

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITSMaatREGEL



RAPPORT

2012
38

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS
WATERKWALITEITSMATREGEL

RAPPORT

2012

38

ISBN 978.90.5773.573.8



COLOFON

- UITGAVE** Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, STOWA, Amersfoort
- AUTEURS** P.J. Westendorp (red.) (Witteveen+Bos), R. Loeb (B-Ware), G. Roskam (Deltares), E.C.H.E.T. Lucassen (B-Ware), M. Thannhauser (Wetterskip Fryslân), F. Ebbens (Waterschap Hunze en Aa's), H. Hut (Staatsbosbeheer) en A.J.P. Smolders (Fons Smolders).
- PROJECTGROEP** STOWA, Wetterskip Fryslân, Waterschap Hunze en Aa's, Deltares, Onderzoekscentrum B-WARE, Staatsbosbeheer.
- FOTO OMSLAG** Piet-Jan Westendorp
- REFERAAT** De maatregel tijdelijke droogval blijkt voor bepaalde wateren aan het rijtje van KRW maatregelen te kunnen worden toegevoegd. In de periode 2010-2012 is uitgebreid onderzoek verricht naar deze aanvankelijk omstreden maatregel. Vier verschillende plassen werden in de zomer van 2011 drooggezet. Effecten op grondwaterstanden, bodemstabiliteit, water- en bodemkwaliteit, vegetatie, fytoplankton en macrofauna werden vastgelegd. Daarnaast werden verschillende experimenten in het laboratorium en in proefvijvers uitgevoerd.
- TREFWOORDEN** Droogval, waterkwaliteit, kieming, fosfaatbinding, doorzicht, waterbodem.
- STOWA** STOWA 2012-38
ISBN 978.90.5773.573.8
- COPYRIGHT** De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.
- DISCLAIMER** Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

STOWA EN HET WATERMOZAÏEK

WAT IS WATERMOZAÏEK?

In het kennisprogramma Watermozaïek onderzoekt de Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) samen met waterschappen en andere kennispartners bestaande en innovatieve maatregelen voor het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit. Waterkwaliteit is een speerpunt in de Kaderrichtlijn Water (KRW). Onder de paraplu van het kennisprogramma testen waterbeheerders maatregelen in de praktijk uit, waardoor kennis wordt verzameld over de haalbaarheid, de betaalbaarheid en de effectiviteit ervan.

RESULTATEN

De oogst van het kennisprogramma Watermozaïek is meervoudig. Watermozaïek:

- levert een nieuwe kijk op maatregelen waar waterschappen met het oog op de Kaderrichtlijn Water hard aan werken of over aan het nadenken zijn. Van veel van deze maatregelen is (nog) niet precies bekend hoe (kosten)effectief ze zijn. Door het werk binnen het Watermozaïek is hierover veel meer bekend geworden.
- heeft zeer interessante nieuwe maatregelen ontwikkeld en uitgetest.
- introduceert een nieuw diagnosesysteem waarmee waterbeheerders hun watersystemen kunnen analyseren en de ecologische ontwikkelingen daarin kunnen volgen en bijsturen: het KRW Volg- en Stuursysteem (VSS).
- ontsluit reeds bestaande wetenschappelijke kennis en maakt deze praktisch toepasbaar. Hierbij spelen de binnen het programma georganiseerde kennisdagen een belangrijke rol. STOWA brengt tijdens deze dagen waterschappers en wetenschappers met elkaar in contact. Zij kunnen op deze manier direct kennis en ervaringen uitwisselen.

SAMEN DOEN

Dat mensen van waterschappen, Rijkswaterstaat, kennisinstellingen, universiteiten en adviesbureaus onder de vlag Watermozaïek nauw met elkaar samenwerken biedt de beste garantie dat het programma de juiste kennis oplevert voor de praktijk van het regionale waterbeheer. Waterschappers en wetenschappers hebben bij het begin van het programma samen kennisvragen geformuleerd. Deze vragen vormen de basis voor de projecten die binnen het programma zijn en nog zullen worden uitgevoerd.

STOWA

STOWA, de initiatiefnemer van Watermozaïek, is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart en verspreidt kennis die nodig is voor de opgaven waar waterbeheerders voor staan.

VAN DENKEN NAAR DOEN

De resultaten van onderzoeksprojecten worden via het onderzoeksprogramma Watermozaïek van STOWA uitgewisseld met waterbeheerders die toepassing in hun beheersgebied overwegen.

INNOVATIEPROGRAMMA KADERRICHTLIJN WATER

Het project wordt mede gefinancierd vanuit het innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water, uitgevoerd door Agentschap NL in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Kijk voor meer informatie op www.watermozaiek.nl.

TEN GELEIDE

Laten zien dat het werkt. Met die insteek is in de periode 2010 - 2012 het project 'Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel' uitgevoerd. Voor het eerst zijn in Nederland oppervlaktewateren drooggezet met als doel de waterkwaliteit te verbeteren. Dat mag wel een doorbraak worden genoemd. De resultaten zijn veelbelovend. Het onderzoeksproject droogval vervult daarmee een belangrijke rol in het STOWA Onderzoeksprogramma Watermozaïek.

De resultaten van dit project komen niets te vroeg. De Nederlandse waterbeheerders hebben zeker niet stil gezeten, maar het is zeer de vraag of de maatregelen die zij tot nog toe hebben doorgevoerd in hun watersystemen voldoende effectief zijn om de Europese KRW-doelstellingen voor 2015 te halen.

De resultaten van dit grootschalig veldexperiment in combinatie met laboratoriumonderzoek op vier locaties verspreid over Nederland, bieden een nieuw perspectief. In het rapport leest u welke effecten tijdelijke droogval als maatregel heeft en welke baten ervan mogen worden verwacht. Tijdelijke droogval lijkt een zeer krachtig instrument te zijn.

In het rapport vindt u terug hoe tijdelijke droogval een stapsgewijs proces op gang brengt van ontwikkelingen die elkaar opvolgen. Droogval verbetert het doorzicht van het water. Beter doorzicht schept kansen voor water- en oeverplanten. Deze bevorderen ook zelf het lichtklimaat, en werken zo door als dominostenen die tegen elkaar aan vallen, tot aan de definitieve vestiging van een evenwichtig ecosysteem.

Dat deze maatregel ertoe kan leiden dat bepaalde wateren niet of minder vaak gebaggerd hoeven te worden, is goed nieuws voor de begroting van waterschappen.

Het is verheugend dat de projectgroep droogval heeft besloten zichzelf in stand te houden om continuïteit van het project onder de vlag van het onderzoeksprogramma Watermozaïek te waarborgen. Effecten op flora en fauna kunnen immers pas na meerdere jaren worden vastgesteld. De resultaten van deze studie maken prikkelen de nieuwsgierigheid en roept de vraag op van de precieze omvang van de aangeboorde potenties.

Ik nodig u van harte uit hier kennis van te nemen.



Jacques Leenen

SAMENVATTING

In 2010 is het project 'Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel' van start gegaan. In het onderzoek werden over een periode van ongeveer twee jaar, op verschillende schaalniveaus, de effecten van een tijdelijke droogvalperiode op watersystemen onderzocht. Hiervoor werden onder meer vier Nederlandse plassen in de zomer van 2011 voor een periode van circa 2,5 maand drooggezet. Het betrof de plassen bij Lalleweer (kleibodem) en Woudbloem (zandige bodem) in Groningen en laagveenplassen (petgaten) in De Deelen en de Rottige Meente in Friesland.

Er is veel bekend over de interacties, processen en terugkoppelingsmechanismen in watersystemen. Zonder uitvoerig kennis te nemen van deze processen is hier van belang te weten dat droogval via verschillende processen positief kan ingrijpen op het functioneren van een watersysteem. Uit dit onderzoek bleek dat tijdelijke droogval leidde tot:

- Binding van fosfaat aan de waterbodem;
- Afvoer van stikstof;
- Oxidatie van toxische verbindingen (sulfide, ammonium, ammoniak);
- Consolidatie van de waterbodem;
- Vermindering van blauwalgen(bloeien);
- Kieming en ontwikkeling van water- en oeverplanten;
- Verschuivingen in soortgemeenschappen.

Met name de effecten op bodemchemische processen bleken groter naarmate een waterbodem sterker uitdroogde. Ook is uit de literatuur gebleken dat bepaalde effecten pas op langere termijn zichtbaar kunnen worden. Dit geldt bijvoorbeeld voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten.

In het project werd tevens onderzoek verricht naar eventuele schade die als gevolg van droogval zou kunnen optreden. Tijdelijke droogval leidde in dit onderzoek tot enige verzuring van de bodem als gevolg van zwaveloxidatie. De mate van verzuring die optrad, is afhankelijk van de buffercapaciteit van de bodem, de hoeveelheid zwavel in de bodem en de mate waarin waterbodem en oevers uitdroogden. In dit onderzoek werd geen versnelde afbraak van organische stof of veen vastgesteld. Hoewel op twee van de vier locaties als gevolg van de droogval een verlaging van de grondwaterstand optrad, waren de daling en de reikwijdte beperkt en traden geen negatieve effecten op.

Uit zowel de beschikbare literatuur als uit dit onderzoek beek dat droogval een kansrijke maatregel is voor bepaalde locaties. De maatregel leidde op verschillende maatlaten tot een substantiële verhoging van de maatlatscores. Om te bepalen of wateren gebaat zijn bij het toepassen van tijdelijke droogval, kan gebruik worden gemaakt van de selectiecriteria die in dit rapport gepresenteerd worden.

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITS- MAATREGEL

INHOUD

1	INLEIDING	8
1.1	Achtergrond	8
1.2	Doel	9
1.3	Projectorganisatie	9
1.4	Leeswijzer	10
2	THEORETISCHE ACHTERGROND	11
2.1	Algemeen	11
2.2	Droogval als waterkwaliteitsmaatregel	11
2.3	Effecten op de water- en bodemkwaliteit	12
2.4	Effecten op biota	14
3	ONDERZOEKSVRAGEN EN HYPOTHESEN	19
3.1	Onderzoeksvragen	19
3.4	Hypothese	19

4	ONDERZOEKSOPZET	22
4.1	Onderzoekslocaties	22
4.2	Voorbereiding en uitvoering van de maatregel tijdelijke droogval	26
4.3	Onderzoeken	33
5	RESULTATEN EN DISCUSSIE	41
5.1	Effecten op grondwater en bodemstabiliteit	41
5.2	Effecten op bodem - en waterkwaliteit	42
5.3	Effecten op fytoplankton	50
5.4	Effecten op macrofyten	52
5.5	Effecten op macrofauna	55
5.6	Periode en duur van de droogval	56
6	INTEGRALE DISCUSSIE	58
6.1	Het onderzoek	58
6.2	Europese Kaderrichtlijn Water	59
6.3	Uitvoerbaarheid en kosteneffectiviteit	61
6.4	Toepasbaarheid van de maatregel	62
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	64
8	LITERATUUR	65

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Veel Nederlandse wateren hebben te maken met hardnekkige waterkwaliteitsproblemen. Deze problemen zijn veelal het gevolg van de verschillende functies die in de loop van de tijd aan het water verbonden zijn, zoals: scheepvaart, watertransport, recreatie, waterzuivering en industrie. Voor deze functies zijn verschillende aanpassingen gedaan in zowel het waterkwantiteitsbeheer als de inrichting van wateren. Grote problemen worden veroorzaakt door een te hoge nutriëntenbelasting en inperking van de waterpeildynamiek (Jaarsma et al., 2008). Hierdoor zijn in veel oppervlaktewateren karakteristieke natuurwaarden achteruit gegaan of zelfs verdwenen. In verschillende wateren is daarbij ook sprake van overlast door blauwalgenbloei, botulisme of stank.

De Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) is ingevoerd om verdere verslechtering van de Europese oppervlaktewateren een halt toe te roepen en de waterkwaliteit structureel te verbeteren. Hierbij hebben de lidstaten bepaald dat in 2015 alle oppervlaktewateren over een goede waterkwaliteit beschikken. Voor de nutriëntenproblemen die in een tijdsbestek van tientallen jaren zijn ontstaan moeten nu binnen een veel korter tijdsbestek oplossingen worden gevonden. Dit lijkt een bijna onmogelijke opgave en vergt grote (financiële) inspanning van waterbeheerders én maatschappij.

FIGUUR 1.1

HET ONDERZOEKSPROJECT DROOGVAL VERVULT EEN BELANGRIJKE ROL IN HET WATERMOZAIEKPROGRAMMA EN HEEFT GROTE RAAKVLAKKEN MET ANDERE ONDERZOEKSPROJECTEN ZOALS BAGGERNUT EN FLEXIBEL PEIL



De Nederlandse waterbeheerders hebben vooral gekozen voor inrichtingsmaatregelen, zoals natuurvriendelijke oevers, om hun doelen te bereiken. Het is echter nog maar de vraag of deze maatregelen de negatieve invloed van de waterbodem voldoende aanpakken. Om de negatieve effecten van de waterbodem teniet te doen wordt vaak gebaggerd. Baggeren is echter een zeer kostbare maatregel die daardoor niet overal (tijdig) kan worden uitgevoerd.

Regeling Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water

Met oog op deze problematiek en het vinden van goede en betaalbare oplossingen is in 2009 door het toenmalig Ministerie van Verkeer en Waterstaat (nu Infrastructuur en Milieu) de Regeling Innovatieprogramma Kaderrichtlijn Water ingesteld. Onder deze subsidieregeling is in de periode mei 2010 – oktober 2012 het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’ uitgevoerd (figuur 1.1.). Binnen dit project werden op verschillende schaalniveaus de effecten van het tijdelijk droogzetten van een aantal Nederlandse oppervlaktewateren onderzocht.

Hoewel vanuit andere studies positieve effecten bekend waren werd de maatregel ‘tijdelijke droogval’ nog niet in de praktijk toegepast door onzekerheden over de toepasbaarheid op specifieke locaties (mogelijke negatieve effecten wonen, landbouw en recreatie). Er was bovendien nog onvoldoende bekend over bijvoorbeeld de invloed van de samenstelling van het sediment, de effecten op aquatische organismen, de technische uitvoerbaarheid voor verschillende locaties, de benodigde duur van de droogval en de frequentie waarmee de maatregel eventueel moest worden herhaald.

Hoofdrapport en technisch rapport

In dit hoofdrapport worden de belangrijkste resultaten van het project Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel beschreven. Aan dit rapport ligt een veel omvangrijker technisch rapport ten grondslag. In het technisch rapport worden de onderzoeksmethoden, achtergronden en resultaten van het project op veel groter detailniveau beschreven.

1.2 DOEL

Het doel van dit project was inzicht te verkrijgen in de omstandigheden waarin (hoe, wanneer en waar) en tegen welke kosten de maatregel droogval kan worden toegepast en welke baten hiervan mogen worden verwacht. In dit project is gedemonstreerd dat geforceerde tijdelijke droogval een zeer krachtig instrument is, waarmee op relatief eenvoudige wijze een goede waterkwaliteit kan worden bereikt.

1.3 PROJECTORGANISATIE

Het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’ is uitgevoerd door een consortium (de projectgroep) dat bestaat uit zowel water- en terreinbeheerders als onderzoeksinstellingen. De organisaties sloten een samenwerkingsovereenkomst en werden hiermee projectpartners. Daarnaast werd samengewerkt met tal van verschillende organisaties zoals aannemers, advies- en ingenieursbureaus, overheden en vrijwilligersorganisaties.

FIGUUR 1.2. ORGANISATIESCHEMA



1.4 LEESWIJZER

Na deze inleiding volgt in hoofdstuk 2 een beschrijving van reeds beschikbare kennis die naar voren is gekomen uit literatuuronderzoek. De onderzoeksvragen en hypothesen zijn in hoofdstuk 3 uiteengezet. In hoofdstuk 4 volgt een beschrijving van de onderzoeksopzet. Ook worden hier de voorbereiding en uitvoering van maatregelen die in het kader van de veldexperimenten hebben plaatsgevonden beschreven. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de belangrijkste resultaten beschreven en bediscussieerd. In hoofdstuk 6 volgt een integrale discussie van alle onderzoeksresultaten. Tot slot volgen in hoofdstuk 7 de eindconclusie met aanbevelingen voor het toepassen van de maatregel.

2

THEORETISCHE ACHTERGROND

2.1 ALGEMEEN

Bij een natuurlijk waterpeilverloop kunnen wateren in de zomerperiode geheel of gedeeltelijk droogvallen (figuur 2.1.). Tegenwoordig wordt het waterpeil van de meeste Nederlandse oppervlaktewateren sterk gereguleerd en treedt natuurlijke droogval in slechts enkele wateren nog op. Bij een natuurlijk peilverloop werkt de dynamiek in waterpeilen door in processen die in de waterbodem plaatsvinden. Bij het uitzakken van het waterpeil en het droogvallen van de waterbodem treden verschillende processen op die van positieve invloed zijn op de waterkwaliteit. Het gaat hierbij zowel om (bio)chemische, fysische en biologische effecten.

2.2 DROOGVAL ALS WATERKWALITEITSMATREGEL

Het actief droog laten vallen van meren om de ecologie van wateren te beïnvloeden is niet nieuw. Al sinds de Middeleeuwen wordt droogval in Midden-Europa toegepast in visvijvers (IUCN, 1997), later ook in onder andere Nederland, België en Duitsland (Bruinsma & Voorn, 2008; Van Wichelen et al., 2007; Denys, 2009). De frequentie van droogleggen in deze visvijvers varieerde van elk jaar (Banach et al., 2010), tot eens in de vijf jaar (Van Wichelen et al., 2007). De vegetatie van de droogvallende vijvers was vaak erg waardevol, met bijvoorbeeld soorten uit de Oeverkruidklasse, zoals waterlobelia en oeverkruid (Van Wichelen et al., 2007) en kranswieren (Bruinsma & Voorn, 2008).

FIGUUR 2.1 DROOGGEVALLEN PLAS IN 'PAN EN SYRINX' VAN RUBENS EN BREUGHEL (1617)



Droogval kan een natuurlijk fenomeen zijn in ondiepe wateren met een (sterk) fluctuerende waterstand (Williams et al., 2001).

2.3 EFFECTEN OP DE WATER- EN BODEMKWALITEIT

In veel Nederlandse wateren is sprake van een beperkt doorzicht of troebel water. Het doorzicht wordt beperkt door algenbloei, zwevend stof of een combinatie van beide. Het zwevend stof bestaat uit bodemdeeltjes die door wind, vissen of scheepvaart worden opgewerveld. Sterke algenbloei wordt vaak veroorzaakt door een grote beschikbaarheid van nutriënten. Met name de beschikbaarheid van stikstof en fosfaat zijn hierin sterk sturend. Bij onvoldoende doorzicht kan er maar weinig licht in het water en tot op de waterbodem doordringen. Hierdoor wordt de ontwikkeling van waterplanten geremd. Troebele en algenrijke watersystemen kunnen lang in deze toestand blijven verkeren. Er is veel bekend over de interacties, processen en terugkoppelingsmechanismen in watersystemen (Scheffer et al., 2005; Jaarsma et al., 2008). Zonder uitvoerig kennis te nemen van deze processen is hier van belang te weten dat droogval via verschillende processen positief kan ingrijpen op het functioneren van een watersysteem. De belangrijkste reeds beschreven effecten van tijdelijke droogval op de fysisch-chemische waterkwaliteit betreffen:

- Binding van fosfaat
- Stikstofverwijdering
- Consolidatie van de waterbodem
- Omzetting toxische stoffen

De meeste waterbodems zijn anaëroob (zuurstofarm) omdat het verbruik van zuurstof bij afbraakprocessen veel groter is dan de aanvoer van zuurstof. Tijdens de tijdelijke droogvalperiode is de diffusie barrière die door het oppervlaktewater wordt gevormd afwezig. De waterbodem wordt zodoende direct aan zuurstof uit de atmosfeer blootgesteld. De aanwezigheid van zuurstof in de waterbodem brengt verschillende processen op gang (figuur 2.2.).

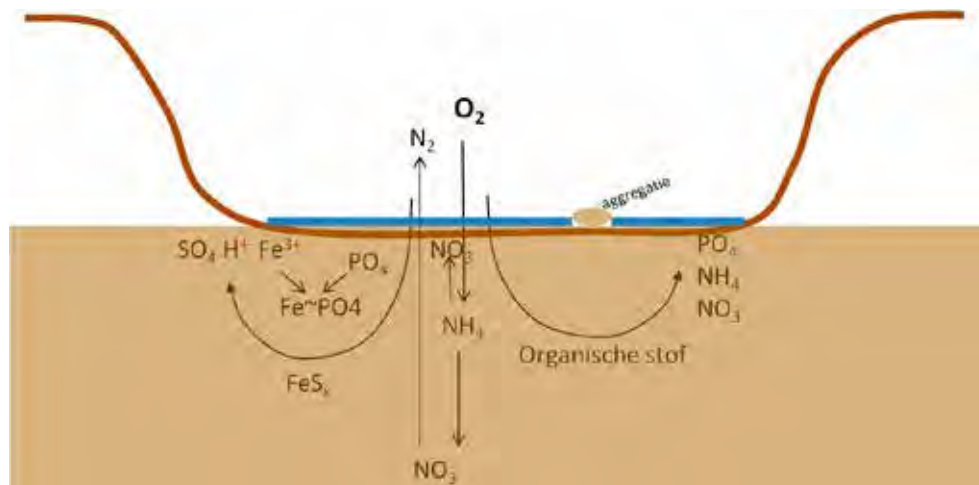
Fosfaatbinding

Een belangrijk proces betreft de oxidatie van ijzerverbindingen, waarbij ijzer vrijkomt en zich kan binden aan fosfaat. In anaërobe waterbodems is ijzer in gereduceerde vorm als Fe^{2+} aanwezig. Fosfaat (PO_4^{3-}) kan hier veel minder sterk aan binden dan aan geoxideerd ijzer, dat als Fe^{3+} aanwezig is (Patrick & Khalid, 1974; Reddy et al., 1999; Loeb et al., 2008). Het blijkt dat in waterbodems waar veel meer ijzer dan fosfaat in het poriewater aanwezig is, nalevering aan de waterlaag niet of nauwelijks plaatsvindt (Geurts, 2010).

Onder zwavelrijke omstandigheden, waar in Nederland op veel plaatsen sprake van is, is een groot deel van het ijzer in de bodem vastgelegd in de vorm van ijzersulfiden (FeS_x ; o.a. pyriet). In deze vorm kan ijzer geen fosfaat meer binden (Lamers et al., 2002). Bij droogval worden zowel gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) als ijzersulfiden (FeS_x ; o.a. pyriet) geoxideerd tot ijzer(III)(hydr)oxides (Smolders en Roelofs, 1993). Door de vorming van ijzer(hydr)oxides neemt de bindingscapaciteit voor fosfaat toe, waardoor er meer fosfaat in de toplaag van de waterbodem kan worden gebonden. Dit blijft aan de toplaag van de bodem gebonden, totdat de reductie van ijzer en sulfaat zich opnieuw voltrekt.

FIGUUR 2.2

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BELANGRIJKSTE CHEMISCHE EFFECTEN VAN DROOGVAL IN DE WATERBODEM



Stikstofverwijdering

Een ander proces dat sterk wordt beïnvloed op het moment dat zuurstof in de waterbodem kan indringen heeft betrekking op de stikstofcyclus. Bij de anaërobe afbraak van organische stof in de waterbodem komt ammonium vrij. Tijdens droogval wordt ammonium geoxideerd tot nitraat. Dit nitraat kan naar de waterlaag diffunderen, maar kan ook dieper in de bodem, waar nog wel anaërobe omstandigheden heersen, worden gedenitrificeerd, waarmee het als stikstofgas (N_2) naar de atmosfeer verdwijnt (Reddy & Patrick, 1975; Smolders et al., 2006a). Op deze manier kan er stikstof, dat meestal in te hoge concentraties in het oppervlaktewater aanwezig is, uit het systeem worden verwijderd (figuur 2.2.).

Consolidatie

Bij droogval vindt consolidatie van het slib plaats. Hierbij verliest het slib zijn waterige karakter en kitten de organische stof of geladen kleideeltjes aan elkaar vast, bezinken en hechten sterk aan de waterbodem. Bij vernatting kan het slib lang in geconsolideerde toestand blijven (Fox et al., 1977; James et al., 2001). Hierdoor wervelt het slib na hervernatting minder snel op.

