

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITSMATREGEL



RAPPORT

2012
38

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS
WATERKWALITEITSMATREGEL

HOOFDRAPPORT

RAPPORT

2012

38

ISBN 978.90.5773.573.8



Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

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 (B-Ware).

PROJECTGROEP STOWA, Wetterskip Fryslân, Waterschap Hunze en Aa's, Deltares, Onderzoekscentrum B-WARE, Staatsbosbeheer.

Organisaties waar de projectgroep structureel mee heeft samengewerkt en die concrete bijdragen aan de rapportage hebben geleverd zijn: Wiertsema & Partners, Koeman en Bijkerk BV Ecologisch onderzoek en advies, ATKB Adviesbureau voor bodem, water en ecologie.

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.

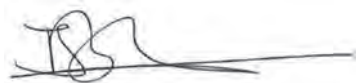
De resultaten van dit grootschalig veldexperiment in combinatie met laboratoriumonderzoek op vier locaties verspreid over Nederland, bieden een nieuw perspectief. In het rapport leest u welke effecten tijdelijke droogval als maatregel heeft en welke baten ervan mogen worden verwacht. Tijdelijke droogval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



ir. J.J. Buntsma

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.

SUMMARY

In 2010 the research project ‘Temporary drawdown for improving water quality’ started. In this study the effects of a temporary drawdown period on different water systems were investigated at different scale levels over a period of about two years. For this purpose, four lakes in The Netherlands were put dry in the summer of 2011 for a period of approximately 2.5 months. The study concerned the small and shallow lakes at Lalleweer (clay soil) and Woudbloem (sandy soil) in Groningen and two mires in respectively De Deelen and Rottige Meente in Friesland.

Many interactions, processes and feedback mechanisms in shallow lakes and other water-systems upon drawdown are already known. Without going into detail about these processes it is important to realise that drawdown can positively intervene in the functioning of water systems through different processes. This study showed that temporary drawdown led to:

- Consolidation of the sediment
- Binding of phosphate to the water bottom;
- Discharge of nitrogen;
- Oxidation of toxic compounds (sulfide, ammonia);
- Decrease of the turbidity of the surface water;
- Reduction of blue-green algae (toxic blooms);
- Germination and development of aquatic and riparian plants;
- Shifts in aquatic and semi-aquatic species communities.

In particular, the effects on soil chemical processes were more severe as the soil dried out stronger. However, the effects on the development of submerged aquatic plants were somewhat smaller than expected. However, there are strong indications based on former research that these effects are expressed after a longer period. Therefore the monitoring will be continued in 2013.

The project also investigated the possible occurrence of damage as a result of drawdown and desiccation. Temporary drawdown resulted in acidification of the soil as a result of sulfur oxidation. The degree of acidification that occurred depended on the buffering capacity of the soil, the amount of sulfur in the soil and the extent to which sediments and shores dried out. In this study there was no evidence found for accelerated decomposition of organic matter or peat. Although in two of the four lakes ground water levels dropped as a result of the drawdown no negative effects occurred.

From both the available literature and from this research project it can be concluded that temporary drawdown is a promising measure for certain watersystems. For several ecological status classes that are used for Water Framework Directive (WFD) the measure ‘temporary drawdown’ led to a substantial increase in the quality scores on the short-term. In order to determine whether watersystems would benefit from the application of temporary drawdown, the selection criteria that are presented in this report can be used.

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITS- MAATREGEL

INHOUD

1 INLEIDING	9
1.1 Achtergrond	9
1.2 Doel	10
1.3 Projectorganisatie	10
1.4 Leeswijzer	11
2 THEORETISCHE ACHTERGROND	13
2.1 Algemeen	13
2.2 Droogval als waterkwaliteitsmaatregel	14
2.3 Effecten op de water- en bodemkwaliteit	15
2.4 Effecten op fytoplankton	19
2.5 Effecten op vegetatie	20
2.6 Effecten op macrofauna	22
2.7 Effecten op vissen	22
2.8 Effect op vogels en andere diersoorten	23

3 ONDERZOEKSVRAGEN EN HYPOTHESEN	25
3.1 Onderzoeksvragen	25
3.2 Hypothese	26
4 VOORBEREIDING EN UITVOERING MAATREGELEN	31
4.1 Beschrijving onderzoekslocaties	31
4.2 Vergunningen	42
5 MATERIAAL EN METHODE	75
5.1 Algemeen	75
5.2 Microcosmos	76
5.3 Kolommenexperiment	79
5.4 Mesocosmos	80
5.5 Veldexperiment	85
6 RESULTATEN EN DISCUSSIE	107
6.1 Microcosmos	107
6.2 Kolomexperiment	119
6.3 Mesocosmos	139
6.4 Veldexperiment	163
7 INTEGRALE DISCUSSIE	273
7.1 Opzet en uitvoering van het onderzoek	273
7.2 Ecologie en waterkwaliteit	275
7.3 Negatieve effecten en schade	282
7.4 Uitvoerbaarheid en kosteneffectiviteit	285
7.5 Opschaalbaarheid en toepasbaarheid van de maatregel	286
8 EINDCONCLUSIES	289
9 LITERATUUR	290
BIJLAGE I MESOCOSMOS	297
BIJLAGE II GEOHYDROLOGIE	310
BIJLAGE III VELDEXPERIMENT WATER- EN BODEMKWALITEIT	322
BIJLAGE IV FYTOPLANKTON	324
BIJLAGE V MACROFAUNA	326

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

Veel Nederlandse wateren hebben te maken met hardnekkige waterkwaliteitsproblemen. Deze problemen zijn veelal het gevolg van 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 waterbodembodem voldoende aanpakken. Om de negatieve effecten van de waterbodembodem 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 technisch achtergrondrapport worden de resultaten en achtergronden van het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’ in meer detail beschreven. Eerder verscheen een samenvattend hoofdrapport waarin het onderzoek op hoofdlijnen beschreven werd.

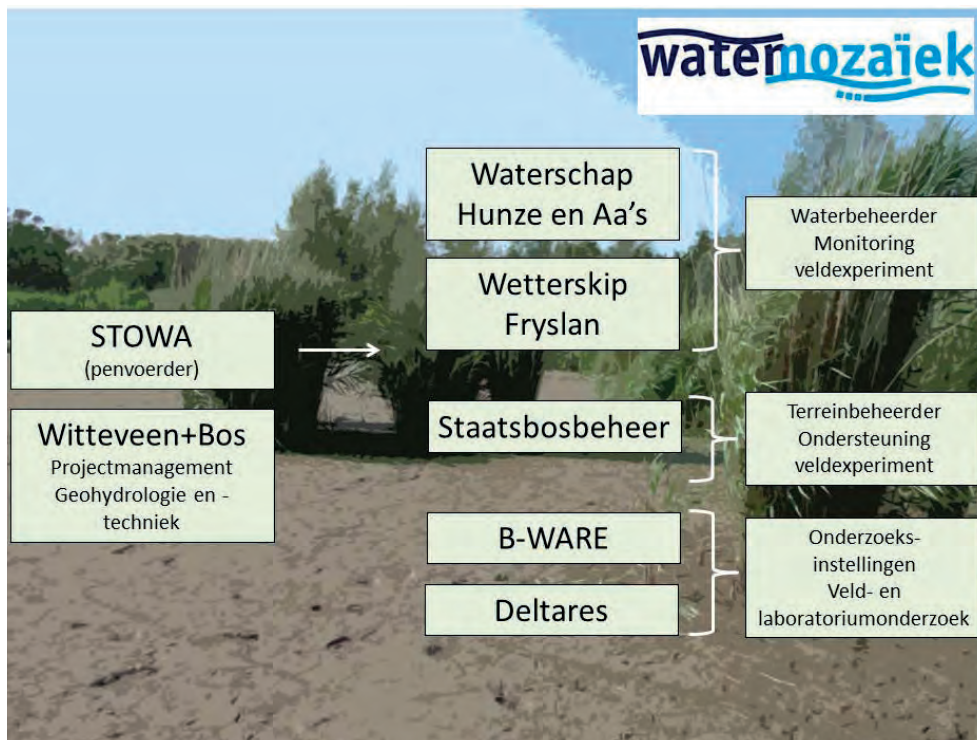
1.2 DOEL

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.

1.3 PROJECTORGANISATIE

Het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’ is uitgevoerd door een consortium (de projectgroep) dat bestaat uit zowel water- en terreinbeheerders als onderzoeksinstituten (figuur 1.2). 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



Organisaties waar de projectgroep structureel mee heeft samengewerkt zijn:

- Wiertsema & Partners
- Koeman en Bijkerk
- AT-KB (AquaTerra – KuiperBurgers)

1.4 LEESWIJZER

In dit omvangrijke technisch- of achtergrondrapport worden alle uitgevoerde onderzoeken die in het kader van het project tijdelijke droogval in de periode 2010-2012 hebben plaatsgevonden in meer detail beschreven. Het gaat hierbij om ecologisch, biogeochemisch, geohydrologisch en geotechnisch onderzoek. Daarnaast worden de procedurele en de technische voorbereiding en uitvoering van de maatregelen die nodig waren om de veldlocaties droog te zetten beschreven. Hiermee bevat het rapport elementen voor inhoudelijk experts (o.a. ecologen, geotechnici, hydrologen) en beheerders, maar ook voor managers en beleidsmakers. Via de inhoudsopgave kan de lezer de verschillende voor hem of haar relevante onderdelen vinden.

“Dit rapport is bedoeld als compleet naslagwerk voor beheerdersorganisaties en andere geïnteresseerden die kennis willen nemen van de maatregel droogval en/of deze zelf willen toepassen in hun watersystemen.”

Opbouw van het rapport

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 worden de voorbereiding en uitvoering van maatregelen die in het kader van de veldexperimenten hebben plaatsgevonden beschreven.

Het gaat hierbij onder meer om het plaatsen van de gronddammen en damwanden, het vergunningentraject en het afvissen van de onderzoekslocaties. In hoofdstuk 5 volgt een beschrijving van materiaal en methode van alle projectonderdelen. Vervolgens worden in hoofdstuk 6 de resultaten beschreven en bediscussieerd. Ook worden in dit hoofdstuk per onderdeel de deelconclusies beschreven. In hoofdstuk 7 volgt een integrale discussie van alle onderzoeksresultaten. Hier worden tevens toepasbaarheid, ecologisch rendement en kosten-effectiviteit besproken. Tot slot volgen in hoofdstuk 8 de eindconclusies.

2

THEORETISCHE ACHTERGROND

2.1 ALGEMEEN

Tegenwoordig wordt het waterpeil van de meeste Nederlandse oppervlaktewateren gereguleerd. Een natuurlijke waterpeilfluctuatie met lage peilen in de zomer en hoge peilen in de winter komt in veel wateren dan ook niet meer voor. Sterker nog in veel watersystemen is zelfs sprake van een omgekeerd of tegennatuurlijk peil. Dit waterpeilbeheer is maximaal afgestemd op agrarisch landgebruik. In de winter en het vroege voorjaar worden de peilen laag gehouden zodat het land machinaal bewerkt kan worden. In de zomer worden de peilen voldoende hoog gehouden voor een betere gewasopbrengst. Illustratief voor de hierboven geschetste situatie is het waterpeilverloop van de Friese Boezem in figuur 2.1. In 1876 was nog sprake van een natuurlijk peilverloop, hoofdzakelijk ingegeven door neerslag en verdamping. Het maximale peilverschil bedroeg destijds bijna 1 m, waarbij het peil in de zomermaanden ver kon uitzakken. In 1976 en de jaren erna is van deze dynamiek weinig meer over en is het peil sterk gereguleerd.

FIGUUR 2.1 WATERPEILVERLOOP FRIESE BOEZEM 1876 EN 1976 (LEVENDE NATUUR, 1999)



Bij een natuurlijk waterpeilverloop kunnen wateren in de zomerperiode geheel of gedeeltelijk droogvallen. De waterpeildynamiek werkt zodoende door in de waterbodemdynamiek. Dit geldt met name voor de oeverzone. Bij het uitzakken van het waterpeil en het droogvallen van de waterbodem treden verschillende processen op die van invloed zijn op de waterkwaliteit. Het gaat hierbij zowel om chemische als fysische en biologische effecten. In chemisch opzicht verandert vooral de invloed van zuurstof en daarmee de redoxpotentiaal in de bodem. Als gevolg hiervan worden verschillende biogeochemische processen in gang gezet, waaronder de oxidatie van verschillende (bio)toxische verbindingen en ionen zoals sulfide (HS^- , S^{2-}), gereduceerd ijzer (Fe^{2+}) en ammonium. Ook vinden belangrijke veranderingen

plaats met betrekking tot de nutriënten stikstof en fosfor. Droogval beïnvloedt de vochttoestand van de bodem en leidt tot bodemverdichting en consolidatie van de top laag. Ook verschillende organismen worden door de tijdelijke afwezigheid van oppervlaktewater beïnvloed. Bepaalde planten zoals riet (*Phragmites australis*) ontwikkelen zich bijvoorbeeld optimaal onder wisselvochtige (zogenaamde plas-dras) omstandigheden. Niet alle effecten zijn direct positief voor waterkwaliteit of soorten. Sterk aan water gebonden organismen en hun eieren of larven kunnen direct schade ondervinden als gevolg van een tijdelijk sterke peilverlaging waarbij de waterbodem droogvalt. Ook kan droogval tot (tijdelijke) verzuring leiden of nutriënten mobiliseren door versnelde afbraak van organische stof. Er hebben reeds verschillende onderzoeken plaatsgevonden waarbij direct of soms indirect het effect van een tijdelijke droogvalperiode in oppervlaktewateren is onderzocht. In de volgende paragrafen is de reeds beschikbare kennis beschreven, die naar voren is gekomen tijdens het literatuuronderzoek.

2.2 DROOGVAL ALS WATERKWALITEITSMATREGEEL

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 deze 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). De droogvallende visvijvers die nu nog in commercieel gebruik zijn, worden echter bekalkt en bemest, waardoor de oorspronkelijke vegetatie is verdwenen en zij gedomineerd worden door algen of door macrofyten die karakteristiek zijn voor eutroof en hard water (IUCN, 1997; Banach et al., 2010; Bruinsma & Voorn, 2008). In ondermeer Duitsland en Nederland wordt nu getracht de vroegere vegetatie van visvijvers te herstellen, waarbij onder andere periodieke droogval een van de herstelmaatregelen is (Bruinsma & Voorn, 2008).

FIGUUR 2.2 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). Het is bekend dat in uiterwaardplassen periodieke droogval de diversiteit van ondergedoken waterplanten stimuleert (Van Geest et al., 2001).

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; Peverly & Kopka, 1991), zoals *Potamogeton robbinsii*, *Nuphar spec.*, *Potamogeton natans*, *Myriophyllum spicatum*, en *Elodea canadensis* in de Verenigde Staten. De droogval vond voor dit doel in de winter plaats, zodat er uitdroging en bevriezing van zaden en diasporen plaats kon vinden (Cooke, 1980). Niet alle macrofyten vertonen echter een negatieve respons op winterdroogval; veel fonteinkruiden, nimfkruid, kranswieren en helofyten, zoals lisdoddes en riet worden juist gestimuleerd door de droogval. Droogval wordt daarom in verschillende landen (o.a. Duitsland, België, Verenigde Staten) 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).

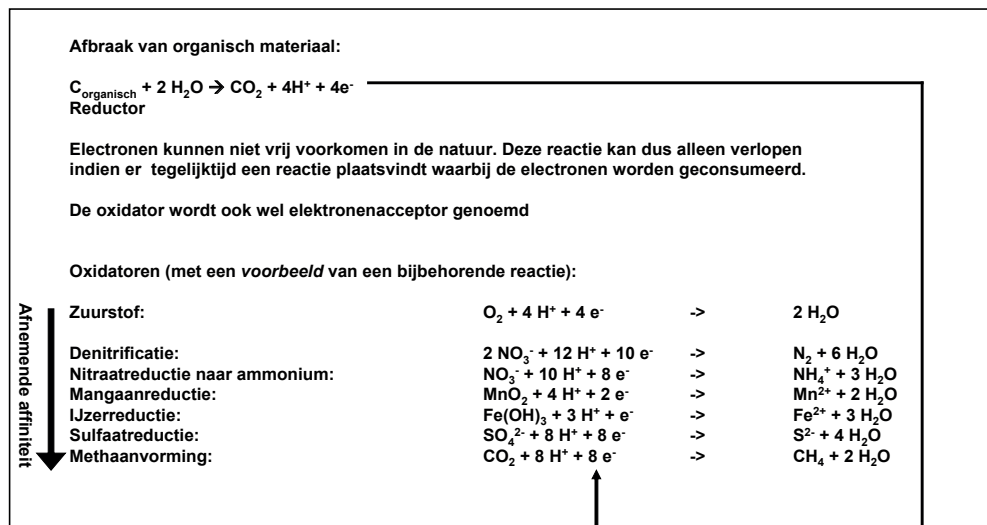
2.3 EFFECTEN OP DE WATER- EN BODEMKWALITEIT

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 2.3 en 2.4).

FIGUUR 2.3 PROCESSEN VAN ANAEROBE AFBRAAK VAN ORGANISCHE STOF MET AFNEMENDE REDOXPOTENTIAL. NAAR: STUMM & MORGAN (1981).



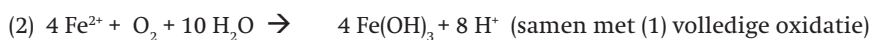
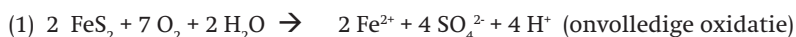
Binding van fosfaat

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.

De oxidatie van ijzersulfides kan volledig of onvolledig verlopen.

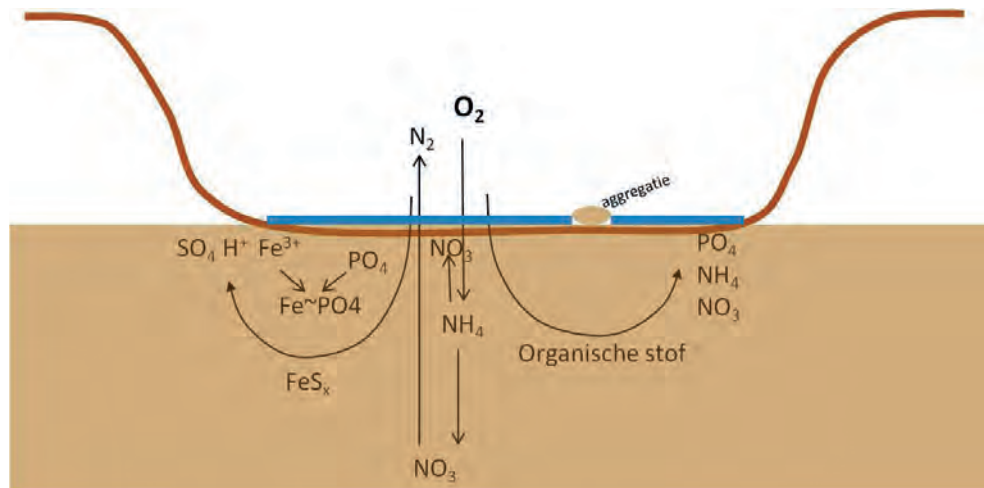
Wanneer de oxidatie onvolledig verloopt komt er ook gereduceerd ijzer vrij (reactie 1); bij een volledige oxidatie wordt ook het gereduceerde ijzer geoxideerd tot ijzer(III)hydroxides (reactie 1 en 2 samen). Een onvolledige oxidatie vindt plaats wanneer er maar weinig zuurstof in de bodem doordringt.



Door de vorming van ijzer(hydr)oxides neemt de bindingscapaciteit voor fosfaat enorm toe, waardoor er meer fosfaat in de toplaag van onderwaterbodem kan worden gebonden. Dit

blijft aan de toplaag van de bodem gebonden, totdat de reductie van ijzer en sulfaat zich opnieuw voltrekt. Vrij waterstofsulfide, dat in anaerobe waterbodems aanwezig kan zijn als alle ijzer is weggevangen door sulfide, is een stof die al bij lage concentraties voor planten en dieren giftig kan zijn (o.a. Smolders & Roelofs, 1996). Als het aanwezige waterstofsulfide wordt omgezet in sulfaat, is het niet meer giftig.

FIGUUR 2.4 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 anaerobe afbraak van organische stof in de onderwaterbodem komt ammonium vrij. Bij een hoge pH kan ammonium overgaan in ammoniak (NH_3). Tijdens droogval wordt ammonium geoxideerd tot nitraat. Dit nitraat kan naar de waterlaag diffunderen, maar kan dieper in de bodem, waar nog wel anaerobe 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.

Consolidatie

Bij droogval vindt consolidatie van het slib plaats. Hierbij verliest het slib zijn waterige karakter en klitten 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.

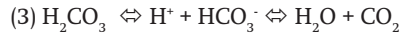
Omzetting toxische stoffen

In anaërobe waterbodems kunnen hoge concentraties sulfide, ammonium en ammoniak voor komen. 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.

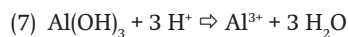
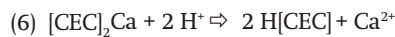
Mogelijke negatieve effecten van droogval

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, 2006b). Bij de oxidatie van gereduceerde

verbindingen als sulfide, ijzer en ammonium wordt zuur geproduceerd. Hoeveel effect dit heeft op de pH van de (water)bodem, is afhankelijk van de buffercapaciteit van de bodem. Bij een hoge bodem-pH zijn er vaak calcium- en magnesiumcarbonaten aanwezig en bevat het poriewater veel bicarbonaat en carbonaat. Het geproduceerde zuur reageert dan met dit (bi)carbonaat waardoor de pH weinig zal dalen



Zijn er geen (bi)carbonaten meer aanwezig, dan gaat buffering door het adsorptiecomplex van de bodem een rol spelen, gecombineerd met silicaatverwerking die in het hele pH-traject op kan treden (Ulrich & Sumner, 1991). Kationen aan dit adsorptiecomplex, zoals calcium en magnesium, wisselen dan uit tegen de gevormde H⁺-ionen (reactie 5). Bodems die weinig carbonaten bevatten en weinig basische kationen aan het adsorptiecomplex hebben, kunnen snel verzuren tijdens droogval. Uiteindelijk kan de pH zover dalen dat er ook aluminium(hydr)oxiden in oplossing gaan (met name bij pH < 4,5, reactie 7) en bij een nog verdere verzuring ook ijzer(hydr)oxiden (pH < 3) (Smolders et al., 2006b). Dit laatste komt slechts onder zeer uitzonderlijke omstandigheden voor. Wanneer het gebeurt, leidt het tevens tot een sterke mobilisatie van fosfaat omdat wanneer de ijzer (hydr)oxiden oplossen het hieraan gebonden fosfaat vrijkomt (Smolders et al., 2006b). 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 kunnen leiden tot het vrijkomen van meer nutriënten.

Bij de oxidatie van sulfides, ijzer(II) en ammonium, worden de elektronenacceptoren sulfaat en ijzer(III) en nitraat gevormd. Na hervernatting zijn deze elektronenacceptoren dus in hogere concentratie aanwezig dan voor de vernatting. Tenzij de onderwaterbodem zeer arm is aan organische stof (Loeb et al., 2007), is het meestal de concentratie van deze elektronenacceptoren die de afbraaksnelheid van organische stof bepaalt. Zo is het uit veel studies duidelijk dat hoe hoger de sulfaatconcentratie in de Nederlandse oppervlaktewateren is, hoe sneller de anaerobe afbraak van organisch materiaal verloopt (Smolders & Roelofs, 1995; Lamers, et al., 1998; Smolders et al., 2006a). Tijdelijke droogval kan dus leiden tot een stimulatie van de afbraak van organische stof tijdens de droogvalperiode én tot een verhoogde afbraak na hervernatting door hogere concentraties van bijvoorbeeld sulfaat in het oppervlaktewater.

2.4 EFFECTEN OP FYTOPLANKTON

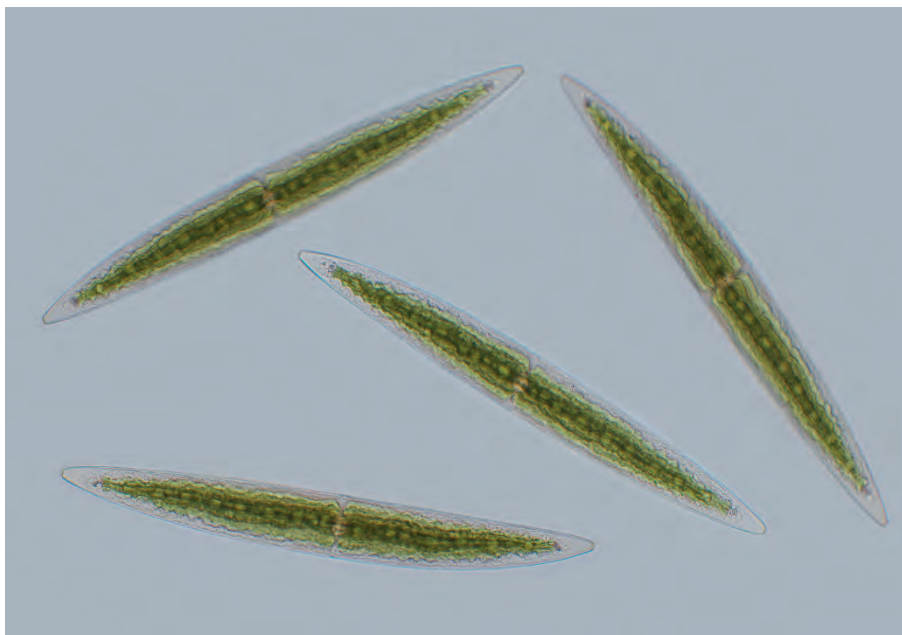
Effecten op fytoplankton

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 (o.a. Hosper et al., 1992; Meijer, 2000, van Nes et al., 2007). 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 2.5). Van bepaalde sialgen 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 2.5 *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).



2.5 EFFECTEN OP VEGETATIE

Uit de literatuur is bekend dat peilfluctuaties, die in ook kunnen leiden tot droogval van de oeverzone of waterbodem, 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 (figuur 2.6);
- 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; Peverly & 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, nimfkruid, 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 droogvallende 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 herhalingsduur 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 2.6

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



2.6 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).

2.7 EFFECTEN OP VISSSEN

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 en 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 uiteraard 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. Desondanks zijn er vissoorten die ook onder deze omstandigheden kunnen overleven. In wateren met een sterke peilfluctuatie worden vaak visgemeenschappen met stekelbaars (*Gasterosteus aculeatus*) en zeelt (*Tinca tinca*) aangetroffen. Ook een soort als de grote modderkruiper (*Misgurnus fossilis*) is goed bestand tegen lagere zuurstofconcentraties en kan hiermee net als eerder genoemde soorten perioden met lagere waterpeilen (gedeeltelijke droogval) overleven.

Tijdelijke en beperkte droogval kan ook leiden tot tijdelijk verlies van habitats in een watersysteem. 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 (Yamamoto *et al.*, 2006; Paller, 2011).

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, 2011). 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. Cowx et al., (2006) namen in een bovenloop waar dat bij het ver uitzakken en gedeeltelijk droogvallen van de waterloop een volledige jaarklasse aan jonge zalm verloren ging. Na een droogvalperiode kan ook herstel van de visgemeenschap optreden (Paller, 2011).

Kolonisatie door watervogels

Er zijn enkele onderzoeken gepubliceerd waarin wordt beschreven dat watervogels macrofyten (zaden en planten), eieren van zoetwaterkreeften en levende evertbraten (in veren en darmtractus) kunnen verspreiden (Figuerola et al, 2005; Figuerola & Green, 2002; Proctor, 1964). Er wordt hierin echter geen melding gemaakt over de eventuele verspreiding van visseneieren door vogels. Tijdens het zoeken naar eten kunnen naast plantendelen en invertebraten ook visseneieren aan bijvoorbeeld de poten of veren van vogels blijven zitten. Als vogels zich vervolgens verplaatsen naar een geïsoleerd waterlichaam, bestaat de mogelijkheid dat vissen het water herkoloniseren. Daarnaast kunnen watervogels ook visseneieren meenemen via waterplanten die gebruikt worden als voedsel of voor de bouw van een nest.

Kolonisatie door overstromingen

Naast watervogels kunnen overstromingen ook een belangrijke factor zijn in de herkolonisatie van geïsoleerde waterlichamen. Via overstromend water kunnen volwassen vissen, juvenielen, larven en eieren verplaatst worden (o.a. van Geest et al., 2005).

Kolonisatie door mensen

De invloed van mensen op de herkolonisatie van waterlichamen kan zeer groot zijn. In Nederland worden regelmatig waterplanten en vissen uit vijvers en aquaria in het buitenwater uitgezet. Daarnaast worden vissen en waterplanten, door bijvoorbeeld sportvissers en spelende kinderen verplaatst van het ene naar het andere waterlichaam.

2.8 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 waterbarriere 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, Sprandel et al., 2009). 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

3.1.1 ECOLOGIE EN WATERKWALITEIT

- I. *Wat is het effect van tijdelijke droogval op de fysisch-chemische en biologische waterkwaliteit?*
- II. *Hoe moet de maatregel tijdelijke droogval worden uitgevoerd in termen van duur en periode?*
 1. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbare waterkwaliteitsverbetering binnen de kaders van de KRW?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot een verhoging van de maatlatscores van één of meerdere biologische kwaliteitselementen*?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot een toename van het araal en diversiteit aan water- en/of oeverplanten?
 - c. Leidt tijdelijke droogval tot veranderingen in de macrofaunagemeenschap?
 - d. Leidt tijdelijke droogval tot veranderingen in de fytoplanktensamenstelling?
 2. Leidt tijdelijke droogval tot een verbeterde chemische waterkwaliteit?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot immobilisatie van fosfaat en een meetbaar lagere fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbaar hogere afvoer van stikstof uit de waterbodem?
 - c. Leidt tijdelijke droogval tot mobilisatie van zwavel, waardoor netto afvoer mogelijk wordt?
 3. Leidt tijdelijke droogval tot consolidatie van de waterbodem?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbaar verlaagd gehalte zwevend stof (gesuspenderde sedimentdeeltjes) in het oppervlaktewater?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbare verbetering van het doorzicht?
 4. Hoe lang moet de droogvalperiode duren zodat positieve effecten optreden?

5. In welk seizoen moet de droogval worden toegepast zodat positieve effecten optreden?
- a. Treden er bij droogval in voorjaar, zomer, herfst of winter dezelfde effecten op?

*De biologische kwaliteitselementen betreffen vis, macrofauna, macrofyten en fytoplankton

3.1.2 NEGATIEVE EFFECTEN EN SCHADE

- I. *Treden er als gevolg van tijdelijke droogval negatieve effecten op?*
- II. *Leidt tijdelijke droogval tot maatschappelijke schade?*
1. Leidt tijdelijke droogval tot een verslechtering van de waterkwaliteit?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot extreme verzuring?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot een verhoogde afbraak van organische stof?
 - c. Leidt tijdelijke droogval tot mobilisatie van nutriënten?
 - d. Leidt tijdelijke droogval tot een vermindering van voorkomen en diversiteit van soorten?
 2. Leidt tijdelijke droogval tot schade aan voorzieningen in de directe omgeving?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot verlaging van grondwaterstanden waarbij schade aan voorzieningen kan ontstaan?
 - b. Leidt tijdelijke droogval in de directe omgeving tot veranderingen in de bodem?
 - I. *Leidt tijdelijke droogval tot het verzakken van oevers?*
 - II. *Leidt tijdelijke droogval tot bodemdaling (waterbodem en omgeving)?*
 - III. *Leidt tijdelijke droogval tot bodeminstabiliteit?*

3.1.3 UITVOERBAARHEID EN KOSTENEFFECTIVITEIT

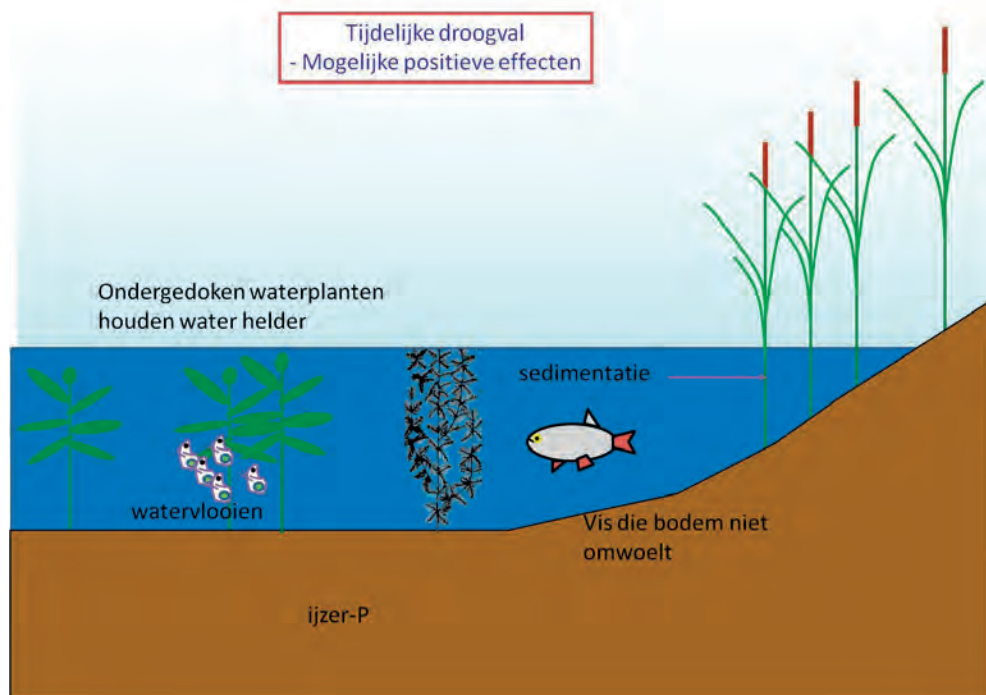
- I. *Is tijdelijke droogval praktisch en technisch uitvoerbaar voor watersystemen in Nederland?*
- II. *Is tijdelijke droogval een kosteneffectieve maatregel?*
1. Is tijdelijke droogval vergunbaar?
 2. Is tijdelijke droogval ten opzichte van andere maatregelen goedkoper?

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.

FIGUUR 3.1 MOGELIJKE POSITIEVE EFFECTEN VAN TIJDELIJKE DROOGVAL.

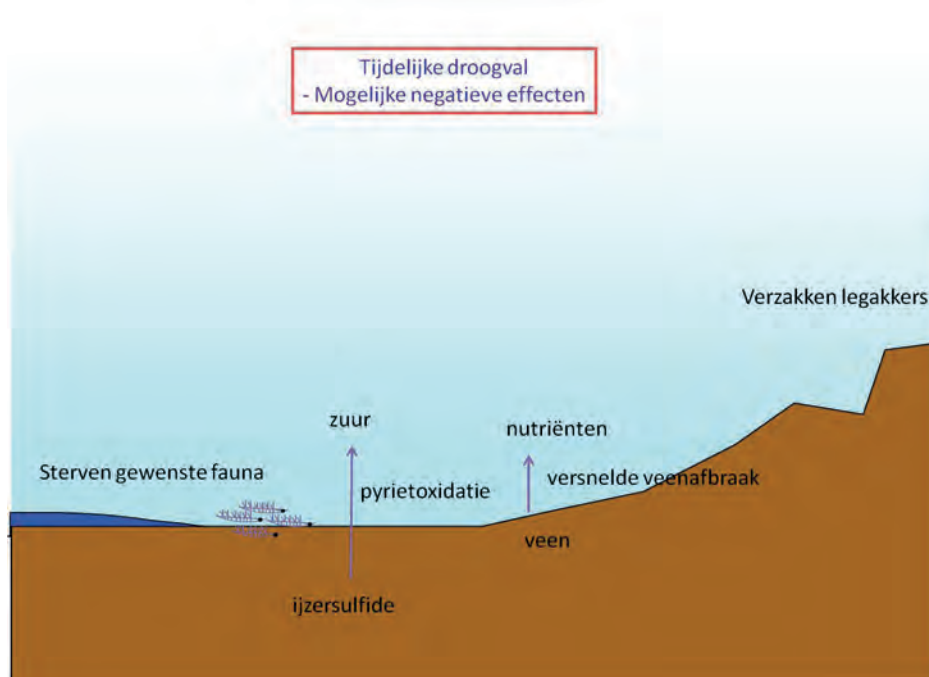


Negatieve effecten en schade

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 op (recreatie, aan- en afvoer, transport). Dit kan leiden tot economische schade.

Naast directe effecten kan er indirect 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 3.2 MOGELIJKE NEGATIEVE EFFECTEN VAN TIJDELIJKE DROOGVAL.

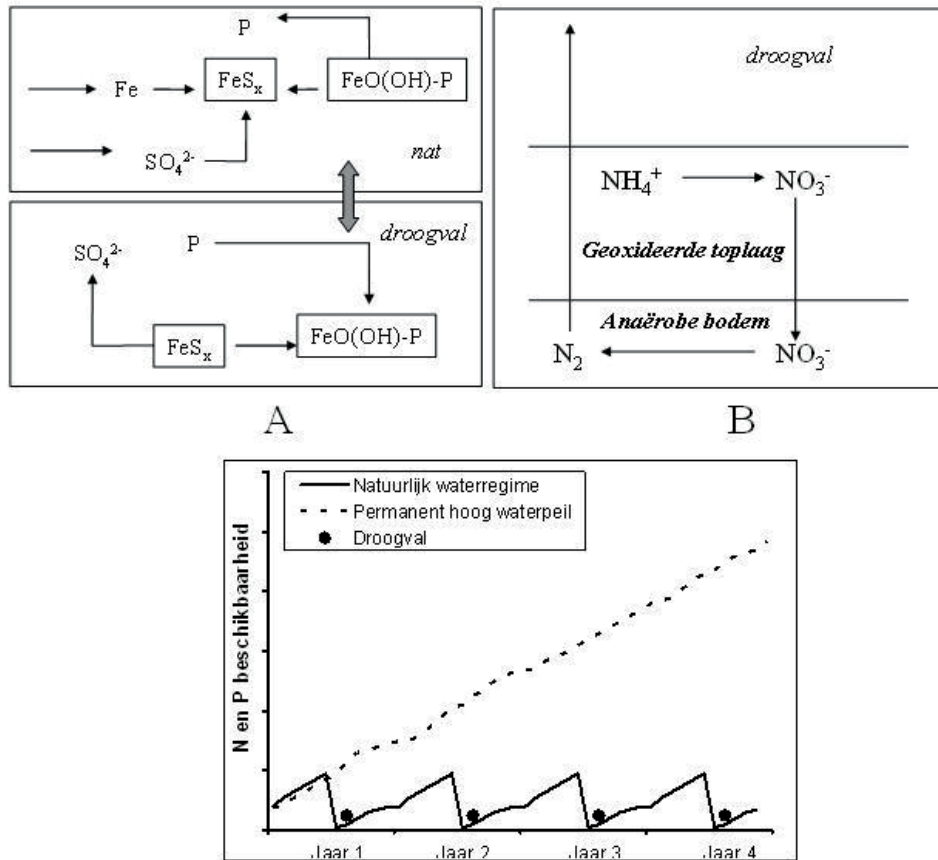


Uitvoerbaarheid en kosten-effectiviteit

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

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 worden de kosten weer afgezet tegen de kosten 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.

FIGUUR 3.3 HET EFFECT VAN WATERPEILREGIME OP DE BESCHIKBAARHEID VAN DE NUTRIËNTEN STIKSTOF EN FOSFOR: EEN NATUURLIJK WATERPEILVERLOOP MET DROOGVALPERIODE VERSUS EEN GECONTROLEERD STABIEL WATERPEIL (SMOLDERS ET AL., 2006).



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 fase van goede waterkwaliteit.

4

VOORBEREIDING EN UITVOERING MAATREGELLEN

4.1 BESCHRIJVING 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 VELD- EN LABORATORIUMONDERZOEK

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	-

4.1.1 LALLEWEER

De plas Lalleweer (Gr) bevindt zich in Gemeente Delfzijl, aan het Termunterzijldiep. De plas ligt in een zeekleigebied en heeft ook een waterbodem die uit zware zeeklei bestaat (figuur 4.1). De plas maakt onderdeel uit van een klein natuurgebied dat bestaat uit jong bos, struiken en ruigte. De kleiplas wordt omringd door brede rietgordels waarin riet domineert. Lisdodde en mattenbies komen af en toe voor. Rondom de plas bevindt zich een zone pitrus en in het ondiepe water werden eerder gewoon sterrenkroos en kransvederkruid (persoonlijke mededeling Staatsbosbeheer) waargenomen. De meest kenmerkende vogelsoorten die er broeden komen voor in het aanwezige rietland. Dit betreft soorten als: koekoek, rietzanger, blauwborst en bruine kiekendief. In sommige jaren werd een roerdomp gemeld. In de plas pleisteren jaarrond regelmatig vrij kleine aantallen eenden, met name wilde eend, kuifeend, wintertaling, krakeend, slobend.

De plas is omstreeks 1994 gegraven in opdracht van de deelgebiedscommissie Oldambt. Die commissie maakte deel uit van het project “herinrichting Oost-Groningen”. Op de kaart van het beplantingsplan van april 1993 staat een bos gepland met een te graven plas met een diepste punt van N.A.P. -3,20 m, terwijl de hoogte van het omliggende terrein ongeveer N.A.P. -1,80 m gesteld is. Vermoedelijk is eerst de plas uitgegraven en daarna het bos aangeplant. Op 1 januari 2002 zijn plas en omliggend bos in eigendom overgegaan van het BBL (Bureau Beheer Landbouwgronden) naar Staatsbosbeheer. Gedurende de winterperiode blijft de plas door neerslag goed op peil terwijl er in de zomer bij langdurige droogte water uit de omliggende boezem wordt ingelaten om de verdamping (en wegzijging) te compenseren. Zonder inlaat zou in droge zomers de plas kunnen droogvallen. Het verschil tussen zomer- en winterpeil is bij dit peilbeheer ongeveer 20 cm.

FIGUUR 4.1

LALLEWEER

Voor wat betreft de waterkwaliteit of het ecologisch functioneren in de periode voor aanvang van dit onderzoeksproject zijn nauwelijks gegevens beschikbaar.

4.1.2**WOUDBLOEM**

De plas Woudbloem aan de zuidzijde van de Veenlaan ten westen van Slochteren is vermoedelijk in 2004 aangelegd en in 2005 opgeleverd (figuur 4.2). De plas maakt deel uit van het project “Natuurbouw Dannemeer” in het deelgebied “Woudbloem Ae” en aangelegd op voormalige akkerbouwgrond op een zandige bodem.

Het beheer wordt sinds de overdracht uitgevoerd door Staatsbosbeheer. Het grootste deel van de plas is per 8 juli 2011 in eigendom overgedragen aan die instantie, maar de oostflank is nog steeds in andere handen. Het diepste punt van de plas ligt ongeveer N.A.P. -3 m. Door de plas loopt een voormalige sloot waarin riet groeide. Dit is na twee jaar nagenoeg verdwenen. Het peil in de plas fluctueert vrij sterk waardoor een relatief groot deel van de flauwe oevers in de zomer droogvalt. Er komen sinds het ontstaan nauwelijks waterplanten voor. Af en toe

is gewoon sterrekroos gemeld en langs de oever naaldwaterbies.

Op de plas rusten regelmatig vrij grote aantallen eenden en ganzen. In de zomer grazen in het perceel koeien die ook de droogvallende – en ondiepe oever veelvuldig betreden.

Via een lange weg komt ingelaten water uit de boezem ook bij deze plas terecht.

FIGUUR 4.2

WOUDBLOEM**4.1.3****DE DEELEN**

Het 'moerasgebied' De Deelen ligt in het lage Midden van Friesland ten noordoosten van Heerenveen aan de westflank van het Drents Plateau (figuur 4.3). In tegenstelling tot de vroegere situatie ligt het gebied tegenwoordig hoger dan de landbouwgronden in de omgeving. Rond 1850 behoorde het hooilandgebied van De Deelen (het gebied ten noorden van de Hooivaart) nog tot de vrij afwaterende boezemlanden. In de periode 1850-1930 zijn grote delen van dat Friese boezemland omgevormd, eerst tot zomerpolder, later tot winterpolder. Vanaf circa 1960 startte de diepontwatering in het Lage Midden van Friesland.

FIGUUR 4.3 DE DEELLEN: LUCHTFOTO UIT 2010

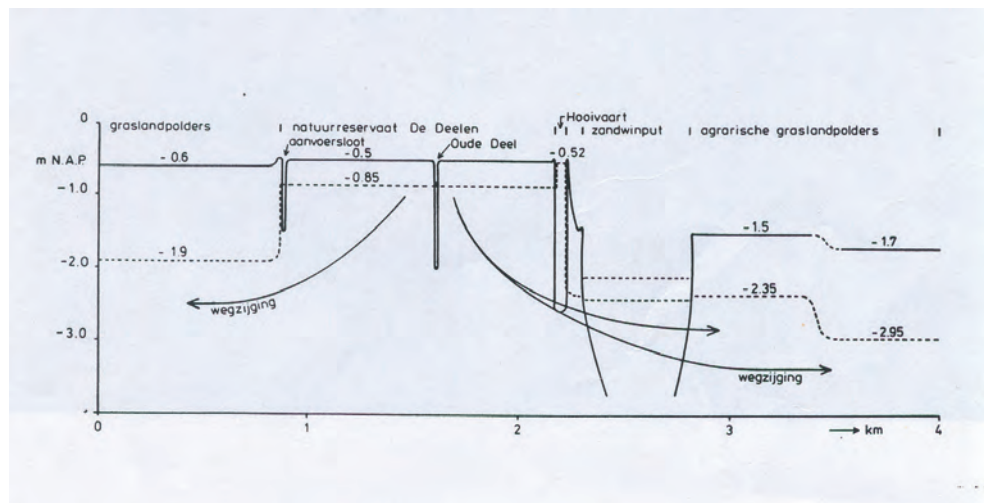


Het gebied, ongeveer 465 ha groot, is grotendeels in beheer bij Staatsbosbeheer, waarbij de eerste aankopen plaatsvonden midden jaren '60. Slechts een klein gedeelte, ongeveer 35 ha, is in particulier bezit. Ongeveer 50% is oppervlaktewater en bestaat uit petgaten en legakkers en twee doorgaande vaarten. Rond 1920 startte de vervening in dit jonge petgatengebied. Op beperkte schaal wordt nog steeds veen afgegraven voor de potgrondindustrie. Hierbij worden de resterende graslanden grotendeels omgevormd tot rechte noord-zuid gelegen petgaten. Andere terreintypen, in afnemende oppervlakte, zijn grasland, moeras/legakkers en rietland.

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.

In het hele gebied treedt wegzijging op, gemiddeld zo'n 0,55 à 0,65 mm/d (Iwaco, 1990). Er is geen sprake van lokale kwel. De gemiddelde maaiveldhoogte in het gebied is circa -0,5 tot -0,1 m NAP (figuur 4.4).

FIGUUR 4.4 SCHEMATISCHE DWARSDOORSNEDE VAN DE DEELLEN EN NABIJE OMGEVING MET HOOGTEN VAN HET MAAIVELD EN FREATISCHE WATERPEILEN.



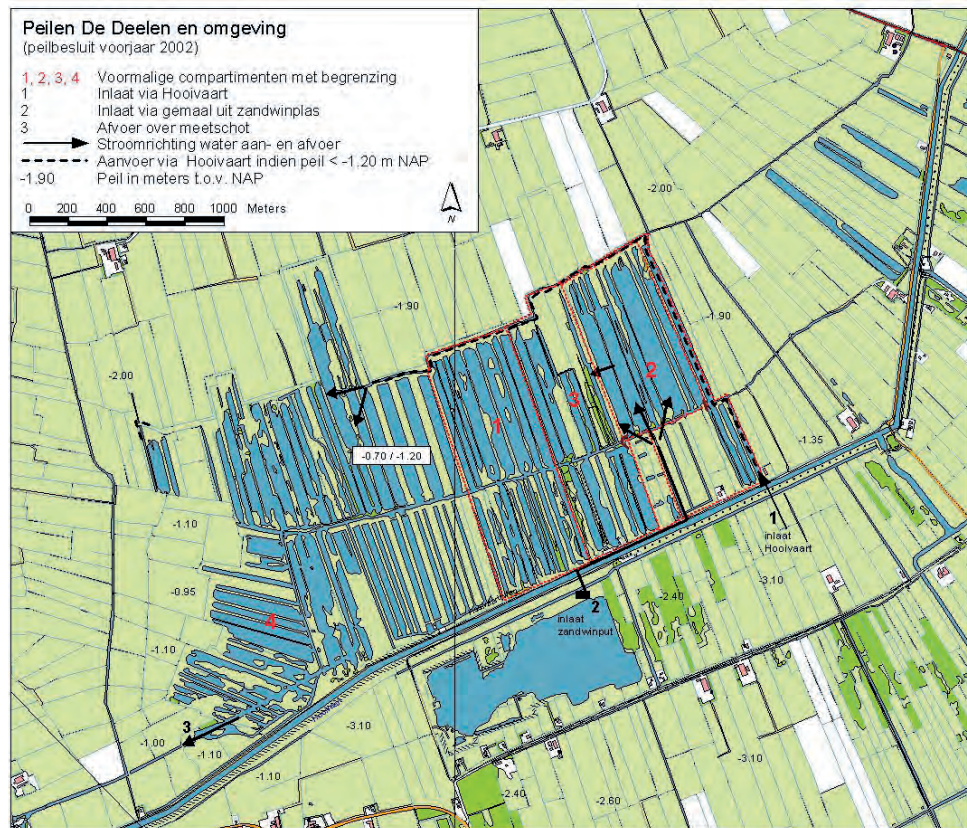
Ten zuiden van de Hooivaart ligt een zandwinplas waaruit water met een grondwaterachtig karakter wordt onttrokken in de zomer voor handhaving van het streefpeil in het natuurgebied. Het water wordt vanuit het epilimnion opgepompt middels een gemaal en onder de Hooivaart doorgeleid naar De Deelen. Echter als het waterpeil in de zandwinplas beneden een bepaald niveau komt wordt er boezemwater vanuit de Hooivaart ingelaten. Dit boezemwater heeft een zwak grondwaterachtig karakter doordat het water ontvangt vanuit de nabijgelegen kwelpolders. 's Winters is er een neerslagoverschot, waarbij zowel afvoer naar de oost- als (indien noodzakelijk) westkant via overlaten over stuwen plaatsvindt.

De Deelen heeft de status Wetland (Ramsar Conventie 1971) en is aangewezen als Natura-2000 en vogelrichtlijngebied.

Waterpeil

Het gebied wordt gevoed met regenwater en oppervlaktewater. In het gehele reservaat werd vanaf 1981 t/m 2001 een waterpeil gehanteerd van -0.90 m NAP (figuur 4.5). Door het instellen van het nieuwe peilbesluit van 2002 wordt vanaf 2003 in het natuurgebied een natuurlijk flexibeler peil mogelijk, waarbij gestreefd werd naar een variabel peil met een maximale bandbreedte van -1.20 m NAP in de zomer tot een peil van -0.70 m NAP in de winter. Echter, onder invloed van het variabele peil zijn de oevers van de legakkers in acht jaar tijd behoorlijk aangetast. Sinds het in werking stellen van het nieuwe peilbeheer vindt er een gestage afkalving van de oevers van de legakkers plaats. Door de lagere waterstand staat het talud langer droog, waardoor oxidatieprocessen plaatsvinden. Vanaf 2011 wordt de afkalving van de legakkers gemeten. Hiervan zijn op dit moment nog geen gegevens beschikbaar. De meeste legakkers in "De Deelen" liggen noord-zuid met aan de westkant van het natuurgebied legakkers die noordwest-zuidoost gelegen zijn. De heersende wind komt vanuit zuidwest en veroorzaakt een golfbeweging die grote invloed heeft op de legakkers. 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 4.5 WATERHUIshouDING DE DEELen



Herstelmaatregelen

Vanaf 1987 zijn in De Deelen verschillende herstel- en inrichtingsmaatregelen uitgevoerd die geen van allen (noch afzonderlijk, noch in combinatie) geleid hebben tot een dramatische snelle verbetering van de waterkwaliteit. Het gebied reageert traag en redelijk uniform op herstelmaatregelen door homogeniteit en negatieve feedback mechanismen, met weerstand tegen veranderingen. Herstelmaatregelen binnen het gebied dienen eerder gericht te worden op een directe sturing van de biotische respons (zoals het bevorderen van waterplantengroei of het verminderen van de benthivore vis).

Vanaf 1987 is er in het gebied op projectmatige wijze (waterkwaliteit)onderzoek uitgevoerd. In de periode van 1992 tot 1995 volgde in drie fasen de eerste reeks herstelmaatregelen. In 1992 Regiwa (Regionaal Integraal waterbeheer) fase 1. In deze fase werd de externe belasting van het gebied aangepakt. Het gebied werd verdeeld in vier deelgebieden, ieder met een eigen watervoorziening (water vanuit de boezem, vanuit de zandwinplas en via een speciaal hiervoor aangelegd helofytenfilter). Door het niet werken van het helofytenfilter is deze vanaf 1998 niet meer als zodanig in gebruik (Wetterskip Fryslân, 2003). Regiwa fase 2 (1993-1994) richtte zich op het terugdringen van interne belasting. Er is gebaggerd in een aantal petgaten aan de oostkant van het gebied en in twee petgaten zijn onderwater slibschermen aangebracht. In de winter is in één van de vier deelgebieden de visstand uitgedund en is er een viskerende borstel geplaatst. Deze borstel is wegens tegenvallende resultaten in 1997 verwijderd. In Gebeve (Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging) fase 3 (1995) is de verdrogingsproblematiek aangepakt. Op verschillende plaatsen zijn beschoeiingen aangebracht en kades opgehoogd. Er is gebaggerd in de westkant van het gebied. Ook zijn er in deze periode meetstuwten geplaatst om de water in- en uitlaat te meten (Claassen, 2003).

Sinds 2000 zijn er weer herstelmaatregelen in het gebied uitgevoerd. Hierbij is onder andere de in 1992 ingestelde compartimentering opgeheven. Verder is de waterinlaat vanuit de zandwinplas toegenomen door vergroting van de capaciteit van het gemaal en is er een natuurlijker peilbeheer ingesteld, met een jaarlijkse fluctuatiemogelijkheid van maximaal 50 cm, van minimaal -1,20 m NAP in de zomer tot maximaal -0,70 m NAP in de winter. De slibschermen zijn inmiddels ook verwijderd.

In vier petgaten, twee in het noordelijke deel van het gebied en twee in het zuidelijke deel van het gebied, is in maart 2004 actief biologisch beheer (ABB) toegepast. Om de waterkwaliteit te verbeteren zijn twee petgaten leeg gevist en in de andere twee is een standaard visstand achtergelaten. Daarnaast zijn er in elk petgat twee series van vier enclosures aangebracht, waarin waterplanten zijn uitgezet. Hierbij wordt gekeken of de waterplanten kunnen overleven en zich eventueel uitbreiden in het petgat. Wanneer er ondergedoken waterplanten in de petgaten voorkomen, kan er verlanding plaatsvinden. Die verlanding stagneert tot nu toe (Rijkens, 2008).

Het leegvissen en/of terugzetten van standaardpopulatie vis lijkt geen invloed te hebben gehad op de groei van de (geënte) planten. De uitkomst was niet het verwachte verschil tussen de leeggeviste en de standaardvis petgaten. De mate van uitdunning had zeker direct na de afissing een effect moeten sorteren in de helderheid indien het troebel zijn van het water toe te schrijven was aan bodemwoelende vis. Het bestand planktivore en benthivore vis was voor de uitdunning mogelijk al te laag om een negatief effect te kunnen hebben op de waterkwaliteit. De oorzaak van de stabiele situatie met laag doorzicht en weinig waterplanten in De Deelen is op basis van het visstandonderzoek niet duidelijk te geven. Het feit dat het doorzicht niet heeft gereageerd op het verwijderen van vis duidt erop dat het verbeteren van de waterkwaliteit in De Deelen niet via de weg van visstandbeheer kan verlopen. De hydromorfologische verschillen tussen de noordelijke en de zuidelijke petgaten lijken eerder een rol te spelen (Rijkens, 2008).

Waterkwaliteit

De hoge nutriënten- en de daaruit volgende hoge chlorofylgehalten worden voor een belangrijk deel bepaald door interne eutrofiëring. In grote lijnen is de dalende trend in chloride-, fosfaat- en stikstofgehalten opvallend, terwijl dat niet geldt voor het (min of meer gelijkblijvende) chlorofylgehalte. Het chlorofylgehalte is relatief hoog, hoger dan in het boezemwater. De aanwezigheid van blauwalgdrijflagen bevestigt de aanwezigheid van eutrofe stoffen in het gebied. Er is een langzame verbetering in waterkwaliteit (afname van trofiegraad) waarneembaar.

