterhuishouding is aangetast (verdroging) en/of doordat ze geïsoleerd zijn ten opzichte van vergelijkbare gebieden (versnippering)
- (2) in kunstmatige systemen die afhankelijk zijn van de aanvoer van water
- (3) bij beken en rivieren voorzien van een omleidingkanaal waarbij de afvoer in de natuurlijke waterloop afhankelijk is van de verdeling van water tussen hoofdwatgang en omleiding

(1) Een voorbeeld van het eerste type systeem vormen vennen, die door de ontginning van omliggende landbouwgebieden relatief geïsoleerd liggen op

stuwwallen en dekzandruggen en bovendien vaak al te lijden hebben van grondwaterstands­daling en verminderde aanvoer van afstromende regenwater door bebossing. Het verdwijnen van de Noordse winterjuffer van de Utrechtse Heuvelrug in 1976 (zie par. 2.4) is een bewijs dat dergelijke systemen kwetsbaar zijn voor droogte. In bijlage 2 wordt voor de verschillende ecosysteemt­ypen aangegeven wat hun droogtegevoeligheid is op basis van onder meer versnippering en verdroging.

(2) Voorbeelden van het tweede type systeem zijn beken en kanalen die gebruikt worden voor de aanvoer van water en infiltratieplassen in de duinen. Door het staken van de aanvoer van water zullen veel van de soorten die van waterafvoer afhankelijk zijn verdwijnen. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de belangrijkste systemen waarin sprake is van kunstmatige aanvoer. Het meest afhankelijk van wateraanvoer zijn infiltratieplassen in de duinen, die zonder aanvoer snel droogvallen. Beken en kunstmatige waterlopen in hoog-Nederland die gebruikt worden om in de zomer water aan te voeren ten behoeve van de landbouw zullen bij afwezigheid van wateraanvoer ook deels droogvallen. Hoewel de genoemde watersystemen primair een andere functie hebben dan natuur (wateraanvoer t.b.v. de landbouw, infiltratie oppervlaktewater t.b.v. de drinkwatervoorziening) kunnen ze wel een belangrijke natuurwaarde hebben. Wateraanvoer vindt ook plaats in sloten, boezemwateren, kanalen, meren en laagveenmoerassen in laag-Nederland, waar 's zomers water wordt ingelaten om peilen te handhaven.

Tabel 3.1 Overzicht systemen met kunstmatige wateraanvoer

Type systeem	Afhankelijkheid van wateraanvoer
infiltratieplassen duinen	+++
vrij afwaterende sloten	++
midden- en benedenlopen beken	++/+
peilgereguleerde sloten, boezemwateren en kanalen	+
laagveenmoerassen en meren	+

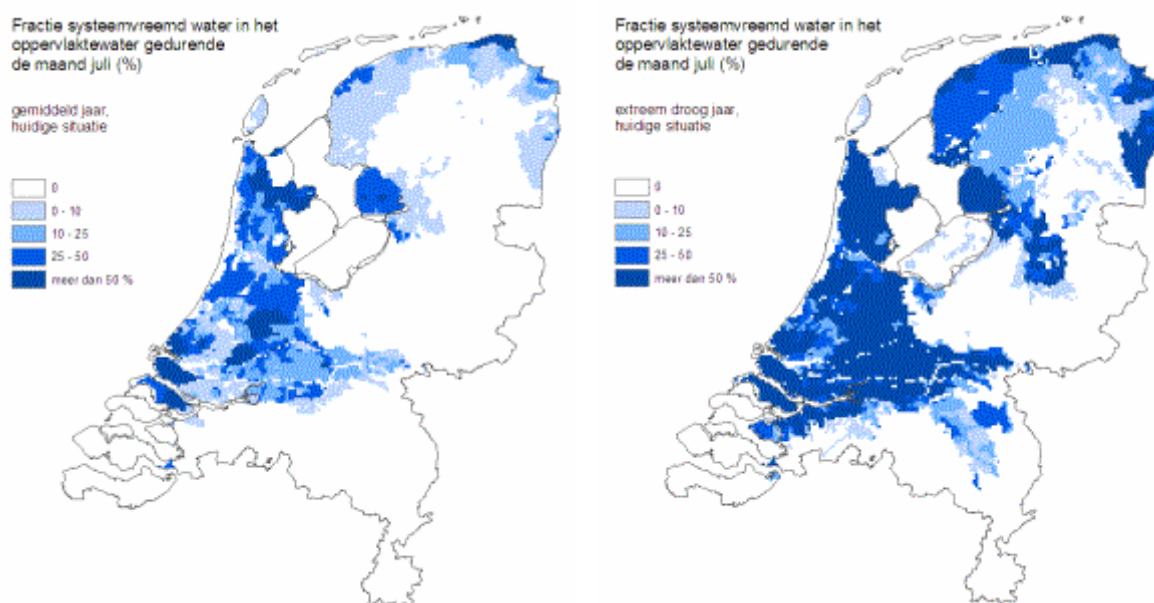
(3) Er zijn in Nederland een aantal rivieren en beken die zijn voorzien van een omleidingskanaal en waarin de afvoer door de natuurlijke waterloop afhankelijk is van de verdeling van het water tussen beide afvoersystemen. Voorbeelden zijn de Grensmaas met het Julianakanaal, de Dinkel met het Omleidingskanaal tussen Denekamp en Lattrop en de Groote Beerze met het omleidingskanaal bij Middelbeers.

3.3 Mogelijkheden om droogteschade te voorkomen

Mogelijkheid wateraanvoer

In hoeverre het in perioden van grote droogte mogelijk is onomkeerbare schade aan de natuur te voorkomen is afhankelijk van de vragen of wateraanvoer mogelijk is. Uit figuur 3.1 is rechts af te lezen in welke delen van Nederland wateraanvoer mogelijk is vanuit de grote rivieren of het IJsselmeer. Daarmee is niet gezegd dat aanvoer overall in de met blauw aangegeven gebieden mogelijk is. Bij geïsoleerde en/of relatief

hooggelegen wateren als vennen is aanvoer van water vaak niet mogelijk doordat er geen verbinding is met de hoofdwatertgangen.

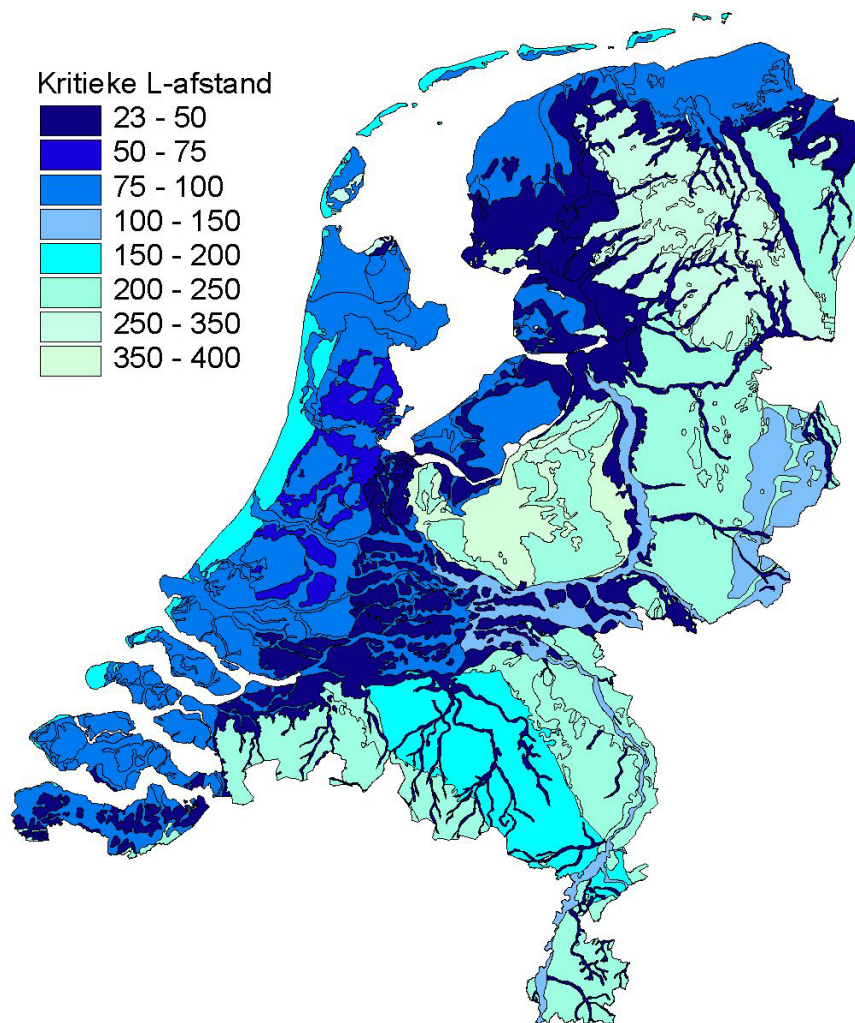


Figuur 3.1 Fractie systeemvreemd water in een gemiddeld jaar (1967, links) en een extreem droog jaar (1976, rechts). Uit: RIZA et al. 2005.

Effectiviteit wateraanvoer

Hoe effectief aanvoer van water is om droogte tegen te gaan is mede afhankelijk van de vraag of het water wel kan doordringen naar de plek waar het nodig is. Bij aquatische systemen zal dit over het algemeen geen probleem zijn, mits er een verbinding is met het hoofdwatersysteem. Bij semi-terrestrische en terrestrische systemen als natte heide, hoogveen en schraalgraslanden is echter ook de afstand van de waterlopen en snelheid waarmee het water doordringt in de bodem van belang. Omdat in tijden van extreme droogte de verdamping vaak groot is, en de snelheid waarmee water doordringt in de bodem gering, is wateraanvoer alleen effectief bij systemen met een geringe afstand tussen de waterlopen en een goed doorlatende bovengrond.

In figuur 3.2 is indicatief aangegeven in welke delen van Nederland invloed van het oppervlaktewaterpeil op de grondwaterstanden relatief groot is. Dat gebeurt aan de hand van de zogenaamde kritieke L-waarde, die door van Bakel en Massop is gedefinieerd als de afstand vanaf de waterloop tot waar nog voldoende wateraanvoer uit het oppervlaktewater mogelijk is om een capillaire opstijging van 2 mm per dag te compenseren. Aangenomen wordt dat tot deze afstand de invloed van het oppervlaktewater voldoende groot is om volledige uitdroging en sterfte van planten tegen te gaan en irreversibele uitdroging van veen tegen te gaan. In bijlage 4 wordt ingegaan op de berekeningswijze van de L-waarde en de onzekerheden die aan de gebruikte methode kleven.



Figuur 3.2 Ruimtelijke verdeling van L-waarden (in meters vanaf de waterloop) op basis van dominante hydrotypen. In met donkerblauw aangegeven gebieden is de oppervlaktewaterstand slechts tot een geringe afstand van de waterlopen van invloed op de grondwaterstand en de vochtvoorziening. Hoogveengebieden zijn niet als aparte eenheid onderscheiden. Voor bepalingswijze zie bijlage 4.

Effecten aanvoer stoffen

Ook wanneer wateraanvoer mogelijk is en effectief is in het bestrijden van watertekorten, is nog de vraag of de aanvoer van nutriënten en andere stoffen niet leidt tot zodanig ongewenste effecten dat de positieve werking van verminderde vochttekorten worden afgezwakt of teniet gedaan. Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 zijn vooral in voedselarme systemen en systemen rijk aan organisch materiaal negatieve effecten van de aanvoer van water te verwachten.

3.4 Beoordeling per systeemtype

In tabel 3.1 is voor de verschillende typen waterafhankelijke ecosystemen in Nederland aangegeven in hoeverre ze aan al de gestelde criteria voldoen, en of ze dus

in droge periodes in aanmerking komen voor hoge prioritering bij de verdeling van water.

Bronnen en bovenlopen van beken voldoen niet aan de gestelde criteria. Weliswaar is gevoeligheid voor verdroging groot vanwege de geïsoleerde ligging, maar er zijn nauwelijks of geen mogelijkheden voor de aanvoer van water. Mochten er wel mogelijkheden zijn voor wateraanvoer dan nog kan de aanvoer van voedselrijk, zuurstofarm warm water geen compensatie bieden voor het wegvallen van schoon en koel zuurstofrijk water, of kan het zelfs leiden tot een toename van negatieve effecten.

Bij *midden- en benedenlopen* van beken en kleine rivieren zijn de mogelijkheden tot aanvoer van water vaak wel aanwezig. Zo zijn er in Brabant diverse beken die vanuit kanalen worden gevoed met Maaswater. Deze situaties zijn aan te merken als extra verdrogingsgevoelig omdat stopzetten van de aanvoer vanwege lage rivierafvoeren al snel leidt tot droogvallen en daarmee tot de sterfte van aanwezige waterorganismen. Ondanks aanvoer van water kan de natuurwaarde redelijk tot goed zijn in deze systemen omdat het stroming waarborgt en de kwaliteit van het water matig tot goed is. Dit kan reden zijn waterinlaat in deze beken te continueren, zelfs als dat vanwege landbouw of andere belangen niet strikt noodzakelijk is. Dit hoeft niet altijd te leiden tot een verminderde waterbeschikbaarheid voor andere functies. Door het waterschap Aa en Maas wordt om droogval van de Aa te voorkomen water ingelaten van de Zuid-Willemsvaart, waarna het afgetapte volume benedenstrooms weer wordt teuggevoerd naar dezelfde vaart (schrift. med. Hans de Bruin, waterschap Aa en Maas). Indien RWZI's op dergelijke beken lozen, of zelfs de het merendeel van de basisafvoer leveren, is de waterkwaliteit vaak minder goed en is er meestal ook weinig natuurwaarde aanwezig.

In meer natuurlijke middenlopen van beken treedt droogval alleen in zeer droge jaren op, maar als het gebeurt zijn de effecten groot en heeft de beek jaren nodig om weer te herstellen. Echter, dergelijke extreme gebeurtenissen zijn ook in het verleden op onregelmatige momenten opgetreden en dergelijke lage frequentie van extreme dynamiek is inherent aan deze systemen. Het is daarom de vraag of het zinnig is om hier alleen voor extreem droge situaties nieuwe aanvoermogelijkheden te creëren.

Om de afvoercapaciteit te vergroten en tegelijkertijd de oude beekloop te sparen zijn een aantal beektrajecten voorzien van omleidingskanalen die bij hoog waterafvoeren een groot deel van de afvoerfunctie hebben overgenomen. Door ook in droge periodes het merendeel van het water af te voeren via het omleidingskanaal zou de oorspronkelijke beekloop kunnen droogvallen. In die situatie is de verdringingsreeks van toepassing, en moet om onomkeerbare schade aan de natuur te voorkomen voorrang moeten worden gegeven aan afvoer via de beekloop. Dit lijkt overigens ook nu al de bestaande praktijk te zijn bij waterbeheerders.

Tabel 3.1 Beoordeling in hoeverre de in deze studie onderscheiden ecosysteemttypen voldoen aan de criteria voor prioritering vanwege onomkeerbare droogteschade

	Droogte-gevoelig	Aanvoer mogelijk	Effectief in bestrijden droogte	Effecten aanvoer stoffen	Oordeel
bronnen en bovenlopen beken	+	-	+	--	-
midden- en benedenlopen beken	±	±	+	±	±
midden- en benedenlopen beken*	+	+	+	0	+
midden- en benedenlopen beken**	++	+	+	0	+
bovenloop rivier**	++	+	+	0	+
midden- en benedenlopen rivieren	-	-	+	0	-
vennen	++	±	+	--	-
vrij afwaterende sloten	±	-	+	-	-
vrij afwaterende sloten*	-	+	0	0	-
peilgereguleerde sloten*	+	+	+	0	+
lijnvormige boezemwateren en kanalen*	-	+	+	0	-
meren en plassen*	-	+	+	0	-
laagveenmoerassen*	++?	+	±	--	?
hoogveen	++	±	-	--	-
natte heide	+	-	-	--	-
natte duinvalleien	±	-	+	-	-
infiltratieplassen*	+	+	+	0	+
voedselrijke moerassen op klei	-	+	±	+	-
schraalgraslanden en broekbossen	++	±	-	-	-

* met kunstmatige aanvoer oppervlaktewater

** met omleidingkanaal

De enige *bovenloop van een rivier* die in Nederland ligt is de Grensmaas. Omdat het gaat om een regenwaterrivier is de afvoer in droge perioden van nature al laag. Het risico op droogval wordt echter nog versterkt doordat een groot deel van het water wat dat bij de grens Nederland binnenstroomt wordt afgeleid via het Julianakanaal en pas stroomafwaarts weer in de Maas terecht komt. Om schade aan de natuur te voorkomen is in het Maasafvoeroverdrag tussen Nederland en Vlaanderen uit 1995 vastgelegd dat in droge perioden een minimale afvoer via de Grensmaas wordt gehandhaafd (10 m³/s). Deze limiet is ooit gekozen om effluent van de DSM voldoende te verdunnen om toxiciteitsproblemen te voorkomen. Vooruitlopend op de huidige verdringingsreeks is daarmee vastgelegd dat in deze situaties de natuur voorrang heeft boven economische belangen (scheepvaart).

Bij *midden- en benedenlopen* van rivieren is de kans op droogval vrijwel afwezig en zijn er bij te lage afvoeren geen mogelijkheden om van elders water in voldoende hoeveelheden aan te voeren.

Vennen zijn door hun geringe omvang en geïsoleerde ligging zeer gevoelig voor droogte. De mogelijkheden voor wateraanvoer zijn echter beperkt en bovendien zijn de negatieve effecten van wateraanvoer naar verwachting groter dan de effecten van

droogval. Na droogval kan herkolonisatie optreden in daaropvolgende jaren. Door de aanvoer van hard voedselrijk water kunnen de levensomstandigheden voor soorten voor vele jaren negatief worden beïnvloed. Alleen in situaties waar het water wordt voorgezuiverd, zoals bij het Beuven op de Strabrechtse Heide, kan inlaat van water een positieve werking hebben. Maar zelfs daar zijn de mogelijkheden om droogte tegen te gaan beperkt: de zuivering heeft een beperkte capaciteit, en om het water het gewenste zwak gebufferde karakter te laten behouden mag de hoeveelheid inlaatwater niet te groot zijn ten opzichte van de hoeveelheid regenwater.

Wat betreft de *vrij afwaterende sloten* in hoog-Nederland is de gevoeligheid voor extreme droogte gering omdat ze ook in normale zomers al vaak droog vallen en de flora en fauna hieraan is aangepast. Aanvoer van water in droge perioden werkt negatief omdat aan droogval aangepaste zachtwatersoorten als de Klimop-waterranonkel (*Ranunculus hederaceus*) en Drijvende waterweegbree (*Luronium natans*, Habitatrichtlijnsoort) te lijden hebben van inundatie met hard, voedselrijk en troebel water.

In een deel van hoog-Nederland wordt in normaliter vrij afwaterende sloten zomers water aangevoerd om vochttekorten in de landbouwgebieden tegen te gaan. Deze sloten zijn echter door hun onnatuurlijke waterregime (staan in de winter vaak droog om pas laat in voorjaar te worden voorzien van water) en waterkwaliteit (voedselrijk water) dermate arm aan soorten dat ze nauwelijks als verdrogingsgevoelig kunnen worden aangemerkt.

In laaggelegen delen van hoog-Nederland, bijvoorbeeld in beekdalen en hoogveenontginningslandschappen, komen wel sloten voor die het hele jaar door watervoerend zijn en die dus gevoeliger zijn voor droogval. Deze zijn qua droogtegevoeligheid vergelijkbaar met peilgereguleerde sloten in laag-Nederland.

In de *peilgereguleerde sloten* in laag-Nederland en laaggelegen natte gebieden in hoog-Nederland vindt ook in normale zomers vaak al inlaat van water plaats om de zomerpeilen te handhaven. Vanwege de (normaliter) geringe peilfluctuaties is de gevoeligheid voor droogval groot. De soortenrijkdom is het grootst in kwelgebieden die worden gevoed door zoet grondwater. De aanvoer van relatief voedselarm grondwater en de vastlegging van fosfaat aan ijzer zorgen voor matig voedselrijke omstandigheden. Ook in extensief gebruikte veenweidegebieden en in natuurgebieden is vaak sprake van goed ontwikkelde watervegetaties en een rijk dierenleven. In deze situaties kan aanvoer van water om de peilen te reguleren ook negatief werken omdat daarmee nutriënten worden aangevoerd ofwel licht brak water wordt aangevoerd waar veel aan zoet water gebonden organismen slecht tegen kunnen. Wat in deze situaties te verkiezen valt, droogval of inlaat, hangt af van de samenstelling van het inlaatwater. Bij inlaat van zout water in zoetwatergebieden zal droogval minder schadelijk zijn voor de natuur dan droogval, bij voedselrijk zoet water zal droogval vaak schadelijker zijn dan inlaat. Hierop wordt teruggekomen in hoofdstuk 4 en in de discussie.

Ook in *laagveenmoerassen* worden de peilen gereguleerd, en wordt dus ook in normale zomers al water ingelaten om de extra verdamping te compenseren. Zoals aangegeven in par. 2.3 kan dit tot ernstige problemen leiden doordat het water rijk is

aan voedingsstoffen en sulfaat en daarmee eutrofiering en vergiftiging kan veroorzaken. Door de inlaat van oppervlaktewater in droge perioden zal de invloed van het inlaatwater toenemen omdat het de kans krijgt ver in de moerasgebieden door te dringen. Omdat er zo weinig bekend is over de effecten van peilfluctuaties en droogval (zie par. 2.1) is echter moeilijk aan te geven wat is te verkiezen: toestaan van lagere peilen of inlaat van water. Uitzonderingen vormen laagveenmoerassen met defosfateringsinstallaties, zoals het Naardermeer, waar extra inlaat van water niet hoeft te leiden tot extra eutrofiering.

In *hoogvenen* is die afweging duidelijker. Hoewel waterstandsverlaging in droge jaren nadelig kan werken in gebieden waar het hoogveenherstel net op gang begint te komen, zijn de effecten te verkiezen boven de inlaat van hard oppervlaktewater die de afbraak van het veen stimuleert. Bovendien is de effectiviteit van de inlaat gering. Alleen in de veenwijken waarin het water wordt aangevoerd wordt verdroging tegengegaan. Vanwege de grote verdamping en de geringe doordringing in het veen is het effect op de vochtbeschikbaarheid in andere delen van het gebied gering (zie par. 3.2).

Handhaving van een hoog peil rondom het veengebied kan wel noodzakelijk zijn om een ander type droogteschade te voorkomen. In veel hoogveengebieden speelt de onder het veen aanwezige zogenaamde gliedelaag een belangrijke rol in de waterhuishouding, omdat deze laag (ontstaan uit amorfe humus die in zeer nat milieu is afgezet) een hoge weerstand heeft en dus de wegzijging van water afremt. Wanneer het water in het zandpakket onder het veen zover daalt dat de gliedelaag wordt blootgesteld aan de lucht kan dit leiden tot irreversibele uitdroging en krimp waardoor de laag waterdoorlatend wordt en de wegzijging uit het veen sterk toeneemt.