Omzetting toxische stoffen

In anaërobe waterbodems kunnen hoge concentraties sulfide, ammonium en ammoniakvoorkomen. Deze stoffen zijn toxisch voor veel planten en dieren (Smolders & Roelofs, 1996; Williams et al., 1986; Pearson & Stewart, 1993). Tijdens droogval worden beide door oxidatie in andere stoffen omgezet, waarmee de toxiciteit wordt weggenomen.

Mogelijke negatieve effecten van droogval

Naast positieve effecten van droogval zijn er ook negatieve effecten op de waterkwaliteit mogelijk. Eén van de meest in het oog springende effecten van droogval op de bodem is verzuring (Lucassen et al., 2002; Smolders et al., 2006). Bij de oxidatie van gereduceerde verbindingen als sulfide, ijzer en ammonium worden zuren geproduceerd. Hoeveel effect dit heeft op de pH van de (water)bodem, is afhankelijk van de buffercapaciteit van de bodem. Op grond van eenvoudige bodemchemische kenmerken, zoals de $S/(Ca+Mg)$ -ratio van de bodem (Lucassen et al., 2002), kan van tevoren voorspeld worden of een bodem bij droogval gevoelig is voor verzuring. Bij een $S/(Ca+Mg)$ ratio $> 0,7$ (mol/mol) neemt de kans op verzuring sterk toe.

Oxidatie van organisch materiaal verloopt onder zuurstofarme omstandigheden meestal langzamer dan onder zuurstofrijke omstandigheden (Greenwood, 1961; Moore & Dalva, 1997; Kristensen et al., 1995). Droogval zou daarom de afbraak van organische stof kunnen stimuleren, waarbij nutriënten zoals fosfaat, ammonium en nitraat vrijkomen. In gebieden die rijk zijn aan goed afbreekbaar organisch materiaal, zoals laagveengebieden, zou droogval dan ook juist kunnen leiden tot het vrijkomen van meer nutriënten.

2.4 EFFECTEN OP BIOTA

Tijdelijke droogval kan zowel een direct als een indirect effect hebben op biota. Tijdens de droogval kan bijvoorbeeld sterfte van fytoplankton, maar ook van vegetatie, macrofauna en vis optreden. Indirecte effecten zijn bijvoorbeeld verschuivingen binnen gemeenschappen als gevolg van een verbeterd doorzicht, een toegenomen areaal waterplanten of een verandering in de nutriëntenhuishouding.

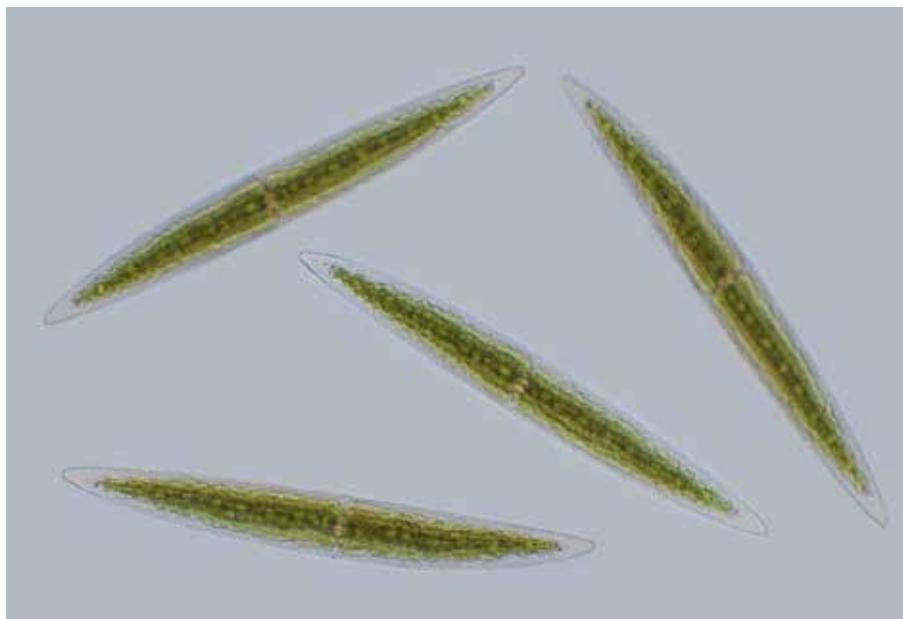
Effecten op fytoplankton

Er blijkt maar weinig bekend over het effect van tijdelijke droogval op fytoplankton en de fytoplanktongemeenschappen. Zijdelings worden in verschillende publicaties en rapporten zowel positieve als negatieve effecten van droogval op algenbiomassa en (blauw)algenbloeien genoemd, maar gericht onderzoek lijkt hier nauwelijks aan ten grondslag te liggen. Droogval kan de zoöplanktongemeenschap positief beïnvloeden waardoor de graasdruk op fytoplankton beïnvloed wordt. Effecten die dan mogelijk kunnen optreden zijn vergelijkbaar met de effecten die door visstand beheer worden bereikt (Meijer, 2000). Door een verminderde graasdruk van vissen op zoöplankton kan de graasdruk op fytoplankton toenemen. Dit kan positief doorwerken op het doorzicht van het oppervlaktewater. Via hetzelfde proces zouden echter juist algenbloeien ontstaan door dominantie van algensoorten die minder gevoelig zijn voor graasdruk van zoöplankton in combinatie met het sterven van zoöplankton door droogval. Van zowel positieve als negatieve effecten zijn verschillende voorbeelden bekend (o.a. Fox et al., 1977).

Hoewel weinig bekend is over de directe effecten van droogval op fytoplankton, staat wel vast dat fytoplankton gebonden is aan een waterrijk milieu. Het tijdelijk droogzetten van wateren zal dan ook grote effecten hebben. Het is vooral de vraag of deze effecten tijdelijk of langdurig van aard zijn. Het is denkbaar dat alleen soorten met een bepaalde overlevingsstrategie zoals sporenvorming, de droogte kunnen overleven en zich na een droogval snel kunnen herstellen (figuur 2.3.). Van bepaalde sieraalgen of diatomeeën is bekend dat deze enkele maanden droogte kunnen overleven (Bate & Smailes, 2008). Deze diatomeeën bleken zich tijdens de droogval op verschillende diepten in de waterbodem te bevinden. Valt de plas tijdens de droogvalperiode niet geheel droog dan is te verwachten dat veel soorten zich kunnen handhaven in het resterende oppervlaktewater of in de waterbodem. Van verschillende blauwalgen is bekend dat deze zeer resistente sporen vormen om veranderingen in het milieu te kunnen doorstaan.

Na de droogvalperiode treedt herkolonisatie op. Het is onbekend in welke mate deze kolonisatie vanuit de waterbodem plaatsvindt, vanuit andere brongebieden of door een combinatie van deze.

FIGUUR 2.3 CLOSTERIUM ACEROSUM IS EEN MET HET BLOTE OOG ZICHTBARE (LENGTE TOT 600 μM), BENTHISCHE SIERALG, ALGEMEEN IN VOEDSELRIJKE PLASSEN EN TALRIJK OP TIJDELIJK DROOGVALLENDE PLATEN IN HET HARINGVLIET (FOTO CHRISTOPHE BROCHARD, KOEMAN EN BIJKERK)



Effecten op vegetatie

Uit de literatuur is bekend dat peilfluctuaties, die in ook kunnen leiden tot droogval van de oeverzone of waterbodembodem, sturend zijn op de vegetatiesamenstelling en -bedekking van oever- en watervegetatie.

Er zijn verschillende effecten van droogval op vegetatie bekend:

- het afsterven van vegetatie;
- het stimuleren van vegetatie door betere kieming van zaden;
- het stimuleren van vegetatie door sterkere vegetatieve (ongeslachtelijke) uitbreiding;
- het indirecte stimuleren van plantengroei door verbetering van het doorzicht.

Het is bekend dat in uiterwaardplassen periodieke droogval de diversiteit van ondergedoken waterplanten stimuleert (Van Geest et al., 2005). Sinds de jaren '60 is er geëxperimenteerd met droogval als maatregel om de ecologie van meren te verbeteren. Tijdelijke droogval werd toen in de Verenigde Staten gebruikt om moerasvegetatie vitaal te houden, vooral met het oog op de moerasvogelstand (Kadlec, 1962). Daarna werd tijdelijke droogval als maatregel gebruikt om plagen van ongewenste plantensoorten tegen te gaan (o.a. Beard, 1973; Cooke, 1980; Pevery & Kopka, 1991), zoals Potamogeton robbinsii, Nuphar spec., drijvend fonteinkruid (Potamogeton natans), aarvederkruid (Myriophyllum spicatum), en smalle waterpest (Elodea canadensis) in de Verenigde Staten. De droogval vond voor dit doel in de winter plaats, zodat er uitdroging en bevroering van zaden en diasporen plaats kon vinden (Cooke, 1980). Niet alle macrofyten vertonen echter een negatieve respons op winter droogval; veel fonteinkruiden, nimfkruident, kranswieren en helofyten, zoals lisdoddes en riet worden juist gestimuleerd door de droogval. Droogval wordt daarom in verschillende landen (Duitsland, Verenigde Staten) ook nog steeds gebruikt om de groei van waterplanten te stimuleren (James et al., 2001) en om de fysisch-chemische waterkwaliteit te verbeteren (Fox et al., 1977; Van Wichelen et al., 2007; Minnesota Department of Natural Resources, 2012).

Uit onderzoek in laagveenplassen blijkt dat het peilregime van invloed is op kieming van zaden en vestiging van kiemplanten (Sarneel, 2010). Van riet is bekend dat zaden kiemen op droogvalende oevers (Weisner & Ekstam, 1993).

Een bekend voorbeeld in Nederland waar droogval heeft geleid tot een sterke uitbreiding van oeverplanten betreft de Oostvaardersplassen (ter Heerdt & Drost, 1993). Hier nam de bedekking door oeverplanten sinds 1974 sterk af. Het westelijk deel van de moeraszone werd daarop in 1987 drooggelegd, terwijl in het oostelijk deel de bestaande situatie werd gecontinueerd (ter Heerdt & Drost, 1993; Huijser et al., 1995; Brongers & Van Belle 2008). In 1991 is het peil in het westelijk deel weer opgezet. In 1992 had riet in het drooggelegde deel weer een vergelijkbaar hoge bedekking als in 1974, vóór de sterke afname. In de Oostvaardersplassen leidde de droogval tot een herstel van de helofytenvegetaties, maar deze nemen inmiddels weer langzaam af met circa 1% per jaar (van der Hut & Beemster, 2008). Coops (2002) en Van der Valk (2005) noemen een schatting van respectievelijk eens per 3-20 en eens per 5-30 jaar als herhalingstijd voor de droogval. In de Oostvaardersplassen is destijds gekozen voor een droogvalduur van vier jaar. Uit onderzoek aan proefmoerassen door de Ohio State University blijkt dat een droogvalduur van twee groeiseizoenen ook voldoende kan zijn om helofytenvegetaties uit te breiden of te herstellen (Mitsch et al. 2005).

FIGUUR 2.4

BIJ DROOGVAL VORMT RIET LANGE UITLOPERS, WAARBIJ OP ELKE KNOOP EEN NIEUWE PLANT GEVORMD KAN WORDEN



Effecten op macrofauna

Bij het aanpassen van het waterpeil wordt met name de ondiepe zone beïnvloed, bijvoorbeeld door de toegenomen blootstelling van de bodem, het vormen van ijs (McEwen & Butler, 2010) en veranderingen in de vegetatiestructuur (Wolcox & Meeker, 1992). Omdat deze zone over het algemeen de hoogste diversiteit en dichtheid aan macrofauna kent (Petridis & Sinis, 1993), zijn hierop het snelst effecten te verwachten. Bij het droogvallen van een waterlichaam, gebruikt de aanwezige macrofauna verschillende overlevingsstrategieën, waaronder een migratie (onder andere ringwormen en tweevleugeligen) naar de bodem om te wachten op het stijgende water (Hayworth, 2000). Soorten die deze overlevingsstrategie niet bezitten, of soorten die weinig mobiel zijn, doen er langer over om een water te herkoloniseren na een periode van droogval. De periode, intensiteit en duur van de droogvalperiode is hierbij van belang (Boulton, 2003; McAfee, 2007). Ook connectiviteit tussen de verschillende waterlichamen beïnvloedt de effecten (Bonada et al., 2006). Daarnaast kan sprake zijn van een vertraagd effect, waarbij effecten op diverse taxa pas na meerdere jaren duidelijk worden. Dit benadrukt de noodzaak tot meerjarig monitoringsonderzoek (Boulton, 2003).

De resultaten van onderzoeken naar (periodes van) droogval op macrofauna zijn divers, waarbij zowel een lagere als een hogere abundantie en/of biomassa gemeten is (Furey et al., 2006; McEwen & Butler, 2010). Ook het uitblijven van effecten is waargenomen (Riley & Bookhout, 1990; McAfee, 2007).

In een recent verschenen lijst van de Nederlandse macrofaunasoorten is bij verschillende soorten onder meer de gevoeligheid voor droogval vermeld (Nijboer, 2012).

Effecten van droogval op vissen

Het geheel of gedeeltelijk droogvallen van een (geïsoleerd) waterlichaam kan grote effecten teweegbrengen op de aanwezige visstand. Hoewel verschillende effecten in de literatuur beschreven zijn is er ook nog veel onbekend (Magoulick & Kobza, 2003; Matthews, 2003). Door tijdelijke en volledige droogval zal de visstand uiteraard volledig verdwijnen. Bij geleidelijke en beperkte droogval kunnen vissen deze periode ook overleven. Is het waterlichaam verbonden met andere wateren dan kunnen vissen overleven door tijdig weg te trekken. Vissen die achterblijven, moeten zich noodgedwongen terugtrekken naar de delen waar nog water aanwezig is. Kleinere plassen zijn echter gevoeliger voor temperatuurschommelingen. Hierdoor kunnen de achtergebleven vissen te maken krijgen met zuurstofgebrek en alsnog sterven. Ook kan de waterkwaliteit veranderen, waardoor vissen negatief beïnvloed worden (Matthews, 2003). Daarbij vormen de achtergebleven vissen een makkelijke prooi voor predatoren, met name voor visetende vogels.

Tijdelijke en beperkte droogval van wateren kan ook leiden tot een tijdelijk verlies van habitats. Het gaat dan met name om verlies van de oeverzone, met habitats gevormd door emergente vegetatie. Door verlies van habitats in de oeverzone, met schuil- en paaigelegenheden kunnen vissoorten die hiervan afhankelijk zijn negatief beïnvloed worden (Paller, 1997; Yamamoto et al., 2006).

Als het waterpeil in de drooggevallen plas na verloop van tijd weer begint te stijgen kunnen vissen zich weer verspreiden over de plas of de plas herkoloniseren. De mate en snelheid waarin vis voormalig drooggevallen wateren herkoloniseert, is sterk afhankelijk van transportmechanismen van vis en visseneieren en het aanwezige habitat in de vorm van oeverplanten, waterplanten en schuilplaatsen (Paller, 1997). Ook is het goed mogelijk dat

er na de droogvalperiode een andere visgemeenschap tot ontwikkeling komt (Matthews, 2003). Dit kan verschillende oorzaken hebben, zoals een toegenomen plantengroei, maar ook soortspecifieke problemen met herkolonisatie.

Effect op vogels en andere diersoorten

Ook andere diersoorten kunnen door een tijdelijke droogvalperiode van een watersysteem beïnvloed worden. Zo kan door het wegvallen van een water barrière een tijdelijke migratieroute voor soorten ontstaan. Bij geheel of gedeeltelijk drooggevallen plassen komen vaak grote groepen vogels foerageren. Het gaat dan met name om strand- en steltlopers (Yeatman, 1985, Sprandela et al., 2002). In Nederland worden soorten zoals kluut, tureluur, scholekster, grutto en watersnip in dit soort situaties waargenomen. Het tijdelijk beschikbaar komen van foerageergebied voor vogels kan beschouwd worden als een positief bijeffect van de droogval. Toch zouden hier voor het watersysteem ook grote nadelen uit kunnen volgen. Van verschillende watersystemen is bekend dat de waterkwaliteit negatief beïnvloed wordt door vogeluitwerpselen (Dobrowolski et al., 1976; Gould en Fletcher, 1978, Marion et al., 1994). Het is onbekend of vogels bij een relatief korte tijdelijke droogvalperiode een negatief effect op de waterkwaliteit veroorzaken.

3

ONDERZOEKSVRAGEN EN HYPOTHESEN

3.1 ONDERZOEKSVRAGEN

Voorafgaand aan het project werden, op basis van de reeds beschikbare kennis, verschillende onderzoeksvragen en hypothesen geformuleerd. De vragen en hypothesen werden onderverdeeld in hoofd- en bijvragen en per onderwerp gerangschikt. De onderzoeksvragen werden gesteld vanuit de onderdelen:

1. Ecologie en waterkwaliteit
2. Schade
3. Kosteneffectiviteit

De hoofdvragen betreffen:

1. Ecologie en waterkwaliteit:
 - a. Wat is het effect van tijdelijke droogval op de fysisch-chemische en biologische waterkwaliteit?
 - b. Hoe moet de maatregel tijdelijke droogval worden uitgevoerd in termen van duur en periode?
2. Negatieve effecten en schade:
 - a. Treden er als gevolg van tijdelijke droogval negatieve effecten op?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot maatschappelijke schade?
3. Uitvoerbaarheid en kosteneffectiviteit:
 - a. Is tijdelijke droogval praktisch en technisch uitvoerbaar voor watersystemen in Nederland?
 - b. Is tijdelijke droogval een kosteneffectieve maatregel?

Een meer gedetailleerde uitwerking van hoofd- en deelvragen is opgenomen achterliggend Technisch rapport.

3.2 HYPOTHESE

Waterkwaliteit

Een belangrijke reden om dit project uit te voeren is de verwachting dat tijdelijke droogval voor bepaalde wateren een goede maatregel is om de waterkwaliteit te verbeteren. Effecten met betrekking tot waterkwaliteit zijn in het voorgaande hoofdstuk uitgebreid beschreven. Verwacht wordt dat tijdelijke droogval een positieve bijdrage zal leveren aan de algehele

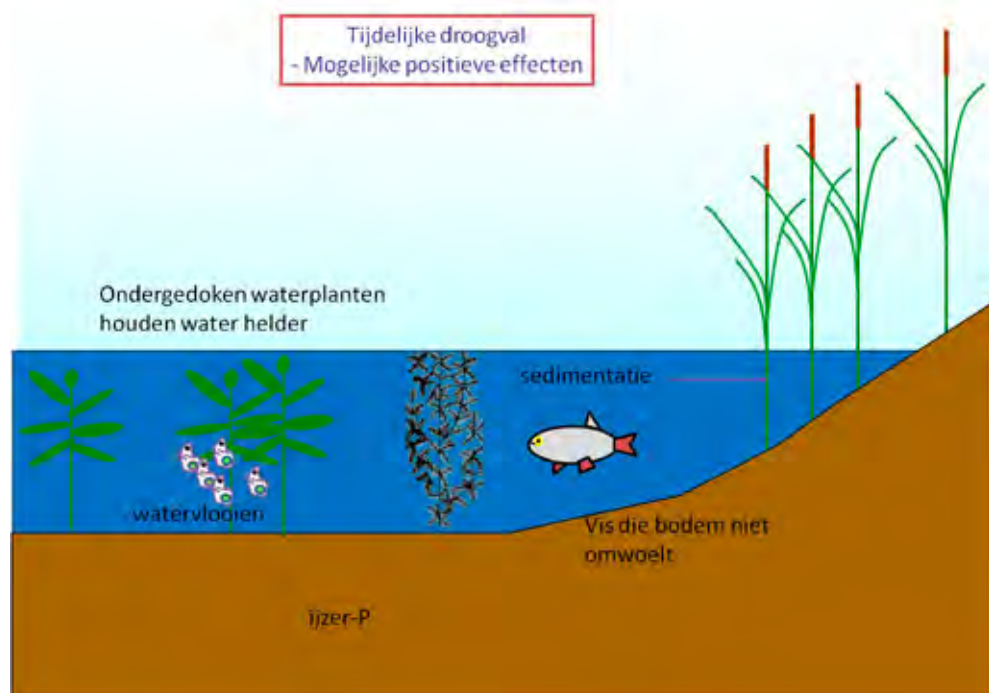
waterkwaliteit, zowel in fysisch-chemisch als biologisch opzicht (figuur 3.1). Hoewel aantallen en soortenrijkdom tijdelijk af kunnen nemen, is de verwachting dat tijdelijke droogval op de langere termijn een meetbaar positieve invloed zal hebben op plant- en diergemeenschappen.

Negatieve effecten en schade

Een reden voor waterbeheerders om droogval niet in te zetten als waterkwaliteitsmaatregel is het optreden van mogelijke schade (figuur 3.2). Door het tijdelijk droogzetten van een watersysteem treedt verlies van functies die gerelateerd zijn aan het oppervlaktewater (recreatie, aan- en afvoer, transport). Dit kan leiden tot economische schade.

Naast directe effecten kan er indirecte schade ontstaan als gevolg van het tijdelijk droogzetten van een water. Tijdelijke droogval kan schade veroorzaken aan oevers (verzakkingen) en beschoeiingen (rot, roest). Het tijdelijk droogzetten van oppervlaktewater zal effect hebben op de grondwaterstanden. Door verlaging van de grondwaterstand kunnen verzakkingen optreden, waardoor schade kan ontstaan aan funderingen, bebouwing, infrastructuur en waterbouwkundige voorzieningen. De verlaging van de grondwaterstand kan ook – zeker in veengebieden – leiden tot bodeminstabiliteit en bodemdaling. Hoewel mogelijke negatieve effecten en schade in dit onderzoeksproject niet uitgesloten kunnen worden, is de verwachting dat deze niet op zullen treden of beheersbaar/controleerbaar zijn.

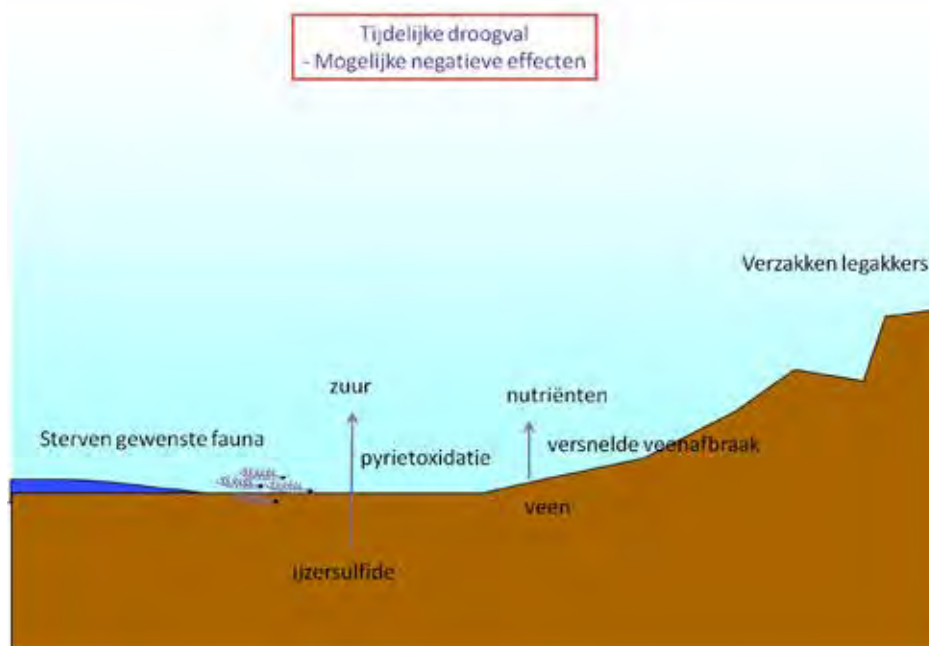
FIGUUR 3.1 MOGELIJKE POSITIEVE EFFECTEN VAN TIJDELIJKE DROOGVAL



Uitvoerbaarheid en kosteneffectiviteit

Tijdelijke droogval is een experimentele waterkwaliteitsmaatregel. Hierdoor bestonden nog vragen over de uitvoerbaarheid. De verwachting was dat de maatregel zoals andere maatregelen vergunbaar en in de meeste wateren technisch uitvoerbaar zou zijn.