De watervegetatie met *Nymphaea alba*, *Nuphar lutea* en *Potamogeton natans* was in het verleden zeer algemeen en is kenmerkend voor matig voedselrijk tot voedselrijk water. Gaandeweg is *Nuphar lutea* beeldbepalend geworden. In een enkel petgat werd *Hottonia palustris* gevonden. Drijftillen en kraggen komen nauwelijks voor. Nalevering van nutriënten uit de bodem (interne eutrofiëring) en golfslag veroorzaakt door de wind in combinatie met de grootte en diepte van de petgaten zorgen ervoor dat het water in beweging en troebel blijft, waardoor het licht niet tot op de bodem kan doordringen. De onderwatervegetatie kan zich onder deze omstandigheden niet ontwikkelen in De Deelen (Thannhauser-Douwma, 2010). Er zijn proeven uitgevoerd waarbij een aantal petgaten werden afgesloten van 2003 t/m 2006. In de noordelijke diepe was de bedekking van de onderwatervegetatie nog steeds kleiner dan 1%, terwijl in de zuidelijke petgaten die minder diep zijn een explosieve

groei van *Elodea nuttallii* en *Potamogeton obtusifolius* plaatsvond (bedekking max 80%). Echter na verwijderen van de schermen verdween ook grotendeels de onderwatervegetatie. In 2011 is een groot deel van De Deelen bedekt met een weelderige onderwatervegetatie waarbij *Elodea nuttallii* dominant was, gevolgd door *Potamogeton obtusifolius*. Deze situatie heeft kunnen ontstaan doordat het voorjaar van 2011 gekenmerkt werd door veel zon en weinig wind. Hierdoor was er weinig opwerveling vanaf de bodem, kon het daglicht tot op de bodem doordringen en de vegetatie zich ontwikkelen. In het voorjaar van 2012 waren de weersomstandigheden minder gunstig dan in 2011, wat zijn weerslag had op de onderwatervegetatie: beduidend minder dan in 2011, maar toch meer dan in de situatie voor 2011. Bekend is dat er in het verleden (1946) veel krabbenscheer in De Deelen voor kwam waar veel Zwarte sterns broedden. De krabbenscheer was uiteindelijk verdwenen in 1990 en daarmee ook de Zwarte stern. In 1992 zijn nestvlotjes uitgezet in een paar petgaten waardoor deze vogel terugkeerde in het gebied. Vanaf 2003 komt er weer Krabbenscheer in het centrale deel van De Deelen voor dat zich tot nu toe nog ieder jaar uitbreidt. Na een aantal jaren van afwezigheid is in 2011 en 2012 is weer *Potamogeton natans* aangetroffen.

4.1.4

ROTTIGE MEENTE

Het laagveengebied de Rottige Meente ligt ten zuidwesten van Wolvega in het oostelijke deel van de Grote Veenpolder (figuur 4.6). De Rottige Meente behoort tot de grootste laagveenmoerasgebieden in Friesland. Sinds 1955 zijn door Staatsbosbeheer percelen in de Rottige Meente aangekocht. Door de aankoop van landbouwgronden in de jaren '90 in het gebied is een groot natuurgebied ontstaan. 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.

FIGUUR 4.6

ROTTIGE MEENTE: LUCHTFOTO UIT 2010



Vanaf het Holoceen ontstond in een lange periode met jaarrond overvloedig zoet water een dik veenpakket. Het is een mix van rietveen, zeggeveen en lokaal veenmosveen. Het veenpakket varieert per locatie. Bij de Linde is er op plaatsen sprake van 3 meter veen. Tot aan de Pieter Stuyvesantweg (N351) loopt het geleidelijk omhoog tot een veenlaag van 2,5 meter. En ten noorden van deze weg is het veen 1,0 tot 1,5 meter dik. Dwars door het gebied loopt een zandrug.

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.

Vanaf eind 19^e 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. Vanaf de 19^e eeuw zijn verveende gebieden omgevormd tot cultuurgrond. Ten behoeve hiervan werden gronden drooggelegd en ontgonnen. Vanaf de jaren zestig is het graslandgebruik in de Rottige Meente intensiever geworden met een hoge mestgift, nadat de ontwatering van de Grote Veenvolder was verbeterd. Na de vervening is de omgeving van het reservaat ontgonnen voor graslandgebruik (Klooker 1994). De polders worden diep ontwaterd en liggen aanzienlijk lager dan de Rottige Meente waardoor het water uit de Rottige Meente wegzijgt naar deze poldergebieden. Na de vervening zijn in de periode van 1989 t/m 1998 op diverse plaatsen nieuwe petgaten gegraven.

Van oudsher is de Rottige Meente een kwelgebied. Uit (geo)hydrologisch onderzoek is gebleken dat het gebied op regionale schaal gezien water ontvangt via een kwelstroom vanaf de hogere gronden. Er zijn geen aanwijzingen voor kwel van diep grondwater.

Door ontwatering vanaf 1850 van de aangrenzende en Echtener- en Grote Veenvolder raakte het waterbeheer in het gebied Rottige Meente en de directe omgeving in onbalans. Veenoxidatie in deze polder zorgde sinds deze ontwatering van de omgeving voor wegzijging van grond- en oppervlaktewater uit het gebied. Dit proces werd nog versterkt door de aanleg van de Noordoostpolder en de diepe ontwatering ten behoeve van de landbouw. Er was sprake van wegzijging van water van het ‘oude land’ omdat er hier - in tegenstelling tot andere plaatsen - geen randmeer als buffer is aangelegd. De diepontwateringen zijn rond 1985 zijn opgeheven.

In 1997 is de Rottige Meente (Zuid-Friesland) samen met Noordwest-Overijssel aangewezen als herintroductiegebied voor de otter, waarvoor de ecologische verbindingzone is gerealiseerd. 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 watervegetatie is in de Rottige Meente relatief groot. De verdeling van watervegetatie over het gebied is divers. In bepaalde petgaten zijn bijzondere waterplanten aanwezig, terwijl in andere petgaten geen waterplanten voorkomen. De associatie van Witte waterlelie en Gele plomp (*Myriophyllo-Nupharetum*) en de Watergentiaan-associatie (*Potameto-Nymphoidetum*) die tot de matig ontwikkelde vormen van het habitattyp

gerekend worden, komen veel voor. Karakteristieke moeras- en waterplanten zijn Bronmos, Krabbescheer, Groot blaasjeskruid, Waterviolier en verschillende soorten Fonteinkruiden en Kranswieren. Vroeger kwamen deze typen veel algemener voor, maar door eutrofiëring en afname grondwaterinvloed zijn ze sterk in areaal afgenomen. Voor broedvogels is het reservaat van internationale betekenis. Vrijwel de gehele voor de Nederlandse laagveenmoerassen karakteristieke vogelgemeenschap is aanwezig, waaronder de Grauwe gans, Zwarte stern, Aalscholver, Bruine Kiekendief, Roerdomp en de Purperreiger. In de winter is het een fourageer- en rustgebied voor ganzen en smienten. Het reservaat is tevens van belang in verband met de aanwezigheid van een van de belangrijkste populaties van de ringslang in Friesland. In de Rottige Meente komt een vaste populatie van de zeldzame Grote vuurvlied voor die hoge eisen stelt aan zijn leefgebied.

Waterpeil

Het gehele natuurreservaat ligt beneden NAP. In het centrale deel van het reservaat wordt sinds 1974 een op isolatie gericht peilbeheer gevoerd. Hier wordt gedurende het hele jaar een peil gehanteerd dat hoger is dan het Scheenepeil. Na de winterperiode wordt zo lang mogelijk geprobeerd een hoog peil van -0.90 m NAP tot -1.00 m NAP, met een maximum van -0.85 m NAP vast te houden. In de zomer zakt het peil in de petgaten langzaam uit tot minimaal -1.25 m NAP., waardoor de aanvoer van water zoveel mogelijk beperkt wordt. De Rottige Meente heeft geen eigen actueel peilbesluit. Het peil wordt over talrijke kleine gebiedjes door de beheerder Staatsbosbeheer zelf gereguleerd vanwege de grote variatie in grondgebruik. Een deel van de gronden werd onderbemalen. Inmiddels zijn de meeste onderbemalingen opgeheven. Sinds eind jaren tachtig wordt in het grootste gedeelte van het natuurreservaat gestreefd naar het Scheenepeil, een vast peil van -1,10 m NAP. In veel gevallen is door agrarisch gebruik van grasland een peil ingesteld dat altijd lager is dan het Scheenepeil. Dit peil wordt in 2011 nog steeds gehanteerd door Staatsbosbeheer.

Waterhuishouding

In de Rottige Meente was sprake van kwel van diep, regionaal kalkrijk grondwater. Vanaf de dertiger in de vorige eeuw jaren kwelgebied omgeslagen naar een infiltratiesituatie, waarbij de kwel werd afgevangen door de diep ontwaterde polders in de omgeving en de Noordoostpolder. Eind tachtiger jaren was er plaatselijk nog sprake van lokale kwel. Door de inzijgsituatie is er geen aanvoer meer van mesotroof, kalkrijk diep grondwater. Doordat er in de Rottige Meente sprake is van een inzijgingssituatie is het noodzakelijk dat gedurende de zomermaanden water vanuit de Friese boezem en vanuit Noordwest Overijssel wordt ingelaten. Deze aanvoer vindt plaats door middel van verschillende aanvoerroutes: de Scheene, de Helomavaart, de Driewegsluis en de Linde (Boer, 2010). De Helomavaart ontvangt water vanuit het Tjeukemeer dat gevoed wordt door het IJsselmeer. De linde wordt nu alleen nog gevoed door water vanuit de kop van Overijssel. De Scheene en de in open verbinding staande wateren zijn eutroof. De aanvoerroute vanuit de Linde is niet optimaal omdat de waterkwaliteit hiervan slechter is dan van de Helomavaart.

Legakkers

De legakkers in de "Rottige Meente" liggen noordwest-zuidoost. De heersende wind komt vanuit zuidwest, waardoor bepaalde legakkers onder sterke wind beïnvloedt worden door de golfslag. De afgelopen jaren zijn al veel smalle legakkers weggeslagen. Hierdoor is het areaal open water vergroot, waardoor de golfslag ten gevolge van de windwerking nog meer invloed heeft op de nog aanwezige legakkers. Echter is dit niet de enige factor die van invloed is op de afkalving van de legakkers. Ook waterpeil, waterbodem, taludhellingen van de legakkers,

diepte van de petgaten, doorzicht, waterkwaliteit, enzovoorts kunnen de kwaliteit van de legakkers beïnvloeden.

Herstelmaatregelen

Vanaf 1989 zijn in de Rottige Meente de eerste herstelwerkzaamheden uitgevoerd. Sinds eind jaren tachtig wordt er in het natuurgebied in het voorjaar al water ingelaten omdat dan de waterkwaliteit beter is dan later in het jaar met als doel optredende verdroging te compenseren. Het merendeel van het ingelaten water komt uit de Helomavaart en stroomt in het oosten via een aantal rietfilters naar het kerngebied. Aan de oostzijde wordt water vanuit de Helomavaart ingelaten op de Scheene, dat van hieruit op verschillende manieren in het gebied wordt geleid. Ingelaten water vanuit de Linde wordt door twee oude rietfilters geleid. In zeer droge periodes kan het water rechtstreeks vanuit de Linde worden ingelaten. Om het areaal open water te vergroten zijn in 1989 een viertal met elkaar in verbinding staande petgaten gegraven en een aantal dichtbegroeide petgaten opengehaald. Tevens zijn flauwe taluds zonder beschoeiing aangelegd. Op deze wijze wordt de ontwikkeling van de emerse vegetatie en de verlanding gestimuleerd en wordt de situatie voor de plantenminnende en specialistische vissoorten verbeterd. In 1994 zijn in het kader van het Regiwa-project een aantal deelgebieden gebaggerd: het meest zuidelijke deel van de Scheene en een aantal delen van petgaten in het kerngebied.

Waterkwaliteit

De waterkwaliteit binnen de Rottige Meente is zeer verschillend. In het centrale petgatencomplex is sprake van matig mesotroof water. Toch is er sprake van een gering doorzicht veroorzaakt door met name zwevende stof. Na het verwijderen van de sliblaag is het zicht verbeterd. Het oppervlaktewater in onderzoeksgebied de "Rottige Meente" is matig voedselarm. De waterkwaliteit is getoetst aan normen voor petgaten. Deze normen zijn vastgesteld voor de KRW (KRW-watertypen ondiepe laagveenplassen (M25) en matig grote, ondiepe laagveenplassen (M27)). Er is sprake van lichte eutrofiëring. De zuurgraad van het water is goed, de pH schommelt tussen 6-8 (Waterkwaliteitsgegevens Rottige Meente, 2010). Pieken in het totaalfosfaatgehalte en het chlorofylgehalte duiden op inlaat van voedselrijk water of op interne eutrofiëring (nalevering van nutriënten uit de bodem). Het deels voedselrijk water en het aanwezig zijn van slib zijn onder andere oorzaak van de slechte ontwikkeling van de submerse en emerse vegetatie.

In de Rottige Meente komen nog bijna alle verlandingsstadia voor, waarbij de eutrofe verlandingsreeksen goed vertegenwoordigd zijn. Door verschil in gevoerd beheer en voedselrijkdom hebben zich in het oude kerngebied verschillende vegetatietypen ontwikkeld: op de voedselrijkere plaatsen veenmosrietlanden en op de mesotrofe plaatsen trilveen-, veenmosrietland, veenmostrilveen en blauwgraslanden.

4.2 VERGUNNINGEN

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. Voordat de veldexperimenten konden worden uitgevoerd, moesten verschillende maatregelen worden genomen om de wateren droog te kunnen zetten. Voor iedere locatie is nagegaan of er vergunningen of ontheffingen benodigd waren.

Vergunningeninventarisatie

Voor aanvang van de 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 bleek dat vergunningen en/of ontheffingen aangevraagd dienden te worden in het kader van de:

- Wabo
- Waterwet
- Flora- en faunawet
- Natuurbeschermingswet

In tabel 4.2 zijn de onderzoekslocaties, benodigde vergunningen en betreffende bevoegde bestuursorganen opgenomen. In tabel 4.3 zijn de verschillende procedure- of doorlooptijden weergegeven.

TABEL 4.2 OVERZICHT VERGUNNINGEN EN/OF ONTHEFFINGEN EN BEVOEGDE GEZAGEN

ONDERZOEKSLOCATIE	VERGUNNING/ONTHEFFING	BEVOEGD GEZAG
Lalleweer	Wabo	Gemeente Delfzijl
	Waterwet	Waterschap Hunze en Aa's
	FFwet	Ministerie van EL&I
Woudbloem	Wabo	Gemeente Slochteren
	Waterwet	Waterschap Hunze en Aa's
	FFwet	Ministerie van EL&I
Rottige Meente	Wabo	Gemeente Weststellingwerf
	Waterwet	Wetterskip Fryslan
	Flora en Fauna Wet	Ministerie van EL&I
	NBwet	Provinsje Fryslan
De Deelen	Wabo	Gemeente Heerenveen
	Waterwet	Wetterskip Fryslan
	Flora en Fauna Wet	Ministerie van EL&I
	NBwet	Provinsje Fryslan

Bij projecten van enige omvang en waarbij meerdere bevoegde gezagen betrokken zijn, kan een vooroverleg helpen om procedures helder te krijgen en vroegtijdig afspraken te maken. Op 20 juli 2010 heeft vooroverleg plaatsgevonden met de betrokken bevoegde gezagen.

TABEL 4.3 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 (ecologisch) vervolgonderzoek 3 – 52 weken Aanvraag ontheffing 8 tot 26 weken
Natuurbeschermingswet	Opstellen natuurtoets en/of voortoets circa 3 weken Opstellen verslechteringsstoets circa 3-6 weken Opstellen passende beoordeling circa 6-10 weken Aanvraag ontheffing 13 tot 26 weken

* Bijvoorbeeld bij afwijking bestemmingsplan

** Bij grote grondwateronttrekkingen

4.2.1 WABO - OMGEVINGSVERGUNNING

Niet lang voor aanvang van het project tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel 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. De samenvoeging leidt tot een aanzienlijke vermindering van het aantal separate vergunningen, toestemmingen en administratieve lasten. Met de Wabo zijn verschillende wetten aangepast die betrekking hebben op de leefomgeving. Het gaat om wetten op het gebied van wonen, ruimtelijke ordening, milieu en natuurbescherming.

De benodigde aanvraag in het kader van de natuurwetgeving en waterwet kunnen meeliften met de aanvraag Wabo. De aanvraag met de langste proceduretijd (natuurwetgeving) is dan wel leidend voor de totale procedure. In dit project zijn de vergunningen en/of ontheffingen separaat aangevraagd.

Vergunningentraject tijdelijke droogval

Voor aanvang van het veldexperiment is bij de betreffende gemeenten een melding van de voorgenomen werkzaamheden gedaan. Hierop berichten drie gemeenten dat gezien de aard van de werkzaamheden een Wabo vergunning noodzakelijk was. Alleen voor de werkzaamheden in Lalleweer (Gemeente Deftzijl) was geen vergunning nodig, omdat de werkzaamheden pasten binnen bestemmingsplan en regulier beheer.

Voor de overige onderzoekslocaties gold dat er sprake was van een bestemming ‘agrarisch gebied’ met de aanduiding ‘natuurontwikkeling’ of een natuurgebied. Hierbij is een omgevingsvergunning nodig voor: “het uitvoeren van een werk, geen bouwwerk zijnde, of werkzaamheden nodig voor het bemalen van de grond, alsmede het winnen, toevoeren, afdammen of stuwen van grond- en oppervlaktewater, dan wel het anderszins aanbrengen voor voorzieningen die een structurele wijziging in de waterhuishouding tot gevolg (kunnen) hebben alsmede het graven, vergraven en dempen van sloten en andere watergangen”.

De vergunningen werden - vaak na extra toelichting - uiteindelijk allemaal verleend. Een voorwaarde vanuit Gemeente Weststellingwerf was voorlichting aan de directe omgeving. Hierop werden een informatiebord geplaatst, voorlichtingsbrieven aan bewoners gestuurd en een bijeenkomst georganiseerd (figuur 4.5).

TABEL 4.4 RESULTAAT VERGUNNINGENTRAJECT WABO

LOCATIE	RESULTAAT
Lalleweer	Geen omgevingsvergunning nodig
Woudbloem	Omgevingsvergunning verleend
De Deelen	Omgevingsvergunning verleend
Rottige Meente	Omgevingsvergunning onder voorwaarden verleend Voorwaarde: voortlichting omgeving

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 Toegepast Onderzoek Waterbeheer) onderzoekt in het kennisprogramma Watermozaïek verschillende maatregelen die deze waterkwaliteitsproblemen aanpakken. Dit doet zij niet alleen, maar met veel andere organisaties waaronder waterschappen, natuurbeheerders, universiteiten en adviesbureaus. Een van de maatregelen die wordt onderzocht is het tijdelijk droog laten vallen van de waterbodem. Dit klinkt misschien wat vreemd in de oren. En daarom lichten we dit in de volgende tekst toe.

Waarom droogval?
Vroeger 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 Nederland hebben we veel functies aan het water verbonden. Dit ging echter ten koste van natuurlijke processen die in onze wateren plaats horen te vinden. Die processen zijn hard 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 oeverplanten zich uitermate goed ontwikkelen bij wisselende waterpeilen en dat bepaalde plantenzaden onder te natte omstandigheden niet goed kunnen kiemen. Er zijn ook waarnemingen van vieze troebele wateren die na een periode van droogval helder werden en plantenrijk. In een droogvallende waterbodem vinden belangrijke processen plaats die de waterkwaliteit kunnen verbeteren. Zo worden bepaalde 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 plassen in Groningen en twee plassen in Friesland. Een belangrijke reden om de maatregel in de Rottige Meente toe te passen is de verwachte ontwikkeling van water- en oeverplanten. De waterkwaliteit en hoeveelheid waterplanten in de Rottige Meente varieert sterk per deelgebied. Er zijn fraaie goed ontwikkelde delen, maar ook petgaten waarin geen enkele waterplant meer voorkomt. Daarbij zijn veel van de venige legakkers erg smal geworden en dreigen op de lange termijn te verdwijnen. De structuur van legakkers en petgaten maken het gebied echter juist uniek en vormen een belangrijke leefomgeving voor veel verschillende vogels en de otter. Ontwikkeling van bijvoorbeeld riet kan de legakkers weer versterken en kan er uiteindelijk zelfs voor zorgen dat de legakkers weer uitgroeien. Daarbij zou het geweldig zijn als de plantensoorten die vroeger in de petgaten voorkwamen weer terugkeren.

Werkzaamheden
In de Rottige Meente is een compartiment gerealiseerd nabij de vogelkijkhut waarin de droogval wordt toegepast. Vanuit de vogelkijkhut heeft u goed zicht 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 legakkers.


Tijdsplanning 2011

januari	februari	maart	april	mei	juni	juli	augustus	september	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 bereikt
4 eind september stoppen met pompen, compartiment zal langzaam weer vollopen door kwel en neerslag. Er wordt niet actief water ingepompt.

Contact
We begrijpen dat u wellicht nog vragen heeft. Hiervoor kunt u terecht bij:
■ de projectleider van het project namens de STOWA, drs. P.J. (Piet-Jan) Westendorp, 0570-697048
■ de beheerder van de Rottige Meente vanuit Staatsbosbeheer, de heer H.J. (Henk-Jan) van der Veen, 0516-425030

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









4.2.2 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. Onder de Waterwet zijn de volgende wetten ondergebracht:

1. Wet op de waterhuishouding
2. Wet op verontreiniging oppervlaktewater
3. Wet verontreiniging zeewater
4. Grondwaterwet
5. Wet droogmakerijen en indijkingen
6. Wet op de waterkering
7. Wet beheer rijkswaterstaatswerken (de 'natte' delen daarvan)
8. Waterstaatswet 1900 (het 'natte' gedeelte ervan).

Ook de onderlinggende besluiten en regelingen, en de regeling voor waterbodems vanuit de Wet bodembescherming zijn ondergebracht bij de Waterwet.

De Waterwet vormt de basis voor normen die aan watersystemen kunnen worden gesteld. De Waterwet maakt het zodoende bijvoorbeeld mogelijk om duidelijke normen te stellen om wateroverlast te voorkomen. De Waterwet geeft ook normen voor de bergings- of afvoercapaciteit van regionale wateren. Dit betekent dat bij maatregelen - zoals in dit project - getoetst moet worden of afvoer en/of bergingscapaciteit worden aangetast. Bij een aanvraag dient de aanvrager een formulier in te vullen. Aan de hand van dit formulier krijgt de indiener een reactie waarin is opgenomen voor welke activiteiten een vergunning dient te worden aangevraagd. Een aandachtspunt bij het aanvraagformulier, is dat het weinig ruimte geeft voor nadere toelichting of nuances. Het kan daarom verstandig zijn om in een onderbouwend rapport verdere uitleg te geven over hetgeen wordt aangevraagd.

Synergie Wabo-traject

De watervergunning kan bij de gemeente, maar ook rechtstreeks bij het betreffende bevoegde gezag, worden aangevraagd. Als ook een omgevingsvergunning nodig is, kan die samen met de watervergunning, bij hetzelfde loket worden aangevraagd. De gemeente zorgt vervolgens voor doorzending naar de juiste bevoegde instanties. Het dient wel de advisering om de aanvraag voor een watervergunning direct bij de waterbeheerder in te dienen.

Als de aanvraag van een watervergunning betrekking heeft op handelingen waarvoor verschillende bestuursorganen bevoegd zijn, wordt de beslissing op de aanvraag in beginsel genomen door het hoogste bevoegde gezag. Bestuursorganen kunnen onderling echter tot een andere werkformule besluiten.

Voor het uitvoeren van de werkzaamheden in het kader van het project tijdelijke droogval dient 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 dat de planlocatie instroomt en;
- het lozen van de hierboven genoemde onttrekkingen¹.

¹ Ten tijde van het schrijven van dit project, is het Besluit lozen buiten inrichtingen in werking getreden. Dit besluit stelt algemene eisen aan lozingen, die niet afkomstig zijn van inrichtingen (bedrijven). De vergunningplicht voor lozingen bij bijvoorbeeld bemaling of afstromend hemelwater is hiermee komen te vervallen en blijft alleen meldingsplichtig.

Opstellen bemalingsadvies

Voor alle vier de locaties werden bemalingsadviezen opgesteld om het waterbezwaar te bepalen. Dit vindt plaats op basis van een eenvoudige modellering.

Vergunningentraject tijdelijke droogval

Voor aanvang van het veldexperiment is bij de betreffende waterbeheerders 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.

De vergunningen werden - vaak na extra toelichting - uiteindelijk met aanvullende voorwaarden allemaal verleend. De aanvullende voorwaarden betroffen debietmetingen, waterkwaliteitsmetingen, grondwatermonitoring en de realisatie van een noodwateroverloop in Woudbloem.

Monitoring debieten

Voor de monitoring van de debieten werden op alle pompen debietmeters geïnstalleerd. Debieten werden geregistreerd en aan het einde van de droogvalperiode aan het bevoegd gezag overhandigd.

Monitoring waterkwaliteit

De waterkwaliteit van het afgepompte water of effluent werd gedurende het onderzoek conform de aanvullende voorwaarde van Wetterskip Fryslan gemonitord op zwevendstof gehalte en de zuurstofconcentratie. Hierbij mocht het zwevend stofgehalte niet meer dan 50 mg/l en de zuurstofconcentratie niet minder dan 5 mg/l bedragen. Na afloop van de droogvalperiode werden de meetgegevens vastgelegd in een notitie en aan Wetterskip Fryslan overhandigd.

Waterafvoerplan Woudbloem

Aanvullende voorwaarde van Waterschap Hunze en Aa's was het opstellen en realiseren van een waterafvoerplan (figuur 4.6).

Het waterafvoerplan bestond uit de volgende maatregelen:

- een duiker naar de Veenlaan waarmee indien nodig 131 l/sec kon worden afgevoerd;
- de duiker bestond uit een kunststof buis met inwendige diameter van 500 mm. Deze buis werd voorzien van een afsluiter aan de instroomzijde;
- lozing kon plaatsvinden op de sloot aan de noordzijde van de (Verlengde) Veenlaan;
- het extra debiet op de sloot aan de noordzijde van de (Verlengde) Veenlaan zou een tijdelijke verhoging van 14 cm kunnen veroorzaken met een frequentie van 1 à 2 keer per jaar.

In het geval van een calamiteit (dreiging van ernstige wateroverlast) kon overwogen worden om de duiker in de tijdelijke gronddam open te zetten. Dit zou een negatief effect hebben op de onderzoeksresultaten en werd daarom als een noodmaatregel gezien.

FIGUUR 4.6 WATERAFVOER WOUDBLOEM. DE DOORGETROKKEN BLAUWE LIJN GEEFT DE REGULIERE WATERAFVOER WEER. DE KORTE GELE LIJN IS DE TIJDELIJKE NOODAFVOER.



Monitoring grondwaterstanden Woudbloem

Het monitoringsplan voor Woudbloem bestond uit een aantal activiteiten waarmee gevolgd kon worden of ongewenste grondwaterstanddaling en mogelijke schade aan infrastructuur (met name de (Verlengde) Veenlaan) zou ontstaan. Deze monitoring werd integraal onderdeel van het geohydrologisch onderzoek dat in het kader van het onderzoeksproject is uitgevoerd.

De grondwaterstanden werden voor, gedurende en na de droogvalperiode gemeten door gebruik te maken van een zestal grondwaterpeilbuizen die voorzien werden van ondiepe filters en 'divers' of dataloggers. De locaties van deze peilbuizen zijn ingetekend op een overzichtskaart (zie methode geohydrologie). De grondwaterstanden werden per uur gemeten. De locaties van de peilbuizen werden bepaald aan de hand van het 5 cm-invoedsgebied. Door het plaatsen van een peilbuis direct naast de (Verlengde) Veenlaan is het effect van de bemaling op deze weg gevolgd.

TABEL 4.5

RESULTAAT VERGUNNINGENTRAJECT WATERWET

LOCATIE	RESULTAAT
Lalleweer	Watervergunning verleend
Woudbloem	Watervergunning onder voorwaarden verleend Voorwaarden: Realisatie noodafvoer Monitoring grondwaterstanden
De Deelen	Watervergunning onder voorwaarden verleend Voorwaarden: Monitoring waterkwaliteit (zuurstof, zwevend stof)
Rottige Meente	Watervergunning onder voorwaarden verleend Voorwaarden: Monitoring waterkwaliteit (zuurstof, zwevend stof)

4.2.3

NATUURWETGEVING: BESCHERMING GEBIEDEN EN SOORTEN

In Nederland is de natuurbescherming geregeld in enerzijds de bescherming van gebieden (Natuurbeschermingswet '98, Ecologische HoofdStructuur (Nota Ruimte) en provinciale programma's) en anderzijds de bescherming van soorten (Flora en faunawet). Bij het tijdelijk droog laten vallen van wateren dient te worden nagegaan of natuurwaarden mogelijk geschaad worden. Hieronder worden de wettelijke kaders en de specifieke procedure voor dit onderzoeksproject nader toegelicht en beschreven.

GEBIEDSBESCHERMING

Natuurbeschermingswet 1998

De Natuurbeschermingswet 1998 (Nbwet '98) biedt de juridische basis voor het Natuurbeleidsplan, de aanwijzing van te beschermen gebieden en landschapsgezichten, vergunningverlening, schadevergoeding, toezicht en beroep. Internationale verplichtingen uit de Vogelrichtlijn (VR) en Habitatrichtlijn (HR), maar ook verdragen als bijvoorbeeld het Verdrag van Ramsar (Wetlands) zijn hiermee in nationale regelgeving verankerd. De Nbwet '98 is, na een aanpassing in 2005, op 1 februari 2009 nogmaals gewijzigd. Sindsdien zijn de bepalingen vanuit de Europese VR en HR strikter in de Nbwet '98 verwerkt. Ook is vastgesteld dat voor bestaand gebruik (voor een bepaalde peildatum) in Natura 2000-gebieden met mogelijke verslechterende of significant verstorende gevolgen geen vergunning vereist is, totdat een beheersplan is vastgesteld.

De volgende gebieden worden aangewezen en beschermd op grond van de Nbwet '98:

- Natura 2000-gebieden (VR- en HR-gebieden);
- Beschermde Natuurmonumenten;
- gebieden die de Minister van LNV aanwijst ter uitvoering van verdragen of andere internationale verplichtingen (uitgezonderd verplichtingen op grond van de VR en HR), zoals Wetlands.

Natura 2000

Op dit moment doorlopen een aantal HR-gebieden de definitieve aanwijzings-procedure tot Natura 2000-gebied. Naar verwachting worden de Natura 2000-gebieden in december 2010 definitief aangewezen. De al eerder aangewezen VR-gebieden worden hierbij opnieuw aangewezen. In deze overgangssituatie bestaan er:

- gebieden die reeds definitief zijn aangewezen, met instandhoudingsdoelstellingen;
- gebieden die nog niet definitief zijn aangewezen, maar waarvoor wel ontwerp aanwijzingsbesluiten met voorlopige instandhoudingsdoelstellingen zijn geformuleerd;

- gebieden die nog niet als Natura 2000-gebied zijn aangewezen maar wel als zodanig bij de Europese Unie zijn aangemeld.

Een belangrijk verschil tussen de toetsing van Natura 2000-gebieden in de huidige situatie en de toetsing in de situatie na de definitieve aanwijzing, ligt in de toetsingscriteria van het beschermingsregime. Afhankelijk van de procedure vindt toetsing plaats op basis van:

- een definitief aanwijzingsbesluit met instandhoudingsdoelstellingen;
- eerder vrijgegeven voorlopige (concept) instandhoudingsdoelstellingen die onderdeel zijn van een ontwerp aanwijzingsbesluit;
- een toelichting of motivering zoals beschreven op het aanmeldingsdocument van Natura 2000-gebieden voor de Europese Unie.

Instandhoudingsdoelstellingen beschrijven de doelen voor natuurlijke habitats of populaties van de in het wild levende dier- en plantensoorten om een gunstige staat van instandhouding te waarborgen. In deze instandhoudingsdoelstellingen kunnen complementaire doelen zijn opgenomen voor vogelsoorten die in zeer ongunstige staat van instandhouding verkeren. Tevens kunnen ook doelen opgenomen zijn voor habitattypen en -soorten die nog niet in het gebied voorkomen maar die op landelijke schaal in een zeer ongunstige staat van instandhouding verkeren.

Dit geldt alleen als hiervoor in het bewuste gebied goede kansen aanwezig zijn voor ontwikkeling en vestiging. Met die complementaire doelen wordt binnen het netwerk van Natura 2000 een bijdrage geleverd aan de realisering van de landelijke doelen voor de betreffende habitattypen en -soort(en).

Het Ramsar verdrag beschermt wetlands en de planten- en diersoorten die erin leven. Sinds 1980 heeft Nederland 44 natte natuurgebieden aangemeld voor de lijst van Wetlands van internationale betekenis. Alle Wetlands die Nederland heeft aangemeld bij het Ramsar-bureau zijn inmiddels ook aangewezen als Natura 2000-gebied (43 VR-gebieden en 1 HR-gebied). Alle Wetlands vallen daardoor onder het beschermingsregime van de Natuurbeschermingswet 1998.

Elke ontwikkeling in of nabij een Natura 2000-gebied dient te worden onderworpen aan een 'voortoets'. Uit de voortoets moet blijken of kan worden uitgesloten dat de werkzaamheden/ontwikkeling een significant negatief effect hebben op de natuurwaarden in het betreffende gebied. Indien significante effecten niet op voorhand kunnen worden uitgesloten, dient een 'passende beoordeling' te worden uitgevoerd. Kunnen significante effecten worden uitgesloten, maar kan er wel verslechtering plaatsvinden, dan is een verslechteringstoets vereist. Op basis van de passende beoordeling of een verslechteringstoets kan een aanvraag voor een vergunning op grond van de Nbw '98 worden ingediend bij het bevoegde bestuursorgaan. In het geval de passende beoordeling niet de zekerheid verschaft dat er geen sprake is van een aantasting van de natuurlijke kenmerken van het betrokken Natura 2000-gebied, moet de vergunning c.q. de instemming worden geweigerd, tenzij er 1) geen Alternatieven zijn, 2) er sprake is van Dwingende redenen van groot openbaar belang en 3) door Compensatie de algehele samenhang van het Natura 2000-netwerk gewaarborgd blijft ('de zogenoemde ADC-criteria').

Complementaire doelen

De rechtsgrondslag voor complementaire doelen is artikel 10a, lid 3, van de Nbw '98. Het gaat hier om habitattypen en soorten (van bijlage I of bijlage II van de Habitatrictlijn) met een zeer ongunstige tot een matig ongunstige staat van instandhouding en tevens een lage landelijke dekking en/of onvoldoende geografische spreiding. Met de complementaire doelen wordt binnen het netwerk van Natura 2000 een bijdrage geleverd aan de realisatie van de landelijke doelen voor de betreffende habitattypen en soorten. Het betreft alleen habitattypen en soorten, waarvoor Nederland een bijzondere verantwoordelijkheid heeft. Complementaire doelen hebben dezelfde (juridische) status in het aanwijzingsbesluit als de instandhoudingsdoelen.

Beschermde Natuurmonumenten

Met de inwerkingtreding van de Natuurbeschermingswet 1998 is het onderscheid tussen Staats- en Beschermde Natuurmonumenten vervallen, beide worden nu Beschermde Natuurmonumenten genoemd. Bij de aanwijzing van Natura 2000-gebieden is het mogelijk dat (delen van) Beschermde Natuurmonumenten binnen de grenzen van het Natura 2000-gebied vallen. Indien dit het geval is, worden over het algemeen de waarden, uit het aanwijzingsbesluit van het Beschermde Natuurmonument, verwerkt in de instandhoudingsdoelen van het betreffende Natura 2000-gebied. Indien niet alle waarden van een Beschermde Natuurmonument zijn opgenomen in de instandhoudingsdoelen van het betreffende Natura 2000-gebied, dient er ook toetsing plaats te vinden aan de hand van de waarden uit het aanwijzingsbesluit van het Beschermde Natuurmonument.

Ecologische Hoofdstructuur (EHS)

In de Nota Ruimte is een aantal uitwerkingen van ruimtelijke afwegingskaders voor de EHS aangekondigd. De EHS beoogt de realisatie van een samenhangend netwerk van natuurgebieden en verbindingzones. Door natuur te verbinden, blijft diversiteit behouden en verkleint de kans op uitsterven van soorten. Het streven is om in Nederland in 2020 meer dan 750.000 hectare aan EHS-gebieden te hebben. Het grootste deel daarvan zijn bestaande bossen en natuurgebieden. Daarbij komen nog de ruim zes miljoen hectare natte natuur: meren, rivieren en de Nederlandse delen van de Noord- en Waddenzee. Een gebied kan tegelijk een Natura 2000-gebied zijn en onderdeel zijn van de EHS. Als er sprake zou zijn van tegenstrijdige eisen, dan is het Natura 2000-beschermingsregime leidend.

De specifieke waarden en kwaliteiten van een EHS-gebied bepalen op welke wijze ruimtelijke initiatieven doorgang kunnen vinden. Iedere provincie heeft deze voorwaarden in een zogeheten compensatiebeginsel 'vastgelegd' (zie hierna volgend kader). Over het algemeen geldt dat er geen bestemmingswijzigingen mogelijk zijn als daardoor de wezenlijke kenmerken en waarden van het gebied significant worden aangetast. Dit alles tenzij er geen reële alternatieven zijn en er sprake is van redenen van groot openbaar belang. Indien hiervan sprake is, dient er gecompenseerd te worden. Om te kunnen bepalen of de wezenlijke kenmerken en waarden van een gebied significant worden aangetast, moet het bevoegd gezag (de gemeente) erop toezien dat hiernaar door de initiatiefnemer onderzoek wordt verricht. Om een zorgvuldige afweging te kunnen maken zal de provincie de te behouden wezenlijke kenmerken en waarden per gebied specificeren.

COMPENSATIEBEGINSEL FRIESLAND

Bij natuurcompensatie zijn de volgende uitgangspunten van toepassing:

- er treedt geen nettoverlies aan waarden op voor wat betreft areaal, kwaliteit en samenhang van de EHS;
- primair vindt compensatie kwantitatief plaats aansluitend op of nabij het natuurgebied;
- als dit niet mogelijk is vindt kwalitatieve compensatie van natuurwaarden plaats of vindt kwantitatieve compensatie elders plaats onder de voorwaarde van voldoende samenhang in de EHS;
- als ook dit niet mogelijk is wordt financiële compensatie geboden. Deze wordt in het Nationaal Groenfonds gestort maar blijft gekoppeld aan de betrokken ingreep;
- besluitvorming over de ingreep en over de wijze en het moment van compensatie vinden gelijktijdig plaats zodat hierover zekerheid bestaat;
- voor de VHR-gebieden is financiële compensatie niet mogelijk;
- voor de VHR-gebieden dient compensatie vooraf en tijdig vóór de ingreep plaats te vinden, waarbij de samenhang van VHR-gebieden (Natura 2000, de Europese EHS) niet in gevaar komt;
- compensatie van areaal is niet van toepassing op de één op één begrensde beheergebieden.

Bij een combinatie van projecten of handelingen, die tevens tot doel heeft de EHS op gebiedsniveau te verbeteren, wordt de mogelijkheid geboden van een saldobenadering. Daarbij worden in een samenhangende gebiedsvisie de effecten van verschillende maatregelen en ruimtelijke ingrepen op natuurwaarden in een groter gebied in beeld gebracht en afgewogen. Per saldo moet er sprake zijn van verbetering van de natuurwaarden in en rond het gebied.

COMPENSATIEBEGINSEL GRONINGEN

In juli 2007 heeft de minister van LNV de Spelregels EHS, Beleidskader voor compensatiebeginsel, EHS-Saldobenadering en herbegrenzen EHS (Spelregels EHS, 2007) uitgebracht. Het doel van de Spelregels EHS is om enerzijds een ontwikkelingsgerichte omgang met de EHS mogelijk te maken en anderzijds te komen tot een betere ruimtelijke bescherming van de EHS. Onder de bescherming zijn dus bepaalde ontwikkelingen mogelijk, maar niet alles en niet overal. Uitgangspunt is dat per saldo alle functies in het gebied (primair EHS en landbouw) er beter van worden. De spelregels zijn opgesteld door het ministerie van LNV, VROM en de provincies, in overleg met de gemeenten en maatschappelijke organisaties.

Het compensatiebeginsel van de provincie Groningen is niet vastgesteld in een aparte regeling. Het kader waarin het compensatiebeginsel is uitgewerkt staat in het Provinciaal omgevingsplan. Of een ingreep in een EHS-gebied mag plaatsvinden, hangt af van twee voorwaarden:

- de ingreep is 'van groot openbaar belang' en
- er zijn geen alternatieven mogelijk.

Alleen dan kan de ingreep doorgaan, maar niet zonder meer. De initiatiefnemer moet zorgen dat de nadelige effecten op de natuur worden verzacht (ook wel 'mitigatie' genoemd). Als mitigatie niet mogelijk of niet voldoende is, dan moet de initiatiefnemer gaan compenseren, dat wil zeggen de verloren gegane natuur op een andere plek vervangen door nieuwe natuur.

SOORTBESCHERMING

Flora en fauna Wet

De bescherming van soorten is in Nederland geïmplementeerd in de Flora- en faunawet (Ffw). Op grond van de Ffw is een groot aantal dier- en plantensoorten aangewezen als beschermde inheemse soort. Ten aanzien van de beschermde inheemse diersoorten kent de Ffw een verbod op het verontrusten, vangen en doden van soorten en het verstoren, vernielen en beschadigen van hun nesten, voortplantings-, rust- en verblijfplaatsen (artikel 9 tot en met 12). Ten aanzien van de beschermde inheemse plantensoorten geldt een verbod op het plukken en anderszins beschadigen (artikel 8). Voor alle soorten (beschermde en onbeschermde) kent de Ffw een zorgplicht. De zorgplicht houdt in dat iedereen voldoende zorg in acht moet nemen voor alle in het wild voorkomende dieren en planten en hun leefomgeving. Dit is een algemene fatsoenseis die voor iedereen geldt en verder gaat dan de beschermde plant- en diersoorten.

De beschermde dier- en plantensoorten, die zijn opgenomen in de Ffw, zijn verdeeld in tabellen (zie kader op volgende pagina). Tabel 1 geeft de algemene soorten weer, die licht beschermd zijn. In dit rapport wordt naar deze soorten verwezen als 'tabel 1-soort'. Tabel 2 geeft de minder algemene, middelzwaar beschermde soorten weer. In tabel 3 staan soorten die worden genoemd in bijlage 1 van de Algemeen Maatregelen van Bestuur (AMvB) Ffw en soorten vermeld in bijlage IV van de Habitatrichtlijn; deze zijn zwaar beschermd. In dit rapport worden soorten die staan vermeld in de tabellen 2 en 3 van de AMvB Ffw aangeduid met de termen 'tabel 2-soort' respectievelijk 'tabel 3-soort'. Alle inheemse vogelsoorten vallen onder dezelfde bescherming als de tabel 3-soorten. Het aanvragen van ontheffing voor het verstoren van broedende vogels en/of hun nesten is in principe niet mogelijk. Er is immers altijd een alternatief, namelijk werken buiten het broedseizoen.

BESCHERMINGREGIMES FLORA- EN FAUNAWET

algemene soorten

Voor algemene soorten (tabel 1-soorten of licht beschermd) geldt een vrijstelling voor artikel 8 tot en met 12 van de Ffw. Aan deze vrijstelling zijn geen aanvullende eisen gesteld. In het kader van ruimtelijke ontwikkelingen hoeft voor deze soorten geen ontheffing te worden aangevraagd.

minder algemene soorten

Voor een aantal minder algemene soorten (tabel 2-soorten of middelzwaar beschermd) geldt een vrijstelling voor artikel 8 tot en met 12 van de Ffw, mits activiteiten worden uitgevoerd op basis van een door de minister van LNV goedgekeurde gedragscode. Een gedragscode moet door een sector of ondernemer zelf opgesteld worden en ter goedkeuring bij de minister van LNV worden ingediend. In deze gedragscode dient te worden vastgelegd dat:

- geen benutting of economisch gewin plaatsvindt;
- zorgvuldig wordt gehandeld, wat onder meer inhoudt dat van de werkzaamheden geen wezenlijke invloed uitgaat op de betreffende soorten en dat in redelijkheid alles wordt verricht of gelaten om te voorkomen dat dieren worden gedood of verwond, of nesten en holen worden beschadigd, vernield of verstoord.

Wanneer volgens een goedgekeurde gedragscode wordt gewerkt, hoeft voor deze soorten geen ontheffing te worden aangevraagd. Totdat een goedgekeurde gedragscode beschikbaar is, dient voor deze soorten echter nog wel ontheffing te worden aangevraagd. Voor alle soorten vindt bij de beoordeling van een ontheffing een zogenaamde lichte toets plaats, wat

wil zeggen dat alleen wordt getoetst of geen afbreuk wordt gedaan aan de gunstige staat van instandhouding van de soort.

zwaar beschermde soorten

Voor soorten van bijlage IV van de Habitatrichtlijn (HR-soorten) en soorten die zijn opgenomen in bijlage I van het AMvB artikel 75 Ffwet beschermde dier- en plantensoorten (tabel 3-soorten) is een ontheffing noodzakelijk. Deze ontheffing kan alleen worden verleend als:

- er sprake is van een in of bij de wet genoemd belang;
- er geen andere bevredigende oplossing bestaat, en
- geen afbreuk wordt gedaan aan de gunstige staat van instandhouding van de soort.

De onderstaande vier belangen komen het meest voor bij een ontheffing voor een ruimtelijke ingreep:

- bescherming van flora en fauna (b);
- volksgezondheid of openbare veiligheid (d);
- dwingende redenen van groot openbaar belang, van sociale of economische aard, en voor het milieu wezenlijke gunstige effecten (e);
- uitvoering van werkzaamheden in het kader van ruimtelijke inrichting of ontwikkeling (j).

Voor soorten van de bijlage IV van de HR worden ruimtelijke inrichtingen en/of ontwikkelingen (j) niet meer aangemerkt als een bij de wet genoemd belang.

Voor tabel 3-soorten (niet behorende tot bijlage IV van de HR) geldt dat voor de uitvoering van werkzaamheden in het kader van ruimtelijke inrichting of ontwikkeling deze ontheffing alleen kan worden verleend mits:

- geen benutting of economisch gewin plaatsvindt (met het schaden van flora en fauna);
- zorgvuldig wordt gehandeld (zie hierboven).

vogelsoorten

Voor het verstoren van vogels (in het broedseizoen) is het aanvragen van ontheffing voor ruimtelijke ingrepen in principe niet mogelijk. Er bestaat immers altijd een alternatief, namelijk werken buiten het broedseizoen. De flora- en faunawet kent geen standaardperiode voor het broedseizoen. Het gaat erom of er een broedgeval is. Verblijfplaatsen van vogels die hun verblijfplaats het hele jaar gebruiken, zijn jaarrond beschermd. De meeste vogelsoorten maken elk broedseizoen een nieuw nest of zijn in staat om een nieuw nest te maken. Deze vogelnesten voor eenmalig gebruik vallen alleen tijdens het broedseizoen onder de bescherming van artikel 11 van de Flora- en faunawet. Voor deze soorten is geen ontheffing nodig voor werkzaamheden buiten het broedseizoen. Buiten het broedseizoen mogen nesten worden verwijderd of verplaatst, daar zijn echter uitzonderingen op.

Voor de volgende categorieën gelden de verbodsbepalingen van artikel 11 van de Ffw het gehele jaar:

1. nesten die buiten het broedseizoen worden gebruikt als vaste rust- en verblijfplaats (bijvoorbeeld: steenuil);
2. nesten van koloniebroeders die elk broedseizoen op dezelfde plaats broeden en daarin zeer honkvast zijn of afhankelijk van bebouwing of biotoop (bijvoorbeeld: roek, gierzwaluw en huismus);

3. nesten van vogels, zijnde geen koloniebroeders, die elk broedseizoen op dezelfde plaats broeden en daarin zeer honkvast zijn of afhankelijk van bebouwing (bijvoorbeeld: ooievaar, kerkuil en slechtvalk);
4. vogels die jaar in jaar uit gebruik maken van hetzelfde nest en die zelf niet of nauwelijks in staat zijn een nest te bouwen (bijvoorbeeld boomvalk, buizerd en ransuil).

De nesten van vogelsoorten van categorie 5 zijn niet het hele jaar door beschermd, tenzij er zwaarwegende feiten of ecologische omstandigheden zijn, die jaarrond bescherming rechtvaardigen:

5. nesten van vogels die weliswaar vaak terugkeren naar de plaats waar zij het jaar daarvoor hebben gebroed of de directe omgeving daarvan, maar die wel over voldoende flexibiliteit beschikken om, als de broedplaats verloren is gegaan, zich elders te vestigen.

Een zwaarwegend belang of ecologisch feit kan bijvoorbeeld zijn dat er in de wijde omgeving geen alternatief broedhabitat voor de soort aanwezig is. Om dit uit te sluiten is een omgevingscheck nodig. Ook als er een jaarrondbeschermd nest uit de eerste vier categorieën is aangetroffen, is een omgevingscheck nodig. In een omgevingscheck stelt een deskundige vast of er voldoende gelegenheid is voor de soort om zelfstandig een vervangend nest te vinden in de omgeving.

Voor het verstoren van vogels (in het broedseizoen) is het aanvragen van ontheffing mogelijk op grond van een wettelijk belang uit de Vogelrichtlijn. Dat zijn:

- bescherming van flora en fauna (b);
- veiligheid van het luchtverkeer (c);
- volksgezondheid of openbare veiligheid (d).

Vergunningenprocedure droogvalproject

Natuurtoets

Voor alle locaties is een natuurtoets uitgevoerd om na te gaan welke mogelijke effecten op beschermde soorten en gebieden kunnen optreden en welke gevolgen dit heeft voor het aanvragen van vergunningen en/of ontheffingen.

- Lalleweer: Negatieve effecten op beschermde soorten van de Ffw en beschermde gebieden (Natura 2000, Beschermde Natuurmonumenten en EHS) konden worden uitgesloten.
- Woudbloem: Negatieve effecten op beschermde soorten van de Ffw en beschermde gebieden (Natura 2000, Beschermde Natuurmonumenten en EHS) konden worden uitgesloten.
- De Deelen: Negatieve effecten op de beschermde soorten van de Ffw (broedvogels, heikikker en gestreepte waterroofkever) werden verwacht. Daarnaast konden ook tijdelijke negatieve effecten op de instandhoudingsdoelen van de Natura 2000-gebied De Deelen niet uitgesloten worden.
- Rottige Meente: Negatieve effecten op de beschermde soorten van de Ffw (broedvogels, heikikker en gestreepte waterroofkever) werden verwacht. Daarnaast konden ook tijdelijke negatieve effecten op de instandhoudingsdoelen van de Natura 2000-gebied Rottige Meente niet worden uitgesloten.

CONSEQUENTIES SOORTBESCHERMING

De Deelen en de Rottige Meente

Effecten op de heikikker en de gestreepte waterroofkever zijn te voorkomen door voldoende mitigerende maatregelen te treffen. De Ffw wordt dan niet overtreden. Ten behoeve van meer juridische zekerheid kan desalniettemin een ontheffing worden aangevraagd waarop, indien wordt ingestemd de voorgestelde mitigerende maatregelen, van het Ministerie een “positieve afwijzing” volgt. Een positieve afwijzing mag worden geïnterpreteerd als een goedkeuring van de voorgestelde mitigerende maatregelen.

CONSEQUENTIES GEBIEDSBESCHERMING

De Deelen

Tijdelijke negatieve effecten op de habitatsoorten meervleermuis en de gestreepte waterroofkever en de broedvogelsoorten (Roerdomp, Purperreiger, Zwarte stern, Rietzanger en Bruine Kiekendief) waren niet uit te sluiten. Significant negatieve effecten waren echter niet aan de orde. Negatieve effecten dienden te worden onderbouwd in een verslechterings-toets. Op basis van de verslechterings-toets werd vervolgens een vergunning aangevraagd.

Rottige Meente

Tijdelijke negatieve effecten op de habitatsoorten kleine modderkruiper, bittervoorn, meervleermuis en de broedvogelsoorten kleine karekiet en roerdomp waren niet uit te sluiten. Significant negatieve effecten waren echter niet aan de orde. Negatieve effecten dienden te worden onderbouwd in een verslechterings-toets.

SOORTBESCHERMING: ONTHEFFINGSAANVRAAG DE DEELEN EN DE ROTTIGE MEENTE

Als gevolg van werkzaamheden (aanleg gronddammen, damwandconstructie) werden enkele onder de Ffw beschermde soorten verstoord. Een ontheffing voor de Ffw werd aangevraagd voor de volgende overtredingen:

- Het beschadigen en vernietigen vaste rust- en verblijfplaatsen van gestreepte waterroofkever (artikel 11 Ffw)
- Het beschadigen en vernietigen vaste rust- en verblijfplaatsen van de heikikker (artikel 11 Ffw).
- Het vervoeren van de heikikker ten behoeve van de verplaatsing van soorten naar geschikt leefgebied (artikel 13)

De ontheffingsaanvraag voor het beschadigen en vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen van de gestreepte waterroofkever (artikel 11) werd afgewezen omdat de aanwezigheid van de soort in het plangebied zeer twijfelachtig bleek. Ook de ontheffingsaanvraag voor het vervoeren van de heikikker (artikel 13) werd afgewezen omdat het niet de bedoeling was exemplaren van de soort definitief aan de natuur te onttrekken. De soort mocht wel over kleine afstanden binnen het gebied worden vervoerd ter voorkoming van negatieve effecten van het project. Voor het beschadigen en vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen van de heikikker (artikel 11) werd in het kader van het belang “bescherming flora en fauna” ontheffing verleend onder voorwaarden dat mitigerende maatregelen zouden worden getroffen (zie onderstaand kader).

MITIGERENDE MAATREGELEN VOORTKOMEND UIT DE FLORA- EN FAUNAWET*De Deelen*

1. Bij de planning van de werkzaamheden dient rekening te worden gehouden met de seizoensactiviteit van de heikikker om verstoring in de meest kwetsbare periode te voorkomen.
2. Er dient een amfibiewerend scherm geplaatst te worden om het plangebied. Indien de voortplantingsperiode reeds is begonnen en er vertraging in het project is ontstaan, mag niet over worden gegaan op het plaatsen van het scherm.
3. Voor aanvang van het project dient het plangebied te worden nagelopen op de aanwezigheid van de heikikker.
4. De werkzaamheden dienen te worden uitgevoerd onder begeleiding van een deskundige op het gebied van heikikker.

Rottige Meente

1. Bij de planning van de werkzaamheden dient rekening te worden gehouden met de seizoensactiviteit van de heikikker om verstoring in de meest kwetsbare periode te voorkomen.
2. Eén week voorafgaand aan de voorbereidende werkzaamheden controle van het onderzoeksgebied op aanwezigheid van heikikker.
3. Binnen één week voorafgaand aan het leegpompen controle van het onderzoeksgebied op aanwezigheid van heikikker en controle of voortplantingsperiode is afgelopen.
4. Bij aantreffen van voortplantende dieren dient te worden gewacht met de werkzaamheden tot de voortplanting voorbij is.
5. De werkzaamheden dienen te worden uitgevoerd onder begeleiding van een deskundige op het gebied van heikikker.

Gebiedsbescherming: Verslechteringstoets

Voor zowel De Deelen als de Rottige Meente gold dat een verslechterende situatie voor de habitatsoorten, broedvogelsoorten en niet-broedvogelsoorten niet zou optreden als voldoende mitigerende maatregelen werden getroffen.

Gebiedsbescherming: vergunningsaanvraag Nbwet 98

Voor zowel De Deelen als de Rottige Meente gold dat op grond van de voortoets en de voorgaande verslechteringstoets de uitvoering van het project niet tot significante negatieve effecten op de beschermde natuurwaarden zou leiden. Ook de landschappelijke waarden zouden niet op onacceptabele wijze worden aangetast. Door het stellen van voorschriften en beperkingen, zouden mogelijke schadelijke gevolgen voor de natuurlijke kenmerken van het Natura 2000-gebied bovendien voldoende kunnen worden voorkomen (zie onderstaand kader).