In *natte heidegebieden* is aanvoer van water meestal niet mogelijk, en mocht aanvoer wel mogelijk zijn dan is de effectiviteit gering waar het gaat om het tegengaan van vochttekorten.

In *natte duinvalleien* is de gevoeligheid voor extreme droogte beperkt omdat hier van nature al vrij grote schommelingen in grondwaterstand optreden. Bovendien zijn de mogelijkheden voor wateraanvoer beperkt. Een uitzondering vormen de *infiltratieplassen* in de waterleidingduinen. Dank zijn de intensieve voorzuivering zijn deze veel schoner en soortenrijker dan in het verleden, toen ongezuiverd oppervlaktewater werd ingelaten (Janssen et al. 1998). De plassen zijn zeer gevoelig voor droogte omdat ze bij staken van de inlaat binnen korte tijd droogvallen.

Bij *voedselrijke moerassen op klei* is de gevoeligheid voor droogte beperkt. Zoals aangegeven in par. 2.3 wordt in het grootste en meeste bekende gebied, de Oostvaardersplassen, droogval zelfs gericht gebruikt als beheersmaatregel om de successie tegen te gaan en de soortenrijkdom te handhaven. Inlaat van water in droge perioden lijkt daarom niet noodzakelijk.

In *lijnvormige boezemwateren en kanalen*, een ook in de meeste *meren en plassen*, is peilverlaging niet aan de orde omdat ter voorkoming van schade aan veiligheid en infrastructuur de peilen strikt worden gehandhaafd. Een uitzondering vormen het IJsselmeer en de Veluwe-randmeren. Daar treden peilfluctuaties ook nu al op, zij het met een dynamiek die tegengesteld is aan de natuurlijke dynamiek omdat de peilen in de zomer hoger zijn dan in de winter. Een beperkte verlaging van de peilen in de zomer in droge jaren hoeft vanuit de natuur gezien niet ongunstig te zijn omdat het bijvoorbeeld kansen biedt op de vestiging van riet en biezten (zie par. 2.1.) De gevoeligheid voor de aanvoer van stoffen is meestal gering omdat het gaat om voedselrijke systemen. Uitzonderingen vormen de Veluwe-randmeren die relatief voedselarm zijn en waar voor eutrofiering gevoelige kranswiervegetaties voorkomen.

Vanwege hun geïsoleerde ligging en de aanwezigheid van relatief makkelijk afbreekbaar organisch materiaal zijn de verspreid in het agrarisch gebied liggende *broekbossen en natte schraalgraslanden* extra gevoelig voor droogte. Bij schraallanden en broekbossen op goed doorlatende bodems met een geringe slootafstand kan de aanvoer van water een te sterke grondwaterstands daling tegengaan, en ook voor de in slootkanten aanwezige moeras- en schraallandsoorten kan aanvoer van water helpen om droogteschade tegen te gaan. De aanvoer van water kan echter ook leiden tot eutrofiering, en daarmee nadelig zijn voor de aanwezige organismen. Net als bij laagveenmoerassen is dan de afweging aan de orde wat te verkiezen is, droogteschade dan wel vermessing door inlaat van water.

3.5 Conclusie

Situaties die voldoen aan alle criteria (onomkeerbare schade, mogelijkheid tot wateraanvoer, aanvoer effectief tegen droogteschade en geen nadelige effecten aanvoer stoffen) zijn vooral te vinden in kunstmatige systemen, waar ook in normale perioden wateraanvoer plaatsvindt en flora en fauna afhankelijk zijn van die aanvoer. Het gaat dan onder meer om infiltratieplassen in de duinen (en in sommige dekzandgebieden) die worden gebruikt voor drinkwaterbereiding, en beken en kanalen die worden gebruikt voor de aanvoer van oppervlaktewater.

Ook rivier- of beektrajecten die zijn voorzien van een omleidingskanaal, zoals de Grensmaas en Beneden-Dinkel, voldoen eenduidig aan de in de inleiding gestelde criteria. Hier doet zich in perioden met lage afvoer de vraag voor wat de prioriteit krijgt, de afvoer via de natuurlijke waterloop of via het omleidingskanaal. Op basis van de verdringingsreeks zou hier voorrang moeten worden gegeven aan de natuurlijke waterloop. Omdat ook nu al door de betrokken waterbeheerders wordt gezorgd door een minimale afvoer door de natuurlijke waterloop leidt toepassing van de verdringingsreeks hier slechts tot de formalisatie van een bestaande situatie.

Binnen natuurlijke en halfnatuurlijke systemen zijn er nauwelijks situaties die eenduidig voldoen aan alle criteria waaraan de natuur moet voldoen om de hoogste prioriteit te krijgen bij de verdeling van water in droge perioden. Systemen zijn ofwel weinig droogtegevoelig, ofwel de aanvoer van water is niet mogelijk, ofwel de

aanvoer van hard voedselrijk water heeft zodanig negatieve effecten dat droogte te verkiezen valt boven aanvoer van water.

Bij een aantal ecosysteemtypen is aanvoer van water wel mogelijk en ook effectief om droogteschade te voorkomen, maar heeft de aanvoer van stoffen met het water zodanige nadelige effecten dat een afweging moet plaatsvinden tussen droogteschade en schade door inlaat water. Het gaat dan vooral om soortenrijke sloten in kwelgebieden, natuurgebieden en extensief gebruikte veenweidegebieden, en laagveenmoerassen. Op deze afweging zal in de volgende hoofdstukken worden teruggekomen nadat eerst is ingegaan op de schade door de inlaat van water.

4 Onomkeerbare schade door wateraanvoer

4.1 Inleiding

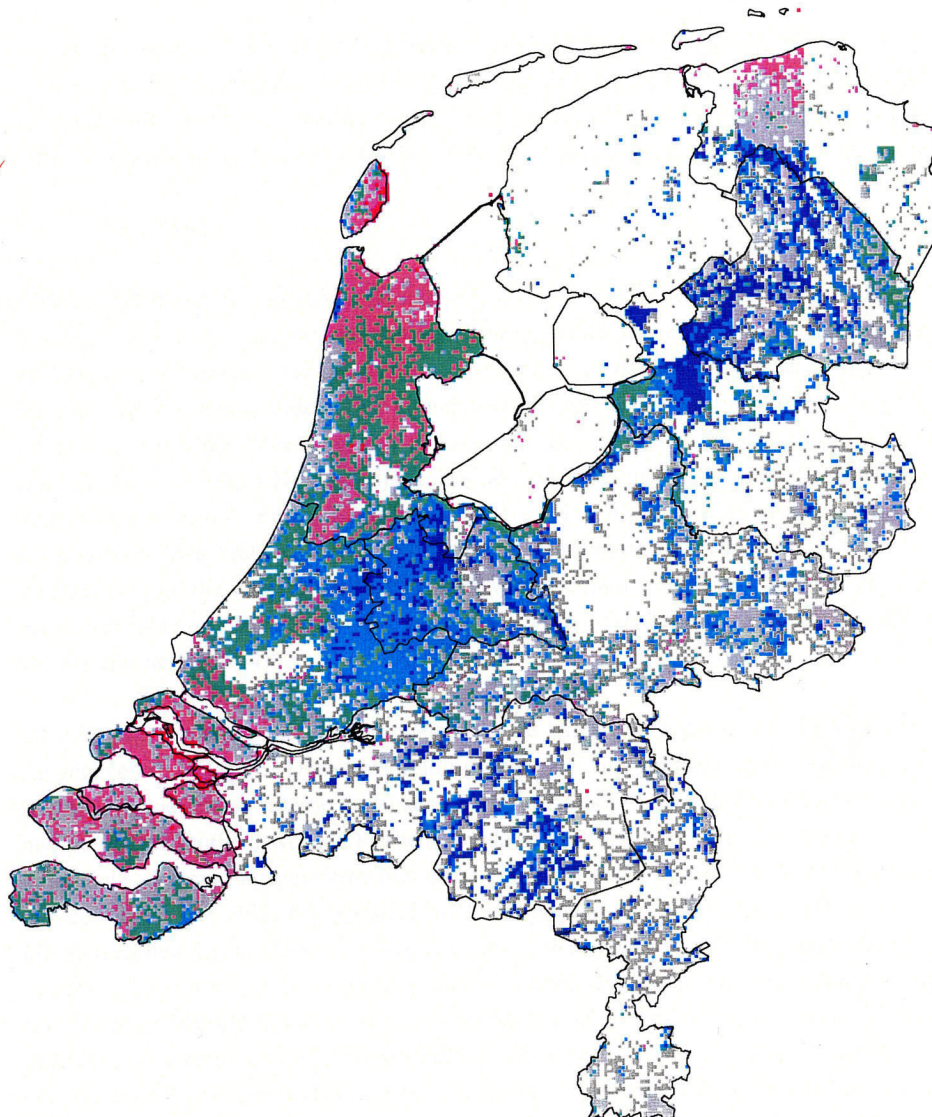
Wateraanvoer is bedoeld om vochttekorten in landbouw- en natuurgebieden te voorkomen en om te voorkomen dat door peilverlaging schade optreedt aan huizen en aan waterkeringen. Ook kan doorspoeling van watergangen een belangrijke reden zijn om water in te laten.

Wanneer het inlaatwater qua chemische samenstelling afwijkt van het aanwezige water kan inlaat van water schade aan de natuur veroorzaken. Ook dan is de verdringingsreeks aan de orde, zij het dat het dan gaat om een ander type afweging dan bij droogteschade. Onomkeerbare schade aan de natuur door waterinlaat kan aanleiding zijn om géén water in te laten, ook als dat vanuit andere functies mogelijk gewenst is. Zoals aangegeven in hoofdstuk 2 zijn nadelige effecten vooral te verwachten bij de aanvoer van zout of brak water in zoetwatergebieden, en de inlaat van hard voedselrijk water in voedselarme tot matig voedselrijke systemen. In de volgende paragrafen zal hier verder op worden ingegaan. Ook zal worden ingegaan op de vraag hoe om te gaan met situaties waarin inlaat van water mogelijk wel gewenst is om droogteschade tegen te gaan, maar waarin aanvoer van chloride en andere stoffen juist leidt tot schade door verzilting en eutrofiering.

Zoals reeds eerder aangegeven in hoofdstuk 3 heeft inlaat van water niet alleen negatieve gevolgen. In wateren die zwaar worden belast met effluent vanuit zuiveringsinstallaties kan doorspoeling met rivier- of IJsselmeerwater nodig zijn om de waterkwaliteit op een aanvaardbaar niveau te houden en algenbloei en vissterfte te voorkomen. Het gaat weliswaar meestal niet om wateren met een zeer hoge natuurwaarde, maar de massaliteit van het effect en de duidelijke zichtbaarheid voor het publiek kan reden zijn om doorspoeling in dergelijke situaties toch een hoge prioriteit te geven.

4.2 Schade door inlaat zout en brak water

Onomkeerbare schade aan de natuur is vooral te verwachten bij de inlaat van zout of brak water in zoetwatergebieden. De ervaringen met de inundatie van Walcheren en de watersnoodramp in 1953 zijn dat overstroming met zeewater leidt tot het verdwijnen van veel soorten en dat het vele tientallen jaren of zelfs langer kan duren voordat zoutgevoelige soorten zich weer vestigen. Langdurige effecten treden niet alleen op bij planten maar ook bij de fauna, zelfs bij soorten die redelijk mobiel zijn (Bakker et al. 1950). En hoewel deze gebeurtenissen niet exemplarisch zijn voor de inlaat van zout water in droge perioden (de hersteltijd is bij een dergelijke grootschalige gebeurtenis zeer lang doordat hervestiging van soorten afhankelijk is van aanvoer van ver weg gelegen gebieden) is uit dit voorbeeld wel duidelijk dat inlaat van zout of brak water in zoetwatergebieden kan leiden tot moeilijk of niet omkeerbare schade aan de natuur.



Figuur 4.1 *Indicaties op basis van waterplanten voor zoutgehalte oppervlaktewater Uit: Runhaar et al. 1997. Blauw: zoet (0-200 mg Cl/l). Groen: licht brak (200-1000 mg Cl/l). Roze en rood: brak tot zout (>1000 mg Cl/l). Wit: geen gegevens.*

Omdat inlaat van zout water ook voor andere functies, zoals landbouw, nadelig is, zal inlaat van zout water in de praktijk weinig voorkomen en alleen aan de orde zijn wanneer de veiligheid in het geding (prioriteit 1 in de verdringingsreeks). Inlaat van brak water komt in de praktijk wel voor, zoals blijkt uit het voorbeeld van de inlaat van brak water (met iets meer dan 1000 mg Cl/l) in de polder Groot Wilnis-Vinkeveen (par. 2.2). Waar inlaat van brak water plaats vindt in zoetwatergebieden zijn de effecten op flora en fauna naar verwachting groot en is dus sprake van onomkeerbare schade.

Minder duidelijk is wat de invloed is van inlaat van water met licht verhoogde chloridegehalten van enkele honderden miligrammen chloride per liter. De inlaat van licht brak water uit de Hollandse IJssel in de droge zomer van 2003 zorgde indertijd voor veel commotie in de pers en heeft nadrukkelijk de vraag aan de orde gesteld wat de effecten van de inlaat van zeer licht brak water zijn. Helaas is er maar weinig kennis over de effecten van tijdelijke blootstelling aan verhoogde chloridegehalten. De aanwezige kennis wijst er echter op dat voor soorten die in bijlage 1 staan aangegeven als zoutgevoelig een blootstelling gedurende enkele weken aan chloridegehalten van meerdere honderden miligrammen al voldoende kan zijn om ze te laten afsterven (zie par. 2.2 over sterfte *Potamogeton alpinus* bij blootstelling aan chloridegehalten van 500 mg/l). Waar kritische grenzen liggen qua chloridegehalte en tijdsduur valt echter op basis van deze gegevens niet goed aan te geven.

Op basis van de soortensamenstelling kan wel een indicatie worden verkregen van de gevoeligheid van gebieden voor de inlaat van licht brak water. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de in bijlage 1 gepresenteerde indeling van waterplanten naar zoutgehalte. In figuur 4.1 is aangegeven waar in laag-Nederland waterplanten voorkomen die zeer gevoelig zijn voor zout (licht en donker blauw) en waar inlaat van licht brak water dus mogelijk negatieve gevolgen heeft voor de flora. Zoals te zien is dat vooral het geval in hoog-Nederland en het aangrenzende laagveengebied. In het kustgebied ontbreken zoutgevoelige soorten grotendeels, met uitzondering van een strook vlak langs de duinen.

Het stopzetten van de inlaat van (licht) brak water is vaak niet mogelijk omdat dat leidt tot schade aan de infrastructuur en/of tot schade aan de natuur door het droogvallen van sloten en plassen. In veengebieden is het bovendien strijdig met prioriteit 1.2 in de verdringingsreeks (voorkomen klink en zettingen). De enige oplossing is dan het kiezen van een zodanige aanvoerbron en aanvoerroute dat inlaat van brak water in gevoelige gebieden kan worden voorkomen. In het voorbeeld van de polder Groot Wilnis-Vinkeveen (par. 2.2) zou dat betekenen dat het brakke water dat wordt uitgeslagen uit de polder Groot-Mijdrecht op een zodanige wijze moet worden afgevoerd dat er geen risico bestaat dat het wordt vermengd met water dat in droge perioden wordt aangevoerd vanuit het IJsselmeer.

In principe kan ook schade aan de natuur optreden bij de inlaat van zoet water in zoutwatergebieden (tabel 4.1). Omdat in zeer droge perioden juist schaarste is aan zoet water is dat echter niet erg waarschijnlijk.

4.3 Schade door inlaat hard voedselrijk water

In de meeste gevallen zal het bij de inlaat van water gaan om hard, voedselrijk en vaak ook sulfaatrijk water dat direct of indirect afkomstig is uit de grote rivieren en dat in meer of mindere is aangerijkt aan voedingsstoffen door effluent van waterzuiveringen en uitspoeling van meststoffen uit landbouwgronden. Nadelige effecten van inlaat van dit water zijn vooral te verwachten in laagveen- en hoogveengebieden, waar veel makkelijk afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is en de gevoeligheid voor interne en externe eutrofiering groot is (zie par. 2.2).

In zwak gebufferde *hoogvenen* zijn de effecten van inlaat zodanig negatief dat droogval te verkiezen is boven de inlaat van hard voedselrijk water. Een uitzondering vormen hydrologische bufferzones (hoogwaterzones) rond hoogveengebieden, die een belangrijke rol kunnen hebben in het voorkomen dat de gliedelaag onder het veen irreversibel uitdroogt (zie par. 3.4).

Grote nadelige effecten van de inlaat van hard voedselrijk water zijn ook te verwachten in geïsoleerde voedselarme systemen als *vennen*, *bovenlopen van beken* en *natte duinvalleien* (zie tabel 3.1). Omdat er meestal geen aanvoermogelijkheden zijn, en aanvoer van voedselrijk hard water vanuit natuurbehoudsoogpunt zeer ongewenst is, zal inlaat van water in dergelijke gebieden echter naar verwachting zelden een discussiepunt zijn in perioden van extreme droogte.

Sloten, laagveenmoerassen en meren in laag-Nederland bevatten relatief voedselrijk en hard water en zijn dus minder gevoelig voor inlaat van water dan de hiervoor genoemde systemen. Bovendien wordt in de meeste gebieden ook in normale zomers al water van elders ingelaten om het peil te handhaven. Toch kan ook hier schade optreden door de inlaat van water, doordat de kwaliteit van het in te laten water verslechtert of doordat voedselrijk water verder in de gebieden kan doordringen. De afweging wel of niet water in te laten is vaak lastig omdat de keuze sterk afhankelijk is van kwaliteit van het in te laten water en er nog veel vragen zijn over de effecten van zowel de inlaat van water als van peilverlaging en droogval.

In *laagveenmoerassen* zijn de meest nadelige effecten van de inlaat van voedselrijk en sulfatrijk water te verwachten omdat er relatief veel makkelijk afbreekbaar organisch materiaal aanwezig is. Het toestaan van peilschommelingen kan een middel zijn om de inlaat van water te verminderen. Probleem is echter dat nog weinig bekend is over de mogelijk nadelige effecten van peilverlaging als gevolg van veenafbraak. Bovendien zijn in veel gebieden de mogelijkheden voor peilfluctuaties gering vanwege het risico op schade aan bebouwing of verzakking van boezemkaden.

In *sloten* in landbouwgebieden zijn de effecten van de inlaat van hard voedselrijk water vaak beperkt, omdat het water door uitspoeling van meststoffen vanuit de landbouw al zo voedselrijk is dat het inlaatwater niet vuiler of soms zelfs schoner is dan het gebiedseigen water (zie par. 2.2). In natuurgebieden en in kwelgebieden komen vaak wel sloten voor die rijk zijn aan waterplanten en fauna. Inlaat van voedselrijk water in droge perioden kan hier leiden tot algenbloei en sterfte van organismen.

Het stopzetten van inlaat is in deze gebieden echter meestal geen optie omdat dit al snel leidt tot droogval of een sterk verminderde zuurstofbeschikbaarheid in de resterende waterlaag, en daarmee tot massale sterfte van organismen. In veengebieden kan droogval van sloten bovendien de klink en zetting van veen versterken. Het voorkomen daarvan heeft een hoge prioriteit in de verdringingsreeks (zie tabel 1.1). De belangrijkste optie om schade te voorkomen is daarom ook hier het kiezen voor een zodanige aanvoerbron en aanvoerroute dat water met een ongewenste waterkwaliteit de meest gevoelige gebieden niet of pas als laatste bereikt. Daarbij dient er rekening mee te worden gehouden dat het inlaatwater niet de

belangrijkste bron voor verontreiniging hoeft te zijn. Inlaat van water in droge perioden kan ook tot gevolg hebben dat in het gebied reeds aanwezig vuil water doordringt in gebieden waar het normaliter niet komt.

Plassen en meren zijn meestal tamelijk voedselrijk, en de gevoeligheid voor aanvoer van voedselrijk en/of licht brak water is dan gering. Er zijn echter ook meren met relatief schoon helder water, zoals een deel van de randmeren langs de Veluwe, en de inlaat van voedselrijk water kan dan een bedreiging vormen voor de aanwezige watervegetaties en de van deze vegetaties afhankelijke dieren. Het toestaan van peilverlaging in droge zomers kan een middel zijn om de inlaat te beperken maar is vaak niet mogelijk vanwege schade aan veiligheid en/of bestaande infrastructuur.

4.4 Conclusies

Inlaat van zout water in zoetwatergebieden en inlaat van hard voedselrijk water in gebieden met voedselarm water kunnen leiden tot schade aan de natuur. De nadelige effecten van inlaat van brak en zout water in zoetwatergebieden zijn groot en leiden over het algemeen tot onomkeerbare schade. Peilverlaging en droogval zijn in dat geval minder schadelijk voor de natuur. Probleem is dat inlaat vaak toch nodig is om de veiligheid te waarborgen en klink en zetting tegen te gaan (prioriteiten 1.1 en 1.2 in de verdringingsreeks). De belangrijkste maatregel om inlaat van brak of zout water te voorkomen is daarom te kiezen voor een zodanige aanvoerbron en aanvoerroute dat brak of zout water de gevoelige gebieden niet kan bereiken.

Minder duidelijk is wat de effecten zijn van de inlaat van water met licht verhoogde chloridegehalten van enkele honderden milligrammen chloride per liter. Wel is duidelijk dat blootstelling gedurende enkele weken aan licht brak water (500 mg Cl/l) voldoende kan zijn om zoutgevoelige waterplanten te doden. Op basis van de indeling van soorten naar zouttolerantie kan worden nagegaan in welke gebieden dit speelt. Veiligheidshalve kan ook hier het beste worden gekozen voor een zodanige inrichting van het watersysteem dat licht brak water niet kan doordringen in de daarvoor gevoelige gebieden.

In laagveenmoerassen kan zowel droogval als de inlaat van voedselrijk (en sulfaatrijk) water leiden tot nadelige effecten en is nog onvoldoende duidelijk in welke situaties droogval te verkiezen is boven inlaat. In sloten zijn de effecten van de (extra) inlaat van voedselrijk water in zeer droge perioden naar verwachting meestal gering, met uitzondering van sloten met een goede waterkwaliteit die vooral voorkomen in natuurgebieden en in kwelgebieden. Omdat stopzetten van inlaat waarschijnlijk leidt tot droogteschade kan schade door inlaat van voedselrijk water het beste worden voorkomen door een zodanig inrichting van het watersysteem dat water met een ongewenste kwaliteit de gevoelige gebieden niet of pas in laatste instantie bereikt.

In voedselarme zachtwatersystemen als vennen en hoogvenen is de inlaat van hard voedselrijk water funest. Dit zal echter zelden leiden tot afwegingsproblemen omdat hier over het algemeen geen andere functies dan natuur gelden.