FIGUUR 3.2 MOGELIJKE NEGATIEVE EFFECTEN VAN TIJDELIJKE DROOGVAL



De maatregel tijdelijke droogval grijpt vooral in op de waterbodem. De kosteneffectiviteit van de maatregel tijdelijke droogval wordt bepaald door de winst in termen van ecologie en waterkwaliteit, uitgezet tegen de kosten. Hierbij moeten de kosten weer worden afgezet tegen de kosten en effectiviteit van andere maatregelen. De verwachting is dat de maatregel tijdelijke droogval veel goedkoper zal zijn dan andere maatregelen. Ook wordt verwacht dat het ecologisch rendement hoog is.

Een belangrijke, maar ook moeilijke factor in het bepalen van de kosteneffectiviteit is de duurzaamheid van de maatregel. In dit geval de duur waarbij de positieve effecten als gevolg van tijdelijke droogval aanhouden. De verwachting is dat voor bepaalde wateren de droogval herhaald zal moeten worden, omdat de positieve effecten na verloop van tijd verminderen of zelfs geheel weer verdwijnen (figuur 3.3). In andere watersystemen is het voorstelbaar dat een eenmalige droogvalperiode leidt tot een permanente omslag naar een kwalitatief goed en stabiel watersysteem.

4

ONDERZOEKSOPZET

Binnen het onderzoeksproject werden verschillende type deelonderzoeken uitgevoerd te weten:

- Microcosmos;
- Kolomexperiment;
- Mesocosmos;
- Veldexperimenten.

De term 'cosmos' geeft aan dat er sprake is van een proefopstelling waarin de omstandigheden zoals die in een ecosysteem of veldsituatie kunnen voorkomen worden nagebootst onder meer gecontroleerde omstandigheden. Bij dit type experimenten wordt een onderscheid gemaakt in schaalniveau. Microcosmos experimenten worden uitgevoerd in bijvoorbeeld flessen, potten, kolommen of aquaria. In dit onderzoeksproject werden twee type microcosmos experimenten uitgevoerd, namelijk in glazen potten en in kolommen.

Mesocosmos experimenten kunnen in het veld of in het laboratorium worden uitgevoerd. Hierbij wordt een deel van een ecosysteem, plas of meer afgeschermd of wordt in een laboratorium de veldsituatie nagebootst in proefvijvers. In dit onderzoeksproject werd een mesocosmos experiment in proefvijvers uitgevoerd op een terrein van de Radboud Universiteit Nijmegen.

Het doel van het project is om de effecten van tijdelijke droogval op een aantal Nederlandse oppervlaktewateren in beeld te brengen. Daarom werd veldonderzoek op vier locaties uitgevoerd. In het veld werden de volgende aspecten nader onderzocht: grondwater, bodemstabiliteit, oppervlaktewater-, poriewater- en bodemkwaliteit, fytoplankton, macrofauna en vegetatie.

In de uitgevoerde zoeken is getracht om de effecten van droogval zo goed mogelijk in kaart te brengen. Zowel positieve als mogelijk negatieve effecten. Door de experimenten op verschillende schaalniveaus uit te voeren konden effecten beter vergeleken worden en voor bepaalde aspecten nauwkeuriger worden bepaald.

4.1 ONDERZOEKSLOCATIES

In de voorbereidingsfase van het project, werd gezocht naar geschikte onderzoekslocaties. Er werden criteria opgesteld waaraan de onderzoekslocaties moesten voldoen. Zo moesten potentiële locaties variëren in bodemtype, een omvang hebben van circa 1 ha en te maken hebben met waterkwaliteitsproblemen.

Het bleek niet moeilijk om potentieel geschikte locaties te vinden, maar wel om de nodige medewerking en/of toestemming voor het onderzoek te verkrijgen van waterbeheerders. Staatsbosbeheer Regio Noord kwam uiteindelijk met vier mogelijk geschikte onderzoekslocaties. Het betrof wateren in natuurgebieden waaraan buiten de

functies natuur en extensieve recreatie weinig andere functies verbonden waren. Op drie van de vier locaties was er sprake van te hoge nutriëntenconcentraties. In de Rottige Meente bleken de fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater weliswaar niet sterk verhoogd, maar toch was dit water troebel, plantenarm en had het te hoge concentraties chlorofyl-a. Voor het droogzetten van deze locaties bleken verschillende specifieke maatregelen nodig, die varieerden in complexiteit en kosten. Hoewel dit niet als criterium was opgenomen, sloot dit goed aan bij het doel om meer inzicht te krijgen in de kosteneffectiviteit van de maatregel. Variatie in complexiteit en kosten zou alleen maar bijdragen aan een goede beoordeling van de maatregel en het bepalen van de mate van toepasbaarheid voor andere wateren.

TABEL 4.1

ONDERZOEKSLOCATIES

LOCATIE	X,Y	BODEMTYPE	OPPERVLAK DROOGVAL (ha)	OPPERVLAK REFERENTIEVAK (ha)
De Deelen (Fr.)	53°16'28"N 6°59'41"E	Veen	2,14	1,6
Rottige Meente (Fr.)	52°50'11"N 5°54'13"E	Veen	0,14	0,04
Woudbloem (Gr.)	52°25'60"N 4°55'60"E	Zand	4,14	-
Lalleweer (Gr.)	51°24'08"N 6°11'01"E	Klei	0,88	-

Lalleweer

De plas Lalleweer (Gr.) bevindt zich in Gemeente Delfzijl, nabij de plaats Lalleweer en aan het Termunterzijldiep. De plas ligt in een zeeleigebied en heeft ook een waterbodembodem die uit zware zeelei bestaat. De plas is omstreeks 1994 gegraven. De kleiplas wordt omringd door brede rietgordels. De plas heeft een gemiddelde diepte van circa 1 m. Het doorzicht van de plas is beperkt, door opwerveling van kleideeltjes. De plas wordt op peil gehouden door inlaat vanuit de boezem via landbouwsloten. Het verschil tussen zomer- en winterpeil is ongeveer 20 cm.

FIGUUR 4.1

LALLEWEER



Woudbloem

De plas Woudbloem aan de zuidzijde van de Veenlaan ten westen van Slochteren is vermoedelijk in 2004-2005 gegraven. De plas maakt deel uit van het project 'Natuurbouw Dannemeer' in het deelgebied Woudbloem Ae en aangelegd op voormalige akkerbouwgrond op een zandige bodem. De plas heeft een gemiddelde diepte van circa 0,8 m. Het peil in de plas fluctueert vrij sterk waardoor een relatief groot deel van de zeer flauwe oevers in de zomer droogvalt. Er komen sinds het ontstaan nauwelijks water- of oeverplanten voor. Gewoon sterrekroos is wel eens waargenomen en langs de oevers naaldwaterbies. Op de plas rusten regelmatig relatief grote aantallen eenden en ganzen. In de zomer grazen in het perceel koeien die ook de oevers veelvuldig betreden. Deze koeien zijn tijdens het experiment uitgerasterd, zodat ze niet bij de plas en de oevers van de plas konden komen.

FIGUUR 4.2 WOUDBLOEM



De Deelen

Het 'moerasgebied' De Deelen ligt in Friesland ten noordoosten van Heerenveen aan de westflank van het Drents Plateau. In tegenstelling tot de vroegere situatie ligt het gebied tegenwoordig hoger dan de landbouwgronden in de omgeving.

Het gebied, ongeveer 465 ha groot, is grotendeels in beheer bij Staatsbosbeheer. Ongeveer 50% is oppervlaktewater en bestaat uit petgaten en legakkers en twee doorgaande vaarten. Rond 1920 startte de vervening in dit jonge petgatengebied. Op beperkte schaal wordt nog steeds veen afgegraven voor de potgrondindustrie. De veendikte is beperkt tot circa 2 m. De legakkers bestaan uit een 1 à 1,5 m dikke laag veenmosveen met een circa 0,1 à 0,2 m dik kleidek. Daar waar petgaten zijn gegraven bevindt zich dus nog nauwelijks veen. Slechts een dikke sliblaag scheidt het water van de zandondergrond. De Deelen heeft de status Wetland (Ramsar Conventie 1971) en is aangewezen als Natura-2000 en vogelrichtlijngebied.

Vanaf de jaren zestig wordt er in het gebied boezemwater vanuit de nabijgelegen Hooivaart ingelaten. Sinds 2002 wordt er in principe alleen nog water ingelaten vanuit de zandwinplas. Afgesproken is dat wanneer in zeer droge zomers een tekort aan water voor aanvoer vanuit de zandwinplas optreedt, er dan water vanuit de Hooivaart in De Deelen ingelaten wordt. Om verdere afkalving van de oevers van de legakkers te voorkomen is er besloten vanaf januari 2011 een streefpeil te hanteren van -1,10 m NAP in de zomer en -0,90 m NAP in de winter.

FIGUUR 4.3 DE DEELEN (LUCHTFOTO UIT 2010)



Rottige Meente

Het hoogwaardige laagveengebied de Rottige Meente ligt ten zuidwesten van Wolvega in het oostelijke deel van de Grote Veenpolder. De Rottige Meente behoort tot de grootste laagveenmoerasgebieden in Friesland.

Een "rottig" gebied om te bewerken

De Rottige Meente was een "rottig" gebied. Dat wil zeggen dat de kwaliteit van de grond slecht was doordat het deel uit maakte van het laagveengebied. "Meente" is afgeleid van gemeenschappelijk weidegebied.

Het natuurgebied de Rottige Meente heeft momenteel een omvang van 1.122 hectare, waarvan 750 hectare in bezit is van Staatsbosbeheer. Het natuurgebied bestaat uit open water met petgaten en legakkers, rietlanden, hooilanden en moerasbossen. Het gebied wordt behalve als gras- en hooiland ook voor rietteelt gebruikt.

Vanaf eind 19e eeuw is het kleinschalig ontwateren en vergraven van het resterende veenpakket voor turfwinning gestart. Hierdoor ontstonden rechthoekige waterpartijen begrensd door legakkers. In deze wateren kon via ondergedoken waterplanten en drijfbladplanten kraggevorming tot ontwikkeling komen waardoor opnieuw een ontwikkeling van veenvorming op gang kwam. Het gebied is aangewezen als Natura 2000 gebied voor zowel de Vogel- en Habitat richtlijn. Het gebied wordt gezien als een goed voorbeeld van een voor de omgeving karakteristiek type wetland, en heeft de status Wetland gekregen. Het totale

areaal aan watervegetaties is relatief groot. Echter, er zijn petgaten waarin goed ontwikkelde vegetaties aanwezig zijn en wateren waarin nauwelijks of geen waterplanten voorkomen. In de Rottige Meente verdwijnen steeds meer smalle legakkers en blijft verlanding uit. Een risico is dat het areaal open water alsmear groter wordt en de kansen voor nieuwe verlanding hiermee steeds kleiner worden.

Het gehele natuurreservaat ligt beneden NAP. Het peil wordt over talrijke kleine gebiedjes door de beheerder Staatsbosbeheer zelf gereguleerd. Sinds eind jaren tachtig wordt in het grootste gedeelte van het natuurreservaat gestreefd naar een vast peil van -1,10 m NAP.

FIGUUR 4.4 ROTTIGE MEENTE (LUCHTFOTO UIT 2010)



4.2 VOORBEREIDING EN UITVOERING VAN DE MAATREGEL TIJDELIJKE DROOGVAL

Om de vier verschillende wateren tijdelijk droog te kunnen zetten moesten verschillende maatregelen worden genomen. Omdat de locaties verschillen in ligging, bodemopbouw, geohydrologie en hydrologie moest voor iedere locatie apart bekeken worden welke maatregelen nodig waren.

In de realisatie van maatregelen werden drie fasen onderscheiden:

1. Voorbereiding;
2. Fase 1 realisatie en beheer;
3. Fase 2 verwijderen grond- en kunstwerken.

Voorbereiding

In de voorbereiding van de maatregelen werden een ontwerp en werkplan opgesteld. Het detailniveau van de uitwerkingen verschilde per locatie en was afhankelijk van het type maatregelen dat genomen moest worden. Ontwerp en werkplan werden niet alleen voor eigen gebruik of de aannemer opgesteld, maar ook voor de betrokken bevoegde gezagen in verband met de vergunningverlening.

Voor het aanleggen van gronddammen en duikers volstond een eenvoudige tekening (op schaal) met locaties en dimensies. Voor het plaatsen van de compartimenten met stalen damwand was de voorbereiding uitgebreider. Zo werd met onder andere bodemsonderingen en modelberekeningen onderzocht welk type damwanden gebruikt moest worden en tot hoe diep deze aangebracht moesten worden.

Vergunningeninventarisatie

Voor het uitvoeren van werkzaamheden moet in algemene zin worden nagegaan of deze wettelijk zijn toegestaan. Zijn ingrepen niet toegestaan dan kan een ontheffing of vergunning worden aangevraagd. Hiervoor dient een verzoek te worden gedaan bij het betreffende bevoegde gezag. Voor aanvang van een vergunningeninventarisatie dient duidelijk te zijn welke ingrepen plaatsvinden, wanneer deze plaatsvinden, hoe lang deze duren en tot op zekere hoogte ook al welke effecten deze teweegbrengen.

Uit de vergunningeninventarisatie voorafgaand aan het nemen van maatregelen voor het project, bleek dat volgende vergunningen en/of ontheffingen aangevraagd dienden te worden:

- Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo)
- Waterwet
- Flora- en faunawet (Ffw)
- Natuurbeschermingswet (NB-wet)

Op 20 juli 2010 heeft vooroverleg plaatsgevonden met de betrokken bevoegde gezagen om procedures helder te krijgen en vroegtijdig afspraken te maken.

TABEL 4.1

PROCEDURETIJDEN VERGUNNINGEN

VERGUNNING/ONTHEFFING	PROCEDURETIJD
Wabo	Reguliere procedure 8 + 6 weken Uitgebreide procedure 26 + 6 weken*
Waterwet	Reguliere procedure 8 weken Uitgebreide procedure 26 weken**
Flora en Fauna Wet	Toetsing circa 3 weken Uitgebreid vervolgonderzoek 3 – 52 weken Aanvraag ontheffing 8 tot 26 weken
Natuurbeschermingswet	Natuurtoets en/of Voortoets circa 3 weken Verslechteringstoets circa 3-6 weken Passende beoordeling 6-10 weken

* Bijvoorbeeld bij afwijking bestemmingsplan

** Bij grote grondwateronttrekkingen

Wabo - Omgevingsvergunning

Niet lang voor de aanvang van dit onderzoeksproject werd een nieuwe wet ingevoerd: de Wet algemene bepalingen omgevingsrecht (Wabo). De Wabo is sinds 1 oktober 2010 van kracht en regelt de ‘omgevingsvergunning’. Voor de Wabo is in veel gevallen de gemeente het bevoegd gezag. Onder de Wabo zijn circa 25 vergunningen, ontheffingen en meldingen ondergebracht.

Voor aanvang van het veldexperiment werd bij de betreffende gemeenten een melding van de voorgenomen werkzaamheden gedaan. Hierop berichten drie gemeenten dat voor het ‘gedeeltelijk dempen of afdammen van een waterpartij’ een Wabo vergunning noodzakelijk was. Voor de werkzaamheden in Lalleweer (Gemeente Delfzijl) was geen vergunning nodig, omdat de werkzaamheden pasten binnen bestemmingsplan en regulier beheer.

Voor de overige drie locaties werd uiteindelijk, soms onder bepaalde voorwaarden, een vergunning verleend. Een aanvullende voorwaarde van Gemeente Weststellingwerf was bijvoorbeeld voorlichting te geven aan de directe omgeving. Hierop werden een informatiebord geplaatst (figuur 4.5), voorlichtingsbrieven aan bewoners gestuurd en een voorlichtingsbijeenkomst georganiseerd.

FIGUUR 4.5 INFORMATIEBORD DROOGVAL ROTTIGE MEENTE

Informatie over het project

‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’

in de Rottige Meente

Met dit informatiebord willen we u graag informeren over de uitvoering en achtergrond van het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’. In het kader van dit project vinden werkzaamheden plaats in het natuurgebied de Rottige Meente.

Waterkwaliteit
Veel Nederlandse wateren hebben te maken met waterkwaliteitsproblemen. STOWA (Stichting Toegestaan Onderzoek Waterbeheer) onderzoekt in het kennisprogramma Watermaatregelen verschillende maatregelen die deze waterkwaliteitsproblemen aanpakken. Dit doet zij niet alleen, maar met veel andere organisaties waaronder waterschappen, natuurbeheerders, onderzoekers en adviesbureaus. Een van de maatregelen die wordt onderzocht is het tijdelijk droog laten van het waterbodemp. Dit komt misschien wat vreemd in de oren. En daarom lichten we dit in de volgende tekst toe.

Waarom droogval?
Voeger was tijdelijke droogval van wateren een vrij normaal verschijnsel. Het was een verschijnsel dat in de late zomermaanden door heel Nederland kon worden waargenomen.
Onder natuurlijke omstandigheden wisselt het waterpeil met de seizoenen. In de winter zijn de peilen hoog en in de zomer door de hoge verdamping laag, met soms droogval tot gevolg. In de geschiedenis van Nederlandse heiden en veel moerassen was het water verdroogd. Dit ging echter ten koste van natuurlijke processen die in onze wateren plaats vinden te vinden. Die processen zijn hand nodig om een goede waterkwaliteit te behouden.

Hoe werkt droogval precies?
Dat weten we niet precies en daarom gaan we onderzoek uitvoeren. We weten wel dat water en overplanten zich watermate goed ontwikkelen bij wisselende waterpeilen en dat bepaalde plantensoorten onder de natte omstandigheden niet goed kunnen klemmen. Er zijn ook waarnemingen van vieze troebel wateren die na een periode van droogval helder werden en plantentijk. In een droogvallende waterbodem vinden belangrijke processen plaats die de waterkwaliteit kunnen verbeteren. Zo worden bijvoorbeeld stoffen die algenbloei veroorzaken sterk aan de droge waterbodem gebonden. Als het waterpeil weer stijgt, blijven deze stoffen in de bodem en blijft algenbloei uit. We willen beter onderzoeken hoe lang die stoffen aan de bodem gebonden blijven.

De Rottige Meente en andere locaties
De maatregel tijdelijke droogval wordt op vier locaties in Nederland onderzocht. Het gaat om twee plaatsen in Groningen en twee plaatsen in Friesland. Een belangrijke reden om de maatregel in de Rottige Meente toe te passen is de voorspelde aantakking van water en overplanten. De waterkwaliteit en hoeveelheid waterplanten in de Rottige Meente varieert sterk per droogvaljaar. Er zijn fraai goed ontwikkelde delen, maar ook gebieden waarin geen enkele waterplant meer voorkomt. Daarbij zijn velen van de enige legkokers nog klein gebleven en dreigen op de lange termijn te verdwijnen. De structuur van legkokers en peltogen maakt het gebied door het tijdelijk water en vormt een belangrijke leefomgeving voor veel verschillende vogels en de eider. Ontwikkeling van bijvoorbeeld net kan de legkokers weer versterken, en kan er intenderlijk zelfs voor zorgen dat de legkokers weer uitgroeien. Daarbij zou het geweldig zijn als de plantensoorten die droogval de peltogen voorkwamen weer terugkoren.

Werkzaamheden
In de Rottige Meente is een compartiment gerealiseerd nabij de veldwachter waar de droogval wordt toegepast. Vanaf de veldwachter heeft u (lood 2.20) op het compartiment. Het compartiment is gemaakt van stalen damwanden. Deze damwanden zijn nodig om de maatregel op beperkte schaal te kunnen toepassen en voor bescherming van de legkokers.

Tijdsplanning 2011

januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	oktober	november	december
		1					2	3	4		

- 1 eind februari/begin maart aanbrengen damwanden
- 2 half juli tot half augustus beginnen met pompen in het compartiment om droogval te bereiken
- 3 eind augustus droogval bereiken
- 4 eind september stappen met pompen, compartiment zal langzaam weer vollopen door zwaai en neerslag. Er wordt niet actief water ingepompt.

Contact
We begrijpen dat u wellicht nog vragen heeft. Hieronder kunt u terecht bij:

- de projectleider van het project namens de STOWA, drs. P.J. (Piet) Jans Westendorp, 0570-667048
- de beheerder van de Rottige Meente vanuit Staatsbosbeheer, de heer H.J. (Henk-Jan) van der Veer, 0516-425530

Dit project wordt mede gefinancierd vanuit het innovatieprogramma Katernkroon (Water) uitgevoerd door de Provincie Fryslân in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Milieu

Waterwet

Onder de Nederlandse Waterwet zijn acht waterbeheerwetten samengebracht. Deze wet is sinds 22 december 2009 van kracht. De waterbeheerders zijn bevoegd gezag voor uitvoering en handhaving. De Waterwet vormt de basis voor normen die aan watersystemen kunnen worden gesteld. De Waterwet maakt het zodoende mogelijk om duidelijke normen te stellen om bijvoorbeeld wateroverlast te voorkomen. Ook voor dit onderzoeksproject werd getoetst in welke mate de afvoer en/of bergingscapaciteit van de wateren werd beïnvloed.

Voor de realisatie van maatregelen werd bij Wetterskip Fryslân en Waterschap Hunze en Aa's een melding van de voorgenomen werkzaamheden gedaan. Hierop berichten de twee betreffende waterschappen dat gezien de aard van de werkzaamheden een vergunning Waterwet noodzakelijk was.

Voor het uitvoeren van de werkzaamheden in het kader van het project tijdelijke droogval diende een watervergunning te worden verkregen voor:

- het werken in het Keurgebied van het betreffende waterschap;
- het eenmalig onttrekken van oppervlaktewater;
- het tijdelijk onttrekken van oppervlaktewater en grondwater aan de planlocatie;
- het lozen van de hierboven genoemde onttrekkingen.

Voor alle vier de locaties werd een bemalingsadvies opgesteld om het waterbezwaar te bepalen.

De vergunningen werden uiteindelijk met aanvullende voorwaarden allemaal verleend. De aanvullende voorwaarden betroffen voorgeschreven debietmetingen, waterkwaliteitsmetingen, grondwatermonitoring en de realisatie van een noodwateroverloop in Woudbloem.

Natuurwetgeving: bescherming gebieden en soorten

In Nederland is natuurbescherming geregeld in enerzijds de bescherming van gebieden (Natuurbeschermingswet '98, Ecologische Hoofdstructuur (Nota Ruimte) en provinciale programma's) en anderzijds in de bescherming van soorten (Flora en faunawet). Voor de Natuurbeschermingswet is de Provincie bevoegd gezag. Voor de Flora en Faunawet is dat tegenwoordig het Ministerie van Economische zaken.

Voor aanvang van het tijdelijk droog laten vallen van de wateren moest worden nagegaan of beschermde natuurwaarden mogelijk geschaad zouden worden door de uitvoering van de maatregelen of de droogvalperiode zelf. Uit vooronderzoek, de zogenaamde natuurtoets, bleek dat voor een aantal locaties mogelijk negatieve effecten konden optreden:

- De Deelen en Rottige Meente: Negatieve effecten op de beschermde soorten van de Ffw (broedvogels, heikikker en gestreepte waterroofkever) werden mogelijk verwacht. Daarnaast konden ook tijdelijke negatieve effecten op de instandhoudingsdoelen van de Natura 2000-gebied De Deelen en het Natura 2000-gebied de Rottige Meente niet worden uitgesloten.
- Voor Woudboem en Lalleweer konden negatieve effecten op beschermde soorten wel worden uitgesloten.

Soortbescherming (Flora en Faunawet)

Na deze constatering en eerste afstemming met de bevoegde gezagen werd een verslechtings-toets uitgevoerd en ontheffing voor de Ffw aangevraagd. De ontheffingsaanvraag voor het beschadigen en vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen van de gestreepte waterroofkever en ook de ontheffingsaanvraag voor het vervoeren van de heikikker bleken werden alsnog niet van toepassing verklaard. Voor het mogelijk beschadigen en vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen van de heikikker werd in het kader van het belang “bescherming flora en fauna” ontheffing verleend onder voorwaarden dat mitigerende maatregelen werden getroffen. De mitigerende maatregelen bestonden vooral uit controle op aanwezigheid op enkele cruciale momenten zoals voor het aanleggen van de dammen of het afpompen van het oppervlaktewater.