MITIGERENDE MAATREGELEN VOORKOMEND UIT DE NBWET '98*De Deelen*

1. Het storten van de grond t.b.v. de gronddam moet worden voorafgegaan door inventarisatie op de locatie van de gronddam door een ecooloog van het voorkomen van individuen van de Gestreepte waterroofkever en moeten gevonden exemplaren in het naastgelegen petgat of elders in het gebied in geschikte biotoop uit worden gezet.
2. Zodra wordt voorzien dat werkzaamheden dreigen uit te lopen tot ná 1 maart 2011, moet

- vóór 1 maart 2011 een extra inventarisatie naar roerdompen plaatsvinden binnen een straal van 50 m rond de transportroute en de werklocatie door een ecooloog. Bij aantreffen van baltsende roerdompen binnen een afstand van 50 m van de werkzaamheden (inclusief route), moeten de werkzaamheden buiten een straal van 50 m van de vermoedelijke broedlocatie worden afgerond of als dat niet mogelijk is, worden uitgesteld tot na de broedperiode van de Roerdomp.
3. De werkzaamheden t.b.v. het aanleggen van de gronddam en het afsluiten van de duiker dienen vóór 15 april 2011 te zijn afgerond, indien dit door onvoorziene omstandigheden niet mogelijk is, mogen de werkzaamheden alleen worden voortgezet na 15 april 2011, als door inventarisatie door een ecooloog is gebleken dat zich geen nesten van, of baltsende paartjes Purperreiger, Roerdomp, Zwarte stern, Rietzanger en Bruine Kiekendief bevinden binnen een straal van 50 m van de werkzaamheden (inclusief transportroute). Bij aantreffen moeten de werkzaamheden buiten een straal van 50 m van de vermoedelijke broedlocatie worden afgerond, of als dat niet mogelijk is, worden uitgesteld tot na de broedperiode van deze soorten.
 4. Bij toepassing van rijplaten mag bij natte weersomstandigheden onder de rijplaten slechts materiaal worden toegepast dat na afloop van de werkzaamheden eenvoudig met de rijplaten kan worden verwijderd. Het toegepaste materiaal mag geen verontreiniging kunnen veroorzaken op de bodem, of via uitspoeling op het oppervlaktewater.
 5. De gronddam dient tussen 1 februari en 1 maart 2012, of tussen 1 september en 1 oktober 2012 te worden verwijderd. Minimaal 14 dagen voorafgaand aan het verwijderen van de gronddam dient dit te worden gemeld aan de afdeling OVT van de provincie Fryslân, postbus 20120, 8900 HM Leeuwarden.
 6. Voorafgaand aan de plaatsing van de pomp dient onder begeleiding van een ecooloog nagegaan te worden of zich binnen 50 m van de te plaatsen pomp broedgevallen van Roerdomp, Purperreiger, Bruine kiekendief, Zwarte stern, Snor en Rietzanger voordoen. De pomp dient geplaatst te worden buiten een straal van 50 m van evt. aangetroffen broedgevallen van deze soorten.
 7. Ten tijde van de droogval mag de keileemlaag in de bodem van het drooggeval petgat niet worden beroerd.

Rottige Meente

1. De damwanden moeten in de waterbodem worden gebracht m.b.v. een zgn. laagfrequent trillingsblok (methode met een relatief gering geluidsniveau).
2. Voorafgaand aan de droogval moeten evt. voorkomende individuen van Kleine modderkruiper en Bittervoorn door een gecertificeerd deskundige worden afgevangen en in nabijgelegen geschikt biotoop uitgezet. Dit moet worden uitgevoerd buiten de gevoelige rust- en voortplantingsperiode van deze soorten (De paaitijd van de bittervoorn begint in april en duurt tot eind juni. De paaitijd van de Kleine modderkruiper valt in de periode van april-mei tot en met juli).
3. Indien afronding van de werkzaamheden vóór 1 maart 2011 niet mogelijk is moet vóór 1 maart 2011 een inventarisatie uitgevoerd worden door een ecooloog naar het voorkomen van baltsende roerdompen binnen een straal van 50 m van de werkzaamheden (inclusief route). Bij aantreffen van baltsende roerdompen binnen een straal van 50 m van de werkzaamheden (inclusief route) moeten de werkzaamheden buiten een straal van 50 m van de vermoedelijke broedlocatie worden afgerond, of als dat niet mogelijk is, worden uitgesteld tot na de broedperiode van de roerdomp (1 september). Tevens moet, indien de werkzaamheden niet voor 1 mei kunnen worden afgerond, het gebied tot 50 m rond het plangebied (inclusief de route) worden geïnventariseerd op het voorkomen van de

Grote karekiet. Indien zich tot broeden voorbereidende individuen worden aangetroffen, moeten de werkzaamheden tot na de broedperiode van deze soort worden uitgesteld (15 augustus).

4. Bij toepassing van rijplaten mag bij natte weersomstandigheden onder de rijplaten slechts materiaal worden toegepast dat na afloop van de werkzaamheden eenvoudig met de rijplaten kan worden verwijderd. Het toegepaste materiaal mag geen verontreiniging kunnen veroorzaken op de bodem, of via uitspoeling op het oppervlaktewater.
5. De damwanden dienen tussen 1 februari en 1 maart 2012, of tussen 1 september en 1 oktober 2012 te worden verwijderd. Minimaal 14 dagen voorafgaand aan het verwijderen van de gronddam dient dit te worden gemeld aan de afdeling OVT van de provincie Fryslân, Postbus 20120, 8900 HM Leeuwarden.
6. Voorafgaand aan de plaatsing van de pomp dient onder begeleiding van een ecooloog nagegaan te worden of zich binnen 50 m van de te plaatsen pomp broedgevallen van Roerdomp en Grote karekiet voordoen. De pomp dient geplaatst te worden buiten een straal van 50 m van evt. aangetroffen broedgevallen van deze soorten.

PRAKTISCHE UITVOER VAN DE MITIGERENDE MAATREGELEN

Inventarisatie heikikker, gestreepte waterroofkever De Deelen & Rottige Meente (half februari 2011)

Voordat de werkzaamheden ten behoeve van de aanleg van de gronddammen (De Deelen) en de stalen damwandconstructies (Rottige Meente) aanvingen, zijn in het kader van zowel de Ffw als de Nbwet 98, de wateren op de beide locaties geïnventariseerd op de aanwezigheid van heikikker en gestreepte waterroofkever. Op basis van deze inventarisatie en suboptimale habitatomstandigheden op beide locaties, werd geconcludeerd dat beide soorten niet op de planlocaties aanwezig zijn.

Inventarisatie roerdomp De Deelen & Rottige Meente (eind februari 2011)

De werkzaamheden ten behoeve van het plaatsen van de gronddammen en de stalen damwandconstructies in De Deelen en de Rottige Meente konden niet voor 1 maart 2011 worden afgerond. Indien in de gebieden rond die tijd baltsende roerdampen aanwezig zouden zijn, kon het optreden van negatieve effecten op baltsende roerdampen niet worden uitgesloten. Daarvoor heeft eind februari, in het kader van de Nbwet-vergunning, een inventarisatie plaatsgevonden om de aanwezigheid van baltsende roerdampen vast te stellen, dan wel uit te sluiten.

De aanwezigheid van baltsende roerdampen werd niet vastgesteld. Eind februari/begin maart waren zowel de dag- als nachttemperaturen nog te laag voor de balts. Daarbij waren binnen het beïnvloedingsgebied van de werkzaamheden geen geschikte biotopen aanwezig.

Inventarisatie broedvogels en heikikker De Deelen & Rottige Meente (einde broedseizoen 2011)

De Nbwet-vergunning schreef voor dat voorafgaand aan het plaatsen van de pompen moest worden onderzocht of binnen het beïnvloedingsgebied van de pompen broedparen aanwezig zijn van de broedvogelsoorten waarvoor een instandhoudingsdoel is opgesteld (roerdomp, purperreiger, bruine kiekendief, zwarte stern, snor, rietzanger en grote karekiet). Daarnaast schreef de Ffw voor dat de aanwezigheid van de heikikker diende te worden geïnventariseerd voordat het pompen aan zou vangen. De inventarisaties van broedvogels en heikikker in De Deelen en de Rottige Meente hebben plaatsgevonden op 17 en 18 juli 2011. Hierbij werden geen broedgevallen of heikikkers aangetroffen. Ook bleek de habitatgeschiktheid in de directe omgeving voor broedvogels beperkt.

Afvissen alle droogvallocaties (eind juni 2011)

In het kader van de Nbwet-vergunning (De Deelen en de Rottige Meente) en de zorgplicht (alle wateren) dienden het doden en verwonden van vissen als gevolg van het leegpompen van de wateren te worden voorkomen. Hiervoor werden de vier droogvallocaties door een professioneel bureau (AT-KB) afgevist met behulp van zegens en fuiken (zie paragraaf 4.3.5.). Nadat het afvissen op de vier locaties was afgerond, kon het oppervlaktewater worden afgelaten en afgepompt. Tijdens het afpompen werd gecontroleerd of er nog vis was achtergebleven.

Verklaring geen bezwaar terreinbeheerder

Onderdeel van het vergunningentraject was de verklaring van terreinbeheerder Staatsbosbeheer dat zij geen bezwaar hadden tegen het uitvoeren van de maatregelen in het kader van dit project. Staatsbosbeheer was partner in het project en gaf deze verklaring dan ook af.

4.3 MAATREGELLEN

Om de verschillende wateren voor enige tijd te kunnen droogzetten 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.

De realisatie van maatregelen is in drie fasen uitgevoerd:

1. Voorbereiding
2. Fase 1 realisatie maatregelen
3. Fase 2 verwijderen maatregelen

Voorbereiding

In de voorbereiding van de maatregelen wordt een ontwerp en een werkplan opgesteld. Het detailniveau van de uitwerkingen verschilt per locatie en is onder meer afhankelijk van het type maatregelen dat genomen moet worden. Ontwerp en werkplan worden niet alleen voor eigen gebruik of de aannemer opgesteld, maar ook voor de betrokken bevoegde gezagen, de vergunningverleners.

Voor het aanleggen van gronddammen en duikers volstaat een eenvoudige tekening (op schaal) met locaties en dimensies. In het bijbehorend werkplan werd bijvoorbeeld omschreven met welke grond de gronddammen moesten worden aangelegd. Voor het plaatsen van de compartimenten met stalen damwand was de voorbereiding uitgebreider. Zo is met onder andere bodemsonderingen en modelberekeningen onderzocht welk type damwanden gebruikt moest worden en tot hoe diep deze aangebracht moesten worden. Ook werd ter plaatse met de beheerders bepaald hoe de benodigde materialen het beste in de gebieden aangevoerd konden worden. In het werkplan werd ook omschreven welke maatregelen genomen moesten worden om tijdens de realisatie schade aan de ondergrond te voorkomen.

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.

Op basis van de werkplannen met tekeningen werden de benodigde vergunningen aangevraagd (zie hiervoor) en aanbestedingen georganiseerd. De maatregelen werden door

verschillende veelal lokale aannemers uitgevoerd. Het werken met lokale aannemers kan als voordeel hebben dat zij de terreinen en betrokken beheerders al goed kennen.

Alle werkzaamheden werden - onder directievoering en toezicht - in de periode maart tot uiterlijk begin april 2011 op de verschillende locaties uitgevoerd.

4.3.1 WERKZAAMHEDEN LALLEWEER

In plas Lalleweer werden de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- het aanbrengen gronddam met een bovenbreedte van 4 m en een stabiel talud met duiker Ø 315 mm voorzien van handbedienbare afsluiters;
- het opschonen van circa 350 m watergang;
- het verwijderen bestaande stuw en plaatsen nieuwe kantelstuw;
- het aflaten en aanvullend afpompen van de locaties;
- het instandhouden van de droogval gedurende de periode juli – september.

Gronddam

De gronddam met duiker en handbedienbare afsluiter moest aangebracht worden in de op te schonen watergang tussen het meertje en de te vervangen stuw (Figuur 4.7). De gronddam werd opgebouwd uit grond afkomstig uit het naastliggend terrein.

FIGUUR 4.7

GRONDDAM MET DUIKER



Opschonen watergang

De watergang, welke overtollig water van de plas afvoerde richting een waterschapsloot, is opgeschoond om de afvoercapaciteit van de watergang te bevorderen (figuur 4.8). Om de watergang naar behoren te kunnen opschonen werden de schotbalken in de stuw tijdelijk verwijderd, waardoor de watergang nagenoeg droog stond.

FIGUUR 4.8 OPGESCHOONDE WATERGANG



Verwijderen bestaande stuw en plaatsen nieuwe schotbalken

De aanwezige stuw was niet meer regelbaar. Omdat via de stuw water kon worden afgelaten werden de schotbalken vervangen en voorzien van een vergrendeling (figuur 4.9).

FIGUUR 4.9 BESTAANDE BETONCONSTRUCTIE STUW MET VERGREDELING SCHOTBALKEN



4.3.2 WERKZAAMHEDEN WOUDBLOEM

In plas Woudbloem werden de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- het aanbrengen van een afrastering om vee buiten te sluiten;
- het aanbrengen gronddam met een bovenbreedte van 4 m en een stabiel talud met duiker \varnothing 315 mm voorzien van handbedienbare afsluiters;
- het aanbrengen van een noodoverloop \varnothing 500 mm in dijklichaam voorzien van handbedienbare afsluiter;
- het aflaten en aanvullend afpompen van de locaties;
- het instandhouden van de droogval gedurende de periode juli – september.

Gronddam

De gronddam met handbedienbare afsluiter werd aangebracht in de watergang tussen de beide plassen. De gronddam werd opgebouwd met grond afkomstig van de kruin van naastliggend dijklichaam (werk-met-werk). Bij Staatsbosbeheer bestond reeds de wens om de dijk te verlagen om de plassen vanaf de openbare weg meer zichtbaar te maken (figuur 4.10).

FIGUUR 4.10 AFGRAVEN KRUIN DIJK



Om de gronddam en afsluiter ook in nattere periodes bereikbaar te houden voor materieel werd er vanaf het dijklichaam een verhoogd pad aangebracht (figuur 4.11 en 4.12).

FIGUUR 4.11 PAD TUSSEN GRONDDAM EN DIJK



FIGUUR 4.12 GRONDDAM



Noodoverloop

De noodoverloop diende aangebracht te worden tussen de afwateringssloot parallel aan de Verlengde Veenlaan en de plas aan de noordzijde van de Verlengde Veenlaan. De noodoverloop werd aangebracht in een bestaand dijklichaam (figuur 4.13).

FIGUUR 4.13 NOODOVERLOOP IN DIJKLICHAAM



Omdat de verwachting bestond dat bij in werking treden van de noodoverloop erosie van de tegenoverliggende oever kon ontstaan werden aan de uitstroomzijde van de noodoverloop betonblokkenmatten aangebracht (figuur 4.14).

FIGUUR 4.14 BETONBLOKKENMATTEN



4.3.3 WERKZAAMHEDEN DE DEELLEN

In De Deelen werden de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- het aanbrengen van 2 gronddammen met een bovenbreedte van 4 m en een stabiel talud met duiker Ø 315 mm voorzien van handbedienbare afsluiters;
- het aanbrengen van 2 duikers Ø 315 mm voorzien van handbedienbare afsluiters in een bestaande kade;
- het aflaten en aanvullend afpompen van de locaties;
- het instandhouden van de droogval gedurende de periode juli – september.

Gronddammen

De gronddammen werden aangebracht in het deel dat de petgaten aan de zuidzijde met elkaar verbindt (figuur 4.15).

Tussen het referentiepetgat en naastgelegen oostelijk petgat was reeds een gronddam aanwezig. In deze gronddam werd ook een duiker \varnothing 315 mm met handbedienbare afsluiter aangebracht. De duiker werd enkele centimeters onder het waterpeil aangebracht.

FIGUUR 4.15 BESTAANDE GRONDDAM



Tussen het petgat dat later zou droogvallen en het referentiepetgat werd een gronddam met duiker aangebracht. De gronddam werd opgebouwd met veengrond uit een aanwezig gronddepot van Staatsbosbeheer (figuur 4.16). Gedurende de uitvoering viel veel neerslag, waardoor de draagkracht van de ondergrond sterk afnam. Dan blijkt hoe lastig het werken kan zijn in een veengebied. Besloten werd de dam op een later tijdstip verder op te hogen en te stabiliseren. Dit vond uiteindelijk plaats na een periode van enkele weken waarin minder neerslag viel.

FIGUUR 4.16 NIEUWE GRONDDAM



Duikers in kade

Aan de noordzijde van de petgaten werden twee duikers Ø 315 mm inclusief handbedienbare afsluiters in de bestaande kade aangebracht (figuur 4.17).

FIGUUR 4.17 AANBRENGEN DUIKER IN BESTAANDE KADE



4.3.4 WERKZAAMHEDEN ROTTIGE MEENTE

In de Rottige Meente werden de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- het aanbrengen en verwijderen platenbaan;
- het aanbrengen damwandkuip van stalen damwanden met loopsteiger langs één lange zijde van de damwandkuip;
- het aflaten en aanvullend afpompen van de locaties;
- het instandhouden van de droogval gedurende de periode juli – september.

Aanbrengen en verwijderen platenbaan en schotten

De projectlocatie bevond zich circa 300 meter vanaf de openbare weg. Om de ondergrond ter plaatse van het traject tussen de openbare weg en de projectlocatie niet of minimaal te verstoren moesten gedurende de heiwerkzaamheden voorzieningen worden getroffen ten behoeve van de bereikbaarheid van de projectlocatie. Concreet betekende dit het aanbrengen van rijplaten en draglineschotten.

FIGUUR 4.18 RIJPLATENBAAN



Aanbrengen compartiment van stalen damwand

In de periode maart – begin april werden in de Rottige Meente, ter hoogte van de vogelkijkhut twee compartimenten van stalen damwand aangebracht (afbeelding 4.19).

FIGUUR 4.19 AANBRENGEN STALEN DAMWANDEN



Op één lange zijde van de damwandkuip diende een loopsteiger aangebracht te worden. Deze is uitgevoerd in hout en aangebracht op de middelste wand van de kuip (afbeelding 4.20.).

FIGUUR 4.20 LOOPSTEIGER



Begin 2012 werd de gronddam in Lalleweer opgeruimd en het terrein hersteld. De stuw werd afgesteld zodat de plas weer vrij kon afwateren. In oktober 2012 werd de gronddam in Woudbloem verwijderd, waarbij de grond werd afgevoerd. In de De Deelen en de Rottige Meente worden de genomen maatregelen vooralsnog gehandhaafd met oog op vervolgmonitoring.

4.3.5 AFVISSEN EN BEMONSTEREN VAN DE ONDERZOEKSLOKATIES

Tijdens de voorbereidingen van het project en het opstellen van het projectplan werd vastgesteld dat alle locaties zouden worden afgevist om vissterfte door de droogval te voorkomen. Daarbij werd het afvissen van de locaties op een later moment ook onderdeel van het vergunningentraject van de natuurwetgeving. Naast het afvissen werden de referentieplassen bemonsterd om een beeld te krijgen van de aanwezige visstand. Het afvissen en de visstandbemonstering vonden plaats in de periode 29 juni – 28 juli 2011, kort voor de droogval en tijdens het afpompen van water (AT-KB, 2011).

Uitvoering

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 elektrovisapparaat tijdens het afpompen.

De onderzoekslocaties werden zoveel mogelijk afgevist met een zegen, waarbij ondersteunend ook gebruik werd gemaakt van een elektrovisapparaat. Alleen in De Deelen bleek zegenvisserij niet goed uitvoerbaar. De zegen liep geregeld vast in de slappe veenbodem. In De Deelen is daarop overgestapt op het actief vissen met staande netten (kieuwnetten). Na deze eerste visronde werden gedurende twee weken fuiken in de plassen geplaatst. De fuiken werden om de 2-4 dagen gecontroleerd en geleegd door lokale vissers. Tijdens het afpompen eind juli werden alle locaties nog eens gecontroleerd op aanwezigheid van vis. De achtergebleven vissen werden gevangen met zegen en/of elektrovisapparaat.

Visstandbemonstering referentieplassen

In de Rottige Meente en De Deelen werd de visstand in de referentieplassen onderzocht. Helaas bleek de doorgaans gebruikelijke BOM-methode (Bevist Oppervlak Methode) in beide plassen beperkt mogelijk. In De Deelen werd de inspanning met de zegen na twee trekken gestaakt, vanwege het vastlopen van het net in de bodem. Daarop is gebruik gemaakt van staande netten, elektrovisapparaat en fuiken. In de Rottige Meente bleek het referentievak te klein om met een boot te kunnen vissen. Hier werd de aanwezige visstand met fuiken bemonsterd.

Verwerken vangsten

Van de vangsten werden lengte en gewicht bepaald. Op basis hiervan kon de samenstelling en omvang van de totale vangst worden bepaald.

Bestemming van de gevangen vissen

Per gebied werd vooraf in overleg met de beheerders en de Hengelsportfederatie Groningen-Drenthe de bestemming van de vis bepaald. In De Deelen en Rottige Meente werd de vis buiten de onderzoekscompartimenten, maar in hetzelfde gebied uitgezet. De vis uit Lalleweer is in het Termunterzijldiep uitgezet. De vis uit Woudbloem is door de hengelsportfederatie in visvijver Yde in De Punt uitgezet.

RESULTATEN*Lalleweer*

In totaal werd in de kleiplas Lalleweer 237,6 kilogram vis gevangen en overgezet (tabel 4.6). Dit komt overeen met een visstand van 270 kg/ha. Dit past binnen het beeld van een voedselrijkere kleiplas. De visstand kon worden gekarakteriseerd als soortenarm en gedomineerd door brasem (*Abramis brama*) die ongeveer 85% van het bestand uitmaakte. Voor wat betreft de aanwezigheid van roofvissen werden alleen snoekbaars (*Sander lucioperca*) en aal (*Anguilla anguilla*) aangetroffen, hetzij in zeer geringe dichtheden. Opvallend was het ontbreken van snoek (*Esox lucius*), pos (*Gymnocephalus cernua*) en blankvoorn (*Rutilus rutilus*). Mogelijk dat de hoge mate van isolatie hierbij een rol speelt. Er is te weinig bekend van de historie en omstandigheden van deze plas om de precieze oorzaken hiervan te kunnen duiden.

TABEL 4.6 RESULTAAT AFVISSEN LALLEWEER (KG VIS PER KLASSE 0+ T/M > 41 CM)

VISSOORT	TOTAAL	0+	>0+-15	16-25	26-40	>-41
Brasem	203,4	0,2	11,8	62,8	34,5	94,1
Ruisvoorn	17,0	0,0	7,1	9,9	-	-
snoekbaars	3,2	0,1		0,6	2,6	-
Baars	9,3	-	3,6	5,7	-	-
Aal	4,7		-	-	1,2	3,5
TOTAAL	237,6	0,3	22,5	78,9	38,3	97,5

Woudbloem

In totaal werd 758 kilogram vis in Woudbloem gevangen en overgezet (tabel 4.7). Dit komt overeen met een bestand van 183 kg/ha. Er werden slechts drie soorten aangetroffen wat opvallend weinig is. Ongeveer 72% van het bestand bestond uit volwassen brasem met een lengte van 40-53 cm. Ook het bestand blankvoorn was met 40 kg/ha en veel exemplaren van 20-27 cm aanzienlijk. De geringe soortenrijkdom leek te wijzen op een hoge mate van

isolatie van omringende wateren, hoewel dit niet daadwerkelijk het geval is. De afwezigheid van pioniersoorten als baars (*Perca fluviatilis*), pos (*Gymnocephalus cernua*) en stekelbaars (*Gasterosteidae sp.*) kan niet goed verklaard worden. Van deze locatie zijn ook geen historische gegevens bekend van de visstand in dit gebied, zodat niet kan worden achterhaald hoe de visstand zich in de loop der tijd ontwikkeld heeft.

TABEL 4.7 RESULTAAT AFVISSEN WOUDBLOEM (KG VIS PER KLASSE 0+ T/M > 41 CM)

VISSOORT	TOTAAL	0+	>0+-15	16-25	26-40	>-41
Blankvoorn	160,7	4,8	13,4	119,8	22,7	-
Brasem	594,5	1,2	19,9	14,9	11,5	546,9
Aal	2,8		-	-	-	2,8
TOTAAL	758,0	6,0	33,3	134,7	34,3	549,7

De Deelen

In het petgat waar droogval gepland was werd in totaal 427,6 kilogram vis gevangen en verwijderd (tabel 4.8). Het oppervlak van het proefvak was 2 ha, zodat het oorspronkelijke bestand bijna 214 kg/ha bedroeg. Dit komt grofweg overeen met de bestandschatting van 2009 in 4 petgaten in De Deelen, toen werd een gemiddeld bestand van 242 kg/ha door AT-KB aangetroffen. Het visbestand bestond in 2011 voor 79% uit volwassen brasem. In 2009 werd de visstand in De Deelen ook bemonsterd, hetzij in andere petgaten. De dominantie van brasem werd toen niet gevonden. Slechts 25% van het totaalbestand was toen brasem en er werd meer zeelt (*Tinca tinca*) (24%), pos (14%), snoek (14%) en blankvoorn (11%) aangetroffen. Opvallend voor een relatief ondiepe veenplas is ook de grote vangst van 31 kilogram volwassen snoekbaars. Zowel de omvang van de vangst als de soortensamenstelling duiden op voedselrijke eutrofe omstandigheden.

TABEL 4.8 RESULTAAT AFVISSEN DE DEELEN (PETGAT MET DROOGVAL) (KG VIS PER KLASSE 0+ T/M > 41 CM)

VISSOORT	TOTAAL	0+	>0+-15	16-25	26-40	>-41
Blankvoorn	10,1	-	0,1	3,8	6,2	-
Brasem	339,8	0,0	0,1	0,4	0,6	338,6
Kolblei	0,8	-	0,0	0,2	0,6	-
Pos	4,6	1,2	3,3	0,2	-	-
Snoekbaars	32,4	0,0		0,1	1,3	31,0
Baars	5,8	0,3	3,9	0,5	1,1	-
Aal	0,3		-	-	-	0,3
Ruisvoorn	1,7	0,0	0,6	0,2	0,8	-
Zeelt	13,3	-	-	0,2	4,1	9,0
Kleinmodderkruiper	0,0	-	0,0	-	-	-
SUBTOTAAL	408,8	1,5	8,0	5,6	14,8	378,9
				indeling voor snoek		
	Totaal	0-15	16-35	36-44	45-53	>-54
Snoek	18,8	-	-	0,4	1,0	17,4
TOTAAL	427,6					

Referentie-petgat De Deelen

Omdat de bemonstering niet conform de BOM-methode kon plaatsvinden en de resultaten wat minder betrouwbaar zijn is gekozen voor een andere benadering. Ter compensatie van het moeizame verloop van de zegenvisserij is het rendement met de helft verlaagd. Dit betekent dat als uitgangspunt gehanteerd werd dat 40% in plaats van 80% van de in het bevestigingsoppervlak aanwezige vis gevangen is (tabel 4.9).

TABEL 4.9 RESULTAAT VISSTANDBEMONSTERING DE DEELLEN (REFERENTIE-PETGAT) (KG VIS PER KLASSE 0+ T/M > 41 CM)

VISSOORT	TOTAAL	0+	>0+-15	16-25	26-40	>-41
Brasem	11,5	-	0,2	-	-	11,3
Kolblei	0,3	-	0,3	-	-	-
Ruisvoorn	0,4	-	0,4	-	-	-
Pos	2,5	0,0	2,5	-	-	-
Snoekbaars	50,5	0,3	-	0,7	-	49,5
Baars	3,6	0,2	2,0	1,4	-	-
Totaal	68,8	0,4	5,4	2,1	-	60,8

Het visbestand van het referentie-petgat werd afgaand op het vangstresultaat en aangepast rendement ingeschat op ruim 68 kilogram per hectare. Dit is veel lager dan de 214 kg die in het naastgelegen proefvak werd afgevist. Met de gehanteerde alternatieve vangstmethode is het lastig om volwassen brasem te vangen. Dit resulteerde dan ook in het nagenoeg ontbreken van volwassen brasem in de bestandsschatting. Snoekbaars werd daarentegen nog hoger geraamd dan in het afgeviste petgat. In het referentie-petgat werden een aantal vissoorten niet aangetroffen, die in het andere petgat wel gevangen werden. Dit zijn blankvoorn, aal, ruisvoorn, zeelt, kleine modderkruiper en snoek. De geringere vangstinspanning en de problemen met de zegenvisserij zullen de belangrijkste verklaring voor het ontbreken van deze soorten zijn.

Rottige Meente

Het grote compartiment (droogvalcompartiment) kon met een kleine zegen in één keer goed afgevist worden (tabel 4.10). Ondanks de verstoring bij de aanleg (o.a. vaarbeweging, trillen van de damwand) bleek er tegen de verwachting in toch nog vrij veel vis in het compartiment aanwezig te zijn. Met een elektrovisapparaat en fuiken konden de resterende vissen vervolgens efficiënt weggevist worden. De visserij was dermate succesvol dat bij het droogpompen slechts 2 kg kleine vis bleek te resteren. Ook deze konden levend worden overgezet.

TABEL 4.10 RESULTAAT AFVISSEN ROTTIGE MEENTE (DROOGVALCOMPARTIMENT) (KG VIS PER KLASSE 0+ T/M > 41 CM)

	TOTAAL	0+	>0+-15	16-25	26-40	>-41
Blankvoorn	9,2	3,5	5,5	0,2	-	-
Brasem	7,5	4,5	1,6	1,4	-	-
Ruisvoorn	0,1	0,1	0,0	-	-	-
Pos	2,2	0,1	2,1	-	-	-
Baars	0,7	0,1	0,3	0,3	-	-
Zeelt	4,2	-	-	0,1	1,0	3,1
Kleinemodderkruiper	0,1	-	0,1	-	-	-
Vetje	0,0	0,0	0,0	-	-	-
Subtotaal	24,0	8,3	9,7	2,0	1,0	3,1
ecologische indeling voor snoek						
	TOTAAL	0-15	16-35	36-43	44-53	>-54
Snoek	2,5	-	0,5	1,2	0,8	-
TOTAAL	26,6					

In totaal werd er 26,6 kilogram vis gevangen in het proefvak. Uitgaande van een oppervlak van 0,14 hectare betekent dat een bestand van 190 kilogram per hectare. In 2009 is de visstand bemonsterd in dit gebied, toen werd een bestand van 247 kg/ha aangetroffen. De samenstelling verschilde wel sterk tussen beide bemonsteringen. Bij de afvissing in 2011 bestond 67% van het bestand uit vis <15 cm terwijl in 2009 juist heel weinig jonge vis werd aangetroffen (12%). Het verschil wordt grotendeels veroorzaakt door de grote brasem die in 2009 ruim 50% van het bestand uit maakte en nu niet aangetroffen werd. Aangenomen mag worden dat de grotere vis gevlucht is voor de verstoring die het trillen van de damwand met zich mee bracht.

TABEL 4.11 RESULTAAT AFVISSEN ROTTIGE MEENTE (REFERENTIECOMPARTIMENT) (KG VIS PER KLASSE 0+ T/M > 41 CM)

VISSOORT	TOTAAL	0+	>0+-15	16-25	26-40	>-41
Blankvoorn	0,0	-	0,0	-	-	-
Pos	0,5	-	0,5	-	-	-
Baars	1,3	0,1	1,1	0,2	-	-
Zeelt	1,1	-	0,0	0,3	0,8	-
Subtotaal	3,0	0,1	1,6	0,4	0,8	-
ecologische indeling voor snoek						
	TOTAAL	0-15	16-35	36-43	44-53	>-54
Snoek	0,0	0,0	-	-	-	-
TOTAAL	3,0					

In het referentiecompartment is gedurende 2 weken met 4 fuiken gevist. In totaal werd slechts 3 kg vis gevangen. De vangst is grotendeels weer teruggezet in dit vak. In tabel 4.11 is de totale vangst weergegeven. Omgerekend per hectare is dit bijna 74 kilogram. Dit is 2,5 keer lager dan in het grote compartiment werd aangetroffen. Ook in dit compartiment overheerste de kleine vis. Brasem is in zijn geheel niet aangetroffen evenals ruisvoorn, snoek, kleine modderkruiper en vetje. Opvallend is dat blankvoorn in het referentievak nagenoeg ontbrak terwijl deze soort het meest werd aangetroffen in het proefvak. Pos daarentegen werd in het referentievak weer in grotere hoeveelheden aangetroffen. Deze verschillen zijn niet het gevolg van natuurlijke processen maar vrijwel zeker het gevolg van de werkzaamheden die eerder plaatsvonden.

Conclusies afvissen en visstandbemonstering

De strategie van afvissen voor de droogval en tijdens het droogpompen bleek zeer effectief. Dit gold ook voor de combinatie van zegenvissen en gebruik van elektrovisapparaat en fuiken. Ook het samenwerken met lokale vissers, beheerders en hengelsportfederaties verliep zeer goed en is hiermee 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 plaatsvinden. Zo is op de website van de hengelsportfederatie een mededeling gedaan van de voorgenomen activiteiten, met uitleg en achtergronden van het project.

In de ondiepe plassen bleek het niet altijd mogelijk om met een zegen te werken. Ook de aanwezige meetapparatuur beperkte de mogelijkheden om te vissen. Het afvissen vroeg tevens nogal wat flexibiliteit van alle betrokkenen. Er moest regelmatig geïnspecteerd worden en op het juiste moment gevist worden. Bij het afpompen trekt de vis zich terug in de laagst gelegen delen. In dit project werden op twee locaties verdiepingen aangebracht om enerzijds de plas goed af te kunnen pompen en anderzijds om als verzamelplaats voor vis te fungeren. Het moment waarop de plas bijna droog is en de vis zich in deze laaggelegen

bevindt, is het moment om de laatste afvisronde in te zetten. Nu blijkt dat het niet eenvoudig is om het plaatsvinden van dit moment van te voren goed in te schatten. Ondanks deze beperkingen is in dit project gedemonstreerd dat het afvissen voor het toepassen van de maatregel tijdelijke droogval goed mogelijk is.

Op de meeste locaties bleek 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 altijd even duidelijk. Hoewel de uitvoering van maatregelen hierin een rol kan spelen, kunnen ook de mate van isolatie en de waterkwaliteit van invloed zijn. 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 passen bij het beeld van eutrofe plassen.

5

MATERIAAL EN METHODE

5.1 ALGEMEEN

Binnen het onderzoeksproject werden verschillende type deelonderzoeken uitgevoerd te weten:

- Microcosmos
- Kolomexperiment
- Mesocosmos
- Veldexperimenten
 - Geohydrologie
 - Geotechniek
 - Water- en bodemkwaliteit
 - Fytoplankton
 - Vegetatie
 - Macrofauna

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 flessen, potten, kolommen of aquaria. In dit onderzoeksproject werden twee type microcosmos experimenten uitgevoerd, namelijk in glazen potten en in kolommen.

Redox condities zijn bepalend voor het gedrag van veel verschillende elementen en verbindingen waaronder sulfaat, fosfaat en nitraat, maar ook bijvoorbeeld ijzer en mangaan. De overgang van aerob naar anaerob milieu vindt in waterbodems in de bovenste millimeters plaats. In onverstoorde kolommen blijft de redox toestand, zoals die in het veld aanwezig is, gehandhaafd en kunnen nauwkeurige (profiel)metingen worden verricht.

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 één van de terreinen 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 de deelonderzoeken 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 nauwkeuriger worden bepaald.

Een belangrijke onderzoeksvraag is hoe lang de droogvalperiode moet zijn om effecten teweeg te brengen. Onder laboratoriumcondities konden diverse droogvalperiodes en omstandigheden worden toegepast en werden de effecten in detail gemonitord. In de kolomexperimenten werd de droogvalduur gevarieerd van 1 week tot 3 maanden, daarnaast werden een aantal experimenten bij 4°C uitgevoerd om het effect van droogval in de winter te onderzoeken.

In de volgende paragrafen worden materiaal en methode van de verschillende deelonderzoeken besproken.

5.2 MICROCOSMOS

In 2010 werden waterbodems afkomstig van lopende projectinitiatieven onderzocht op het effect dat tijdelijke droogval kan hebben op de kwaliteit van de bodem, het bodemvocht en het oppervlaktewater. In totaal werden 73 bodems afkomstig uit 23 verschillende gebieden onderzocht. De betrokken gebieden staan vermeld in tabel 5.1. In het laboratorium werd van elke bodem in tweevoud 150 gram vers materiaal overgebracht in glazen afsluitbare bruine potten van 250 mL (Alcontrol Laboratories). De helft van de bodems werd anaeroob gehouden door de verse bodem aan te vullen met gedemineraliseerd water en de pot bij kamertemperatuur luchtdicht af te sluiten met een schroefdeksel. Hiervoor werd gekozen omdat anders de invloed van zuurstof onrealistisch groot zou zijn (o.a. de reductieve werking van de omringende bodem is weg en de dikte van de waterlaag is zeer klein). In de andere helft van de potten werd droogval nagebootst door de bodem gedurende acht weken op het laboratorium langzaam te laten droogvallen. Om microbiële activiteit te handhaven werden de bodems vochtig gehouden door regelmatig 5-10 mL gedemineraliseerd water toe te dienen indien de bodem totaal dreigde te verdrogen.

Na acht weken werd aan de drooggevallen bodems gedemineraliseerd water toegediend tot het oorspronkelijke vochtgehalte (op gewichtsbasis). Na één dag werd met rhizons porievocht verzameld (t=0 weken na vernatten) ter bepaling van de redox potentiaal en de concentratie nutriënten en elementen. In de permanent natte behandelingen werd tevens de waterlaag verwijderd waarna direct porievocht verzameld werd. Hierna werd in beide behandelingen een laag met gedemineraliseerd water op de waterbodem aangebracht. Dit ter compensatie voor het water dat verdampt was in de droogvalbehandeling en om te komen tot een betere vergelijking tussen beide behandelingen.

Na 1 week werd de pH van de waterlaag gemeten en werd na 4 en 8 weken 15 mL van de waterlaag verzameld voor uitgebreide chemische analyse (t= 4 en 8 weken na vernatten). Tevens werd na 8 weken bodemvocht verzameld voor chemische analyse (t=8 weken na vernatten). Hierna werd de hoogte van de onderwaterbodem opgemeten, de waterlaag overgeheveld en werd bodemmateriaal van beide behandelingen ingewogen in aluminium bakjes ter bepaling van het vochtgehalte en het organisch stofgehalte. De gedroogde bodem werd achtereenvolgens gemalen en gestrueerd ter bepaling van de concentratie elementen (o.a. Ca, Mg, Fe, S, Zn, Mn, P, Al).

Vocht- en organisch stofgehalte

Het vochtgehalte van de bodem werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 24 uur bij 105 °C. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het gedroogde bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550 °C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie aan elementen, waaronder nutriënten en zware metalen, in het bodemmateriaal te bepalen. Van de gedroogde en fijngemalen bodems werd 200 mg afgewogen in teflon destructievaatjes. Vervolgens werd 4 mL geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 1 mL waterstofperoxide (H₂O₂, 30%) toegevoegd. Hierna werden de vaatjes afgesloten en werd het monster ontsloten in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). Het destruaat werd met gedemineraliseerd water aangevuld tot 100 mL. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4 °C bewaard voor verdere analyse.

TABEL 5.1 DE GEBIEDEN (MET HUN LOCATIE) WAARVAN TEN TIJDE VAN DE START VAN HET ONDERZOEK VERSE BODEMS VAN AANWEZIG WAREN UIT LOPENDE PROJECTEN VAN ONDERZOEKSCENTRUM B-WARE. TEVENS IS HET GEMIDDELD ORGANISCH STOFGEHALTE (± STANDAARDEVIATIE) EN HET AANTAL SUBLOCATIES PER GEBIED GEGEVEN.

NAAM	LOCATIE	TYPE BODEM	ORG STOF (%)	SUBLOCATIES
1.Diepe Kuil	Maasbree	Veen	57 ± 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 ± 32	17
11.Woudbloem	Slochteren	Zand	5 ± 5	3
12.Westerpolder	Slochteren	Slib + Zand	7 ± 9	3
13.Serooskerke Weel	Serooskerke	Klei+Zand	6	2
14.Wevers inlaag Zeeland	Moriaanshoofd	Zand	1	1
15.Beuven	Someren	Veen	27 ± 36	10
16.Diepeilbuisroek	Venlo	Klei+Veen	58 ± 27	15
17.Ilperveld	Landsmeer	Veen	74	2
18.Ouwerkerkse inlaag	Ouwekerk, Zierikzee	Klei+Veen	5 ± 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

Chemische analyse

Van de porievocht- en de oppervlaktewatermonsters werden direct de pH en de alkaliteit (zuur neutraliserend vermogen) gemeten. De alkaliteit werd bepaald door 20 mL monster te titreren tot pH 4,2 met een 0,01 M HCl oplossing. De gehalten aan CO₂ en HCO₃⁻ werden bepaald met behulp van een IRGA (Infrared Gas Analyser). Van het overige monster werd 10 mL gefixeerd met 100 µL salpeterzuur en geanalyseerd op een ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrophotometer) (Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Peilbuis, S, Si, Sr en Zn). Tevens werd 30 mL monster gefixeerd met citroenzuur waarna colorimetrisch de gehalten aan PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, Na⁺, K⁺ en Cl⁻ werden bepaald gebruikmakend van autoanalyserstechnieken (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>).

Data verwerking

De data van bodem, waterlaag en bodemvocht werden inzichtelijk gemaakt in scatter plots van puntenwolken met een 'één op één lijn' die de waarde in de droogvalbehandeling aangeeft indien er géén effect van droogval zou zijn. Dit is zowel gebeurd voor parameters waar een duidelijk zichtbare respons van droogval is opgetreden als voor parameters waarvoor theoretisch een (belangrijke) respons zou kunnen optreden. De bodems werden ingedeeld in drie (ongeveer even grote) categorieën variërend in O.M. (organische stof) te weten 0-5%, 5-50% en 50-90% O.M. Het gemiddelde organisch stofgehalte van de twee behandelingen (drooggevallen en niet drooggevallen) dat aan het einde van het experiment bepaald werd, werd hierbij gebruikt. Er waren hierbij geen bodems die vanwege de droogval in een andere categorie terecht zouden zijn gekomen. Wat betreft de bodemparameters werd éénmalig bemonsterd (op het einde van het experiment) en werd één grafiektype gemaakt waarbij de drie organische stof klassen met verschillende kleuren werden aangegeven.

Van het verloop van de chemie van bodemvocht en de waterlaag werden twee grafiektypen gemaakt. In het eerste grafiektype ligt de nadruk op het effect van droogval op bodems die verschillen in organisch stofgehalte en werden de drie organische stof klassen inzichtelijk gemaakt door drie verschillende kleuren te hanteren; terwijl het tijdsverloop inzichtelijk gemaakt werd door gebruik te maken van twee typen symbolen. In het tweede grafiektype ligt de nadruk meer op het tijdsaspect en werd het tijdsverloop inzichtelijk gemaakt door twee verschillende kleuren te gebruiken, terwijl de drie verschillende organische stofklassen inzichtelijk werden gemaakt door gebruik te maken van drie verschillende symbolen.

FIGUUR 5.1 INDRUK VAN HET EXPERIMENT OP HET LABORATORIUM BIJ KAMERTEMPERATUUR. ZICHTBAAR ZIJN DE ANAEROBE NIET DROOGGEVALLEN BODEMS (MET GROENE DEKSEL) EN DE AEROBE TIJDELIJK DROOGGEVALLEN BODEMS (ZONDER DEKSEL) (BOVEN) EN BEMONSTERING VAN BODEMVOCHT MET RHIZONS (ONDER). RECHTSONDER EEN BODEM WAARUIT HET PRINCIPE VAN DROOGVAL ZICHTBAAR IS NAMELIJK OXIDATIE VAN ZWARTE IJZER-SULFIDEN WAARBIJ IJZER(HYDR)OXIDEN (ROEST) GEVORMD WORDT.



5.3 KOLOMMENEXPERIMENT

Om de effecten van tijdelijke droogval te onderzoeken, werden in het lab experimenten met kolommen met onverstoord sediment uitgevoerd. Daarnaast werden een aantal kolommen gebruikt voor het maken van concentratieprofielen in zowel het poriewater als de vaste stof. De kolommen (perspex, diameter 10 cm, lengte 1 meter) werden met behulp van een mechanische opstelling vanaf een vlot het sediment ingeduwd. Vervolgens werden de kolommen na het afsluiten van de ontluchter er onder vacuüm uitgetrokken (figuur 5.2). De kolommen werden rechtop en zo stabiel mogelijk naar het laboratorium vervoerd.

FIGUUR 5.2 MONSTERNAME VAN ONVERSTOORDE SEDIMENTKOLommen. DE KOLOMMEN WORDEN AAN EEN STANG HET SEDIMENT INGEDUWD EN ONDER VACUÛM OMHOOG GEHAALD.



Uitvoering droogval experiment

In oktober 2010 werden op alle vier de onderzoekslocaties kolommen gestoken en gebruikt in een eerste droogval experiment. Tijdens deze proef werd op verschillende dieptes actief poriewater onttrokken door een 60 ml spuit onder vacuüm aan een rhizon te koppelen. Dagelijks werd de spuit geleegd en opnieuw aangesloten. Deze uitvoering leverde een aantal problemen op. De rhizons onttrokken niet alleen water uit het bovenliggend sediment, maar door capillaire werking ook uit dieper gelegen lagen. Het effect van de verschillende onttrekking dieptes was hierdoor beperkt of afwezig. De inklinking van het sediment was door de forse ontwatering groot, waardoor niet alleen de bovenkant van het sediment tot wel 15 cm zakte, maar het sediment ook los van de wand van de buis kwam te staan. Dit effect versterkte het vochtverlies door verdamping in de diepere sedimentlagen. Op het moment van vernatten bleek het sediment niet meer goed te bevochtigen, waardoor het niet mogelijk was de concentraties in het poriewater na droogval te monitoren. Er zijn behalve metingen van de vochtpercentages geen verdere analyseresultaten van dit experiment.

In april 2011 werden op de locaties Woudbloem en Lalleweer nieuwe kolommen gestoken om het experiment alsnog uit te kunnen voeren. In oktober 2011 werd in De Deelen het referentiepetgat bemonsterd. Tegelijkertijd werden in de Rottige Meente nieuwe kolommen

naast de met damwanden afgezette onderzoekslocatie gestoken. Om de droogval zoals in het veld na te bootsen, werd het bovenstaande water verwijderd, waarna de waterbodem door verdamping verder uitdroogde. De droogvalduur, variërend van één week tot 3 maanden, zorgde voor verschillende condities in de verschillende kolommen. Daarnaast werden een aantal experimenten in een koelcel bij 4°C uitgevoerd. De verschillende behandelingen zijn weergegeven in tabel 5.2. Na de droogvalperiode werd een waterlaag van 10 cm kraanwater op de kolommen aangebracht. In de drie kolommen die niet werden drooggezet werd het bovenstaande water na 1 of na 3 maanden vervangen door kraanwater.

TABEL 5.2 VERSCHILLENDE BEHANDELINGEN IN DROOGVAL EXPERIMENT

KOLOM NR.	CODERING*	DROOGVAL GEDURENDE	BIJZONDERHEDEN
kolom 1	XX-geen	geen droogval	bovenstaande water na 1 maand vervangen
kolom 2	XX-geen	geen droogval	bovenstaande water na 3 maanden vervangen
kolom 3	XX-1wk	1 week	
kolom 4	XX-2wk	2 weken	
kolom 5	XX-2wk	2 weken	
kolom 6	XX-1mnd	1 maand	
kolom 7	XX-1mnd	1 maand	
kolom 8	XX-2mnd	2 maanden	
kolom 9	XX-3mnd	3 maanden	
kolom 10	XX-3mnd	3 maanden	
kolom 11	XX-geen-4C	geen droogval	4°C, bovenstaande water na 3 maanden vervangen
kolom 12	XX-1mnd-4C	1 maand	4°C
kolom 13	XX-3mnd-4C	3 maanden	4°C

* Codering wordt toegepast bij de presentatie van de resultaten. XX staat voor de locatie (LW-Lalleweer, WB-Woudbloem, DD-De Deelen, RM-Rottige Meente).

Het poriewater in de kolommen werd zowel tijdens de droogvalperiode als na vernatten regelmatig bemonsterd door middel van rhizon poriewatersamplers die op verschillende dieptes in het sediment waren aangebracht. In alle monsters werd direct de pH gemeten en werden dezelfde dag de concentraties anionen en kationen met ion chromatografie bepaald. Op deze korte termijn vindt nog geen omzetting van sulfide naar sulfaat plaats, waardoor geen aparte behandeling van de monsters nodig is. Daarnaast werden in een selectie van monsters de concentraties van de overige kationen en totaal-P (met ICP-OES) en de DOC en DIC-concentraties bepaald.

5.4 MESOCOSMOS

In 2010 werden waterbodems op vijf verschillende locaties verzameld (tabel 5.3) te weten, de vier eerder genoemde onderzoekslocaties en het Ilperveld. Deze laatste locatie betreft een voormalig brak veenweidegebied in West-Nederland. Materiaal werd verzameld gedurende de periode juli-november 2010. In het Ilperveld werd op de oever gelegen baggermateriaal verzameld dat reeds meerdere dagen was blootgesteld aan de lucht. Voor de overige locaties gold dat bodemmateriaal werd verzameld in het open water nabij de oevers. Het materiaal werd direct in lekvrije containers per vrachtwagen naar het kassencomplex van de Radboud Universiteit Nijmegen gebracht. Per locatie werden vier ingegraven mesocosmos (diameter 185 cm, diepte 90 cm) voor de helft gevuld met bodemmateriaal (figuur 1.1). Hierna werd aangevuld met Nijmeegs leidingwater (pH= 8,1; $\text{HCO}_3^- = 2300 \mu\text{M}$; $\text{NO}_3^- = 300 \mu\text{M}$; $\text{Ca} = 1350 \mu\text{M}$; $\text{S} = 400 \mu\text{M}$) (figuur 5.4). Het experiment startte vervolgens in november 2010. Per mesocosm werden op drie verschillende diepten (5, 20 en 35 cm beneden maaiveld) permanent

ceramische cups geplaatst voor de bemonstering van bodemvocht. Tevens werden twee pvc pijpen geplaatst tot op de bodem van de mesocosm om de inklinking van de bodem en de stand van het grondwater ten opzichte van maaiveld te kunnen monitoren.

Gedurende een periode van circa 1 jaar werd het effect van het moment van de droogvalperiode op de abiotiek van de verschillende wateren in 24 mesocosms onderzocht. De droogvalperiode vond plaats gedurende het voorjaar (februari-april), de zomer (juni-augustus) en de winter (november-januari) en betrof telkens een periode van 2 maanden (zoals ook +/- in het veld heeft plaatsgevonden, circa 75 dgn). Droogval vond plaats via geleidelijke indamping waarbij de waterlaag verwijderd werd met een waterpomp en aanvulling met neerslag voorkomen werd door het plaatsen van tijdelijke afdakjes (figuur 5.3). Elke droogvalperiode werd voorafgegaan en gevolgd door een natte periode van 2,5 maand. Hervernatting vond plaats met leidingwater. Opwerveling van bodem werd hierbij voorkomen door het water in eerste instantie trapsgewijs toe te dienen via een emmer die weer in een ondiepe platte bak geplaatst was. De ruimtelijke verdeling van de verschillende bodemtypen en de droogvalperioden over het terrein is weergegeven in figuur 1.2

TABEL 5.3 DE VIJF BETROKKEN GEBIEDEN MET DE, IN DIT RAPPORT GEHANTEERDE CODE, COÖRDINATEN EN HET BODEMTYPE.

NATUURGEBIED	CODE	GEMEENTE	LOCATIE	BODEMTYPE
Rottige Meente	RM	Friesland	52°50'11"N 5°54'13"E	Veen
Ilperveld	IL	Noord Holland	53°13'05"N 6°45'30"E	Veen
De Deelen	DD	Friesland	53°16'28"N 6°59'41"E	Veen
Woudbloem	WB	Groningen	52°25'60"N 4°55'60"E	Zand
Lalleweer	LW	Groningen	51°24'08"N 6°11'01"E	Klei

(A)biotische bemonsteringen

De landelijke gemiddelde maandelijks neerslag en gemiddelde temperatuur werd verkregen via het KNMI (www.knmi.nl). Maandelijks werden foto's gemaakt en werd handmatig de stand van het grondwater in de pvc buizen gemeten. Tevens werd een monster (250 mL) van het oppervlaktewater en het bodemvocht (3 diepten) verzameld. In elke periode werd op vaste intervallen voor en na droogval de gasemissie (CO₂ en CH₄) bepaald. Tevens werd met een bodemhapper bodemmateriaal verzameld van de toplaag van de bodem (0-20 cm). De bedekking van verschillende plantensoorten werd geschat net voor elke periode van droogval en net voor elke periode van hervernatting.

FIGUUR 5.3 INDRUK VAN HET EXPERIMENT OP HET KASSENCOMPLEX VAN DE RABBOUD UNIVERSITEIT NIJMEGEN: HET VULLEN VAN DE MESOCOSMS MET LEIDINGWATER (B+C) EN HET GRADUEEL DROOG LATEN VALLEN VAN DE MESOCOSM DOOR HET WEGPOMPEN VAN DE WATERLAAG EN HET VOORKOMEN VAN DE INVAL VAN REGENWATER MIDDELS HET PLAATSEN VAN AFDAKJES (D, E, F).



Massa-Volume bepaling van de bodem

Aangezien dichtheden tussen bodemtypen onderling sterk kunnen verschillen, worden bodemkenmerken vaak uitgedrukt per liter verse bodem in plaats van per gram droge bodem. Op deze wijze kunnen bodemtypen onderling beter vergeleken worden. Tevens is dit voor bepaalde parameters ook realistischer omdat planten bijvoorbeeld wortelen in een bepaald bodemvolume. Ter bepaling van het massa-volume werd van elke bodem een bekend volume gedroogd waarna het versgewicht bepaald werd.

Vocht- en organisch stofgehalte van de bodem

Het vochtgehalte van de bodem werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal te drogen gedurende 24 uur bij 105° C. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het gedroogde bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550° C. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Concentratie plantbeschikbaar fosfaat van de bodem

De hoeveelheid plantbeschikbaar fosfaat (Olsen-P) in de bodem werd bepaald door middel van een Olsen-P extractie (Olsen, 1954). Aan 3 gram droog en gemalen bodemmateriaal werd 60 mL 0.5 M natriumbicarbonaat (NaHCO₃) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werd het extract uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna het supernatant (bovenstaande vloeistof) onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon rhizons. Het extract werd bij 4° C bewaard tot verdere analyse.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrukeren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie aan elementen, waaronder nutriënten en zware metalen, in het bodemmateriaal te bepalen. Van de gedroogde en fijngemalen bodems werd 200 mg afgewogen in teflon destructievaatjes. Vervolgens werd 4 mL geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 1 mL waterstofperoxide (H₂O₂, 30%) toegevoegd. Hierna werden de vaatjes afgesloten en werd het monster ontsloten in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). Het destrukaat werd met gedemineraliseerd water aangevuld tot 100 mL. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4° C bewaard voor verdere analyse.

Zuurstofverbruik van de bodem

Aan 250 mL glazen flessen werd 5 gram verse bodem en 20 mL gedemineraliseerd water toegediend. Eén replica werd overnacht doorborreld met perslucht (oxidatie van gereduceerde verbindingen). Hierna werden alle potten aangevuld met zuurstof verzadigd gedemineraliseerd water, afgesloten en 4 tot 5 uur weggezet op een schudmachine bij 105 rpm en 18° C waarna het zuurstofgehalte werd gemeten met een WTW Cellox 325 electrode.

Mineralisatie van de bodem

Aerobe en anaerobe afbraak van de bodem werd bepaald door aan 15 gram verse bodem 20 mL gedemineraliseerd water toe te voegen aan een 60 mL infuus fles. Ter bepaling van de anaerobe afbraak werd geflushed met stikstof. Incubatie vond plaats in het donker bij 18° C. Acht maal werden gedurende regelmatige intervallen van 1 uur gasmonsters verzameld voor analyse van CO₂ en CH₄.

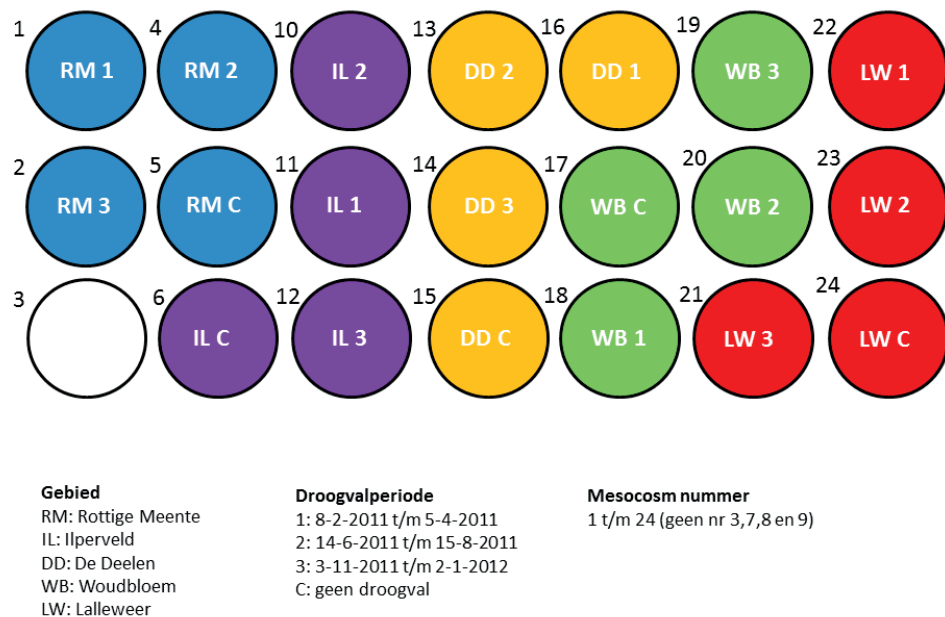
P-fracties van de bodem

Het vaststellen van de verschillende P-fracties in de bodem vond plaats via de methode Golterman (1996). Hierbij werden de fracties onttrokken aan 0,5-1,0 gram verse bodem door alternerend te schudden en extraheren met 2x25 mL 1M NH₄Cl (labiel-P fractie), 2x30 mL 0,05 M Ca-EDTA (Fe&Al-P fractie), 3x30 mL 0,1 M Na-EDTA (Ca-P fractie). De organisch gebonden P-fractie werd indirect bepaald als de restfractie ten opzichte van het totale gehalte aan P in de bodem zoals vastgesteld aan de hand van een bodemdestructie.