5 Discussie

Onomkeerbare schade door droogte

De hoofdvraag in deze studie is wanneer onomkeerbare schade is te verwachten door droogte, en in welke situatie de natuur dus prioriteit moet krijgen bij de verdeling van water. Dit is lastige vraag, onder meer omdat zo weinig bekend is over de reversibiliteit van de effecten van droogte. Maar ook theoretisch is het een lastige vraag, omdat incidentele droogte een natuurlijk verschijnsel is en het dus de vraag is of veranderingen door droogte wel als schade mogen worden opgevat. Moet het verdwijnen van een soort die zich heeft gevestigd in een relatief natte periode worden gezien als schade of juist als een natuurlijk fenomeen dat leidt tot het herstel van een meer natuurlijke, aan het klimaat aangepaste situatie? Bovendien kunnen incidentele catastrofes die voor de ene soort nadelig zijn voor andere soorten weer kansen bieden. Zo kunnen droogtes een belangrijke bijdrage leveren aan het afremmen van de successie en de instandhouding van de biodiversiteit, doordat het kans biedt aan pioniers die het moeten hebben van droogvallende plekken. Op grond hiervan zou kunnen worden aangevoerd dat incidentele droogtes geen probleem vormen en dat veranderingen die optreden door droogtes moeten worden geaccepteerd als een natuurlijk verschijnsel.

Probleem is echter dat in Nederland nauwelijks sprake is van natuurlijke systemen. Veel waterafhankelijke ecosystemen zijn verzwakt door verdroging en versnippering. Als gevolg daarvan zijn populaties van voor deze systemen kenmerkende soorten dermate klein en zijn de afstanden tussen de populaties zodanig groot dat elke extra verstoring kan leiden tot het lokaal of landelijk uitsterven van een populatie, zonder dat er mogelijkheden zijn voor herstel. Bovendien zijn er veel systemen die extra droogtegevoelig zijn omdat ze afhankelijk zijn van aanvoer van water of juist omdat water wordt afgevoerd ten behoeve van andere functies.

Interactie met verdroging en versnippering

In waterafhankelijke systemen die al verzwakt zijn door verdroging en versnippering, is de kans op het uitsterven van populaties van bedreigde soorten groot, en dit zou reden kunnen zijn om ze in droge perioden bij de verdeling van water prioriteit te geven. Echter, de mogelijkheden om in droge perioden in te grijpen en watertekorten tegen te gaan zijn gering. Vaak zijn er geen mogelijkheden voor wateraanvoer of is wateraanvoer niet effectief omdat water niet snel genoeg doordringt tot in de wortelzone. Bovendien is in de meest kwetsbare ecosystemen de waterkwaliteit zeer belangrijk, bijvoorbeeld omdat ze afhankelijk zijn van voedselarm zacht (regen)water of van voedselarm kwelwater. Inlaat van water met een afwijkende kwaliteit kan dan dermate negatieve effecten hebben, dat de schade door wateraanvoer groter is dan de schade door droogte.

Daarom is het tegengaan van droogteschade vaak alleen mogelijk door structurele maatregelen te nemen in normale perioden, gericht op tegengaan van versnippering en herstel van de natuurlijke waterhuishouding. Dit komt overeen met de bevinding van de deskundigen die in het kader van de droogteschade eerde zijn geraadpleegd (Rondetafel bijeenkomst Natuur, 18 febr. 2004, in kader Droogtestudie georga-

niseerd door RIZA en Arcadis). Zij gaven aan dat structurele aantasting van de waterhuishouding (verdroging) een veel groter probleem vormt dan incidentele droogtes. Met name bij vennen, bronnen, bovenlopen van beken en natte schraalgraslanden is door verdroging en de versnipperde ligging de gevoeligheid voor incidentele droogtes groot (zie bijlage 2), en zijn dus structurele maatregelen nodig om deze systemen uit te breiden en de verdroging tegen te gaan.

Helaas blijft de bestrijding van de verdroging ondanks alle goede bedoelingen ver achter bij de doelstellingen. De voortgaande daling van de grondwaterstanden in Nederland (Knotters en Jansen 2005) en de teleurstellende resultaten van de tot nu toe uitgevoerde antiverdrogingsprojecten in natuurgebieden geven aan dat het tot nu toe gevoerde beleid (aanpak middels gesubsidieerde projecten) te kort schiet. Of de verdringingsreeks het juiste middel is om hier verandering in brengen is de vraag. De verdringingsreeks beperkt zich immers tot situaties van droogte wanneer acuut besloten moet worden over de verdeling van water, terwijl voor het tegengaan van verdroging juist structurele maatregelen in 'normale' perioden nodig zijn.

Zoals bij alle beleidsthema's is de verleiding groot om milieuproblemen onder de noemer van dan actuele beleidsthema's te brengen. Het is echter niet verstandig om droogte en verdroging onder één noemer te brengen omdat dat kan leiden tot verwarring en in het ergste geval tot averechtse maatregelen, zoals de inlaat van water in gebieden gevoelig voor gebiedsvreemd water. De huidige verdringingsreeks is geen geschikt middel om verdroging tegen te gaan, maar de achterliggende gedachte (tegengaan onomkeerbare schade door droogte) vormt wel een belangrijk argument om verdrogingsbestrijding een extra impuls te geven.

Systemen afhankelijk van wateraanvoer of -afvoer

Een verhoogd risico op schade door droogte bestaat ook in halfnatuurlijke systemen die afhankelijk zijn van de aanvoer van water of waar een deel van het water wordt afgevoerd ten behoeve van andere functies als scheepvaart en landbouw. Om onomkeerbare schade aan de natuur tegen te gaan is het in deze situaties belangrijk dat in droge perioden wateraanvoer en waterdoorvoer worden gehandhaafd.

Vraag is wel wanneer in dergelijke kunstmatige systemen nog gesproken mag worden van natuur en of er geen rekening moet worden gehouden met de aanwezige natuurwaarden. Bij veel van de infiltratieplassen in de duinen en bij rivieren met een omleidingskanaal (Grensmaas, Dinkel) is evident dat het gaat om natuurlijke systemen dan wel kunstmatige systemen met een zodanige natuurwaarde dat ze een belangrijke betekenis hebben voor de instandhouding van de biodiversiteit. Maar sommige beken en sloten die worden gebruikt voor de aanvoer van water zijn door de grote voedselrijkdom en de onnatuurlijke waterdynamiek zodanig arm aan soorten dat de vraag gesteld kan worden of er in die gevallen sprake is van zodanige natuurwaarden dat deze systemen voorrang moeten krijgen bij de verdeling van water.

Omgrenzing 'natuur'

Formeel telt in verdringingsreeks elke onomkeerbare schade aan de natuur mee, zonder dat daarbij onderscheid wordt gemaakt naar status (wel of niet natuurgebied)

of natuurwaarde (soortenrijkdom en aanwezigheid bedreigde soorten). De vraag is of dat reëel is, en of bij de afweging met andere belangen niet ook rekening zou moeten worden gehouden met de status van een gebied of met aanwezige natuurwaarden. Een inperking op basis van de status (wel of niet beschermd natuurgebied) is het makkelijkst uit te werken als criterium. Een inperking op basis van aanwezige natuurwaarden is lastiger, maar doet meer recht aan het uitgangspunt van de verdringingsreeks. De waterafhankelijk natuurwaarden in Nederland zijn namelijk deels gebonden aan wateren zonder natuurfunctie, zoals sloten. Veel van de soorten die in Nederlandse sloten nog vrij algemeen voorkomen, zoals diverse soorten fonteinkruiden en andere waterplanten, zijn op Europese schaal zeldzaam en hebben hun zwaartepunt in ons land. Een inperking tot formeel beschermde natuurgebieden zou geen recht doen aan de betekenis die sloten en andere kleinere wateren hebben voor de landelijke en Europese biodiversiteit.

Onomkeerbare schade door wateraanvoer

Anders dan bij droogte gaat het bij wateraanvoer om een kunstmatige ingreep, die bovendien door de aanvoer van milieuvreemde stoffen grote invloed kan hebben op oppervlaktewaterafhankelijke systemen.

Bij grotere natuurgebieden als laagveenmoerassen en hoogveengebieden gaat het bij de keuze wel of niet water in te laten primair om een interne afweging tussen schade aan de natuur door droogval en schade aan de natuur door inlaat van water. In hoogveengebieden zijn de effecten van wateraanvoer zodanig negatief dat droogval vrijwel altijd te prefereren is ten opzichte van het aanvoeren van water. In laagveenmoerasgebieden is het minder eenvoudig aan te geven wat beter is: droogval of (extra) inlaat van water. De nadelige effecten van voedselrijk en sulfaatrijk water in laagveenmoerassen zijn inmiddels goed bekend. Veel minder duidelijk is echter wat de effecten zijn van peilwisselingen en droogval. Het gaat bij laagveenmoerassen om grotendeels kunstmatige systemen die al meer dan een eeuw lang een strikt gereguleerd peil kennen, zodat er geen ervaring is met de effecten van wisselende peilen en de aanwezige systemen ook zijn aangepast aan een zeer stabiel peil. Het is daarom verstandig eerst experimenten op praktijkschaal te doen alvorens op grote peilschommelingen toe te staan. Bovendien zal bij veel laagveenmoerasgebieden rekening moeten worden gehouden met de aanwezigheid van bebouwing en infrastructuur aan de randen van de gebieden.

In sloten en kanalen is de aanvoer van water meestal bedoeld om schade aan landbouw en infrastructuur te voorkomen of om water naar elders door te voeren, en is dus in vrijwel alle gevallen een externe afweging met andere belangen aan de orde. In veel gevallen zal de gevoeligheid meevallen omdat het gaat om systemen die al regelmatig onder invloed staan van aangevoerd water en/of systemen die door uitspoeling van meststoffen zeer voedselrijk en daardoor arm aan soorten zijn. Uitzonderingen vormen sloten in natuurgebieden en extensief beheerde landbouwgebieden, en kwel sloten die in normale jaren onder invloed staan van relatief schoon opkwellend grondwater. Hier komen veel soorten voor die gevoelig zijn voor de aanvoer van zout en voedingsstoffen.

De grootste effecten van inlaat van water zijn te verwachten bij de inlaat van brak en zout water in zoetwatergebieden. Dit heeft dermate negatieve gevolgen dat dit

duidelijk valt onder ‘onomkeerbare schade’ volgens de verdringingsreeks. Dat impliceert dat inlaat alleen toegestaan is als dat noodzakelijk is voor de veiligheid of om klink en zetting tegen te gaan (prioriteiten 1.1 en 1.2 uit de verdringingsreeks). Omdat de problematiek rond de inlaat van brak water in zoetwatergebieden vooral speelt in laagveengebieden leidt dit direct tot de vraag of zetting en klink van veen bij stopzetten van inlaat een dermate groot probleem vormen dat dit voldoende reden is om onomkeerbare schade aan de natuur te rechtvaardigen. Om te voorkomen dat onder tijdsdruk dergelijke lastige afwegingen moeten worden gemaakt verdient het aanbeveling om van te voren na te gaan waar verziltingsproblemen zich kunnen voordoen in droge periodes, en vooraf hiervoor scenario's te ontwikkelen. Nog beter is het natuurlijk om dit soort afwegingsproblemen te voorkomen, door er voor te zorgen dat brak water de daarvoor gevoelige gebieden niet kan bereiken. Dat geldt ook voor de inlaat van water met licht verhoogde chloridegehalten van enkele honderden milligrammen per liter. Het is niet duidelijk of inlaat van heel licht brak water leidt tot onomkeerbare schade aan de natuur, maar om mogelijke schade te voorkomen is het ook hier waarschijnlijk het verstandigst om inlaat te voorkomen. Bijvoorbeeld door een zodanige keuze van de aanvoerroute dat het licht brakke water gebieden niet of slechts in een laat stadium bereikt.

Regionale uitwerking

In deze studie is alleen aangegeven in welke situaties mogelijk onomkeerbare schade te verwachten is aan de natuur. Of er ook daadwerkelijk schade zal optreden hangt echter sterk af van de lokale situatie en van de aanwezige natuurwaarden. Ook de vraag op welke wijze droogteschade valt te voorkomen kan alleen gebiedspecifiek worden beantwoord. Behalve aan het inlaten van water (of juist het achterwege laten van inlaten) kan in gebiedsspecifieke studies ook aandacht worden besteed aan andere maatregelen, zoals de verlegging van aanvoerroutes zodanig dat water wordt aangevoerd van andere waterkwaliteit of een zodanige inrichting van het watersysteem dat water met een ongunstige waterkwaliteit gevoelige gebieden niet of pas als laatste bereikt.

Uitwerking afwegingsprocedure aan de hand van proefgebieden

Bij waterbeheerders is er behoefte aan een eenduidig antwoord op de vraag in welke situaties water aangevoerd moet worden om onomkeerbare schade aan de natuur te voorkomen, dan wel inlaat van water moet worden vermeden om onomkeerbare schade door de aanvoer van ongewenste stoffen tegen te gaan. Helaas is, zoals hierboven aangegeven, een eenvoudig antwoord op deze vraag niet mogelijk omdat:

- effecten van droogte en wateraanvoer niet altijd goed bekend zijn;
- effecten sterk afhankelijk zijn van de regionale context;
- lang niet altijd duidelijk is wat zwaarder weegt, droogteschade of schade door inlaat van water;
- gevoeligheid voor droogte en inlaat van water mede afhankelijk is van de inrichting van het watersysteem;
- beoordeling van de schade mede afhankelijk is van de aanwezige natuurwaarde.

Dat betekent dat vrijwel altijd een afwegingsproces nodig is waarin rekening wordt gehouden met regionale bijzonderheden en met onzekerheden, en waarin zowel wordt gekeken naar korte-termijnmaatregelen, gericht op het tegengaan van schade in

droge zomers, als naar lange-termijnmaatregelen, die nodig zijn om de gevoeligheid voor droogteschade te verminderen. Zoals eerder aangegeven dient de afweging plaats te vinden binnen een gebiedsspecifieke uitwerking.

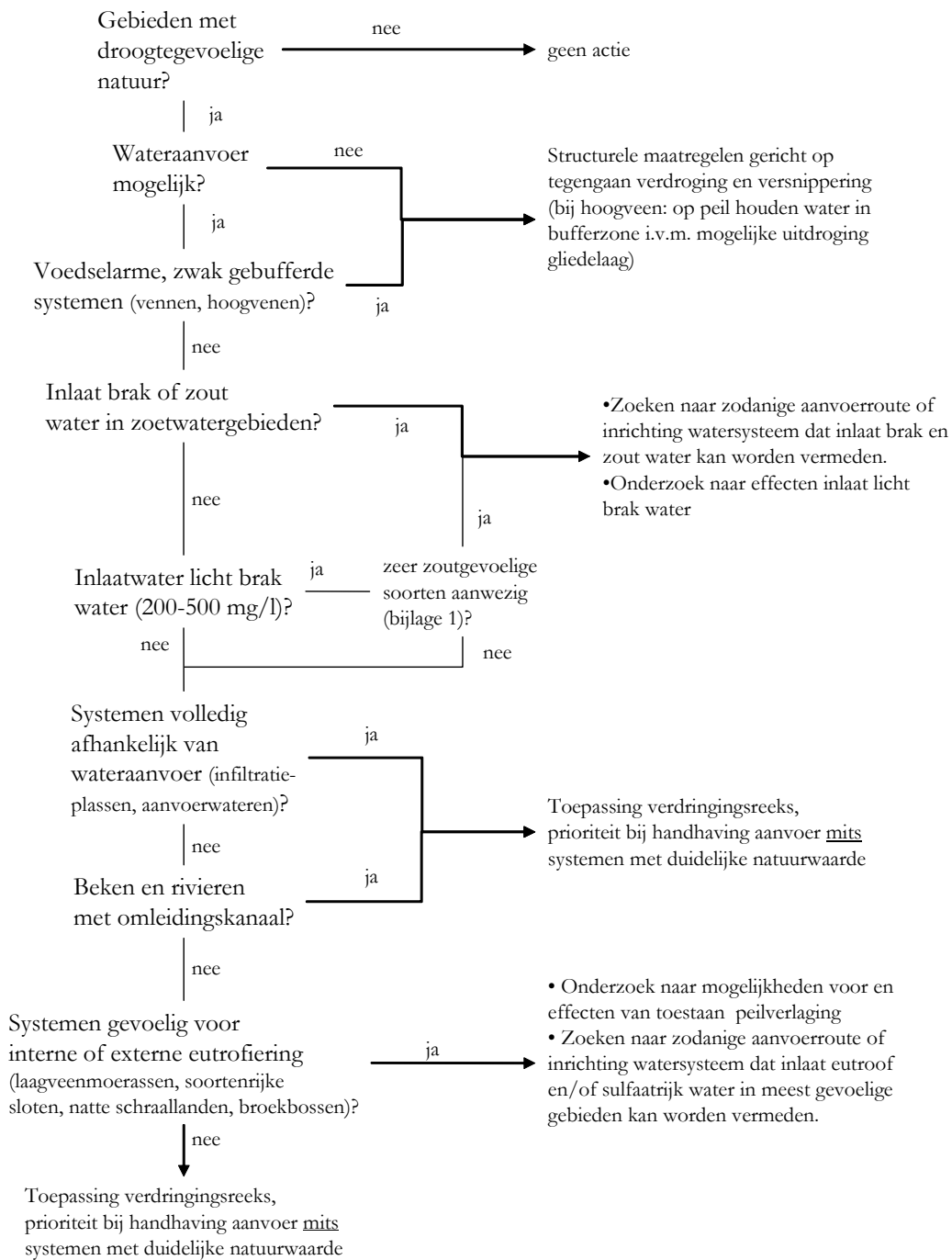
In figuur 5.1 is aangegeven hoe in een dergelijke gebiedsspecifieke procedure vorm zou kunnen worden gegeven aan een dergelijk afwegingsproces. Daarbij wordt uiteraard als eerste gekeken of droogtegevoelige natuur voorkomt, en zo ja of er mogelijkheden zijn voor wateraanvoer. Zijn er geen mogelijkheden voor wateraanvoer, of heeft waterinlaat zodanige negatieve consequenties dat het moet worden vermeden, dan is het niet mogelijk om in droge perioden droogteschade te voorkomen. Wel kunnen dan structurele maatregelen worden genomen om de droogtegevoeligheid van gebieden te verminderen door verdroging, verzuring en versnippering tegen te gaan.

In het geval dat er sprake is van inlaat van brak of zout water in zoetwatergebieden is er eenduidig onomkeerbare schade door de inlaat van water en is de verdringingsreeks van toepassing, zij het in negatieve zin (afzien van inlaat om onomkeerbare schade aan de natuur te voorkomen). Omdat stopzetten van inlaat weer leidt tot droogteschade, en om dat inlaat vaak nodig is om de veiligheid te waarborgen en klink en zetting tegen te gaan, is de beste oplossing om te zoeken naar een zodanige aanvoerroute dat inlaat van brak en zout water in daarvoor gevoelige gebieden kan worden vermeden. In het geval van licht brak water (200-1000 mg Cl/l) is nog nader onderzoek nodig om te bepalen waar kritische grenzen liggen ten aanzien van chloridegehalte en duur van blootstelling.

De verdringingsreeks is ook aan de orde bij een aantal systemen die volledig afhankelijk zijn van de aanvoer van oppervlaktewater of de verdeling van water, en waar continuering van de aanvoer noodzakelijk is om bestaande natuurwaarden te handhaven.

In het geval van de aanvoer van zeer voedselrijk en/of sulfaatrijk water in van nature met het oppervlaktewater in verbinding staande systemen als sloten en moerassen is de afweging minder eenduidig, onder meer omdat er onvoldoende kennis is om te beoordelen of eventuele schade door inlaat van water opweegt tegen mogelijke schade door peilverlaging en droogval. Om hier meer duidelijkheid over te krijgen is nader onderzoek nodig. Zo lang die duidelijkheid er niet is kan het beste worden gezocht naar mogelijkheden om het watersysteem zo in te richten dat zeer voedselrijk oppervlaktewater de daarvoor gevoelige natuurgebieden niet of pas in laatste instantie bereikt.

In alle overige gevallen dient op basis van de verdringingsreeks prioriteit te worden gegeven aan handhaving van de aanvoer mits er sprake is van watersystemen met een duidelijke natuurwaarde.



Figuur 5.1 Mogelijk afwegingsschema gericht op tegengaan onomkeerbare schade aan de natuur.

Het gaat hierbij slechts om een eerste, globale schets hoe de afwegingsprocedure er uit zou kunnen zien. Op basis van één of meerdere regionale proefstudies zou kunnen worden nagegaan wat de praktische bruikbaarheid van een dergelijk beslisschema is en op welke punten de afwegingsprocedure aangepast of verder uitgewerkt zou moeten worden.

Vanwege de grote verschillen in waterhuishouding en type natuur zou zowel een proefgebied in hoog-Nederland als in laag-Nederland nodig zijn. In hoog-Nederland zou gekozen kunnen worden voor een gebied met hoogveenrestanten en met wateraanvoer, zodat zowel de effecten op voedselarme natte natuur (hoogveen) als effecten in halfnatuurlijke systemen met een aanvoerfunctie (sloten en beken) in beschouwing kunnen worden genomen. Het gebied van waterschap Aa en Maas is een mogelijk geschikt gebied omdat hier zowel hoogveen voorkomt als beken met kunstmatige aanvoer van Maaswater. In laag-Nederland zou gekozen kunnen worden voor een gebied met laagveenmoerassen en poldersloten, zodat zowel aandacht kan worden besteed aan de effecten van het inlaatregime op peilen in laagveenmoerassen, als aan de effecten van de inlaat van voedselrijk en licht brak water in poldergebieden. Gedacht kan worden aan het Hollands-Utrechtse veengebied, waar een aantal moerasgebieden liggen en waar ook de inlaat van (licht) brak water een punt van discussie vormt.

Betekenis nieuwe verdringingsreeks voor waterbeheer en voor natuurbehoud

Vraag is in hoeverre toepassing van de nieuwe verdringingsreeks leidt tot grote veranderingen in het waterbeheer. Waar het gaat om de aanvoer van water om droogteschade in de natuur te voorkomen lijkt dat mee te vallen. Hoewel gebiedgerichte uitwerkingen nodig zijn om aan te geven in welke situaties natuur bij de verdeling van water voorrang dient te krijgen om zo onomkeerbare schade te voorkomen, komen er uit deze studie maar weinig situaties naar voren waar aanvoer van water een adequate maatregel is om droogteproblemen te voorkomen. Het gaat dan voor een belangrijke deel om kunstmatige of halfnatuurlijke systemen die afhankelijk zijn van de aanvoer van water, en waar stopzetting van de wateraanvoer kan leiden tot het verloren gaan van aanwezige natuurwaarden. Omdat uit het verleden geen voorbeelden bekend zijn dat in dergelijke situaties de inlaat werd gestopt leidt de invoering van de nieuwe verdringingsreeks hier niet tot grote veranderingen. Eerder is sprake van een formalisatie van de bestaande situatie.