Gebiedsbescherming (NB-wet)

De mitigerende maatregelen voorkomend uit de Nbwet '98 betroffen het uitvoeren van het werk in een bepaalde periode, het inventariseren van aanwezigheid van bepaalde soorten (o.a. roerdomp, karekiet, broedvogels, gestreepte waterroofkever) op bepaalde tijdstippen en het afvissen van bepaalde vissoorten (kleine modderkruiper en bittervoorn). Specifiek voor het plaatsen van de stalen damwand werd voorgeschreven dat met een laagfrequent trillingsblok gewerkt moest worden.

Afvissen alle droogvallocaties (eind juni 2011)

In het kader van de Nbwet-vergunning (De Deelen en de Rottige Meente) en de zorgplicht (alle wateren) diende het eventueel verwonden of doden van vissen als gevolg van het leegpompen van de wateren te worden voorkomen. Buiten deze verplichtingen was dit reeds in het onderzoeksplan opgenomen als maatregel. Alle locaties werden voor aanvang van de droogvalperiode dan ook afgevist. Het afvissen werd gecombineerd met een opname van het visbestand.

Uitvoering van de werkzaamheden

In het werkplan werd niet alleen de realisatie van maatregelen beschreven, maar ook het benodigde beheer. Een belangrijk aspect voor dit onderzoekproject betrof het afpompen van het oppervlaktewater en het in stand houden van de droogval. Alle werkzaamheden werden in de periode maart tot uiterlijk begin april 2011 op de verschillende locaties uitgevoerd (tabel 4.2).

TABEL 4.2

WERKZAAMHEDEN PER LOCATIE

LOCATIE	MAATREGELEN	TOELICHTING
Lalleweer	Aanbrengen grondnam met duiker	Gebruik van grond uit het gebied Duiker met handbedienbare afsluiter
	Opschonen afvoerwatergang	
	Aanpassen stuw	Regelbaar maken
	Aflaten en afpompen oppervlaktewater	Periode juli – september 2011
Woudbloem	Aanbrengen afrastering	Om vee uit te sluiten
	Aanbrengen grondnam met duiker	Grond afkomstig uit verlaging kering (werk-met-werk) Duiker met handbedienbare afsluiter
	Aanbrengen noodafvoer	In bestaande kering, voorzien van handbedienbare afsluiter
	Aflaten en afpompen oppervlaktewater	Periode juli – september 2011
Rottige Meente	Aanbrengen en verwijderen rijplaten en draglineschotten	
	Aanbrengen compartiment van stalen damwand	Aanvoer materieel over land, plaatsing damwand vanaf ponton
	Aanbrengen loopsteiger	Voor bereikbaarheid
	Aflaten en afpompen oppervlaktewater	Periode juli – september 2011
De Deelen	Aanbrengen grondnam met duiker	Gebruik van gebiedseigen grond uit depot Duiker met handbedienbare afsluiter
	Aanbrengen duikers in bestaande waterkering	Om afaat mogelijk te maken Duiker met handbedienbare afsluiter
	Aflaten en afpompen oppervlaktewater	Periode juli – september 2011

FIGUUR 4.6

AFGEGRAVEN KRUIN WATERKERING WOUDBLOEM, WAARBIJ DE VRIJKOMENDE GROND WERD VERWERKT ALS GRONDDAM OM DE PLAS AF TE SLUITEN (WERK-MET-WERK)



FIGUUR 4.7

AANBRENGEN STALEN DAMWANDEN IN DE ROTTIGE MEENTE



FIGUUR 4.8 ER WERD EEN LOOPSTEIGER AAN HET COMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE BEVESTIGD, ZODAT DEZE TOEGANKELIJK WERD VOOR INSPECTIE EN BEMONSTERING



Afvissen en bemonsteren van de onderzoekslocaties

Het afvissen en de visstand bemonstering vonden plaats in de periode 29 juni – 28 juli 2011, kort voor de droogval en tijdens het afpompen van water (ATKB, 2011).

Het afvissen van de locaties werd in drie verschillende fasen uitgevoerd:

1. Grootschalig afvissen met de zegen voor de droogval;
2. Afvissen met fuiken voor de droogval;
3. Afvissen met zegen en elektrovisaparaat tijdens het afpompen.

De strategie van afvissen voor de droogval en tijdens het droogpompen bleek zeer effectief. Dit gold ook voor de combinatie van zegenvissen en het gebruik van een electrovisapparaat en fuiken. De samenwerking met lokale vissers, beheerders en hengelsportfederaties verliep goed en is aan te bevelen. Ten eerste kennen zij de wateren goed en ten tweede kunnen zij meedenken en adviseren in geschikte uitzetplaatsen voor de afgevangen vis. Ook kan door samenwerking voorlichting aan gebruikers en publiek plaatsvinden. Zo werd op de website van de hengelsportfederatie een mededeling gedaan van de voorgenomen activiteiten, met uitleg en achtergronden van het project.

Op de meeste locaties was sprake van een visstand met relatief grote biomassa per hectare. De aangetroffen visgemeenschappen waren niet zeer divers en op een aantal locaties ook atypisch met grote vertegenwoordiging van bepaalde soorten of bepaalde klassen. De reden hiervoor is niet duidelijk. Hoewel de uitvoering van maatregelen (trillingen bij aanbrengen grondhammen en damwanden) een rol kan spelen, geldt dit ook voor de mate van isolatie en de waterkwaliteit. De visstand werd op de meeste locaties vooral bepaald door brasem. Roofvis bleek op de meeste locaties niet veel voor te komen. De aangetroffen visgemeenschappen pasten bij het beeld van eutrofe en plantenarme plassen.

4.3 ONDERZOEKEN

Microcosmos

In het deelonderzoek microcosmos werden waterbodems afkomstig van verschillende lopende projecten en uit verschillende gebieden onderzocht op het effect van tijdelijke droogval. In totaal werden waterbodems uit 23 verschillende gebieden, waaronder de vier onderzoekslocaties Lalleweer, Woudbloem, Rottige Meente en De Deelen, onderzocht (tabel 4.3.). Een tijdelijke droogvalperiode werd nagebootst door de helft van de monsters voor een periode van acht weken te laten droogvallen. Na deze droogvalperiode werden de bodems weer vernat en werden oppervlaktewater, waterbodem en porievocht bemonsterd en geanalyseerd.

FIGUUR 4.9 INDrukken van het deelonderzoek microcosmos. BOVEN: IN DE HELFT VAN DE MONSTERS WERD DROOGVAL NAGEBOOTST. LINKSONDER: DE BEMONSTERING VAN BODEMVOCHT MET RHIZONS (SLANGETJES MET POREUS UITEINDE). RECHTSONDER: EEN BODEM WAAR HET PRINCIPE VAN DROOGVAL ZICHTBAAR WERD, NAMELIJK OXIDATIE VAN ZWARTE IJZER-SULFIDEN WAARBIJ IJZER(HYDR)OXIDEN (GEEL-ORANJE ROEST) GEVORMD WORDEN



TABEL 4.3 DE BODEMMONSTERS IN HET MICROCOSMOS EXPERIMENT WAREN AFKOMSTIG UIT VERSCHILLENDE PROJECTEN EN GEBIEDEN. WEERGEGEVEN ZIJN HET BODEMTYPE, HET GEMIDDELD ORGANISCH STOFGEHALTE (\pm STANDAARDDEVIATIE) EN HET AANTAL SUBLOCATIES

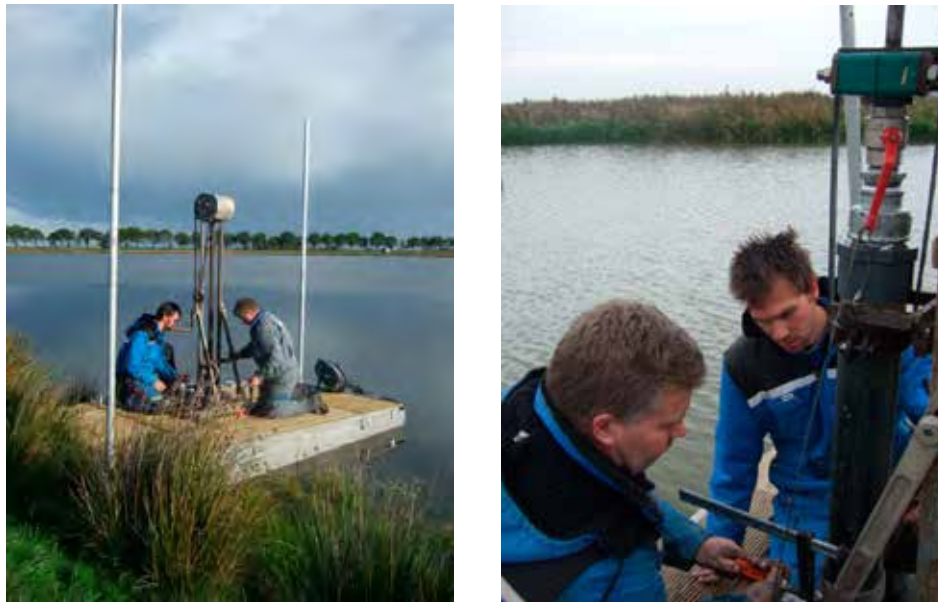
NAAM	LOCATIE	TYPE BODEM	ORG STOF (%)	SUBLOCATIES
1.Diepe Kuil	Maasbree	Veen	57 \pm 24	3
2.Tangkoel	Venlo	Zand	7	1
3.Ostre Mjåvatn	Egersund (NO)	Veen	26	1
4.Gaudlandsvatn 1	Barstad (NO)	Veen	62	1
5.Gaudlandsvatn 2	Barstad (NO)	Veen	18	1
6.Gregningstjørna	Egersund (NO)	Veen	19	1
7.Helleland	Epteland (NO)	Veen	8	1
8.Lommerbroek	Lomm	Veen	69	1
9.Groene Jonker	Nieuwkoop	Zand	7	1
10.Schaapsbroek	Venlo	Veen	40 \pm 32	17
11.Woudbloem	Slochteren	Zand	5 \pm 5	3
12.Westerpolder	Slochteren	Slib + Zand	7 \pm 9	3
13.Serooskerke Weel	Serooskerke	Klei+Zand	6	2
14.Wevers inlaag Zeeland	Moriaanshoofd	Zand	1	1
15.Beuven	Someren	Veen	27 \pm 36	10
16.Diepbroek	Venlo	Klei+Veen	58 \pm 27	15
17.Ilperveld	Landsmeer	Veen	74	2
18.Ouwerkerkse inlaag	Ouwerkerk, Zierikzee	Klei+Veen	5 \pm 4	3
19.Lalleweer	Delfzijl	Klei	7	1
20.Aldegeaster brekken	Aldegea	Slib	19	2
21.Vogelplas	Hengstdijk	Zand	2	1
22.Oranjepolder	Maasdijk (Westland)	Klei	8	1
23.Starrevaartsplas 1	Leidschendam	Klei	11	2

Kolomexperiment

Om de effecten van tijdelijke droogval te onderzoeken, werden in het laboratorium experimenten met onverstoorde boorkernen van sediment afkomstig van de vier onderzoekslocaties Lalleweer, Woudbloem, Rottige Meente en De Deelen uitgevoerd. Ook werden een aantal kolommen gebruikt voor het maken van concentratieprofielen van het poriewater en profielen van het sediment. De kolommen (perspex, diameter 10 cm, lengte 1 meter) werden met behulp van een mechanische opstelling vanaf een vlot gestoken. Dit gebeurde met minimale verstoring van het bodemprofiel.

FIGUUR 4.10

MONSTERNAME VAN ONVERSTOORDE SEDIMENTKOLONNEN EN UITVOERING KOLOMEXPERIMENT



In de verzamelde kolommen werd een tijdelijke droogvalperiode nagebootst door de waterlaag te verwijderen en door verdamping verder uit te laten drogen. In dit deelonderzoek werd gevarieerd in de droogvalduur. In de kolommen werd een droogvalduur van 1 week tot 3 maanden onderzocht. Ook werd winterdroogval nagebootst door een aantal kolommen in een koelcel bij 4°C droog te laten vallen. Na de gesimuleerde droogvalperiode werd weer een waterlaag op de waterbodems aangebracht. Voor, tijdens en na afloop van de droogvalperiode werd het porievocht van de waterbodems in de kolommen op verschillende diepten bemonsterd en geanalyseerd.

Mesocosmos

In 2010 werd bodemmateriaal afkomstig uit vijf verschillende gebieden: de vier onderzoekslocaties en het Ilperveld; een voormalig brak veenweidegebied in West-Nederland in 24 proefvijvers (diameter 185 cm, diepte 90 cm) aangebracht (figuur 4.11). Het Ilperveld werd meegenomen vanwege het relatief hoge zwavelgehalte van de bodem, waardoor mogelijk effecten van verzuring beter onderzocht konden worden. In de proefvijvers werd een droogvalperiode nagebootst in verschillende seizoenen. De droogval vond plaats in verschillende perioden:

1. het voorjaar (februari-april);
2. de zomer (juni-augustus);
3. de winter (november-januari).

De droogvalperiode betrof telkens een periode van 2 maanden. De droogval vond plaats door water af te pompen en verdamping. Over de proefvijvers werden afdakjes geplaatst zodat de invloed van regenwater kon worden uitgesloten. Elke droogvalperiode werd voorafgegaan en gevolgd door een natte periode van 2,5 maand.

Maandelijks werden foto's gemaakt en werd handmatig de stand van het grondwater in de gemeten. Tevens werden bodem, oppervlaktewater en het porievocht (op 3 verschillende diepten) van de waterbodems bemonsterd en geanalyseerd. In elke periode werd op vaste intervallen voor en na droogval de gasemissie (CO₂ en CH₄) bepaald. Hiermee kon de afbraak van organische stof worden bepaald. Ook de ontwikkeling van vegetatie werd vastgelegd.

FIGUUR 4.11 INDRUK VAN HET DEELONDERZOEK MESOCOSMOS: HET VULLEN VAN DE PROEFVIJVERS MET BODEMMATERIAAL (A) EN (LEIDING) WATER (B+C). HET AFFPOMPEN EN HET GRADUEEL DROOG LATEN VALLEN VAN DE MESOCOSM (D, E) EN DE AFDAKJES (F)



Veldexperiment

Het veldexperiment bestond uit verschillende onderdelen, die door verschillende organisaties werden uitgevoerd. In het onderstaande wordt de werkwijze van deze onderdelen globaal beschreven. We onderscheiden hierbij de volgende onderdelen:

- Geohydrologie;
- Geotechniek;
- Water- en bodemchemie;
- Fytoplankton;
- Macrofyten;
- Macrofauna.

Geohydrologie

Het droogzetten van wateren kan effecten veroorzaken met betrekking tot de stabiliteit van oevers, kades en legakkers. Een belangrijk onderdeel binnen dit onderzoeksproject was het vaststellen van mogelijke schade. Hiervoor werd op de onderzoekslocaties geohydrologisch en geotechnisch onderzoek uitgevoerd.

Op de verschillende onderzoekslocaties werden grondwaterpeilbuizen geplaatst om de effecten van tijdelijke droogval op grondwater niveaus in de directe omgeving vast te stellen. Vooraf werden modelberekeningen uitgevoerd om deze effecten globaal in te schatten en de locaties van de peilbuizen te bepalen. Naast grondwaterpeilbuizen werden tevens oppervlaktewatermeetpunten ingesteld.

Geotechniek

Voor de start van de droogval werd eerst de bodemopbouw bepaald aan de hand van een aantal sonderingen en handboringen. Op basis van deze gegevens werd ingeschat dat de effecten in en rondom de onderzoekslocaties op zand- en kleibodem (Woudbloem en Lalleweer) zeer beperkt zouden blijven. Voor de wateren in de veengebieden werd ingeschat dat mogelijk wel negatieve effecten konden optreden als gevolg van de tijdelijke droogval. Op basis van deze gegevens werd een monitoringsprogramma voor de Rottige Meente en De Deelen opgezet (Wiertsema, 2012) (tabel 4.4 en 4.5).

TABEL 4.4

ONDERZOEKSPROGRAMMA ROTTIGE MEENTE EN DE DEELLEN

ONDERDEEL	DOEL
sonderingen tot 25,0 m – mv	verifiëren diepe bodemopbouw
handboringen tot 2,5 m –mv	verifiëren ondiepe bodemopbouw, rising head test, ongeroerde monsternamen
rising head test in boorgat	bepaling k -waarde deklaag (meting in-situ doorlatendheid in m/dag)
zakbakens	meten van de maaiveldzakking van de grond ten gevolge van de droogval
Peilbuizen	meten grondwaterstanden
waterspanningsmeters veenlaag mv -0,5 m	bepalen van de stijghoogte in de veenlaag waaruit het water voor een deel zal wegstromen ten gevolge van de droogval
waterspanningsmeter veenlaag mv -0,5	meten freatisch water (verdroging van de deklaag)

TABEL 4.5

ONDERZOEKSPROGRAMMA LABORATORIUM

ONDERDEEL	DOEL
bepaling volumegewichten	bepaling natuurlijk en verzadigd volumegewicht van de ongeroerde monsters als input voor de schadeverwachtingsberekeningen
Samendrukkingsproeven	uitvoering proef op ongeroerde monsters voor het bepalen van de samendrukkingsparameters als input voor de zettingsberekeningen
direct simple shear proeven	uitvoering proef op ongeroerde monsters voor het bepalen van sterkteparameters als input voor de schadeverwachtingsberekeningen

Inmeten waterbodemoogte

Het verloop van de waterbodem en ook de slibdiktes werden bepaald om een strategie voor het afpompen en afvissen van de plassen te kunnen bepalen. De gegevens konden tevens worden gebruikt om uitspraken te kunnen doen over het effect van droogval op consolidatie en afbraak. De hoogte van de waterbodem van de droogvallocaties tijdens de nul- en eindsituatieonderzoeken werd bepaald door middel van het handmatig peilen van de bodem ten opzichte van de waterspiegel. De peilingen werden uitgevoerd met behulp van een zogenaamde slibbaak in een rasterpatroon. In sommige rasterpunten werden naast peilingen ook handmatige grondboringen geplaatst in de waterbodem om de diepere bodemlagen vast te stellen.

Water- en bodemonderzoek

Vanaf augustus 2010 tot en met juli 2012 werden de concentraties nutriënten en macro-ionen in het oppervlaktewater, poriewater en in de bodem van de onderzochte plassen gemonitord. De nadruk van de monitoring lag op het groeiseizoen, omdat toen de grootste veranderingen in waterkwaliteit verwacht werden.

Bij elk veldbezoek werd op drie verschillende plaatsen in de plas of compartiment pH, EGV, zuurstofconcentratie, temperatuur en het doorzicht gemeten. Op elke locatie werd een 1 l polyethyleen fles gevuld en meegenomen naar het laboratorium voor analyse van de macro-ionen. In de Rottige Meente was naast het compartiment waarin droogval plaatsvond, een kleiner referentiecompartiment aangelegd dat diende om het effect van compartimentering te onderzoeken. Ook het petgat buiten de compartimenten werd bemonsterd.

FIGUUR 4.12

BEMONSTERING VAN PORIEWATER IN HET REFERENTIECOMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE



In De Deelen werd tevens een aantal keer een referentiemonster genomen uit het aangrenzende petgat, dat samen met het onderzochte petgat was afgesloten van de rest van het gebied. In Woudbloem werd een referentiemonster genomen van het deel van de plas achter de geplaatste gronddam. In Lalleweer was er geen mogelijkheid voor het nemen van referentiemonsters. Tijdens de droogvalperiode werd oppervlaktewater bemonsterd uit het nog niet drooggevalen deel van de plas of van het water dat door de pompen werd afgepompt. Het poriewater werd bemonsterd met behulp van poreuze keramische cups (rhizonsamplers), waaruit met injectiespuiten het vocht anoxisch verzameld werd (figuur 4.12.). Deze rhizonsamplers werden tijdens de eerste bemonstering permanent ingezet, zodat telkens precies van dezelfde locatie poriewater kon worden bemonsterd. Oppervlaktewater werd met behulp van 1 l polyethyleen potten verzameld.

In oktober 2010 werden op alle vier veldlocaties kolommen gestoken om concentratieprofielen te bepalen. In oktober 2011 werden, een week na het uitzetten van de pompen in het veld, wederom kolommen gestoken voor het bepalen van concentratieprofielen na afloop van de droogvalperiode (figuur 4.13).

FIGUUR 4.13

BEMONSTERING VAN PORIEWATER- EN VASTE STOF CONCENTRATIEPROFIELEN***Fytoplankton***

In de Deelen werd op twee locaties fytoplankton bemonsterd (petgat droogval en petgat referentie), in de Rottige Meente werden drie locaties bemonsterd (compartiment droogval, compartiment referentie en buiten het compartiment), in Woudbloem en Lalleweer werd op 1 locatie bemonsterd. De plassen werden bemonsterd in de maanden april, mei, juni, juli en september in 2011 en 2012. In de maanden juli, augustus en september 2011 vond de droogval plaats. In augustus en september 2011 werden dan ook alleen de referenties bemonsterd. Na de uitvoering van de maatregelen ging in Lalleweer en Woudbloem de bemonstering van fytoplankton pas in mei 2011 van start.

Vegetatie

Op de onderzoekslocaties werden voor, tijdens en na de droogval vegetatieopnames gemaakt (Tansley, te voet in raaien, of met behulp van een satakroon). Ook werd gericht vegetatieonderzoek uitgevoerd naar effecten van droogval door Permanente Quadraten te volgen in de tijd (Braun-Blanquet). Daarnaast werd het effect van vraat onderzocht in exclusures.

Macrofauna

De macrofauna werd op twee achtereenvolgende jaren in het voorjaar bemonsterd, de eerste keer in 2011 voorafgaande aan de droogvalperiode, en de tweede maal na de droogval in het voorjaar 2012. In beide gevallen werd gekozen voor de periode april/mei omdat dan de diversiteit het hoogst is. De meeste insecten bevinden zich dan nog in een laat larvenstadium voordat zij zich transformeren en als volwassen dieren het water verlaten.

De bemonstering vond plaats met een standaard macrofauna-schepnet dat schoksgewijs en sprongsgewijs door de vegetatie en over de waterbodem werd voortbewogen. De schokkige beweging dient hierbij om te voorkomen dat snelle zwemmers het net niet kunnen ontwijken. De sprongen dienen te voorkomen dat veel slib wordt opgeschept. Afhankelijk van de breedte van het net, 25 of 30 cm, werd 5 of 6 m vegetatie en bodem bemonsterd. Dat was niet noodzakelijkerwijs een aaneengesloten strook, want indien er veel differentiatie in een habitat was, werd zo veel mogelijk van ieder microhabitat een deel bemonsterd. Het monster werd in een afgesloten bak naar het laboratorium vervoerd en dezelfde dag nog uitgezocht.

Op het laboratorium werd het monster over zeven met maaswijdtes van 4, 2, 1 en 0,5 mm gespoeld waarna iedere zeeffractie in een transparante bak boven doorvallend licht werd uitgezocht. Op grond van herkenning met het blote oog werd een eerste grove determinatiestap gemaakt door de dieren te verdelen over maximaal tien plastic 20 ml scintillatieflesjes die bestemd waren voor de categorieën platwormen, watermijten, wormen, mollusken, haften, libellen, wantsen, kevers, kokerjuffers en muggen. Behoudens de eerste twee groepen werden de dieren direct geconserveerd in 70 % alcohol. Daar platwormen niet goed te conserveren zijn, werden deze levend onder de microscoop gedetermineerd. Watermijten werden in Koenike oplossing geconserveerd.

De geconserveerde dieren werden met behulp van een zoom-stereomicroscoop zoveel mogelijk tot op soort gedetermineerd. Bij sommige groepen was het noodzakelijk een preparaat te maken om dat vervolgens onder een sterk vergrotende microscoop bij 40, 100 of 400 maal vergroting te bekijken.