Chemische kwaliteit van het water en bodemvocht

Van het grondwater en de oppervlaktewatermonsters werden direct de pH en de alkaliteit (zuur neutraliserend vermogen) gemeten. De alkaliteit werd bepaald door 20 mL monster te titreren tot pH 4,2 met een 0,01 M HCl oplossing. De gehalten aan CO₂ en HCO₃⁻ werden bepaald met behulp van een IRGA. Van het overige monster werd 10 mL gefixeerd met 100 µL salpeterzuur en geanalyseerd op een ICP-OES (Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Peilbuis, S, Si, Sr en Zn). Tevens werd 30 mL monster gefixeerd met citroenzuur waarna colorimetrisch de gehalten aan PO₄³⁻, NH₄⁺, NO₃⁻, Na⁺, K⁺ en Cl⁻ werden bepaald gebruikmakend van autoanalysetechnieken (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>).

FIGUUR 5.4 DE RUIMTELIJKE VERDELING VAN DE VERSCHILLENDE BODEMTYPEN EN DE DROOGVALPERIODEN OVER HET ONDERZOEKSTERREIN VAN HET KASSENCOMPLEX VAN DE RABBOUD UNIVERSITEIT NIJMEGEN.

*Vegetatieontwikkeling*

De vegetatieontwikkeling is gemonitord door op vier verschillende momenten de vegetatie van alle mesocosms te inventariseren. Hierbij werd van alle aanwezige soorten de abundantie geschat volgens de Braun Blanquet methode en werd tevens de absolute bedekking in procenten geschat. Dit vond plaats op de volgende momenten:

- 14 juni 2011: 4 maanden na de start van voorjaars-droogval en 2 maanden na hervernatten.
- 26 september 2011: 3,5 maand na de start van de zomer-droogval en 1,5 maand na hervernatten.
- 2 november 2011: net voor het moment van winter-droogval.
- 29 juni 2012: eindsituatie van het experiment.

Alle mesocosms hebben minimaal 1 zomerperiode meegemaakt.

Van de proefopstelling werden regelmatig foto's, inclusief onderwater foto's, gemaakt van de vegetatie.

5.5 VELDEXPERIMENT

Het veldexperiment bestond uit verschillende onderdelen, die door verschillende organisaties werden uitgevoerd. In de onderstaande subparagrafen worden materiaal en methode van deze onderdelen beschreven. We onderscheiden hierbij de volgende onderdelen:

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

5.5.1 GEOHYDROLOGIE

Bij het tijdelijk droogzetten van een watersysteem spelen geotechnische en geohydrologische aspecten een rol. Om de watersystemen droog te laten vallen is vaak een tijdelijke bemaling nodig. Tijdens de bemaling treden er grondwaterstandverlagingen op in de deklaag maar ook in dieper gelegen zandlagen (WVP). De verbreiding van de effecten in de omgeving is naar verwachting groter in de doorlatende zandlagen dan in de weerstandbiedende deklaag. Middels monitoring van de grondwaterstanden en de stijghoogte in het watervoerend pakket kunnen de optredende verlagingen tijdens de bemaling in beeld worden gebracht.

Het droogzetten van een watersysteem kan bijvoorbeeld effecten op de stabiliteit van oevers, kades en legakkers hebben. Om inzicht te verkrijgen in de daadwerkelijke effecten van de geforceerde droogval werd een monitoring van de geotechnische en de geohydrologische effecten uitgevoerd.

Lalleweer

De geohydrologische monitoring in Lalleweer bestond uit een oppervlaktewatermeetpunt in de plas en een grondwaterpeilbuis op 35 m afstand van de plas. De monitoring werd gestart in februari 2011 en beëindigd in april 2012. In figuur 5.5 zijn de locaties van de grondwater- en oppervlaktewatermeetpunten voor de projectlocatie weergegeven. In tabel 5.4 zijn de filterdieptes van de peilbuizen weergegeven.

FIGUUR 5.5 MONITORINGSLocatIES LALLEWEER



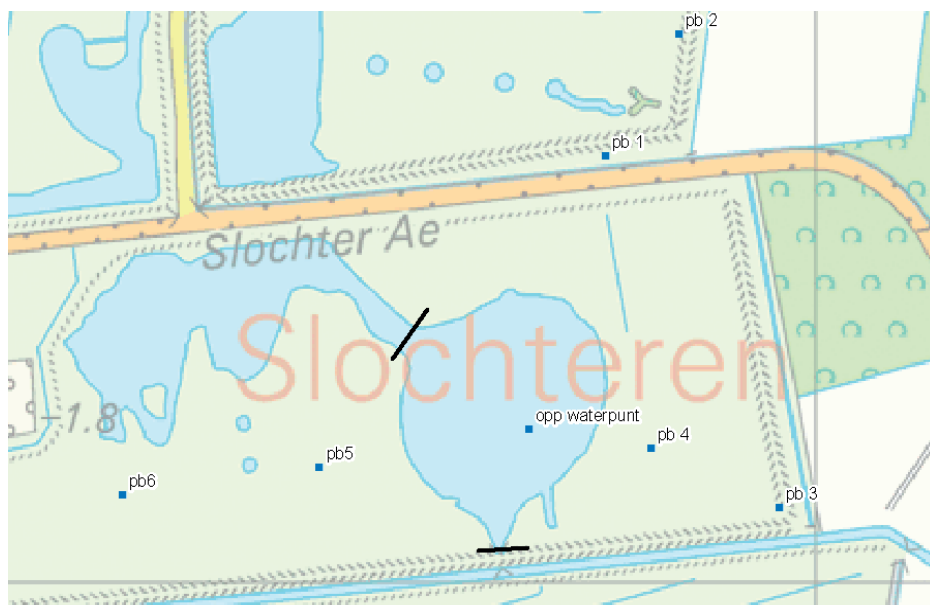
TABEL 5.4 GEGEVENS PEILBUIZEN

PEILBUIS	MAAIVELDHOOGTE (M NAP)	FILTERDIEPTE (M NAP)	LAAG
PEILBUIS1	-1,4	-11 tot -12	WVP1
OPW			Oppervlaktewater

Woudbloem

De geohydrologische monitoring in Woudbloem bestond uit een oppervlaktewatermeetpunt in de plas en 6 peilbuizen voor monitoring van het grondwater in de omgeving. De monitoring werd gestart in februari 2011 en beëindigd in maart 2012. In figuur 5.6 zijn de locaties van de grondwater- en oppervlaktewatermeetpunten voor de projectlocatie weergegeven. In tabel 5.5 zijn de filterdieptes van de peilbuizen weergegeven.

FIGUUR 5.6 MONITORINGSLocatIES WOUDBLOEM



TABEL 5.5 GEGEVENS PEILBUIZEN

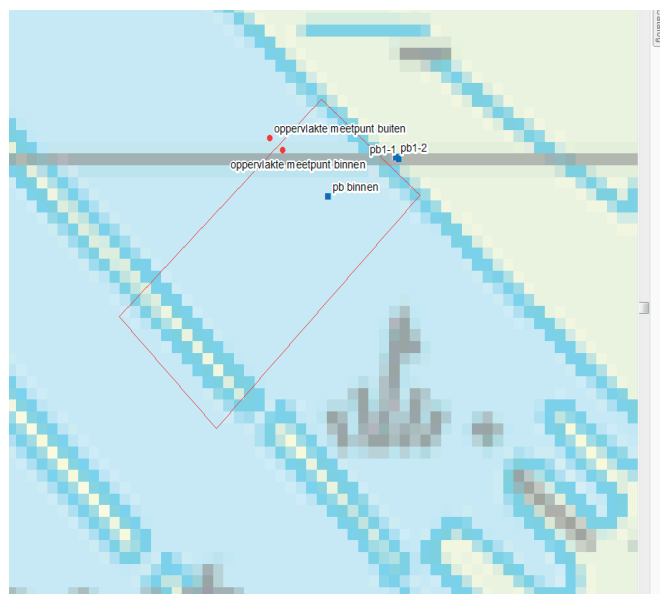
PEILBUIS	MAAIVELDHOOGTE (M NAP)	FILTERDIEPTE (M NAP)	LAAG
peilbuis1	-2.1	-5 tot -6	WVP1
peilbuis2	-1.9	-5 tot -6	WVP1
peilbuis3	-1.9	-4,3 tot -5,3	WVP1
peilbuis4	-1.8	-4,8 tot -5,8	WVP1
peilbuis5	-2.0	-4,1 tot -5,1	WVP1
peilbuis6	-2.0	-4 tot -5	WVP1
OPW			Oppervlaktewater

Peilbuis 5 is in het veld afgebroken en mist daarom metingen tussen juli en september 2011.

Rottige Meente

De geohydrologische monitoring in de Rottige Meente bestond uit metingen van het oppervlaktewaterpeil binnen en buiten de onderzoekslocatie en metingen van grondwaterstanden binnen en buiten de onderzoekslocatie. De peilbuis buiten de onderzoekslocatie bevatte een filter in het 1^e WVP (Watervoerend Pakket) en in het 2^e WVP. De afstand van peilbuis 1 tot de damwanden bedroeg circa 3 m. In figuur 5.7 zijn de locaties van de grondwater- en oppervlaktewatermeetpunten voor de projectlocatie weergegeven. In tabel 5.6 zijn de filterdieptes van de peilbuizen opgenomen.

FIGUUR 5.7 MONITORINGSLOCATIE ROTTIGE MEENTE



TABEL 5.6 GEGEVENS PEILBUIZEN

PEILBUIS	MAAIVELDHOOGTE (M NAP)	FILTERDIEPTE (M NAP)	LAAG
peilbuis1-1	-0.81	-3,5 tot -4,5	1e WVP
peilbuis1-2	-0.81	-10,2 tot -11,2	2e WVP
peilbuis binnen		ca. -3,6	Deklaag
oppw binnen			Oppervlaktewater
oppw buiten			Oppervlaktewater

De Deelen

De geohydrologische monitoring in De Deelen bestaat uit metingen van het oppervlaktewater in het bempompte petgat (OPWI) en het naastgelegen petgat (OPWII). Ter plaatse van de tussengelegen legakkers is de grondwaterstand en stijghoogte gemonitord middels 6 peilbuizen. Peilbuis 1 t/m 4 bevat een gecombineerd filter, in WVP1a en WVP1c. Peilbuis 5 en 6 bevatten enkel een filter in WVP1a. In figuur 5.8 zijn de locaties van de grondwater- en oppervlaktewatermeetpunten voor de projectlocatie weergegeven. In tabel 5.7 zijn de filterdieptes van de peilbuizen opgenomen.

FIGUUR 5.8 MONITORINGSLocatIES DE DEELen



TABEL 5.7 GEGEVENS PEILBUIZEN

PEILBUIS	MAAIVELDHOOGT (M NAP)	FILTERDIEPTE (M NAP)	LAAG
peilbuis1	0.01	-10 tot -11	WVP1c
peilbuis2-1	-0.78	-2,6 tot -3,6	WVP1a
peilbuis2-2	-0.77	-8,9 tot -9,9	WVP1c
peilbuis3-1	-0.70	-2,6 tot -3,6	WVP1a
peilbuis3-2	-0.70	-9,6 tot -10,6	WVP1c
peilbuis4-1	-0.63	-2,6 tot -3,6	WVP1a
peilbuis4-2	-0.62	-9,6 tot -10,6	WVP1c
peilbuis5	-0.88	-2,8 tot -3,8	WVP1a
peilbuis6	-0.67	-2,8 tot -3,8	WVP1a
opwI			Oppervlaktewater
opwII			Oppervlaktewater

Om de nulsituatie voorafgaand aan de proef te bepalen werd de monitoring gestart in april 2011. Na de droogvalperiode in de zomer van 2011 werd de monitoring gecontinueerd tot maart 2012 om het herstel van de grondwaterstanden te volgen. De monitoring werd op alle locaties uitgevoerd middels automatische drukopnemers (divers of dataloggers) met een uurlijks meetinterval. De peilbuizen werden tweemaandelijks gecontroleerd.

5.5.2 GEOTECHNIEK

Het droogzetten van watersystemen heeft effecten op de stabiliteit van de ondergrond in de omgeving. In de directe omgeving gaat het om de waterbodem, oevers, kades en bijvoorbeeld legakkers. Op enige afstand van het watersysteem kan het gaan om landbouwpercelen, natuurgebieden of bouwland. Belangrijk is de vraag te beantwoorden of bij uitvoering van de maatregel droogval mogelijk schade aan taluds en bebouwing optreedt. Hiervoor werden de effecten in de directe omgeving gemonitord en de karakteristieke grondparameters bepaald in het laboratorium. De geotechnische aspecten werden alleen beschouwd voor de wateren in de veengebieden waarvan werd ingeschat dat deze met name schadegevoelig zijn (Rottige Meente en De Deelen). Op basis van sonderingsgegevens werd ingeschat dat de effecten in en rondom de plassen op zand- en kleibodem (Woudbloem en Lalleweer) beperkt zouden blijven.

In het voorliggende hoofdstuk wordt ingegaan op de geotechnische effecten van de droogval op de omgeving. Aan de basis van dit hoofdstuk ligt het onderzoeksrapport van Wiertsema (Wiertsema, 2011), welke de monitorings- en laboratoriumwerkzaamheden heeft verricht.

Vooronderzoeken

Voor de start van de droogval werd eerst de bodemopbouw bepaald aan de hand van een aantal sonderingen en handboringen. Aan de hand van de bodemopbouw werd de monitoring nader vorm gegeven. In tabel 5.8 en in tabel 5.9 zijn de onderzoeksprogramma's weergegeven voor de Rottige Meente en De Deelen. In tabel 5.10 zijn de laboratorium werkzaamheden weergegeven.

TABEL 5.8 ONDERZOEKSPROGRAMMA ROTTIGE MEENTE

ONDERDEEL	AANTAL	DOEL
sonderingen tot 25,0 m - mv	4	verifiëren diepe bodemopbouw
handboringen tot 2,5 m -mv	8	verifiëren ondiepe bodemopbouw, rising head test, ongeroerde monstername
rising head test in boorgat	36	bepaling k -waarde deklaag (meting in-situ doorlatendheid in m/dag)
zakbakens 0,5 m - mv	4	meten van de maaiveldzakking van de grond ten gevolge van de droogval
zakbakens 1,0 m - mv	4	meten samendrukking van de grond ten gevolge van de droogval op 1,0 m -mv
zakbakens 1,5 m - mv	4	meten samendrukking van de grond ten gevolge van de droogval op 1,5 m -mv
peilbuizen	4	meten grondwaterstanden
waterspanningsmeters veenlaag mv -0,5 m	4	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	1	meten freatisch water (verdrijving van de deklaag)

TABEL 5.9 ONDERZOEKSPROGRAMMA DE DEELEN

ONDERDEEL	AANTAL	DOEL
sonderingen tot 25,0 m - mv	4	verifiëren diepe bodemopbouw
handboringen tot 4,0 m -mv	4	bepaling materiaal en diepte waterbodem
handboringen tot 2,5 m -mv	8	verifiëren ondiepe bodemopbouw, rising head test, ongeroerde monstername
rising head test in boorgat	19	bepaling k -waarde deklaag (meting in-situ doorlatendheid in m/dag)
zakbakens 0,5 m - mv	4	meten van de maaiveldzakking van de grond ten gevolge van de droogval
zakbakens 1,0 m - mv	4	meten samendrukking van de grond ten gevolge van de droogval op 1,0 m -mv
zakbakens 1,5 m - mv	4	meten samendrukking van de grond ten gevolge van de droogval op 1,5 m -mv
peilbuizen	4	meten grondwaterstanden
waterspanningsmeters veenlaag mv -0,5 m	4	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	1	meten freatisch water (verdrijving van de deklaag)

Bepaling schadeverwachting

Er bestaan een tweetal belangrijke geotechnische effecten die optreden bij het verlagen van de (grond)waterstand, te weten: zakking van het maaiveld en instabiliteit van de oevers. De opzet van de monitoring en de laboratoriumproeven werden vooral vanuit het mogelijk optreden van deze effecten vormgegeven.

TABEL 5.10 ONDERZOEKSPROGRAMMA LABORATORIUM

ONDERDEEL	AANTAL	DOEL
bepaling volumegewichten	101	bepaling natuurlijk en verzadigd volumegewicht van de ongeroerde monsters als input voor de schadeverwachtingsberekeningen
Samendrukkingsproeven	5	uitvoering proef op ongeroerde monsters voor het bepalen van de samendrukkingsparameters als input voor de zettingsberekeningen
direct simple shear proeven	14	uitvoering proef op ongeroerde monsters voor het bepalen van sterkteparameters als input voor de schadeverwachtingsberekeningen

Aan de hand van de gegevens uit de laboratoriumproeven werden rekenmodellen opgezet. Het doel van deze rekenmodellen was om de veldsituatie na te bootsen om inzicht te krijgen in het eventuele schadebeeld. Specifiek voor de zettingsberekeningen werden de uitkomsten uit de berekeningen vergeleken met de veldmetingen. Uit ervaring blijkt dat rekenmodellen voor het voorspellen van de zetting bij veengronden een onnauwkeurigheidsmarge hebben. Dit wordt veroorzaakt door de heterogeniteit van veengrond. Door de zettingsberekeningen te vergelijken met de zettingsmetingen kon een inschatting gedaan worden wat deze afwijking is. De zettingsberekeningen werden uitgevoerd met behulp van het programma D-Settlement (Deltares, 2010).

Met betrekking tot de stabiliteit van de oevers, werd aan de hand van de laboratoriumparameters de stabiliteit van de oevers bepaald. De stabiliteitsberekeningen werden uitgevoerd met behulp van D-Geo Stability (Deltares, 2010). Het doel van de stabiliteitsberekeningen was een vergelijking te kunnen maken met de veldresultaten en de uitkomsten uit de berekeningen. De berekeningen werden uitgevoerd in een gedraineerde situatie en een ongedraineerde situatie. In de gedraineerde situatie zou de oever naar verwachting bezwijken en in de ongedraineerde situatie niet. Belangrijk is daarom het overgangspunt te bepalen van ongedraineerd naar gedraineerd. Aan de hand van verschillende gevoeligheidsberekeningen werd hier nader invulling aan gegeven.

Zowel de zettingsberekening als de stabiliteitsberekening kunnen ook worden uitgevoerd aan de hand van de genormeerde bodemparameters uit Eurocode 7. Dit is echter binnen dit project niet gedaan. Bij gebruik van deze parameters is de schadeverwachting namelijk op voorhand vrij groot wat in het geval van een tijdelijke droogvalperiode naar verwachting niet is. Dit heeft globaal twee oorzaken:

1. De genormeerde parameters zijn gebaseerd op een grote proevenverzameling, representatief voor alle veengronden in Nederland. Hierbij zijn de veengronden met de minst gunstige parameters leidend voor de bepaling van de representatieve parameters. In veel gevallen is daarom het gebruik van de genormeerde parameters conservatief.
2. De genormeerde parameters gaan uit van een langdurige gedraineerde situatie. In het geval van tijdelijke droogval kan er sprake zijn van een ongedraineerde situatie omdat de tijdsperiode relatief kort is. Grond reageert sterker in een ongedraineerde situatie dan in een gedraineerde situatie. Dit vertaalt zich met name terug in de parameter cohesie.

Inmeten waterbodemoogte

Voorafgaand aan de droogvalperiode ontstond binnen de projectgroep de wens om het verloop van de waterbodem en de slibdiktes te bepalen. De reden hiervoor was drieledig, ten eerste kon met het verloop van de waterbodem een strategie worden bepaald voor het afwissen en afpompen van de plassen. Ten tweede kon op basis van de slibdiktes voor en na de droogvalperiode een uitspraak worden gedaan over het effect van droogval op consolidatie en afbraak. Ten derde kon in combinatie met de waterpeilgegevens een beeld worden verkregen van de droogvalduur op verschillende plaatsen in de plassen. Voor het inmeten van de waterbodems werden verschillende methoden onderzocht. Het inmeten met seismische apparatuur bleek vanwege de geringe waterdiepte niet of beperkt mogelijk, daarom werd gekozen voor handmatig peilen en boren.

De hoogte van de waterbodem van de droogvallocaties tijdens de nul- en eindsituatie-onderzoeken 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. De boringen werden handmatig geplaatst met een zuigerboor of een guts.

De coördinaten van het gehanteerde raster werden tijdens de veldwerkzaamheden ten behoeve van de nulsituatie ingemeten met dGPS. De coördinaten werden voor de uitvoering van de veldwerkzaamheden voor de eindsituatie opnieuw gehanteerd. Per peildag werd het waterniveau ten opzichte van NAP bepaald om de laagopbouw en bodemoogte in NAP te kunnen uitdrukken. Al het peil- en boorwerk werd met uitzondering van locatie Woudbloem uitgevoerd vanuit een boot. Op locatie Woudbloem kon wegens de geringe waterdiepte met een waadpak de peilingen worden uitgevoerd.

De Deelen

Op droogvallocatie De Deelen werden 23 raaien verdeeld op een onderlinge afstand van circa 20 m. Begin- en eindpunt van de raai werd vastgelegd met dGPS. Op de raaien werden op regelmatige afstand met behulp van een koord met afstandmarkeringen, boringen en peilingen uitgevoerd. Voor het vaststellen van de eindsituatie werden met behulp van de dGPS de begin- en eindpunten van de raaien opnieuw uitgezet en werd dezelfde werkwijze gehanteerd.

Rottige Meente

Deze locatie had een beperkte omvang waarop besloten werd elk peilpunt te combineren met een boring in de vaste bodem. Het raster bestond uit 5 raaien met elk 4 boringen in de waterbodem. De begin- en eindpunten van de rasters werden vastgelegd met GPS.

Woudbloem

Voor de uitvoering van de peilingen en de boringen in Woudbloem werd een raster van 25 m x 25 m gehanteerd. Met behulp van dGPS werden de rasterpunten opgezocht en de peilen en boringen uitgevoerd. Het veldwerk voor het vastleggen van de eindsituatie werd op dezelfde wijze uitgevoerd. In totaal werden 69 peilen en 16 boringen uitgevoerd.

Lalleweer

Voor de uitvoering van de peilingen en de boringen in de plas Lalleweer werden 6 raaien gehanteerd. Op de raaien werden om de 15 m peilingen verricht. Op elke raai werden

1 of meer boringen verricht om de diepere bodemlagen in beeld te brengen. Het begin- en eindpunt van de raaien werd vastgelegd met dGPS.

5.5.3 VELDEXPERIMENT: WATER- EN BODEMONDERZOEK

Vanaf augustus 2010 tot en met juli 2012 werden de concentraties nutriënten en macroïonen in het oppervlaktewater, poriewater en in de bodem van de onderzochte plassen gemonitord. In Lalleweer en Woudbloem werd de monitoring in september, respectievelijk oktober 2010 gestart, omdat deze locaties iets later aan het onderzoek werden toegevoegd. Oppervlaktewatermonsters werden tijdens elk bezoek genomen, poriewatermonsters bij de meeste veldbezoeken. Bodemmonsters werden in september (Lalleweer en De Deelen) en oktober (Woudbloem en Rottige Meente) 2010 genomen als nulmeting, in augustus 2011 tijdens de droogvalperiode en in april 2012, ongeveer een half jaar na de droogvalperiode (tabel 5.11). De nadruk van de monitoring lag op het groeiseizoen, omdat dan de grootste veranderingen in waterkwaliteit te verwachten zijn. In juni 2011, augustus 2011 en mei 2012 werden monsters genomen van het oppervlaktewater en poriewater voor bepaling van de concentratie opgelost organisch koolstof.

TABEL 5.11 MONITORINGSCHEMA VAN HET OPPERVLAKEWATER, PORIEWATER EN DE BODEM IN HET VELDEXPERIMENT. DD= DE DEELEN, RM= ROTTIGE MEENTE, LW= LALLEWEER, WB= WOUDBLOEM, X= ALLE LOCATIES.

DATUM	OPPERVLAKTEWATER	PORIEWATER	BODEM
Augustus 2010	DD+RM	DD+RM	
September 2010	LW+DD	LW+DD	LW+DD
Oktober 2010	X	X	WB+RM
Februari 2011	X	X	
Maart 2011	DD+LW+WB	DD+LW+WB	
April 2011	RM	RM	
Mei 2011	X	X	
Juni 2011	X	X	
Juli 2011	X	X	
Eerste helft augustus 2011	X	X	
Tweede helft augustus 2011	X	X	X
September 2011	X	X	
Oktober 2011	X	X	
November 2011	RM+DD		
December 2011	X	X	
Januari 2012	RM+DD		
Februari 2012	RM+DD		
Maart 2012	X		
April 2012	X	X	X
Mei 2012	X	X	
Juni 2012	X	X	
Juli 2012	X	X	

Oppervlaktewater

Bij elk veldbezoek werden op drie verschillende plaatsen in de plas of in het compartiment veldmetingen verricht. Op circa 10 cm onder het wateroppervlak werd met een HQ40d multimeter (Hach Lange) de pH, EGV, zuurstofconcentratie en temperatuur gemeten (figuur 5.9). Het doorzicht en de bodemdikte werden op deze plekken bepaald met een secchi-schijf. Op elke locatie werden twee 1 l polyethyleen flessen gevuld en meegenomen naar het

laboratorium, waarvan er één werd gebruikt voor de chlorofylbepaling en één voor de overige chemische bepalingen. In De Deelen werd een aantal keer tevens 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 drooggevallen deel van de plas of van het water dat door de pompen werd afgepompt.

FIGUUR 5.9 VELDMETINGEN IN HET OPPERVLAKTEWATER IN DE PLAS BIJ LALLEWEER.



In het laboratorium werden pH, alkaliteit, totaal anorganisch koolstof en turbiditeit gemeten op het ongefiltreerde monster. Na filtratie met een Whatman GF/C glasvezelmicrofilter werden Al, Ca, Mn, Mg, Fe, P, S, Si, Zn (ICP) en PO_4 , NO_3 , NH_4 , Na, K en Cl (Auto Analysers) bepaald. Monsters voor de ICP werden aangezuurd met 0,1 ml HNO_3 per 10 ml monster en gekoeld bewaard bij 4°C. Monsters voor de Auto Analysers werden niet aangezuurd en werden bewaard bij -18°C tot de analyse. Extinctie werd gemeten bij 450 nm als maat voor de hoeveelheid humuszuren.

Chlorofylbepaling

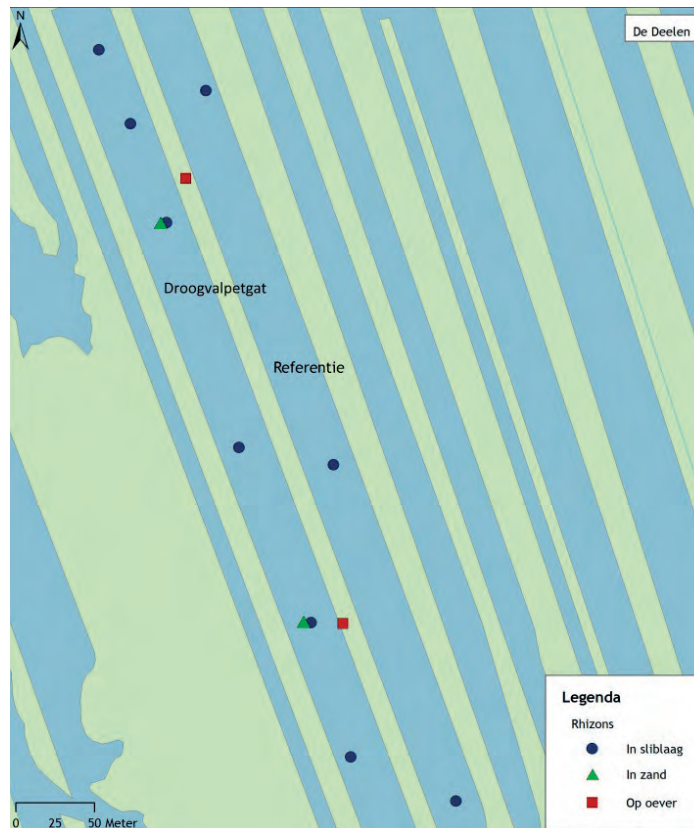
Voor de chlorofylbepaling werd 500 ml oppervlaktewater gefiltreerd over één of meerdere Whatman GF/C glasvezel microfilters, waarna deze bij -18°C werden bewaard tot extractie. De extractie werd uitgevoerd door 24 uur (Wetterskip 7 min.) in het donker te schudden met 10 ml ethanol, waarna het gesuspendeerde bodemmateriaal 1 uur kon bezinken. Hierna werd het extract afgepipetteerd en werd de extinctie gemeten bij 665 nm en gecorrigeerd voor de extinctie bij 750 nm en de extincties van het aangezuurde extract bij dezelfde golflengtes.

Poriewater

Het poriewater werd bemonsterd met behulp van poreuze keramische cups (rhizonsamplers), waaruit met 50 ml injectiespuiten het vocht anoxisch verzameld werd (figuur 5.14). Deze rhizonsamplers werden tijdens de eerste bemonstering permanent ingezet, zodat telkens precies van dezelfde locatie poriewater kon worden bemonsterd. Rhizonsamplers die gedurende het experiment kapot gingen of verdwenen, zijn vervangen.

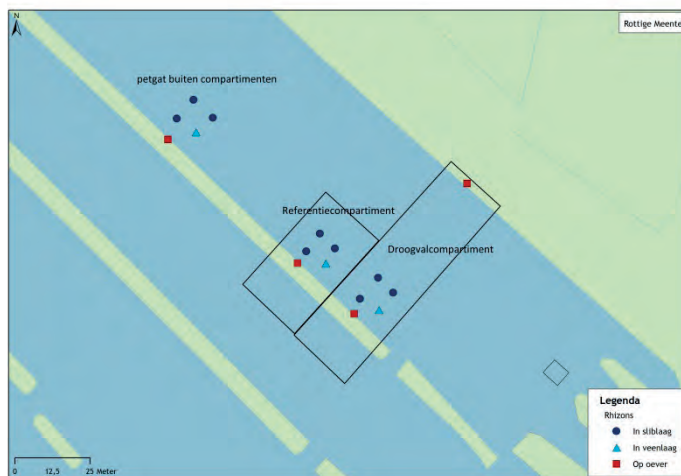
In De Deelen werden 10 rhizonsamplers verdeeld over het petgat geplaatst, waarvan 6 rhizonsamplers in het slib in de bovenste 10 cm van de bodem werden geplaatst (figuur 5.10). Twee rhizonsamplers werden iets dieper geplaatst, zodat ze net in het zand onder de sliblaag stonden. Twee andere rhizonsamplers werden in de oever geplaatst (figuur 5.10). In het najaar van 2010 en in juli 2012 is er ook poriewater uit het naastgelegen petgat bemonsterd als referentie.

FIGUUR 5.10 LOCATIE RHIZONSAMPLERS IN HET DROOGGEVALLEN PETGAT EN HET REFERENTIEPETGAT IN DE DEELLEN.



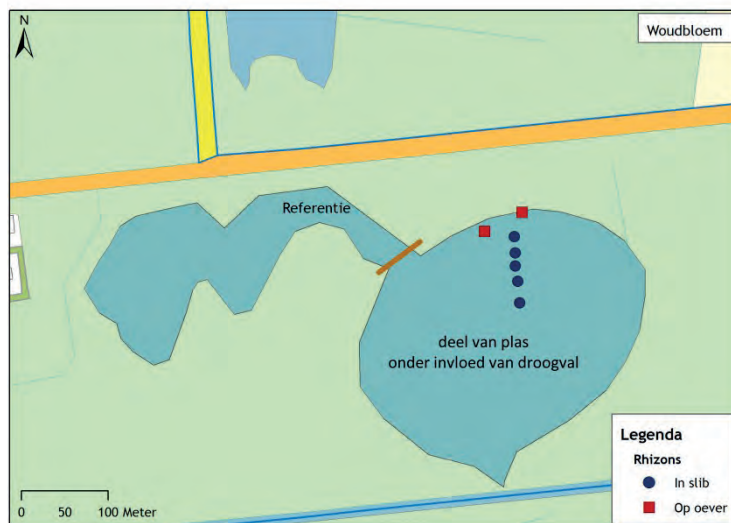
In de Rottige Meente werden vijf rhizonsamplers geplaatst in zowel het droogvalcompartiment als in het referentiecompartiment en buiten deze compartimenten (figuur 5.11). Van elk van deze vijf rhizonsamplers stond er één in de oever van de rib, drie in de toplaag van het slib en één dieper in het veen. Na de aanleg van de compartimenten werd er ook een rhizonsampler in de westoever van het droogvalcompartiment geplaatst.

FIGUUR 5.11 LOCATIE RHIZONSAMPLERS IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT, HET REFERENTIECOMPARTIMENT EN BUITEN DE COMPARTIMENTEN IN DE ROTTIGE MEENTE.



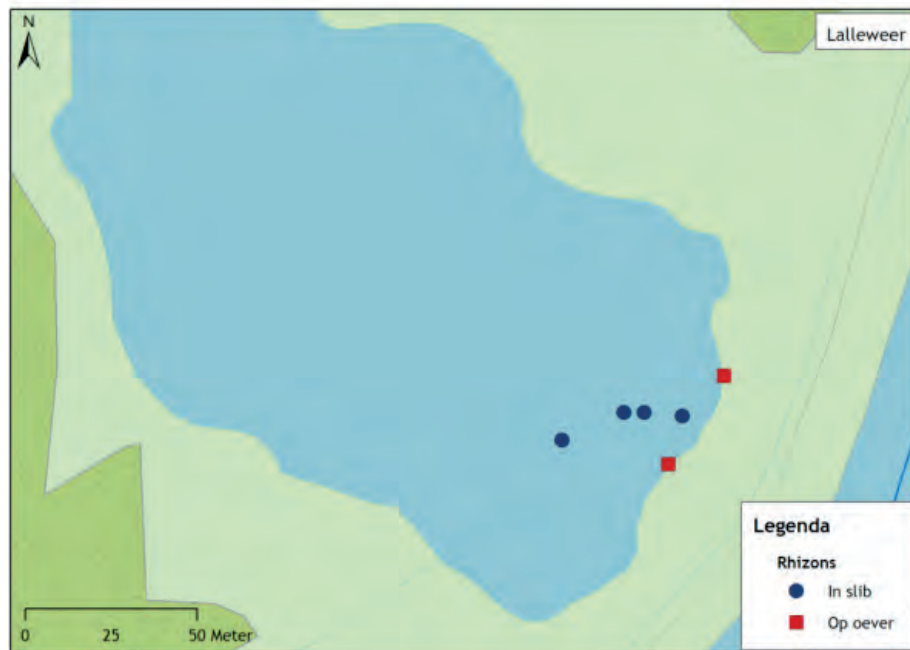
In Woudbloem werden vijf rhizosamplers in een gradiënt van ondiep in de plas naar het diepste punt van de plas gelegd. Daarnaast werden twee rhizosamplers in de oever geplaatst (figuur 5.12).

FIGUUR 5.12 LOCATIE RHIZONSAMPLERS IN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM.



In Lalleweer werden vier rhizosamplers verdeeld over de plas in een gradiënt van ondiep naar dieper in de plas. Daarnaast werden twee rhizosamplers in de oever geplaatst (figuur 5.13).

FIGUUR 5.13 LOCATIE RHIZONSAMPLERS IN DE PLAS BIJ LALLEWEER.



Van de poriewatermonsters van Rottige Meente en De Deelen werd direct in het veld 10 ml gefixeerd met Sulfide Anti-Oxidant Buffer (NaOH, NaEDTA en citroenzuur (Van Gernerden, 1984)) en meegenomen naar het lab voor sulfidebepaling. De sulfidemeting werd dezelfde dag uitgevoerd als de monsternamen. De kans op het voorkomen van vrij waterstofsulfide in de minerale bodems van Lalleweer en Woudbloem is klein. Een sulfidemeting in het begin van het experiment in Lalleweer en Woudbloem bevestigde dat er geen vrij waterstofsulfide aanwezig was. Er zijn daarom geen sulfidemetingen meer uitgevoerd op deze locaties.

De rest van het poriewater werd meegenomen naar het laboratorium, waar op dezelfde wijze als in het oppervlaktewater pH, alkaliteit, totaal anorganisch koolstof, Al, Ca, Mn, Mg, Fe, P, S, Si, Zn en PO_4 , NO_3 , NH_4 , Na, K en Cl en extinctie bepaald werden.

FIGUUR 5.14 BEMONSTERING VAN PORIEWATER IN HET REFERENTIECOMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE.



Bodem

De bodem werd bemonsterd op 0-10 en 10-20 cm diepte. Op elke locatie (in de Rottige Meente in elk compartiment) werden vijf boringen gezet (figuur 5.15). Op de locaties met een dikke sliblaag, werd hiervoor een zuigerboor gebruikt, op andere locaties een guts of Edelmanboor. In 2010 werd bij de nulmeting in de Rottige Meente ook het materiaal bemonsterd dat zich onder de slib- of veenlagen bevond. Het doel hiervan was om bij de verklaring van de effecten van droogval op de toplaag ook de buffering door dieper gelegen zand- of kleilagen te kunnen meenemen.

FIGUUR 5.15 BODEMBEMONSTERING IN DE PLAS BIJ LALLEWEER.



De volgende extracties werden uitgevoerd op de bodemmonsters:

- organische stof- en vochtbepaling
- waterextractie voor eenvoudig extraheerbare concentraties
- zout(NaCl)extractie voor concentraties uitwisselbare kationen

- fosfaatfractionering voor de concentraties Fe-/Al-gebonden fosfor, Ca-gebonden fosfor en organisch fosfor
- oxalaatextractie voor amorf ijzer
- destructie en CN-analyse voor totaalconcentraties in de bodem

Organische stof- en vochtbepaling

Het vochtpercentage van het verse bodemmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door in duplo bodemmateriaal gedurende 24 uur bij 70°C te drogen. Uit het vaste volume van deze bakjes werd de bodemdichtheid berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal, na drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Het gloeiverlies komt goed overeen met de fractie organisch materiaal in de bodem.

Zoutextractie

Bij een natriumchloride(zout)-extractie worden aan het bodemadsorptiecomplex gebonden ionen verdrongen door natrium en chloride. Met deze extractie kunnen onder andere de pH, ammonium- en nitraatbeschikbaarheid van de bodem bepaald worden alsmede de concentratie kationen aan het kationadsorptiecomplex van de bodem. Voor de zoutextractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml 0,2 mol l⁻¹ natriumchloride (NaCl) toegevoegd. Gedurende 60 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant (bovenstaande vloeistof) werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon rhizons en bewaard bij 4°C tot verdere analyse.

Waterextractie

Met behulp van een waterextractie worden makkelijk oplosbare ionen van de bodem losgemaakt. In het waterextract worden de pH, nitraat, fosfor en kationen gemeten. De concentraties in het waterextract geven van alle extracties het meest een beeld van de beschikbaarheid van ionen en nutriënten op het moment van monsternamen. De waterextractie werd op dezelfde wijze als de zoutextractie uitgevoerd, maar dan met MilliQ in plaats van een NaCl-oplossing.

Fosfaatfractionering

De fosfaatfractionering werd uitgevoerd naar Golterman (1996). Deze extractie is een sequentionele extractie, waarin hetzelfde materiaal achtereenvolgens met verschillende media werd uitgeschud om de verschillende P-fracties van de bodem te scheiden. In de eerste extractiestap werd 2 g verse bodem geëxtraheerd met 25 ml 1 M NH₄Cl, doorborreld met stikstofgas, om het labiel gebonden P te verwijderen. Na het scheiden van het supernatant van het pellet, werd het pellet geëxtraheerd met 0,05 M Ca-EDTA met Tris en dithioniet. In deze stap werd het ijzer- en aluminiumgebonden P geëxtraheerd. Vervolgens werd het pellet geëxtraheerd met 0,1 M Na-EDTA om de fractie calciumgebonden P van de bodem te scheiden. De laatste stap was de destructie van het pellet (zie bodemdestructie). Het fosfor dat in deze stap werd vrijgemaakt, wordt beschouwd als het organisch gebonden fosfor, omdat alle andere fosforfracties reeds eerder verwijderd werden. Door het sequentiële karakter van de extractie, zijn de uitkomsten van de extractie minder nauwkeurig, vanwege de stapeling van (on)betrouwbaarheid.

Oxalaatextractie

Om de concentratie amorf ijzer te bepalen, werd een hoeveelheid vers sediment overeenkomend met ongeveer 2,5 g drooggewicht (Schwertmann, 1964) in het donker geëxtraheerd met oplossing van 16,2 g ammoniumoxalaat/l en 10,9 g oxaalzuur/l.

Destructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen in het bodemmateriaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2 , 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milliQ water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4°C bewaard voor verdere analyse.

Totaal-C- en totaal-N-analyse

Voor het bepalen van de totaalconcentraties C en N in de bodem werd de bodem zeer fijn gemalen en werd van de organische bodems circa 2 mg en van de minerale bodems circa 20 mg ingewogen voor analyse.

Chemische analyses

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂-elektrode verbonden met een Radiometer type TIM 840 Titralab. De alkaliteit werd bepaald door het monster met een 0,01 M zoutzuuroplossing te titreren tot pH 4,2. Totaal anorganisch koolstof (bicarbonaat en kooldioxide) werd met behulp van een infrarood gasanalysator (IRGA; ABB AO2020) gemeten, waarna met behulp van de pH de concentraties CO₂ en HCO₃⁻ werden berekend. Sulfide werd geanalyseerd met een Orion 9416SC Thermo Scientific sulfide-elektrode. De analyses van calcium, magnesium, kalium, ijzer, aluminium, silicium, zink, mangaan, fosfor, zwavel en zink werden uitgevoerd met behulp van Inductief Gekoppeld Plasma - Optische Emissie Spectrometrie (Iris Interprid XDL, Thermo Scientific en iCAP 6000 series, Thermo Scientific). Chloride werd colorimetrisch bepaald met ferri-ammoniumsulfaat, nitraat met hydrazinesulfaat, ammonium met salicylaatreagens en ortho-fosfaat met ammoniummolybdaat en ascorbinezuur op Bran+Luebbe AutoAnalysers 3. Natrium en kalium werden in het oppervlaktewater, poriewater en het waterextract vlamfotometrisch bepaald met FLM3 Flame Photometer, Radio Copenhagen. Concentraties totaal-C en totaal-N in de bodem werden bepaald met een CNS analyser (Carbo Erla Instruments, Instruments NA 1500). Opgelost organisch koolstof (DOC) werd bepaald met een TOC-L van Shimadzu. Extinctie werd bij 450 nm bepaald met een Victor² 1420 multilabel counter van Wallac. Turbiditeit werd gemeten met een WTW Turb 550. De door Wetterskip gemeten concentratie zwevend stof werd omgerekend in turbiditeit door te corrigeren met een correctiefactor die bepaald werd aan de hand van de momenten dat er zowel door Wetterskip als door B-ware werd gemeten.

Statistische analyse

Statistische verwerking (curvefitting/ANOVA's) werd uitgevoerd met IBM SPSS Statistics 19. Voor het testen van statistische verschillen, werden waarden ln(x+1)-getransformeerd om ze beter te laten voldoen aan een normale verdeling. Percentages van de P-fractionering werden niet getransformeerd. Verschillen werden getoetst met eenweg-ANOVA's gevolgd door een Tukey-posthoc-test ($p \leq 0,05$ tenzij anders aangegeven).

Kolommen: monsternamen van poriewater- en vaste stofprofielen

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.

Zo snel mogelijk na binnenkomst op het lab werd het poriewater bemonsterd door middel van rhizon poriewatersamplers (Rhizosphere, Rhizon CSS, gemiddelde poriegrootte 0,15 μm) die daartoe op verschillende dieptes in het sediment werden aangebracht. Direct na bemonstering werd met elektroden de pH en de redoxpotentiaal gemeten, waarna het poriewater werd verdeeld en eventueel aangezuurd voor de overige analyses: anionen (Cl , Br , SO_4 , NO_3) met ion chromatografie (Dionex ICS-3000), kationen en totaal P en S met ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry, SPECTRO CIROS CCD) en DOC en DIC (dissolved organic en inorganic carbon) met behulp van een TOC-analyzer (Shimadzu TOC-5050A).

Analyses van de anionen vonden direct dezelfde dag plaats, om te voorkomen dat sulfide en ammonium zouden oxideren en daardoor de sulfaat-, nitriet- en nitraatconcentraties mogelijk zouden stijgen. Ook de DIC-analyse werd op dezelfde dag uitgevoerd, omdat de bicarbonaatconcentratie in het poriewater in evenwicht is met de CO_2 -druk in de waterbodem, en deze is over het algemeen hoger dan de CO_2 -druk in de lucht. Met ICP-OES worden de totaal gehalten van elementen gemeten. Voor zwavel gold dus dat zowel sulfide, sulfaat als organisch zwavel gelijktijdig werden geanalyseerd. Totaal P bestaat over het algemeen grotendeels uit fosfaat, maar organisch gebonden fosfor kan ook onderdeel zijn.

Na het bemonsteren van het poriewater werd de waterbodemkolom voorzichtig naar boven gedrukt met een zuiger waardoor laagjes sediment bemonsterd konden worden (Figuur 5.16). De sedimentmonsters werden gedroogd in een stoof bij 105°C , waarna het gewichtsverlies door organische stof en kalk is bepaald (LECO TGA 701). De koolstof en zwavel gehalten werden gemeten met een CS-analyser (LECO CS analyzer SC632 LC). Het organische koolstofgehalte werd berekend uit het verschil tussen het totaal koolstof- en het anorganische koolstofgehalte; deze laatste werd gemeten nadat het monstermateriaal bij 550°C werd uitgestookt. De hoofdelementen werden ontsloten door middel van een HF-destructie, waarna de volgende elementen zijn gemeten met ICP-OES: Al, Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, S en Sr.

FIGUUR 5.16 BEMONSTERING VAN PORIEWATER- EN VASTE STOF CONCENTRATIEPROFIELEN.



5.5.4 FYTOPLANKTON

Bemonstering

Fytoplankton werd op de vier onderzoekslocaties bemonsterd. In De Deelen werd op twee locaties 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 (tabel 5.12).

TABEL 5.12 DE ZEVEN LOCATIES WAARVAN FYTOPLANKTONMONSTERS GEANALYSEERD ZIJN; VIER VAN DE ZEVEN WATEREN ZIJN DROOGGEZET IN DE PERIODE 18 JULI TOT EN MET 4 OKTOBER 2011.

LOCATIE	MEETJAAR 2011											MEETJAAR 2012								
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		J	F	M	A	M	J	J	A	S
De Deelen (Fr)																				
Droogval (Petgat A)						droog														
Referentie (Petgat B)																				
Rottige Meente (Fr)																				
Buiten compartiment																				
Compartiment						droog														
Referentie compartiment																				
Lalleweer (Gr)						droog														
Woudbloem (Gr)						droog														

Het fytoplankton werd bemonsterd door in het diepere deel van de plas een maatcilinder met water te vullen tot 200 ml. Dit monster werd vervolgens overgebracht in een 250 ml pot waaraan ter conservering 1 ml lugoloplossing werd toegevoegd. Het monster werd koel en donker bewaard tot determinatie.

Bemonsteringsfrequentie

De plassen werden bemonsterd in de maanden april, mei, juni, juli en september in 2011 en 2012 (tabel 5.12). 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 is in Lalleweer en Woudbloem de bemonstering van fytoplankton pas in mei 2011 van start gegaan.

TABEL 5.13 AANTAL ONTVANGEN EN GEANALYSEERDE FYTOPLANKTONMONSTERS, 2011-2012.

LOCATIE	MEETJAAR 2011											MEETJAAR 2012							TOTAAL
	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	
De Deelen (Fr)																			
Droogval (Petgat A)		1	1	1	1								1	1	1	1	1	1	10
Referentie (Petgat B)		1	1	1	1	1	1						1	1	1	1	1	1	12
Rottige Meente (Fr)																			
Buiten compartiment	1	1	1	1	1	1	1					1	1	2	1	1	1	1	15
Droogval compartiment		1	2	1									1	2	1	1	1		10
Referentie compartiment			2	1	1	1							1	2	1	1	1		11
Lalleweer (Gr)			1	1	1	1	1						1	1	1	1	1		10
Woudbloem (Gr)			1	1	1	1	1						1	1	1	1	1		10
Totaal																			78

Geanalyseerde monsters

In totaal werden voor de zeven meetpunten 78 monsters geanalyseerd (tabel 5.13). De monsters bestonden uit ongeconcentreerd oppervlaktewater en werden geconserveerd met acetaatgebufferde Lugol. In het laboratorium werden de monsters koel (5-7° C) en donker opgeslagen tot het moment van voorbehandeling.

Voorbehandeling en analyse

De fytoplanktonanalyse werd uitgevoerd aan bezinkingsplankton met behulp van een omkeermicroscop (Utermöhl-methode), volgens de voorschriften MET-001 en MET-014. Deze voorschriften zijn gebaseerd op het Handboek Hydrobiologie (Bijkerk, 2010) en de norm NEN-EN 15204. De analyse beoogt een beeld te geven van de qua biovolume belangrijke soorten binnen de gehele fytoplanktongemeenschap en is dus niet alleen gericht op talrijkheid (talrijke soorten zijn vaak klein en dragen relatief weinig bij aan de totale fytoplanktonbiomassa). De analyses werden uitgevoerd in de periode 1 oktober 2011 tot en met 5 oktober 2012.

Inzetten en sedimentatie

Minimaal twee dagen voor de analyse werden de monsters uit de koelcel gehaald en in het donker bij kamertemperatuur geplaatst om op kamertemperatuur te komen. Het doel hiervan was een onregelmatige bezinking van organismen door convectiestromingen en de vorming van gasbellen in de sedimentatiecuvetten te voorkomen. Voor de analyse werden deelmonsters ingezet met een volume van 0,02 tot 2,0 ml. Het kleinste gepipetteerde volume was 0,2 ml. Volumina kleiner dan 0,2 ml (alleen bij monsters uit Lalleweer en Woudbloem), werden verkregen door verdunning met leidingwater. Voor het pipetteren van de deelmonsters werd gebruik gemaakt van een gecalibreerde Finnpijet, na zorgvuldige menging van het monster. De deelmonsters werden ingezet in een ronde sedimentatiecuvet (KenB-type) met een bodemoppervlakte van 1,25 cm² en een bodemdikte van circa 0,15-0,17 mm. Voorafgaand werd het cuvet gevuld met 1 tot 2 ml leidingwater met lugol, om een random verspreiding van de deeltjes over de cuvetbodemp te bevorderen. Na het inzetten werden de cuvetten afgedekt met een dekglaasje, waarna ze gedurende minimaal acht uur weggezet werden in temperatuur geïsoleerde, donkere bezinkboxen, voor een gelijkmatige sedimentatie van organismen.

Loogbehandeling

Een enkel monster, uit De Deelen drooggevallen petgat (Petgat A), september 2012, werd aanvullend behandeld met loog om een nauwkeurige schatting te kunnen maken van de hoeveelheid *Microcystis*. Door deze behandeling (Bijkerk, 2010) vallen de *Microcystis*-kolonies uit elkaar in losse cellen, die eenvoudig geteld kunnen worden.

Determinatie en telling

Voor de determinatie en telling werden subsamples van 0,0001 tot 2,0 ml onderzocht. De monsters werden onderzocht met een omkeermicroscoop bij vergrotingen van 200x en 630x (Olympus IMT-2 met 0,55 LWCD-condensor, 10x WHK-oculair, waarvan één was voorzien van een oculair micrometer, en met de olieimmersion-objectieven DPlanApo UV 20x/0,80 en PlanApo 63x/1,40). De analyses werden verricht in helderveld.

Per monster werden circa tweehonderd waarnemingen gedetermineerd in één of meer subsamples, afhankelijk van de diversiteit van het monster (bij een lage diversiteit volstaat een geringer aantal waarnemingen, bij een hoge diversiteit is een groter aantal gewenst). In het algemeen werden grote en relatief schaarse soorten geteld in een relatief groot volume bij een kleine vergroting en kleine, relatief talrijke soorten in een klein volume bij een sterke vergroting.

Voor de telling werden minimaal tien beeldvelden onderzocht en maximaal een heel cuvet. Om te corrigeren voor een eventueel randeffect werden beeldvelden geteld in tegenoverliggende sectoren van de cuvet. Voorafgaand aan de telling werd een soortenlijst gemaakt, door een deel van de cuvet te scannen bij vergrotingen van 200x en 630x. Soorten die hierbij werden waargenomen, maar vervolgens buiten de telling bleven, werden in de databestanden aangegeven met een "0".

Er werd gestreefd naar determinatie tot op soortniveau, voor zover mogelijk bij de gebruikte fixatie en zonder toepassing van speciale technieken. Voor de determinaties werd gebruik gemaakt van de literatuur in het Handboek Hydrobiologie, aangevuld met een aantal andere publicaties en de informatie in ons taxonomisch documentatiesysteem. De naamgeving is in overeenstemming met de meest actuele TWN-lijst.

Meetonzekerheid

De betrouwbaarheid van de dichtheidsbepaling kan worden gekwantificeerd als de geëxpandeerde meetonzekerheid, afgeleid uit de fouten in de deelmonsternamen, het pipetteren, de bepaling van de cuvetfractie en uit de verdeling van deeltjes in het cuvet. Deze meetonzekerheid werd berekend als 20,9% bij 200 waarnemingen (Bijkerk et al. 2012).

INTERPRETATIE EN BEOORDELING*Hoeveelheid en diversiteit*

De hoeveelheid algen werd uitgedrukt in een dichtheidsmaat, cellen per milliliter en in een biomassa maat, biovolume (mm³/liter). Het biovolume per taxon werd geschat door het aantal cellen per milliliter te vermenigvuldigen met een taxonspecifieke standaardwaarde voor het biovolume per cel. Deze standaardwaarde is ontleend aan een bestaande lijst (Koeman & Bijkerk) van gemiddelde biovolumina voor de in Nederlandse wateren voorkomende taxa. Het totale biovolume correspondeert beter met het chlorofyl-a-gehalte

(een andere biomassa maat), dan de dichtheid. Het biovolume-aandeel van taxa geeft daarbij een indicatie van hun belang als consument van schaarse nutriënten en als voedsel voor herbivore organismen. De taxonomische samenstelling van het fytoplankton werd globaal weergegeven door het biovolume-aandeel op het niveau van hoofdgroepen te sommeren.

Daarnaast werd het biovolume-aandeel berekend van potentieel toxische blauwalgen. Als potentieel toxisch werden beschouwd alle vertegenwoordigers van de geslachten *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Microcystis* met uitzondering van *M. wesenbergii*, *Phormidium*, *Planktothrix* en de soort *Woronichinia naegeliana*. Andere potentieel toxische geslachten, zoals *Anabaenopsis*, *Cylindrospermopsis* en *Gloeotrichia*, werden bij de analyses niet aangetroffen. Tot slot werd de diversiteit van het fytoplankton bepaald op basis van het aantal aangetroffen taxa.

Ecologische beoordeling

Een beoordeling van het ecologische functioneren van de fytoplanktongemeenschappen werd gebaseerd op een indeling van taxa in functionele groepen (Reynolds 2006, Padisak *et al.* 2009 en eigen ervaringen Koeman en Bijkerk). Functionele groepen verschillen in gevoeligheden en toleranties of andere eigenschappen en daarmee in habitatkeuze of seizoenspiek. Soorten kunnen bijvoorbeeld gevoelig zijn voor nutriëntentekort maar tolerant voor lichttekort, of gevoelig voor lichttekort en in staat tot fixatie van moleculaire stikstof.

KRW-beoordeling

De KRW-beoordeling werd handmatig uitgevoerd met behulp van Excel. Dit werd gedaan omdat door recente wijzigingen in de voorkeursnamen in de TWN-lijst, de kans bestond dat niet alle indicatortaxa meer in de beoordeling werden meegenomen. Per monster werd een EKR uitgerekend volgens de fytoplankton-deelmaatlat Bloeien. Alle meetpunten werden getypeerd als M25 (ondiepe, kleine laagveenplassen), met uitzondering van Lalleweer dat als type M11 (ondiepe, kleine gebufferde plassen, met zand- of kleibodem) werd ingedeeld. Overigens heeft de type-indeling in dit geval in principe geen invloed op het maatlatresultaat.