De verdringingsreeks kan wel consequenties hebben voor de wijze waarop met name in laag-Nederland wordt omgegaan met de inlaat van water. Inlaat van water ten behoeve van landbouw, natuur en veiligheid kan hier leiden tot onomkeerbare schade aan de natuur, hetgeen op basis van de nieuwe verdringingsreeks reden zou kunnen zijn om inlaat van water tegen te gaan. Een eenduidige toepassing van de verdringingsreeks is echter maar zelden aan de orde, omdat inlaat van water zowel positieve als negatieve effecten kan hebben, effecten van inlaat soms onduidelijk zijn en er vaak conflicten spelen met andere belangen (veiligheid, klink en zetting van veen). In hoeverre de verdringingsreeks kan helpen om onomkeerbare schade aan de natuur tegen te gaan is mede afhankelijk van de wijze waarop de reeks wordt toegepast. Als de verdringingsreeks wordt toegepast als semi-juridische leidraad voor de verdeling van water in droge perioden, kan dat makkelijk leiden tot onoplosbare en daarom weinig vruchtbare discussies over de interpretatie van de reeks en over de vraag of in droge perioden wel of niet water mag worden ingelaten. Verstandiger lijkt het daarom de verdringingsreeks ruimer te interpreteren, en te gebruiken als een leidraad voor het nemen van preventieve maatregelen die nodig zijn om te voorkomen dat dergelijke lastige afwegingsproblemen zich in de toekomst gaan

voordoen. Daarbij moet vooral gedacht worden aan een zodanige inrichting van het watersysteem dat water met een ongewenste waterkwaliteit de daarvoor gevoelige gebieden niet of pas als laatste bereikt. Dit vraagt de nodige inspanning van de waterschappen, zowel waar het gaat om de analyse van gevoeligheden en risico's als waar het gaat om aanpassingen van het watersysteem. Het kan echter een hoop toekomstige problemen voorkomen. Voorwaarde is wel dat eventuele maatregelen tijdig worden genomen, zodat niet in perioden van extreme droogte alsnog onder tijdsdruk de moeilijke afweging moet worden gemaakt tussen het wel of niet inlaten van water met een verkeerde kwaliteit.

Kennisbiaten

De inlaat van licht brak water uit Hollandse IJssel leidde in 2003 tot heftige discussie vanwege mogelijke nadelige effecten op de natuur. Hoe nadelig de inlaat van licht brak water is, is moeilijk aan te geven omdat bestaande kennis over de relatie soortensamenstelling-zoutgehalte betrekking heeft op evenwichtsituaties waarin soorten permanent zijn blootgesteld aan water met een bepaald zoutgehalte. Wat er gebeurt bij tijdelijke blootstelling aan licht verhoogde chloridegehalten is slechts bij benadering bekend. Deze vraag is relatief makkelijk te beantwoorden door proeven te nemen in meso-cosmos experimenten waarin soorten waarvan bekend is dat ze gevoelig zijn voor zout gedurende verschillende periodes worden blootgesteld aan verhoogde chloridegehalten.

Een andere vraag is wat de effecten zijn van peilwisselingen en droogval in laagveenwateren. Omdat inlaat van oppervlaktewater in laagveenwateren veel negatieve effecten heeft is een serieuze optie om peilverlagingen en eventueel droogval te accepteren om zo de inlaat van water te beperken. Omdat de oppervlaktewaterpeilen in laagveengebieden al meer dan eeuw strikt worden gereguleerd is echter niet aan te geven wat de effecten zijn van een dynamisch peilbeheer. Vanwege de aanwezigheid van makkelijk afbreek organisch materiaal in combinatie met een relatief hoge pH is het risico op afbraak van veen en als gevolg daarvan eutrofiering groot. Voorlopige resultaten uit OBN-onderzoek en de schaarse veldervaringen geven echter aan dat het in de praktijk mogelijk meevalt met de afbraak van organisch materiaal. Het lijkt echter verstandig om eerst de resultaten van het lopende OBN-onderzoek af te wachten alvorens te besluiten tot ingrijpende wijzigingen in het waterbeheer. Daarbij vormen droge perioden niet het meest geschikte moment om te beginnen met experimenten op praktijkschaal. Door de grote verdamping kunnen dan extreme effecten optreden die leiden tot niet-beheersbare en onomkeerbare veranderingen in het systeem. Het is veiliger om eerst in 'normaal' droge jaren ervaringen op te doen met het toestaan van peilwisselingen en de vermindering van de inlaat van water.

6 Conclusies en aanbevelingen

Incidentele droogtes vormen een natuurlijk verschijnsel dat voor populaties zowel positieve als negatieve effecten kan hebben. In volledig natuurlijke systemen is er weinig reden voor menselijk ingrijpen om droogte en de effecten van droogte tegen te gaan. Onomkeerbare schade door droogte is te verwachten in systemen die zijn verzwakt door verdroging en versnippering, en in systemen met kunstmatige aan- en afvoer van water die grotendeels afhankelijk zijn van menselijk ingrijpen.

Situaties die voldoen aan alle criteria voor toepassing van de verdringingsreeks (onomkeerbare schade, mogelijkheid tot wateraanvoer, aanvoer effectief tegen droogteschade en geen nadelige effecten van aanvoer stoffen) zijn vooral te vinden in kunstmatige systemen waar ook in normale perioden al wateraanvoer plaatsvindt en flora en fauna afhankelijk zijn van die aanvoer. Het gaat dan onder meer om infiltratieplassen in de duinen en in dekzandgebieden die worden gebruikt voor drinkwaterbereiding, en beken en kanalen die worden gebruikt voor de aanvoer van oppervlaktewater ten behoeve van de landbouw. Ook de bovenlopen van rivieren en beeklopen met een omleidingskanaal voldoen aan de gestelde criteria. Daar moet in droge perioden een afweging worden gemaakt of water wordt afgevoerd via de natuurlijke waterloop of via de omleiding. Op grond van de verdringingsreeks heeft in deze gevallen afvoer via de natuurlijke loop de prioriteit.

In gebieden die zijn aangetast door verdroging en versnippering is de kans op het uitsterven van lokale of landelijke populaties in perioden van extreme droogte relatief groot. Maatregelen om droogte tegen te gaan zijn echter vaak niet mogelijk of niet effectief, of zijn contraproductief doordat de nadelige effecten van de aanvoer van systeemvreemde stoffen groter zijn dan de voordelige effecten van de aanvoer van water. Vermindering van de droogtegevoeligheid is dan alleen mogelijk door structurele maatregelen te nemen om de waterhuishouding te verbeteren en de versnippering tegen te gaan.

In veel gevallen zal de schade door de inlaat van water groter zijn dan de schade door droogte. Dat geldt met name in situaties waarin zout of brak wordt ingelaten in zoetwatergebieden, of hard voedselrijk water in voedselarme systemen. De negatieve effecten op de natuur zijn zodanig dat dit alleen is toegestaan volgens de verdringingsreeks in situaties dat de veiligheid in het geding is en/of inlaat nodig is om klink of zetting van de bodem te voorkomen. De belangrijkste maatregel om inlaat van brak of zout water te voorkomen is dat gekozen wordt voor een zodanige aanvoerbron en aanvoerrote dat brak of zout water de gevoelige gebieden niet kan bereiken.

Minder duidelijk is hoe moet worden omgegaan met de inlaat van licht brak water, met chloridegehalten van enkele honderden milligrammen per liter. Uit bestaande informatie over het voorkomen van soorten in wateren met verschillende zoutgehalten is wel af te leiden welke organismen gevoelig zijn voor licht verhoogde

chloridegehalten, maar over het effect van tijdelijke blootstelling is maar weinig bekend. Om dat te onderzoeken zouden experimenten moeten worden uitgevoerd waarin organismen waarvan bekend is dat ze gevoelig zijn voor licht verhoogde chloridegehalten gedurende verschillende tijdsduren worden blootgesteld aan verschillende chloridegehalten. Totdat beter bekend is wat kritische waarden zijn voor periode van blootstelling en chloridegehalte is het beter alle risico's op schade uit te sluiten door een zodanige inrichting van het watersysteem dat licht brak water de daarvoor gevoelige gebieden niet kan bereiken.

In laagveenwateren is nog onduidelijk in hoeverre droogval en peilverlaging zijn te verkiezen boven de inlaat van voedselrijk water. Vanwege de aanwezigheid van veel makkelijk afbreekbaar organisch materiaal is het risico op eutrofiering door mineralisatie groot. Daarentegen zou droogval ook eutrofiering kunnen verminderen door de vastlegging van fosfaat. Dit wordt momenteel verder uitgezocht in het OBN-onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van laagveenwateren. Het lijkt verstandig de uitkomsten van het onderzoek af te wachten alvorens besluiten te nemen over het al dan niet inlaten van water in droge perioden, en eventueel dit onderzoek uit te breiden. Voordat vergaande besluiten worden genomen zouden eerst experimenten op praktijkschaal moeten zijn uitgevoerd.

Waar het gaat om de inlaat van water om droogte in de natuur tegen te gaan lijkt de invloed van de nieuwe verdringingsreeks beperkt, en zal het opnemen van de natuur hoog op de verdringingsreeks in het geval van onomkeerbare schade naar verwachting niet leiden tot grote veranderingen ten opzichte van de huidige situatie.

Waar het gaat om de nadelige invloed van inlaat van water met een afwijkende kwaliteit lijken de gevolgen ingrijpender. De nieuwe verdringingsreeks dwingt de waterbeheerders in laag-Nederland er toe om beter na te denken over de vraag welke veranderingen in waterkwaliteit kunnen optreden in geval van droogte, en wat het gevolg van deze veranderingen is voor de aanwezige natuur. Afhankelijk van de antwoorden op deze vraag kan het zijn dat meer of minder ingrijpende veranderingen in het waterverdeelstelsel nodig zijn om onomkeerbare schade aan de natuur door inlaat van water van een verkeerde kwaliteit te voorkomen. Een andere optie is om in geval van onomkeerbare schade aan de natuur de inlaat van water te staken. Dat is echter vaak niet mogelijk omdat inlaat nodig is voor de waarborging van de veiligheid en het tegengaan van klink en zetting, en is vaak minder wenselijk vanwege de resulterende droogteschade aan de natuur.

De kanttekening moet worden gemaakt dat het hier gaat om een verkennende studie, waarin alleen is nagegaan in welk *type* situaties mogelijk sprake is van onomkeerbare schade door droogte. Er is niet gekeken waar dergelijke situaties daadwerkelijk voorkomen, en welke maatregelen genomen kunnen worden om droogteschade te verminderen. Dat vraagt om een regionale uitwerkingen waarbij rekening kan worden gehouden met gebiedseigenschappen.

Literatuur

- Bal, D., H.M. Beije, M. Fellingner, R. Haveman, A.J.F.M. van Opstal en F.J. van Zadelhoff, 2001. Handboek Natuurdoeltypen. Wageningen, Expertisecentrum LNV.
- Bakker, D., 1950. De flora en fauna van Walcheren en andere inundatiegebieden tijdens en na de inundatie. Verslagen Landbouwkundig onderzoek, Den Haag.
- Barendregt, A., 1993. Hydro-ecology of the Dutch polder landscape. Proefschrift, Universiteit Utrecht.
- Bax, G., D. Prins en J. Peters, 2003. Inventarisatie van de flora van de Allemanskamp in 2003 en een vergelijking met een inventarisatie in 1989. KKNV Wageningen e.o.
- Beersma, J.J., T.A. Buishand & H. Buitenveld, 2004. Droog, droger, droogst. Publicatie 199-II. KNMI, de Bilt.
- Bloemendaal, F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs, 1988. Waterplanten en waterkwaliteit. Natuurhistorische Bibliotheek van de KNNV nr. 45.
- Bontes, B., Pijnappel H., Geurts J., Schouwenaars J., Klinge M., Verberk W. en L. Lamers, 2005. Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren. Tussentijdse OBN-rapportage. EC-LNV, Ede.
- Bos, F. en M. Wasscher, 1998. Veldgids Libellen. Veldgids nr. 9. KNNV, Utrecht. 2^e ed.
- Dam, H. van en R.C. van Apeldoorn. De droogte van 1976 en de natuur van Nederland, 1978. H2O 11: 278-281.
- Dam, H. van, 1987. Acidification and alkalization of moorland pools in relation to water depth and drought. Hoofdstuk 4 in: Van dam, H., Verzuring van vennen, een tijdsverschijnsel, Proefschrift L.U. Wageningen.
- Dam, H. van, 1988. Acidification of three moorland pools in the Netherlands by acid precipitation and extreme drought periods over seven decades. Freshwater biology p. 157-176.
- De Boer, K. & W.J. Wolff, 1996. Tussen zilt en zoet. Voorstudie naar de betekenis van estuariene gradiënten in het Waddengebied. Rijksuniversiteit Groningen, Vakgroep Mariene Biologie.
- Eerden, M.R., J.T. Vulink, G.K.R. Polman, H.J. Drost, G. Lenselink en W. Oosterberg, 1995. Oostvaardersplassen. 25 jaar pionieren op weke bodem. Landschap 12: 23- 39.

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop, J. van Os, L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel en C. Kwakernaak, 2002. Waterkansen in het SGR2. Potenties voor realisatie van de wateropgaven. Alterra-rapport 558.

Gaast, J.W.J. van der, P.J.T. van Bakel en H.Th.L. Massop, 2003. Waterkansen in het SGR2. Evaluatie van de wateropgaven in relatie tot de netto-EHS. Alterra-rapport 558.1.

Gieske, J.M.J. & J. Runhaar, 1994. Milieubeleidsindicator Verdroging. Fase 2b: Toepassing van de MBI-verdroging in Noord-Nederland. TNO-rapport OS 94-21B/CML-report 109. TNO-IGG, Delft.

Grime J.P. 1979. Plant strategies and vegetation processes. Wiley and Sons, Chichester. 222 pp.

Groenendijk, P. , W.J. de Lange en K. Kovar, 2002 . Modelconcepten voor de interactie tussen verzadigd grondwater en oppervlaktewater. Stromingen 8(2002).

Jousma, G. en H.Th.L. Massop, 1998. Intreeweerstanden waterlopen. Inventarisatie en analyse. Delft, TNP-rapport GG-R-15(A).

Haller W.T., D.L. Sutton & W.C. Barlowe, 1974. Effects of salinity on growth of several aquatic macrophytes. Ecology 55: 891-894.

Hartog, C. den, 1964. Typologie des Brackwassers. Helgolaender wissenschaftliche Meeresuntersuchungen 10: 377-390.

Heerebout, G.R., 1970. A classification system for isolated brackish inland waters, based on median chlorinity and chlorinity fluctuation. Netherlands Journal of Sea Research 4(4): 494-503.

Hendriks, R.F.A., 1992. Afbraak en mineralisatie van veen. Rapport 199. Staring Centrum, Wageningen.

Hendriks, R.F.A., 1993. Nutriëntenbelasting van oppervlaktewater in veenweidegebieden. Rapport 25. Staring Centrum, Wageningen.

IWACO, 1994. Ecologisch onderzoek brakwatermilieus Noord-Groningen. Eindrapportage. IWACO, Groningen.

Jansen, P.C. en J. Runhaar, 2001. Droogtestress als functie van grondwaterstand en bodemtype, Rapport 367, Alterra, Wageningen.

Janssen S.N., Verdonschot P.F.M. & Arts G.H.P. (1998): Typologie van zoete duinwateren gebaseerd op macrofauna, macrofyten, diatomeeën en milieuvariabelen. IBN rapport 390.

- Joosten, J.H.J., 1995. Time to regenerate: Long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. pp. 389-4040 in: Wheeler B.D. et al., Restoration of temperate wetlands. John Wiley & sons, Chichester.
- Knotters, M. en P.C. Jansen, 2005. Honderd jaar verdroging in kaart. *Stromingen* 11: 19-32.
- Kooijman, A.M., 1993. Changes in the bryophyte layer of rich fens as controlled by acidification and eutrophication. Proefschrift, Uiniversiteit Utrecht.
- Krebs, B., A. Fortuin & H. Boeyen, 1995. Brakke binnenwateren het beschermen waard. *De Levende Natuur* 96 (1): 14-19.
- Kroon, H. de, H. de Jong & J.T.A. Verhoeven, 1985. The macrofauna distribution in brackish inland waters in relation to chlorinity and other factors. *Hydrobiologia* 127:265-275.
- Kroon, T., P. Finke, I. Peereboom en A. Beusen, 2001. Redesign Stone. De nieuwe schematisatie voor Stone; de ruimtelijke indeling en toekenning van de hydrologische en bodemchemische parameters. Lelystad, RIZA-rapport 2001.017.
- Lamers, L.P.M., 2001. Tackling biochemical questions in peatlands. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen. 161 pp.
- Lamers, L.P.M., P.J.J. van den Munckhof, M. Klinge en J.T.A. Verhoeven, 2004. Verdroogd, vermest, verstard en versnipperd; hoe moet dat nu met onze laagveenwateren? pp. 109-169 in: Van Duinen et al., Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit, verslag van een symposium georganiseerd door de katholieke Universiteit Nijmegen en de Stichting Bargerveen, november 2001. Rapport 2004/305, EC-LNV, Ede.
- Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders en J.G.M. Roelofs, 2005. Effects of temporary desiccation on the mobility of phosphorus and metals in sulphur-rich fens: differential responses of sediments and consequences for water table management. *Wetlands Ecology and Management* 13:135-148.
- Luther, H. (1951). Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser de Ekenäs-Gegend in Südfinland. *Acta Botanica Fennica* 49 (195-1): 1-187
- Massop, H,Th.L., L.C.P.M. Stuyt, P.J.T. van Bakel, J.M.M. Bouwmans en H. Prak, 1997. Invloed van de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand. Leidraad voor kwantificering van de effecten van veranderingen in de oppervlaktewaterand op de grondwaterstand. SC-DLO., Wagenongen. Rapport 527.1.

Massop, H.Th.L., T. Kroon, P.J.T. van Bakel, W.J. de Lange, M.J.H. Pastoors en J. Huygen, 2000. Hydrologie voor Stone; schematisatie en parameterisatie. Alterra/RIZA/RIVM. Alterra-rapport 038/ Reeks Milieuplanbureau 9.

Ministerie van V&W, 1985. Tweede Nota Waterhuishouding. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Den Haag .

Ministerie van V&W, 2004. Evaluatienota waterbeheer aanhoudende droogte 2003. Ministerie V&W, Den Haag

Nijboer, R.C., Van den Hoorn, M.W., Van den Hoek, Tj.H., Wiggers, R., & Verdonshot, P.F.M., 2005. Keylinks: Ecologische processen in sloten en beken. II. De relatie tussen afvoerdynamiek, temperatuur en de populatiegroei van *Agapetus fuscipes*. Alterra-rapport 1069, Alterra, Wageningen.

Nijboer, R.C., Wiggers, R., Van den Hoek, T.H. & Van Rhenen-Kersten, C.H., 2003. Herstel van een brongebied in natuureservaat het Springendal. Kolonisatie van nieuwe bronnen door macrofauna. Alterra-rapport 857, Alterra, Wageningen, 102 pp.

Ponnamperuma, F.N., 1972. The chemistry of submerged soils *Advances in Agronomy* 24: 29-96.

Portielje R., L. van Balegooyen en M. Griffioen, 2004. Eutrofiëring van landbouwbeïnvloede wateren en meren in Nederland, toestanden en trends. Rapport 2004.009. RIZA, Lelystad.

Rabe, R., 1982. Effects of sodium chloride on photosynthesis and some enzyme activities of *Potamogeton alpinus*. *Aquatic botany*, 14: 159-165.

Remane, A. & C. Schlieper, 1971. *Biology of brackish water. Die Binnengewässer* volume 15. Stuttgart.

RIZA, HKV, Arcadis, KIWA, Korbee en Hovelynck (Klopstra, Versteeg & Kroon), 2005. Droogtestudie Nederland; Aard, ernst en omvang van watertekorten in Nederland; eindrapport; september 2005. Rapport 2005.016, RIZA, Lelystad.

Runhaar, J., C.R. Van Gool & C.L.G. Groen, 1996. Impact of hydrological changes on nature conservation areas in the Netherlands. *Biological Conservation* 76: 269-276.

Runhaar, J., J.P.M. Witte & M. Van der Linden, 1997. Waterplanten en saliniteit. Demnat-2.1 rapport no. 5. RIZA, Lelystad.

Runhaar, J., C.Maas, A.F.M. Meuleman & L.M.L. Zonneveld, 2000. Herstel van natte en vochtige ecosystemen. Handboek. Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging, rapport 9-2. RIZA, Lelystad.

- Runhaar, J., W. van Landuijt, C.L.G. Groen, E.J. Weeda en F. Verloove, 2004. Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria* 30(1): 12-26.
- Schothorst, C.J., 1980. De voorjaarsproductie en het effect van ontwatering in diverse veenweidegebieden. Nota 1233. ICW, Wageningen.
- Slyter, R.O., 1961. Effects of several osmotic substances on water relations of tomato. *Aus. J. Biol. Sci.* 14:519-435.
- Smolders, A.J.P., E. Lucassen en J. G.M. Roelofs, 2003. Waterpeilregulatie in broekbossen: bron van aanhoudende zorg. *H2O* 24:17-19.
- Sykora, K.V., 1978. De invloed van de extreme droogte van 1976 op enkele vennen en op de duinvalleien van Terschelling. Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Tamis, W.L.M., R. van der Meijden, J. Runhaar, R.M. Bekker, W.A. Ozinga, B. Odé & I. Hoste, 2004. Standaardlijst van de Nederlandse flora 2004 [Standard list of the flora of the Netherlands 2004]. *Gorteria* 3: 101-194.
- Thiennemann 1922. Hydrobiologische Untersuchungen an Quellen (I-IV). *Arch. f. Hydrobiol.* XIV: 151-190.
- Van Beers, P.W.M. & Verdonschot, P.F.M., 2000. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 4, brakke binnenwateren. Rapport AS-04, EC-LNV, Wageningen, 80 pp.
- Verdonschot, P.F.M. (1990): Ecologische karakterisering van oppervlaktewateren in Overijssel. Het netwerk van cenotypen als instrument voor ecologisch beheer, inrichting en beoordeling van oppervlaktewateren. Provincie Overijssel, Zwolle. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 301 pp.
- Verdonschot, P.F.M., 2000a. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 1, bronnen. Rapport AS-01, EC-LNV, Wageningen, 88 pp.
- Verdonschot, P.F.M., 2000b. Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren deel 2, beken. Rapport AS-02, EC-LNV, Wageningen, 128 pp.
- Vermaat, J., 2002. Ecologische effecten van peilbeheer in meren en plassen. Ontwikkeling van oever- en moerasvegetatie. pp. 79-101 in: H.Coops, Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht. Rapport 2002.040, RIZA, Lelystad.
- Weeber, I.J., 1979. Typologie van een aantal Zeeuwse binnenwateren, voornamelijk sloten en watergangen, op grond van de soortensamenstelling van hun makrofauna. Delta Instituut voor hydrobiologisch onderzoek, Yerseke. Rapporten en Verslagen 1979-2.