5

RESULTATEN EN DISCUSSIE

5.1 EFFECTEN OP GRONDWATER EN BODEMSTABILITEIT

Tijdelijke droogval leidde in principe tot een tijdelijke verlaging van de grondwaterstanden in de directe omgeving van twee van de vier onderzoekslocaties. De omvang en reikwijdte van de grondwaterstands daling hingen af van de geomorfologie en geohydrologie. Op basis van gemeten effecten konden de vier onderzoekslocaties globaal worden ingedeeld in drie categorieën:

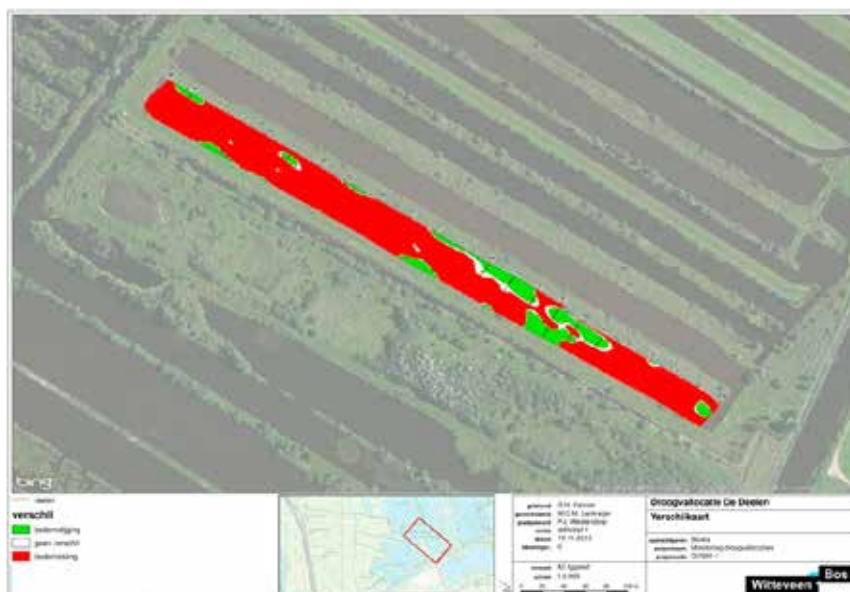
1. Wateren gelegen in een deklaag met voldoende weerstand onder de plas (Rottige Meente en Lalleweer);
2. Wateren gelegen in een deklaag met weinig weerstand onder plas (De Deelen);
3. Wateren gelegen in een zandpakket (Woudbloem).

Voor twee van de vier de onderzoekslocaties traden omgevingseffecten op. De grondwaterstand daalde licht in de omgeving van de plas. De dalingen waren echter zo beperkt dat deze geen schade veroorzaakten. Dit wil natuurlijk niet zeggen dat dit bij andere locaties ook zo zal zijn.

Stabiliteit bodem en effecten omgeving

Tijdelijke droogval leidde in dit project op alle onderzoekslocaties tot verandering van de waterbodemoogte (figuur 5.1. en 5.2.). In de Rottige Meente was sprake van een gemiddelde bodemdaling van ongeveer 7 cm en in De Deelen een gemiddelde daling van 10 cm. Het gaat hierbij niet alleen om het proces van inklinking, maar ook nivellering van de waterbodem. De zettingen die optraden zijn naar verwachting eenmalig, dat wil zeggen indien dezelfde plas nogmaals wordt drooggezet daalt de bodem niet verder.

FIGUUR 5.1 VERSCHILKAART BODEMHOOGTE DE DEELLEN (ROOD = BODEMDALING, GROEN IS BODEMSTIJGING, WIT = GEEN VERSCHIL)



FIGUUR 5.2 VERSCHILKAART BODEMHOOGTE ROTTIGE MEENTE (ROOD = BODEMDALING, GROEN IS BODEMSTIJGING, WIT = GEEN VERSCHIL)



In De Deelen en de Rottige Meente traden zoals verwacht enige maaiveld dalingen in de oeverzone (legakkers) op. De gemeten maaiveld daling beperkte zich tot hooguit enkele centimeters en was vele malen lager dan vooraf berekend. De steile oevers van de veenplassen verzakte gedurende de droogvalperiode lokaal. Vanuit geotechniek of oeverstabiliteit kon dit beschouwd worden als een negatief effect. Vanuit natuuroogpunt kan dit echter ook als positief beschouwd worden omdat feitelijk een verflauwing van het talud plaatsvindt waardoor de overgang van land naar water meer geleidelijk wordt en zodoende meer kansen voor karakteristieke flora en fauna biedt.

In De Deelen bleek de veenbodem van de legakkers over een hogere gemeten sterkte dan de veenbodem uit de Rottige Meente te beschikken. Toch trad hier enige schade op in de vorm van enkele ondiepe scheuren in de legakker. De oorzaken hiervoor werden gezocht in de hogere doorlatendheid van grond in combinatie met een groter waterstandsverschil tussen het drooggevalven petgat en de omringende wateren/petgaten. Ook de eigenschappen van de bodem speelden hierbij een belangrijke rol. Zo bleek de verweringsgraad van het veen in De Deelen kleiner dan in de Rottige Meente. Des te groter de verweringsgraad des te beter de veengrond in staat is om water vast te houden (sponswerking) en des te kleiner de kans op instabiliteit en scheurvorming. Ook de aanwezigheid van de stalen damwand was waarschijnlijk van invloed op de stabiliteit van de legakkers in de Rottige Meente.

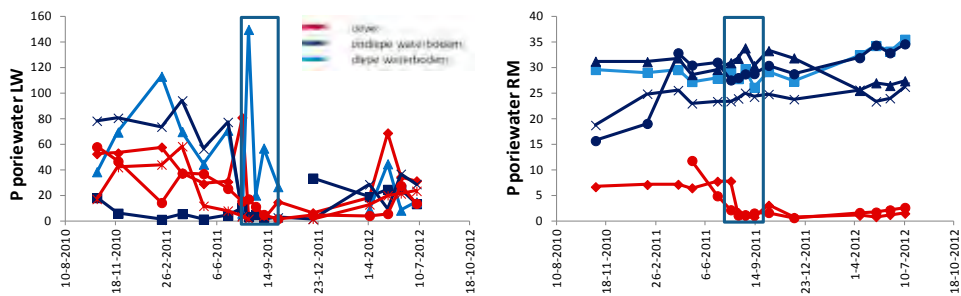
5.2 EFFECTEN OP BODEM - EN WATERKWALITEIT

Oxidatie van ijzerverbindingen en binding van fosfaat

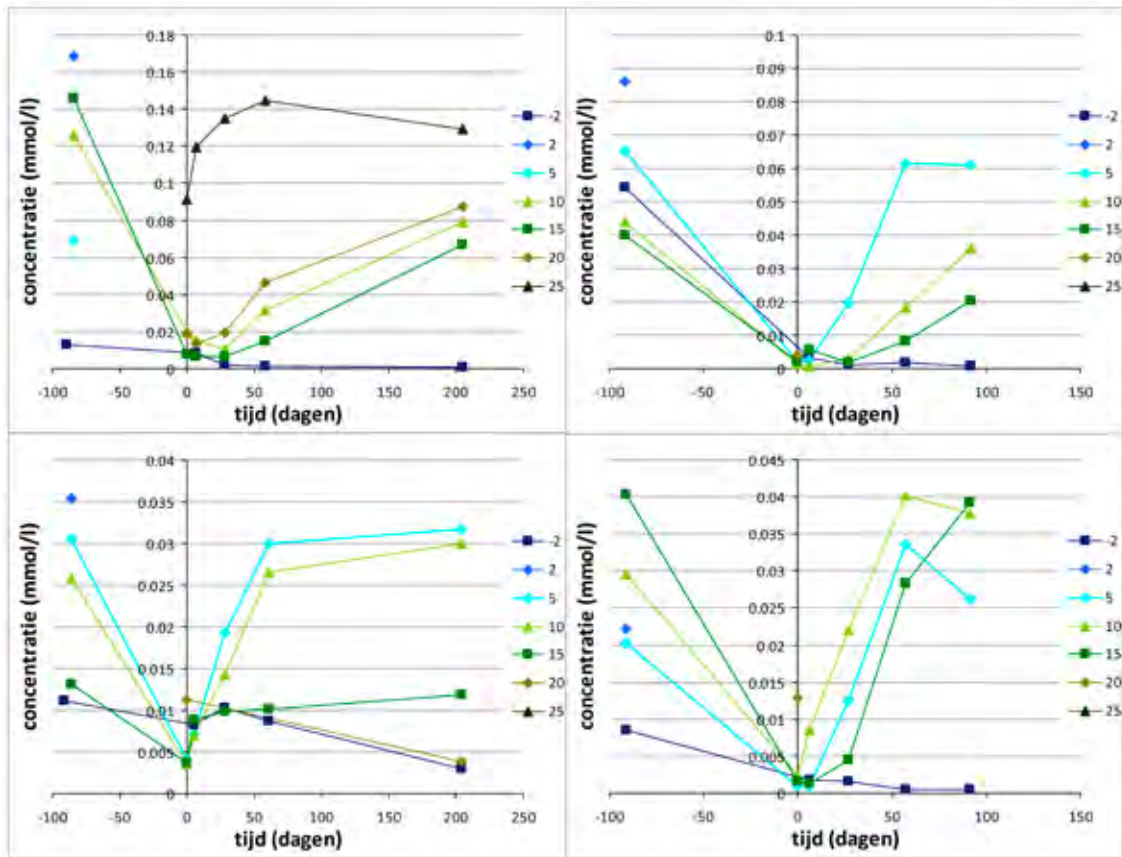
Een tijdelijke droogvalperiode leidt tot het vastleggen van fosfaat aan ijzer in de bodem (figuur 5.3.). Dit gebeurde echter alleen als de bodem voldoende droog werd. Vastlegging van fosfaat vond in mindere mate of niet plaats onder vochtige (plas-dras) omstandigheden en als er onvoldoende ijzer aanwezig is. Vastlegging van fosfaat zorgde ervoor dat de fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater na vernatting lager was dan daarvoor. De binding van fosfaat aan ijzer in de waterbodem is echter reversibel. Hierdoor kan na hervatting op

de langere termijn ook weer fosfaat vrijkomen. Dit gebeurt vooral als er veel slib of organisch materiaal aanwezig is en als de bodem relatief weinig ijzer ten opzichte van zwavel en fosfor bevat. Uit het kolomexperiment bleek dat de concentraties in het poriewater na vernatten direct weer toenamen, maar dat de lagere fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater minimaal 3 maanden gehandhaafd bleven. De gunstiger ijzer:fosfaat ratio in het poriewater na afloop van de droogval zorgde voor een verminderde na levering van fosfaat naar het oppervlaktewater (figuur 5.4. en 5.5.).

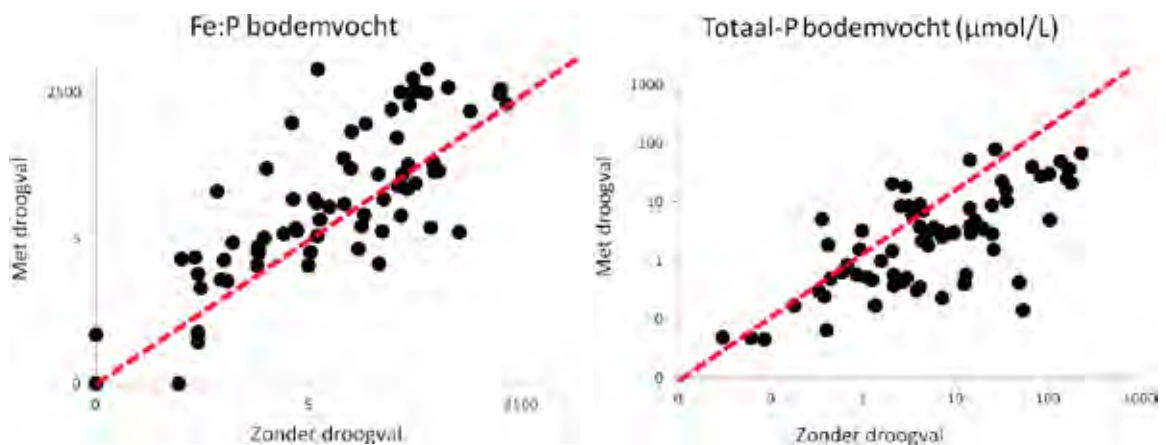
FIGUUR 5.3 FOSFORCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER ($\mu\text{MOL/L}$) IN HET VELD IN KLEIPLAS LALLEWEER (LINKS) EN IN HET DROOGVAL-COMPARTIMENT IN PETGAT IN DE ROTTIGE MEENTE (RECHTS). TIJDENS DE DROOGVALPERIODE (BLAUWE KADER) WORDT FOSFOR UIT HET PORIEWATER VASTGELEGD AAN DE BODEM OP DE PLAATSEN DIE GOED DROOGVALLEN: IN DE ROTTIGE MEENTE ALLEEN IN DE OEVER (RODE LIJNEN), IN LALLEWEER OOK IN DE WATERBODEM ONDIEP IN DE PLAS (DONKER BLAUWE LIJNEN)



FIGUUR 5.4 VERLOOP VAN DE FOSFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEWATER GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA STAAT DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER (LINKSBOVEN, LALLEWEER; LINKSONDER WOUDBLOEM, RECHTSBOVEN DE DEELLEN, RECHTSONDER ROTTIGE MEENTE)



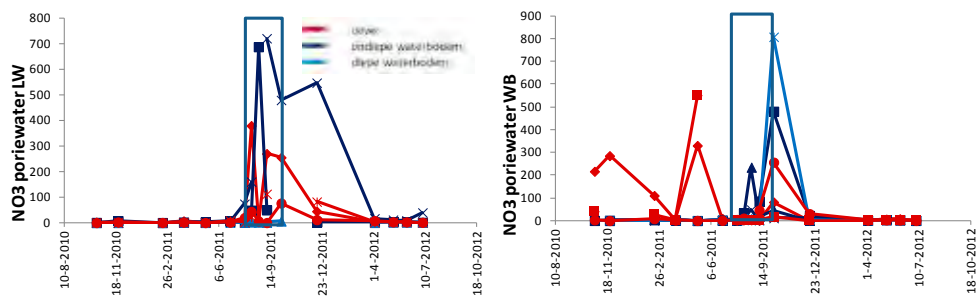
FIGUUR 5.5 DE MICROCOSMOSSTUDIE LAAT ZIEN DAT DROOGVAL VAN ONDERWATERBODEMS MEESTAL LEIDT TOT EEN VERLAGING VAN DE FOSFOR CONCENTRATIE (RECHTS) EN EEN VERHOOGING VAN DE IJZER:FOSFOR VERHOUDING IN HET BODEMVOCHT (LINKS)



Effect op stikstof

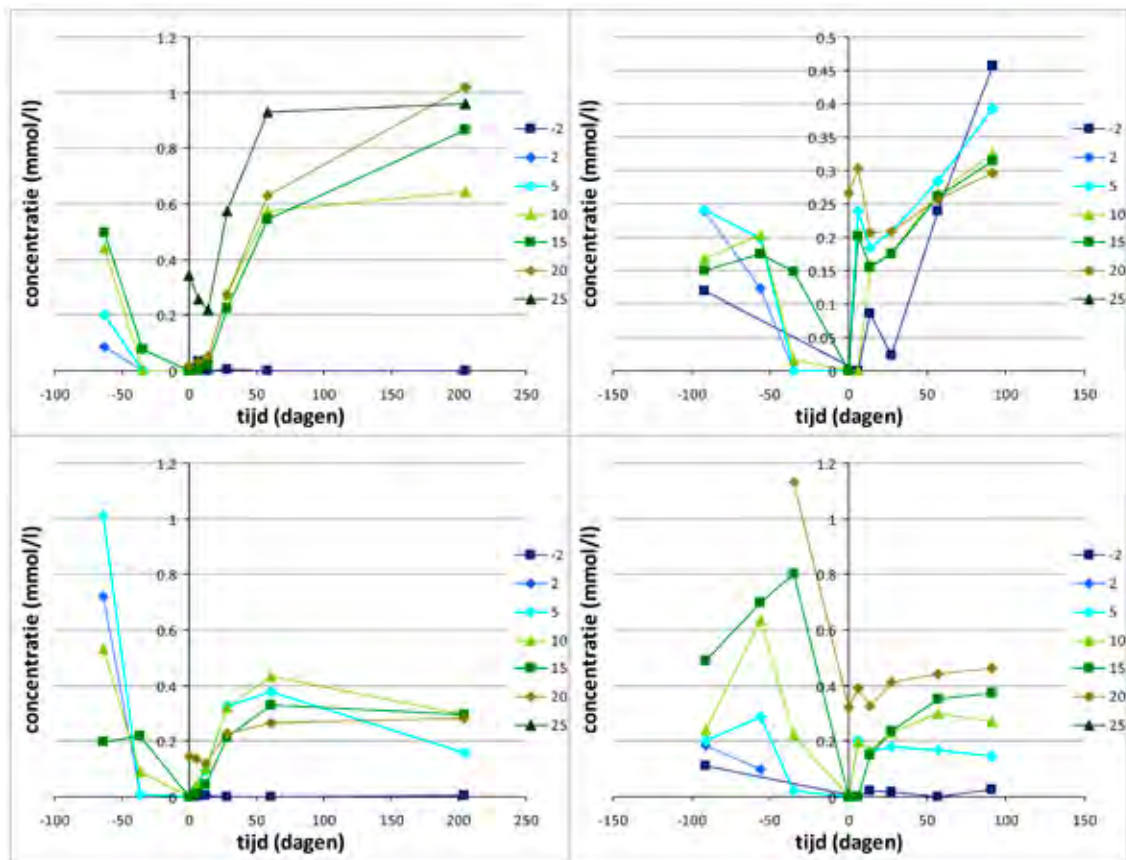
Het belangrijkste effect van droogval op de stikstofhuishouding is de oxidatie van ammonium tot nitraat (figuur 5.6). Dit gevormde nitraat kan worden gedenitrificeerd, in algen of waterplanten worden opgenomen of worden afgevoerd via het verpompen van oppervlaktewater. In het onderzoek daalde de ammoniumconcentratie tijdens de droogval (figuur 5.7). Na afloop van de droogvalperiode namen de concentraties weer toe tot dezelfde of hogere waarden. Dit komt doordat er tijdens de droogval ook organische stof werd afgebroken, waarbij ammonium werd gevormd. Hoewel er wel sprake kan zijn van afvoer van stikstof levert dit, door de grote hoeveelheid stikstof die aanwezig is in de vorm van organisch materiaal, geen meetbare afname in de stikstofgehalten op.

FIGUUR 5.6 NITRAATCONCENTRATIE IN HET PORIEWATER ($\mu\text{MOL/L}$) IN HET VELD IN KLEIPLAS LALLEWEER (LINKS) EN IN DE ZANDPLAS WOUDBLOEM (RECHTS). TIJDENS DE DROOGVALPERIODE (BLAUWE KADER) ONTSTAAT NITRAAT DOOR OXIDATIE VAN AMMONIUM. IN WOUDBLOEM WAREN DE OEVERS (RODE LIJNEN) AL DROOG VOORAFGAAND AAN DE DROOGVALPERIODE, WAARDOOR DEZE NITRIFICATIE ALLEEN TE ZIEN IN DE WATERBODEM (BLAUWE LIJNEN)



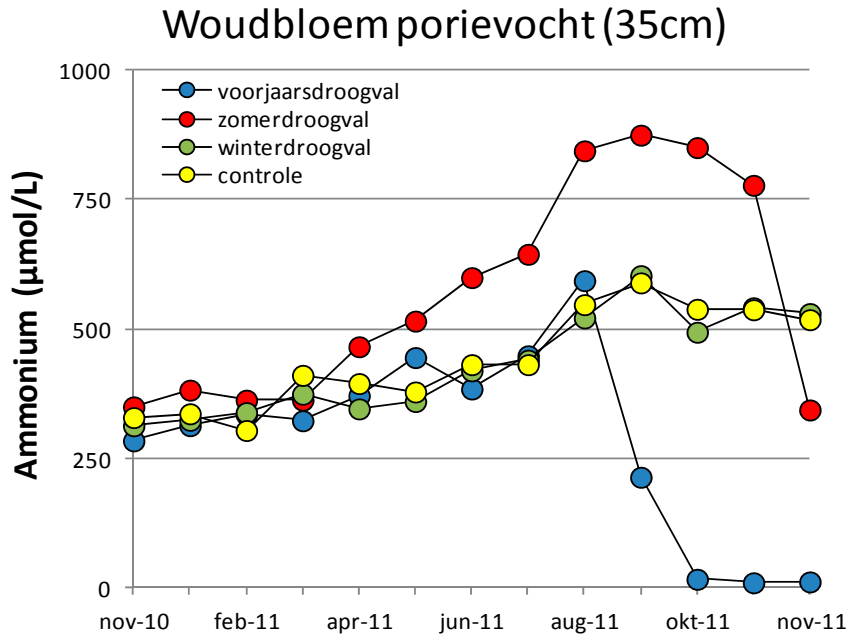
Uit de laboratoriumexperimenten blijkt dat de periode van droogval of de intensiteit van de droogval lang of sterk genoeg waren om wel organisch stof af te breken en ammonium te vormen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de locaties Lalleweer en De Deelen. De microcosmos proef toont aan dat droogval van zandige bodems (0-5 % organisch stof) altijd leidt tot een hogere concentratie nitraat en bijna altijd tot een hogere concentratie ammonium in het porievocht. In de organisch rijke bodems kunnen daarentegen, afhankelijk van het bodemtype, ook stikstofverliezen optreden.

FIGUUR 5.7 VERLOOP VAN DE AMMONIUMCONCENTRATIES IN HET PORIEWATER GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA STAAT DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER (LINKSBOVEN LALLEWEER; LINKSONDER WOUDBLOEM; RECHTSBOVEN DE DEELLEN; RECHTSONDER ROTTIGE MEENTE)



De mesocosmos proef toont aan dat droogval, afhankelijk van het bodemtype, ook indirect een effect kan hebben op de stikstofbeschikbaarheid in de bodem (figuur 5.8.). De ontwikkeling van helofyten (met name *Typha latifolia*) die zijn gekiemd als gevolg van droogval in het voorjaar, leiden in Rottige Meente en Woudbloem tot aanzienlijke aeratie van de bodem resulterend in sterk verlaagde ammoniumconcentraties in de wortelzone (20-35 cm).

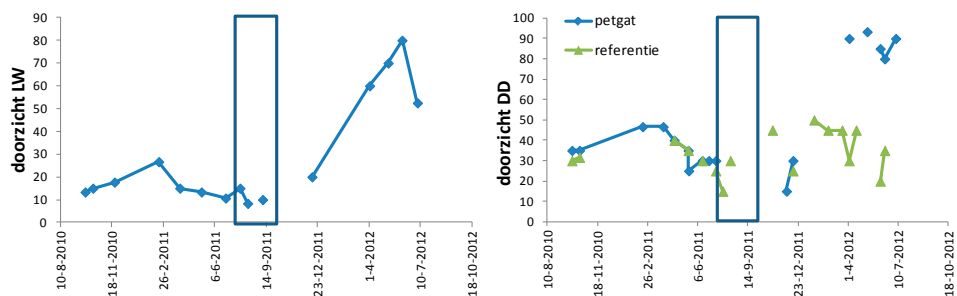
FIGUUR 5.8 DE MESOCOSMOSPROEF TOONDE DAT ONTWIKKELING VAN TIJDENS VORJAARSdroogVAL (BLAUWE SYMBOLEN) GEKIEMDE HELOFYTEN (TYPHA SP.) IN DE DAAROPVOLGENDE ZOMER LEIDT TOT OXIDATIE VAN DE BODEM MET ALS RESULTAAT EEN AANZIENLIJKE VERLAGING VAN DE AMMONIUMCONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT TOT OP EEN MINIMALE DIEPTE VAN 35 CM



Consolidatie van de waterbodem

De tijdelijke droogvalperiode leidde tot een vermindering van zwevende stof in het oppervlaktewater. Het effect is met name sterk in de kleiplas Lalleweer. De vermindering van zwevend stof kan het effect zijn van consolidatie, maar kan ook (mede) veroorzaakt zijn door een (tijdelijk) verminderde windwerking, door meer plantengroei en een verminderde opwerveling door vis. Samen met een vermindering van het fytoplankton leidde een vermindering van het zwevende stof tot een verbeterd doorzicht (figuur 5.9).