QBWat is een programma voor de geautomatiseerde berekeningen van de EKR's. Het programma is recent aangepast om berekeningen met de vernieuwde maatlaten mogelijk te maken. Wat fytoplankton betreft zullen ook berekeningen mogelijk worden met data in verschillende eenheden. Deze laatste aanpassing is nog niet verwerkt in de onlangs uitgebrachte versie 5.0. Door deze aanpassing zouden de afgeleide EKR's in geringe mate nog kunnen veranderen.

5.5.5 VEGETATIE

Op de onderzoekslocaties werden voor, tijdens en na de droogval vegetatieopnames gemaakt. Ook werd gericht vegetatie-onderzoek uitgevoerd naar effecten van droogval door Permanente Quadranten (PQ's) te volgen in de tijd. Daarnaast werd het effect van vraat onderzocht in exclosures.

Vegetatieopnames

De vegetatieopnames werden uitgevoerd conform de methode van Tansley. De methode berust op de toekenning van geschatte waarden die een combinatie zijn van aantallen per soort en de bijbehorende bedekkingsgraden. Een vegetatiekartering is beter toepasbaar naarmate de planten beter tot op soort herkenbaar zijn. Bij het droogval experiment leverde de herkenning van de soorten in het jaar vóór en in het jaar na droogval geen problemen

op, maar tijdens de droogval werd de droogvallende waterbodem gekoloniseerd door landplanten die zich soms niet verder ontwikkelden dan kiemplanten die daardoor binnen de beschikbare tijd moeilijk tot op de soort te determineren waren.

Bij de beide Groninger plassen werden raaien gekarteerd, langs de oever en vanuit de oever richting het centrum van de plas. Bij plas Woudbloem bleek de droogval in fasen te verlopen, daarom werd in 2012 nog een derde raai gekarteerd in de oostflank van de plas.

Van de Friese locaties werden zowel in De Deelen als de Rottige Meente de vegetatieopnamen vanaf de oever gemaakt op verschillende plaatsen in het petgat met een zogenaamde satakroon (soort hark) waaraan een touw van 15 m. De satakroon is in drie richtingen uitgegooid: naar voren, links en rechts. In De Deelen gebeurde dit om de 10 m vanaf de oever en in de Rottige Meente om de 5 m. Zo kon er een goed oordeel van het gehele petgat of compartiment worden gegeven.

Vegetatie-onderzoek in de tijd en bepaling effecten begrazing

Om te onderzoeken hoe de vegetatie in de tijd, zowel tijdens als na de droogval, zou veranderen, werden er PQ's uitgezet. De helft van deze pq's werd ingericht als enclosure om na te gaan of er effecten waren van begrazing op de vegetatie, waardoor de kiemende en zich vestigende vegetatie na droogval beïnvloed zou kunnen worden. De pq's waren 4m² groot. De enclosures waren 1 meter hoog en bestonden uit houten palen met gaas met een maaswijdte van 12,7 mm waarover een visnet gespannen was. In Woudbloem, De Deelen en Lalleweer werd één paar pq's in het water en één paar op de oever geplaatst om zowel de effecten op de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten als van helofyten te kunnen volgen. In de Rottige Meente werd er in het droogvalcompartiment één paar pq's op de westelijke oever, één paar in het water en één paar op de oever van de rib geplaatst. In het deel van het petgat buiten de compartimenten werden eveneens één paar pq's op de westelijke oever, in het water en aan de oostoever van de rib geplaatst. De opnames werden gemaakt conform Braun-Blanquet (B,D,S). Het referentiecompartiment in de Rottige Meente werd ook in zijn geheel opgenomen conform Tansley-schaal. De opnames werden gemaakt tijdens de droogvalperiode eind juli, begin augustus en eind augustus 2011. De opnames werden herhaald in juli 2012.

5.5.6 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.

6

RESULTATEN EN DISCUSSIE

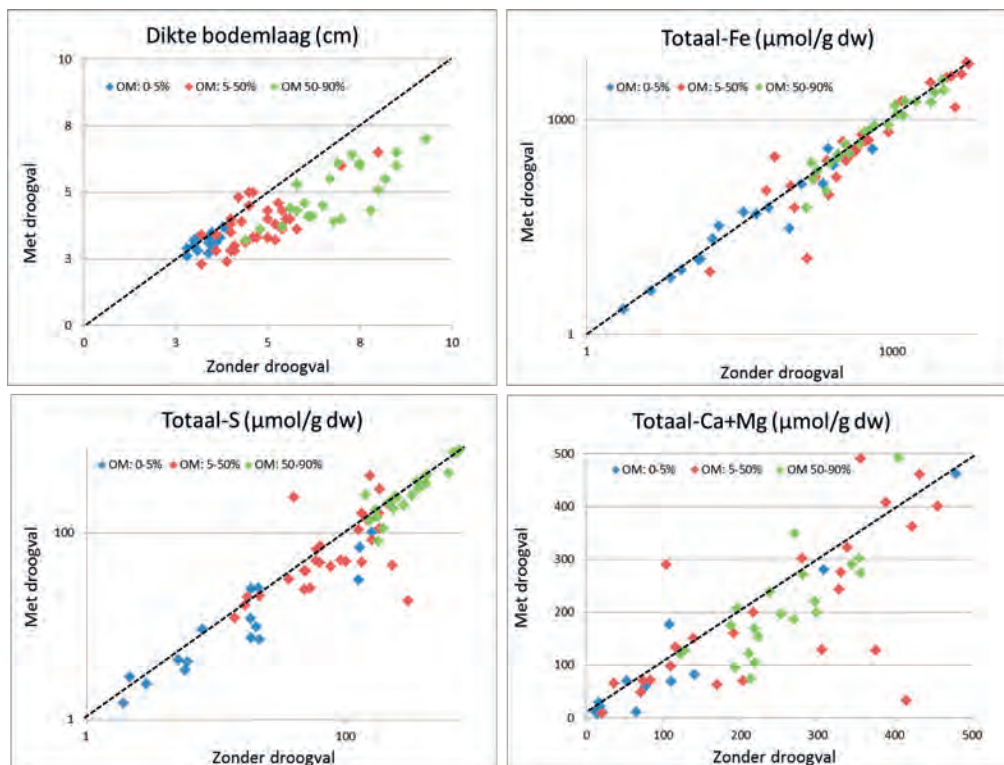
6.1 MICROCOSMOS

Effecten van droogval op (elementgehalten in) de bodem

De dikte van de bodemlaag, acht weken na her-vernatten van de drooggevallen bodems, was groter voor bodems met een hoger organisch stofgehalte (figuur 6.1.). Dit werd veroorzaakt door een lagere bodemdichtheid van organische bodems en het aanbrengen van een vast gewicht (150 g) aan verse bodem in de experimentele potten (i.p.v. een vast volume). Droogval leidde in algemene zin tot inklinking door ontwatering van de bodems. Dit effect was tot minstens 8 weken na vernatten nog zichtbaar. Inklinking trad in sterkere mate op in bodems met een hoger organisch stofgehalte (figuur 6.1).

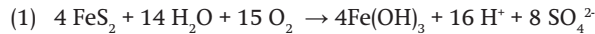
In figuur 6.1. zijn de bodems ingedeeld in drie klassen variërend in organisch stofgehalte (OM): 0-5%, 5-50% en 50-90%. De zwarte stippellijn geeft de één op één lijn weer (figuren 6.1 en 6.3 t/m 6.6.). In deze figuren is het verschil tussen beide behandelingen weergegeven. Als de punten op de lijn vallen is er geen verschil tussen de behandelingen, dus geen effect van droogval. Vallen de punten onder de lijn, dan is er sprake van een afname van de waarde door droogval. Liggen de punten boven de lijn, dan is er sprake van een toename van die waarde door droogval.

FIGUUR 6.1. DE DIKTE VAN DE BODEMLAAG EN DE CONCENTRATIE AAN TOTAAL-FE, TOTAAL-S EN TOTAAL-CA+MG IN DE BODEMS ACHT WEKEN NA HERVERNATTEN VAN DE BODEMS VAN BEIDE BEHANDELINGEN.



De gehalten totaal-Fe, totaal-S en totaal-Ca+Mg waren over het algemeen hoger in bodems met een hoger organisch stofgehalte. Er leek sprake te zijn van een afname van de concentratie van deze elementen in het bodemdestruaat als gevolg van de droogval. Dit was met name het geval voor S, Ca+Mg en in veel mindere mate voor Fe. Een verklaring hiervoor is dat droogval leidde tot oxidatie van ijzer-sulfiden (FeS_x) waarbij Fe-hydr(oxiden), sulfaat en zuur (H^+) gevormd werden zoals in de volgende reactievergelijking is weergegeven.

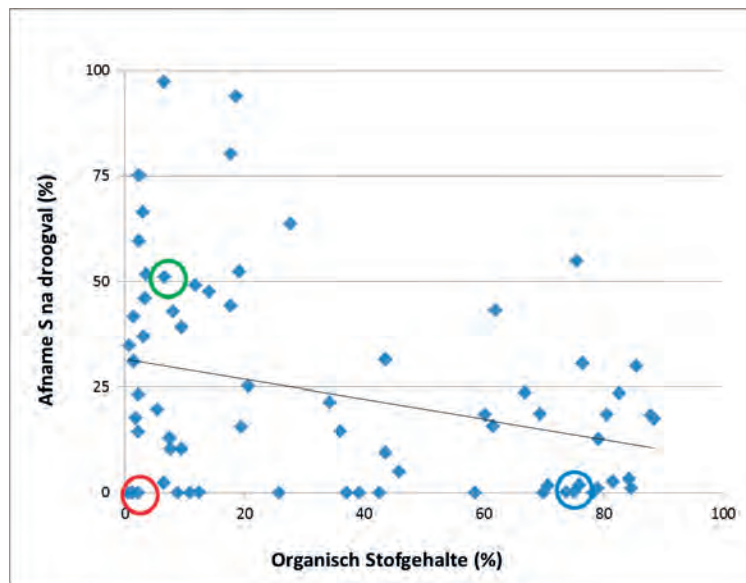
Reactievergelijking (oxidatie van ijzer-sulfiden):



Het (zwavel)zuur reageert in eerste instantie met bicarbonaat (HCO_3^-) en met carbonaten (o.a. CaCO_3 en MgCO_3) onder vorming van CO_2 , H_2O en Ca^{2+} en Mg^{2+} . Daarna wisselt het zuur (H^+) uit met basische (positieve) kationen die gebonden zijn aan het bodemadsorptiecomplex (o.a. Ca^{2+} en Mg^{2+}). (Lucassen et al., 2002; Lucassen et al., 2005; Smolders et al., 2006). Sulfaat, calcium en magnesium zijn mobiel en diffunderen van de bodem naar de waterlaag waardoor de concentratie van deze elementen in de bodem afneemt. Deze afname zal met name in dit experiment zijn optreden, omdat er geen reductie vanuit diepere bodemlagen kon optreden. Fe-hydroxiden daarentegen slaan neer in de bodem en zijn enkel mobiel indien sterke verzuring optreedt waardoor ze in oplossing komen. Hiermee kon voor dit experiment worden verklaard dat de concentratie Fe in de bodem minder afnam als gevolg van droogval dan de concentratie S, Ca en Mg.

Het procentuele aandeel aan zwavel in de bodem, dat daadwerkelijk geoxideerd werd en verdween naar de waterlaag als gevolg van droogval, varieerde sterk tussen de verschillende bodems (figuur 6.2.). Het aandeel varieerde van 0 tot 100%. In organisch rijke bodems is altijd een aanzienlijk deel van het zwavel aanwezig in de vorm van organisch stof, waardoor de mate van pyrietoxidatie onderschat wordt in vergelijking tot bodems met een laag organisch stofgehalte. In de organisch arme en zwavelrijke bodem van het Lalleweer, leidde droogval tot 50% afname van het zwavelgehalte in de bodem. In de organisch arme en zwavelarme bodem van Woudbloem, leidde droogval niet tot een afname van het zwavelgehalte in de bodem. De beperkte mobilisatie van zwavel uit bodem van het Ilperveld leek verwaarloosbaar doordat een groot deel van het zwavel gebonden was aan organische stof. Door het hoge organisch stofgehalte kon verwacht worden dat een groot deel van het vrijgekomen sulfaat weer in korte tijd gereduceerd zou worden.

FIGUUR 6.2. AFNAME VAN HET ZWAVELGEHALTE IN DE BODEM (%) ALS GEVOLG VAN DROOGVAL, UITGEZET TEGEN HET ORGANISCH STOFGEHALTE VAN DE BODEM. GROEN=LALLEWEER; ROOD=WOUDBLOEM; BLAUW=ILPERVELD.



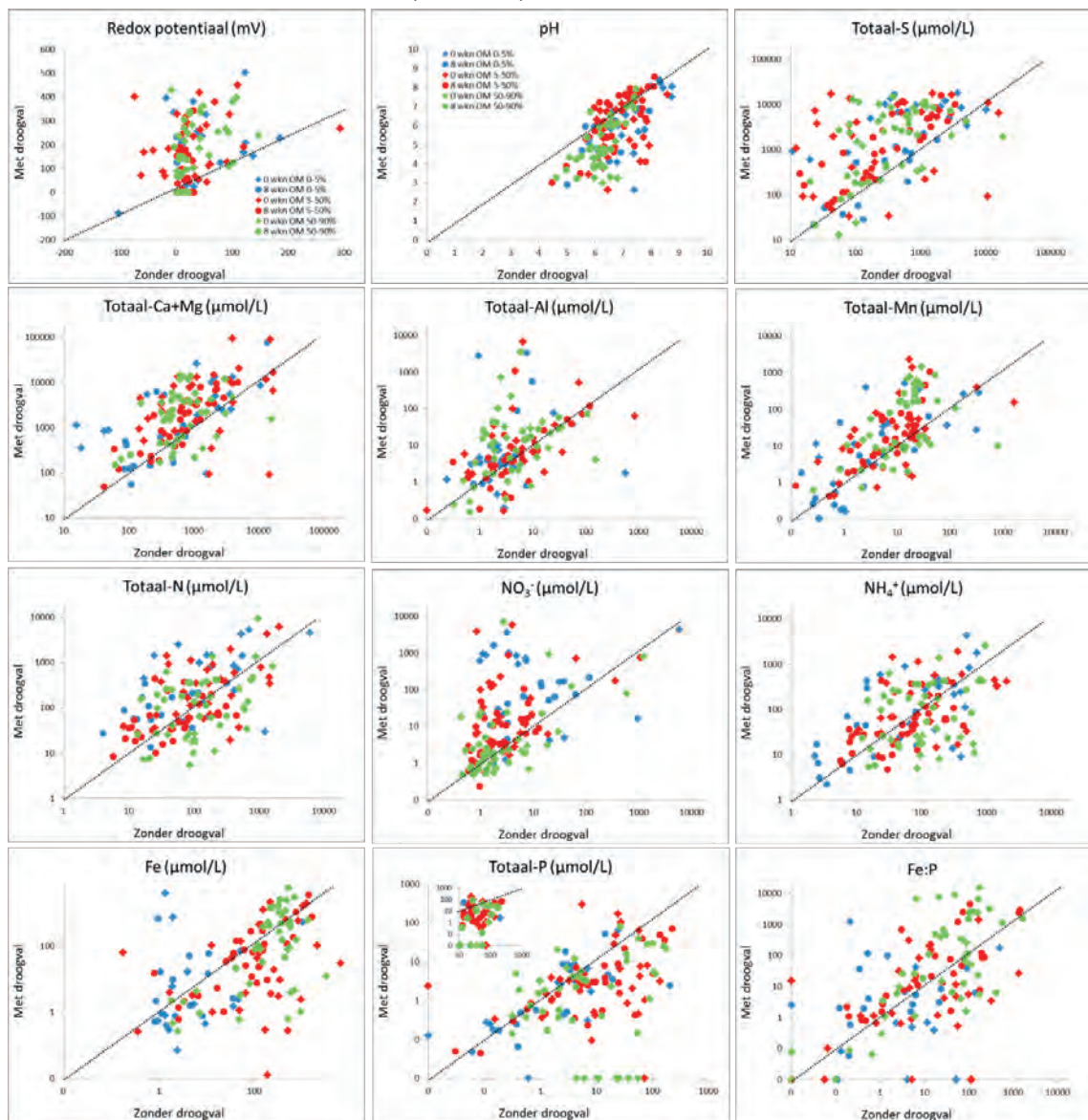
Droogval in relatie tot redoxpotentiaal en verzuring

Droogval leidde in de meeste waterbodems tot een toename van de redox potentiaal. Daarbij leidde droogval in de meeste bodems tot een verlaging van de pH en een toename van de concentraties S en Ca+Mg in het porievocht (figuur 6.3).

Het beeld van oxidatie, verlaging van pH en mobilisatie van S, Ca en Mg kwam overeen met de hiervoor beschreven afname van deze elementen in de drooggevallen bodems (figuur 6.3). Dit verschijnsel is verklaarbaar doordat tijdens de droogvalperiode metaal-sulfiden (met name ijzer- en mangaansulfiden) werden geoxideerd waarbij sulfaat, protonen (H^+), geoxideerd ijzer en mangaan gevormd werden. De geproduceerde protonen worden in eerste instantie gebufferd door carbonaten (calcium- en magnesiumcarbonaten). Indien de pH daalt tot beneden pH 6 treedt ook uitwisseling met kationen (o.a. Ca^{2+} en Mg^{2+}) aan het bodemadsorptiecomplex op. Door deze twee bufferingmechanismen nemen de concentratie opgelost Ca^{2+} en Mg^{2+} in het porievocht toe (Lucassen et al., 2002; Lucassen et al., 2005; Smolders et al., 2006). De pH daling trad het sterkst op in de organisch rijkste bodems (50-90% O.M.). Dit werd veroorzaakt door de relatief hoge concentratie totaal-S in de bodem (figuur 6.3.) waarvan vermoedelijk een groot deel aanwezig was in de vorm van (potentieel verzurende) ijzer-sulfiden.

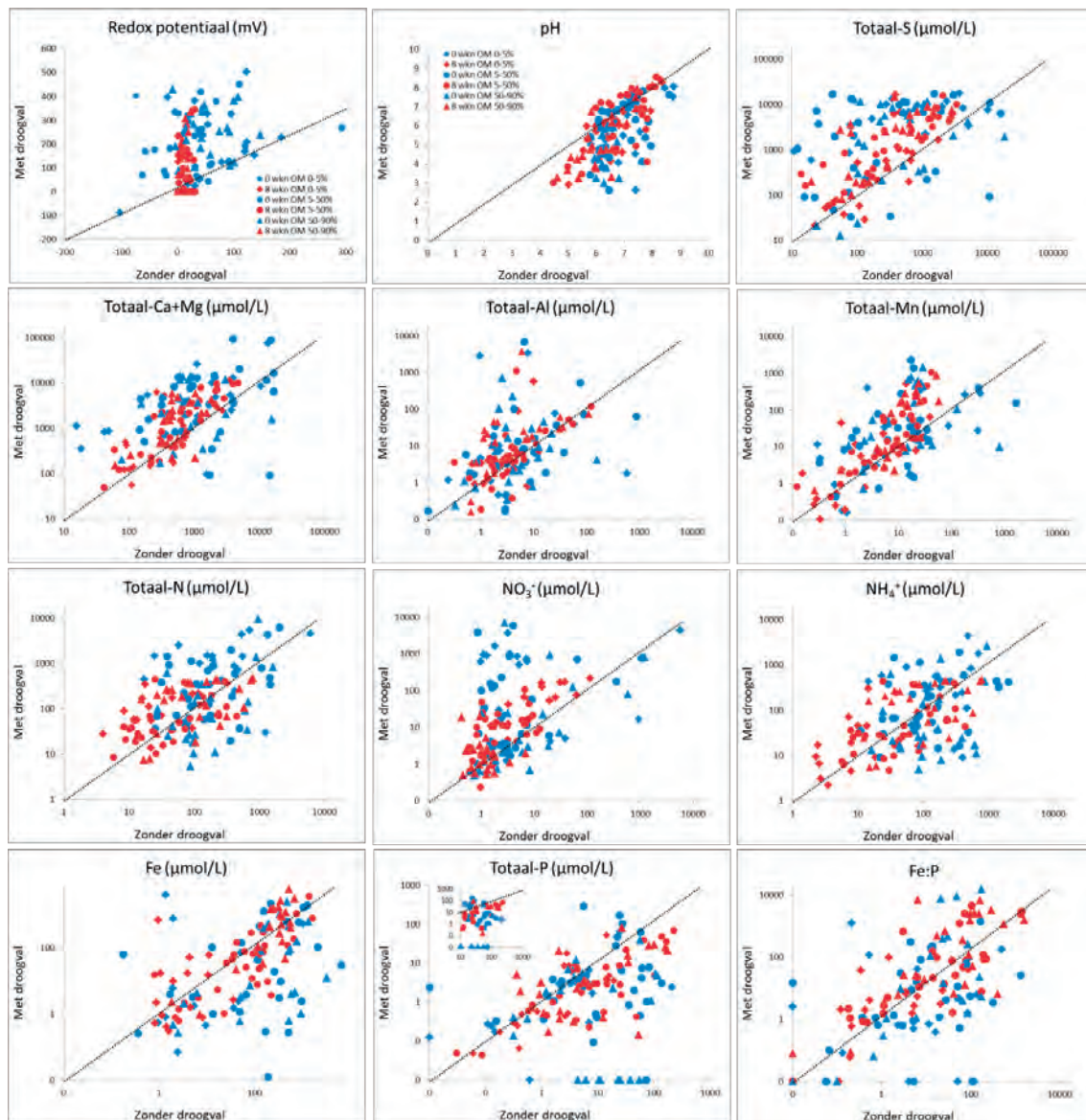
Voor een zeer groot aantal bodems nam de concentratie aan Al en Mn in het porievocht zeer sterk toe. Voor een kleiner aantal bodems bleef de concentratie Al en Mn in het porievocht nagenoeg gelijk of nam zelfs iets af; onafhankelijk van het organisch stofgehalte (figuur 6.3.). Het verschil in effect van droogval op de mobiliteit van metalen in bodems, verhogend of juist verlagend, heeft te maken met het gegeven dat droogval een effect kan hebben op zowel de redox potentiaal als de pH van een bodem. Beide factoren kunnen de oplosbaarheid van metalen sterk beïnvloeden (Drever, 1997).

FIGUUR 6.3. HET EFFECT VAN DROOGVAL OP BODEMS VARIËREND IN ORGANISCH STOFGEHALTE (O.M.) OP DE CHEMISCHE KWALITEIT VAN HET PORIEVOCHT 0 EN 8 WEKEN NA VERNATTEN. DRIE KLASSEN O.M. ZIJN OP KLEUR INZICHTELIJK GEMAAKT. O.M.: 0-5% (BLAUW), 5-50% (ROOD) EN 50-90% (GROEN). HET TIJDSVERLOOP IS INZICHTELIJK GEMAAKT DOOR GEBRUIK TE MAKEN VAN VERSCHILLENDE SYMBOLEN (ZIE LEGENDA).



Als gevolg van droogval oxideren gereduceerde ijzer- en mangaanverbindingen, o.a. ijzer- en mangaansulfiden, waardoor de concentratie opgelost ijzer en mangaan in het porievocht afneemt als gevolg van droogval. Indien de pH in de bodem door droogval zeer sterk afneemt, gaan aluminium- en ijzer(hydr)oxiden en mangaan in oplossing, waardoor de concentratie van deze metalen netto toe kan nemen door droogval. In dit laatste geval is de hoeveelheid zuur die in de bodem geproduceerd wordt tijdens droogval (t.g.v. ijzer-sulfide oxidatie) dusdanig hoog dat de bodem niet voldoende buffercapaciteit heeft. Dit is doorgaans bij een S/(Ca+Mg) ratio in de bodem die hoger is dan 2/3 (Lucassen et al., 2002). In geoxideerde vorm kunnen ijzer en mangaan (als hydroxide of oxide) overigens goed metalen binden waaronder Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Ag en Cd. Indien de pH in de bodem daalt tot beneden pH 4 gaan niet alleen ijzer- en mangaan(hydr)oxiden in oplossing, maar ook de metalen die eventueel aan gebonden waren (Lucassen et al., 2002).

FIGUUR 6.4. HET EFFECT VAN DROOGVAL OP BODEMS VARIËREND IN ORGANISCH STOFGEHALTE (O.M.) OP DE CHEMISCHE KWALITEIT VAN HET PORIEVOCHT 0 EN 8 WEKEN NA VERNATTEN. HET VERLOOP IN DE TIJD NA HERVERNATTING IS OP KLEUR INZICHTLIJK GEMAAKT. T=0 WEKEN (BLAUW); T=8 WEKEN (ROOD). DE DRIE KLASSEN O.M. ZIJN ALS VERSCHILLENDE SYMBOLEN WEERGEGEVEN.



In het verloop van 0 tot 8 weken na hervernatting bleken voor wat betreft pH, redoxpotentiaal en verschillende elementen lichte trends voor te bestaan. Voor wat betreft pH was dit een toename. Voor de redox potentiaal en de concentratie S en Ca+Mg in het porievocht van de drooggevallen bodems was sprake van een lichte afname (figuur 6.4). Hieruit bleek dat er na hervernatting van de drooggevallen bodems weer sulfaatreductie optrad onder vorming van (vaste) metaal-sulfiden. Bij reductieprocessen wordt HCO_3^- gevormd en kunnen opnieuw onopgeloste calcium- en magnesiumcarbonaten gevormd worden. Het proces van ijzer-sulfide oxidatie is dus reversibel.

Droogval in relatie tot stikstof(verbindingen)

Droogval kan zowel de beschikbaarheid aan NH_4^+ in de bodem verhogen via 1) het stimuleren van de afbraak onder invloed van zuurstof, als 2) via het verhogen van kation uitwisseling onder invloed van tijdens oxidatie geproduceerde protonen (Drever, 1997; Smolders et al., 2006). Dit houdt in dat zowel in organisch rijke als organisch arme bodems droogval kan leiden tot een verhoogde stikstof beschikbaarheid.

In dit experiment leek in de meeste bodems de beschikbaarheid van stikstof door de droogval toe te nemen. Aanwijzingen hiervoor waren een sterke toename van de concentratie NH_4^+ en de totale concentratie N in het porievocht van de meeste bodems. Er leek hierbij een relatie te bestaan tussen het organisch stofgehalte van de bodem en het beschikbaar komen van stikstof. In de organisch arme bodems (0-5%) trad in nagenoeg alle gevallen een toename op in de concentratie NH_4^+ en totaal-N van het porievocht als gevolg van droogval.

In organisch rijkere bodems (5-90%), daarentegen, trad ook vaak een afname in deze concentraties op in het porievocht als gevolg van droogval. De afname in de concentratie totaal-N leek procentueel wat vaker en wat sterker op te treden in de meest organisch rijke bodems (50-90%). In tegenstelling tot de concentratie NH_4^+ nam de concentratie NO_3^- in het porievocht van de meeste bodems wel toe als gevolg van droogval. Er werd ook een duidelijke trend zichtbaar in de toename van NO_3^- in het porievocht met een afnemend organisch stofgehalte van de bodem als gevolg van droogval (figuur 6.4). Dit kan betekenen dat in de organische bodems in sterkere mate stikstofverliezen vanuit het porievocht (als NO_3^-) naar de atmosfeer (als N_2) optraden. Dit werd waarschijnlijk veroorzaakt door nitrificatie van het geproduceerde NH_4^+ in de nog aerobe delen van de bodem, terwijl denitrificatie kon optreden in de diepere meer anaerobe delen van de bodem (Smolders et al., 2003). Maar een direct bewijs hiervoor ontbreekt. Dit in tegenstelling tot organisch arme bodems waarbij relatief veel NH_4^+ vrijkwam, waarschijnlijk grotendeels via kation-uitwisseling, maar waar relatief weinig stikstofverliezen optraden via denitrificatie vanwege de lage concentratie organische stof.

Het is aannemelijk dat na hervernatting van drooggevallen bodems, reductieve omstandigheden sneller ontstaan in bodems met een relatief hoog organisch stofgehalte, omdat deze bodems een hoger zuurstofverbruik hebben. In het tijdsverloop van 0 en 8 weken na vernatten bestond een duidelijke trend qua afname van de concentratie NO_3^- in het porievocht. Dit is een aanwijzing voor het anaeroob worden van de bodem, waarbij NO_3^- via denitrificatie (onder anaerobe omstandigheden) werd omgezet in N_2 . Wat betreft de concentraties NH_4^+ en totaal-N in het porievocht was er geen eenduidig effect van droogval zichtbaar, maar trad wel duidelijk een afname in het aantal bodems met zeer hoge concentraties op. Dit kon echter niet direct worden gekoppeld aan het optreden van droogval (figuur 6.4).

Droogval in relatie tot beschikbaarheid van ijzer en fosfor

De concentratie ijzer in het porievocht leek beïnvloed te worden door het organisch stofgehalte van de bodems. Uit de resultaten bleek dat de ijzerconcentratie in het porievocht toenam met het organisch stofgehalte van de bodem. Dit beeld kwam overeen met de hogere totaal-Fe concentratie in het destruaat van de organisch rijke bodems. Oftewel naarmate een bodem meer organische stof bevatte, bevatte het meer ijzer en leidde dit tot een hogere Fe-concentratie in het porievocht. Hierbij was te verwachten dat in de meest organische bodems (50-90% O.M.) een relatief grotere ijzerfractie ook aanwezig zou zijn in opgeloste gereduceerde vorm. In het grootste deel van de drooggevallen bodems nam de concentratie

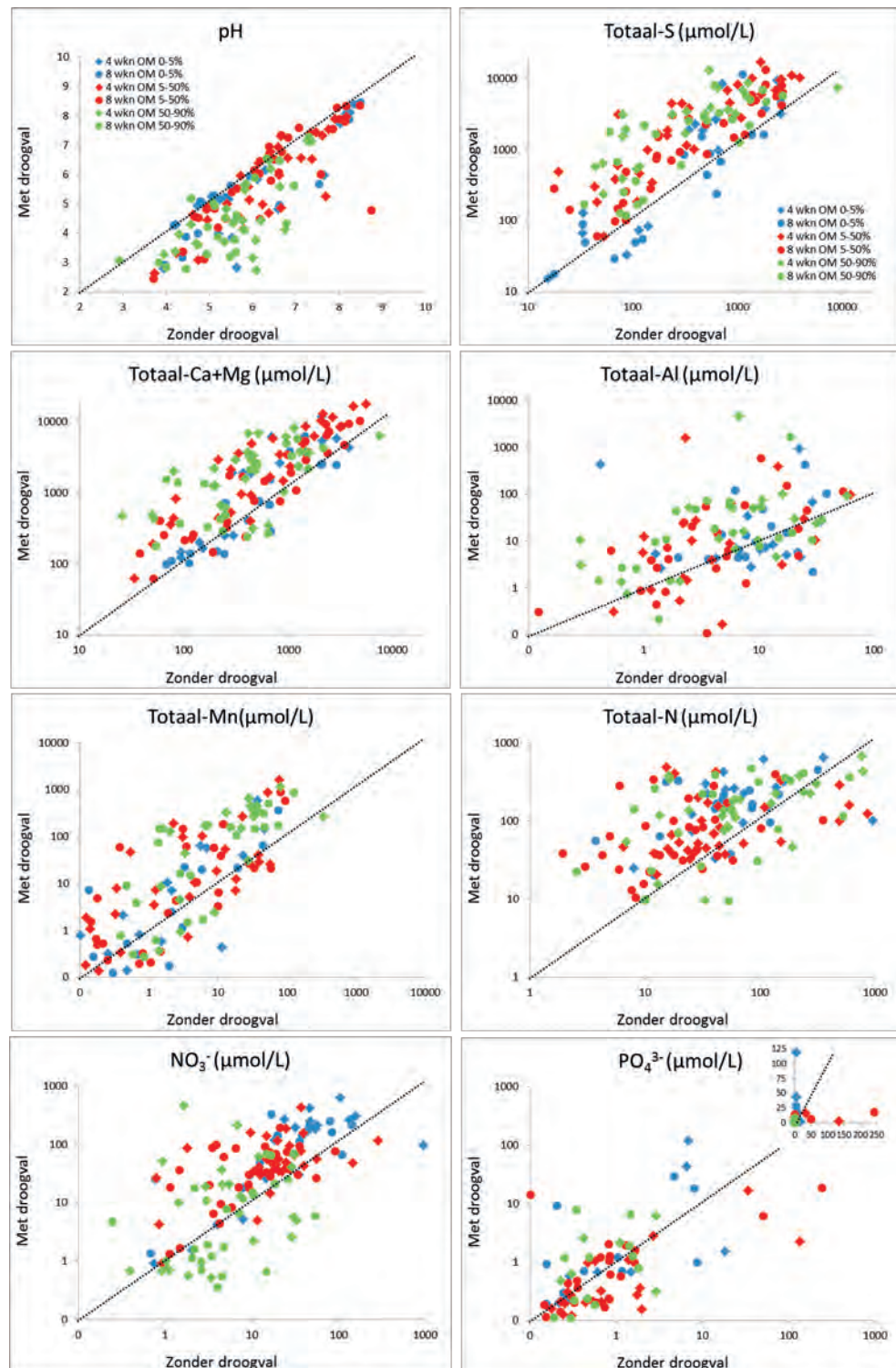
gereduceerd Fe af door oxidatie (door zuurstofindringing in de bodem). Deze afname leek sterker op te treden in de organisch rijkere bodems (5-90%) dan in de organisch arme bodems (0-5%). Het is aannemelijk dat in organisch rijkere bodems reductieprocessen relatief sterker op de voorgrond treden. Een relatief groot deel van het ijzer is dan aanwezig als gereduceerd opgelost ijzer dat neerslaat als ijzer-(hydr)oxiden onder invloed van zuurstof dat de bodem indringt tijdens droogval. In een klein aantal bodems nam de concentratie Fe juist toe als gevolg van droogval. Dit gold waarschijnlijk vooral voor de bodems waar de pH daalde tot beneden pH 4 en waarbij de tijdens droogval geproduceerde ijzer(hyr)oxiden oplossen.

De concentratie totaal-P in het porievocht nam in het overgrote deel van de bodems af als gevolg van droogval. Dit gold met name voor de potentiële 'probleemlocaties' d.w.z. bodems met een P gehalte > 10 µmol/L in porievocht (Geurts et al., 2008). Hier trad in nagenoeg alle gevallen een sterke verlaging op, die nog tot 8 weken na hervernatting meetbaar was (figuur 6.4.). In het tijdsverloop van 0 en 8 weken na vernatting bleek ook een lichte toename in de concentratie Fe in het porievocht van bodems die onder niet drooggevallen condities reeds hoge ijzerconcentraties bezaten. Dit kan verklaard worden omdat het vrije geoxideerde ijzer onder invloed van een dalende redox potentiaal na hervernatting van de bodem uiteindelijk weer in oplossing kwam en meetbaar werd. Voor wat betreft de Fe:P ratio in het porievocht 8 weken na vernatting bleek dat er een duidelijke sterke verhoging optrad in deze ratio als gevolg van de droogval (figuur 6.4.). Dit is als gunstig aan te duiden omdat bij een Fe:P ratio in het porievocht doorgaans de diffusie van fosfaat uit het porievocht naar de waterlaag beperkt blijft (Geurts et al., 2008). De resultaten kwamen overeen met onderzoek uitgevoerd in Elzenbroekbossen gelegen in voormalige Maasmeanders. Uit die onderzoeken bleek dat het effect van tijdelijke zomer-droogval verschilde tussen bodemtypen. Ook bleek hieruit dat het voordeel op de mobiliteit van fosfor afhankelijk is van de hoeveelheid oxideerbaar ijzer (o.a. FeS) in de bodem (Lucassen et al., 2003; 2005^a; 2005^b).

Effecten van tijdelijke droogval op de chemische kwaliteit van het oppervlaktewater

Droogval leidde voor de meeste bodems tot een verlaging van de pH en een toename van de concentratie S en Ca+Mg in de waterlaag. Dit bleek overeen te komen met veranderingen die optraden in het porievocht als gevolg van droogval. De afname in pH van de waterlaag was het sterkst in de meest organische bodems (50-90%) (figuur 6.5. en figuur 6.6.).

FIGUUR 6.5. HET EFFECT VAN DROOGVAL VAN BODEMS VARIËREND IN ORGANISCH STOFGEHALTE (O.M.) OP DE CHEMISCHE KWALITEIT VAN DE WATERLAAG 4 EN 8 WEKEN NA VERNATTEN. DRIE KLASSEN BODEMS ZIJN OP KLEUR INZICHTELIJK GEMAAKT OP BASIS VAN O.M.: 0-5%; 5-50% EN 50-90%. HET TIJDSVERLOOP IS WEERGEGEVEN MET VERSCHILLENDE SYMBOLEN.



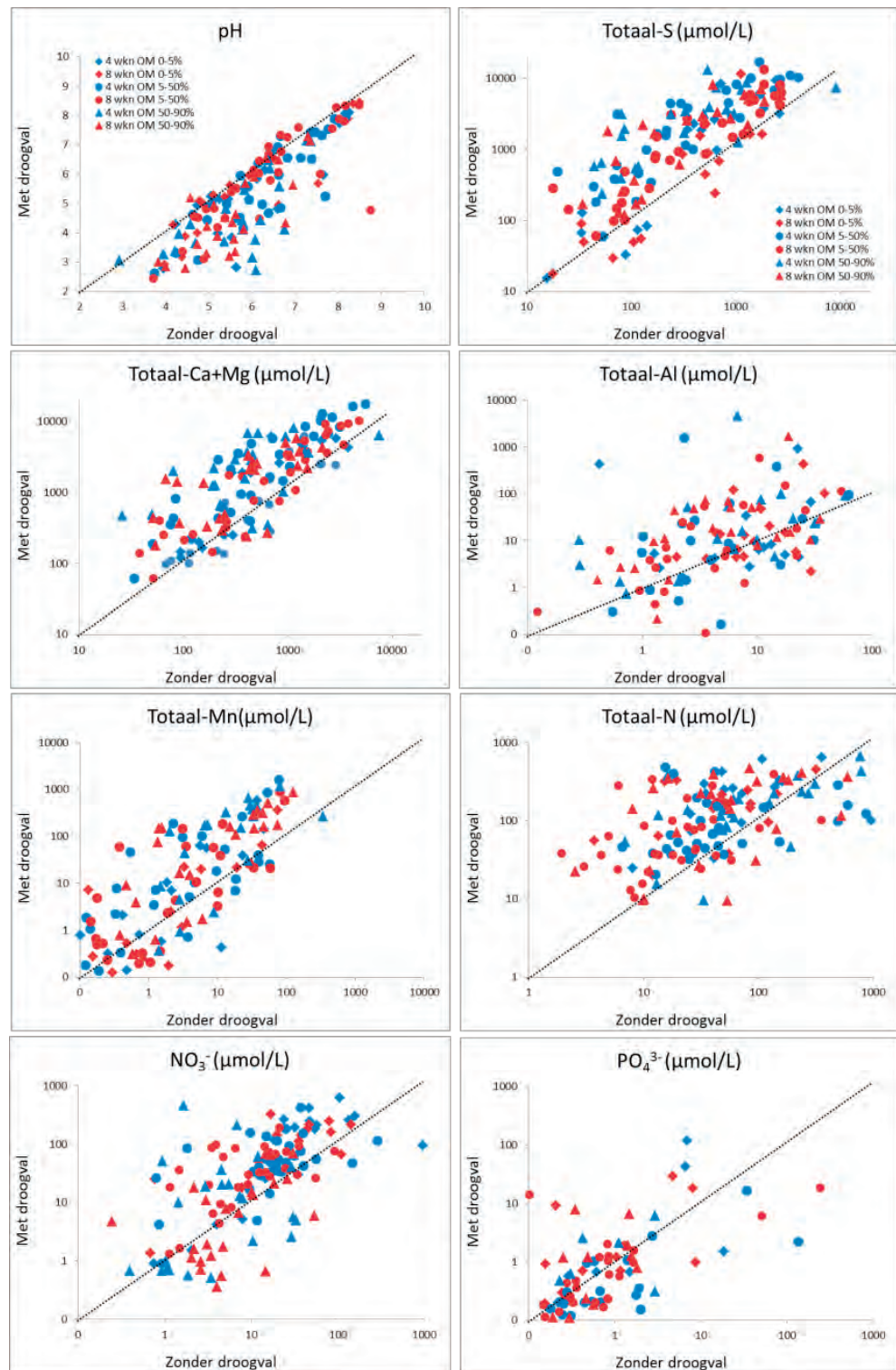
Dit kwam overeen met de relatief sterke daling in pH van het porievocht van deze bodems (figuur 6.3. en 6.4.). Sterke verrijking van de waterlaag met S en Ca+Mg trad met name op in de organische bodems (5-90%). Dit kwam overeen met de hogere totaal-S waarden in deze bodems en dus een sterkere oxidatie van ijzer-sulfiden als gevolg van het optreden van tijdelijke droogval.

Net als in het porievocht nam voor een zeer groot aantal bodems de concentratie aan Al en Mn in de waterlaag toe, terwijl voor een kleiner aantal bodems de concentratie Al en Mn in de waterlaag nagenoeg gelijk bleef of afnam. In het porievocht trad dit verschijnsel onafhankelijk van het organisch stofgehalte op. Sterk verhoogde Mn concentraties in de waterlaag leken echter met name op te treden in de organisch rijkere bodems (5-90%). Dit verschil in respons tussen porievocht en waterlaag kon verklaard worden door het feit dat in de bodem redox processen in belangrijkere mate een rol gaan spelen na hervernatting. Dit beïnvloedde in eerste instantie de kwaliteit van het porievocht. Sterkere reductie van Mn in een minder zuur milieu leidde tot een lagere Mn beschikbaarheid in het porievocht in vergelijking met de waterlaag (figuur 6.5.). In het tijdsverloop van 4 en 8 weken na hervernatten ontstond een trend in afname van de hoogste concentraties aan S en Ca+Mg in de waterlaag na hervernatting van de bodems (figuur 6.6.). Er trad geen duidelijke toename op in de pH van de waterlaag. Hieruit bleek dat met name boven de drooggevallen zwavelrijke bodems sterke diffusie van sulfaat vanuit de waterlaag naar het porievocht of mogelijk de vorming van calciumsulfaat (gips) plaats vonden. Oxidatie van gereduceerd S bleek dus een reversibel proces.

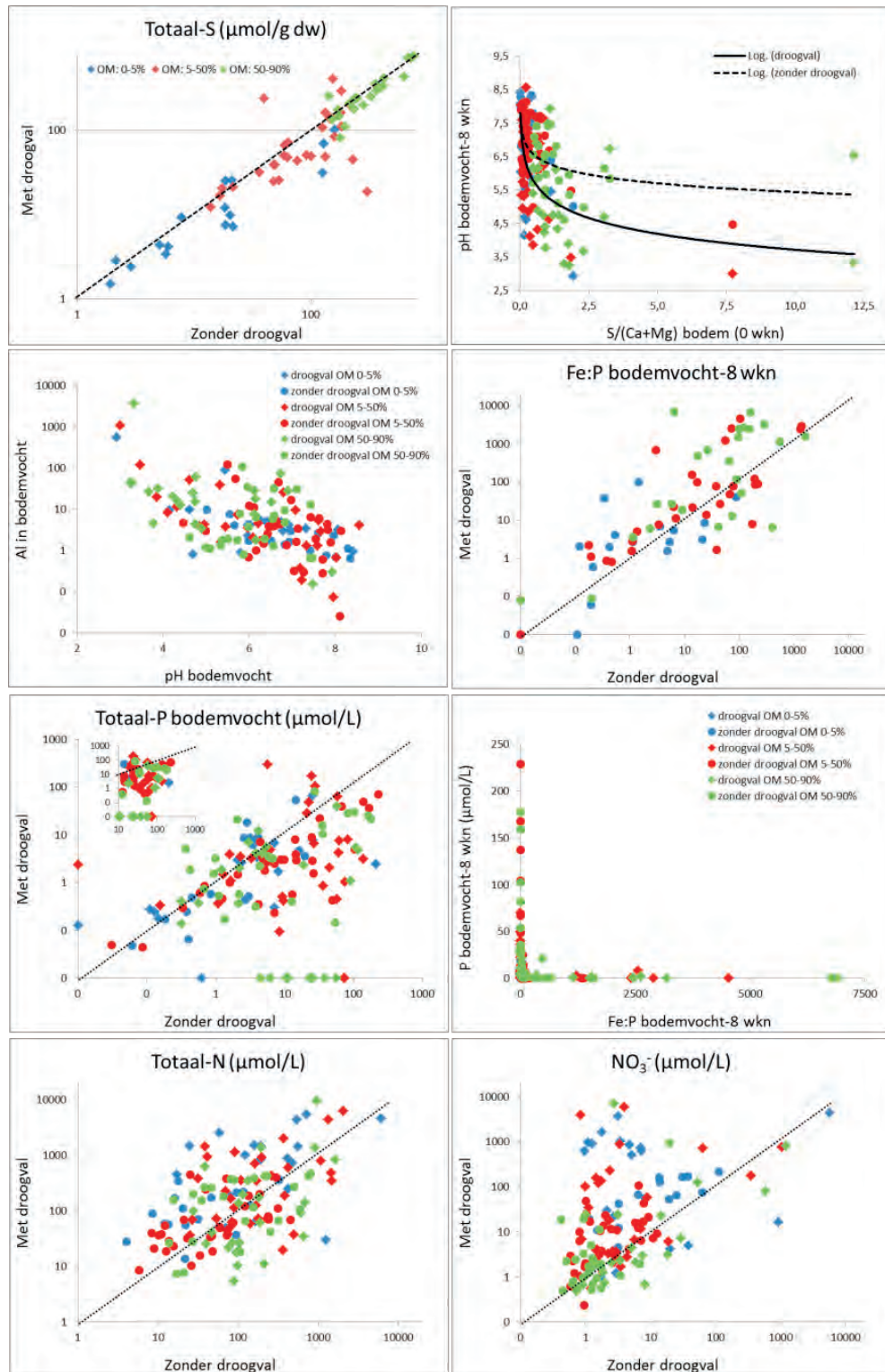
Droogval leidde in het algemeen tot verhoogde concentraties totaal N in de waterlaag. Dit was aanwezig als NH_4^+ en NO_3^- . Met afnemend organisch stofgehalte nam de concentratie NO_3^- in de waterlaag hierbij duidelijk toe. Dit kwam overeen met de waargenomen veranderingen die optraden in de kwaliteit van het porievocht als gevolg van droogval waarbij mineralisatie van organisch materiaal gestimuleerd werd door indringing van zuurstof, maar denitrificatie beperkt plaatsvond (figuur 6.5.).

Er bleken maar weinig niet drooggevallen bodems met voldoende hoge fosfaatconcentraties in de waterlaag om potentieel tot algenbloei te leiden ($\text{PO}_4^{3-} \gg 1 \mu\text{M}$). In het grootste deel van deze bodems was de concentratie PO_4^{3-} in de waterlaag lager in de behandelingen met tijdelijke droogval van de bodem. Voor een tweetal van deze bodems (O.M. 0-5%) geldt dat de concentratie PO_4^{3-} juist toenam als gevolg van droogval (figuur 6.5.). De afname van PO_4^{3-} in de waterlaag kon verklaard worden door sterke oxidatie van ijzer-sulfiden in de drooggevallen bodems. Deze leidden tot een toename van de concentratie vrij geoxideerd ijzer in de bodem. Hierdoor werd het PO_4^{3-} in het porievocht op de overgang van de anaerobe bodem naar de aerobe bodem toplaag in sterkere mate gebonden aan ijzer en trad mobilisatie van PO_4^{3-} naar de waterlaag slechts in zeer beperkte mate op. Dit ondanks een toegenomen mineralisatie van organisch stof. Gedurende minimaal 1 maand trad geen toename van PO_4^{3-} op in de waterlaag (figuur 6.6.).

FIGUUR 6.6. HET EFFECT VAN DROOGVAL OP BODEMS VARIËREND IN ORGANISCH STOFGEHALTE (O.M.) OP DE CHEMISCHE KWALITEIT VAN DE WATERLAAG 4 EN 8 WEKEN NA VERNATTEN. HET VERLOOP IN DE TIJD NA HERVERNATTING IS OP KLEUR INZICHTELIJK GEMAAKT. T=0 WEKEN (BLAUW); T=8 WEKEN (ROOD). DE DRIE KLASSEN O.M. ZIJN INZICHTELIJK GEMAAKT DOOR GEBRUIK TE MAKEN VAN VERSCHILLENDE SYMBOLEN (ZIE LEGENDA). DE ZWARTE STIPPELIJN IS DE ÉÉN OP ÉÉN LIJN.



FIGUUR 6.7. ENKELE ILLUSTRATIEVE GRAFIEKEN MET BETREKKING TOT CHEMISCHE PROCESSEN IN ONDERWATERBODEMS DIE OPTRADEN ALS GEVOLG VAN DROOGVAL. DRIE KLASSEN BODEMS ZIJN OP KLEUR INZICHTELIJK GEMAAKT OP BASIS VAN O.M.: 0-5%, 5-50% EN 50-90%. HET TIJDSVERLOOP IS WEERGEGEVEN DOOR GEBRUIK TE MAKEN VAN VERSCHILLENDE SYMBOLEN.



Deelconclusies onderdeel microcosmos

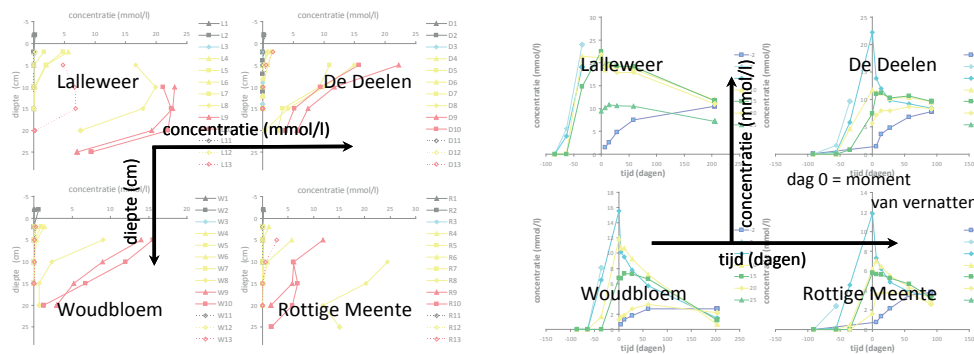
1. Droogval leidt tot inklinking (door ontwatering) van de waterbodems. De mate van inklinking neemt toe met een toenemend organisch stofgehalte van de bodem.
2. Als gevolg van droogval kan het totaal zwavelgehalte in de bodem afnemen tot nagenoeg 100%. Dit is het geval in bodems met een laag organisch stofgehalte en dus met relatief weinig organisch gebonden zwavel. Het grootste deel van het zwavel in de bodem is in dit geval schijnbaar aanwezig in de vorm van (oxideerbare) sulfiden.
3. Droogval leidt tot sterke oxidatie van ijzer-sulfiden. Door oxidatie van ijzer-sulfiden treedt verzuring op in het porievocht en de waterlaag.
4. Verzuring leidt tot hogere concentraties aan metalen (o.a. Al en/of Mn) in het porievocht en waterlaag van de drooggevallen bodems.
5. Met toenemend organisch stofgehalte nemen het totaal-S gehalte en S/(Ca+Mg) ratio van de bodem toe en daarmee de verzuring van porievocht en waterlaag als gevolg van droogval (tot pH 2,5).
6. Oxidatie van ijzer-sulfiden is reversibel indien hervernatting optreedt. Na hervernatting nemen de concentraties S en Ca+Mg in het porievocht in met name de meest zwavelrijke bodems weer zichtbaar af door reductie van sulfaat, toename van pH en mogelijk ook door vorming van calciumsulfaat (gips).
7. Droogval leidt na acht weken tot een hogere Fe:P ratio in het porievocht en een lagere concentratie P in zowel oppervlaktewater als porievocht.
8. Organisch rijke bodems blijken rijk aan zwavel en hebben relatief hoge fosfor concentratie in het porievocht. Droogval leidt met name in deze bodems tot een sterke immobilisatie van P en toename van de Fe:P ratio in het porievocht.
9. Droogval en hervernatting leidt in bodems met aan laag organisch stofgehalte (O.M. 0-5%) vaak tot een netto stikstofmobilisatie (meer NH_4^+ en NO_3^- in het porievocht). Droogval en hervernatting kan ook leiden tot netto stikstofverliezen in bodems met een hoog organisch stofgehalte (O.M. 5-90%). De relatief lage NO_3^- concentraties in het porievocht van organisch rijkere bodems indiceren dat dit te maken heeft met een sterkere mate van denitrificatie.

De bevindingen, zoals onderzocht in de beschreven proefopzet, laten vooral de potenties van droogval voor verschillende bodemtypen zien. Deze resultaten uit laboratoriumexperimenten kunnen echter afwijken van droogval in de plas zelf (veldsituatie) in die zin dat uitdroging in relatief extreme mate optreedt. In de microcosmos is er geen buffering van omringende reductieve bodemlagen. Dit kan inhouden dat verzuring, P immobilisatie, N mineralisatie, als gevolg van droogval, overschat worden.

6.2 KOLOMEXPERIMENT

In een kolomexperiment werden de effecten van tijdelijke droogval in de periode 2010-2012 onderzocht. Op de verschillende onderzoekslocaties werden hiertoe intacte bodemkolommen gestoken en naar het laboratorium overgebracht. In de loop van het onderzoeksproject werden in totaal 2.086 porievochtmonsters aan de kolommen onttrokken. De analyseresultaten van deze monsters worden in dit hoofdstuk in een aantal verschillende typen grafieken gepresenteerd. Om aan te geven wat het effect van de droogvalduur is, werden de concentraties zoals gemeten op het moment van vernatten als diepteprofiel per locatie in een figuur gezet (figuur 6.8., links). De profielen van de beide kolommen zonder droogval werden gemeten op het moment dat het bovenstaande water werd vervangen (\blacktriangle 1 maand na aanvang experiment, \blacktriangle na 3 maanden). De kleuren representeren de verschillende behandelingen (zie legenda). De figuren van de 4 locaties werden steeds op dezelfde wijze opgebouwd (figuur 6.8.). Linksboven Lalleweer, linksonder Woudbloem, rechtsboven De Deelen en rechtsonder de Rottige Meente. Een aantal elementen werd slechts in een selectie van monsters gemeten, waardoor er soms meer series in de legenda werden opgenomen dan daadwerkelijk werden weergegeven in de grafiek.

FIGUUR 6.8. VOORBEELD VAN DE WIJZE WAAROP DE RESULTATEN IN DIT HOOFDSTUK GEPRESENTEERD WORDEN.



Het tweede grafiektype beschrijft het verloop van de concentraties in de loop van de tijd (figuur 6.8., rechts). Het tijdstip 0 dagen in dit type grafiek is het moment dat de betreffende kolom werd vernat. De kleuren representeren de verschillende monsterpunten in een kolom; het bovenstaande water werd bijvoorbeeld in donker blauw weergegeven. Naast de hierboven beschreven grafieken werden er nog een aantal grafieken met wisselende opmaak opgenomen om andere verbanden duidelijk te maken. Met de kleuren van de symbolen werd de herkomst van de monsters weergegeven.

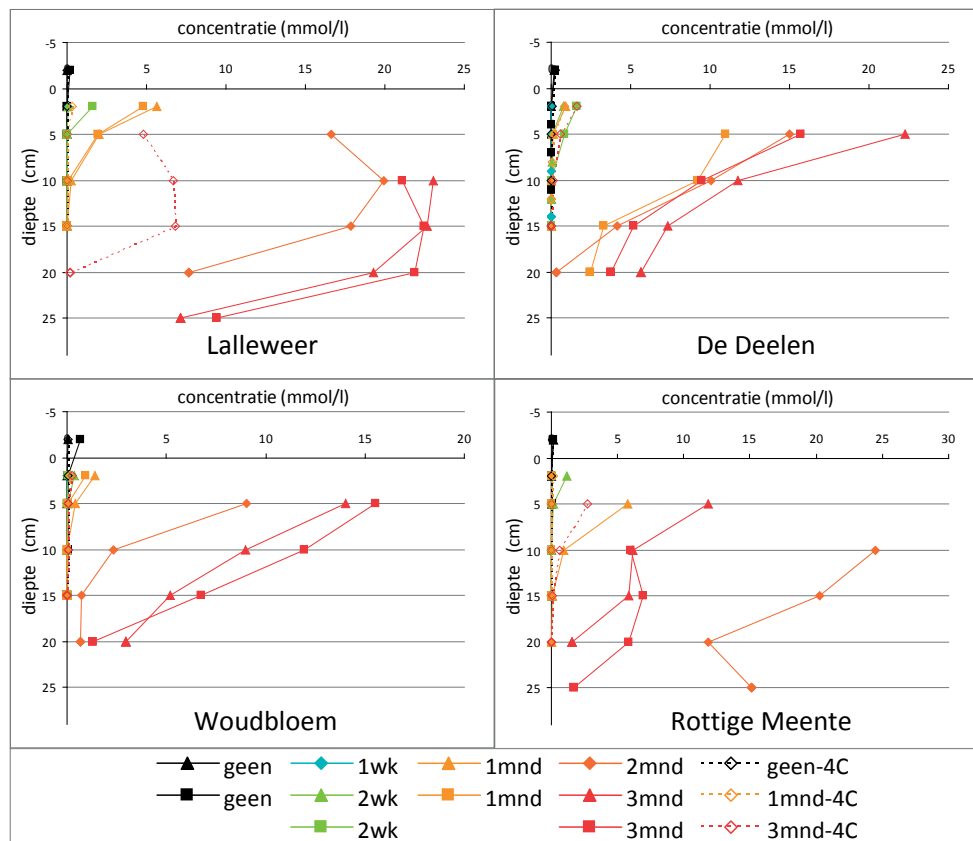
Een aantal kolommen van de locaties Rottige Meente en De Deelen had bij aanvang van het experiment gelekt. De mate van droogval week hierdoor af. Dit bleek dan ook uit de analyseresultaten. De ene kolom van De Deelen met 1 maand droogval vertoonde hierdoor meer 'droogvaleffecten' dan de andere kolom met dezelfde behandeling. Op dezelfde wijze vertoonde de kolom van de Rottige Meente met 2 maanden droogval meer effecten dan de beide kolommen die gedurende 3 maanden droog werden gezet. Door inklinking kromp het sediment in de kolommen; na 3 maanden droogval was het sedimentoppervlak van Lalleweer 2,5 cm, van Woudbloem 3 cm, van De Deelen 4 cm en van de Rottige Meente 7 cm gezakt. De bovenste poorten voor de bemonstering van porievocht konden hierdoor niet meer gebruikt worden en vervielen daarom. De positie van de overige rhizons wijzigde ook, doordat het sediment wegzakte ten opzichte van het niveau van de wand. Zo kon een poort genaamd '10 cm' zich op enkele centimeters onder het sediment-water grensvlak bevinden.