Werkgroep Ecologisch Waterbeheer, 1995. Levensgemeenschappen van brakke wateren, aanzet tot beschrijving en bescherming. WEW-Themanummer 05.

Wesseling, J.G. , 1991. CAPSEV : steady state moisture flow theory: program description, user manual. Wageningen, Staring Centre.

Wiggins G.B., Mackay R.J. & Smith I.M. 1980. Evolutionary and ecological strategies in annual temporary pools. Arch. Hydrobiol. Suppl. 58: 97-206.

Wolff. W.J. (red.) 1989. De internationale betekenis van de Nederlandse natuur. Ministerie van Landbouw & Visserij, Rijksinstituut voor Natuurbeheer, SDU uitgeverij Den Haag, 137 pp.

Wösten, J.H.M., F. de Vries en J. Dennenboom, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland 1 : 250.000, ten behoeve van de PAWN-studie. Rapport 2055. Stiboka, Wageningen.

Bijlage 1 Indeling waterplanten naar gevoeligheid voor zout

Onderstaande indeling van waterplanten naar voedselrijkdom en zoutgehalte is afgeleid uit de indeling van plantensoorten uit Nederland en Vlaanderen in ecologische soortengroepen (Runhaar et al. 2004, Tamis et al. 2004). Daarbij is de indeling van waterplanten naar zoutgehalte grotendeels gebaseerd op een eerder literatuuronderzoek door Runhaar et al. (1997).

Belangrijkste bron van informatie over de tolerantie van soorten voor zout is het zoutgehalte van de wateren waarin de soorten zijn aangetroffen. Het zoutgehalte waarbij soorten zijn aangetroffen zegt echter niet alles over de tolerantie van soorten voor zout. Vroegere waarnemingen langs de Oostzeekust geven bijvoorbeeld aan dat soorten die bij ons alleen voorkomen zoet water (regen- en grondwatergevoede vennen), wel degelijk in licht brak water kunnen voorkomen mits dat voldoende helder is (Luther 1951). Voorbeelden zijn soorten als Grote en Kleine biesvaren (*Isoetes lacustris* en *I. echinospora*) en Kleinste Egelskop (*Sparganium natans*).

Bij de interpretatie dient daarom rekening te worden gehouden met de correlatie die bestaat tussen het zoutgehalte en voedselrijkdom van het water:

- Soorten die in voedselarm helder water voorkomen (A11, A12) zijn bij ons gebonden aan door regenwater en zacht grondwater gevoede vennen en komen dus vrijwel alleen voor in zeer zoet water. Daarmee is echter niet gezegd dat ze intolerant zijn voor zout (zie bovenstaande voorbeeld).
- Ook soorten die zijn gebonden aan matig voedselrijk zacht water (A15) komen vrijwel alleen voor in zeer zoet water (beekwater en lokaal grondwater) zonder dat daarmee gezegd is dat ze zoutintolerant zijn.
- Daarentegen zijn soorten die in zeer voedselrijk water kunnen overleven (A18) ook vrijwel altijd goed bestand tegen licht verhoogde zoutgehalten. Uitzonderingen zijn Watergentiaan (*Nymphoides peltata*) en waarschijnlijk Gewoon sterrekroos (*Callitriche platycarpa*).
- Alleen in matig voedselrijke wateren (A16) is op basis van verspreidingsgegevens een duidelijk tweedeling te maken tussen soorten die weinig tolerant zijn en alleen in zeer zoet water (<200 mg Cl/l) worden aangetroffen, en meer zouttolerante soorten die ook kunnen voorkomen in licht brak water (200-1000 mg/l).

Op grond van deze overwegingen is in de ecologische groepen alleen bij soorten van matig voedselrijke wateren een onderverdeling gemaakt naar zoutgehalte. Deze indeling is hieronder in vereenvoudigde vorm weergegeven, waarbij helofyten en waterplanten (ingedeeld in verschillende groepen met codes V en W) zijn samengenomen (in groepen met code A) en voedselarme zure en zwak zure wateren (A11 en A12) zijn samengenomen. Soorten die bij meer dan één voedselrijkdomklasse voorkomen (bijvoorbeeld zowel in voedselarm als in matig voedselrijk water) en soorten die zowel in zoet als brak water kunnen voorkomen, zijn bij meer dan één soortengroep ingedeeld. Een voorbeeld vormt Kleinste egelskop (*Sparganium natans*) die zowel is ingedeeld bij voedselarm zacht water als bij matig voedselrijk zacht water, en Fijn hoornblad (*Ceratophyllum submersum*) dat zowel is ingedeeld bij zeer voedselrijk zoet water als bij brak water.

Soortengroep	Tolerantie voor chloride	Soorten
Soorten van voedselarm zacht water (A11, A12)	Soorten gebonden aan regenwater en zwak gebufferd grondwater en dus altijd voorkomend in zeer zoet water. Tolerantie voor chloride grotendeels onbekend	<i>Apium inundatum</i> , <i>Callitriche palustris</i> , <i>Echinodorus ranunculoides</i> , <i>Echinodorus repens</i> , <i>Elatine hexandra</i> , <i>Eleocharis acicularis</i> , <i>Eleocharis multicaulis</i> , <i>Eleogiton fluitans</i> , <i>Hypericum elodes</i> , <i>Isoetes echinospora</i> , <i>Isoetes lacustris</i> , <i>Juncus bulbosus</i> , <i>Littorella uniflora</i> , <i>Lobelia dortmanna</i> , <i>Ludwigia palustris</i> , <i>Luronium natans</i> , <i>Lytbrum portula</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Potentilla palustris</i> , <i>Myriophyllum alterniflorum</i> , <i>Pilularia globulifera</i> , <i>Potamogeton polygonifolius</i> , <i>Ranunculus ololeucos</i> , <i>Sparganium angustifolium</i> , <i>Sparganium natans</i> , <i>Utricularia australis</i> , <i>Utricularia intermedia</i> , <i>Utricularia minor</i> , <i>Utricularia ochroleuca</i> , <i>Veronica scutellata</i>
Soorten van voedselarm hard water (A13)	Soorten vooral in duinplassen, tolereren licht brak water	<i>Echinodorus ranunculoides</i> , <i>Littorella uniflora</i> , <i>Potamogeton coloratus</i> , <i>Potamogeton gramineus</i> , <i>Samolus valerandi</i>
Soorten van matig voedselrijk zacht water (A15)	Soorten gebonden aan zacht water en dus altijd voorkomend in zeer zoet water. Tolerantie voor chloride grotendeels onbekend	<i>Calla palustris</i> , <i>Callitriche hamulata</i> , <i>Eleocharis acicularis</i> , <i>Hottonia palustris</i> , <i>Luronium natans</i> , <i>Menyanthes trifoliata</i> , <i>Montia fontana</i> subsp. <i>fontana</i> , <i>Nymphaea alba</i> , <i>Potamogeton natans</i> , <i>Potamogeton obtusifolius</i> , <i>Potamogeton polygonifolius</i> , <i>Potentilla palustris</i> , <i>Ranunculus bederaceus</i> , <i>Ranunculus peltatus</i> , <i>Sparganium natans</i> , <i>Sparganium erectum</i> subsp. <i>neglectum</i> , <i>Thelypteris palustris</i> , <i>Utricularia australis</i>
Soorten van hard, matig voedselrijk zeer zoet water (A16zt)	gebonden aan water met een Cl-gehalte van < 200 mg/l	<i>Calla palustris</i> , <i>Cicuta virosa</i> , <i>Equisetum fluviatile</i> , <i>Oenanthe aquatica</i> , <i>Groenlandia densa</i> , <i>Hottonia palustris</i> , <i>Potamogeton acutifolius</i> , <i>Potamogeton alpinus</i> , <i>Potamogeton compressus</i> , <i>Potamogeton obtusifolius</i> , <i>Potamogeton praelongus</i> , <i>Ranunculus lingua</i> , <i>Sium latifolium</i> , <i>Sparganium emersum</i> , <i>Stratiotes aloides</i> , <i>Thelypteris palustris</i>
Soorten van hard, matig voedselrijk zoet water (A16)	in zoet en licht brak water, Cl < 1000 mg/l	<i>Alisma lanceolatum</i> , <i>Alisma gramineum</i> , <i>Alisma plantago-aquatica</i> , <i>Azolla mexicana</i> , <i>Berula erecta</i> , <i>Butomus umbellatus</i> , <i>Callitriche cophocarpa</i> , <i>Callitriche obtusangula</i> , <i>Callitriche platycarpa</i> , <i>Elatine hydropiper</i> , <i>Eleocharis acicularis</i> , <i>Elodea canadensis</i> , <i>Elodea nuttallii</i> , <i>Hippuris vulgaris</i> , <i>Hydrocharis morsus-ranae</i> , <i>Lemna minor</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Myriophyllum verticillatum</i> , <i>Najas marina</i> , <i>Nuphar lutea</i> , <i>Nymphaea alba</i> , <i>Nymphoides peltata</i> , <i>Potamogeton berchtoldii</i> , <i>Potamogeton gramineus</i> , <i>Potamogeton lucens</i> , <i>Potamogeton natans</i> , <i>Potamogeton trichoides</i> , <i>Potamogeton</i> × <i>fluitans</i> , <i>Potamogeton</i> × <i>zizii</i> , <i>Ranunculus aquatilis</i> , <i>Ranunculus circinatus</i> , <i>Sagittaria sagittifolia</i> , <i>Salvinia natans</i> , <i>Typha angustifolia</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Utricularia vulgaris</i>
Soorten van zeer voedselrijk zoet water (A18)	in zoet en licht brak water, Cl-gehalte van < 1000 mg/l	<i>Alisma gramineum</i> , <i>Alisma lanceolatum</i> , <i>Alisma plantago-aquatica</i> , <i>Azolla filiculoides</i> , <i>Azolla mexicana</i> , <i>Bolboschoenus maritimus</i> , <i>Butomus umbellatus</i> , <i>Callitriche stagnalis</i> , <i>Callitriche cophocarpa</i> , <i>Callitriche hermaphroditica</i> , <i>Callitriche obtusangula</i> , <i>Callitriche platycarpa</i> , <i>Ceratophyllum demersum</i> , <i>Ceratophyllum submersum</i> , <i>Elodea nuttallii</i> , <i>Hippuris vulgaris</i> , <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> , <i>Lemna gibba</i> , <i>Lemna minor</i> , <i>Lemna minuta</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Myriophyllum spicatum</i> , <i>Najas minor</i> , <i>Nuphar lutea</i> , <i>Nymphaea alba</i> , <i>Nymphoides peltata</i> , <i>Persicaria amphibia</i> , <i>Potamogeton crispus</i> , <i>Potamogeton lucens</i> , <i>Potamogeton mucronatus</i> , <i>Potamogeton nodosus</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Potamogeton perfoliatus</i> , <i>Potamogeton pusillus</i> , <i>Potamogeton</i> × <i>decipiens</i> , <i>Ranunculus aquatilis</i> , <i>Ranunculus circinatus</i> , <i>Ranunculus bederaceus</i> , <i>Ranunculus peltatus</i> , <i>Schoenoplectus lacustris</i> , <i>Schoenoplectus pungens</i> , <i>Schoenoplectus</i>

Soortengroep	Tolerantie voor chloride	Soorten
		<i>tabernaemontani</i> , <i>Schoenoplectus triqueter</i> , <i>Sagittaria sagittifolia</i> , <i>Sparganium erectum</i> subsp. <i>erectum</i> , <i>Sparganium emersum</i> , <i>Sparganium erectum</i> subsp. <i>neglectum</i> , <i>Spirodela polyrrhiza</i> , <i>Typha angustifolia</i> , <i>Typha latifolia</i> , <i>Vallisneria spiralis</i> , <i>Wolffia arrhiza</i> , <i>Zannichellia palustris</i> subsp. <i>major</i> , <i>Zannichellia palustris</i> subsp. <i>palustris</i>
Soorten van brak water (bA10)	voorkomend bij Cl-gehalten van 1000-10.000 mg/l	<i>Bolboschoenus maritimus</i> , <i>Ceratophyllum submersum</i> , <i>Hippuris vulgaris</i> , <i>Lemna trisulca</i> , <i>Najas marina</i> , <i>Potamogeton coloratus</i> , <i>Potamogeton pectinatus</i> , <i>Potamogeton perfoliatus</i> , <i>Ranunculus baudotii</i> , <i>Ruppia cirrhosa</i> , <i>Ruppia maritima</i> , <i>Schoenoplectus tabernaemontani</i> , <i>Zannichellia palustris</i> subsp. <i>major</i> , <i>Zannichellia palustris</i> subsp. <i>palustris</i> , <i>Zannichellia palustris</i> subsp. <i>pedicellata</i>
Soorten van zout water (zA10)	voorkomend in zout water > 10.000 mg Cl/l	<i>Ruppia cirrhosa</i> , <i>Ruppia maritima</i> , <i>Zostera marina</i> , <i>Zostera noltii</i> ,

Bijlage 2 Indeling ecosysteemtypen naar droogtegevoeligheid

Droogtegevoelig zijn ecosystemen waar de mogelijkheid bestaat op droogval of uitdroging in droge perioden en waar significante negatieve effecten te verwachten zijn door droogval of uitdroging.

De droogtegevoeligheid van natte ecosystemen is mede afhankelijk van de mate van versnippering en verdroging. In kleine gebieden die geïsoleerd liggen is de kans op uitsterven van populaties groter dan in grote aaneengesloten gebieden, en in gebieden die zijn aangetast door verdroging zijn populaties van kritische soorten vaak al zo sterk afgenomen dat een incidentele droogte voldoende kan zijn om de soorten definitief te doen verdwijnen.

Daarnaast is de droogtegevoeligheid ook afhankelijk van eigenschappen van de bodem. Bij bodems die voor een groot deel bestaan uit niet of weinig verteerd organisch materiaal, zoals veengronden, kan droogte leiden tot het vrijkomen van voedingsstoffen en veranderingen in de bodemstructuur. Ook de gevoeligheid van soorten voor droogval of uitdroging is van belang. Over het algemeen is de gevoeligheid het grootst in systemen die normaliter permanent nat of watervoerend zijn. In systemen die ook in normale perioden gekenmerkt worden door grote (grond)standswisselingen zoals in natte duinvalleien of in niet-permanent watervoerende sloten in hoog-Nederland komen soorten voor die weinig gevoelig zijn voor droogval of hier juist positief op reageren.

Voor de indeling naar de mate van verdroging is uitgegaan van de gegevens van Runhaar et al. 1996. De overige gegevens zijn gebaseerd op expert-judgement.

Tabel B2.1 Overzicht droogtegevoeligheid halfnatuurlijke en natuurlijke systemen

	versnip- pering	ver- droging*	risico op droogval	gevoelig op basis		Droogte- gevoelig
				bodem	orga- nismen	
bronnen en bovenlopen beken	++	+	+	-	++	+
midden- en benedenlopen beken	±	-	±	-	++	±
bovenlopen rivieren (Grensmaas)	+	-	+	-	++	+
midden- en benedenlopen rivieren	-	-	-	-	++	-
vennen	++	++/+	+	±	+	++
vrij afwaterende sloten	-	+	+	-	-	±
peilgereguleerde sloten	--	-	+ / ±	+	++	+ / ±
lijnvormige boezemwateren en kanalen	--	-	-	-	++	-
meren en plassen	-	-	-	-	++	-
laagveenmoerassen	+	+	±	++?	++	++?
hoogveen	++	+++	+	++	++	++
natte heide	+	+++	+	-	+	+
natte duinvaleien	+	++	+	±	-	±
voedselrijke moerassen op klei	+	-	+	-	-	-
schraalgraslanden en broekbossen	++	++	+	+	+	++

*) +++ ≥ 90% verdroogd
 ++ > 70% verdroogd
 + > 10% verdroogd

Bronnen en bovenlopen beken

Bronnen en bovenlopen van beken zijn vooral door hun sterk versnipperde ligging droogtegevoelig. De gevoeligheid voor droogval hangt af van het type bron of bovenloop maar het risico op droogval in droge perioden is vaak wel aanwezig, en bovendien zijn de in de bronnen en bovenlopen aanwezige organismen over het algemeen zeer gevoelig voor droogval. Daarom is dit ecosysteemtype ingeschat als zijnde droogtegevoelig.

Midden- en benedenlopen beken

Bij midden- en benedenlopen van beken is het risico op het droogvallen beperkt en ook zijn de mogelijkheden op herkolonisatie vanuit bovenstroomse en benedenstroomse gebieden groter. Daarom is dit type ingeschat als weinig gevoelig.

Bovenlopen rivieren

De enige bovenloop van een rivier in Nederland is de Grensmaas (evt. zou de Dinkel hier ook onder gerekend kunnen worden). Doordat de Maas een regenwaterrivier is, vormt droogval in droge perioden een reëel risico. Dat wordt in het geval van de Grensmaas versterkt doordat een deel van het water wordt afgevoerd door het Juliana-kanaal. Daarom is deze situatie ingeschat als zijnde droogtegevoelig.

Midden- en benedenlopen rivieren

Door hun grote herkomstgebied en geringe verval, en door stuwning aan de benedenloop, is er zelfs in extreem droge perioden nauwelijks of geen risico op droogval van midden- en benedenlopen van rivieren.

Vennen

Vennen zijn gelegen in infiltratiegebieden waarin de grondwaterstand sterk reageert op het neerslagoverschot, en het risico op droogval in droge perioden is dus tamelijk groot. Bovendien hebben ze sterk te lijden onder versnippering en verdroging. Op basis daarvan zijn vennen ingedeeld als zeer droogtegevoelig.

Vrij afwaterende sloten

Een kenmerk van vrij afwaterende sloten in hoog-Nederland is de grote variatie in afvoer, als gevolg waarvan veel sloten in de zomer droogvallen. De soortensamenstelling is daaraan aangepast, er komen veel soorten voor die goed tegen droogval kunnen of dit zelfs nodig hebben voor bloei en vruchtzetting (bv. Klimopwaterranonkel, Grote waterranonkel, Drijvende waterweegbree, Duizendknoopfonteinkruid). De droogtegevoeligheid is daarom gering.

Peilgereguleerde sloten

Het risico op droogval van peilgereguleerde sloten in laag-Nederland en laaggelegen (kwel)gebieden in hoog-Nederland is afhankelijk van de ligging (in infiltratiegebieden groter dan in kwelgebieden). Vanwege de geringe mate van versnippering en verdroging is de droogtegevoeligheid ingeschat als matig (in infiltratiegebieden) tot gering (in kwelgebieden).

Lijnvormige boezemwateren en kanalen en meren en plassen

In lijnvormige boezemwateren, kanalen, meren en plassen is de droogtegevoeligheid gering vanwege de diepte en omvang. Alleen bij lijnvormige boezemwateren is er een reëel risico op droogval bij staken van inlaat, maar omdat in dit watertype vanwege veiligheidsrisico's aanvoer van water de hoogste prioriteit heeft is dit niet erg waarschijnlijk. Daarom is dit watertype niet apart onderscheiden.

Laagveenmoerassen

De meeste laagveenmoerassen liggen in infiltratiegebieden of overgangsgebieden en zonder aanvoer van water bestaat een reëel risico op peilverlaging en/of droogval. Inschatting van de droogtegevoeligheid is lastig omdat niet duidelijk hoe groot het risico op veenaafbraak en eutrofiering is bij lage waterstanden (zie par. 2.1).

Hoogveen

Vanwege de geïsoleerde ligging en de sterke verdroging (levend hoogveen komt nog slechts op paar hectare voor), en vanwege de negatieve uitwerking van droogte op de bodemstructuur en veenmosgroei, is de gevoeligheid voor droogte ingeschat als groot.

Natte heide

Natte heide is vanwege de minerale ondergrond minder gevoelig voor droogte dan hoogveen en bovendien is een deel van de heidesoorten (bv Dopheide, Zeggen en Biezen) goed bestand tegen incidentele droogte. Vanwege de versnippering en sterke verdroging van natte heidegebieden is de droogtegevoeligheid toch als matig ingeschat.

Natte duinvalleien

Door de bijzondere waterhuishouding (een zoetwaterbel drijvend op een zoute watermassa) zijn de grondwaterstandsfluctuaties in duinvalleien van nature groot. Gevolg is dat in natte perioden valleien het hele jaar onder water kunnen staan om in droge perioden vrijwel het hele jaar droog staan. Omdat de soortensamenstelling is aangepast aan deze grondwaterdynamiek is de gevoeligheid voor incidentele droogte gering en kan droogte voor sommige organismen (vooral pioniersoorten) zelfs gunstig zijn.

Voedselrijke moerassen op klei

De droogtegevoeligheid van voedselrijke moerassen op klei is gering omdat de aanwezige soorten vaak goed bestand zijn tegen verdroging of incidentele droogte zelfs nodig hebben om zicht te kunnen vestigen of voort te planten (Riet, Moerasandijvie). Bovendien zijn kenmerkende soorten vaal zeer algemeen in Nederland en/of hebben ze een groot verspreidingsvermogen, zodat hervestiging zelden een probleem is.

Schraalgraslanden en broekbossen

Schraalgraslanden en broekbossen liggen meestal zeer geïsoleerd en zijn vaak aangetast door verdroging, en zijn daarom over het algemeen tamelijk droogtegevoelig.

Bijlage 3 Overzicht effecten droogte en wateraanvoer per gebiedstype


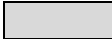


Niet alle ecosystemen zijn even gevoelig voor droogte en wateraanvoer. De gevoeligheid hangt onder meer af van de hydrologie en de bodemopbouw. In bijgaande tabel wordt een overzicht gegeven welke typen ecosystemen het meest gevoelig zijn voor de in de paragrafen 2.1 en 2.2 genoemde processen. Daarbij is deels ook rekening gehouden met ligging van ecosystemen: inlaat van water heeft weinig effect op wateren die geïsoleerd zijn van het oppervlaktewater (vennen) en inlaat van brak of zout water is in hoog-Nederland niet erg waarschijnlijk.

In de opeenvolgende kolommen wordt aangegeven:

- hoe groot het risico is op sterfte door afname van stroming en/of droogval;
- of er kans is op sterfte door uitdroging en vochttekorten;
- of er risico bestaat op verzuring door oxidatie van ijzersulfide;
- of er risico bestaat op een zodanige aantasting van de bodemstructuur dat dit een bedreiging vormt voor het functioneren van het ecosysteem;
- of er risico bestaat op eutrofiering als gevolg van de afbraak van organisch materiaal;
- hoe groot het risico is op eutrofiering als gevolg van de aanvoer van voedingsstoffen;
- hoe groot het risico is dat eutrofiering optreedt als gevolg van de stimulatie van afbraak van organisch materiaal door aangevoerd sulfaat en bicarbonaat;
- hoe groot het risico is op aantasting door de aanvoer van brak of zout water.