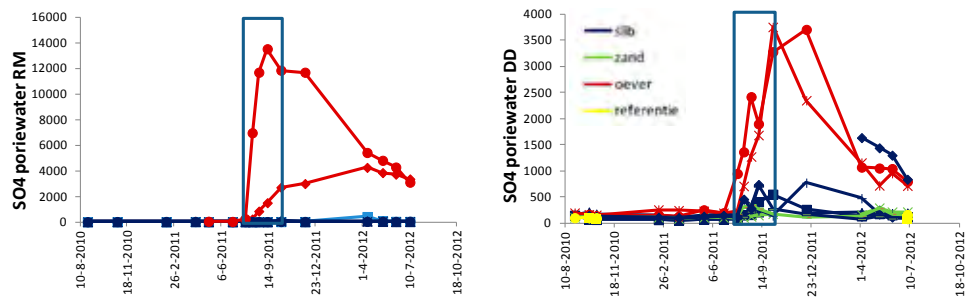
FIGUUR 5.9 HET DOORZICHT (CM) IN KLEIPLAS LALLEWEER (LINKS) EN IN HET ONDERZOCHE PETGAT EN REFERENTIEPETGAT IN DE DEELLEN (RECHTS). NA DE DROOGVALPERIODE (BLAUWE KADER) NEEMT HET DOORZICHT IN BEIDE DROOGGEVALLEN WATEREN (BLAUWE PUNTEN EN LIJNEN) STERK TOE, TERWIJL HET DOORZICHT IN HET REFERENTIEPETGAT NIET VERBETERT (GROENE LIJNEN EN PUNTEN)



Zwavelmobilisatie

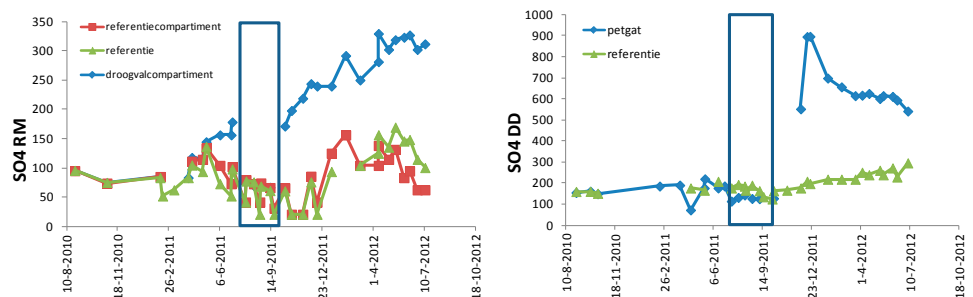
Als er in de bodem een groot deel van het zwavel aanwezig is als gebonden of opgeloste sulfideverbindingen, kunnen deze door oxidatie als sulfaat via het poriewater naar het oppervlaktewater worden getransporteerd (figuur 5.10). Hierdoor komt veelal meer ijzer beschikbaar voor fosfaatbinding. Door het oppervlaktewater weg te blijven pompen, kan sulfaat uit het systeem worden verwijderd. Uit de profielmetingen die in het veld werden verricht blijkt duidelijk dat de sulfaatconcentratie in het porievocht indicatief is voor de mate van droogval en/of de indringing van zuurstof in de bodem. Zoals eerder genoemd heeft in het veld niet over de gehele waterbodem diepe ontwatering plaatsgevonden, maar was er sprake van een diffuus beeld van zeer droge tot lokaal nog zeer natte omstandigheden.

FIGUUR 5.10 SULFAATCONCENTRATIE ($\mu\text{MOL/L}$) IN HET PORIEWATER IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT IN HET PETGAT IN DE ROTTIGE MEENTE (LINKS) EN IN HET PETGAT IN DE DEELLEN (RECHT). IN DE OEVERS (RODE LIJNEN), DIE STERK DROOGVIELEN, WERDEN VEEL SULFIDEN GEOXIDEERD TOT SULFAAT, TERWIJL DAT IN DE WATERBODEMS (BLAUWE LIJNEN), DIE VEEL MINDER DROOG WERDEN, VEEL MINDER GEBEURDE

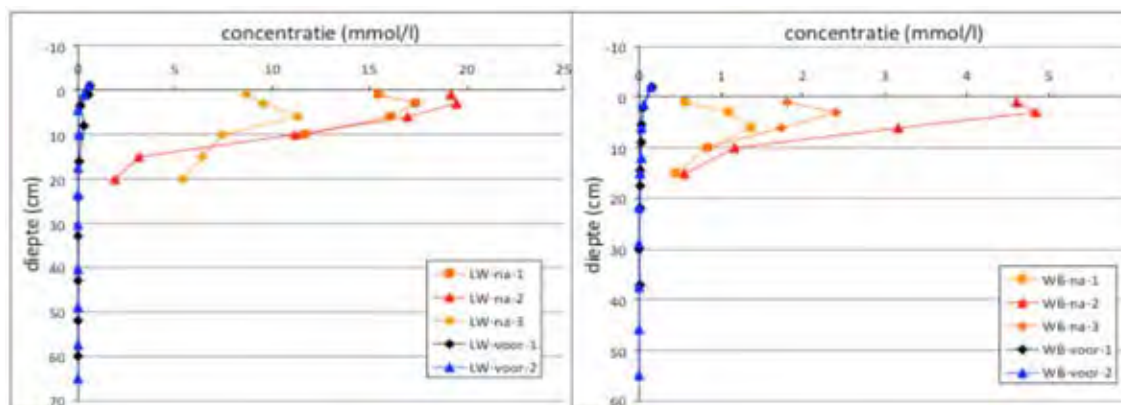


Buiten oxidatie van de waterbodem treedt er door de ontwatering ook oxidatie van de omringende oevers op (figuur 5.10). Vanuit de oevers kan zodoende sulfaat uitspoelen richting het oppervlaktewater. Dit was in de petgaten De Deellen en Rottige Meente met zeer steile oevers het geval (figuur 5.11). In het oppervlaktewater werden zodoende duidelijk hogere sulfaatgehalten gemeten. Indien er na vernatting geen afvoer van oppervlaktewater plaatsvindt, kan dit sulfaat via reductie weer in de bodem worden vastgelegd.

FIGUUR 5.11 IN DE PETGATEN IN DE ROTTIGE MEENTE (LINKS) EN DE DEELLEN (RECHTS) ZORGE DE OXIDATIE VAN SULFIDEN IN DE DROOG-GEVALLEN OEVERS VOOR EEN GROTE UITSPOELING VAN SULFAAT NAAR HET OPPERVLAKEWATER NA AFLOOP VAN DE DROOGVALPERIODE. DE SULFAATCONCENTRATIE IN HET OPPERVLAKEWATER (HIER WEERGEGEVEN IN $\mu\text{MOL/L}$) VERDUBBELDE HIERDOOR ONGEVEER (BLAUWE LIJNEN) TEN OPZICHTE VAN DE CONCENTRATIE IN HET OPPERVLAKEWATER IN DE REFERENTIESITUATIE (GROENE LIJNEN)



FIGUUR 5.12 SULFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEWATER VOOR (BLAUWE LIJNEN) EN NA DROOGVAL (ORANJE LIJNEN). LINKS LALLEWEER, RECHTS WOUDBLOEM

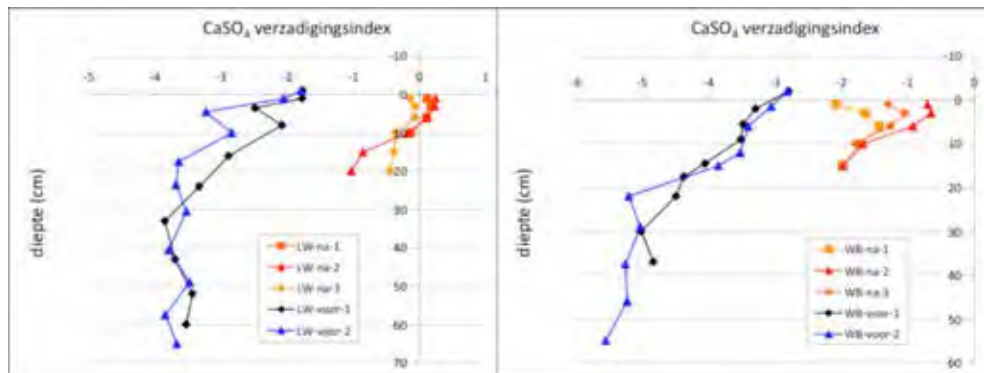


Of droogval tot een afname van sulfaat in het systeem leidt hangt dus onder meer af van de mate waarin de bodem ontwaterd kan worden. Zo indiceerden de resultaten van de mesocosmosproef dat sterke uitdroging in de zomer kan leiden tot een minimale afname van het totaal zwavelgehalte in de bodem van 46% (Lalleweer), 45% (Woudbloem), 25% (Rottige Meente), 10% (De Deelen) en 0% (Ilperveld).

De microcosmosproef liet zien dat droogval potentieel zelfs kan leiden tot 100% afname van het totaal zwavelgehalte in organisch arme bodems. Met andere woorden zou het effect van droogval in het veld dus sterker kunnen zijn als een sterkere mate van uitdroging van de waterbodem gerealiseerd kan worden. De mate waarin zwavel uit het systeem verwijderd kan worden zal dan grotendeels afhankelijk zijn van de geomorfologische situatie en de mogelijkheid om sulfaat tijdens of net na de droogvalperiode af te pompen.

Uit de kolomexperimenten bleek dat een doorspoelscenario meest effectief is vanaf circa 2 maanden na hervernatten, omdat dan de maximale mobilisatie van sulfaat vanuit het porievocht naar het oppervlaktewater heeft plaatsgevonden. Daarnaast is het van belang om te voorkomen dat de sulfaat- en calciumconcentraties zo ver oplopen dat gipsvorming (CaSO_4) optreedt (figuur 5.13). Gipsvorming beperkt de hoeveelheid sulfaat die wordt afgevoerd, en na vernatten zal het gevormde gips weer in oplossing gaan, reduceren tot sulfide en neerslaan met ijzer. In Lalleweer was het poriewater oververzadigd voor gips, in Woudbloem was dat nog niet het geval. De kolomexperimenten wezen uit dat op alle locaties oververzadiging optreedt op het moment dat de waterbodem sterk oxideert.

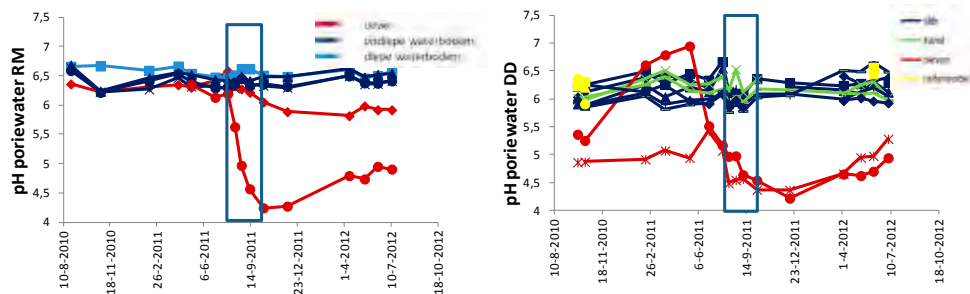
FIGUUR 5.13 VERZADIGINGSINDEX VOOR CaSO_4 VOOR EN NA DROOGVAL. BIJ WAARDEN GROTER DAN 0 TREEDT OVERVERZADIGING OP. LINKS LALLEWEER, RECHTS WOUDBLOEM.



Verzuring

Uit de veld- en laboratoriumexperimenten bleek dat gedurende de droogvalperiode, zoals verwacht, verzuring optrad als gevolg van zwavel-, ijzer- en ammoniumoxidatie. De verzuring was in het veld met name meetbaar in de oevers van de veengebieden (figuur 5.14). Hier trad langdurige verzuring op waarbij de pH daalde naar $\text{pH} < 5$. In de waterbodem trad ook verzuring op, maar veel minder sterk en voor slechts een korte periode. De reden hiervoor is dat er in de waterbodem veel buffering aanwezig is. De pH van de waterbodem steeg zodra de plas weer gevuld werd. In de veenoevers duurde het veel langer voordat de pH weer hersteld was. Hieruit bleek dat waterbodem en oever, die onder andere verschillen in mate van droogval, grondwaterinvloed en bodemsamenstelling, anders reageren op droogval.

FIGUUR 5.14 pH VAN HET PORIEWATER IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT IN HET PETGAT IN DE ROTTIGE MEENTE (LINKS) EN HET PETGAT IN DE DEELLEN (RECHTS). DE PH IN DE OEVERS (RODE LIJNEN) DAALT ALS GEVOLG VAN DE DROOGVAL (BLAUWE KADER), MAAR HERSTELD ZICH OP SOMMIGE PLEKKEN IN DE OEVERS MAAR TRAAAG



5.3 EFFECTEN OP FYTOPLANKTON

De tijdelijke droogval heeft effecten op de totale hoeveelheid fytoplankton en de soortensamenstelling (figuur 5.15). Hoewel verschillende soorten overlevingsstrategieën beschikken sterft een groot deel van de fytoplanktongemeenschap tijdens de droogvalperiode af. Het aantal taxa nam door de droogval dan ook af ten opzichte van de situatie voor droogval en de referentieplassen. De droogval beïnvloedt ook op indirecte wijze de fytoplanktongemeenschap. Zo leidt droogval tot het afsterven van zoöplankton, waardoor de graasdruk op fytoplankton wordt verlaagd. De tijdelijk kleinere waterdiepte en de consolidatie van de waterbodem leidde beide tot een verbeterd lichtklimaat. Naast de hoeveelheid licht zijn ook nutriënten sterk sturend in de ontwikkeling van fytoplankton. De droogval

beïnvloedt de nutriëntenhuishouding waar vervolgens de fytoplanktongemeenschap ook op reageert. Dit blijkt duidelijk uit verschuivingen in de functionele groepen.

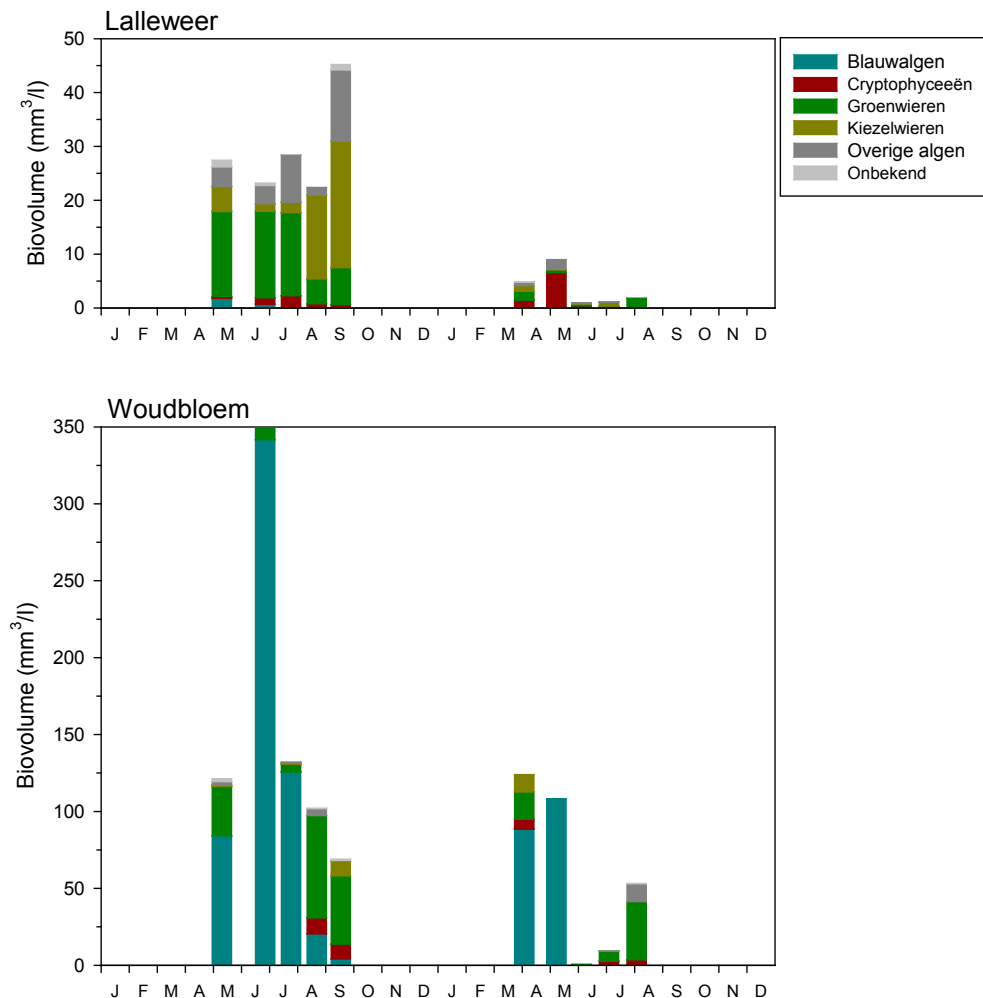
Voor de droogval waren op de meeste locaties groenwieren het sterkst vertegenwoordigd binnen de fytoplanktongemeenschap. Na de droogval bleken cryptophyceën het sterkst vertegenwoordigd binnen de fytoplanktongemeenschap. De qua biovolume meest op de voorgrond tredende functionele groepen in de onderzochte watersystemen hebben een gemeenschappelijke tolerantie voor troebel water en een daarmee samenhangende bestandheid tegen lichttekort. Daaropvolgend zijn de groep van stikstoffixeerders van belang en groepen die gevoelig zijn voor begrazing, zoals *Cryptomonas*. Na de droogvalperiode waren de belangrijkste veranderingen van de functionele groepen terug te herleiden op lichtklimaat, graasdruk en ook nutriënten. Zowel het afvangen van vis als de tijdelijke droogval waren voordelig voor soorten die gevoelig zijn voor begrazing.

Het bleek dat fytoplankton zich na een droogvalperiode snel weer kon ontwikkelen. Hieruit blijkt een groot regeneratie- en/of kolonisatievermogen. Ook bleek dat er binnen een groeiseizoen herstel van de oorspronkelijke gemeenschap kan optreden. Dit is uiteraard afhankelijk van het effect van de droogval op andere aspecten van de waterkwaliteit. Zijn de veranderingen klein, dan zal herstel van de oorspronkelijke gemeenschap sneller optreden dan wanneer de veranderingen groot zijn.

Effect op blauwalgen

Droogval had een negatief effect op blauwalgen, of ander gezegd een positief effect ten aanzien van mogelijke blauwalgenoverlast (figuur 5.15). Het biovolume van potentieel toxische blauwalgen was lager op alle locaties waar droogval plaatsvond. In De Deelen overschreed het biovolume van potentieel toxische blauwalgen in 2011 tweemaal de maximaal toelaatbare waarde voor zwemwater. Dit was en is geen zwemwater, maar mocht dit wel het geval zijn geweest dan had hier voor de droogval een negatief zwemadvies moeten worden afgekondigd in verband met een verhoogd risico voor de volksgezondheid. In 2012 trad alleen in het referentiepetgat nog een overschrijding op, maar in het drooggevallen petgat bleef het biovolume van potentieel toxische blauwalgen beneden de maximaal toelaatbare waarde.

FIGUUR 5.15 ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER ALGEGROEP IN LALLEWEER EN WOUDBLOEM, IN DE PERIODE MEI 2011 TOT EN MET AUGUSTUS 2012



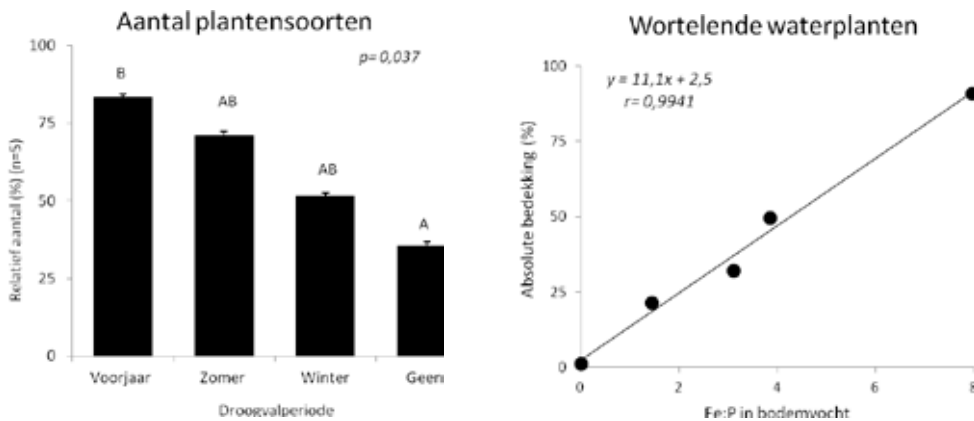
Verder beek dat droogval ook leidde tot soortverschuivingen binnen de groep van de blauwalgen. Deze verschuivingen waren waarschijnlijk het gevolg van de verbeterde waterkwaliteit. Met name het verbeterde lichtklimaat en beperking van nutriënten leidde tot deze verschuivingen naar andere soorten die zich onder deze condities beter ontwikkelen. Ook is waargenomen dat soorten die sporen kunnen vormen (b.v. Anabeana, Aphanizomenon) droogval beter doorstonden, dan soorten die in de waterkolom moesten zien te overleven (b.v. Planktothrix).

5.4 EFFECTEN OP MACROFYTEN

Belangrijke effecten van droogval werden verwacht op het voorkomen en de ontwikkeling van emerse en submerse vegetatie. In De Deelen en Woudbloem was er geen sprake van dit effect, in de Rottige Meente en de plas bij Lalleweer wel. In het mesocosmos experiment bleek er echter ook in De Deelen en Woudbloem submerse macrofyten tot ontwikkeling te komen. In de proefvijvers was de waterdiepte relatief gering, waardoor al in het beginstadium licht op de bodem viel. Ondergedoken waterplanten reageren dus in eerste instantie als het doorzicht (sterk) verbeterd. De verbetering van doorzicht kan het gevolg zijn van het doorbreken van de

windwerking door de aanwezigheid van dammen (zoals in het referentiecompartiment in de Rottige Meente) of het verkleinen van de waterdiepte zoals in de mesocosmos.

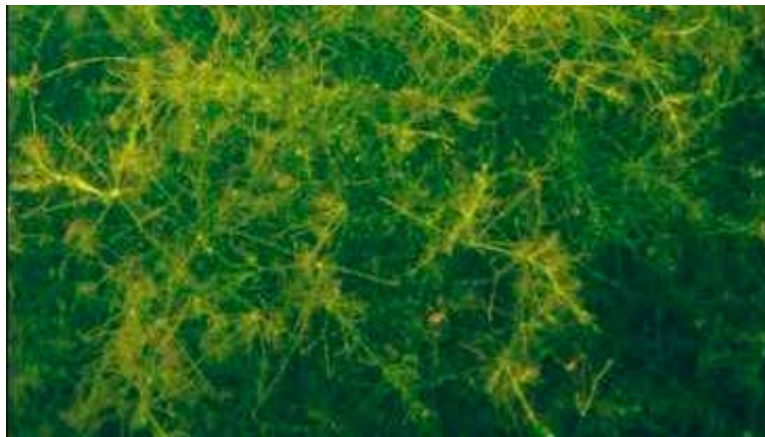
FIGUUR 5.16 LINKS: DE MESOCOSMOSPROEF (EEN SITUATIE MET BEPERKTE WINDWERKING) TOONDE DAT DROOGVAL, ONGEACHT HET BODEMTYPE, EEN SIGNIFICANT POSITIEF EFFECT HAD OP HET AANTAL PLANTENSOORTEN, HET AANTAL SOORTEN HELOFYTEN EN DE BEDEKKING VAN HELOFYTEN. RECHTS: DE MESOCOSMOSPROEF TOONDE DAT DE FE:P RATIO IN HET BODEMVOCHT STERK POSITIEF CORRELEERT MET DE ABSOLUTE BEDEKKING VAN WORTELENDE WATERPLANTEN



Het mesocosmos-experiment (waarin het effect van windwerking beperkt is) toonde dat droogval, ongeacht het bodemtype, een significant positief effect heeft op het totaal aantal soorten waterplanten, het totaal aantal soorten helofyten en de bedekking met helofyten. Tevens is uit dit experiment gebleken dat de bedekking aan wortelende waterplanten, in een situatie met beperkte windwerking, sterk positief correleert met de Fe:P ratio ($r=0,9941$) en de de Fe concentratie ($r= 0,9493$) in het bodemvocht (Figuur 5.16).

Na droogval kan de verbetering van doorzicht het gevolg zijn van een afname van fytoplankton en/of consolidatie van zwevend sediment. In de periode na droogval kunnen ook gevestigde helofyten (of zelfs terrestrische macrofyten) zorgen voor een groter doorzicht door het doorbreken van de windwerking. Naast een verbetering van het lichtklimaat kan ook de zaadkieming of klonale uitbreiding van macrofyten door droogval verbeterd of gestimuleerd worden.