Op het moment dat er een poort bovenin de kolom verviel, werd een nieuwe poort op grotere diepte toegevoegd.

Sulfaat

Tussen alle resultaten vielen de hoge sulfaatconcentraties, veroorzaakt door de oxidatie van sulfiden, sterk op. Een droogvalperiode van een maand had slechts een beperkt effect, maar twee maanden droogval had op alle locaties een duidelijke stijging van de sulfaatconcentraties in het bovenste porievocht tot gevolg (figuur 6.9.). Met drie maanden droogval stegen de concentraties nog verder en werd ook het effect op diepere bodemlagen zichtbaar. De hoogste concentraties lagen tussen de 15 en 25 mmol SO₄/l en kwamen op 5 of 10 cm diepte voor. Het effect van lekkage werd duidelijk zichtbaar in kolom DD-1mnd (met vierkantjes weergegeven) en RM-2mnd; in deze kolommen was het sediment sterker geoxideerd dan in de andere kolommen van dezelfde locatie. Doordat de droogval in dit experiment door verdamping werd gerealiseerd en daarnaast de microbiële activiteit toenam bij een hogere temperatuur, waren de effecten van droogval bij 4°C erg beperkt.

FIGUUR 6.9. SULFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.



Het was opvallend dat, ondanks de verschillen in het zwavelgehalte in de bovenste laag (Lalleweer en Woudbloem 50-100 mmol/kg; De Deelen en de Rottige Meente ~500 mmol/kg), de hoogste concentraties tussen de locaties weinig verschillend waren. Dat leverde de vraag op of er een andere factor was die bepalend kon zijn voor de hoeveelheid sulfaat die vrijkwam.

Met behulp van de volgende formule (Appelo en Postma, 2007) werd de verzadigingsindex voor CaSO_4 berekend:

$$SI = \log(IAP / K)$$

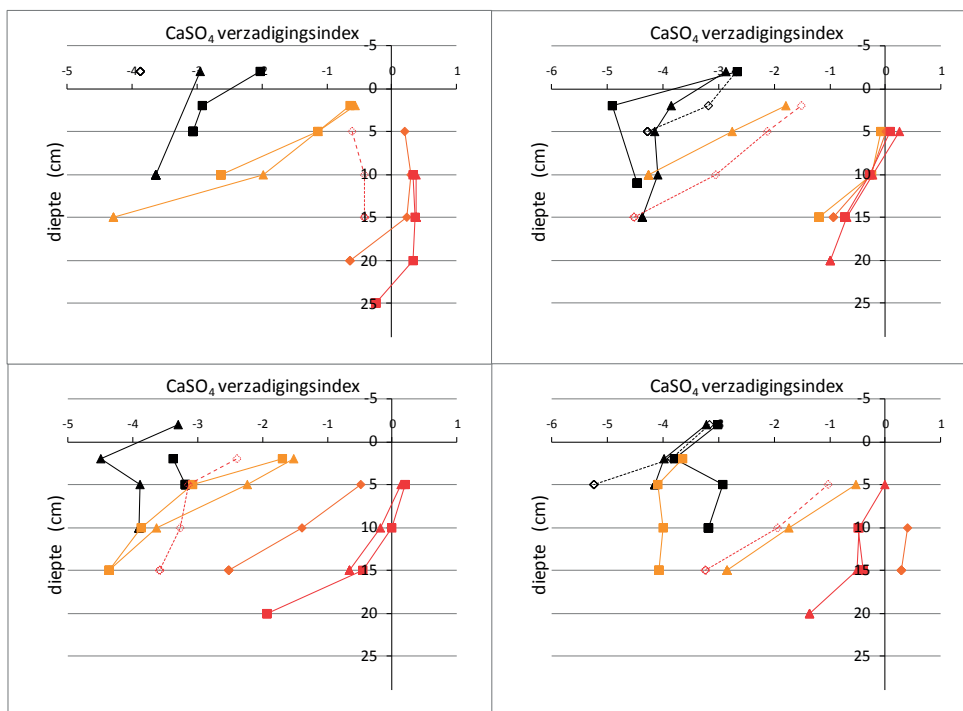
SI = saturation index (verzadigingsindex);

IAP = Ion Activity Product (het product van de calcium en sulfaat activiteit in oplossing);

K = oplosbaarheidsproduct ($10^{-4,6}$ voor CaSO_4).

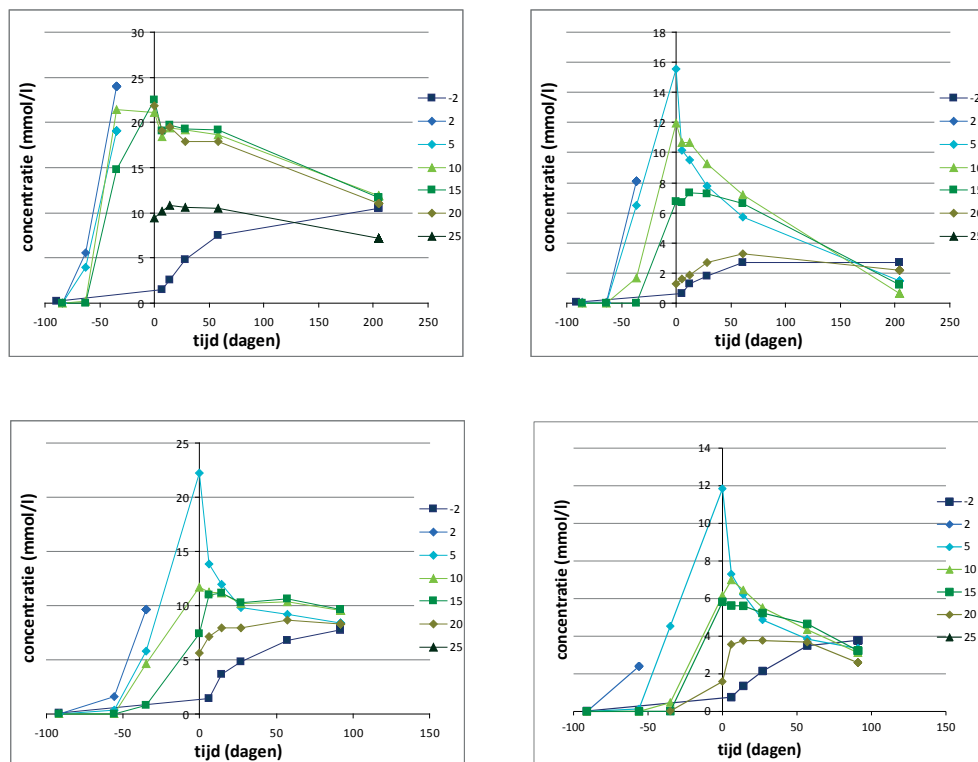
Bij een verzadigingsindex van 0 is de maximale oplosbaarheid bereikt. Doordat CaSO_4 ook als complex in oplossing kan voorkomen en hiervoor in de berekening niet werd gecorrigeerd, kwamen ook waarden hoger dan 0 voor. In figuur 6.10 werd de verzadigingsindex voor CaSO_4 weergegeven op het moment van vernatten. Uit deze figuur bleek dat in het sediment van alle locaties de calcium- en sulfaatconcentraties in het porievocht na 2 à 3 maanden droogval zo hoog konden oplopen dat oververzadiging optrad. De optimale droogvalduur voor wat betreft sulfaat was door het plafond in de sulfaatconcentraties niet eenvoudig meer af te leiden. In een aantal gevallen werden de hoogste concentraties na 2 maanden nog niet bereikt.

FIGUUR 6.10. VERZADIGINGSINDEX VOOR CaSO_4 OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.



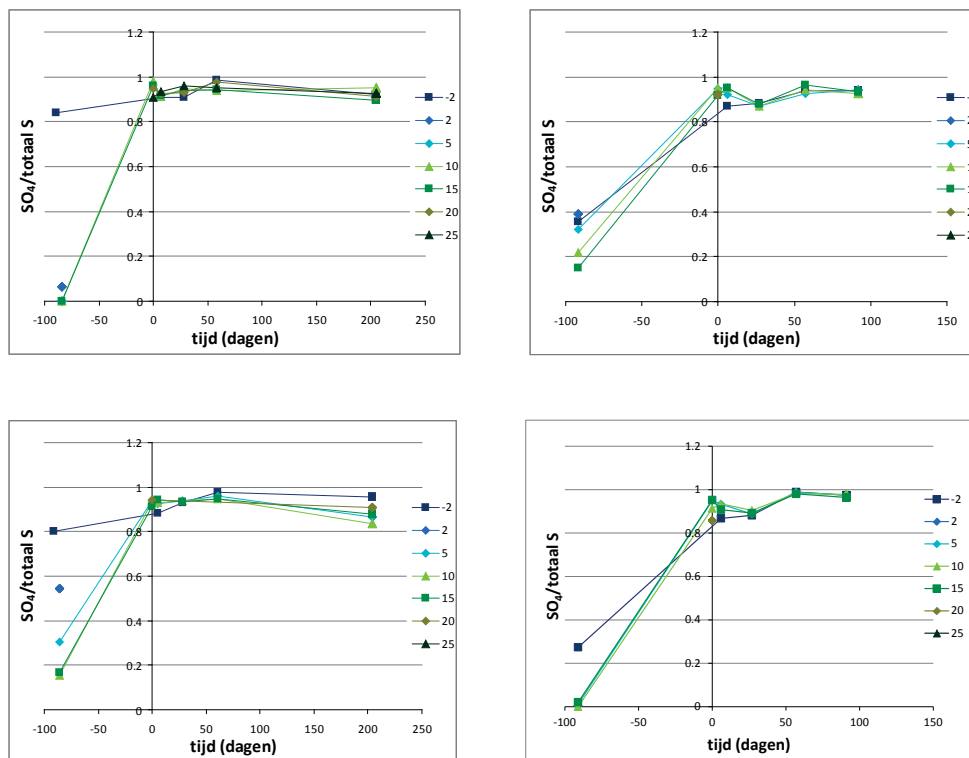
Na het vernatten konden twee processen zorgen voor dalende sulfaatconcentraties in het porievocht namelijk diffusie of reductie. Diffusie leek met name in de eerste 2 maanden na vernatting plaats te vinden (figuur 6.9.). In deze periode stegen de concentraties in het oppervlaktewater, terwijl de concentraties in het bovenste porievocht snel daalden. In het diepere porievocht was juist weinig verandering te zien. Na twee maanden begonnen de concentraties over het gehele profiel te dalen, doordat in het hele sediment opnieuw gereduceerde omstandigheden ontstonden.

FIGUUR 6.11. VERLOOP VAN DE SULFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA IS DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER.



Bij aanvang van het experiment bevond zich geen sulfaat in het porievocht: de ratio tussen SO_4 en totaal-S was laag (figuur 6.11). Op het moment van vernatten was zwavel alleen in de vorm van sulfaat aanwezig in het sediment; $\text{SO}_4/\text{tot-S}$ benaderde een verhouding van 1:1. In de loop van de tijd na vernatten werd een afname in de sulfaatconcentraties zichtbaar (figuur 6.9), die deels veroorzaakt werd door diffusie. De daling die met name in het diepere porievocht na 2 maanden na vernatten optrad, ging niet gepaard met een stijging op een andere diepte. Op dat moment leek er dus sulfaatreductie op te treden, maar het geproduceerde sulfide veroorzaakte geen daling van de verhouding $\text{SO}_4/\text{tot-S}$. De pH was op dat moment niet dusdanig laag dat direct ontwijken in de vorm van H_2S aannemelijk was. Dit duidde erop dat het gevormde sulfide direct neersloeg. Alleen bij Woudbloem (linksonder) werd een beperkte afname in de $\text{SO}_4/\text{tot-S}$ ratio in de porievochtmonsters ten opzichte van het oppervlaktewater zichtbaar.

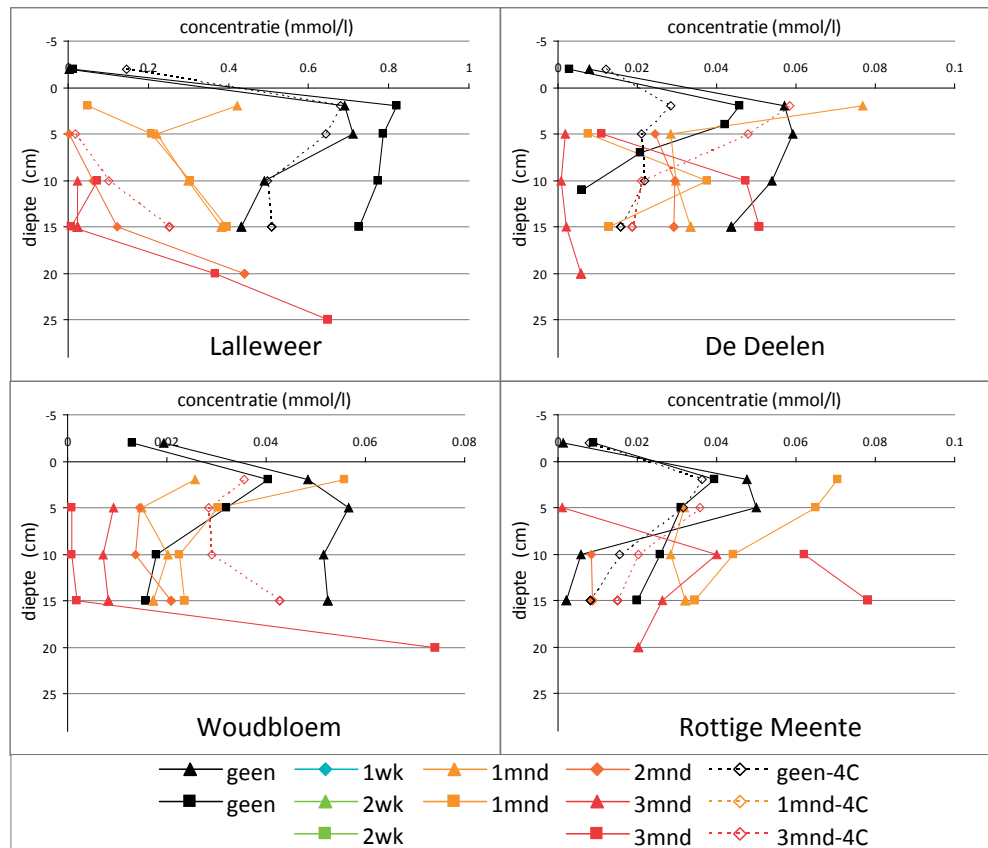
FIGUUR 6.12. VERLOOP VAN DE VERHOUDING TUSSEN SULFAAT EN TOTAAL-S IN HET PORIEVOCHT GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA IS DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER.



IJzer

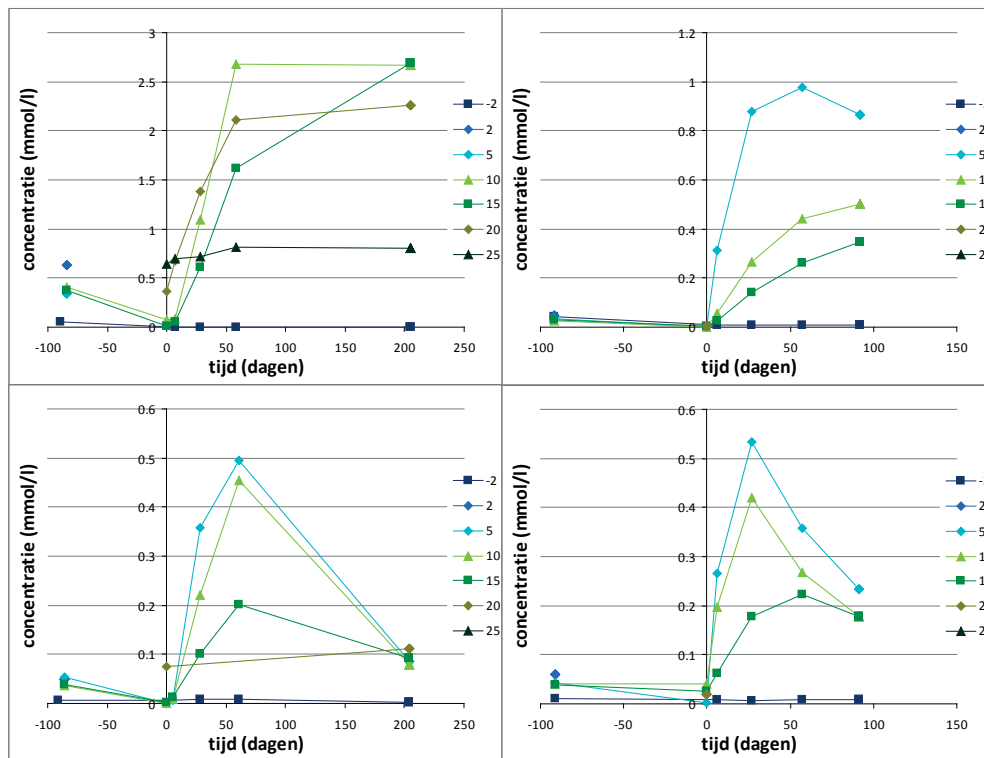
Het grootste gedeelte van de sulfiden in de waterbodem zijn ijzersulfiden. Tijdens de oxidatie van sulfide komt Fe^{2+} vrij. In het kolomexperiment kwamen over het algemeen de hoogste ijzerconcentraties in het porievocht in combinatie met een hoge sulfaatconcentratie voor. Echter, niet in een vaste verhouding. Op het moment dat er hoge sulfaatconcentraties aanwezig waren, was de waterbodem dermate geoxideerd dat er direct oxidatie van Fe^{2+} naar Fe^{3+} plaatsvond, waarna ijzer neersloeg in de vorm van ijzerhydroxide.

Het effect van droogvalduur op de ijzerconcentraties was minder eenduidig dan bij sulfaat (figuur 6.9 en 6.13). Een kortere droogvalduur resulteerde over het algemeen in hogere ijzerconcentraties omdat Fe^{2+} beter oplosbaar is dan Fe^{3+} . Vooral Fe^{3+} is goed in staat om fosfaat te binden, dus het ontstaan van Fe^{3+} is een gunstig effect van droogval. Bij Lalleweer (linksboven) werd duidelijk dat dit patroon het meest nadrukkelijk aanwezig was. De ijzerconcentraties lagen hierbij ook een factor 10 hoger dan op de andere locaties. Bij Woudbloem (linksonder) en De Deelen (rechtsboven) waren de concentraties over het algemeen ook lager met een langere droogvalduur. Bij de Rottige Meente kwamen juist de hoogste concentraties voor in de kolommen die 3 maanden werden drooggezet.

FIGUUR 6.13. IJZERCONCENTRATIES (Fe^{2+}) OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.

Na het vernatten liepen de ijzerconcentraties in het hele profiel van alle locaties direct op, in Woudbloem (linksonder) en de Rottige Meente (rechtsonder) gevolgd door een afname (figuur 6.13). Deze daling werd mogelijk veroorzaakt door de vorming van ijzersulfiden na de reductie van sulfaat. Het verloop van de sulfaatconcentraties deed echter vermoeden dat sulfaatreductie vanaf 2 maanden na vernatten optrad en de daling van ijzerconcentraties in de kolommen van de Rottige Meente al na één maand begon op te treden. In De Deelen werden in zowel de ijzer- als de sulfaatconcentraties geen aanwijzingen gevonden voor sulfaatreductie. In Lalleweer waren de ijzerconcentraties dermate hoog dat sulfaatreductie gevolgd door een neerslag met sulfiden geen daling van de ijzerconcentraties veroorzaakte, maar er mogelijk wel voor zorgde dat de ijzerconcentraties niet verder stegen.

FIGUUR 6.14. VERLOOP VAN DE IJZERCONCENTRATIES (Fe^{2+}) IN HET PORIEVOCHT 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.

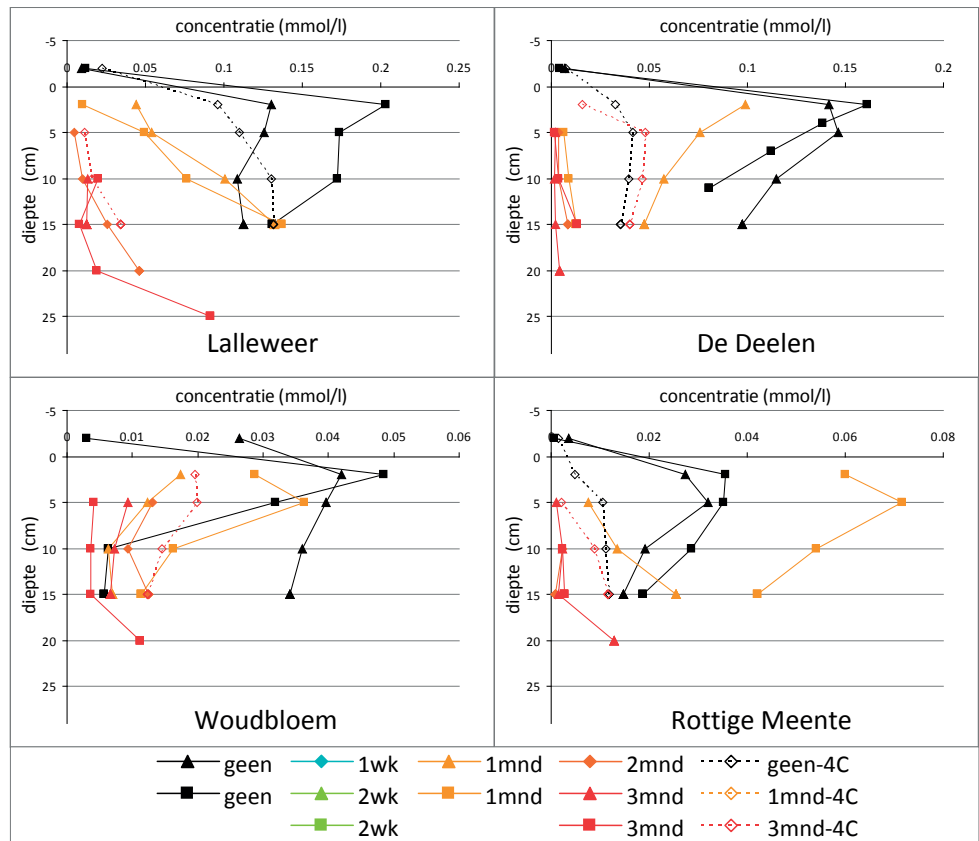


Fosfaat

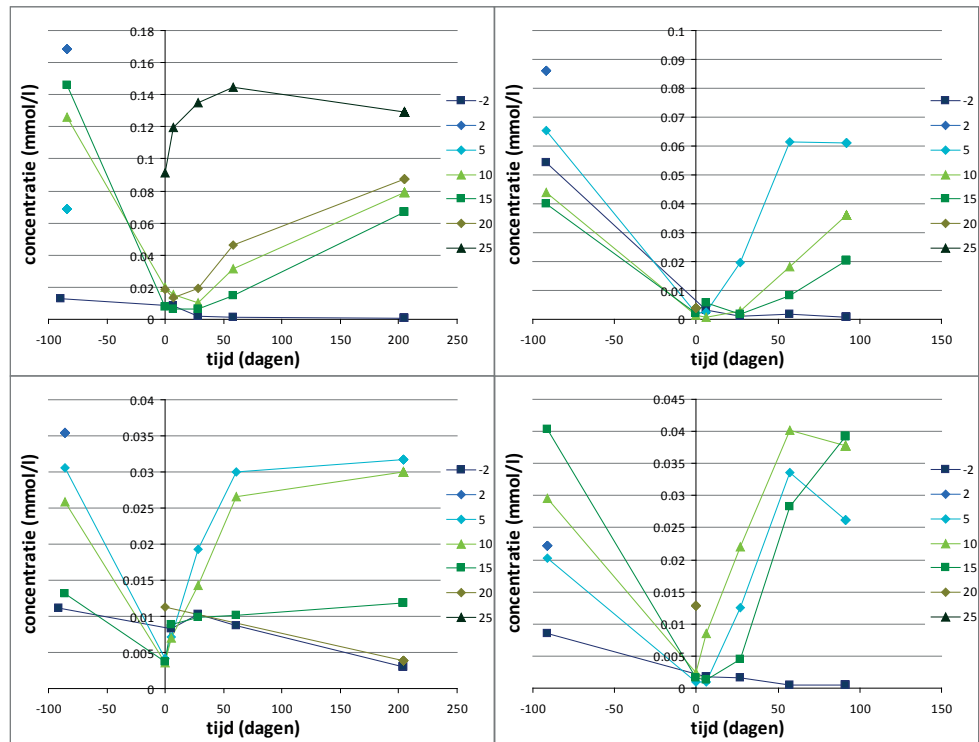
Gedurende de droogval vond er duidelijk vastlegging van fosfaat plaats (figuur 6.15). De concentraties in de onbehandelde kolommen waren hierbij het hoogst. Een periode van één maand droogval veroorzaakte ongeveer een halvering van de concentraties. Na een periode van twee of drie maanden droogval daalden de fosfaatconcentraties in het porievocht nog verder tot uiteindelijk zeer lage concentraties werden bereikt.

Dit effect op de fosfaatconcentraties was echter maar van relatief korte duur. De concentraties in het porievocht waren na twee maanden weer op hetzelfde niveau als aan het begin van het experiment. Alleen bij Lalleweer waren de concentraties ook na ruim 6 maanden nog steeds aanzienlijk lager. De concentraties in het oppervlaktewater waren wel duidelijk lager en bleven ook laag in de loop van de tijd. Hoewel de concentraties in het porievocht dus wel toenamen vond er binnen het tijdsbestek van de proef nog geen nalevering naar het oppervlaktewater plaats.

FIGUUR 6.15. FOSFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.

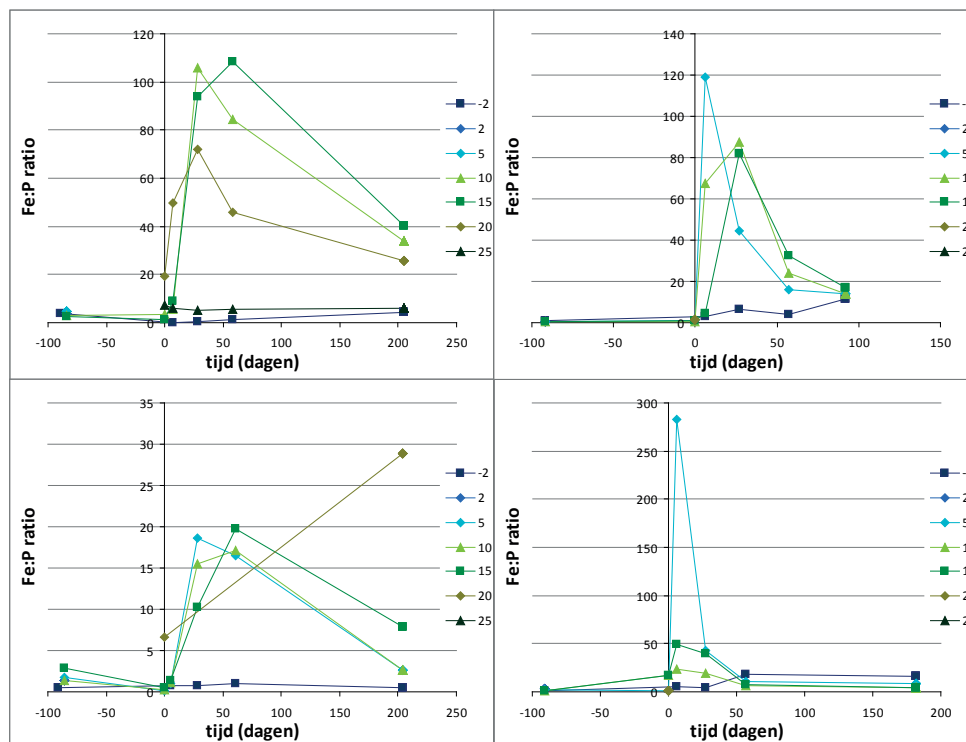


FIGUUR 6.16. VERLOOP VAN DE FOSFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA STAAT DE DIEPTTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER.



In het oppervlaktewater was na vernatting in alle behandelingen een duidelijke afname van de fosfaatconcentratie te zien. De bodem fungeerde op dat moment niet meer als source, maar als sink voor het fosfaat. Een belangrijke factor voor het voorspellen van de nalevering van fosfaat vanuit sedimenten is de ijzer:fosfaat ratio in het porievocht. Bij een ratio die kleiner is dan 1 neemt de nalevering van fosfaat door diffusie sterk toe (Smolders, 2006). Ondanks dat de fe:P ratio na het vernatting daalde (figuur 6.17), was deze nog steeds groter dan 1. Ook in de periode van drie tot zes maanden na (her)vernatting bleef de ijzer:fosfaat ratio duidelijk hoger dan voorafgaand aan de droogval.

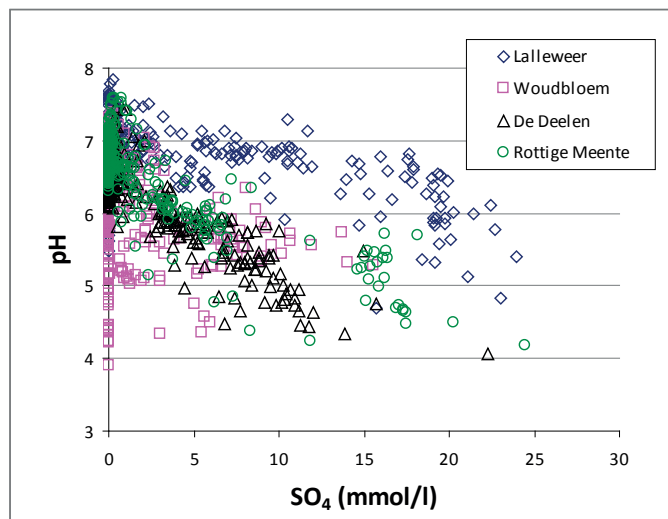
FIGUUR 6.17. VERLOOP VAN DE IJZER:FOSFAAT RATIO IN HET PORIEVOCHT GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA STAAT DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER.



pH, calcium en magnesium

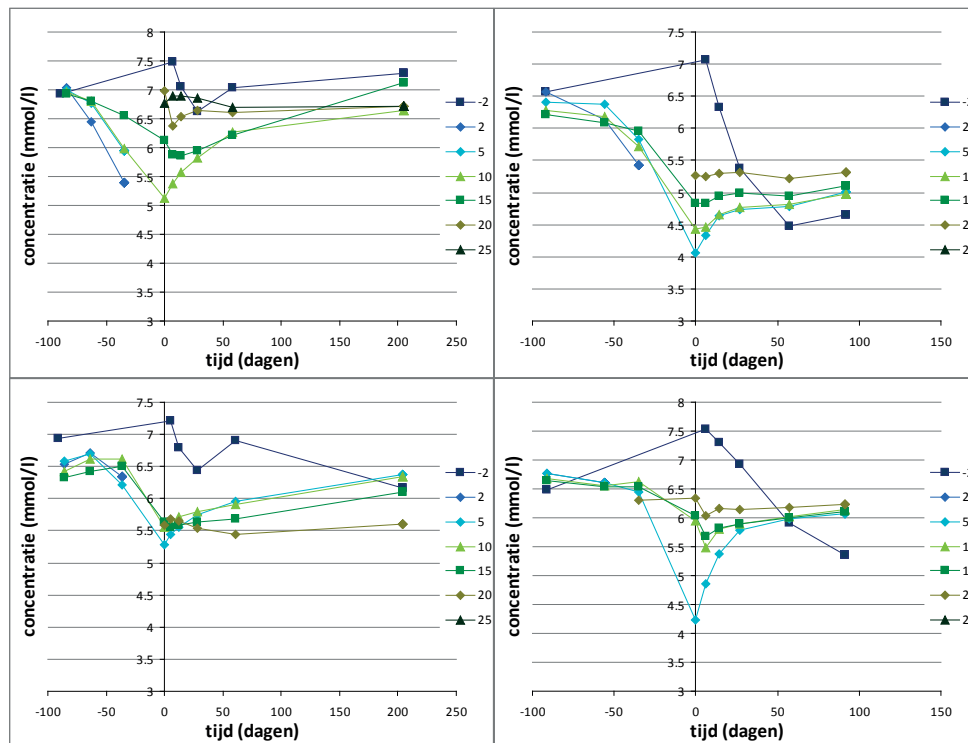
Zowel de oxidatie van sulfide als de vorming van ijzerhydroxiden uit Fe^{3+} zijn processen waarbij zuur vrijkomt. De stijging van de hoeveelheid sulfaat in alle behandelingen leverde dan ook een duidelijke daling van de pH in het porievocht op (figuur 6.18).

FIGUUR 6.18. pH TEN OPZICHTE VAN DE SULFAATCONCENTRATIES; RESULTATEN VAN ALLE KOLOMMEN EN TIJDSTIPPEN ZIJN SAMENGEVOEGD.



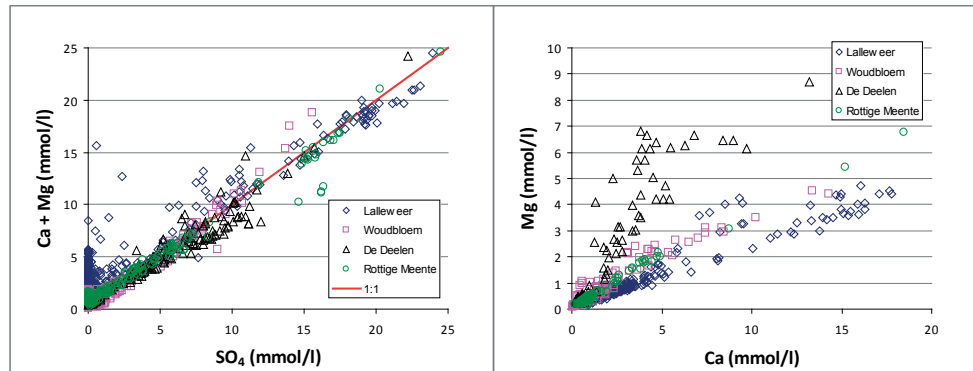
De pH-daling na een periode van 1 maand droogval bleef beperkt. Na twee of drie maanden droogval was de pH op het moment van vernatten wel duidelijk verlaagd (niet in figuur weergegeven). De laagste pH-waarde die werden aangetroffen in het porievocht van de bovenste bodemlagen in beide veenbodems, was circa pH 4. Bij een dergelijk lage pH-waarde kan mobilisatie van (zware) metalen optreden. Na vernatten duurde het ongeveer twee maanden voordat de pH in het hele profiel weer hersteld was (figuur 6.19). In het oppervlaktewater van de beide veenbodems daalde de pH sterker dan in het porievocht.

FIGUUR 6.19. VERLOOP VAN DE pH IN HET PORIEVOCHT 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.



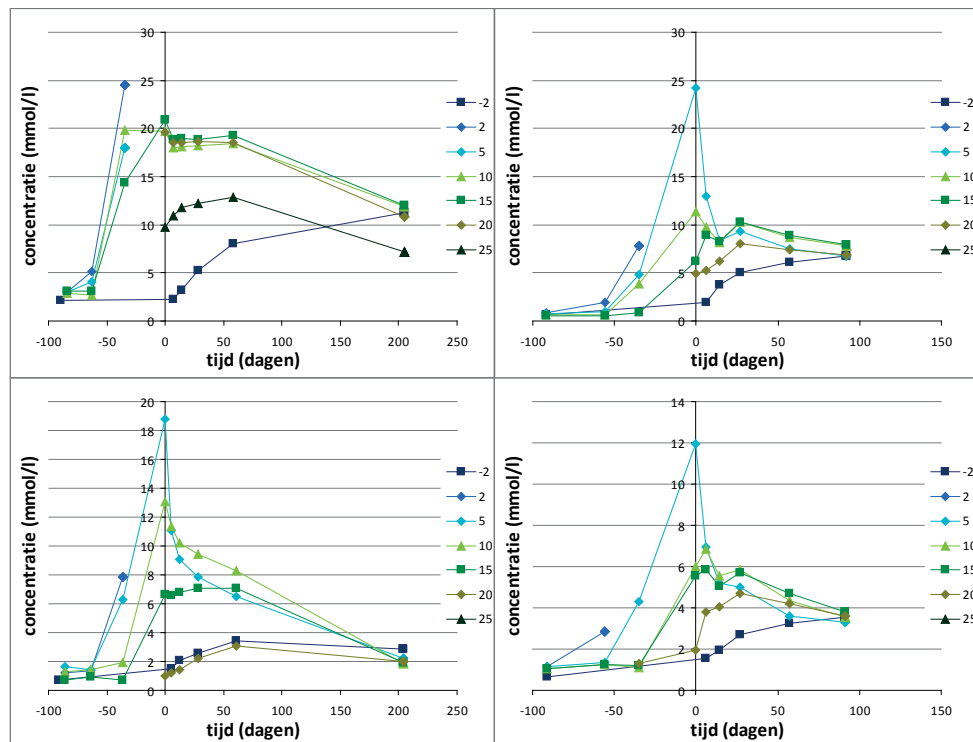
Door de daling van de pH gingen calcium- en calciummagnesiumcarbonaten in oplossing. Daarnaast kon er bij deze lage pH-waarden ook uitwisseling met kationen (o.a. Ca^{2+} en Mg^{2+}) van het adsorptiecomplex optreden. De calcium- en magnesiumconcentraties vertoonden in het verloop echter vooral een relatie met de sulfaatconcentratie (figuur 6.20, linkerzijde). De verhouding tussen calcium en magnesium was afhankelijk van de lokale samenstelling van de carbonaten en varieerde dus tussen de locaties. Binnen één locatie was de verhouding echter wel constant (figuur 6.20, rechterzijde). De variatie in de monsters van De Deelen werd veroorzaakt doordat het kraanwater dat na de droogval werd opgebracht een afwijkende samenstelling had ten opzichte van het gebiedseigen water. De verhouding tussen calcium en magnesium in het gebiedseigen water van de overige locaties was vergelijkbaar met de verhouding zoals die in het kraanwater voorkwam.

FIGUUR 6.20. LINKERZIJDE – SOM VAN DE CALCIUM- EN MAGNESIUMCONCENTRATIES TEN OPZICHTE VAN SULFAAT.
RECHTERZIJDE – MAGNESIUM- TEN OPZICHTE VAN CALCIUMCONCENTRATIES.
RESULTATEN VAN ALLE KOLOMMEN EN TIJDSTIPPEN ZIJN SAMENGEVOEGD.



Het verloop in de tijd van de som van calcium en magnesium (figuur 6.21) is een perfecte reflectie van de sulfaatconcentraties (figuur 6.11). Dit suggereert dat de daling in de sulfaatconcentraties na het vernatten ook veroorzaakt kon worden door een proces waarbij calcium een rol speelde. De vorming van CaSO_4 (gips) leek hier echter niet alleen verantwoordelijk voor. Op het moment van vernatten was de verzadiging van het porievocht maximaal zodat gipsvorming kon plaatsvinden, maar na het vernatten daalden de concentraties tot niveaus waarbij dit proces niet meer kon plaatsvinden en andere processen verantwoordelijk moesten zijn voor het verdere verloop.

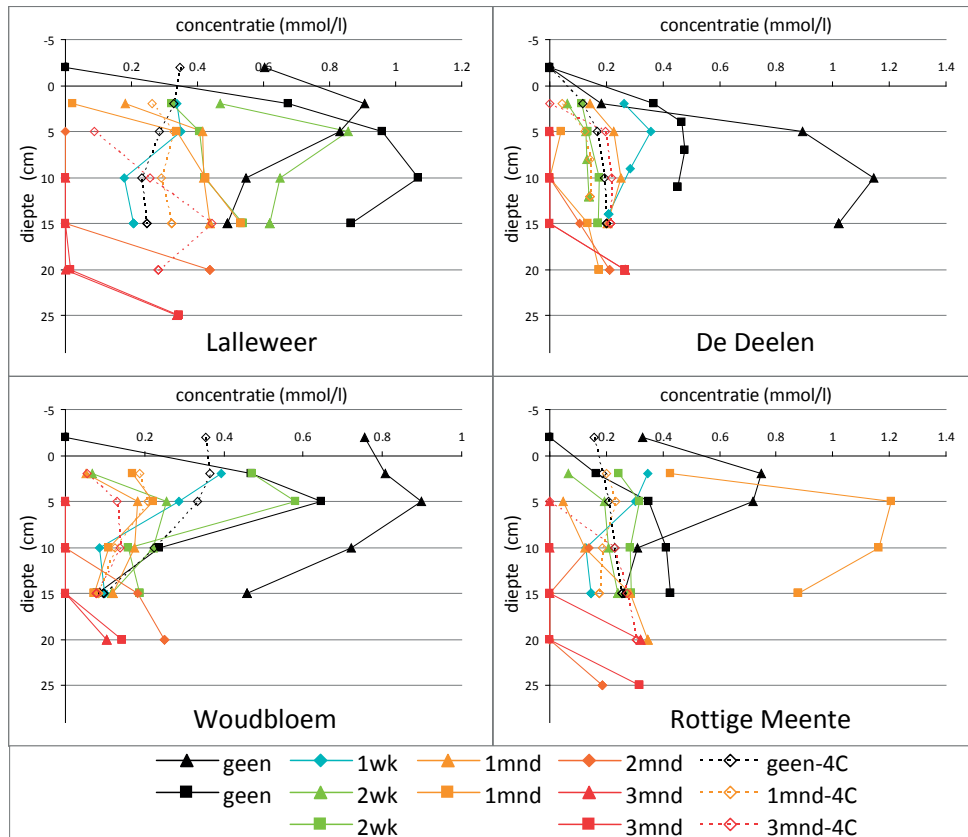
FIGUUR 6.21. VERLOOP VAN DE SOM VAN DE CALCIUM- EN MAGNESIUMCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA STAAT DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER.



Ammonium en nitraat

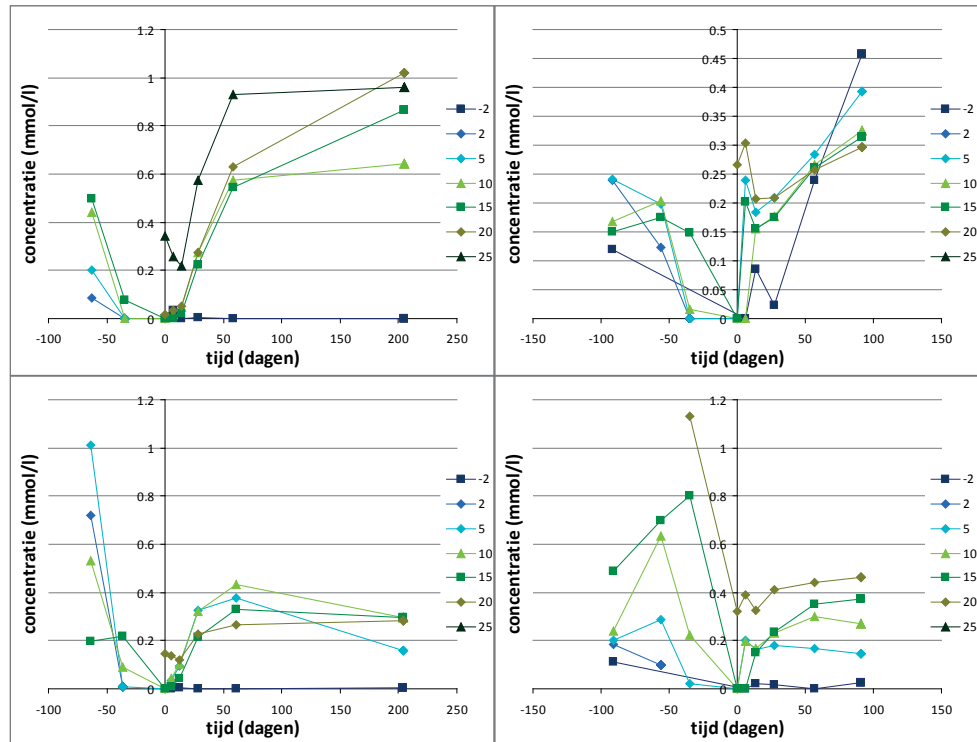
Door de oxidatie van het sediment daalden – zoals verwacht - de ammoniumconcentraties gedurende de droogvalperiode (figuur 6.22). De concentraties voor droogval lagen rond de 0,8 mmol/l in alle behandelingen. Na 1 maand droogval waren de concentraties in het profiel ongeveer gehalveerd, terwijl er na 2 maanden droogval alleen nog dieper in het profiel ammonium werd aangetroffen. Een droogvalperiode van drie maanden leidde niet tot een verdere daling.

FIGUUR 6.22. AMMONIUMCONCENTRATIES OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.



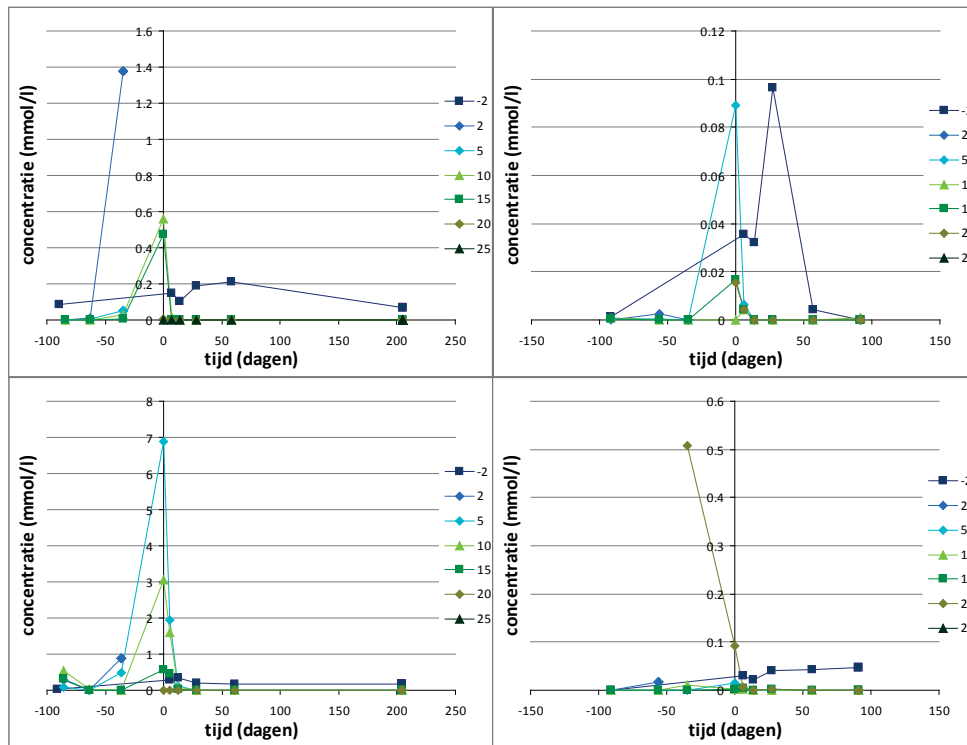
Na de scherpe daling door oxidatie, stegen de ammoniumconcentraties na het vernatten gedurende 1 à 2 maanden sterk door de afbraak van organische stof. In Lalleweer en De Deelen waren de uiteindelijke concentraties zelfs hoger dan bij aanvang in het porievocht aanwezig waren, er trad dus zoals verwacht een sterke mobilisatie van stikstof op.

FIGUUR 6.23. VERLOOP VAN DE AMMONIUMCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT 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.



De oxidatie van ammonium leidt tot de vorming van nitraat. Hoewel de ammoniumconcentraties in de verschillende sedimenten vergelijkbaar waren, bleek er wel een duidelijk verschil in de nitraatconcentraties te bestaan. De concentraties namen in het bodemprofiel af met de diepte (niet in een figuur weergegeven). De hoogste concentraties in het bodemprofiel van Woudbloem waren wel 7 mmol/l. Op het moment van vernatten verdween nitraat (via denitrificatie) binnen een à twee weken uit het profiel (figuur 6.24).

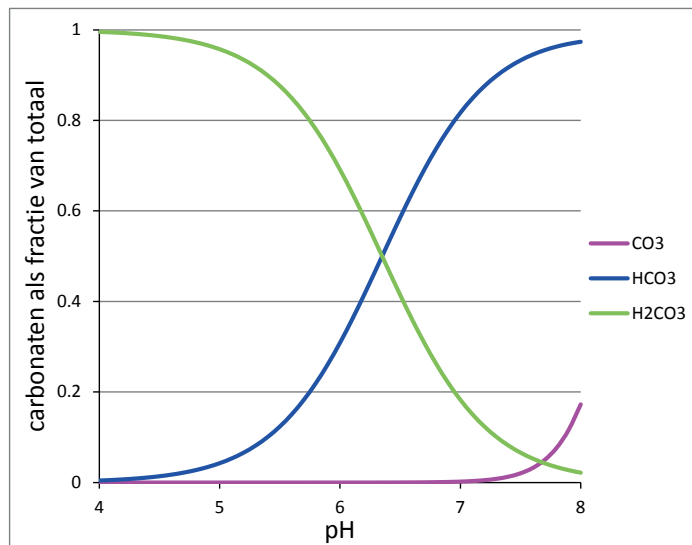
FIGUUR 6.24. VERLOOP VAN DE NITRAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT GEDURENDE EEN DROOGVALPERIODE VAN 3 MAANDEN EN NA VERNATTEN. IN DE LEGENDA STAAT DE DIEPTE VAN DE BEMONSTERDE POORTEN WEERGEGEVEN; -2 IS HET MONSTERNAMEPUNT IN HET BOVENSTAANDE WATER.



Organisch en anorganisch koolstof

De pH daling als gevolg van de ijzer- en sulfaatoxidatie die optrad, had gevolgen voor de concentraties anorganisch koolstof (DIC: dissolved inorganic carbon). Vanuit andere studies is bekend dat bij lagere pH het evenwicht van bicarbonaat (HCO_3^-) in de richting van H_2CO_3 verschuift (figuur 6.25), waarna CO_2 ontwijkt en daarmee de hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof daalt.

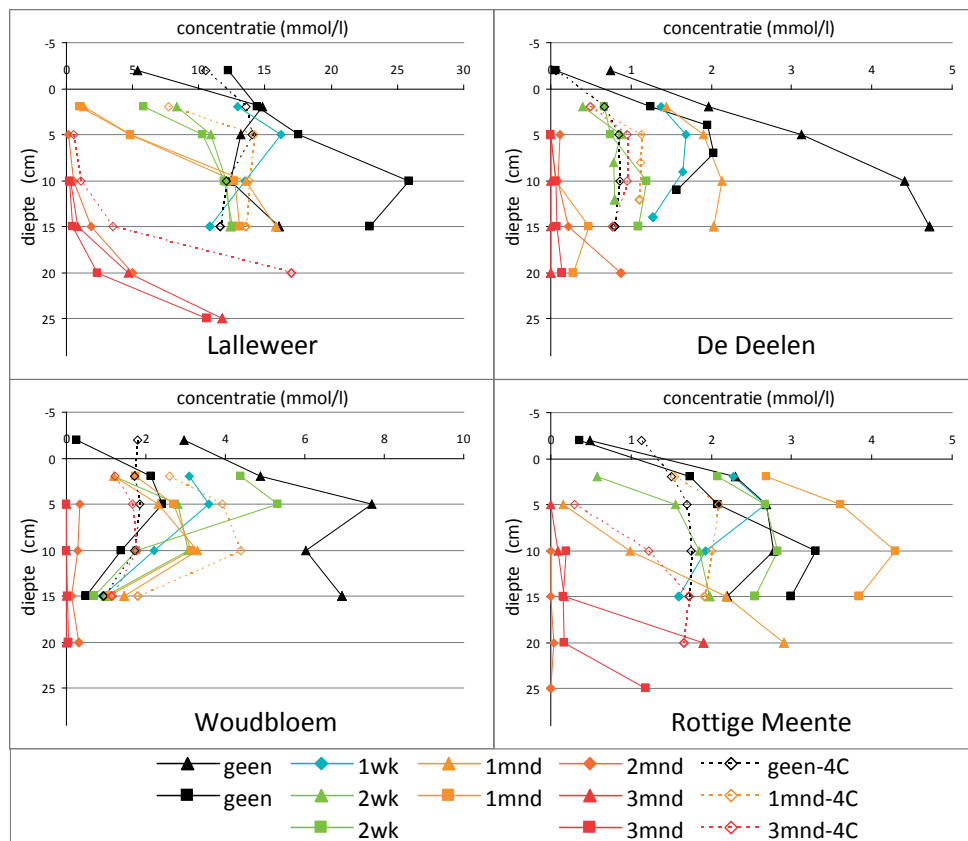
FIGUUR 6.25. VERDELING VAN TOTAAL ANORGANISCH KoolSTOF OVER CO_3^{2-} , HCO_3^- EN H_2CO_3 ; BEREKEND OP BASIS VAN DE pH IN HET PO-RIEVOCHT EN EVENWICHTSCONSTANTEN.



Een aantal zaken vielen op bij de gemeten DIC-concentraties (Figuur 6.26). Zo lieten op alle locaties de beide kolommen die niet werden drooggezet een verschillend profiel zien. De getoonde profielen waren aanwezig op het moment dat het bovenstaande water werd vervangen door kraanwater. In de kolommen die zijn weergegeven met een zwart driehoekje gebeurde dit 1 maand na aanvang van het experiment. In de kolommen die zijn weergegeven met een zwart vierkantje vond dit na 3 maanden plaats. In De Deelen en Woudbloem daalde de DIC-concentratie in de tussentijd, terwijl in Lalleweer juist een stijging plaatsvond.

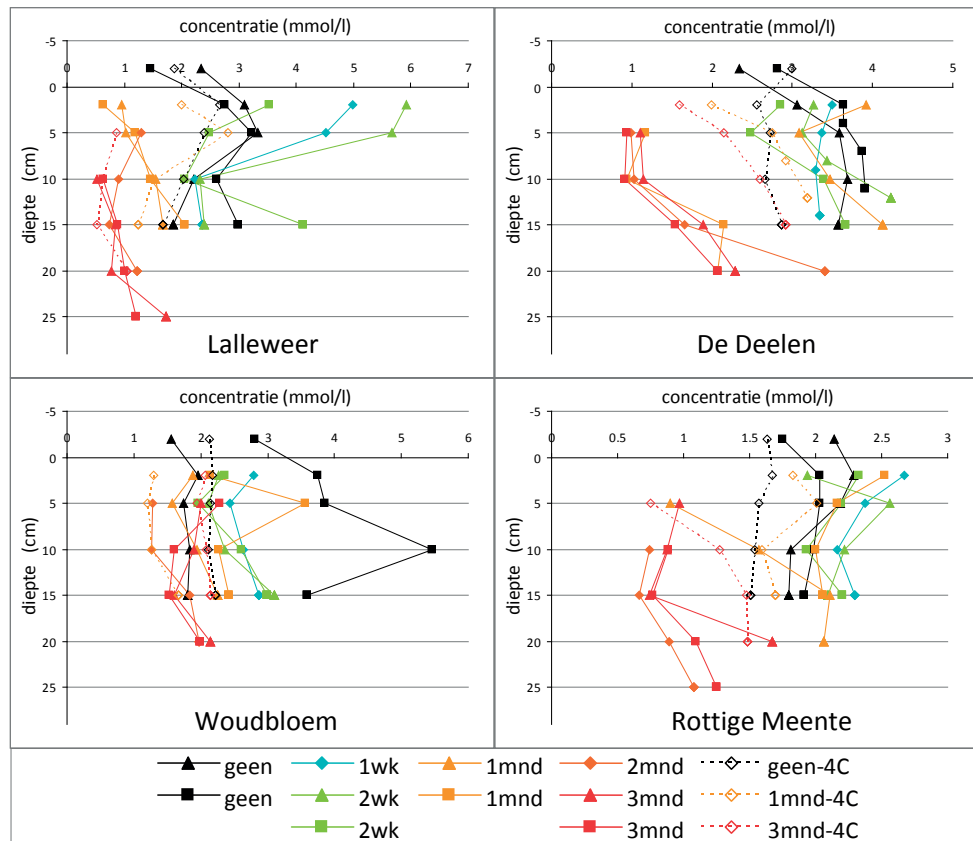
Verder veroorzaakte elke droogvalperiode, zelfs als deze maar 2 weken was, al een daling van de DIC-concentraties. Dit is in overeenstemming met het feit dat elke droogvalperiode, hoe kort ook, een stijging van de sulfaatconcentraties opleverde. Zodra er zuur gevormd werd, daalden de carbonaatconcentraties, gevolgd door een pH-daling op het moment dat deze buffer volledig was opgebruikt.