Tabel B3.1 Overzicht effecten per ecosysteemtype

Type ecosysteem	droogte					wateraanvoer		
	sterfte door afname stroming en droogval	sterfte door uitdroging en vochttekort	verzuring door droogval	aantasting bodemstructuur	eutrofiëring door afbraak organisch materiaal	vermesting door aanvoer voedingsstoffen	vermesting door afbraak organisch materiaal	aanvoer zout
bronnen en bovenlopen beken						X	X	X
midden- en benedenlopen beken								X
bovenlopen rivieren								X
midden- en benedenlopen rivieren	X					X	X	X
vennen						X	X	X
vrij afwaterende sloten in hoog-Nederland								X
peilgereguleerde sloten	(X)							
lijnvormige boezemwateren en kanalen								
meren en plassen								
laagveenmoerassen								
hoogveen								X
natte heide						X	X	X
natte duinvalleien						X	X	X
voedselrijke moerassen op klei								
schraalgraslanden en broekbossen in hoog-Nederland								
schraalgraslanden en broekbossen in laag-Nederland								X

-  duidelijke negatieve effecten
-  effecten beperkt of onzeker
-  geen effect te verwachten
-  gevoelig, maar ingreep vanwege ligging niet waarschijnlijk

Bronnen en bovenlopen van beken

Het belangrijkste risico bij bronnen en bovenlopen is dat ze in droge jaren droogvallen en dat in het nog aanwezige water de stroomsnelheid zodanig afneemt dat de zuurstofvoorziening van de organismen in gevaar komt. Regelmatig droogvallende bronnen en bovenlopen vertonen kenmerken van organisch belaste bovenlopen (Verdonschot 1990). De macrofauna is verarmd en bestaat vooral uit weinig gevoelige soorten. Er zijn in Nederland weinig soorten die specifieke aanpassingen aan droogval bezitten. Ook bij de waterplanten reduceert droogval de flora tot

algemene, tolerante soorten. Wateraanvoer is vrijwel onmogelijk. Daardoor zijn geen effecten te verwachten van de aanvoer van stoffen met inlaatwater.

Midden- en benedenlopen van beken

Het grootste risico in midden- en benedenlopen van beken is droogval of afname van stroming in droge jaren. Anders dan bij bovenlopen is vaak wel de mogelijkheid aanwezig om water in te laten uit rivieren of kanalen. Voorbeelden van beken die voor een belangrijk deel gevoed worden door ingelaten rivier- en kanaalwater zijn de beken in Noord-Limburg ten oosten van de Maas, de beken ten noorden van het Twentekanaal en de Sallandse weteringen. Het risico op vermesting door wateraanvoer is in deze situaties beperkt doordat de betreffende beeksystemen ook in normale jaren al worden gevoed door rivier- of kanaalwater, en dus meestal al een tamelijk eutroof karakter hebben. Doordat de betreffende beken -zeker in droge perioden- afhankelijk zijn van de aanvoer van water, wordt de kans op droogvallen mede bepaald door keuzes in het waterbeheer en prioriteiten die worden gesteld bij de verdeling van water.

Bovenlopen en benedenlopen rivieren

In Nederland kan alleen de Grensmaas enigszins worden beschouwd als een bovenloop van een rivier. Het risico op droogval is vrij groot doordat de Maas een regenwaterrivier is, en omdat een deel van het water wordt afgevoerd via het Julianakanaal. In de rest van de Maas en in de Rijn en de Rijntakken is droogval niet te verwachten. Juist de Grensmaas bevat een stromingsminnende fauna. Droogval is voor stromingsminnende soorten fataal omdat deze soorten een hoge zuurstofbehoefte hebben.

Vennen

In vennen is het risico op droogvallen groot. Door de afhankelijkheid van de aanvoer van regenwater valt een groot deel van de vennen ook in 'normale' droge jaren wel eens droog. In vennen die regelmatig droogvallen is de soortensamenstelling hieraan aangepast. Bijvoorbeeld doordat relatief veel insecten voorkomen die zich in een volwassen stadium vliegend verspreiden, en daarmee het ven na droogval kunnen herkoloniseren, en doordat de aanwezige planten perioden van droogval goed kunnen overleven, of dit zelfs nodig hebben om zaad te kunnen zetten. Naar verwachting zijn hier de effecten van droogval in droge jaren beperkt. In vennen met een permanent karakter die alleen in zeer droge jaren droogvallen zijn wel effecten te verwachten, bijvoorbeeld doordat minder algemene soorten en/of soorten met een minder groot verspreidingsvermogen lokaal uitsterven. Daarnaast is

in deze vennen het risico groot dat verzuring optreedt als gevolg van oxidatie van in de onderwaterbodem aanwezige sulfide. Droogval kan overigens ook positieve effecten hebben, namelijk doordat vissen die zijn uitgezet (of ooit op natuurlijke wijze door overstroming met beekwater zijn aangevoerd) sterven. De grote soortenrijkdom aan insecten in geïsoleerde wateren als vennen is voor een niet onbelangrijk deel te wijten aan het gebrek aan predatie door en concurrentie met vissen, en uitzetten van vis kan daarom negatief uitwerken op de soortenrijkdom. Een voorbeeld is de recent geïntroduceerde Zonnebaars die een groot deel van de aanwezige fauna eenvoudigweg wegvreet. In Brabant is in een aantal situaties droogval bewust als beheermaatregel ingezet om de Zonnebaars te bestrijden.

Mogelijkheden voor aanvoer van water zijn beperkt vanwege de geïsoleerde ligging en de gevoeligheid voor eutrofiering. Met name in Brabant werden veel vennen in het verleden via daartoe aangelegde sloten gevoed met beekwater. Dit om de productiviteit te verhogen in verband met het gebruik als viswater. Vanwege de eutrofiering van het oppervlaktewater en de nadelige invloed daarvan op de vennen is de inlaat van beekwater vanaf ca 1950 overal gestaakt. Alleen in het Beuven wordt sinds de jaren 70 weer beekwater ingelaten, zij het in beperkte mate en na voorzuivering.

Sloten

De gevoeligheid voor droogval hangt sterk af van de geografische ligging. In de vrij afwaterende gebieden in hoog-Nederland vallen veel sloten ook in gewone jaren droog in het zomerhalfjaar. De gevoeligheid voor droogte is beperkt doordat de aanwezige soorten (bv Klimopwaterranonkel, Grote waterranonkel, Duizendknoopfonteinkruid, Drijvende waterweegbree) hieraan zijn aangepast of droogval zelfs nodig hebben om tot bloei te komen. De steenvlieg *Nemoura cinerea* komt hier zelfs talrijk voor en profiteert van droogval. In lageregebieden met een gereguleerde peil zijn de sloten normaliter het hele jaar watervoerend en komen in de sloten veel waterplanten en waterdieren voor die niet zijn aangepast aan droogval.

De gevoeligheid voor eutrofiering als gevolg van inlaat van water is sterk afhankelijk van de uitgangssituatie. Een groot deel van de sloten in Nederland is zeer voedselrijk als gevolg van de uitspoeling van meststoffen uit de landbouw. Inlaat van water heeft hier weinig effect op de voedselrijkdom, en voor zover er effecten optreden zijn die deels positief doordat inlaat van water leidt tot verbetering van de kwaliteit. Matig voedselrijke sloten die rijk zijn waterplanten (met fosfaatgehalten van minder dan 0.1 P mg/l) komen voor in minder intensief gebruikte landbouwgebieden en natuurgebieden, en zijn optimaal ontwikkeld in kwelgebieden. Toestroming van schoon grondwater en vastlegging van fosfaat aan met het grondwater aangevoerd ijzer zorgen daar voor een beperking van de voedselrijkdom. In normale jaren wordt in kwelgebieden weinig of geen water ingelaten. In droge jaren kan inlaat van voedselrijk oppervlaktewater wel nodig zijn om de peilen te handhaven, en dit kan leiden tot nadelige effecten.

In hoog-Nederland speelt de inlaat van brak of zout water geen rol. De gevoeligheid van sloten in laag-Nederland voor de inlaat van brak of zout water hangt sterk af van het zoutgehalte van het inlaatwater. Bij de inlaat van duidelijk brak of zout grondwater (>1000 mg Cl/l) is vrijwel altijd een nadelig effect te verwachten, uiteraard met uitzondering van sloten die normaliter al gevoed worden door zout

grond- of oppervlaktewater. Bij licht brak inlaatwater (300-1000 mg/l) zijn vooral effecten te verwachten in matig voedselrijke, en daardoor soortenrijke sloten met zoet water. In licht brakke én in zeer voedselrijke sloten komen geen soorten voor die zeer gevoelig zijn voor zout (zie par. 2.2 en bijlage 1).

Lijnvormige boezemwateren en kanalen

De in lijnvormige boezemwateren en kanalen voorkomende organismen zijn uiteraard zeer gevoelig voor droogval, maar het risico hierop is zeer gering: om veiligheid te waarborgen (verzakken kades en woningen) wordt er alles aan gedaan om het waterpeil in deze wateren te handhaven. De gevoeligheid voor de aanvoer van water is beperkt omdat het water over het algemeen tamelijk voedselrijk is en er weinig zeer zoutgevoelige organismen aanwezig zijn. Alleen bij de inlaat van echt brak of zout water is onomkeerbare schade aan aanwezige levensgemeenschappen te verwachten.

Meren en plassen.

Ook bij meren en plassen is het risico op droogval beperkt. De gevoeligheid voor de aanvoer van water verschilt sterk per situatie. Veel plassen en meren zijn tamelijk voedselrijk, en de gevoeligheid voor aanvoer van voedselrijk en/of licht brak water is dan gering. Er zijn echter ook meren met relatief schoon helder water, zoals een deel van de randmeren langs de Veluwe, en de inlaat van voedselrijk water kan dan een bedreiging vormen voor de aanwezige watervegetaties en de van deze vegetaties afhankelijke dieren.

Laagveenmoerassen

Door de aanwezigheid van niet veraard voedselrijk veen zijn laagveenmoerassen gevoelig voor (grond)waterstandsval doordat daarmee de afbraak van het veen wordt gestimuleerd en er grote hoeveelheden voedingsstoffen kunnen vrijkomen. Om dezelfde reden zijn laagveenmoerassen ook gevoelig voor de aanvoer van water: door de aanvoer van sulfaatrijk water kan de anaërobe afbraak van organisch materiaal worden gestimuleerd en ontstaat bovendien het gevaar op vorming van toxisch waterstofsulfide. De aanvoer van nutriënten en sulfaat wordt gezien als voornaamste reden voor de vaak slechte oppervlaktewaterkwaliteit in de Nederlandse laagveenmoerasgebieden en van het achterwege blijven van verlandingsprocessen die nodig zijn voor de verjonging van het veen (Lamers et al. 2004).

Hoogveen

Zoals aangegeven in par. 2.1 zijn hoogvenen zeer gevoelig voor verdroging omdat ze voor hun functioneren afhankelijk zijn van een toplaag van niet veraard veenmosveen. Uitdroging van het veen kan tot gevolg hebben dat het vochtbergend vermogen van de bovengrond afneemt en daarmee de voorwaarden voor verdere veengroei verslechteren. In een goed ontwikkeld levend hoogveen is de invloed van een incidentele droogte naar verwachting beperkt, en zorgt hooguit voor een tijdelijke onderbreking in de hoogveenvorming. Goed ontwikkeld hoogveen komt echter in Nederland nauwelijks voor, wel komen er veel gebieden voor waar door vernattingsmaatregelen geprobeerd wordt om de hoogveengroei weer op gang te

brengen. In deze gebieden kan een droog jaar er voor zorgen dat een beginnende hoogveenvorming weer teniet wordt gedaan.

Inlaat van oppervlaktewater is vaak goed mogelijk omdat als relict van vroegere ontginningen een structuur van sloten en wijken aanwezig is. De inlaat van water heeft echter sterk nadelige effecten. Omdat het inlaatwater altijd rijk is aan bicarbonaat wordt de afbraak van het veen gestimuleerd en neemt de voedselrijkdom toe. Ook is vaak sulfaat aanwezig dat onder anaërobe omstandigheden de afbraak van veen nog verder stimuleert.

Natte heide

In natte heide bestaat het belangrijkste effect van extreme droogte uit de sterfte van soorten als gevolg van vochttekorten. De verdrogingsgevoeligheid van de aanwezige soorten is echter meestal beperkt. In de eerste plaats worden veel heidegebieden vanwege hun afhankelijkheid van de neerslag van nature al gekenmerkt door 's zomers ver wegzakkende grondwaterstanden, met als gevolg dat daar alleen verdrogingstolerante soorten voorkomen. In de tweede plaats worden veel vaatplanten die voorkomen op voedselarme zure standplaatsen, zoals heidesoorten en diverse soorten grassen en grasachtigen, gekenmerkt door een scleromorfe bouw met veel steunweefsels. Dat maakt ze minder gevoelig voor uitdroging. Het zijn vooral de veenmossen en levermossen die voorkomen in permanent natte of vochtige heide die gevoelig zijn voor droogte.

Natte duinvalleien

Als gevolg van de bijzondere hydrologie (zoetwaterlenzen drijvend op zoet water) worden natte duinvalleien gekenmerkt door langjarige schommelingen en een grote dynamiek. In natte perioden kunnen natte duinvalleien langdurig onder water staan, om in droge perioden al vroeg in het jaar droog te vallen of zelfs in de winter droog te blijven. Mits nette en droge perioden niet te lang duren is dit voor de soortenrijkdom niet ongunstig: door de wisselingen wordt de successie richting laagveen geremd en ontstaan telkens weer nieuwe open plekken die geschikt zijn voor pionierplanten. Met uitzondering van de duinen die worden gebruikt voor de zuivering van oppervlaktewater en de opslag van water zijn er geen mogelijkheden om water aan te voeren.

Voedselrijke moerassen op klei

Door de grote voedselrijkdom, de beperkte hoeveelheid makkelijk afbreekbaar organisch materiaal en een relatief grote vochtleverantie zijn moerassen op klei weinig gevoelig voor verdroging. In het grootste en meest bekende kleimoerasgebied, de Oostvaardersplassen, wordt zelfs gewerkt met een dynamisch peilbeheer om natte en droge jaren te simuleren (Van Eerden, 1995). Droge jaren zijn namelijk essentieel voor de kieming en vestiging van veel moerasplanten, waaronder een belangrijke soort als Riet. Ook kenmerkende pioniersoorten, zoals in Nederland regelmatig voorkomende maar internationaal zeldzame Moerasandijvie, zijn afhankelijk van droogvallende plekken in de zomer.

Schraalgraslanden en broekbossen

Vooral schraalgraslanden en broekbossen in het laagveengebied zijn gevoelig voor droogte en aanvoer van water door de aanwezigheid van makkelijk afbreekbaar materiaal. In zandgebieden zijn de grondwaterstandsfluctuaties over het algemeen groter en is het aanwezige organische materiaal als gevolg daarvan sterker veraard. De gevoeligheid voor droogte is daarom wat minder dan in laagveengebieden. Voorzover de inlaat van water via sloten en greppels mogelijk is zijn eutrofiërende effecten te verwachten van de aanvoer van voedingsstoffen en de aanvoer van sulfaat.

Bijlage 4 Verslag workshop verdringingsreeks 7 november 2005

Aanwezig:

Boudewijn Beltman (UU), Nicko Straathof (NM), Allard van Leerdam (SBB), Remco van Ek (RIZA), Hans de Bruin (Waterschap Aa en Maas), Piet Verdonshot, Han Runhaar (Alterra), Marijn Blok (Alterra, not.)

1. Algemene vragen t.a.v. studie

Boudewijn: vanuit de vraagstelling van de verdringingsreeks is het logisch dat voornamelijk wordt ingegaan op negatieve effecten van droogte. Dit kan echter een vertekend beeld geven. Er moet duidelijk aangegeven worden dat in deze studie alleen wordt ingegaan op de negatieve aspecten, en het is handig om ergens ook een overzicht te geven van positieve effecten (bv in tabel of tekstkader).

Remco: vraagt zich af of het effect van indampen mee is genomen; juist bij kleine watersystemen zijn dergelijke problemen te verwachten. Han: hier is niet expliciet aandacht aan besteed. Kan een argument zijn voor doorspoeling, en er moet dus nog wel aandacht aan worden besteed.

Nicko: we gaan hier uit van droogte, maar gaan we ook uit van toegenomen frequentie van droogteperiodes? Is er ook gekeken naar systemen die in de toekomst niet meer gehandhaafd zouden kunnen (als voorbeeld hiervan wordt vaak hoogveen genoemd) Han: met begeleidingscommissie afgesproken hier niet verder op in te gaan. Voorlopig zijn er nog geen aanwijzingen dat droogteperiodes veel vaker zullen optreden. Als dat wel zo is verandert de vraagstelling, vraag wordt dan welke typen wel of niet te handhaven zijn in Nederland.

Remco: gaat het rapport ook in op de vraag wie straks gaat vaststellen wanneer er sprake is van onomkeerbare schade? Han: wij zeggen hier alleen wanneer er sprake van zou kunnen zijn. Maar wie het gaat vaststellen is nog niet duidelijk. Waarschijnlijk komt deze verantwoordelijkheid voor de regionale wateren te liggen bij waterschappen en provincies. Bij de bepaling van onomkeerbare schade is niet gekeken naar natuurwaarde, of dat wel of niet moet gebeuren is als discussiepunt opgenomen. Daarbij wordt aanbevolen te kijken naar actuele natuurwaarde op basis van aanwezige soorten, en niet te kijken naar de status van gebieden.

2 Bespreking voorlopige conclusies en aanbevelingen t.a.v. onomkeerbare schade door droogte

Stelling 1 Onomkeerbare schade door droogte is alleen te verwachten in:

- a. systemen die zijn aangetast door verdroging en versnippering
- b. systemen met kunstmatige wateraanvoer en –afvoer

Toelichting: periodieke droogte is op zich geen onnatuurlijk verschijnsel. Als daardoor organismen verdwijnen is dat niet per definitie als schade te beschouwen; soms hoort het verdwijnen van een soort bij de natuurlijke dynamiek. Maar in Nederland komen weinig robuuste systemen voor. Veel systemen zijn aangetast door verdroging en versnippering. In deze systemen met verzwakte en geïsoleerde populaties kan een incidentele droogte de nekslag betekenen voor een soort.

Voor: Nicko, Hans, Remco, Allard

Tegen: Piet: de vraag is verkeerd gesteld: de verdringingsreeks heeft alleen betrekking op laatste stap bij aftakeling. Systemen staan in het algemeen onder druk en niet alleen door verdroging en versnippering. Ook eutrofiering en verzuring vormen groot probleem. Extreme droogte leidt dan gewoon tot de laatste druppel. Er zijn op waterhuishoudingsgebied bijna overal wel problemen aan te wijzen. Nicko: de reeks is geen oplossing voor de structurele verdroging.

Discussie: Boudewijn valt over het woord extreem. "Extreem" wil nog niet zeggen dat het effect groot is. Het heeft ook te maken met de situatie in het voorafgaande tijdvak. Als je van te voren al een lange droge periode hebt gehad is effect van zomerdroogte veel ernstiger dan na een nat voorjaar. Allard: er zijn veel systemen die al aan het begin van de zomer droger zijn. Han: beperking aan verdringingsreeks is nu eenmaal dat deze pas ingaat in extreme situaties waarin een tekort bestaat aan water. Probleem is dan inderdaad dat het op dat moment al vaak te laat is om nog effectief in te grijpen.

Nicko: in een droge periode zorg je er bijvoorbeeld voor dat je de sloten op peil houdt. Als hiervoor geen water meer beschikbaar is, gaat de verdringingsreeks in. Allard: je zou ruimte moeten nemen in het rapport om te zeggen dat je nu bezighoudt met de verdringingsreeks, maar dat je ook te maken hebt met verdroging en dat de reeks daarvoor geen oplossing is.

Piet: typen ook goed definiëren en prioriteren naar kwetsbaarheid. Vraag is of dat op landelijke schaal wel mogelijk is. Remco: op generiek niveau wel aangeven bij welke typen je droogteschade kunt verwachten. Han: het is op landelijke schaal niet mogelijk om precies aan te geven wanneer wel en niet onomkeerbare schade optreedt, dat is te veel afhankelijk van gebiedsspecifieke omstandigheden. Wel kan in het algemeen worden aangegeven aan welke type situaties gedacht moet worden. Een doel van het rapport is verwarring te voorkomen en richting waterschappen helderheid te verschaffen waar ze aan moeten denken bij 'onomkeerbare schade aan de natuur'. Daarnaast moet het rapport ook duidelijke maken dat om schade door droogte tegen te gaan vooral ook structurele oplossingen nodig zijn om droogtegevoeligheid te verminderen door verdroging en versnippering tegen te gaan. Voor bepaling in welke situaties verdringingsreeks echt aan de orde is zijn gebiedsspecifieke studies nodig.

Remco: komen droge systemen niet voor in dit systeem? Droogte kan daar onomkeerbare schade (fauna!) toebrengen door bijvoorbeeld brand en voor blussen heb je ook water nodig. Han: zijn nu niet behandeld, in rapport tenminste aangeven dat ze niet zijn behandeld en waarom dat is gebeurd.

Stelling 2 In systemen die meeste zijn aangetast door verdroging en versnippering (vennen, bovenlopen van beken, natte heide en hoogveen, natte schraal- graslanden en broekbossen) geen wateraanvoer mogelijk, niet effectief, of niet gewenst vanwege nadelige effecten aanvoer stoffen; hier zijn structurele maatregelen nodig om verdroging en versnippering tegen te gaan.

Discussie: Nicko: in deze gevallen kan je alleen wat doen als je structurele maatregelen hebt genomen om verdroging te bestrijding. Droogte is niet te bestrijden met alleen toepassing verdringingsreeks. Allard: is het wel eens met de stelling dat inpompen van water niet altijd positief is door de invloed van de waterkwaliteit, maar er zijn uitzonderingen. Nicko ook waterpeilverhoging helpt op gegeven moment niet meer. Als de afstand te groot is, kan water onvoldoende snel doordringen in percelen. Allard: maar voor de organismen in de sloten en de slootranden kan inlaat nog wel gunstig zijn. Je moet altijd de afweging maken tussen schade door droogte en schade door slechte kwaliteit water.

Remco: we gaan er vanuit dat de oppervlaktewaterkwaliteit erg slecht is, maar het is de vraag of dat zo blijft. Als de oppervlaktewaterkwaliteit goed is hoeft waterinlaat geen negatieve invloed te hebben op de waterkwaliteit. Nicko: stelling opnemen dat als de waterkwaliteit goed is, dat je dan makkelijker droogte kunt bestrijden door inlaat van water. Zoals bijvoorbeeld in Naardermeer waar door de defosfatering de inlaat van water geen probleem meer vormt. Piet: 'vuil' water is een relatief begrip, je moet ook kijken om welke stoffen het gaat (fosfaat, stikstof, bicarbonaat, sulfaat). Allard: de kwaliteit verschilt regionaal sterk. Er zou dus onderscheid gemaakt moeten worden tussen situaties met goede en slechte kwaliteit water. De waterkwaliteit speelt vooral een rol in laag Nederland.