FIGUUR 5.17 IN HET COMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE WERD NA DE DROOGVALPERIODE HET ZELDZAME KLEINHOOFDIG GLANSWIJER (NITELLA CAPILLARIS) AANGETROFFEN

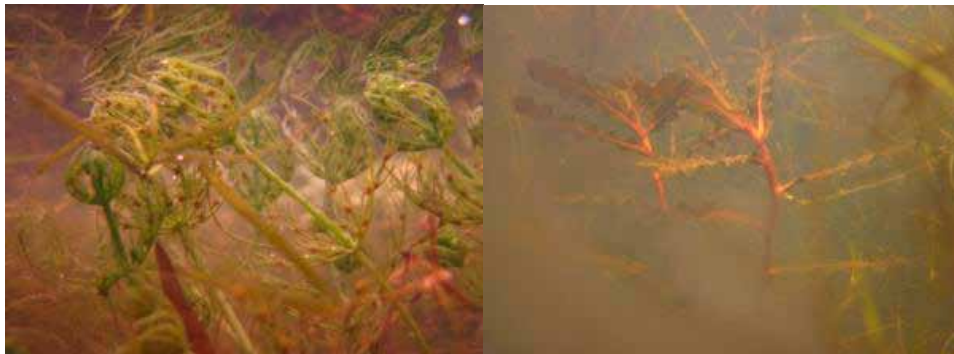


FIGUUR 5.18 VOORJAARSASPECT VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER (MEI 2012). DOOR DE DROOGVAL IS EEN BREDE ZONE MET GOUDZURING ONTSTAAN, DIE VOOR ONDIEPE, HELDERE LUWTEN IN DE PLAS ZORGDE. OMDAT GOUDZURING EEN TWEEJARIGE TERRESTISCHE SOORT IS, IS HET DE VRAAG OF HET POSITIEVE EFFECT VAN DE VESTIGING BLIJVEND IS



Tijdelijke droogval kan dus daadwerkelijk leiden tot een toename van het areaal en de diversiteit aan waterplanten. Dit gebeurt in eerste instantie als het doorzicht (sterk) verbeterd. De verbetering van doorzicht kan in eerste instantie het gevolg zijn van het doorbreken van de windwerking door de aanwezigheid van dammen of het verkleinen van de waterdiepte zoals in de mesocosmos. In een later stadium kan de verbetering van doorzicht het gevolg zijn van een afname van fytoplankton en/of consolidatie van zwevend sediment.

FIGUUR 5.19 IN DE ONDIEPE LUWTEN DIE ONTSTONDEN DOOR DE VESTIGING VAN GOUDZURING IN DE PLAS BIJ LALLEWEER GROEIDEN OP ENKELE PLEKKEN GEWOON KRANSBLAD (LINKS) EN GEKROESD FONTEINKRUID (RECHTS)



Afname van fytoplankton hangt samen met een lagere nutriëntenbeschikbaarheid door de droogval, maar zou ook kunnen worden veroorzaakt door een afname van algen door de droogval zelf. In de periode na droogval kunnen ook gevestigde helofyten (of zelfs terrestrische macrofyten) zorgen voor een groter doorzicht door het doorbreken van de windwerking (figuur 5.18 en 5.19). Naast een verbetering van het lichtklimaat kan ook de zaadkieming of klonale uitbreiding van macrofyten door droogval verbeterd of gestimuleerd worden. Sommige soorten, zoals kranswieren, lijken zich veel beter te ontwikkelen na een droogvalperiode. Dit heeft waarschijnlijk vooral te maken met de overlevingsstrategieën van kranswieren. Kranswieren vormen oösporen en bulbillen die in het sediment lang kiemkrachtig kunnen blijven (Raam et al., 1998) (figuur 5.17). Na een droogvalperiode kan vanuit de zaadbank snel ontwikkeling van kranswieren plaatsvinden (Moore, 1986). Mogelijk veel sneller dan dat

andere soorten zich kunnen ontwikkelen of vestigen. Opvallend was de snelle ontwikkeling van smalle waterpest in het referentiecompartiment. In het droogvalcompartiment vond nauwelijks ontwikkeling van smalle waterpest plaats, maar kwamen wel kranswieren tot ontwikkeling. Van smalle waterpest is bekend dat deze zich in Nederland uitsluitend vegetatief voortplant door stengelfragmenten (Weeda et al., 1991). Deze fragmenten blijven buiten het water maar zeer kort in leven. Mogelijk speelde dit hierin een rol.

Helofyten kunnen zich met name vegetatief uitbreiden als de oever flauw afloopt (figuur 5.20). Bij steile oevers – zoals bij de petgaten het geval is – kon dit echter nauwelijks plaatsvinden. Daar waar de oevers verzakken en verflauwen konden helofyten zich beter vestigen. Ook via zaden kunnen helofyten zich uitbreiden op de drooggevallen waterbodem, maar permanente vestiging vond alleen plaats als de helofyten na vernatten nog voldoende boven water uitkwamen. Uitbreiding van helofyten zoals riet en lisdodde via zaden leidde tot een diffuse verspreiding over het gehele waterbodemoppervlak. Uitbreiding van de reeds aanwezige helofytenzone vond vooral vegetatief plaats.

FIGUUR 5.20 UITBREIDING VAN HELOFYTEN IN DE EXCLOSURE OP DE OEVER VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER IN JULI 2012. DE BODEM IN DE EXCLOSURE EN VOOR DE EXCLOSURE WAS KAAL AAN HET BEGIN VAN DE DROOGVALPERIODE IN JUNI 2011

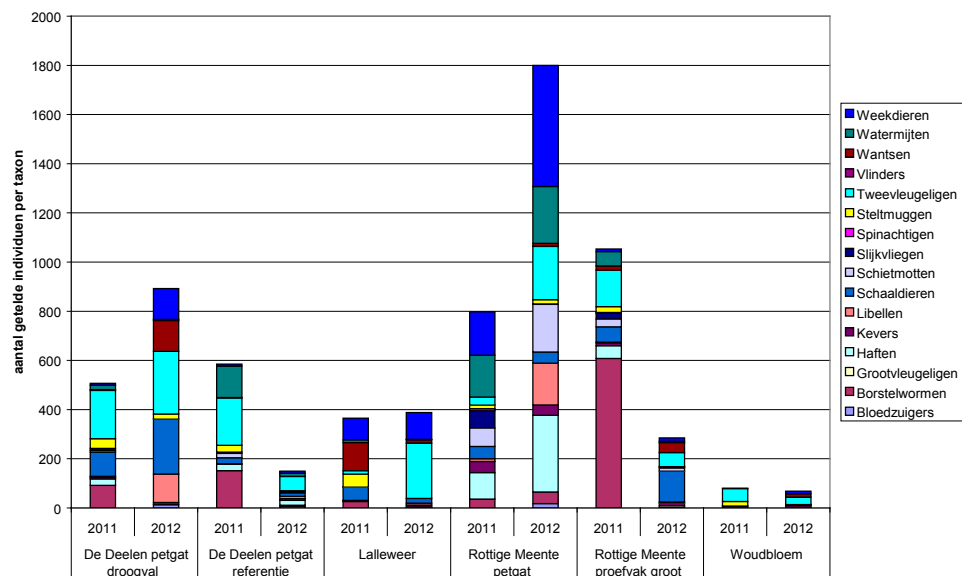


5.5 EFFECTEN OP MACROFAUNA

Er bestaat een gemengd beeld voor wat betreft het effect van droogval op macrofauna (figuur 5.21). Bepaalde soorten lijken te profiteren van de tijdelijke droogvalperiode, terwijl andere soorten geheel verdwenen door de droogval. Het totaal aantal individuen nam in de Deelen toe, bleef in Lalleweer en Woudbloem ongeveer gelijk en nam in de Rottige Meente ten opzichte van de periode voor de droogval. Het aantal taxa nam af in De Deelen, Rottige Meente en Lalleweer. In Woudbloem, waar voor de droogval slechts 3 taxa werden aangetroffen, werd 1 taxon meer aangetroffen in het jaar na de droogval.

De taxa muggenlarven en wormen bleken over het algemeen gevoelig voor droogval. In de Rottige Meente waren voor de droogval zeer veel borstelwormen aanwezig. Na de droogvalperiode bleken deze nagenoeg verdwenen. Taxa die weinig tot niet gevoelig voor droogval zijn betreffen weekdieren, tweevleugeligen en schaaldieren.

FIGUUR 5.21 MACROFAUNA VOOR (2011) EN NA (2012) DE DROOGVAL. IN DE FIGUUR ZIJN ZOWEL AANTAL INDIVIDUEN ALS AANTAL TAXA WEERGEGEVEN VOOR DE ONDERZOEKSLOCATIES WAAR DROOGVAL PLAATSVOND EN VOOR DE REFERENTIELOCATIES WAAR GEEN DROOGVAL OPTRAD (DE DEELLEN PETGAT REFERENTIE, ROTTIGE MEENTE PETGAT)



5.6 PERIODE EN DUUR VAN DE DROOGVAL

In het veldexperiment heeft de droogval plaatsgevonden in de zomerperiode en duurde circa 2,5 maand. Daarna is nog een tijd lang sprake geweest van een laag oppervlaktewaterpeil. In het veldexperiment is qua periode en duur aangesloten bij een situatie zoals die onder natuurlijke omstandigheden ook kan plaatsvinden. De mate van oxidatie van de waterbodem was sterk afhankelijk van het bodemtype: de beide veenbodems bleven plasdras waardoor de indringing van zuurstof beperkt was. In het veldexperiment kwamen verschillende positieve effecten naar voren. Niet duidelijk is of de effecten groter, kleiner of anders zouden zijn als gekozen was voor een andere duur en een ander seizoen. Vanuit de laboratoriumexperimenten kan hier al meer over worden gezegd. Zoals eerder aangegeven is zwaveloxidatie indicatief voor de mate van droogval en of indringing van zuurstof in de waterbodem. Voor wat betreft de immobilisatie van fosfaat en de afvoer of omzetting van ammonium wordt een groot effect bereikt vanaf circa 2-3 maanden.

Uit de laboratoriumexperimenten bleek dat het seizoen waarin de droogval plaatsvindt ook erg belangrijk was. De verminderde verdamping en biologische activiteit bij lage temperaturen zorgde er bijvoorbeeld voor dat drie maanden droogval in winter (bij 4 graden) een effect oplevert dat vergelijkbaar was met één maand droogval in de zomer (bij 20 graden). Verder bleek uit het mesocosmos experiment dat droogval in zomer en voorjaar in biogeochemisch opzicht vergelijkbare effecten kon opleveren. Positieve effecten van droogval konden langer aanhouden door beluchting van de waterbodem via wortels van bijvoorbeeld lisdodde (*Typha* sp).

Uit het mesocosmos experiment bleek de zomerperiode voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten optimaal te zijn is. De ontwikkeling van helofyten verliep in het mesocosmos experiment in voorjaar en zomer ongeveer hetzelfde. Vanuit andere studies wordt beschreven dat winterdroogval kan leiden tot afsterven van vegetatie en kapotvriezen van zaden (o.a. Cooke, 1980). Voor wat betreft de duur van de droogval in relatie tot de ontwikkeling van macrofyten is vanuit andere studies bijvoorbeeld bekend dat een periode van meerdere jaren tot substantiële uitbreiding van helofyten zoals riet leidt.

Op basis van de resultaten van dit project kan voor wat betreft de optimalisatie van biogeochemische effecten een minimale droogvalduur van circa 3 maanden worden afgeleid. De meest optimale periode voor de droogval is de zomerperiode eventueel in combinatie met droogval in het voorjaar.

6

INTEGRALE DISCUSSIE

6.1 HET ONDERZOEK

Het project 'Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel' is niet alleen onderzoeksproject, maar ook een praktijkdemonstratie. Droogval betreft immers een nieuwe en tot nu toe vrij onbekende maatregel, die niet geheel onomstreden was.

Door het combineren van meerdere onderzoeken ontstond een breed onderzoeksprogramma. Daar waar een bepaald deelonderzoek beperkt werd in het onderzoeksbereik van effecten of beïnvloed werd door randeffecten (tabel 6.1), kon dit worden opgevangen met de uitvoering van andere deelonderzoeken. Vanwege de beperkte onderzoeksduur lag de nadruk van het onderzoek vooral op de abiotische effecten. Wel werd voor verschillende soortgroepen een nulmeting uitgevoerd en werden de korte termijneffecten van droogval zo goed mogelijk onderzocht.

Droogval in het veld is goed te realiseren en te monitoren. Wel werd in dit onderzoeksproject duidelijk waar zich aandachtspunten bevinden. Zo moeten de meetopstellingen regelmatig gecontroleerd worden op schade. Ook is het belangrijk om het oppervlaktewaterpeil en het functioneren van de pompen geregeld in het veld te controleren. Verder is het van belang dat de beheerders het reguliere beheer afstemmen op de aanwezigheid van de proefopstelling die vaak voorzien is van kabels, slangen, buizen en netten.

Beperkingen van het onderzoek

De onderzoeksopzet en uitvoering zijn afgestemd op de beschikbare middelen en tijd. Voor wat betreft het aspect tijd is reeds in het onderzoeksplan aangegeven dat een periode van twee jaar te kort is voor het bepalen van ecologische effecten. Hoewel het onderzoek tot nu toe verschillende duidelijke resultaten heeft opgeleverd is bijvoorbeeld niet duidelijk hoe lang deze effecten zullen aanhouden. Ook is nog niet bekend of er in het tweede groeiseizoen na de droogval uitgestelde effecten optreden. Zo is het goed denkbaar dat in het eerste groeiseizoen verbetering van doorzicht optreedt en pas in het tweede groeiseizoen ontwikkeling van ondergedoken waterplanten (Minnesota department of natural resources, 2012). Om de lange(re) termijn effecten voor de veldsituatie te bepalen is het wenselijk om de monitoring van de onderzoekslocaties nog enige jaren voort te zetten.

Door de beperkende middelen is het referentiecompartment in de Rottige Meente kleiner aangelegd dan het droogvalcompartment. Met de beschikking over meer middelen zou het referentiecompartment even groot gemaakt zijn als het droogvalcompartment. Daarnaast zou er bij een hogere beschikbaarheid van middelen een zaadbankonderzoek hebben plaatsgevonden. Nu heeft het mesocosmosexperiment in beperkte vorm gediend als zaadbankonderzoek.

TABEL 6.1 VERGELIJKING SCHAALNIVEAUS DEELONDERZOEKEN

	STERKE PUNTEN	BEPERKINGEN
Veldonderzoek	<ul style="list-style-type: none"> - Meest realistisch - Interactie tussen biotische en abiotische factoren - Interactie met omgeving (zowel ruimtelijk als in de diepte) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gebruikte apparatuur is kwetsbaar in het veld, verlies van gegevens - Geen gecontroleerde omstandigheden, daardoor o.a. afhankelijk van klimaat; droog voorjaar en natte zomer zorgt ervoor dat resultaten lastiger zijn door te vertalen.
Mesocosmos	<ul style="list-style-type: none"> - (Beperkte) Interactie tussen biotische en abiotische factoren mogelijk - Door nabijheid is intensieve monitoring mogelijk (o.a. kieming van planten wordt niet gemist vgl. met veld waar deze kans groter is) - Droogval is in verschillende seizoenen uit te voeren - Omstandigheden voor kieming zijn optimaler dan in veld, waardoor het duidelijk wordt welke soorten in de zaadbank aanwezig zijn 	<ul style="list-style-type: none"> - Kieming wordt gestimuleerd door beperkte waterdiepte, dit is een artefact.t.o.v. de veldsituatie - Minder interactie tussen dieren enerzijds en vegetatie en bodem anderzijds: geen effect van vogels, vis en gedeeltelijk van macrofauna/zoöplankton
Kolomexperiment	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring op kleinere schaal, daardoor is beter zicht op processen. - Intensieve monitoring van chemische processen - Gecontroleerde omstandigheden - Meerdere replica's waarmee het effect van de droogvalduur en het seizoen is onderzocht. 	<ul style="list-style-type: none"> - Geen buffering door omgeving, extremere effecten - Vegetatie speelt geen rol. Dit heeft effect op het resultaat (geen beantwoording van vraag of kieming plaatsvindt), maar ook op de processen die plaatsvinden omdat beïnvloeding van de plant op de abiotische processen niet plaatsvindt
Microcosmos	<ul style="list-style-type: none"> - Breder range aan bodemtypen en meerdere replica's mogelijk 	<ul style="list-style-type: none"> - Kleinschaligheid heeft invloed op redox potentiaal

6.2 EUROPESE KADERRICHTLIJN WATER

Bij de implementatie van de Europese Kaderrichtlijn Water wordt gebruik gemaakt van zogeheten maatlatten en maatlatscores. Voor ieder waterlichaam zijn specifieke doelen afgeleid. Om te bepalen wat in KRW termen de toestand van een waterlichaam is, worden op basis van verschillende parameters scores berekend. De scores worden vertaald in kwalitatieve bewoordingen slecht, ontoereikend, matig, goed en zeer goed. In het onderzoeksvoorstel werd destijds ingeschat dat de maatregel droogval in potentie tot een verhoging van de maatlatscore met 0,2 zou kunnen leiden. Hierdoor kan een water met de beoordeling matig door het toepassen van droogval de beoordeling goed krijgen.

De resultaten of monitoringsgegevens van de veldexperimenten zijn getoetst aan de kwaliteitsnormen van de KRW maatlatten (tabel 6.2). Hieruit ontstaat een gemengd beeld. Voor wat betreft de fysisch-chemische beoordeling is in alle gevallen behalve in Woudbloem sprake van een meetbare toename van de KRW score. De score voor het doorzicht en de concentratie chlorofyl-a verbeterde voor Lalleweer, De Deelen en Rottige Meente. De score voor totaal-fosfor verbeterde voor zowel Lalleweer als voor de Rottige Meente. In de Rottige Meente verbeterde ook de score voor totaal-stikstof, dankzij de verminderde algenbloei.

TABEL 6.2 MAATLATScores BEREKEND VOOR EN TIJDENS (BEIDE 2011) EN IN HET EERSTE JAAR (2012) NA DE DROOGVAL

KRW MAATLAT	JAAR	LALLEWEER	WOUDBLOEM	ROTTIGE MEENTE	DE DEELEN
Fytoplankton*	2011	Ontoereikend (0,28)	Slecht (0,14)	Matig (0,55)	Matig (0,45)
	2012	Matig (0,47)	Ontoereikend (0,40)	Goed	Matig (0,45)
Macrofyten	2011	Slecht (0,067)	Slecht (0,017)	Slecht (0,109)	Slecht (0,082)
	2012	Ontoereikend (0,261)	Slecht (0,017)	Matig (0,412)	Slecht (0,132)
Macrofauna**	2011	Matig (0,486)	Slecht (nb)	Matig (0,408)	Matig (0,434)
	2012	Ontoereikend (0,398)	Slecht (0,25)	Ontoereikend (0,295)	Ontoereikend (0,365)

* Maatlat handmatig berekend op basis van bloeien

** Gemiddelde oever en water

Fytoplankton

Bij toetsing aan de deelmaatlat 'bloeien' voor fytoplankton is er voor drie van de vier locaties sprake van een toename van de maatlatscore ten opzichte van de periode voor droogval en ten opzichte van de referenties (alleen voor De Deelen en de Rottige Meente). In de Groningse plassen Lalleweer en Woudbloem doet zich de grootste stijging voor. Deze plassen scoren beide in 2012 een klasse hoger dan voor de droogval. Voor wat betreft De Deelen is er geen verbetering in het drooggevallen petgat zelf, maar wel ten opzichte van de controle, waar een verslechtering optrad. In het compartiment met droogval in de Rottige Meente trad na de droogval geen bloei van enige soort meer op.

Macrofyten

Voor de droogval werden alle locaties op de maatlat macrofyten als slecht beoordeeld. Voor drie van de vier locaties was na de droogval sprake van een toename van de maatlatscore. Lalleweer en de Rottige Meente scoorden zelfs een klasse hoger dan voor de droogval. De drooggevallen locaties in de Rottige Meente en De Deelen scoorden ook beter ten opzichte van de referenties. In De Deelen was in het referentie petgat zelfs sprake van een afname van de maatlatscore.

Macrofauna

Niet alle macrofauna kon tot op de soort worden gedetermineerd. De maatlatscores werden voor macrofauna berekend op basis van de gedetermineerde soorten. Voor de droogval scoorden alle locaties matig of slecht op de maatlat voor macrofauna. Na de droogval scoorden alle locaties slechter, omdat veel van de gedetermineerde macrofaunasoorten droogval niet overleefden. Mogelijk dat op wat langere termijn nog een verbetering in de scores voor macrofauna zal optreden.

In het algemeen kan gezegd worden dat droogval tot een toename van de maatlatscores leidt. In bepaalde gevallen scoren locaties, zoals van te voren werd ingeschat, zelf een klasse hoger. Dit geldt echter niet voor macrofauna, waar zelfs sprake is van een verslechtering, die vermoedelijk tijdelijk is. Hoewel de droogval tot een toename van de maatlatscores kan leiden, betekent dit in veel gevallen dat de wateren nog steeds niet als goed worden beoordeeld. Om de klasse goed te bereiken was een toename van 0,2 dan ook niet voldoende.

Hoewel de maatlatscore indicatief is voor de waterkwaliteit en ook binnen het kader van de subsidieregeling gebruikt wordt om de effectiviteit van maatregelen uit te drukken is deze methode niet alles zeggend. Ook mag de vraag gesteld of het wel goed mogelijk is een verbetering in de (biologische) waterkwaliteit op basis van korte termijn effecten aan te tonen. Het is daarom zeer aan te bevelen om het effect van droogval op de KRW maatlaten voor een langere periode in beeld te brengen. Mogelijk dat na 2013 sprake zal zijn van een verdere verbetering en toename in maatlatscores door de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten en vestiging van macrofauna.

6.3 UITVOERBAARHEID EN KOSTENEFFECTIVITEIT

De maatregelen om droogval te realiseren varieerden van een enkele gronddam tot een compartiment van stalen damwand. Voor alle locaties bleek de uitvoering van de maatregelen uiteindelijk geen probleem. Wel moest met de keuze van materieel en tijdstip van uitvoering sterk rekening worden gehouden met de beperkte draagkracht van de grond rondom de locaties. Hoewel in de nabijheid van alle locaties verharde wegen of paden aanwezig waren, moesten de laatste honderden meters door zacht terrein worden afgelegd. Bij de uitwerking van de werkplannen werden de beheerders altijd nauw betrokken. Hierdoor kon optimaal gebruik worden gemaakt van de aanwezige gebiedskennis, zodat de voorbereiding in een kort tijdsbestek kon plaatsvinden. De voorbereiding qua vergunningen kostte beduidend meer tijd.

Voor dit project moesten verschillende vergunningen worden aangevraagd. De locaties vielen onder de verantwoordelijkheid van twee waterbeheerders, twee provincies en vier gemeenten. Onder de onderzoekslocaties bevonden zich bovendien twee locaties in Natura2000 gebieden. Voor dit project werden alle benodigde vergunningen en ontheffingen verleend. Voor andere locaties in Nederland zal dit ongetwijfeld makkelijker of juist moeilijker gaan. De vergunbaarheid hangt af van de locatie specifiek wettelijk toegekende functies en beperkingen. Een andere belangrijke factor is de omgeving. Als er veel bezwaren vanuit de omgeving komen dan kan dit de vergunningenprocedure sterk vertragen of zelfs belemmeren. In dit project is zorgvuldig met gebruikers gecommuniceerd en werden uiteindelijk geen bezwaren tegen de maatregel gemaakt. Goede communicatie biedt echter geen garanties voor een succesvolle vergunningenprocedure.

Door vooraf een goede vergunningenanalyse te doen en na te gaan of er gevoeligheden zijn in het gebied kan een moeizaam traject worden voorkomen. Zodra de maatregel opgenomen wordt in de stroomgebiedsbeheerplannen zal dit ongetwijfeld een positieve invloed hebben op de procedures. Tijdelijke droogval kan tevens worden opgenomen in (Natura 2000) beheerplannen als mogelijke beheersmaatregel.