FIGUUR 6.26. DIC-CONCENTRATIES OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.



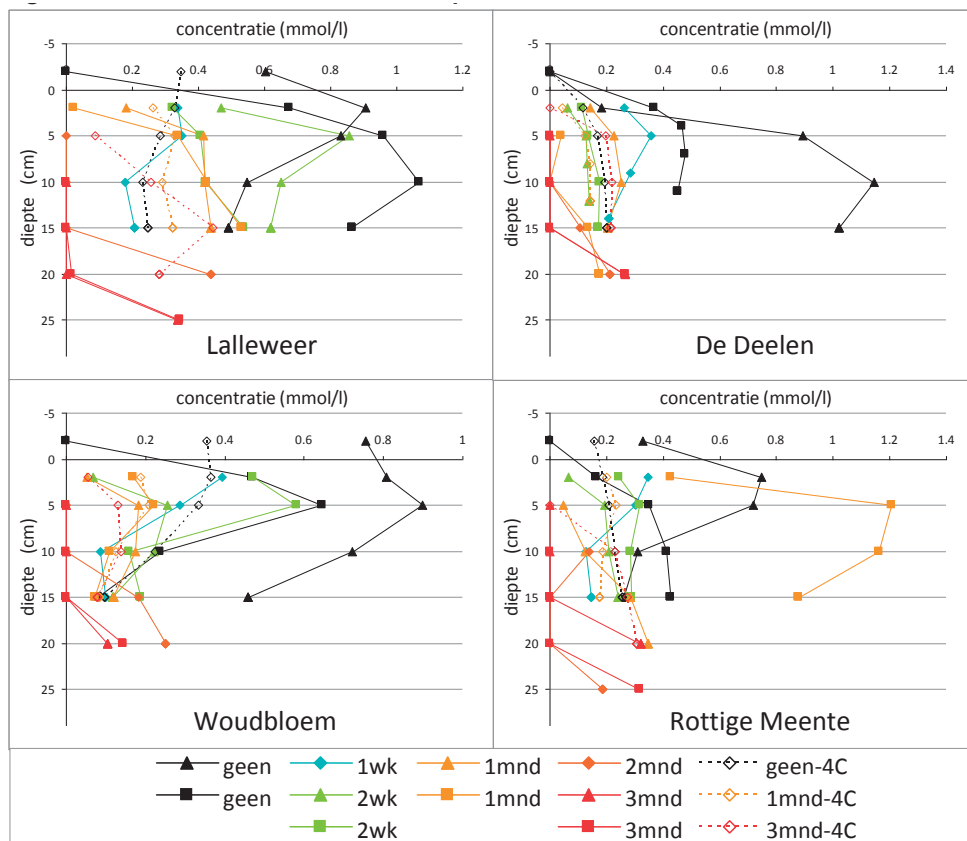
DOC (dissolved organic carbon) is een afbraakproduct van vast organisch materiaal zoals plantenresten maar ook van micro-organismen. De hoeveelheid DOC in oplossing was opvallend genoeg geen afspiegeling van de samenstelling van de waterbodem. In ieder geval was de DOC-concentratie op de beide veenlocaties niet hoger dan in Lalleweer en Woudbloem (figuur 6.27). Een droogvalperiode van 1 maand of langer leidde tot een daling van de DOC-concentraties in het porievocht, ondanks dat in aanwezigheid van zuurstof de afbraak van organisch materiaal over het algemeen sneller verloopt. Tweewaardige kationen (zoals calcium en magnesium) en driewaardige (zoals ijzer en aluminium) kunnen verschillende DOC-moleculen met elkaar verbinden waarna ze precipiteren. Mogelijk veroorzaakte het vrijkomen van twee- en driewaardige kationen dan ook deze daling van de DOC-concentraties. De daling van de DOC-concentraties had ook gevolgen voor de fosforconcentraties in oplossing. Uitgaande van een C:P verhouding van 200:1, was een aanzienlijk deel van het fosfor dat werd gemeten op het moment van vernatten dan ook aanwezig als organisch gebonden fosfor.

FIGUUR 6.27. DOC-CONCENTRATIES OP HET MOMENT VAN VERNATTEN.



Zes tot acht maanden na het vernatten werden de DOC- en DIC-concentraties in de kolommen van Lalleweer en Woudbloem nogmaals gemeten (Figuur 6.28). De verschillen tussen de drooggevallen kolommen en de referentiekolommen bleken beperkt te zijn. In de diepere lagen van Lalleweer waren de DIC-concentraties hoger na een periode van droogval ten opzichte van de behandelingen zonder droogval. De DOC-concentraties bleken zowel in Lalleweer als Woudbloem lager in de kolommen die bij 4°C werden weggezet.

FIGUUR 6.28. DIC EN DOC-CONCENTRATIES 6 TOT 8 MAANDEN NA VERNATTEN.



Deelconclusies onderdeel kolomexperimenten

1. Droogval heeft een extreem effect op de zwavelhuishouding, waardoor hoge concentraties aan sulfaat en basische kationen vrijkomen en de pH daalt. De sulfaatconcentraties die tijdens het kolomexperiment in het porievocht ontstonden, waren op alle locaties vergelijkbaar met maxima van 15 tot 25 mmol/l die na 2 tot 3 maanden droogval voorkwamen. Uit berekeningen blijkt dat het porievocht bij deze hoge concentraties (over) verzadigd is voor CaSO_4 , waardoor verdere stijgingen van de sulfaatconcentratie niet optreden.
2. De oxidatie van sulfide tot sulfaat heeft een aantal neveneffecten. Bij de oxidatie komt zuur vrij, en die veroorzaakte een afname van de bicarbonaatconcentraties in oplossing, gevolgd door het in oplossing gaan van calcium- en magnesiumcarbonaten en uitwisseling met basische kationen van het uitwisselcomplex. Wanneer de aanwezige buffercapaciteit de zuurproductie niet kon compenseren, daalde de pH in het porievocht, in een aantal gevallen met wel vier pH-eenheden. De calcium- en magnesiumconcentraties in oplossing laten een sterk verband met de sulfaatconcentraties zien.
3. De sulfaatconcentraties die in het veld gemeten werden, waren op alle locaties lager dan de concentraties die na 3 maanden droogval in de kolommen aanwezig waren. Dit wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat de waterbodem in het veldexperiment minder goed kon uitdrogen.

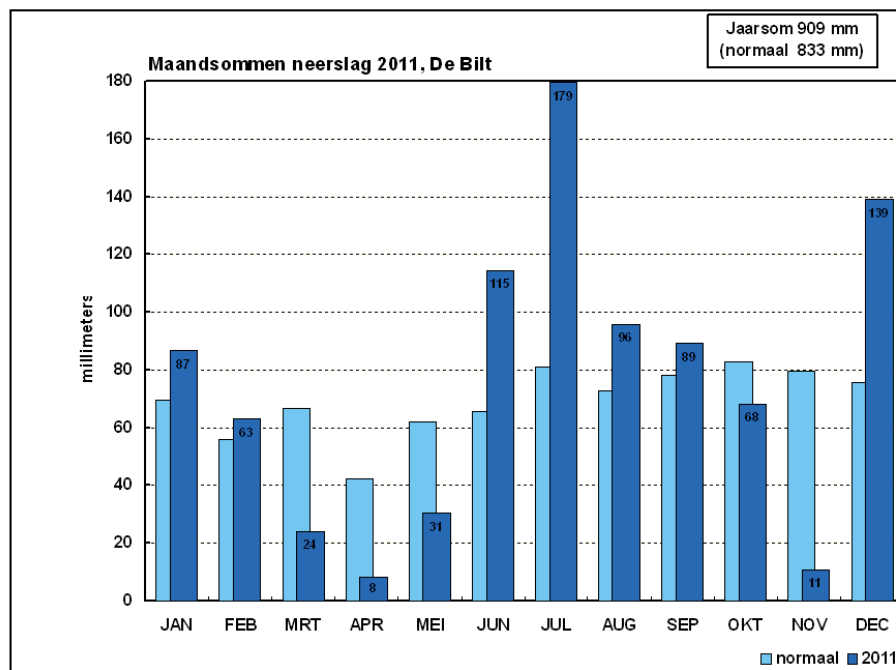
4. Behalve sulfide oxideert ook gereduceerd ijzer. Vanwege de lage oplosbaarheid van geoxideerd ijzer, daalden de hoeveelheid opgelost ijzer tijdens de droogval. In De Deelen, de Rottige Meente en Woudbloem waren de ijzerconcentraties voor aanvang ongeveer 50 $\mu\text{mol/l}$. In Lalleweer was de concentratie voor droogval 500 tot 800 $\mu\text{mol/l}$. Deze daalde tot minder dan 100 $\mu\text{mol/l}$ in de bovenste 15 cm aan het einde van de droogvalperiode. Na een droogvalperiode van 3 maanden volgde na vernatten een sterke stijging van de concentraties. Na 1 à 2 maanden waren deze hoger dan bij aanvang van het experiment, doordat er minder ijzer in de vorm van ijzersulfide was vastgelegd.
5. De neergeslagen ijzer(hydr)oxiden hebben een grote bindingscapaciteit voor fosfaat, en de vorming zorgt voor een (tijdelijke) daling van de fosfaatconcentraties. Ondanks dat de fosfaatconcentraties binnen een aantal maanden na vernatten weer op het oorspronkelijk niveau lagen, zal de nalevering vanuit de waterbodem toch beperkt zijn door de hogere ijzerconcentraties in het porievocht. Op het moment dat ijzer en fosfaat samen in oplossing zijn en in contact komen met zuurstofrijk oppervlaktewater, zal ijzer neerslaan en kan het fosfaat gebonden worden aan de ijzer(hydr)oxiden. De zogeheten ijzerval treedt dan in werking.
6. Tijdelijke droogval leidt tot een sterke daling van ammoniumconcentraties. Door oxidatie of nitrificatie van ammonium stijgt de concentratie nitraat (tijdelijk). Na (her)vernatten daalt de concentratie nitraat door denitrificatie tot N_2 . Hierdoor was er sprake van een sterke afvoer van stikstof uit de bodem.

6.3 MESOCOSMOS

De effecten van tijdelijke droogval werden in verschillende proefvijvers in een mesocosmos situatie onderzocht. De proefvijvers bevonden zich buiten, waarbij een aantal werden afgeschermd voor neerslag. Voor alle onderzoeken die buiten plaatsvonden geldt dat de weersomstandigheden van invloed zijn geweest op de processen die in de onderzoeksofstelling plaatsvonden.

De eerste droogvalperiode in het voorjaar 2011 was een relatief droge en koude periode vergeleken met de langjarig gemiddelde waarden (figuur 6.29). De tweede droogvalperiode in de zomer 2011 was een extreem natte periode met vooral veel neerslag in de maanden juni, juli en augustus. Tijdens de derde droogvalperiode in de winter van 2011 bleek november zeer droog en december zeer nat. De totale hoeveelheid neerslag over deze twee maanden bleek wel overeen te komen met het langjarig gemiddelde.

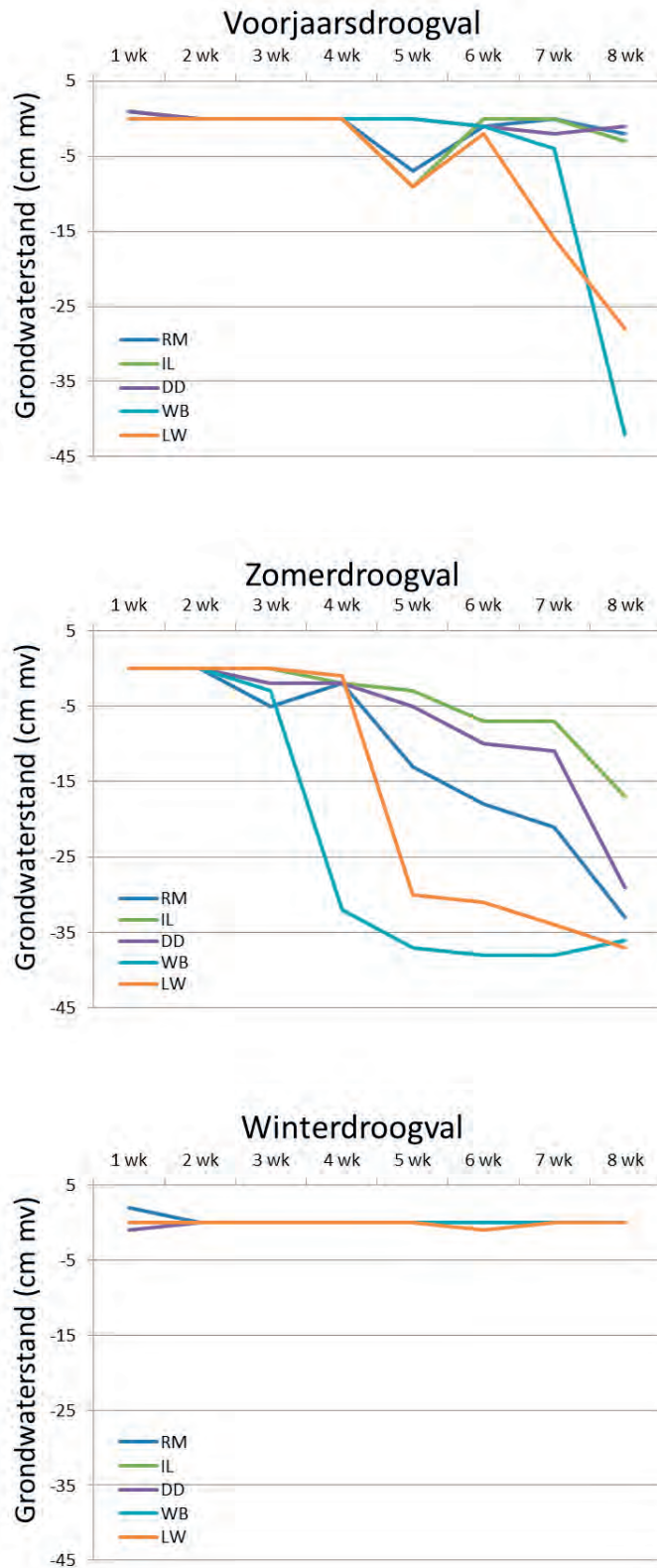
FIGUUR 6.29. NEERSLAG 2011 VERSUS LANGJARIG GEMIDDELDE (BRON: KNMI)



Het verloop van de grondwaterstanden in de proefvijvers

Het verloop van de grondwaterstand werd gedurende de drie droogvalperioden gemeten (figuur 6.30). Hieruit bleek dat de mate van uitdroging van drooggelegde onderwaterbodems afhankelijk was van zowel het seizoen als het bodemtype. Sterke uitdroging trad met name op in de zomer en in zand- en kleibodems. In het voorjaar trad enkel in de zandbodem uit Woudbloem en de kleibodem uit Lalleweer een sterke daling op van de grondwaterstand. Wat betreft de veenbodems trad het grondwater niet beneden maaiveld. Dit kwam overeen met situatie in het veld. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het fysische karakter van het veen dat in tegenstelling tot zand en klei grotendeels uit water bestaat. In de zomer, toen de temperatuur en de verdamping hoger waren, trad in alle bodemtypen een sterke uitdroging op. Uitdroging van de zandbodem en kleibodem trad reeds in sterke mate op in een vroegere fase.

FIGUUR 6.30. SEIZOENAFHANKELIJK VERLOOP VAN DE GRONDWATERSTAND (CM T.O.V. MAAIVELD) GEDURENDE DE (2 MAANDEN DURENDE) DROOGVALPERIODEN IN HET VOORJAAR, DE ZOMER EN DE WINTER.



Effecten van verschillende droogvalmomenten op de vegetatie

Voor waterbodems afkomstig uit de plassen Lalleweer, Woudbloem, Rottige Meente, De Deelen en Ilperveld werd de ontwikkeling van vegetatie gevolgd. De vegetatie die zich in de proefvijvers ontwikkelde werd op verschillende momenten met foto's vastgelegd. (figuren 6.32 - 6.35). In bijlage I is een overzicht van alle aangetroffen plantensoorten opgenomen.

In figuur 6.31 zijn per bodemtype verschillende parameters uitgezet waaronder het totaal aantal soorten, aantallen en bedekking van helofyten en wortelende waterplanten; en het voorkomen van algen. In de figuur zijn binnen één bodemtype de waarden procentueel weergegeven. De bodemtypen zijn op de x-as in afnemende volgorde gerangschikt naar maximale waarde. Deze waarde is tevens gegeven onderaan de x-as zodat ook bekend is waar 100% voor staat binnen elk bodemtype. Deze weergave geeft snel een goede indruk van het effect van de verschillende droogval momenten binnen één bodemtype en hoe de bodemtypen zich onderling tot elkaar verhouden.

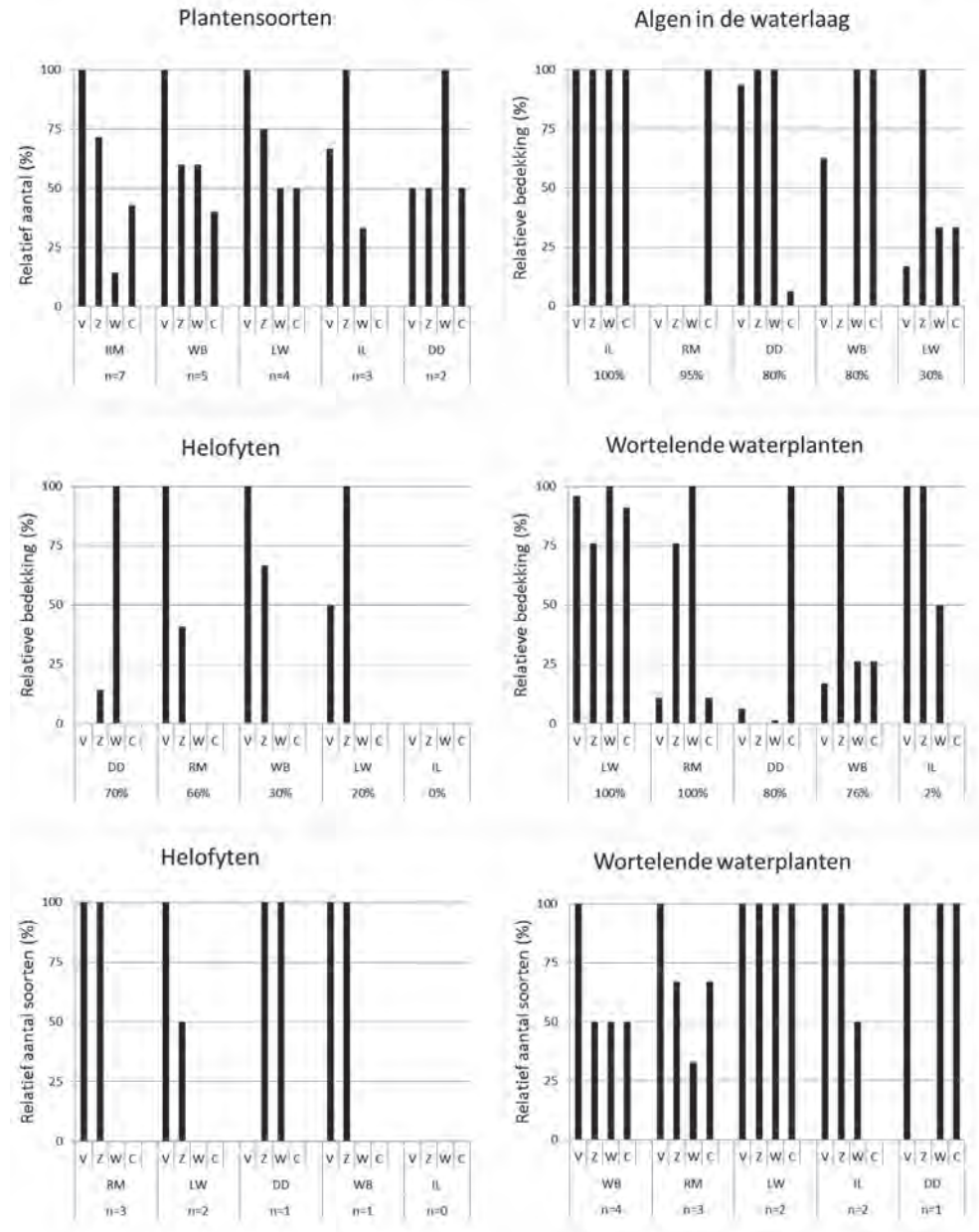
Lalleweer

In de mesocosmos gevuld met sediment uit Lalleweer was de bedekking met wortelende waterplanten, met name zittende zanichellia (*Zanichellia palustris*), over het algemeen zeer hoog. Droogval in het voorjaar en in de zomer leidde tot ontwikkeling van helofyten. Gedurende de droogvalperiode in het voorjaar ontwikkelden zich mattenbies (*Schoenoplectus lacustris*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*). Tijdens de periode van droogval in de zomer ontwikkelde zich liesgras (*Glyceria maxima*). Droogval in de winter leidde niet tot kieming en ontwikkeling van helofyten maar wel tot enige ontwikkeling van algen.

Woudbloem

In de mesocosmos gevuld met sediment uit Woudbloem vond in de controle sterke ontwikkeling van algen plaats. Bij droogval in de winter ontstond hetzelfde beeld. In de mesocosmos die gedurende het voorjaar werden drooggezet vond ontwikkeling van helofyten (*T. latifolia*) plaats en trad in mindere mate ontwikkeling van algen op. In de mesocosmos waar droogval in de zomer plaatsvond, ontwikkelde zich mannagras (*Glyceria fluitans*). In deze mesocosmos ontwikkelde zich massaal naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*) tot een bedekking van 75%. Dit was duidelijk meer dan in de overige mesocosmos waar de soort in alle drie gevallen een beperkte bedekking van 10% had.

FIGUUR 6.31. EFFECT VAN HET MOMENT VAN DROOGVAL (V= VOORJAAR; Z= ZOMER; W= WINTER; C= CONTROLE, GEEN DROOGVAL) OP DE VEGETATIEONTWIKKELING BOVEN VERSCHILLENDE BODEMTYPEN. DE EINDSITUATIE VAN DE TOESTAND VAN DE VEGETATIE IN JUNI 2012 IS ONDERAAN IN DE FIGUUR INZICHTELIJK GEMAAKT. DE GEBIEDEN (DD= DE DELEN; IL= ILPERVELD; LW= LALLEWEER; RM= ROTTIGE MEENTE; WB= WOUDBLOEM) ZIJN GERANGSCHIKT OP AFNEMENDE MAXIMALE ABSOLUTE WAARDEN (ZIE VERMELDING ONDERAAN OP DE X-AS).



Rottige Meente

In mesocosmos gevuld met sediment uit de Rottige Meente vond in de controle zonder droogval, naast massale ontwikkeling van algen ook enige ontwikkeling van drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*) plaats. Droogval in het voorjaar en de zomer leidde tot ontwikkeling van verschillende helofyten waarbij als gevolg van droogval in het voorjaar grote egelskop (*Sparganium erectum*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*) zich ontwikkelden en in de zomer mannagras (*Glyceria fluitans*). Droogval leidde ook tot meer soorten en/of een hogere bedekking aan ondergedoken waterplanten. Met name als gevolg van zomer-droogval ontwikkelde zich massaal de kranswierensoort 'breekbaar kransblad' (*Chara globularis*) (zie figuur 6.35).

De Deelen

In mesocosmos gevuld met sediment uit De Deelen vond, net als in het Ilperveld, massale ontwikkeling plaats van algen. Dit met uitzondering van de controle, waar geen droogval plaatsvond. In de mesocosmos waar in de zomer en de winter droogval plaatsvond, ontwikkelden zich verschillende soorten helofyten, maar niet of nauwelijks wortelende waterplanten. In de controle zonder droogval vond juist massaal groei plaats van wortelende waterplanten en bleef ontwikkeling van algen en helofyten vrijwel uit.

Het Ilperveld

De mesocosmos gevuld met sediment uit het Ilperveld ontwikkelden zich het minst ten opzichte van de andere gebieden. Aan het einde van de meettijd was sprake van een maximale bedekking van algen (100%), afwezigheid van helofyten (0%) en sporadische aanwezigheid van ondergedoken wortelende waterplanten (2%). Droogval in het voorjaar en de zomer leidde wel duidelijk tot meer kieming en ontwikkeling van ondergedoken waterplanten waaronder groot nimfkruid (*Najas marina*), schedefonteinkruid (*Potamogeton pectinatus*) en gewoon kransblad (*Chara vulgaris*). *N. marina* ontwikkelde zich zelfs tot een maximale bedekking van 100% en 30% na een droogval periode in respectievelijk het voorjaar en de zomer. Echter, in de loop van het najaar 2011 verdwenen al deze planten, waarschijnlijk door de voortschrijdende ontwikkeling van algen. Het positieve effect van droogval was dus van korte duur. Uiteindelijk leidde droogval in zowel het voorjaar, de zomer als de winter niet tot een netto noemenswaardige ontwikkeling van waterplanten (maximaal 2 soorten met een niet noemenswaardige bedekking).

De ontwikkeling van vegetatie werd gewaardeerd door verschillende scores toe te kennen, aan de ontwikkeling van algen, helofyten en wortelende waterplanten, ten opzichte van de controle (tabel 2.1.). Op basis van deze waardering werden de gegevens, per bodemtype en moment van droogval, gerangschikt naar resultaat van de maatregel. Met kleuren werd uiteindelijk aangegeven of er sprake was van een positief, neutraal of negatief effect.

Dit type verwerking leent zich niet voor statistische analyse, omdat elke behandeling slechts eenmaal voorkomt. De statistische verwerking van de data heeft op een andere wijze plaatsgevonden en werd uitgewerkt in de volgende paragrafen.

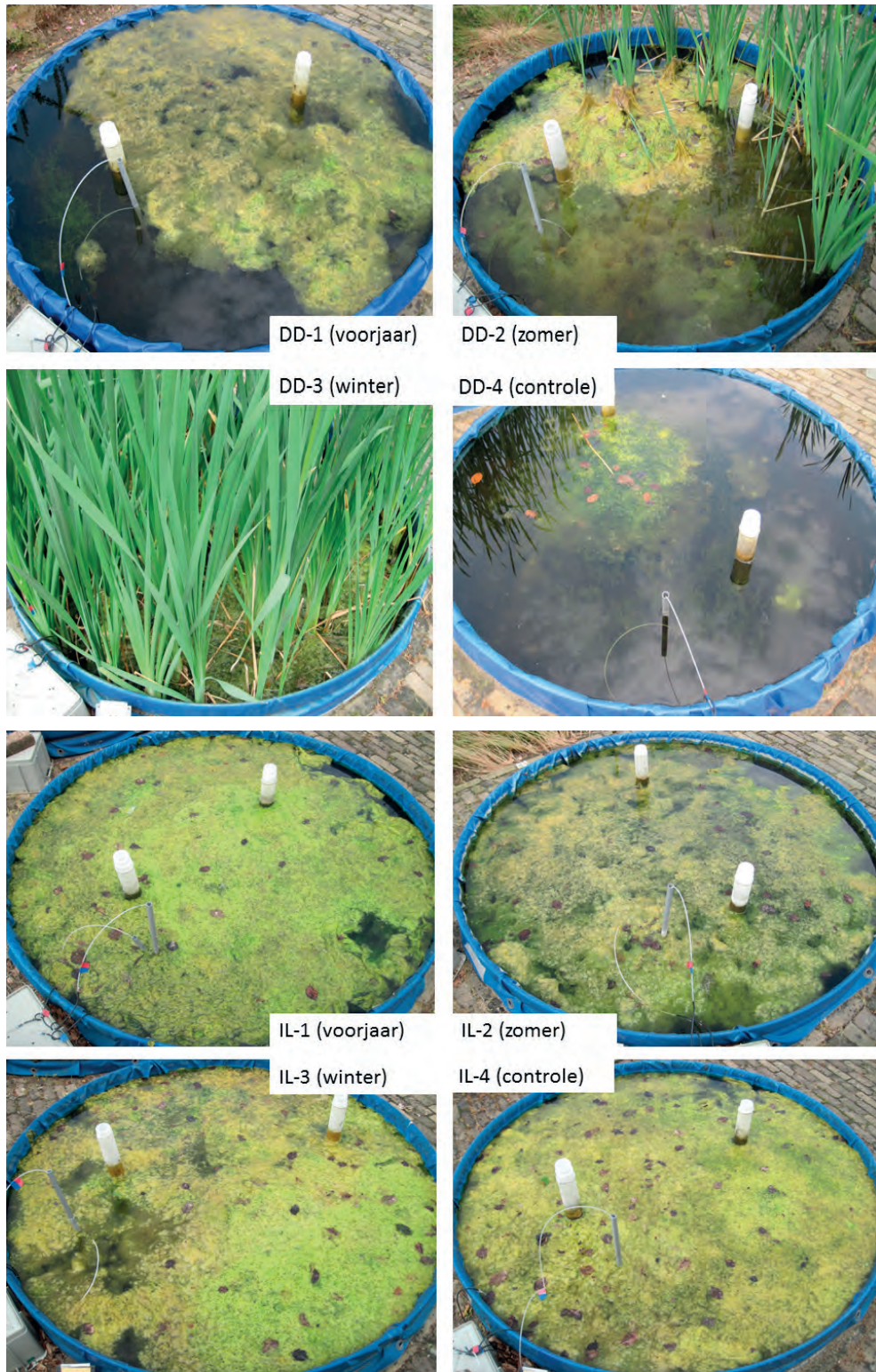
TABEL 6.1. RANGSCHIKKING VAN HET SUCCES VAN DROOGVAL MET BETREKKING TOT DE VERSCHILLENDE GEBIEDEN ONAFHANKELIJK VAN HET SEIZOEN; EN DE VERSCHILLENDE MOMENTEN VAN DROOGVAL ONAFHANKELIJK VAN HET BODEMTYPE.

	Controle			Voorjaar			Zomer			Winter			Gemiddeld droogval-effect per bodemtype (gemiddelde van de seizoenen)		
	algem	wortelende waterplanten	heofyten	algem	wortelende waterplanten	heofyten	algem	wortelende waterplanten	heofyten	algem	wortelende waterplanten	heofyten	algem	wortelende waterplanten	heofyten
1. Rottige Meente	+++	+	o	o	+	+++	o	++	+	o	+++	o	3	2	2
2. Woudbloem	+++	+	o	++	+	+++	o	+++	++	+++	+	o	2	1	2
3. Ilperveld	+++	o	o	+++	+	o	+++	+	o	+++	+	o	3		
4. Lalleweer	o	+++	o	o	+++	+	+	+++	+	o	++	o	1	1	2
5. De Deelen	+	+++	o	+++	+	o	+++	o	+	+++	+	+++	3	3	2
Gemiddeld															
Gemiddeld droogval-effect per seizoen (gemiddelde van de bodemtypen)				1			2	4			1				
				1			2	4			1				

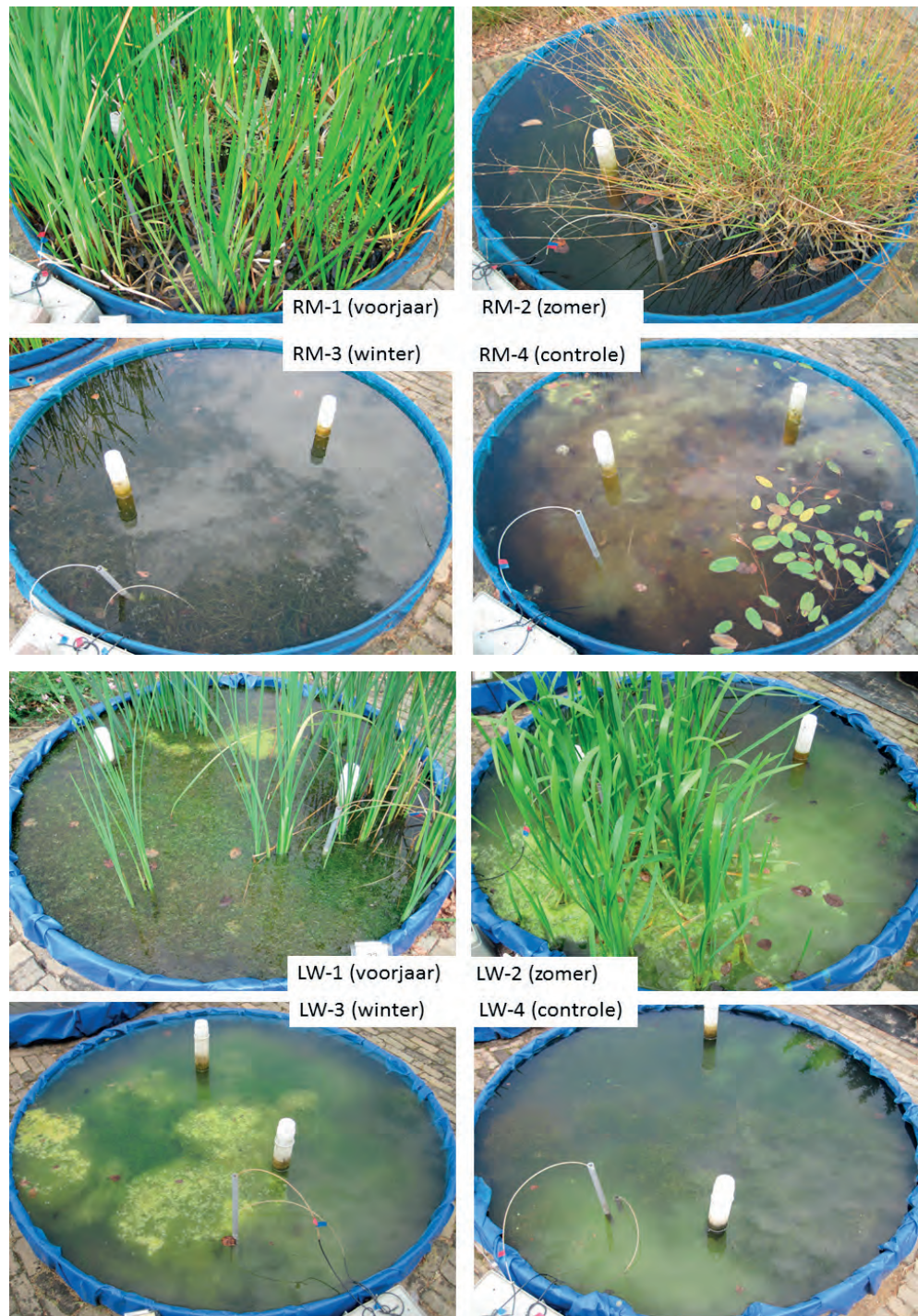
■ duidelijk negatief effect
■ niet of zeer beperkt gunstig & twijfelachtig gunstig (afhankelijk van controle situatie)
■ gunstig effect
■ geen netto effect
 De cijfers geven het aantal betrokken mesocosms (droogval-effect per seizoen maximaal 4; droogval-effect per bodemtype maximaal 3)

Droogval had over het algemeen een positief effect op de vegetatie van de venige bodem uit de Rottige Meente en de zandbodem uit Woudbloem (tabel 6.1.). Droogval had geen positief of negatief effect op de ontwikkeling van vegetatie op de veenbodem van het Ilperveld. Droogval had in beperkte mate een negatief effect op de vegetatie ontwikkeling op de kleibodem van Lalleweer. Tenslotte had droogval een sterk negatief effect op de vegetatie ontwikkeling op de bodem uit De Deelen.

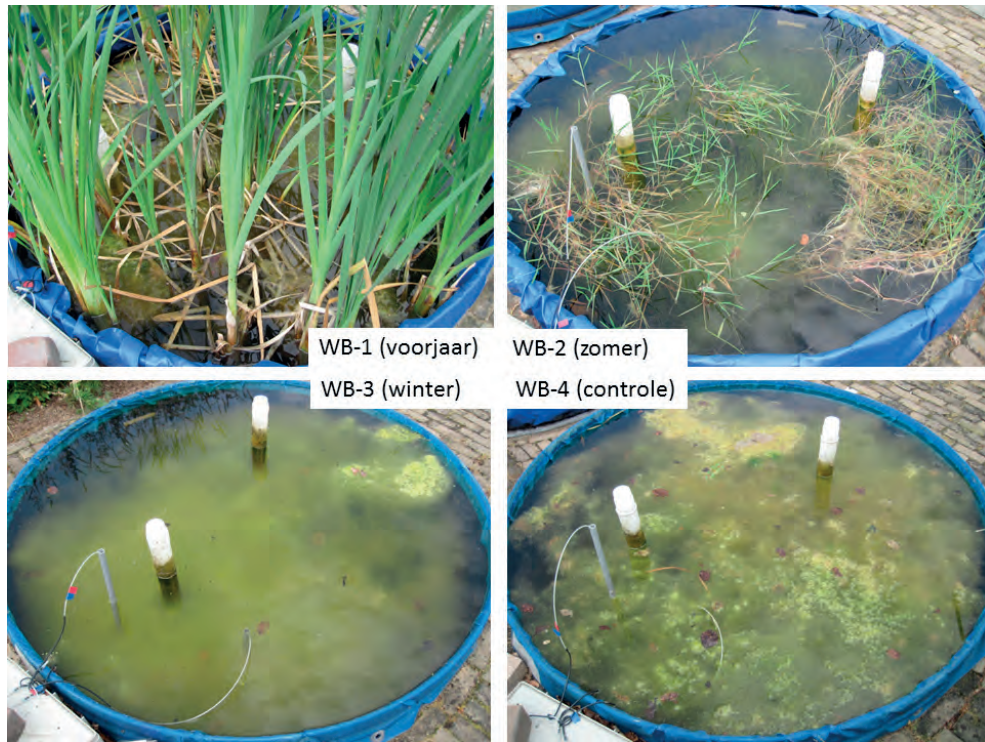
FIGUUR 6.32. INDRUK VAN DE VEGETATIE OP 29 JUNI 2012 IN DE MESOCOSMOS MET SEDIMENT AFKOMSTIG VAN DE DEELLEN (DD) EN HET ILPERVELD (IL). HET MOMENT VAN DROOGVAL (VOORJAAR, ZOMER, WINTER, GEEN) IS GEGEVEN TUSSEN HAAKJES. ALLE MESOCOSMOS MAAKTEN MINIMAAL 1 WARME ZOMER MEE.



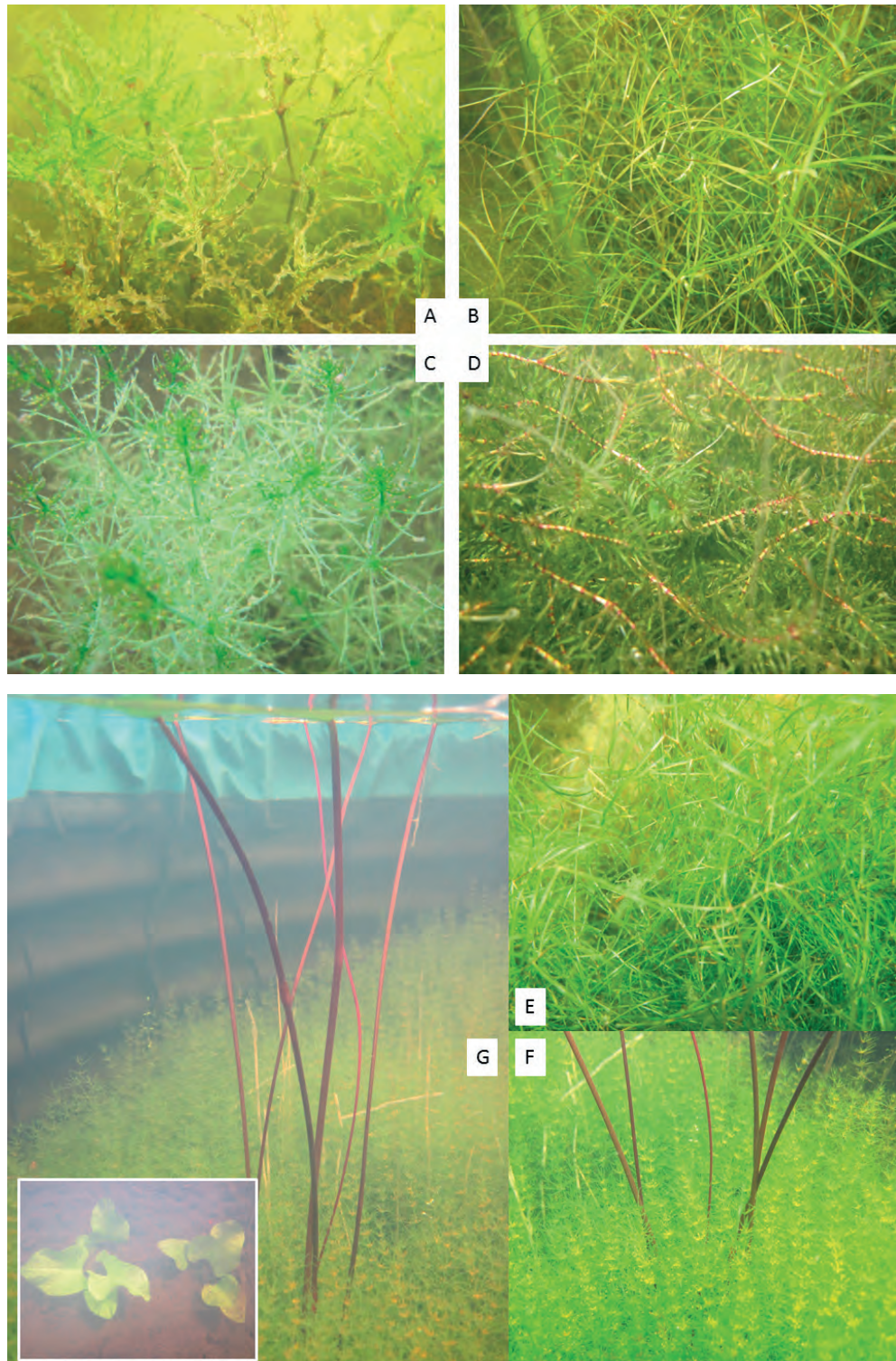
FIGUUR 6.33. INDRUK VAN DE VEGETATIE OP 29 JUNI 2012 IN DE MESOCOSMOS MET SEDIMENT AFKOMSTIG VAN LALLEWEER (LW) EN ROT-TIGE MEENTE (RM). HET MOMENT VAN DROOGVAL (VOORJAAR, ZOMER, WINTER, GEEN) IS GEGEVEN TUSSEN HAAKJES. ALLE MESOCOSMOS MAAKTEN MINIMAAL 1 WARME ZOMER MEE.



FIGUUR 6.34. INDRIJK VAN DE VEGETATIE OP 29 JUNI 2012 IN DE MESOCOSMOS MET SEDIMENT AFKOMSTIG VAN WOUDBLOEM (WB). HET MOMENT VAN DROOGVAL (VOORJAAR, ZOMER, WINTER, GEEN) IS GEGEVEN TUSSEN HAAKJES. ALLE MESOCOSMOS MAAKTEN MINIMAAL 1 WARME ZOMERPERIODE MEE.



FIGUUR 6.35. MEEST VOORKOMENDE EN/OF DOMINERENDE ONDERGEDOKEN WATERPLANTEN: A, *NAJAS MARINA* (ILPERVELD, TIJDELIJK); B, *ZANICHELLIA PALUSTRIS* (LALLEWEER); C, *CHARA VULGARIS* (O.A. DE DEELEN); D, *ELODEA NUTTALLII* (ROTTIGE MEENTE); E, *POTAMOGETON PUSSILUS* (O.A. WOUDBLOEM); F+G, *CHARA GLOBULARIS* (ROTTIGE MEENTE).



Statistische analyse naar het effect van het bodemtype op de vegetatie

De volgende vegetatie parameters werden - voor wat betreft de eindsituatie van de vegetatie in het experiment (29 juni 2012) - statistisch geanalyseerd op (het moment van) droogval:

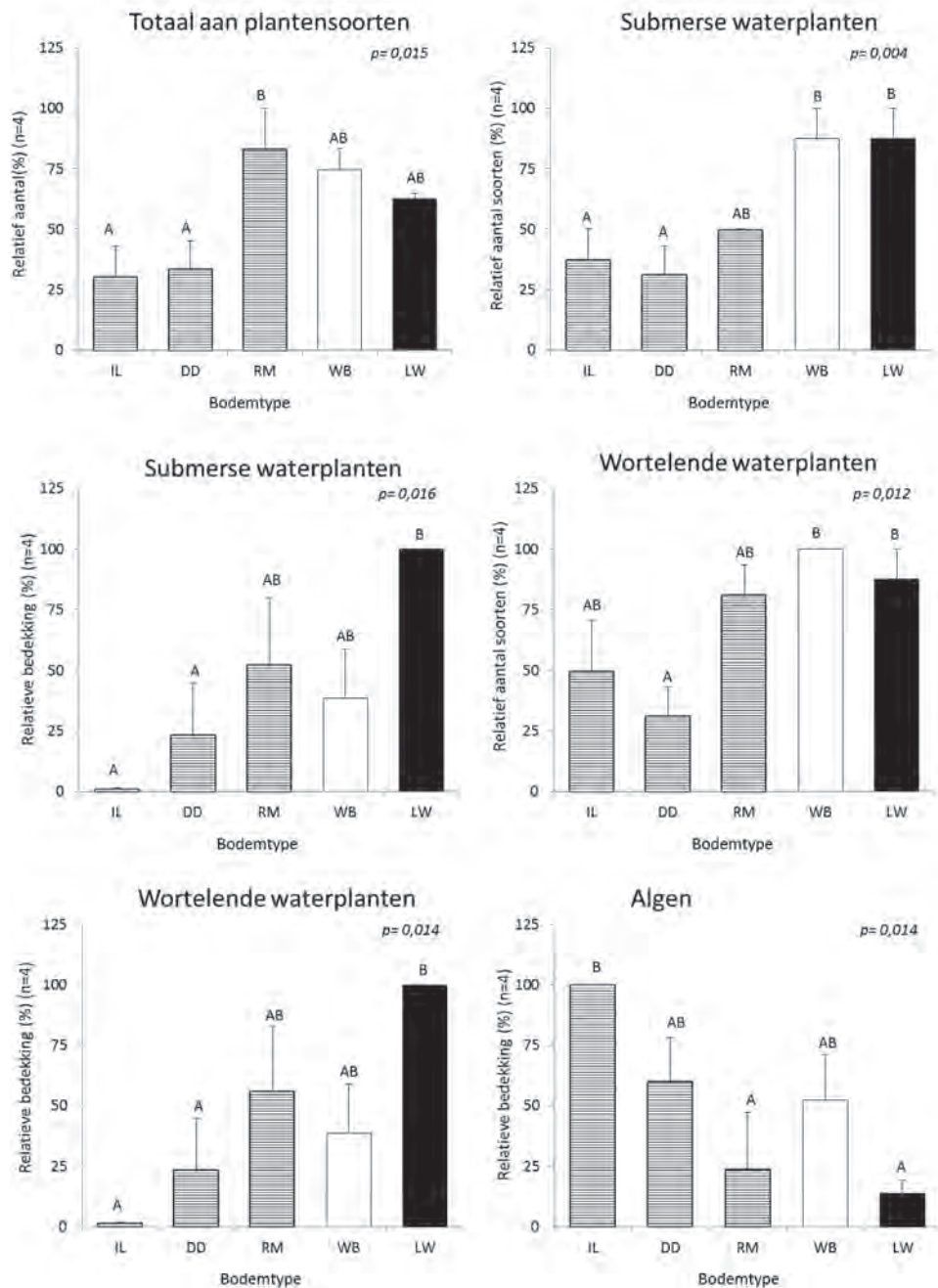
1. Het totaal aantal soorten planten
2. Het aantal soorten helofyten
3. Het aantal soorten submerse waterplanten
4. Het aantal soorten waterplanten met drijfbladeren
5. Het aantal soorten niet wortelende waterplanten
6. Het aantal soorten wortelende waterplanten
7. De bedekking van helofyten
8. De bedekking van submerse waterplanten
9. De bedekking van waterplanten met drijfbladeren
10. De bedekking van niet wortelende waterplanten
11. De bedekking van wortelende waterplanten
12. De bedekking van algen

Om een totaal effect van bodemtype statistisch te kunnen toetsen werden bovenstaande parameters binnen één droogval-regime (voorjaars-droogval, zomer-droogval, winter-droogval en geen droogval) voor de verschillende bodemtypen procentueel uitgedrukt waarbij de hoogste waarde werd ingesteld op 100%. Hierdoor konden de verschillende bodemtypen met een 1-weg ANOVA getest worden ($n = 4$, $p = 0,05$). Welke bodemtypen van elkaar verschilden werd getest met een Tukey-b posthoc test.

Van de geteste vegetatie parameters waren het totaal aantal plantensoorten ($p = 0,015$), Het aantal soorten submerse waterplanten ($p = 0,004$) en wortelende waterplanten ($p = 0,012$) en de bedekkingen van submerse waterplanten ($p = 0,016$), wortelende waterplanten ($p = 0,014$) en algen ($p = 0,014$) significant.

De weergegeven Tukey-b symbolen indiceren dat de vegetatieontwikkeling tussen de bodemtypen onderling sterk kon verschillen (figuur 6.36). Voor de meeste vegetatie parameters gold dat het Ilperveld en De Deelen veelal het slechtst scoorden, terwijl Lalleweer over het algemeen het best scoorde. Bodems afkomstig uit Rottige Meente en Woudbloem scoorden "intermediair". Het aantal soorten submerse waterplanten bleek significant hoger op bodem afkomstig uit Woudbloem en Lalleweer vergeleken met bodem uit Ilperveld, De Deelen en Rottige Meente. De bedekkingen van submerse waterplanten en wortelende waterplanten waren significant hoger voor bodem uit Lalleweer vergeleken met bodem afkomstig uit Ilperveld en De Deelen. Het aantal soorten wortelende waterplanten bleek significant hoger voor de bodems afkomstig uit Woudbloem en Lalleweer vergeleken met de bodem uit De Deelen. Tenslotte bleek de ontwikkeling van algen significant lager voor bodem afkomstig uit het Lalleweer en de Rottige Meente vergeleken met bodem uit het Ilperveld.

FIGUUR 6.36. EFFECT VAN HET BODEMTYPE OP DE VEGETATIEONTWIKKELING. HET BETREFT DE EINDSITUATIE VAN DE TOESTAND VAN DE VEGETATIE IN JUNI 2012. DD= DE DEELLEN; IL= ILPERVELD; LW= LALLEWEER; RM= ROTTIGE MEENTE; WB= WOUDBLOEM.

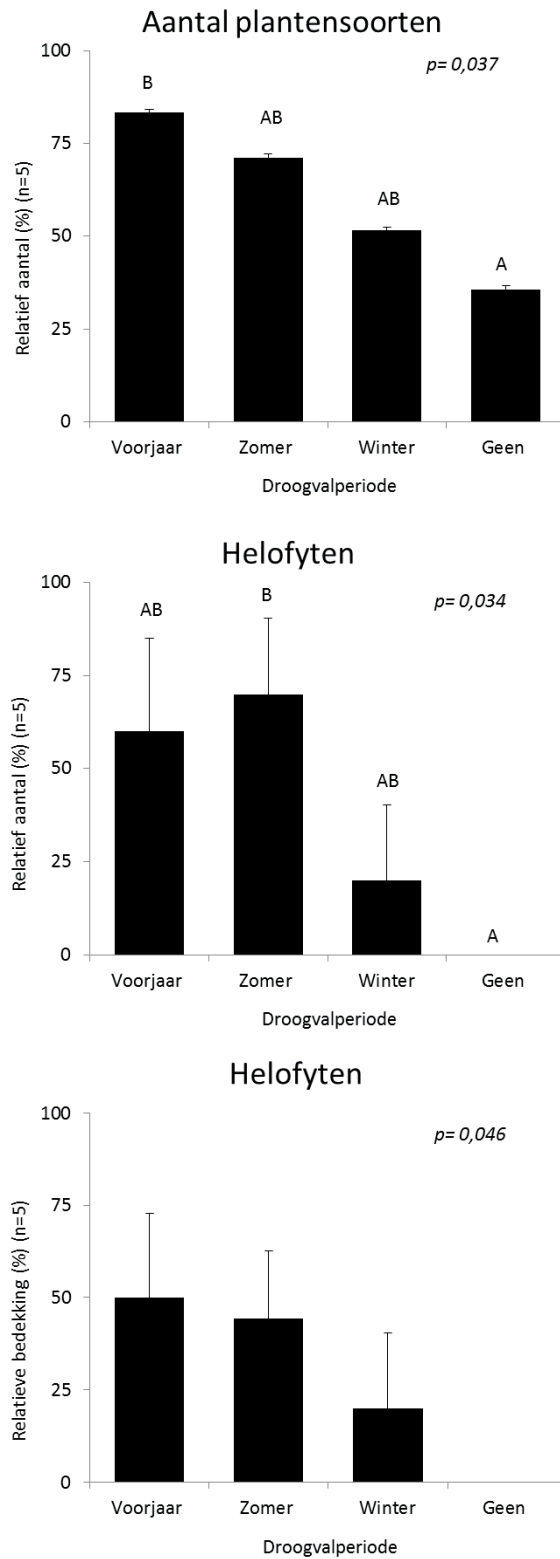


Statistische analyse naar het effect van droogval op de vegetatie

Om een totaal effect van droogval statistisch te kunnen toetsen werden de vegetatie parameters binnen één bodemtype voor de verschillende water regimes (voorjaars-droogval, zomer-droogval, winter-droogval en geen droogval) procentueel uitgedrukt waarbij de hoogste waarde werd ingesteld op 100%. Hierdoor konden de verschillende water regimes met een 1-weg ANOVA getest worden ($n = 5$, $p = 0,05$). Welke regimes exact verschilden werd getest met een Tukey-b posthoc test.

Van de geteste vegetatie parameters waren het totaal aantal plantensoorten ($p= 0,037$), het totaal aantal soorten helofyten ($p= 0,034$) en de totale bedekking van helofyten ($p= 0,046$) significant (figuur 6.37). De ontwikkeling van algen was bijna significant ($p= 0,079$). Het totaal aantal soorten helofyten, als onderdeel van het totaal aantal plantensoorten, nam significant toe als gevolg van droogval onafhankelijk van het bodemtype. Dit gold ook voor de bedekking van helofyten. Met name na een periode van droogval in het voorjaar en de zomer was de ontwikkeling van het aantal soorten en de bedekking van helofyten hoog. Echter, de Tukey-symbolen indiceren dat er geen significant verschil was tussen de droogvalmomenten onderling.

FIGUUR 6.37. HET SIGNIFICANTE EFFECT VAN HET MOMENT VAN DROOGVAL (V= VOORJAAR; Z= ZOMER; W= WINTER; C= CONTROLE) OP HET TOTAAL AANTAL PLANTENSOORTEN, HET AANTAL SOORTEN HELOFYTEN EN DE BEDEKKING VAN HELOFYTEN.