Piet: 2 denkfouten: a. dieren worden hier buiten beschouwing gelaten. b. de waterkwaliteit in hoog Nederland is wel degelijk van belang. Men dient rekening te houden met de intrinsieke waarden in de sloten. Er is veel leven in het oppervlakte water, en voor fauna is kwantiteit voor overleven meestal belangrijker dan kwaliteit. Han: het klopt dat fauna tot nu toe in deze studie is onderbelicht, mede door gebrek aan capaciteit bij aquatische ecologen vanwege onderzoek voor de Kaderrichtlijn Water. Er is niet genoeg tijd geweest om effecten op fauna goed te onderzoeken, maar moet nog wel gebeuren.

Boudewijn: er moet goed worden gekeken naar de inhoud achter de stellingen. Je moet het beleid er goed op wijzen wat het onderscheid is tussen de regio's en de waterkwaliteiten. Conclusies Han: duidelijker maken dat verdrogingsreeks regionaal moet worden uitgewerkt, en meer aandacht besteden aan rol waterkwaliteit in afweging. Suggestie Hans: je zou een tool/tabel kunnen maken van wat kwetsbare systemen zijn en wat hun eisen zijn op gebied van waterkwaliteit. Nicko: maar eisen niet te hoog stellen, want anders wordt de keus al snel om niets te doen i.v.m. afwezigheid goed water.

Kanttekening Piet: houdt er rekening mee dat kwaliteit van het water dat wordt ingelaten vanuit hoofdsysteem niet altijd zelfde is als kwaliteit van water dat natuurgebieden en sloten bereikt, omdat het inlaatwater de haarvaten pas als laatste bereikt en water dat wordt ingelaten in sloten en natuurgebieden vaak al in het gebied aanwezig was.

Stelling 3 In systemen met kunstmatige wateraanvoer (infiltratieplassen, beken met wateraanvoerfunctie) wateraanvoer continueren in perioden met extreme droogte; eventueel beperken tot systemen die een duidelijke natuurwaarde hebben)

Voor: allemaal eens met kanttekening.

Kanttekening: Hans: Wat wordt bedoeld met infiltratieplassen? Han: Plassen die als doel hebben om water te laten doordringen in de bodem. Hebben meestal korte verblijftijd. Het gaat hierbij om de echt kunstmatige systemen die in ieder geval droogvallen als je geen water meer toevoert. Veel laagveenplassen en laagveensloten zijn ook infiltratiesystemen met kunstmatige aanvoer en kunnen bij voldoende infiltratie ook droogvallen bij stopzetten wateraanvoer. Hier speelt echter aparte discussie, namelijk over afweging tussen droogte en vervuiling (zie 3). Piet: typologie duidelijker maken. Han en Piet kijken hier samen naar.

Stelling 4 In beek- en rivierlopen met omleidingskanaal op basis verdringsreeks in droge perioden voorrang voor afvoer via natuurlijke loop

Voor: allemaal voor

3 Bespreking voorlopige conclusies en aanbevelingen t.a.v. onomkeerbare schade door wateraanvoer

Stelling 5 Vanwege aanvoer van ongewenste stoffen (zout, nutriënten, sulfaat) schade door inlaat van water vaak groter dan schade door droogte

Voor: allemaal (met kantekeningen)

Kantekening: Hans: wil graag dat ook bicarbonaat en calcium worden genoemd. Piet: stelling afzwakken, je moet er rekening mee houden dat voor dieren waterkwantiteit erg belangrijk is en droogval kan leiden tot het verdwijnen van soorten. Dus een model maken met de volgende afwegingen: Welke dieren en planten gaan dood in welk geval? Kunnen ze terugkomen? Groot aantal komt niet terug. Dan afweging maken welke soort meer waard is dan de andere.

Allard: in sommige gebieden kan je goed droogte opvangen door hier rekening mee te houden bij de inrichting van het gebied. Zoals bijvoorbeeld in de schraallanden langs de Meije waar door lange aanvoerweg de waterkwaliteitsproblemen minder zijn. Boudewijn: eutrofiering wordt ook deels gebufferd door opname door waterplanten. Doordat inlaat plaats vindt in de zomer en tijdelijk van aard is kan aanzienlijk deel nutriënten worden vastgelegd in planten en in najaar bij slootschoning met planten worden verwijderd.

Stelling 6 In ieder geval voorkomen inlaat van zout water in zoetwatergebieden en inlaat van hard voedselrijk water in voedselarme systemen

Voor: allemaal voor

Stelling 7 Effecten van inlaat van licht brak water (200-1000 mg Cl/l) zijn onduidelijk

Toelichting: vrijwel alle gegevens over relatie soortensamenstelling-zoutgehalte zijn gebaseerd op voorkomen planten en dieren in wateren met min of meer stabiel zoutgehalte. Wat er gebeurt bij tijdelijke (lichte) verhoging van chloridegehaltes is niet bekend.

Voor: allen met kanttekening

Kantekening: Piet: genoemde chloriderange te ruim: 300 kan mogelijk wel, maar 1000 zeker niet. Boudewijn: bij chloridegehaltes van boven de 300 krijg je ook fosfaatmobilisatie.

Remco: Is het effect van zoutgehalte op wilde plantensoorten nooit experimenteel onderzocht? Leuk onderwerp voor een AIO!. Han & Piet: nee, experimenteel onderzoek niet. Is goed te onderzoeken met mesocosmossen waarin organismen gedurende verschillende tijdsduur worden blootgesteld aan water met een licht verhoogd chloridegehalte.

Stelling 8 In laagveenmoerassen onduidelijk wat effecten droogval zijn en wat daarom te verkiezen is: (extra) inlaat van water of droogval.

Voor: allemaal mee eens

Kantekening: kan je in extreem droge perioden risico nemen door peil te laten verlagen? Nicko: in veel gebieden is peilverlaging niet bespreekbaar door kans op schade door verzakking van woningen. Boudewijn merkt op dat in petgaten in Westbroek die in 2003 (onbedoeld) droogvielen er geen eutrofierverschijnselen werden waargenomen, en dat droogval zelfs leidde tot kieming van allerlei soorten en daardoor versnelling van de (gewenste) successie richting trilveen. Droogval heeft niet alleen gunstig effect op fosfaatbeschikbaarheid, maar kan ook leiden tot verdwijnen van stikstof uit het systeem: bij droogval wordt stikstof omgezet in nitraat, dat bij daaropvolgende vernatting wordt gedenitrificeerd. Nicko: afhankelijk van situatie, sloten met veel bagger of gestructureerd veen. In Naardermeer waren er indertijd veel sloten met een dikke baggerlaag, en daar trad in ondiepe waterlaag boven bagger wel eutrofiering op.

3 Bespreking voorlopige conclusies en aanbevelingen t.a.v. beleid en onderzoek

Stelling 9 Invloed nieuwe verdringingsreeks beperkt, zal naar verwachting slechts in weinig gevallen verandering opleveren t.o.v. bestaande situatie

Voor: allemaal

Kantekening:

Duidelijk maken dat er wél onomkeerbare schade is door droogte, maar dat dat niet kan worden opgelost door een andere verdeling van water in extreem droge perioden. De conclusie moet niet zijn dat droogte geen probleem is, maar dat het een probleem is dat op andere wijze moet worden opgelost, onder meer door verdrogingsbestrijding. We moeten de reactie die daarop komt benutten om voor elkaar te krijgen dat per gebied kritisch wordt gekeken naar de waterhuishouding.

Allard: In feite heb je 2 taken, (1) Aangeven wanneer onomkeerbare schade optreedt, en (2) aangeven hoe je dat kunt tegengaan. Dat onomkeerbare schade optreedt bij droogte is duidelijk. Maar de verdringingsreeks biedt daar geen oplossing voor. Om dat wel te bewerkstelligen moet je afdalen naar regionaal niveau en daar op landelijk niveau mogelijkheden toe scheppen. Je zult wel structureel vooraf maatregelen moeten nemen. Boudewijn: er moet wel een kant-en-klaar scenario liggen dat uitgevoerd kan worden in noodsituaties.

Stelling 10 Verdere uitwerking in gebiedsstudies is nodig om te zien in welke mate gesignaleerde situaties daadwerkelijk voorkomen en in welke maatregelen nodig zijn om schade door droogte dan wel wateraanvoer te voorkomen of te verminderen.

Voor: allemaal, sluit aan bij conclusies uit discussie bij eerdere stellingen (zie stellingen 1 en 2).

Kantekening: we zijn het eens dat dit een regionale kwestie is. Maatwerk is nodig. Maar zijn waterschappen in staat om te bepalen wanneer er sprake is van onomkeerbare schade en om te bepalen wat er moet gebeuren om schade te voorkomen? Dat is punt voor verder onderzoek, maar verwachting in de groep is dat kennis niet voldoende zal blijken te zijn. Het is aan te raden om een aantal gebiedssituaties uit te werken om aan te tonen wat de gevolgen van droogte zijn en welke maatregelen genomen kunnen worden om droogte tegen te gaan. Nicko: uitzoeken welke strategieën waterschappen op de plank hebben liggen. Hans zal uitzoeken wat er momenteel al bij Aa en Maas loopt en aan welke kennis behoefte is.

Aanbeveling 1 Onderzoek naar de effecten van kortdurende (weken-maanden) blootstelling aan licht verhoogde chloridegehalten

Voor: allemaal

Aanbeveling 2 Verder onderzoek naar effecten inlaat en droogval in laagveenwateren, inclusief proeven op praktijkschaal

Kanttekening: Boudewijn: Het huidige OBN-onderzoek loopt tot maart 2006. Er wordt nu getracht om voor een tweede periode van 3 jaar via OBN hiervoor budget te krijgen. Vanuit de waterschappen wordt hard gewerkt om de 2^{de} fase voor elkaar te krijgen.

4 Samenvatting en evaluatie

Han:

1. Goed kijken naar typologieën en mogelijkheden die je hebt om algemene uitspraken te doen. Hoe kan je systemen indelen om iets te kunnen zeggen over droogte gevoeligheid. Samen met Piet nog kijken of aanpassingen nodig zijn.
2. Hoe stellig kun je zijn over situaties waar wel of niet onoverkoombare schade is te verwachten. Hoe voorkom je te stellige uitspraken los van de regionale context, en hoe voorkom je teveel maren en nuances? Aangeven wat er regionaal uitgewerkt moet worden
3. Goede relatie leggen met verdrogingsbestrijding: om droogteschade tegen te gaan moet je verdroging (en versnippering) tegengaan
4. Meer kijken naar fauna. Die reageert afwijkend van flora. Vaak acutere problemen.

5 Rondje: wat viel op en wat moet worden meegenomen in vervolg:

Hans de Bruin:

Goede workshop. Levendig debat. Er kwamen wezenlijke vragen aan de orde. Heeft duidelijk taak mee teruggekregen en daar gaat hij over praten. De tabellen vond hij over het algemeen goed in elkaar zitten maar soms zitten er echte foutjes in.

Boudewijn Beltman:

Vindt het voordeel van deze bijeenkomsten dat je verschillende anekdotische observaties bij elkaar kunt brengen en met elkaar in verband kunt brengen. Dat werpt soms nieuw licht op problematiek. Je kan samen wat meer duidelijkheid scheppen. Er zijn natuurlijk nog een hele hoop hiaten, maar die hebben we samen in kaart gebracht. Aanbeveling: vooral aan de stap tussen rijksbeleid en regiobeleid aandacht schenken.

Allard van Leerdam:

Vond het goed en heeft er niet veel aan toe te voegen. Het achterliggende probleem goed belicht. Het beleid overschat vaak eigen inbreng. Het zit vaak veel ingewikkelder in elkaar dan beleidsmakers mogelijk denken.

Piet Verdonschot:

Heeft er weinig aan toe te voegen.

Nicko Straathof:

Sluit zich bij vorige sprekers aan. Wel uitkijken om niet het kind met badwater weg te gooien. Moet je voorkomen door bij formulering van conclusies en aanbevelingen hier een goede middenweg voor vinden en niet te veel uitvluchten mogelijk te laten (Droogteschade niet tegen te gaan door inlaat van water? Dan hoeven we dus niets te doen). Vraag aan Han: wat is de zwakke plek in dit verhaal? Han: dat hij wel aannemelijk kan maken in welke situaties onomkeerbare schade door droogte te verwachten is, maar dat dat zelden op basis van harde meetgegevens is te onderbouwen.

Remco van Ek:

Heeft het verhaal nog niet helemaal doorgelezen maar gaat dit zeker doen. Niet afdoen met 'laat maar zitten die verdringingsreeks'. Verdringingsreeks is zeker van belang voor fauna. Duidelijk aangeven dat onomkeerbare schade opgelost moet worden met verdrogingbestrijding. Ook meer doen met waterkwaliteit. Duidelijk is ook dat er veel onbekend is. Als de regio ermee aan slag moet is het onduidelijk op basis waarvan ze iets moeten doen. Ze moeten handvatten krijgen. Natuur is nog een wat open begrip en er ontbreekt dus een kennisbasis om er goed mee aan de slag te kunnen. Actieve genuanceerde boodschap uitzenden. Niet te veel verwachten van de verdringingsreeks maar vooral wijzen op winst die te halen is met het structureel verbeteren van waterhuishouding en waterkwaliteit. Niet "laat maar", maar "meer doen".

Bijlage 5 Invloed openwaterstand op grondwaterstand in natuurterreinen in perioden dat onomkeerbare droogteschade kan optreden

De methode van de kritieke L-afstand

Jan van Bakel
Harry Massop

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Door LNV is aan Alterra de vraag gesteld wanneer onomkeerbare schade aan de natuur te verwachten is als gevolg van droogte en of wateraanvoer in een droge periode een effectief middel is om onomkeerbare schade door verdroging van terrestrische ecosystemen te voorkomen. Het antwoord op deze vraag is van belang voor het vaststellen van de plaats van de natuur in de zogenoemde Verdringsreeks. Deze reeks wordt gehanteerd bij verdeling van oppervlaktewater in perioden dat op regionaal niveau de vraag naar oppervlaktewater het aanbod overtreft. Recent is besloten wateraanvoer ter voorkoming van onomkeerbare schade aan terrestrische ecosystemen een hogere prioriteit te geven dan bijv. landbouw en scheepvaart. Vragen die hierbij kunnen worden gesteld zijn: a) zijn er methoden en criteria om vast te stellen of er op enig moment onomkeerbare schade kan optreden en b) is aan te geven bij welke hydrologische situaties wateraanvoer een effectief middel is om deze schade te voorkomen.

In deze notitie zal op de laatste vraag worden ingegaan.

1.2 Probleem- en doelstelling

De vraag is of wateraanvoer in droge perioden een effectief middel is om onomkeerbare schade aan terrestrische ecosystemen te voorkomen.

De doelstelling voor dit onderzoek is: geef door middel van voorbeeldberekeningen aan wat de invloed is van het oppervlaktewaterpeil op de grondwaterstand op verschillende afstanden van het oppervlaktewater bij verschillende hydrologische systemen zoals die in natuurgebieden in Nederland voorkomen.

2. Nadere analyse

2.1 Inleiding

De grondwaterstand op enig moment is de resultante van flux op het freatisch vlak als gevolg van capillaire opstijging of percolatie, de drainage naar of infiltratie vanuit waterlopen in de omgeving en kwel of wegzijging (is stroming naar waterlopen verder weg of naar grondwateronttrekkingen) en de freatische bergingscoëfficiënt. De drainageflux is afhankelijk van de lekweerstand en het verschil in potentiaal tussen grondwaterstand en openwaterstand. Hieruit volgt dat met de openwaterstand de grondwaterstand tot op zekere hoogte is te beïnvloeden.

Belangrijk is onderscheid te maken in structurele effecten en tijdelijke effecten. Structurele effecten zijn een gevolg van een structurele verandering in de ontwateringsbasis; tijdelijke effecten zijn een gevolg van tijdelijke veranderen van de ontwateringsbasis.

2.2 Enige hydrologische achtergronden

De stroming van grondwater naar oppervlaktewater in een zeker vlak kan worden berekend met de volgende formule:

$$q = (h_{\text{gem}} - h_o) / \text{lekweerstand}$$

waarin:

q is drainageflux (afvoer per eenheid van oppervlakte (m/d));

h_{gem} is gemiddelde grondwaterstand voor vlak waarvoor formule geldt (m tov referentievlak);

h_o is ontwateringsbasis in beschouwde vlak (m tov referentievlak).

In waterlopen met water is dat de openwaterstanden. Indien het stuwpeil (de openwaterstand in de peilbeheerste waterlopen) dieper is dan de bodem van de waterloop moet voor h_o de effectieve bodemhoogte worden genomen (de waterstand die zich in de beschouwde waterloop instelt als het water zonder belemmering kan uitstromen in de ontvangende waterloop totdat de afvoer nul is. Eventuele obstakels (zoals duikers) in de waterloop kunnen er voor zorgen dat er de waterstand hoger is dan de bodem.

Een alternatieve formulering is die van Ernst:

$$q = (h_m - h_o) / \text{drainageweerstand}$$

waarin h_m is grondwaterstand midden tussen de waterlopen. Het verschil tussen h_m en h_o is de zogenoemde **opbolling**.

In praktijksituaties komen binnen een zeker gebied meerdere typen waterlopen (ontwateringsmiddelen) voor. Denk aan greppels, perceelsslotten, schouwsloten, weteringen, kleine beken en grote beken (vrij afwaterend deel van Nederland), en vaarten en boezemwateren (peilbeheerst deel). Een aparte plaats wordt ingenomen door het maaiveld als ontwateringsmiddel. Als de grondwaterstand stijgt tot in het maaiveld treedt plasvorming op en kan er water over het maaiveld gaan stromen. In de verdere analyse is er vanuit gegaan dat de greppels ondiep zijn (20 cm) en de functie van maaiveldsdrainage vervullen.

Het is gebruikelijk de ontwateringsmiddelen te classificeren en per klasse bovengenoemde formules toe te passen. Elk type waterloop kan daarmee zijn eigen afmetingen en waterstanden krijgen. Het is meestal geoorloofd de fluxen naar de afzonderlijke typen klassen van waterlopen bij elkaar op te tellen.

De relatie grondwater-oppervlaktewater kan worden gekwantificeerd met de zogenoemde **lekweerstand** die met diverse formules worden berekend. Als voorbeeld: de formule van Bruggeman-de Lange-Groenendijk (Groenendijk e.a., 2002) geeft aan dat de weerstand afhangt van de lagenopbouw en bijbehorende horizontale en verticale doorlatendheden van het verzadigd grondwatersysteem, onderlinge afstand waterlopen, intreeweerstand van de bodem van de waterloop en de afmetingen van de waterloop.

Gegeven een bepaalde geohydrologische situatie en gegeven ligging en afmetingen van waterlopen en gegeven de kwel kan bij een stationaire flux door het maaiveld de opbolling worden berekend.

Een structurele verandering van de openwaterstand (als gevolg van bijvoorbeeld het hanteren van andere stuwpeilen) geeft volgens bovenstaande formules een zelfde structurele verandering van de grondwaterstand. Dit geldt alleen bij aanwezigheid van 1 type drainagemiddelen of als alle typen ontwateringsmiddelen dezelfde verandering in openwaterstand hebben. Meestal echter vindt een openwaterstandsverandering alleen plaats in de min of meer beheersbare waterlopen en is de doorwerking veel minder. De mate waarin wordt bepaald door de verhouding van de fluxen naar de verschillende typen ontwateringsmiddelen. Waarbij moet worden bedacht dat deze verhouding wijzigt na het nemen van maatregelen.

Nog ingewikkelder wordt het als het probleem niet-stationair beschouwen. Zowel de flux op het freatisch vlak als de openwaterstanden kunnen variëren en ook treedt er berging in het grondwatersysteem als gevolg van veranderingen in grondwaterstand. Als gevolg hiervan is de door de verandering in het ontwateringssysteem geïnduceerde verandering van de grondwaterstand sterk afhankelijk van tijd en van de afstand tot de waterloop. Er zijn analytische formules beschikbaar maar gebruikelijk is het toepassen van numerieke modellen.

De beheersbaarheid van de waterlopen speelt dus een cruciale rol. In peilbeheerste gebieden in de vlakke delen van Nederland zijn alle waterlopen met een diepte groter dan de gehanteerde drooglegging beheersbaar. Bovendien is er meestal wateraanvoer mogelijk zodat het werkelijke openwaterstand ook min of meer gelijk is dan het streefpeil

(is het peil dat de beheerder nastreeft). De doorwerking wordt vooral bepaald door de verhouding tussen beheersbare wat grotere waterlopen en de ondiepere kleinere waterlopen. Cruciaal is ook of aanwezige buisdrainage wel of niet onder water ligt.

In het vrij afwaterende deel van Nederland is de situatie anders. Door de terreinhelling en het daaraan gekoppelde verhang in de bodem van de grotere waterlopen is meestal slechts een deel van de grote waterlopen van een peilgebied beheersbaar. Ondiepe waterlopen met een diepte van de slootbodem kleiner dan de drooglegging in het peilbeheerste, de overige ondiepe waterlopen gebied en de buisdrainage zijn vrijwel altijd onbeheersbaar. Daar komt nog bij dat zonder wateraanvoer in zomerperioden met neerslagtekort het peil wordt onderschreden dwz de werkelijke openwaterstand in het peilbeheerste deel is lager dan het streefpeil.

2.3 Mogelijk reeds beschikbare methoden

SC-DLO en DLG hebben midden jaren negentig van de vorige eeuw een leidraad ontwikkeld voor kwantificering van de van veranderingen in de oppervlaktewaterstand op de grondwaterstand die met alle bovenaangehaalde aspecten zo goed mogelijk rekening houdt (Massop e. a., 1997). Deze leidraad is niet geschikt voor de vraagstelling omdat:

- er geen rekening is gehouden met het effect van een veranderde grondwaterstand op de capillaire opstijging. Bij de vraag of wateraanvoer helpt om verdroging te voorkomen gaat het juist om de invloed van wateraanvoer op de vochtvoorziening van vegetatie;
- het effect is berekend van een momentane peilverhoging op de grondwaterstand en niet het effect van het op peil houden van de openwaterstand.

Voor het realiseren van waterdoelen in het SGR2 is in opdracht van LNV landsdekkend kanskaarten gemaakt voor wateropgaven (Van der Gaast e. a., 2002). Deze kaarten geven een score voor de deelopgaven vasthouden, bergen, conserveren beekherstel en waterkwaliteit. Dus niet voor wateraanvoeren in droge perioden. In een aanvullende studie in opdracht van Staatsbosbeheer is onderzocht wat de fysieke geschiktheid is voor water vasthouden en vernatten in en rond de Ecologische Hoofdstructuur (Van der Gaast e. a., 2003). Hierbij gaat het om geschiktheidskaarten. Voor het aspect wateraanvoer in droge perioden zijn geen kaarten beschikbaar.

De conclusie is dat de vraagstelling te specifiek is om gebruik te maken van deze studies en dat een andere werkwijze nodig is.