Het is moeilijk om in dit stadium de kosteneffectiviteit van de maatregel droogval op een goede manier te bepalen. Hoewel de kosten van de maatregel bekend zijn is alleen het korte termijn effect nog bekend. Indien in dit stadium de kosteneffectiviteit berekend zou worden dan geeft dit een vertekend beeld. Immers de kosten zouden drukken op alles wat binnen één jaar bereikt is, terwijl de verwachting is dat droogval op langere termijn tot een verbetering zal leiden. Ook kan de kosteneffectiviteit van de maatregel moeilijk op waarde worden geschat als er geen andere maatregelen zijn om de kosteneffectiviteit tegen af te zetten. Immers het is onbekend welke waterkwaliteitsverbetering een andere maatregel zoals baggeren voor de vier onderzoekslocaties betekend zou hebben. Een belangrijk financieel voordeel van droogval ten opzichte van baggeren is dat er geen materiaal afgevoerd hoeft te worden, terwijl dit bij baggeren meestal wel het geval is.

De uitvoeringskosten van de maatregel voor locaties waar met gronddammen gewerkt kan worden zijn relatief laag maar ook sterk afhankelijk van bereikbaarheid en hydrologie van de locaties. In dit onderzoeksproject varieerden de uitvoeringskosten voor het plaatsen van dammen en duikers en het afpompen voor een periode van drie maanden van €20.000 tot € 50.000. Gebruik van stalen damwand is sterk kostenverhogend, maar voor sommige locaties de enige manier om droogval te kunnen forceren.

6.4 TOEPASBAARHEID VAN DE MAATREGEL

Selectiecriteria voor de toepassing van tijdelijke droogval

Voor bepaalde wateren kan tijdelijke droogval tot een wezenlijke verbetering van de waterkwaliteit leiden. Uit dit project komen verschillende selectiecriteria naar voren. Deze zijn omgevormd naar een aantal praktische vragen die waterbeheerders kunnen hanteren om voor hun beheersgebied na te gaan waar droogval succesvol kan worden toegepast (tabel 6.2).

TABEL 6.2 SELECTIECRITERIA VOOR DE TOEPASSING VAN DROOGVAL IN WATERSYSTEMEN

CRITERIUM	VRAAG	GEVOLG
1. Waterkwaliteit	Heeft het watersysteem een waterkwaliteitsprobleem dat bestaat uit onvoldoende doorzicht, hoge nutriëntconcentraties en/of een beperkt ontwikkelde water- en oevervegetatie?	Bij ja > vraag 2. Bij nee à droogval niet direct kansrijk
<p><i>Toelichting</i> Voor wateren met een beperkt doorzicht door zwevend stof of algen en met weinig tot geen ondergedoken waterplanten kan tijdelijke droogval tot verbetering leiden. Ook in wateren waar sprake is van een matig tot slecht ontwikkelde oevervegetatie kan tijdelijke droogval tot uitbreiding van de vegetatie leiden.</p>		
2. Nutriëntenbelasting	Bevindt de nutriëntenbelasting zich in de buurt van de kritische belastingsgrenzen (zie Jaarsma et al., 2008)?	Bij ja > vraag 3. Bij nee à droogval kan nog steeds kansrijk zijn, maar effecten van korte duur. Maatregel moet dan frequent herhaald worden.
<p><i>Toelichting</i> In watersystemen waarbij de nutriëntenbelasting vele malen hoger is dan het systeem kan verdragen, is de kans klein dat positieve effecten van droogval lang in stand zullen blijven. In watersystemen waar de nutriëntenbelasting lager of niet veel hoger is dan het systeem kan verdragen kan de maatregel leiden tot een omslag van een troebel systeem naar een helder en plantenrijk systeem. Daarbij is de kans in een dergelijk geval groter dat de positieve effecten lang aanhouden. De Stowa publicatie van helder naar troebel en weer terug (Jaarsma et al., 2008) beschrijft achtergrond en methode om dit nader te bepalen.</p>		
3. Bodemtype	Beschikt de waterbodem over voldoende ijzer en voldoende buffercapaciteit ten opzichte van het zwavelgehalte?	Bij ja > vraag 4. Bij nee à bij onvoldoende ijzer in de bodem is de maatregel niet kansrijk als het doel is om meer fosfaat te binden. Bij onvoldoende buffercapaciteit kan de maatregel tot verzuring leiden.
<p><i>Toelichting</i> Droogval kan in watersystemen met verschillende bodemtypen tot een verbetering van de waterkwaliteit leiden. Belangrijk is dat een bodem voldoende ijzer bevat, zodat hier tijdens de droogval fosfaat aan kan binden. Als eerste uitgangspunt kan voor de bodemsamenstelling worden aangehouden een Fe:P ratio (mol:mol) van > 10. Indien een bodem vooral ijzer bevat dat aan zwavel gebonden is, dan is van belang dat tijdens en na de droogval voldoende sulfaat wordt afgevoerd met het oppervlaktewater. Verder is van belang dat een bodem over voldoende buffering beschikt ten opzichte van het totaal zwavelgehalte. Hiervoor kan worden aangehouden een S/(Ca+Mg) ratio (mol:mol) < 0,7.</p>		
4. Morfologie	Beschikt het water over flauw aflopende taluds of een ondiepe oeverzone?	Bij ja vraag 5. Bij nee à droogval kan worden toegepast als 1 t/m 3 ja is, om ondergedoken waterplanten of fosfaatbinding te stimuleren, maar het effect op de oevervegetatie zal zeer klein zijn.
<p><i>Toelichting</i> In watersystemen met flauwe oevers kunnen helofyten zich beter vestigen en uitbreiden tijdens een periode van droogval. Op flauwe oevers en/of in een ondiepe oeverzone kunnen helofyten zich na een periode van droogval beter handhaven.</p>		
<p>Is het antwoord op bovenstaande vier vragen ja, dan kan tijdelijke droogval voor dit watersysteem tot een waterkwaliteitsverbetering leiden. De onderstaande vragen worden gesteld om in te schatten of droogval praktisch uitvoerbaar is zonder dat er schade optreedt.</p>		
5. Functies	Is de functie van het watersysteem vooral natuur?	Bij ja vraag 6. Bij nee vraag 5a.
5a. Er zijn gebruiksfuncties aan het watersysteem verbonden.	Kunnen deze functies tijdelijk vervallen of worden verplaatst?	Bij ja vraag 6. Bij nee à Tijdelijke droogval kan niet worden toegepast in verband met verlies van gebruikersfuncties.
<p><i>Toelichting</i> In watersystemen met een beperkt aantal functies of in watersystemen waar functies tijdelijk stopgezet kunnen worden komt droogval als maatregel in aanmerking. In de afweging of functies tijdelijk kunnen worden stopgezet of verplaatst is een kosten-baten analyse zinvol. Een zwemplas die jaren achtereenvolgende jaren wordt door blauwalgen en waarin regelmatig een zwemverbod geldt verliest met droogval zijn functie. Echter, bij voldoende waterkwaliteitsverbetering door droogval kan de plas daarna jaren gebruikt en geëxploiteerd worden.</p>		

CRITERIUM	VRAAG	GEVOLG
6. Geohydrologie	Ligt het watersysteem in een weerstandsbiedende deklaag?	Bij ja vraag 7. Bij nee tijdelijke droogval kan worden uitgevoerd, maar effecten op grondwaterstanden en kans op schade zijn groter. Toepassen van de maatregel hangt af van aanwezigheid van bebouwing en infrastructuur.
<p><i>Toelichting</i> <i>Bij het verlagen van het oppervlaktewaterpeil kunnen in de omgeving van een watersysteem effecten op grondwaterstanden optreden. Bij watersystemen die in een weerstandsbiedende deklaag liggen wordt deze kans kleiner.</i></p>		
7. Bodemstabiliteit	Bestaat de bodem hoofdzakelijk uit zand of klei?	Bij ja vraag 8. Bij nee à droogval kan worden uitgevoerd maar de kans op zettingen, bodemdaling en eventueel schade is groter dan bij watersystemen op klei of zand.
<p><i>Toelichting</i> <i>Hoewel in zand en kleibodems ook effecten kunnen optreden tijdens droogval geldt voor veenbodems dat hier sneller negatieve effecten zoals verzakkingen en bodemdaling optreden dan in zand- of kleibodems. Verder geldt dat als droogval reeds eerder heeft plaatsgevonden, effecten op de bodemstabiliteit vaak kleiner zijn bij herhaling(en) van de maatregel.</i></p>		
<p>Is het antwoord op vraag 5 t/m 7 ja, dan kan tijdelijke droogval in dit watersysteem worden uitgevoerd en is de kans op schade afwezig of klein.</p>		
8. Hydrologie	Is het watersysteem min of meer geïsoleerd van andere watersystemen?	Bij ja droogval is eenvoudig te realiseren, tegen geringe kosten en effecten blijven langdurig bestaan. Bij nee droogval kan worden toegepast, maar er moet worden nagegaan wat de kwaliteit is van de omliggende wateren.
<p><i>Toelichting</i> <i>In min of meer geïsoleerde watersystemen is droogval vaak eenvoudig en tegen relatief lage kosten te realiseren. In een geïsoleerd watersysteem is de kans groter dat de positieve effecten van droogval langer voortduren. Een beperkte aanvoer van water kan er bijvoorbeeld voor zorgen dat de intrek van bodemwoelende vis (tijdelijk) beperkt wordt.</i></p>		

7

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Uit dit onderzoeksproject blijkt dat tijdelijke droogval een kansrijke maatregel is voor bepaalde watersystemen. De maatregel grijpt in op verschillende elementen van het watersysteem en kan tot een verbetering van de waterkwaliteit leiden die ook tot uitdrukking komt in de KRW maatlatten.

Op basis van de resultaten werden verschillende selectiecriteria afgeleid, waarmee beheerders een snelle inventarisatie kunnen uitvoeren van probleemwateren waar tijdelijke droogval mogelijk kan worden toegepast. Zogenaamde 'quick wins' bestaan uit probleemwateren met een min of meer geïsoleerde ligging, waar weinig gebruikersfuncties aan gekoppeld zijn.

Het is voor water- en terreinbeheerders aan te bevelen voor hun beheersgebieden een globale inventarisatie te doen van probleemlocaties waar droogval als waterkwaliteitsmaatregel zou kunnen worden toegepast en mogelijk tot verbetering kan leiden. Daarna kunnen deze locaties met verschillende methoden verder worden onderzocht. Verschillende mogelijkheden zijn in dit rapport beschreven zoals analyses van de bodemkwaliteit om het ijzergehalte te bepalen, het uitvoeren van globale grondwatermodellering of het uitvoeren van eenvoudige experimenten op kleine schaal.

Voor de daadwerkelijke uitvoering van droogval is het van belang de voorbereiding en het vergunningetraject tijdig op te starten. In dit rapport en het uitgereidere achterliggende technisch rapport is beschreven welke wet- en regelgeving van toepassing is. Hoewel proceduretijden in principe vast staan, is de verwachting dat aanvragen makkelijker verlopen naarmate de maatregel landelijk vaker toegepast wordt in het kader van waterkwaliteitsverbetering. Voor wat betreft de uitvoering van de maatregelen is veel mogelijk, omdat voor ieder werk toegesneden materieel verkrijgbaar is.

Uit dit project kwam naar voren dat droogval minimaal voor een periode van drie maanden moet worden uitgevoerd in voorjaar en/of zomerperiode. Hoe lang de maatregel effectief blijft is op basis van deze studie niet te zeggen. Lange termijn onderzoek op de betrokken locaties is nodig om hier meer inzicht in te krijgen.

Tijdelijke droogval is een natuurlijk proces dat in veel wateren van nature voorkomt of voorkwam. Uit de geraadpleegde literatuur bleek dat droogval vroeger al werd toegepast als waterkwaliteitsmaatregel. Ook bleek dat de maatregel in andere landen succesvol wordt toegepast als reguliere waterkwaliteitsmaatregel. Op basis van deze bevindingen mag tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel niet aan het instrumentarium van beheerders en hun beheerplannen ontbreken.

8

LITERATUUR

- ATKB, 2011. Afvissen 4 wateren voor project “Droogval”. J. Kampen. Rapportnummer 20110550/rap001.
- Banach, A.M., K. Banach, K. Stola, Z. Stępniewska, J.G.M. Roelofs & L.P.M. Lamers, 2010. Bartków Ług Lake (Poland) as a model for the comparison of different water quality improvement strategies for shallow lakes, based on field data and laboratory feasibility tests. In: A.M. Banach, 2010. Biogeochemical constraints on combined flood control, water storage and ecological restoration in Central European river floodplains. Małopolski Przełom Wisły (Poland) as a case study. PhD thesis, Radboud Universiteit Nijmegen, Nijmegen, Nederland, 141 pp.
- Bate G.C. and P.A. Smailes, 2008. The response of the diatom flora of St Lucia Lake and estuary, South Africa, to a severe drought. *African Journal of Aquatic Science*: Vol 33, No 1.
- Beard, T.D. and R.L. Hine (eds), 1973. Overwinter drawdown: impact on the aquatic vegetation in Murphy Flowage, Wisconsin. Technical Bulletin of the Wisconsin Department of Natural Resources 61, Wisconsin Department of Natural Resources, Wisconsin, USA, 14 pp.
- Bonada, N., Rieradevall, M., Prat, N. & Resh, V.H. Benthic macroinvertebrate assemblages and macrohabitat connectivity in Mediterranean-climate streams of northern California. *Journal of the North American Benthological Society* 25 (1); 32-43, 2006.
- Boulton, A.J. Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology* 48 (7); 1173-1185, 2003.
- Brongers, M. & J. van Belle 2009. Better wetter: peildynamiek voor een vitale Friese boezem. Werkdocument als voorbereiding op een projectvoorstel. A&W-rapport 1144. Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- Claassen, T.H.L. (2003), Thannhauser-Douwma M., (2003), Overzicht van waterkwaliteitsonderzoek in De Deelen, in de periode 1987-2003, Wetterskip Fryslân, Leeuwarden.
- Cooke G.D. 1980. Lake level drawdown as a macrophyte control technique. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* Volume 16, Issue 2, pages 317-322.
- Coops, H. & G. van der Velde 1996. Effects of waves on helophyte stands. Mechanical characteristics of stems of *Phragmites australis* and *Scirpus lacustris*. *Aquatic Botany* 53:175-185.
- Cremona, F., Planas, D. & Lucotte, M. Biomass and composition of macroinvertebrate communities associated with different types of macrophyte architectures and habitats in a large fluvial lake. *Fundamental and Applied Limnology* 171 (2); 119-130, 2008.
- Dobrowolski, K.A., Halba, R, and Nowicki. 1976. The role of birds in eutrophication by import and export of trophic substances of various waters. *Limnologica* (Berlin). 10(2):543-549.
- Fox, J.L., P. L. Brezonik & M.A. Keirn, 1977. Lake drawdown as a method of improving water quality. University of Florida, Oregon, USA, 94 pp.
- Furey, P.C., Nording, R.N. & Mazumder, A. Littoral benthic macroinvertebrates under contrasting drawdown in a reservoir and a natural lake. *Journal of the North American Benthological Society* 25(1): 19-31, 2006.
- Geurts: Restoration of fens and peat lakes: a biogeochemical approach, 2010.
- Gould, D.J. and Fletcher, M.R. 1978. Gull droppings and their effects on water quality. *WaterResearch*. 12:665-672.

- Greenwood, D.J., 1961. The effect of oxygen concentration on the decomposition of organic materials in soil. *Plant and Soil* XIV 4: 360-376.
- Hayworth, J. Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida. The response of wetland benthic macroinvertebrates to short-term drawdown. April 2000.
- Huijser, M., H.J. Drost & Y. Rölling 1995. Vegetatieontwikkeling en cyclisch waterpeilbeheer in de Oostvaardersplassen. *De Levende Natuur* 96(6): 213-222.
- Hut, R. van der & N. Beemster 2008. Ruimte voor Riet en moerasvogels in de Noordelijke randmeren. Sturende factoren en beheermaatregelen voor kwalificerende broedvogels. A&W-rapport 1108. . Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek, Feanwâlden.
- IUCN, 1997. Fishing for a living – The ecology and economics of fishponds in Central Europe. IUCN, Gland/Cambridge, Zwitserland/Verenigd Koninkrijk, 184 pp.
- Jaarsma N.G., M. Klinge en L.P.M. Lamers 2008. Van Helder naar Troebel en weer terug. Stowa rapport 2008-04. ISBN 978.90.5773.386.4.
- Jaarsma: Nico G. Jaarsma en Piet F.M. Verdonshot, *Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren, deel 8*, Wingaten, Wageningen 2000.
- James, W.F., J.W. Barko, H.L. Eakin & D.R. Helsel, 2001. Changes in sediment characteristics following drawdown of Big Muskego Lake, Wisconsin. *Archiv für Hydrobiologie* 151: 459-474.
- Kadlec, J.A., 1962. Effects of a drawdown on a waterfowl impoundment. *Ecology* 43: 267-281.
- Koeman en Bijkerk, 2012. Fytoplankton in enkele Friese en Groningse plassen onder invloed van tijdelijke droogval in 2011 en 2012. Rapportnummer 2012-087. Bijkerk R. en M.J. van Herk.
- Kristensen, E., S.I. Ahmed & A.H. Devol, 1995. Aerobic and anaerobic decomposition of organic matter in marine sediment: which is fastest? *Limnology and Oceanography* 10: 1430-1437.
- Denys L., 2009. Palaeolimnology without a core: 153 years of diatoms and cultural environmental change in a shallow lowland lake (Belgium). *Fottea* 9: 317-332.
- Lamers, L.P.M., S-J Fallah, E.M. Samborska, I.A.R. van Dulken, G. van Hengstum & J.G.M. Roelofs, 2002. Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulphate-polluted freshwater wetlands. *Limnology and Oceanography* 47: 585-593.
- Loeb, R., L.P.M. Lamers, & J.G.M. Roelofs, 2008. Effects of winter versus summer flooding and subsequent dessication on soil chemistry in a riverine hay meadow. *Geoderma* 145: 84-90.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2002) Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+Mg) ratio as diagnostic tool. *Environmental Pollution* 120: 635-646.
- Magoulick D. and R.M. Kobza 2003. The role of refugia for fishes during drought: a review and synthesis. *Freshwater Biology* Volume 48, Issue 7, pages 1186-1198, July 2003.
- Marion L., Clergue P., Briant L. and G. Bertru. 1994. The importance of avian-contributed nitrogen (N) and phosphorus (P) to Lake Grand-Lieu, France. *Hydrobiologia* 279/280: 133-147.
- Matthews W.J. and E. Marsh-Matthews 2003. Effects of drought on fish across axes of space, time and ecological complexity. *Freshwater Biology* Volume 48, Issue 7, pages 1232-1253.
- McAfee, M.E. Effects of water drawdown on the fauna in small cold water reservoirs. *Journal of the American Resources Association* 16 (4), 2007.
- McEwen, D.C. & Butler, M.G. The effects of water-level manipulation on the benthic invertebrates of a managed reservoir. *Freshwater Biology* 55; 1086-1101, 2010.
- Minnesota department of natural resources, 2012. Shallow Lake Management Report to the 2012 Minnesota Legislature.

- Submitted January 9, 2012, by the Minnesota Department of Natural Resources.
- Mitsch, J.W., J.W. Day Jr., J.W. Gilliam, P.M. Groffman, D.L. Hey, G.W. Randall & N. Wang 2005. Reducing nitrogen loading to the Gulf of Mexico from the Mississippi River basin. Strategies to counter a persistent ecological problem. *BioScience* 51:373-388.
- Moore, J.A., 1986. Charophytes of Great Britain and Ireland.
- Moore, T.R. & M. Dalva, 1997. Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 1157-1164.
- Nijboer 2012: Rebi Nijboer, Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna; STOWA-rapport 2012-19; WEW themanummer 2.
- Paller M.H. 1997. Recovery of a Reservoir Fish Community from Drawdown Related Impacts North American Journal of Fisheries Management Volume 17, Issue 3.
- Patrick, W.H. & R.A. Khalid, 1974. Phosphate release and sorption by soils & sediments – effect of aerobic and anaerobic conditions. *Science* 186: 53-55.
- Pearson J. & G.R. Stewart, 1993. The deposition of atmospheric ammonia and its effects on plants. *New Phytologist* 125: 283-305.
- Petridis, D & Sinis, A. Benthic macrofauna of Tavropos reservoir (central Greece). *Hydrobiologia* 262; 1-12, 1993.
- Peverly, J.H. & R. J. Kopka, 1991. Changes in Al, Mn and Fe from sediments and aquatic plants after lake drawdown. *Water, Air, and Soil Pollution* 57-58: 399-410.
- Raam, J.C., E.X. Maier, J. Bruinsma, J. Simons, H. Stegenga, 1998. Handboek kranzwieren.
- Reddy K.R., R.H. Kadlec, E. Flag & P.M. Gale, 1999. Phosphorus retention in streams and wetlands: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 29: 83-146.
- Reddy, K.R. & W.H. Patrick, 1975. Effect of alternate aerobic and anaerobic conditions on redox potential, organic matter decomposition and nitrogen loss in a flooded soil. *Soil Biology and Biochemistry* 7: 87-94.
- Riley, T.Z. & Bookhout, T.A. Response of aquatic macroinvertebrates to early-spring drawdown in nodding smartweed marshes. *Wetlands* 10 (2); 173-185, 1990.
- Sarneel, J.M., 2010. Colonisation processes in riparian fen vegetation. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Scheffer, M., 2004. Ecology of shallow lakes. Kluwer Publishers, Dordrecht, Nederland. 363 pp.
- Smolders, A. & J.G.M. Roelofs, 1995. Internal eutrophication, iron limitation and sulfide accumulation due to the inlet of river Rhine water in peaty shallow waters in the Netherlands. *Archiv für Hydrobiologie* 133: 349-365.
- Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs, 1996. The roles of internal iron hydroxide precipitation, sulphide toxicity and oxidizing ability in the survival of *Stratiotes aloides* roots at different iron concentrations in sediment pore water. *New Phytologist* 133: 253-260.
- Smolders, A.J.P., Moonen, N., Zwaga, K., Lucassen, E.C.H.E.T., Lamers, L.P.M. & J.G.M. Roelofs (2006) Changes in pore water chemistry of desiccating sediments with different sulphur contents. *Geoderma* 132: 372-383.
- Sprandela G.L., Cailteuxa R.L. and D.T. Cobbab, 2002. Influence of a reservoir drawdown on bird use of lake Talquin Florida. *Lake and Reservoir Management* Volume 18, Issue 2.
- ter heerdt en drost, 1993.
- Valk, A.G. van der 2005. Water-level fluctuations in North American prairie wetlands. *Hydrobiologia* 539:171-188.
- van Geest G.J., Wolters H., Roozen F.C.J.M., Coops H., Roijackers R.M.M., Buijse A.D. and M. Scheffer, 2005. Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. *Hydrobiologia* 539: 239-248.

- Van Wichelen, J., S. Declerck, K. Muylaert, I. Hoste, V. Geenens, J. Vandekerhove, E. Michels, N. de Pauw, M. Hoffmann, L. de Meester & W. Vyverman, 2007. The importance of drawdown and sediment removal for the restoration of the eutrophied shallow Lake Kraenepoel (Belgium). *Hydrobiologia* 584: 291-303.
- Weeda E.J., R. Westra, Ch. Westra, T. Westra, 1991. Nederlands ecologische Flora, wilde planten en hun relaties 4.
- Weisner, S.E.B. & B. Ekstam 1993. Influence of germination time on juvenile performance of *Phragmites australis* on temporarily exposed bottoms – implications for the colonization of lake beds. *Aquatic Botany* 45: 107-118.
- Wiertsema en partners, 2012. Monitoringswerkzaamheden, geotechnisch grond- en laboratoriumonderzoek project Watermozaïek. Rapportnummer VN-53476-1.
- Williams K.A., D.W.J. Green & D. Pascoe, 1986. Studies on the acute toxicity of pollutants to fresh-water macroinvertebrates .3. Ammonia. *Archiv für Hydrobiologie* 106: 61-70.
- Wolcox, D.A. & Meeker, J.E. Implications for faunal habitat related to altered macrophyte structure in regulated lakes in northern Minnesota. *Wetlands* 12 (3); 192-203, 1992.
- Yamamoto T., Kohmatsu Y. and M. Yumaet, 2006. Effects of summer drawdown on cyprinid fish larvae in Lake Biwa, Japan. *Limnology* Volume 7, Number 2.
- Yeatman H.C., 1985. Extreme drawdown attracts unusual shorebirds to Watauga Lake, Tennessee. *The Migrant* Vol. 56 pp 103-105.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 50
Stationsplein 89
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