3. Werkwijze

3.1 Inleiding

Idealiter is de methode om te onderzoeken of wateraanvoer onomkeerbare schade aan natuur kan voorkomen als volgt:

- 1) Definieer indicator(en) op voor onomkeerbare droogteschade, bijv. kritieke drukhoogtes in de wortelzone en aantal dagen dat die moeten worden onderschreden.
- 2) Stel criteria voor de genoemde indicator(en).
- 3) Definieer de situatie zonder wateraanvoer in bodemkundige en hydrologische termen:
 - a. bodemopbouw en bijbehorende bodemfysische eigenschappen;
 - b. bewortelingsdiepte
 - c. verdampingseigenschappen
 - d. dichtheid en afmetingen van waterlopen
 - e. definieer welke waterlopen door wateraanvoer in droge perioden op peil kunnen worden gehouden
 - f. maaiveldshoogteverdeling
 - g. geohydrologische lagenopbouw en bijbehorende geohydrologische eigenschappen. In combinatie met eigenschappen waterlopen is de interactie tussen grondwater en oppervlaktewater te bepalen.
 - h. randvoorwaarden voor de standplaats: neerslag en referentiegewasverdamping aan de bovenkant en en kwel of wegzijging aan de onderkant
- 4) Maak een model van de standplaats, bijv een niet-stationair tweedimensionaal model mbv de computercode HYDRUS-2D.
- 5) Bereken het verloop van de drukhoogte in de wortelzone **met** en **zonder** wateraanvoer gedurende de periode dat de er waterschaarste optreedt.
- 6) Bewerk rekenresultaten zodanig dat de in a) genoemde indicatoren worden berekend en pas criteria toe.

Gegeven tijd en budget is deze aanpak niet haalbaar. Er is daarom een semi-kwantitatieve methode ontwikkeld, aangeduid als de methode van de kritieke L-afstand.

3.2 Methode van de kritieke L-afstand

Startpunt is dat de drukhoogte in de wortelzone in droge perioden niet mag dalen beneden – 500 cm. Dit kan alleen als de capillaire opstijging min of meer gelijk is aan de verdamping. De verdamping in de zomermaanden op droge, stralingsrijke dagen is ongeveer 4 mm/d. Echter er zal altijd enige intering op de vochtvoorraad plaats vinden. Agrohydrologische berekeningen hebben aangetoond dat er bij landbouwgewassen nauwelijks droogte optreedt als de capillaire opstijging niet onder de 2 mm/d daalt (Cultuurtechnisch Vademecum). Deze flux is alleen mogelijk als de grondwaterstand niet beneden een bepaalde diepte daalt. Deze diepte kan worden berekend als de som van de

zogenoemde kritieke z-afstand en de bewortelingsdiepte. De kritieke z-afstand kan worden gedefinieerd als de grondwaterstandsdiepte ten opzichte van onderkant wortelzone waarbij een verticale opwaartse flux van 2 mm/d nog mogelijk is bij een aangenomen drukhoogte aan de onderkant wortelzone (hogere fluxen zijn niet mogelijk; lagere fluxen uiteraard wel).

De kritieke z-afstand kan worden berekend met een model voor de onverzadigde zone zoals Capsev (Wesseling, 1991). Voor de Staringreeks-bouwstenen zijn te berekenen bij een aangenomen drukhoogte aan de onderkant wortelzone. Daarvoor wordt de waarde van -500 cm genomen omdat bij die waarde er reeds behoorlijke reductie in verdamping kan plaats vinden maar niet zodanig dat planten afsterven.

De redenering is dat de kritieke grondwaterstandsdiepte in een droge periode moet kunnen worden gehandhaafd door wateraanvoer. Met andere woorden: bij welke hydrologische situatie is het mogelijk 2 mm/d te laten infiltreren, gerekend over de totale oppervlakte (waarbij de fluxdichtheid door de slootbodem uiteraard hoger is). In een dergelijke situatie is de infiltratie dus gelijk aan de capillaire opstijging van 2 mm/d en ontstaat een evenwichtssituatie waarbij de grondwaterstand niet verder daalt.

De volgende 'karterbare' kenmerken zijn van belang:

- de geohydrologische opbouw en bijbehorende eigenschappen. Ten behoeve van o.a. Stone is Nederland ingedeeld in zogenoemde hydrotypen en per hydrotype zijn typische waarden bekend (Massop e. a., 2000);
- de bewortelingsdiepte. Voor natte natuurterreinen is 20 cm een redelijke waarde;
- de bodemfysische eigenschappen van de onverzadigde ondergrond. Bij elk hydrotype is een best passende PAWN-eenheid te kiezen en daarmee de lagenopbouw en bijbehorende Staringreeks-bouwstenen (Wösten e. a., 1988). Daarmee is de kritieke z-afstand en de kritieke grondwaterstandsdiepte vast te stellen;
- de maaiveldshoogteverdeling. Aangenomen is dat de laagste delen 20 cm lager liggen dan de gemiddelde maaiveldshoogte van het natuurterrein;
- waterstand in de waterlopen. Aangenomen is dat deze op maximale hoogte kan worden opgezet. Dat is het niveau waarbij de laagste terreindelen nog net niet inunderen. Dit betekent dat de openwaterstand 20 cm lager is dan de gemiddelde maaiveldshoogte;
- de afmetingen van de waterlopen. Per hydrotype zijn typische waarden te geven voor waterlopen smaller dan 3 m die zomers **niet** droogvallen. De veronderstelling is dat ze niet al te extreme situaties watervoerend blijven;
- de uittreeweerstand. Algemeen wordt aangenomen dat bij infiltratie de bodemweerstand van de waterloop hoger is dan bij drainage. Er zijn echter geen beslissende aanwijzingen voor dit verschil en daarom zal worden uitgegaan van de expertisewaarden (Jousma en Massop, 1996);
- de gemiddelde afstand tussen de waterlopen die door wateraanvoer op peil kunnen worden gehouden. Dit is een eigenschap die binnen natuurterreinen en dus binnen de hydrotypen sterk kan variëren. De veronderstelling is dat de betreffende waterlopen redelijk verdeeld zijn over het terrein.

Bij elk hydrotype en de bijbehorende kritieke grondwaterstandsdiepte is nu de afstand te bepalen waarbij een infiltratie van 2 mm/d optreedt bij een verschil tussen open waterstand en grondwaterstand gelijk aan het verschil in vastgestelde openwaterstand in droge perioden (20 cm -mv) en kritieke grondwaterstand (bewortelingsdiepte plus kritieke z-afstand). Dit wordt aangeduid als de kritieke L-afstand. Bij slootafstanden groter dan deze afstand wordt de kans steeds groter dat er onomkeerbare schade optreedt, bij kleinere afstanden wordt deze kans steeds kleiner. Vergelijking van de kritieke L-afstand met de werkelijke afstand tussen in droge perioden van water te voorziene waterlopen in een natuurgebied geeft dus aanwijzingen over de kans dat door middel van wateraanvoer in droge perioden ongewenste verdroging kan worden voorkomen.

Bij goede capillaire eigenschappen is de kans op droogteschade veel kleiner en is de noodzaak van wateraanvoer veel minder. De kritieke z-afstand is een goede indicator voor de capillaire eigenschappen en arbitrair is gesteld dat bij een kritieke z-afstand van meer dan 120 cm er geen onomkeerbare droogteschade optreedt (of de kans daarop klein is). Per hydrotype komen veel verschillende bodeneenheden voor en idealiter zou deze informatie moeten worden meegenomen. Bij de nu gevolgde werkwijze kan het dus voorkomen dat binnen een geheel hydrotype geen onomkeerbare droogteschade optreedt ook als er geen wateraanvoer plaats vindt.

4. Resultaten en discussie

4.1 Resultaten

Kritieke z-afstand

Voor de 18 Staringreeks-bouwstenen voor de ondergrond zijn zogenoemde VPOS-tabellen beschikbaar die de relatie aangeven tussen drukhoogte onderkant wortelzone en de grondwaterstandsdiepte voor 18 constante (opwaartse) fluxen (Wosten e. a., 1988). Hieruit zijn 2 waarden voor de drukhoogte geselecteerd: -250 en -500 cm. Tabel 1 geeft de kritieke z-waarden die daarbij horen.

Tabel 1 *De kritieke z-afstand per ondergrondbouwsteen voor 2 waarden van de drukhoogte onderkant wortelzone*

Bouwsteen	Drukhoogte	
	-250	-500
O1	88	88
O2	88	89
O3	107	112
O4	105	112
O5	43	43
O6	152	191
O7	131	164
O8	105	119
O9	84	96
O10	58	65
O11	57	62
O12	23	26
O13	18	20
O14	169	242
O15	92	103
O16	50	54
O17	61	67
O18	168	217

 niet relevant want boven grens van 120 cm

Voor de ondergronden met een kritieke z-afstand van minder dan 120 cm zijn de verschillen niet groot tussen $h = -200$ en $h = -500$ cm. Er zal daarom worden uitgegaan van $h = -500$ cm.

Relatie opbolling en slootafstand

Per hydrotype zijn gemiddelde waarden vastgesteld voor:

- doorlaatvermogen: KD (m²/d)
- doorlaatendheid: K (m/d)
- dikte watervoerend pakket: D (m)
- intreeweerstand (d)
- natte omtrek: B (m).

De gebruikte waarden zijn afgeleid uit Redesign Stone (Kroon e.a., 2000) en kunnen eventueel worden vervangen door nieuwe topsysteemdata die in januari 2006 beschikbaar komen. Aangenomen is dat in alle gevallen sprake is van een freatisch pakket. Tabel 2 geeft de resultaten.

Tabel 2 Typische waarden voor de relevante parameters per hydrotype

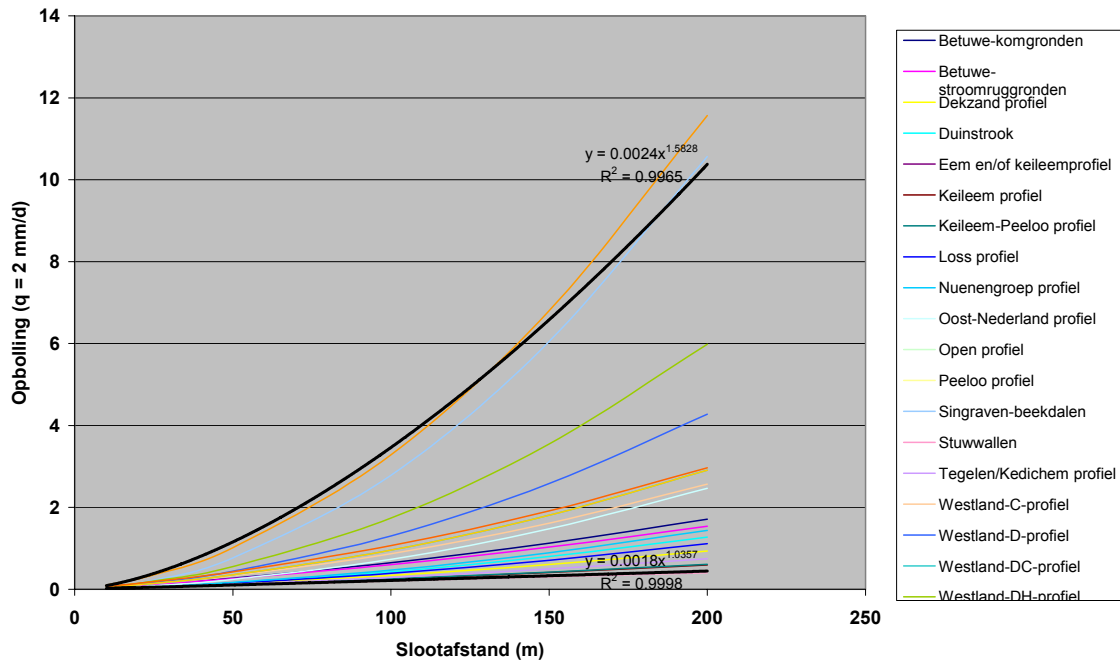
Hydrotype	kD	k	D	B	intree
Betuwe-komgronden	12	0.5	24	1	2
Betuwe-stroomrugggronden	15	0.5	30	1	2
Dekzand profiel	20	1.5	12	1	1
Duinstrook	12	1.5	8	1	1
Eem en/of keileemprofiel	200	10	20	1	1
Keileem profiel	55	5	11	1	1
Keileem-Peeloo profiel	50	5	10	1	1
Loss profiel	15	1	15	1	1
Nuenengroep profiel	10	2	5	1	1
Oost-Nederland profiel	5	1.5	3.5	1	1
Open profiel	1000	20	50	1	1
Peeloo profiel	250	7	35	1	1
Singraven-beekdalen	1	0.5	2	1	0.5
Stuwwallen	3500	50	70	1	1
Tegelen/Kedichem profiel	30	7.5	4	1	1
Westland-C-profiel	6	0.5	12	1	2
Westland-D-profiel	3	0.5	6	1	2
Westland-DC-profiel	5	0.5	10	1	2
Westland-DH-profiel	2	0.5	4	1	2
Westland-DHC-profiel	5	0.5	10	1	2
Westland-H-profiel	1	0.5	2	1	3
Westland-HC-profie	6	0.5	12	1	3

Vervolgens is met de formule van Ernst de opbolling berekend bij een $q = 2$ mm/d en voor slootafstanden van 10, 25, 50, 100, 150 en 200 m.

Hiervoor is de volgende relatie gebruikt:

$$Opbolling = 0,002 * \left(\frac{L^2}{8kD} + \frac{L}{\pi k_r} \ln\left(\frac{D}{B}\right) + \frac{L}{B} c_i \right)$$

De toepassing levert relaties op zoals weergegeven in figuur 1



Figuur 1 Relatie tussen slootafstand en opbolling bij een drainageflux van 2 mm/d, per hydrotype

Om deze combinaties in een continue functie te vertalen lijkt de de power-functie het meest geschikt, deze heeft de volgende vorm.

$$Opbolling = aL^b$$

De gefitte parameters staan vermeld in tabel 3

Tabel 3 Parameters in de relatie tussen opbolling en sloonafstand per hydrotype

Hydrotype	Slope	log(intercept)	intercept	Correlation	L bij opbolling 0,5 m
Betuwe-komgronden	1.205058257	-2.57593055	0.00265503	0.9987	77
Betuwe-stroomruggronden	1.174371169	-2.547385856	0.002835399	0.9989	82
Dekzand profiel	1.235705388	-2.913227744	0.001221159	0.9985	130
Duinstrook	1.324892597	-2.990542221	0.001022016	0.9980	107
Eem en/of keileemprofiel	1.035691658	-2.734314243	0.001843681	0.9999	224
Keileem profiel	1.112690193	-2.81133931	0.001544048	0.9994	180
Keileem-Peeloo profiel	1.1219149	-2.820683891	0.00151118	0.9993	176
Loss profiel	1.280279827	-2.943398917	0.001139203	0.9982	116
Nuenengroep profiel	1.36184339	-3.024285039	0.000945616	0.9979	100
Oost-Nederland profiel	1.496319648	-3.100907805	0.00079267	0.9979	74
Open profiel	1.007509873	-2.705662605	0.001969416	1.0000	244
Peeloo profiel	1.028804307	-2.725729599	0.001880487	0.9999	227
Singraven-beekdalen	1.774383379	-3.090608607	0.000811692	0.9992	37
Stuwwallen	1.002169079	-2.70076489	0.001991751	1.0000	248
Tegelen/Kedichem profiel	1.182404907	-2.882392444	0.001311015	0.9988	152
Westland-C-profiel	1.320354223	-2.675276578	0.002112144	0.9980	63
Westland-D-profiel	1.455146261	-2.767892198	0.001706506	0.9979	50
Westland-DC-profiel	1.354698688	-2.701807475	0.001986976	0.9979	59
Westland-DH-profiel	1.533934292	-2.801851428	0.001578151	0.9980	43
Westland-DHC-profiel	1.354698688	-2.701807475	0.001986976	0.9979	59
Westland-H-profiel	1.582758693	-2.625933269	0.002366283	0.9982	29
Westland-HC-profie	1.25332612	-2.45324591	0.003521714	0.9983	52

Met de omgezette functie is bij een gegeven toegestane opbolling de kritieke L-afstand te bepalen.

$$L = \left(\frac{\text{Opbolling}}{a} \right)^{\frac{1}{b}}$$

In tabel 3 is als voorbeeld de L-afstand bij een opbolling van 50 cm berekend.

Opbouw PAWN-eenheden

In onderstaande tabel is per PAWN-eenheid de lagenopbouw en bijbehorende Staringreeksbouwstenen gegeven.

Tabel 4 Lagenopbouw per PAWN-eenheid en kritiek z-afstand

PAWN	Dikte-laag1	Bouwst-laag 1	Dikte-laag2	Bouwst-laag 2	Dikte-laag3	Bouwst-laag 3	Resulterende bouwsteen	Kritieke z-afstand
1	35	B18	85	O17			O17	87
2	20	B16	50	O17	50	O2		87
3	35	B11	85	O17			O17	87
4	35	B11	35	O17	50	O2		87
5	20	B2	50	O16	50	O2		74
6	30	B18	90	O12			O12	46
7	120	O1					O1	108
8	30	B1	110	O1			O1	108
9	50	B2	110	O2			O2	109
10	50	B2	50	O2	60	O5		63
11	50	B3	40	O2	90	O6		109
12	90	B2	70	O2				109
13	25	B3	25	O3	70	O2		109
14	15	B1	185	O5			O5	63
15	25	B8	95	O9			O9	116
16	25	B10	95	O10			O10	85
17	25	B12	95	O13			O13	40
18	25	B12	35	O13	60	O17		40
19	25	B8	35	O10	60	O2		85
20	25	B8	35	O10	60	O5		63
21	120	O15					O15	123

Voor de bepaling van de kritieke z-afstand is de bij meerdere ondergrondbouwstenen de meest kritische als uitgangspunt genomen.

Relatie hydrotype en dominante PAWN-eenheid.

Per hydrotype is de meest dominante PAWN-eenheid geselecteerd. Zie tabel 5.

Tabel 5 Dominante PAWN-eenheid per hydrotype

NAAM_HYDRO	ZONE_CODE	COUNT	VARIETY	MAJORITY	MINORITY	MEDIAN
Duinstrook	1	92165	19	7	20	7
Westland-D-profiel	3	376104	22	15	11	16
Westland-DHC-profiel	4	319786	21	15	2	16
Westland-DC-profiel	5	83972	20	15	5	16
Westland-DH-profiel	6	428284	22	18	8	16
Keileem-Peeloo profiel	7	159790	20	11	16	9
Westland-H-profiel	8	90585	20	1	10	2
Keileem profiel	9	154535	22	9	20	9
Peeloo profiel	10	91488	16	5	7	5
Singraven-beekdalen	11	134395	23	2	6	11
Dekzand profiel	12	408665	23	9	3	9
Eem en/of keileemprofiel	13	118046	22	9	20	12
Westland-C-profiel	14	101867	17	16	9	16
Open profiel	15	89479	23	14	18	12
Westland-HC-profiel	16	84564	15	1	19	3
Stuwwallen	17	138569	23	14	4	14
Betuwe-stroomruggronden	18	107343	20	16	4	16
Betuwe-komgronden	19	83981	21	17	1	17
Oost-Nederland profiel	20	83063	17	9	16	11
Nuenengroep profiel	21	209442	22	9	3	11
Tegelen/Kedichem profiel	22	85959	21	9	17	11
Loss profiel	23	52691	18	21	10	21

Bepaling kritieke L-afstand op basis combinatie hydrotype en dominante PAWN-eenheid.

Voor de bepaling van de kritieke L-afstand is gerekend met een kritieke z-afstand waarbij tevens rekening is gehouden met maaiveldsvariatie. Om dit aspect mee te nemen is de z-afstand met 0,2 m verlaagd. Tabel 6 geeft de resultaten.

Tabel 6 Kritieke z- en L-afstand per hydrotype

Hydrotype	PAWN_MAJORITY	Kritieke z-afstand (m)	L bij kritieke z-afstand (m)
Betuwe-komgronden	17	0.40	36
Betuwe-stroomruggronden	16	0.85	102
Dekzand profiel	9	1.09	207
Duinstrook	7	1.08	164
Eem en/of keileemprofiel	9	1.09	390
Keileem profiel	9	1.09	303
Keileem-Peeloo profiel	11	1.09	294
Loss profiel	21	1.23	204
Nuenengroep profiel	9	1.09	153
Oost-Nederland profiel	9	1.09	109
Open profiel	14	0.63	210
Peeloo profiel	5	0.74	245
Singraven-beekdalen	2	0.87	44
Stuwwallen	14	0.63	213
Tegelen/Kedichem profiel	9	1.09	248
Westland-C-profiel	16	0.85	77
Westland-D-profiel	15	1.16	78
Westland-DC-profiel	15	1.16	96
Westland-DH-profiel	18	0.40	23
Westland-DHC-profiel	15	1.16	96
Westland-H-profiel	1	0.87	35
Westland-HC-profiel	1	0.87	66

De resultaten zijn in figuur 3.2 weergegeven. In die figuur zijn duidelijk gebieden te onderscheiden waar wateraanvoer alleen maar zinvol is als de slootafstand gering. Dit zijn met name de laagveengebieden en de beekdalen. In het zandgebied buiten de beekdalen is de kritieke L-afstand veel groter. In de hydrotypenkaart zijn de hoogveengebieden niet als aparte eenheid onderscheiden. Het is echter bekend dat het hoogveenpakket, en met name de onderste (gliede)laag, een aanzienlijke verticale weerstand heeft anders kunnen hoogvenen hydrologisch niet bestaan. Bij de berekening van de L-afstand is deze weerstand dus niet meegenomen zodat de resultaten hiervoor niet van toepassing zijn. Overigens is wateraanvoer naar hoogveengebieden geen te overwegen maatregel.

4.2 Discussie

De vraag onder welke hydrologische omstandigheden onomkeerbare schade aan terrestrische natuur door te droge omstandigheden optreedt is niet goed te beantwoorden. Nog moeilijker is het om aan te geven of wateraanvoer onomkeerbare schade kan voorkomen. In deze notitie is een methode uitgewerkt die aan deze kennishiaten voorbij gaat en uitgaat van 'harde' getallen voor maximale toegestane

uitdroging en daarbij behorende capillaire opstijging die door wateraanvoer in stand moet kunnen worden gehouden. Experimentele verificatie ontbreekt en dus is de methode te kenschetsen als intuïtief en kwalitatief. De kwalitatieve aard van de methode en de gebruikte schematisatie per hydrotype geeft wel een goed kwalitatief weer in welke landsdelen (gebiedstypen) wateraanvoer zinvol kan zijn (vooral ook waar het niet zinvol is). Een verbetering is mogelijk door gebruik te maken van meer gedetailleerde gegevens van met name de bodemopbouw voor berekening van de kritieke z-afstand. Het is echter de vraag of daarmee de methode zijn doel niet voorbij schiet. Een zinvolle uitbreiding is de confrontatie van de kritieke L-afstand met de ruimtelijke te differentiëren afstand van in droge perioden van water te voorziene waterlopen. Deze actie resulteert in een kaart met onderscheid in het wel en niet bereiken van de kritieke L-afstand.