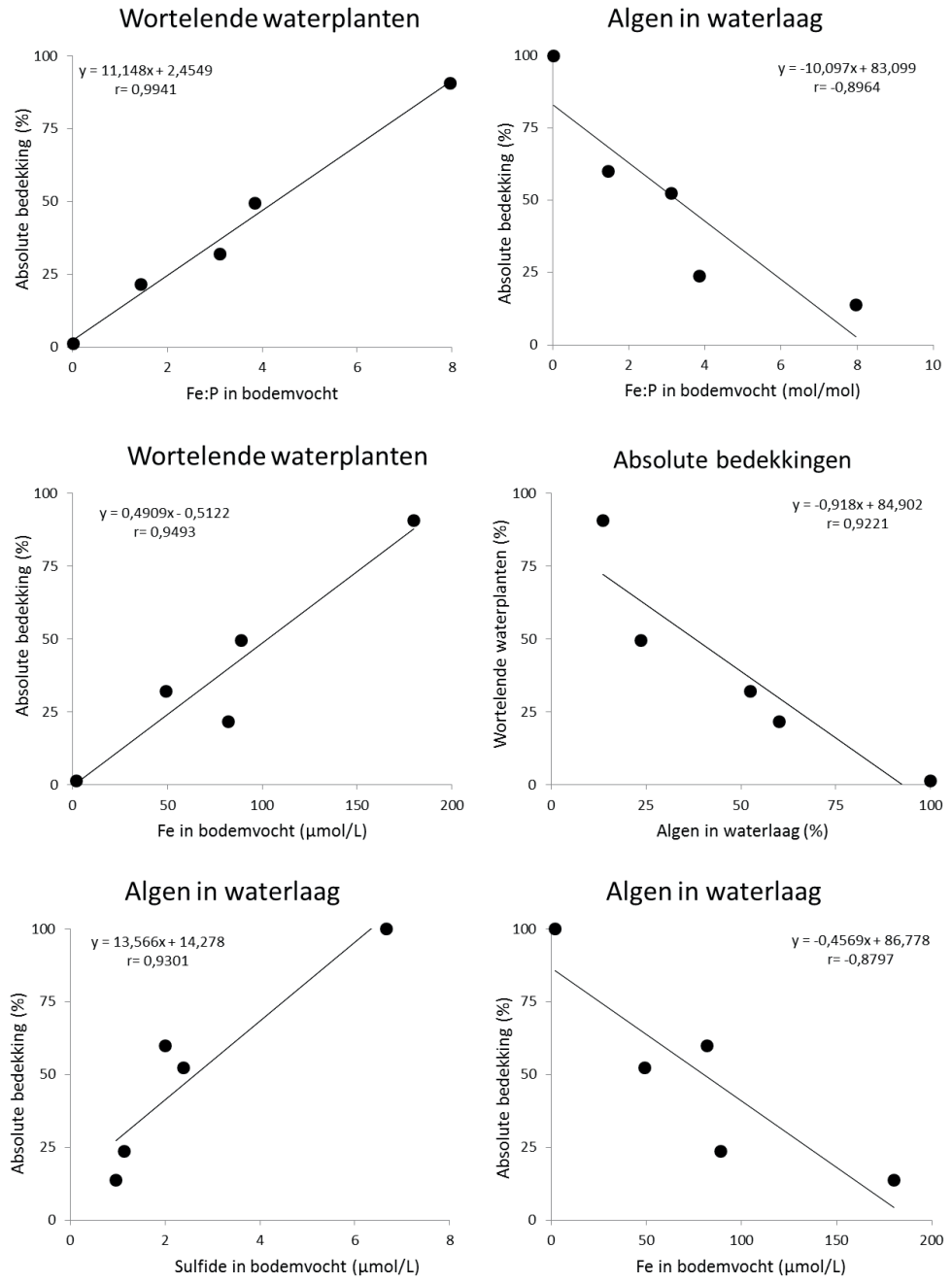


Correlaties tussen bodemparameters en vegetatie

Om na te gaan welke factoren in de bodem van invloed waren op waterplanten en om vast te kunnen stellen of droogval met betrekking tot deze parameters alsnog een potentieel effect op waterplanten kon hebben, werden correlatie coëfficiënten berekend tussen de vegetatie parameters onderling en alle gemeten parameters in de bodem zoals gemeten aan de start van het experiment (tabel 6.2). Hierbij werd voor elk bodemtype de gemiddelde waarde van de vier mesocosmos gebruikt.

Uit de resultaten bleek dat de bedekking aan wortelende waterplanten zeer sterk positief correleerde met de Fe:P ratio ($r= 0,9941$) en de Fe concentratie ($r= 0,9493$) in het porievocht (figuur 6.37). De bedekking van wortelende waterplanten correleerde weer negatief met de bedekking van algen ($r= 0,9921$). Ook de bedekking van algen correleerde daarom sterk met de Fe:P ratio ($r= 0,8964$) in het porievocht. Er bleek een positieve correlatie tussen algenontwikkeling in de waterlaag en de sulfide concentratie in het porievocht te bestaan. Aangezien de sulfide gehalten laag waren, en er geen vergelijkbare correlatie was met wortelende waterplanten ($r= 0,766$), zal de correlatie tussen algen en sulfide voornamelijk berust hebben op de mobilisatie van fosfaat onder invloed van sulfaatreductie. Het belang van een gunstige Fe:P ratio in de bodem op de kwaliteit van de vegetatie en het oppervlaktewater werd reeds eerder gelegd in ander (veld)onderzoek (Lucassen et al., 2006; Geurts et al., 2008).

FIGUUR 6.38. BELANGRIJKSTE CORRELATIES TUSSEN VEGETATIE- EN BODEMPARAMETERS.



TABEL 6.2.

R² WAARDEN TUSSEN VEGETATIEPARAMETERS EN ALLE BODEMPARAMETERS: 0,5 < R² < 0,75 = STERK; 0,75 < R² < 0,9 = ZEER STERK (GEEL); R² > 0,9 = UITZONDERLIJK (GROEN)

BEDEKKING WORTELENDE WATERPLANTEN		BEDEKKING HELOFTEN		BEDEKKING ALGEN		ANITAAL PLANTENSOORTEN		ANITAAL SOORTEN HELOFTEN		ANITAAL SOORTEN WORTELENDE WATERPLANTEN	
0,985	Fe: P-pw	0,6776	Na-s	0,6650	sulfide-pw	0,98	Mg-pw	0,6576	bedekking algen (%)	0,6469	P-CaCO3 (µmol/g dw)
0,912	Fe-pw	0,717	S-pw	0,6503	bedekking wort. waterplanten	0,73	n soorten wort. waterplanten	0,629	aantal plantensoorten	0,6153	CO2-pw
0,8505	bedekking algen (%)	0,6523	K-pw	0,6536	e: P-pw	0,64	HCO3-pw	0,5919	sulfide-pw	0,6106	Grondwaterstand zomer
0,746	Si-s	0,6424	Na-pw	0,7736	Fe-pw	0,63	n soorten helofyten	0,5774	bedekking helofyten (%)	0,7243	aantal plantensoorten
0,732	Fe:(P+S)s	0,6424	CH-pw	0,7576	fosfaat-pw	0,56	redox-pw	0,582	Na-s	0,7243	Grondwaterstand gemiddeld
0,431	Al-s	0,6163	n soorten helofyten	0,6524	n soorten helofyten	0,50	P-pw	0,5255	Grondwaterstand winter	0,7105	redox-pw
0,707	Fe-s	0,6774	K-pw	0,6576	CH-pw	0,49	Grondwaterstand winter	0,4700	Mg-pw	0,7013	fosfaat-pw
0,7015	Al-pw	0,6541	Zn-pw	0,6543	CH-pw	0,48	bedekking algen (%)	0,4640	CH-pw	0,6987	Si-pw
0,6947	Al-pw	0,6220	Zn-pw	0,6137	Na-pw	0,46	bedekking wort. waterplanten	0,4640	CH-pw	0,6455	P-org (µmol/g dw)
0,6936	P-labiel (µmol/L)	0,5169	sulfide-pw	0,6061	Na-pw	0,42	Grondwaterstand zomer	0,4555	Na-pw	0,6257	P-CaCO3 (µmol/L)
0,8913	P-Fe/Al (µmol/g DW)	0,5141	Ca-pw	0,6024	Mg-pw	0,40	Grondwaterstand zomer	0,4546	Na-pw	0,5417	P-org (µmol/L)
0,6803	TOD	0,4485	Zn-s	0,5998	Fe:P-s	0,39	Ca-pw	0,4531	K-pw	0,5376	Grondwaterstand voorjaar
0,7079	Fe:P-s	0,4108	pH-pw	0,5594	Zn-pw	0,37	P-CaCO3 (µmol/g dw)	0,3736	K-pw	0,4860	Dichtheid
0,6400	fosfaat-pw	0,3704	P-pw	0,5537	Al-pw	0,33	Na-s	0,3486	Fe:P-s	0,4623	CH4-pw
0,6545	ammonium-pw	0,2983	HCO3-pw	0,5457	K-pw	0,32	Si-pw	0,3286	bedekking wort. waterplanten (%)	0,4990	HCO3-pw
0,9993	Mg-s	0,2721	bedekking algen (%)	0,4861	K-pw	0,32	Grondwaterstand gemiddeld	0,3153	HCO3-pw	0,4154	P-pw
0,8894	P-s	0,2604	aantal plantensoorten	0,4757	aantal plantensoorten	0,31	sulfide-pw	0,3118	Zn-pw	0,3611	P-Fe/Al (µmol/L)
0,8677	sulfide-pw	0,2289	Mn-pw	0,4520	ammonium-pw	0,28	Fe: P-pw	0,2906	Ca-pw	0,3388	nitaal-pw
0,5751	redox-pw	0,2184	Aerobe CO2 productie	0,4136	redox-pw	0,28	bedekking wort. waterplanten (%)	0,2831	S-pw	0,3172	Ca-s
0,5128	nitaal-pw	0,1878	P-Fe/Al (µmol/g dw)	0,4045	redox-pw	0,27	bedekking wort. waterplanten (%)	0,2690	fosfaat-pw	0,3087	Fe: P-pw
0,4628	P-pw	0,1812	S-s	0,4044	Si-s	0,27	Na-pw	0,2612	Fe-pw	0,2713	pH-pw
0,4337	Grondwaterstand voorjaar	0,1705	Grondwaterstand winter	0,3949	Na-s	0,26	CH-pw	0,2559	Fe-pw	0,2697	P-Fe/Al (µmol/g dw)
0,3878	Mg-pw	0,1685	aantal plantensoorten	0,3913	Fe:(P+S)s	0,25	nitaal-pw	0,1840	n soorten wort. waterplanten	0,2678	bedekking algen (%)
0,3806	OH-pw	0,1651	nitaal-pw	0,3720	Al-s	0,21	P-org (µmol/g dw)	0,1558	n soorten wort. waterplanten	0,2478	bedekking wort. waterplanten (%)
0,3893	OH-pw	0,1557	nitaal-pw	0,3414	TOD	0,20	S-pw	0,1065	Zn-s	0,2348	S-s
0,3765	Mn-s	0,1530	CO2-pw	0,3326	Fe-s	0,18	Ca-s	0,1054	ammonium-pw	0,2305	Aerobe CO2 productie
0,3698	Aerobe CO2 productie	0,1491	Mn-s	0,3296	P-labiel (µmol/L)	0,17	Zn-pw	0,0871	ammonium-pw	0,2305	Aerobe CO2 productie
0,3496	CH-pw	0,1352	Aerobe CO2 productie	0,3263	K-s	0,17	P-CaCO3 (µmol/L)	0,0784	nitaal-pw	0,1716	Ca-pw
0,3378	Grondwaterstand gemiddeld	0,1257	P-CaCO3 (µmol/g dw)	0,3175	P-Fe/Al (µmol/L)	0,17	bedekking helofyten (%)	0,0663	P-labiel (µmol/g dw)	0,1558	n soorten helofyten
0,3351	Zn-s	0,1189	Grondwaterstand voorjaar	0,2988	P-Fe/Al (µmol/g dw)	0,15	Aerobe CO2 productie	0,0637	Mn-pw	0,1372	Org stof
0,3266	n soorten helofyten	0,0982	P-Fe/Al (µmol/L)	0,2985	Grondwaterstand zomer	0,14	P-org (µmol/L)	0,0624	Org stof	0,1353	Grondwaterstand winter
0,3263	Mn-pw	0,0914	P-s	0,2905	Grondwaterstand gemiddeld	0,14	Mn-pw	0,0597	Grondwaterstand zomer	0,1332	sulfide-pw
0,3045	Na-pw	0,0889	P-labiel (µmol/L)	0,2696	Mg-s	0,14	Grondwaterstand voorjaar	0,0524	Al-pw	0,1278	Na-pw
0,3043	Zn-pw	0,0810	n soorten wort. waterplanten	0,2678	n soorten wort. waterplanten	0,14	S-s	0,0500	Olsen-P (µmol/L)	0,1259	Na-pw
0,2837	K-pw	0,0654	Fe:P-s	0,2604	bedekking helofyten (%)	0,10	Olsen-P (µmol/L)	0,0383	P-labiel (µmol/L)	0,1237	CH-pw
0,2889	K-pw	0,0646	K-s	0,2536	nitaal-pw	0,10	Dichtheid	0,0310	pH-pw	0,1162	Al-pw
0,2861	Na-pw	0,0592	Fe-s	0,2493	S-pw	0,09	Mn-s	0,0289	Grondwaterstand gemiddeld	0,1047	Zn-pw
0,2784	aantal plantensoorten	0,0563	Fe-pw	0,2319	P-s	0,09	Fe-pw	0,0254	CH4-pw	0,0914	S-pw
0,2585	CO2-pw	0,0526	Fe-pw	0,2196	Grondwaterstand voorjaar	0,08	Grondwaterstand voorjaar	0,0232	TOD	0,0904	Na-s
0,2478	n soorten wort. waterplanten	0,0464	Al-s	0,1323	Dichtheid	0,08	CH4-pw	0,0238	Aerobe CO2 productie	0,0517	Fe-pw
0,2365	Dichtheid	0,0445	Fe:(P+S)s	0,1196	Olsen-P (µmol/L)	0,07	P-Fe/Al (µmol/g dw)	0,0196	CO2-pw	0,0469	Mn-s
0,1786	CH-s	0,0434	Mg-s	0,1087	Aerobe CO2 productie	0,05	Aerobe CO2 productie	0,0179	Si-s	0,0467	Fe:(P+S)s
0,1402	Ca-s	0,0409	Si-pw	0,0932	pH-pw	0,05	K-pw	0,0158	Mn-s	0,0394	Mn-pw
0,1214	P-CaCO3 (µmol/L)	0,0387	CH4-pw	0,0859	Mn-s	0,05	Zn-s	0,0136	Al-s	0,0359	K-pw
0,9002	P-CaCO3 (µmol/g dw)	0,0342	redox-pw	0,0832	Org stof	0,04	Al-pw	0,0102	P-org (µmol/g dw)	0,0279	Si-s
0,6763	Na-s	0,0317	redox-pw	0,0785	HCO3-pw	0,03	pH-pw	0,0089	Fe-s	0,0284	P-labiel (µmol/L)
0,6660	P-Fe/Al (µmol/L)	0,0310	P-labiel (µmol/g dw)	0,0732	P-CaCO3 (µmol/L)	0,02	Mg-s	0,0080	Fe:(P+S)s	0,0157	P-labiel (µmol/g dw)
0,0377	Ca-pw	0,0276	Org stof	0,0699	Ca-s	0,02	P-s	0,0073	P-CaCO3 (µmol/L)	0,0155	ammonium-pw
0,0330	S-pw	0,0247	Dichtheid	0,0654	Mn-pw	0,02	P-labiel (µmol/L)	0,0059	Dichtheid	0,0152	Al-s
0,0235	bedekking helofyten	0,0226	bedekking wort. waterplanten	0,0406	P-CaCO3 (µmol/g dw)	0,01	K-pw	0,0059	K-s	0,0085	K-s
0,0137	P-org (µmol/L)	0,0217	Al-pw	0,0368	Zn-s	0,00	Fe:(P+S)s	0,0034	P-Fe/Al (µmol/g dw)	0,0084	Olsen-P (µmol/L)
0,0098	Aerobe CO2 pr	0,0134	ammonium-pw	0,0348	Ca-pw	0,00	Si-s	0,0025	Mg-s	0,0065	Fe-s
0,0090	Grondwaterstand zomer	0,0083	redox-pw	0,0249	Grondwaterstand winter	0,00	K-s	0,0025	Ca-s	0,0064	K-pw
0,0064	Grondwaterstand winter	0,0075	P-org (µmol/L)	0,0188	Aerobe CO2 productie	0,00	Mn-s	0,0008	Grondwaterstand voorjaar	0,0061	Zn-s
0,0015	Si-pw	0,0009	Fe: P-pw	0,0127	P-org (µmol/L)	0,00	K-s	0,0008	Aerobe CO2 productie	0,0051	Mg-s
0,0008	P-labiel (µmol/g dw)	0,0009	Ca-s	0,0074	P-org (µmol/g dw)	0,00	Al-s	0,0006	Grondwaterstand voorjaar	0,0034	TOD
0,0000	HCO3-pw	0,0000	Grondwaterstand gemiddeld	0,0034	P-labiel (µmol/g dw)	0,00	Fe-s	0,0003	P-CaCO3 (µmol/g dw)	0,0005	P-s
			n soorten wort. waterplanten	0,0005	Si-pw	0,00	TOD	0,0000	bedekking helofyten (%)	0,0000	bedekking helofyten (%)

Effecten van droogval op factoren die sturend zijn voor de bedekking van waterplanten

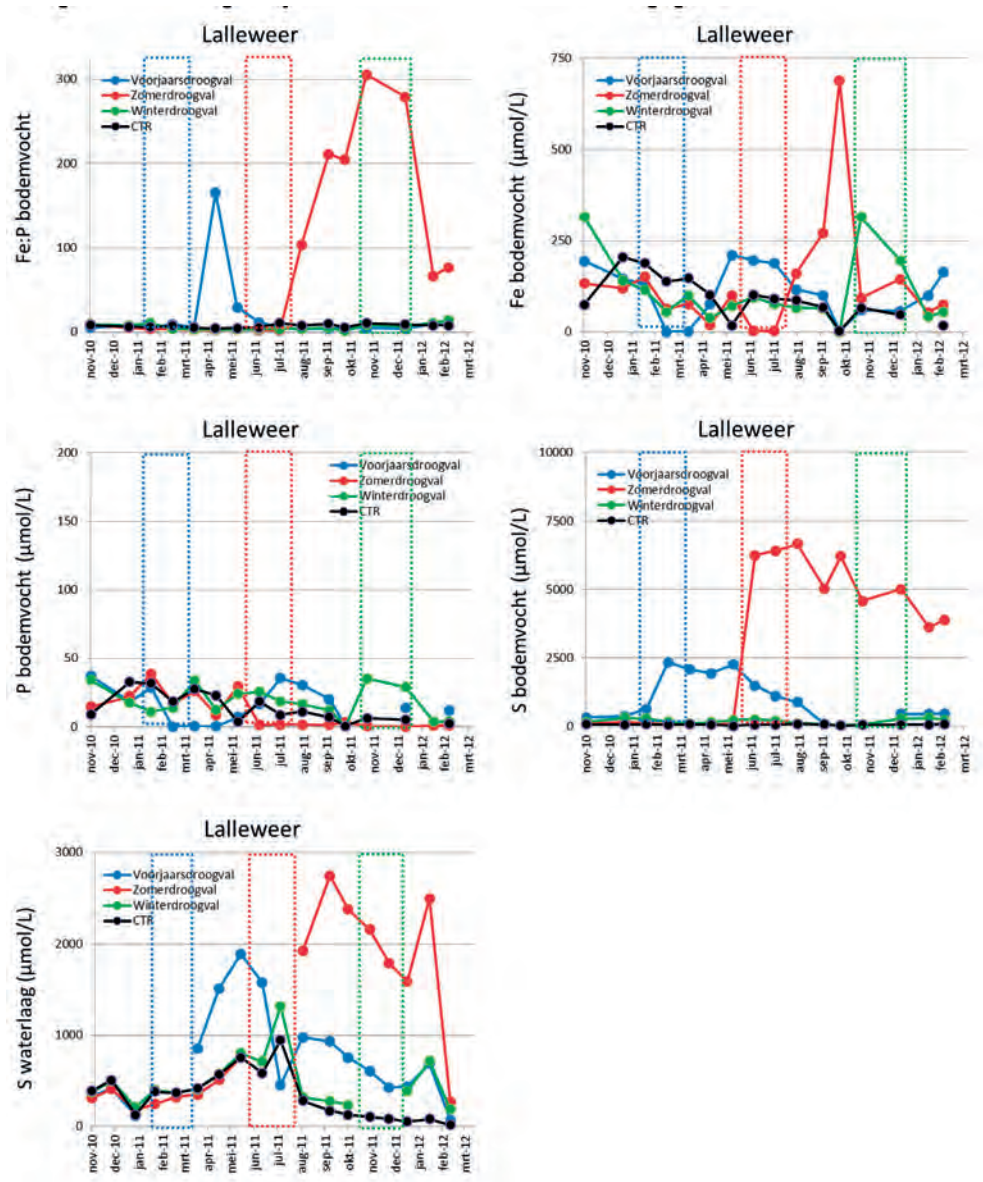
De effecten van droogval, op verschillende momenten in het seizoen, werden inzichtelijk gemaakt voor parameters die gerelateerd zijn aan de Fe:P ratio in het porievocht (Fe:P, Fe, P en S). Zodoende kon ingeschat worden of droogval, in bepaalde mate of in bepaalde bodemtypen bijdroeg aan een betere waterkwaliteit.

Door oxidatie van FeS was het te verwachten dat de Fe:P ratio in het porievocht zou stijgen. Een verhoging van de Fe:P ratio was in het porievocht op kortere termijn niet te verwachten. Het geoxideerd ijzer in de bodem zou naar verwachting langzaam reduceren en in oplossing komen. Het was daarom beter om te kijken naar de hoeveelheid gemobiliseerd sulfaat en de snelheid waarmee dit sulfaat weer zou worden gereduceerd. Er werd verondersteld dat:

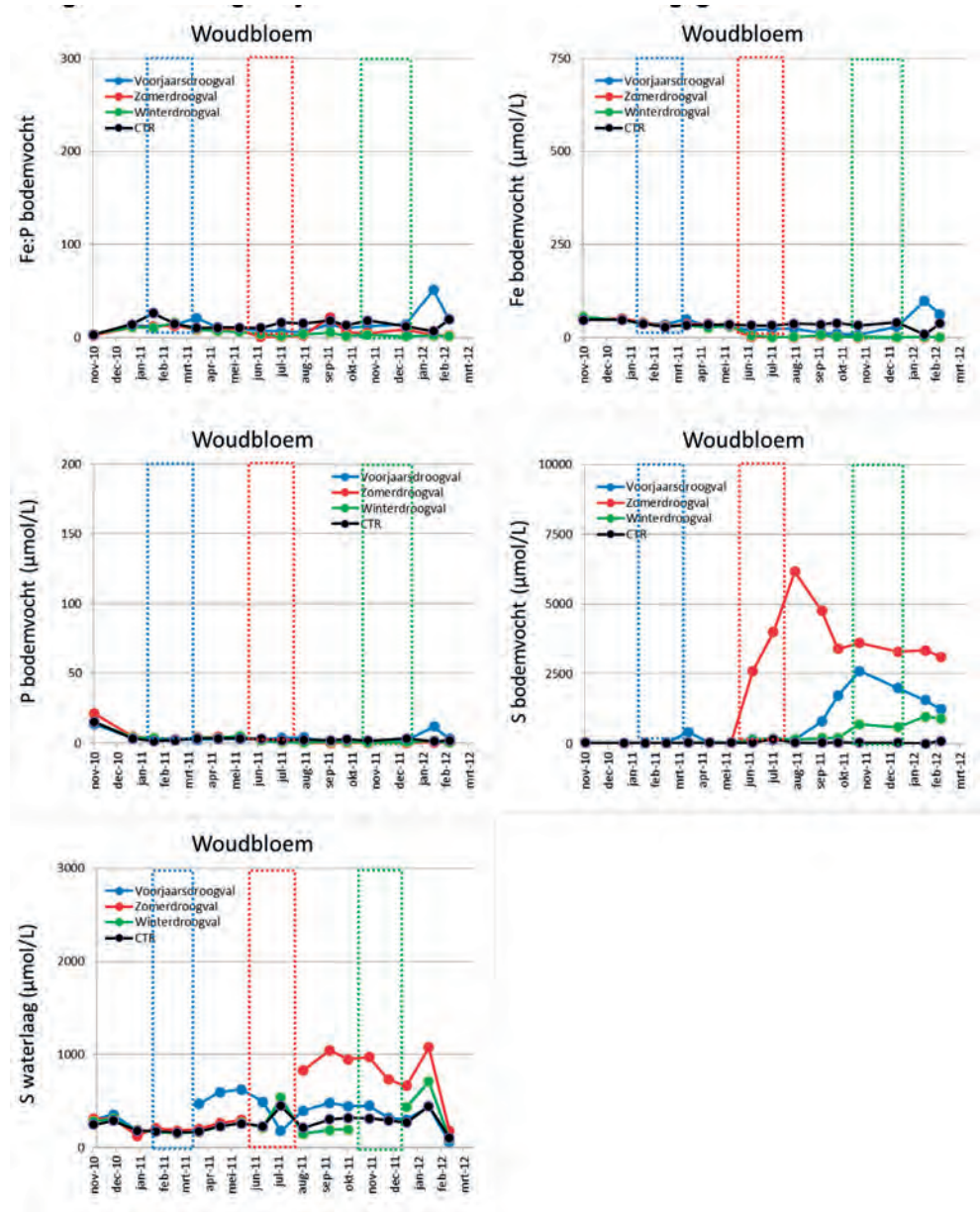
- in drooggevallen bodems waar meer sulfaat uit vrijkomt ook een relatief sterkere toename van de Fe:P ratio optreedt; afhankelijk van de mineralisatie als gevolg van droogval;
- in drooggevallen bodems waar de concentratie sulfaat, in de periode na droogval en vernatting, lang hoog blijft ook de Fe:P ratio langdurig gunstiger blijft.

De relatie tussen het succes van droogval in zwavelrijke waterbodems met de oxideerbare ijzervoorraad in de bodem (o.a. FeSx) werd reeds eerder gelegd in onderzoek uitgevoerd in elzenbroekbossen gelegen in voormalige Maasmeanders (Lucassen et al., 2003; 2005^a; 2005^b). De hoogste sulfaatconcentratie die zich ontwikkelde in het porievocht na zomerdroogval (augustus 2011) indiceerde dat in bodems van Lalleweer het meeste sulfaat door oxidatie van FeS gemobiliseerd kon worden (6.38). Dit gevolgd door bodem van de Rottige Meente, Woudbloem, het Ilperveld en De Deelen. In Lalleweer en Woudbloem bleven de sulfaatgehalten in het porievocht langdurig hoog; gevolgd door Rottige Meente, De Deelen en Ilperveld. Het feit dat in de bodems van de Rottige Meente, De Deelen en het Ilperveld de concentraties sulfaat weer snel afnamen had waarschijnlijk te maken met het gegeven dat deze bodems uit makkelijk afbreekbaar organisch materiaal bestonden, waardoor het zuurstofverbruik in de bodem hoog was (figuur 6.41 en 6.42). Eén maand na zomerdroogval was het totaal zwavelgehalte in de bodem nog respectievelijk 46% (Lalleweer), 45% (Woudbloem), 25% (Rottige Meente), 10% (De Deelen) en 0% (Ilperveld) van het zwavelgehalte in de bodem in de situatie vóór zomerdroogval (resultaten niet gepresenteerd).

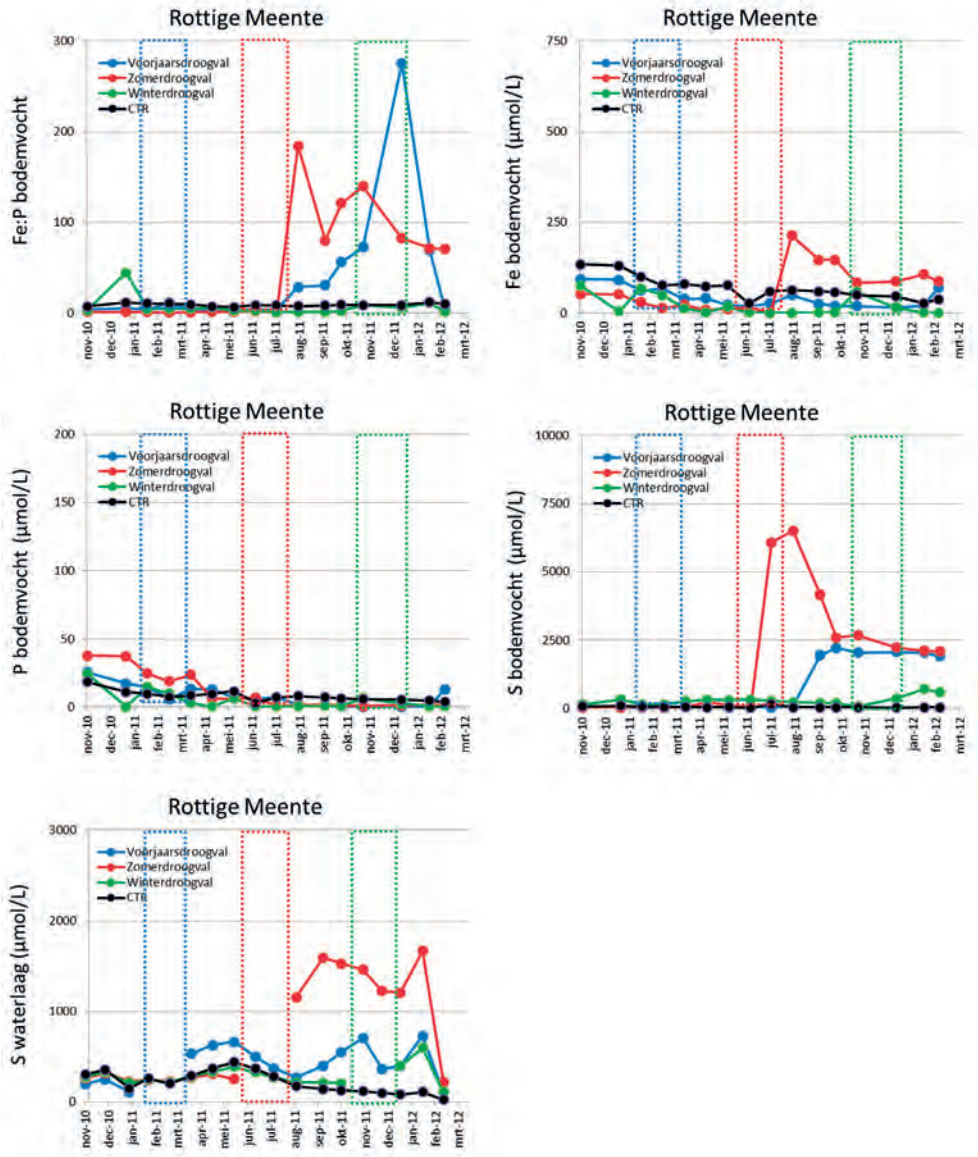
FIGUUR 6.39. LALLEWEER: ONTWIKKELING VAN EEN SELECTIE VAN CHEMISCHE PARAMETERS IN PORIEVOCHT EN WATERLAAG DIE IN VERBAND STAAN MET VERANDERING VAN DE FE:P RATIO IN HET PORIEVOCHT ALS GEVOLG VAN DROOGVAL. DE VERSCHILLENDE DROOGVALPERIODEN EN DROOGVALBEHANDELINGEN ZIJN MET VERSCHILLENDE KLEUREN WEERGEGEVEN.



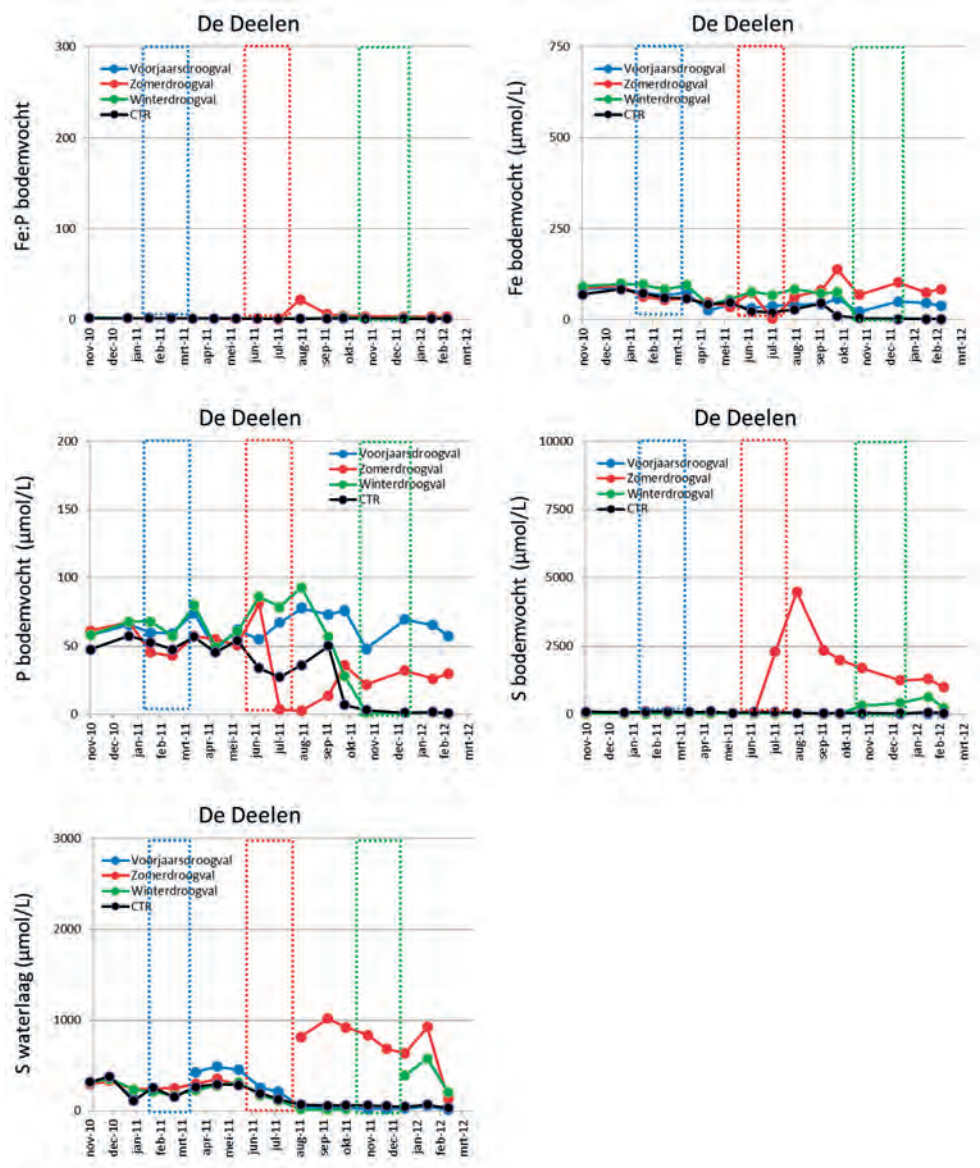
FIGUUR 6.40. Woudbloem: ONTWIKKELING VAN EEN SELECTIE VAN CHEMISCHE PARAMETERS IN PORIEVOCHT EN WATERLAAG DIE IN VERBAND STAAN MET VERANDERING VAN DE FE:P RATIO IN HET PORIEVOCHT ALS GEVOLG VAN DROOGVAL. DE VERSCHILLENDE DROOGVALPERIODEN EN DROOGVALBEHANDELINGEN ZIJN MET VERSCHILLENDE KLEUREN WEERGEGEVEN.



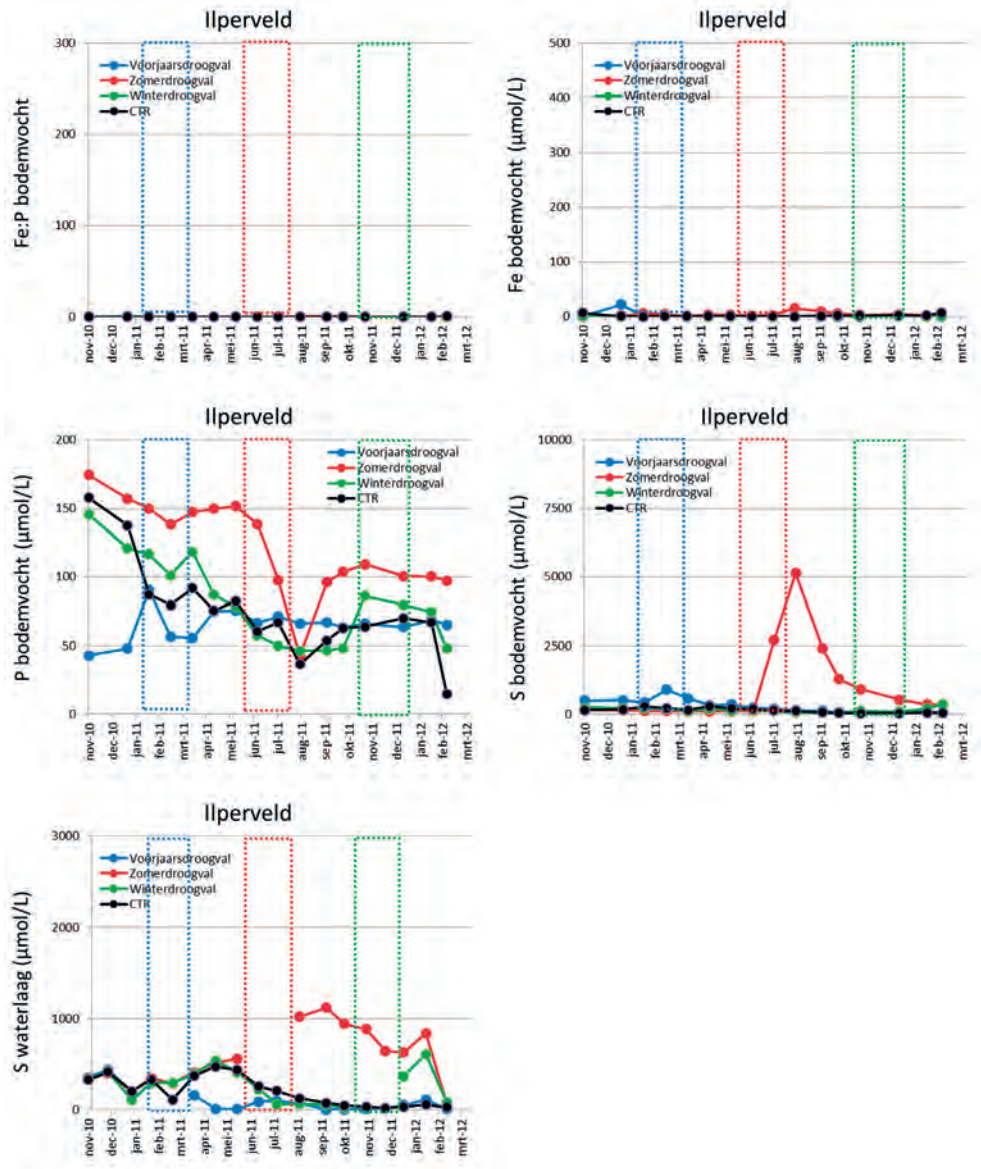
FIGUUR 6.41. ROTTIGE MEENTE: ONTWIKKELING VAN EEN SELECTIE VAN CHEMISCHE PARAMETERS IN PORIEVOCHT EN WATERLAAG DIE IN VERBAND STAAN MET VERANDERING VAN DE FE:P RATIO IN HET PORIEVOCHT ALS GEVOLG VAN DROOGVAL. DE VERSCHILLENDE DROOGVALPERIODEN EN DROOGVALBEHANDELINGEN ZIJN MET VERSCHILLENDE KLEUREN WEERGEVEEN.



FIGUUR 6.42. DE DEELen: ONTWIKKELING VAN EEN SELECTIE VAN CHEMISCHE PARAMETERS IN PORIEVOCHT EN WATERLAAG DIE IN VERBAND STAAN MET VERANDERING VAN DE FE:P RATIO IN HET PORIEVOCHT ALS GEVOLG VAN DROOGVAL. DE VERSCHILLENDE DROOGVALPERIODEN EN DROOGVALBEHANDELINGEN ZIJN MET VERSCHILLENDE KLEUREN WEERGEGEVEN.



FIGUUR 6.43. IIPVELD: ONTWIKKELING VAN EEN SELECTIE VAN CHEMISCHE PARAMETERS IN PORIEVOCHT EN WATERLAAG DIE IN VERBAND STAAN MET VERANDERING VAN DE FE:P RATIO IN HET PORIEVOCHT ALS GEVOLG VAN DROOGVAL. DE VERSCHILLENDE DROOGVALPERIODEN EN DROOGVALBEHANDELINGEN ZIJN MET VERSCHILLENDE KLEUREN WEERGEGEVEN.



Deelconclusies onderdeel mesocosmos

1. Het effect van droogval op de grondwaterstanden in de mesocosmos of proefvijvers was afhankelijk van het bodemtype en het seizoen. Klei- en zandbodems droogden over het algemeen sterker in dan venige bodems, met name in de zomer. Als gevolg van droogval in het voorjaar droogden enkel de klei- en zandbodem in bepaalde mate uit. Als gevolg van droogval in de zomer droogden alle bodems in bepaalde mate uit. Als gevolg van droogval in het najaar of winter droogde geen enkel bodemtype uit.
2. Droogval had ongeacht het bodemtype een significant positief effect op het totaal aantal waterplanten, het totaal aantal soorten helofyten en de bedekking met helofyten.
3. Het bodemtype had ongeacht het optreden van droogval een significant effect op het totaal aantal waterplanten, het aantal soorten wortelende waterplanten, het aantal soorten ondergedoken waterplanten, de bedekking van wortelende waterplanten, de bedekking van ondergedoken waterplanten en de bedekking met algen.
4. De bedekking aan wortelende waterplanten correleerde sterk positief met de Fe:P ratio ($r= 0,9941$) en de Fe concentratie ($r= 0,9493$) in het porievocht. De bedekking van wortelende waterplanten correleerde sterk negatief met de bedekking van algen ($r= 0,9921$). De bedekking van algen correleerde daarom sterk met de Fe:P ratio ($r= 0,8964$) in het porievocht. Bij een Fe:P ratio in het porievocht hoger dan 8 bleek de ontwikkeling van algen nihil.
5. Droogval leidde met name in de zomer (sterkste uitdroging of grondwaterstands daling) tot sterke oxidatie van FeS in de bodem. De mate van FeS oxidatie en de reversibiliteit (=duurzaamheid van droogval m.b.t. FeS oxidatie) waren afhankelijk van het bodemtype. De mobilisatie van zwavel (S) nam af in de volgorde: Lalleweer, Rottige Meente, Woudbloem, Ilperveld en De Deelen. De omkeerbaarheid van het proces nam af in de volgorde: Ilperveld, De Deelen, Rottige Meente, Woudbloem en Lalleweer. Met name in de venige bodems werd het sulfaat weer relatief snel gereduceerd. Eén maand na zomerdroogval was het totaal zwavelgehalte in de bodem nog respectievelijk 46% (Lalleweer), 45% (Woudbloem), 25% (Rottige Meente), 10% (De Deelen) en 0% (Ilperveld) van het zwavelgehalte in de bodem in de situatie vóór zomerdroogval. Overeenkomstig nam de Fe:P ratio langdurig toe in Lalleweer en Rottige Meente, terwijl in de overige bodemtypen geen toename meetbaar was.
6. De ontwikkeling van helofyten (met name *Typha latifolia*) die kiemden als gevolg van droogval in het voorjaar kon, na herstel van het oppervlaktewaterpeil, in de nazomer (augustus) leiden tot aanzienlijke oxidatie van de bodem. Hiermee konden deze helofyten bijdragen aan FeS oxidatie. Dit proces trad sterk op in bodems van de Rottige Meente en Woudbloem.
7. Uit het mesocosmos onderzoek bleek dat tijdelijke droogval een positief effect had op vegetatieontwikkeling in de waterbodems afkomstig uit de Rottige Meente en Woudbloem. Meer specifiek leidde droogval hier tot minder algenontwikkeling, meer wortelende waterplanten en meer helofyten.

Droogval van bodem afkomstig uit het Ilperveld had netto geen effect op de vegetatie. Droogval leidde hier wel tot ontwikkeling van kiemplanten van waterplanten, maar deze verdwenen door de sterke algenontwikkeling.

Droogval van bodem afkomstig uit De Deelen en Lalleweer had een negatief effect op de vegetatie. In De Deelen leidde droogval tot meer ontwikkeling van algen en minder ontwikkeling van wortelende waterplanten. In Lalleweer, waarin alle behandelingen bij aanvang veel ondergedoken waterplanten aanwezig waren, leidde droogval tot een lichte ontwikkeling van algen en tot ontwikkeling van helofyten.

6.4 VELDEXPERIMENT

Het veldexperiment omvatte meerdere onderzoeksonderdelen. In de volgende paragrafen worden achtereenvolgens de resultaten gepresenteerd van de onderzoeksonderdelen:

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

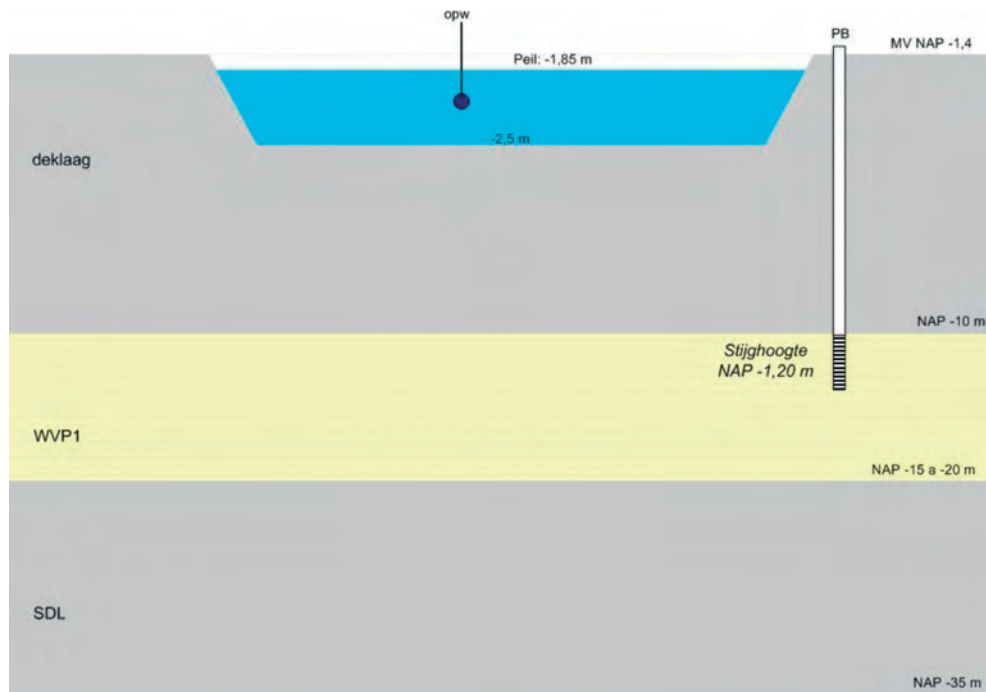
6.4.1. GEOHYDROLOGIE

Voor elke onderzoekslocatie werd een grondwatermeetnet ontworpen om grondwatereffecten voor, tijdens en na de droogvalperiode te kunnen monitoren. Ook werd op alle locaties het oppervlaktewaterpeil gevolgd. Voor elke onderzoekslocatie werd de lokale grondwatersituatie uitgewerkt en geschematiseerd.

Lalleweer

In de plas Lalleweer ligt een slecht doorlatende deklaag die uit (zee)klei en veen bestaat (tabel 6.3 en figuur 6.44). Voor aanvang van het onderzoek was de verwachting dan ook dat omgevingseffecten in het eerste watervoerende pakket (1^e WVP) als gevolg van het optreden van een kwelstroom tijdens de droogvalperiode, sterk zouden worden beperkt door de 7,5 m dikke deklaag onder de plasbodem.

FIGUUR 6.44. SCHEMATISCHE DOORSNEDE LALLEWEER



Voor aanvang van de droogvalperiode werden oppervlaktewaterpeil en hoogte van de waterbodem ingemeten. Het oppervlaktewaterpeil was in juli 2011 NAP -1.85. De hoogte van de waterbodem varieerde tussen NAP -1,9 tot -2,7 m.

TABEL 6.3. SCHEMATISATIE BODEMOPBOUW LALLEWEER

VAN (M NAP)	TOT (M NAP)	LITHOLOGIE	OMSCHRIJVING
mv -1,4	-10	klei en veen	Deklaag
-10	-15 a -20	zand, zeer fijn tot matig fijn	WVP1
-15 a -20	-35		SDL

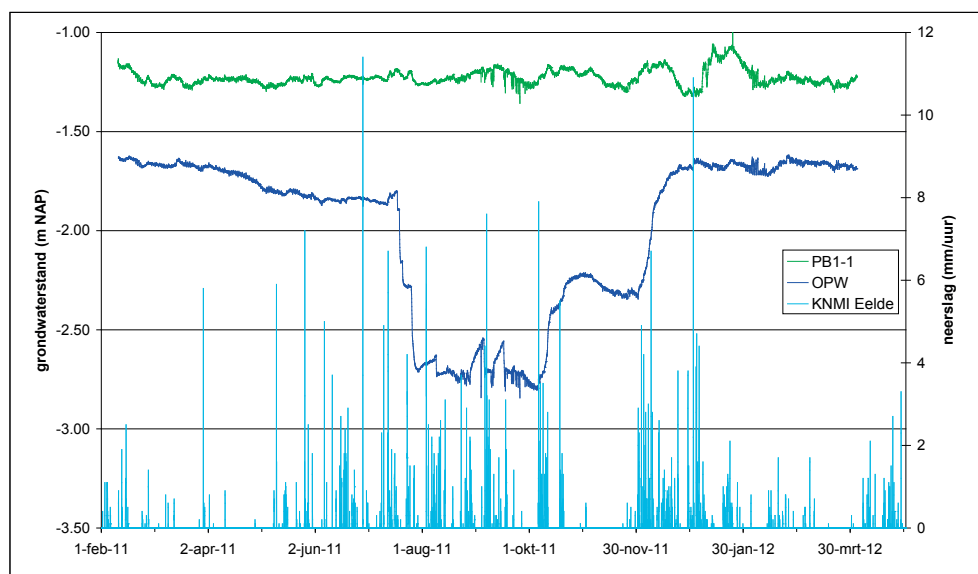
Verloop van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand

Tijdens de droogvalperiode (juli-september 2011) daalde het oppervlaktewaterpeil in de kleiplas met circa 1 meter (figuur 6.45). Tijdens en na de droogvalperiode werd de plas uitsluitend door neerslag gevoed. Dit bleek dan ook duidelijk uit het verloop van het oppervlaktewaterpeil na de droogvalperiode. Rond begin oktober 2011 nam de oppervlaktewaterstand toe op de momenten dat er neerslag viel.

De peilbuismetingen lieten zien dat het stijghoogteverschil voor de proef 60 cm bedroeg en tijdens de droogvalperiode toenam tot 145 cm. Gezien het stijghoogteverschil leek er een toename van kwel op te treden. Door de aanwezigheid van de dikke kleiige deklaag onder de plas, leek het daadwerkelijk optreden van kwel echter niet waarschijnlijk. Het totale verpompte debiet tijdens de droogvalperiode bij proeflocatie Lalleweer was 4.930 m³. Dit volume kwam nagenoeg overeen met de som van de neerslag die in de proefperiode is gevallen (ca. 230 mm) op het oppervlak van de plas. Daarnaast bestond een deel van het gemeten debiet uit het initiele leegpompen van de proeflocatie bij de start van de proef. Hieruit kon geconcludeerd worden dat de kwelflux vanuit het 1^e WVP zeer beperkt is tot nagenoeg nul was.

Op 35 meter afstand van de plas werd geen verandering in het grondwaterstandsverloop waargenomen, die aan de droogval gerelateerd kon worden.

FIGUUR 6.45. PEILBUISMETINGEN LALLEWEER. PB1: PEILBUIS MET FILTER IN WVP1, OPW: MEETPUNT OPPERVLAKTEWATERSTAND IN DE PLAS.



Woudbloem

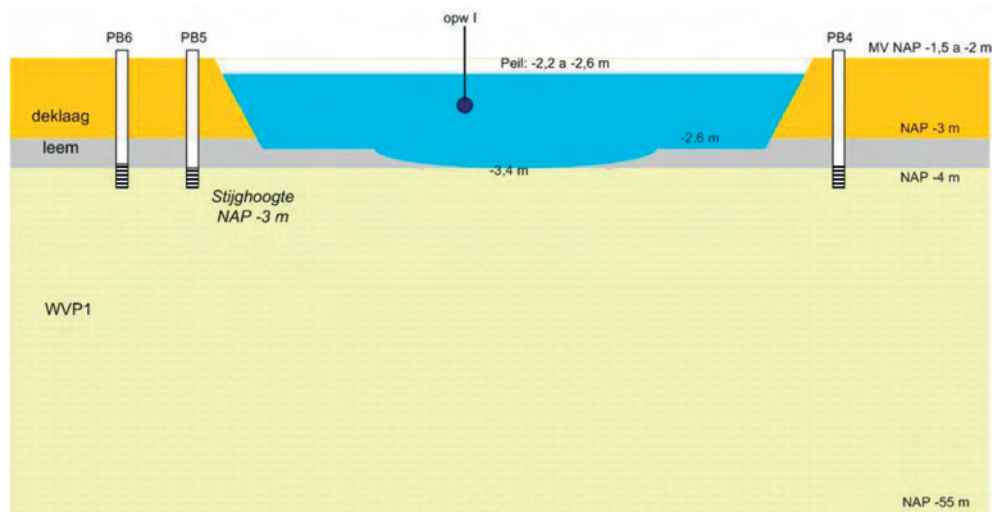
De deklaag ter hoogte van de plas Woudbloem bestond uit fijn zand en een dunne leemlaag. Hieronder werd het eerste watervoerend pakket aangetroffen (figuur 6.46 en tabel 6.4). Bij het droogzetten van de plas kon er aanvoer van water via de deklaag richting de plas optreden. Vanwege de ligging in een zandige deklaag, werden er dan ook meer omgevingseffecten verwacht ten opzichte van de andere proeflocaties, die zich in een weerstands biedende deklaag bevonden. Op basis van bestaande bodemgegevens kon worden afgeleid dat de bodem van de plas de leemlaag doorsneed.

TABEL 6.4. SCHEMATISATIE BODEMOPBOUW WOUDBLOEM

VAN (M NAP)	TOT (M NAP)	LITHOLOGIE	OMSCHRIJVING
mv -1,5 a -2	-3	zand, matig fijn, siltig	deklaag
-3	-3,3 a -4,3	leem, sterk zandig	deklaag
-3,3 a -4,3	-55	zand, matig fijn tot matig grof	WVP1
-55	-70		SDL

Het oppervlaktewaterpeil van de plas Woudbloem werd ingemeten op NAP -2,25 m (februari 2011) en NAP -2,66 m (juni 2011). De plas watert af op een ten zuiden gelegen watergang met een zomerpeil van NAP -3,0 m en een winterpeil van NAP -3,5 m. De hoogte van de waterbodem werd ook ingemeten en varieerde tussen NAP -2,7 tot -3,4 m.

FIGUUR 6.46. SCHEMATISCHE DOORSNEDE WOUDBLOEM



Verloop van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand

Na de aanleg van de gronddam in februari 2011 daalde het oppervlaktewaterpeil in de plas Woudbloem tot juni 2011 (figuur 6.47). In deze periode was de hoeveelheid neerslag zeer laag, waardoor er tevens weinig aanvulling plaatsvond. De daling van het oppervlaktewaterpeil was terug te zien in de tijdstijghoogtelijn van peilbuis 4, 5 en 6. Peilbuizen 1, 2 en 3 lagen op grotere afstand van de plas en werden veel minder beïnvloed door de verlaging van het oppervlaktewaterpeil.

Voor de droogvalperiode lag de stijghoogte in het 1^e WVP op circa NAP -2,7 tot NAP -3 m. Er was toen sprake van een inzijgings situatie vanuit de plas richting het 1^e WVP. Tijdens de droogvalperiode daalde het oppervlaktewaterpeil met meer dan 1 m. Het oppervlaktewaterpeil van de plas kwam hierbij onder de stijghoogte te liggen, waardoor er opwaartse stroming (kwel) richting de plas kon optreden. De stijghoogte in alle peilbuizen

vertoonden een duidelijke en snelle reactie op neerslag. Ongeveer 1 dag nadat er neerslag viel nam de stijghoogte in het 1^e WVP toe. Na afloop van de droogvalperiode bleef de plas geïsoleerd. De stijging van het oppervlaktewaterpeil die na de droogvalperiode optrad, was dan ook duidelijk gekoppeld aan het neerslagpatroon.

Het totale verpompte debiet tijdens de droogvalperiode bij proeflocatie Woudbloem was 68.470 m³. Dit debiet was samengesteld uit meerdere posten, namelijk: 1) het initiële afpompedebiet, 2) de neerslag gedurende de proef, 3) de kwel en horizontale toestroming. Posten 1 en 2 waren min of meer bekend of konden worden ingeschat. Indien post 1 en 2 werden verrekend bleef er een restpost over van ongeveer 570 m³/d. Dit is de hoeveelheid kwel en toestroming vanuit de zandige deklaag.

Omgevingseffecten

De grondwaterstandverlaging in het watervoerend pakket werden bepaald door de metingen te vergelijken met een controle peilbuis. Peilbuis 6 bleek buiten het invloedsgebied van de proef te liggen en werd als controle gebruikt (figuur 6.47). De daling van de stijghoogte in elke peilbuis werd bepaald ten opzichte van deze controle buis, over de gehele droogvalperiode. Deze relatieve dalingen gaven een globale indicatie van het effect van de droogvalperiode op de stijghoogte in het WVP in de omgeving (tabel 6.5).

TABEL 6.5.

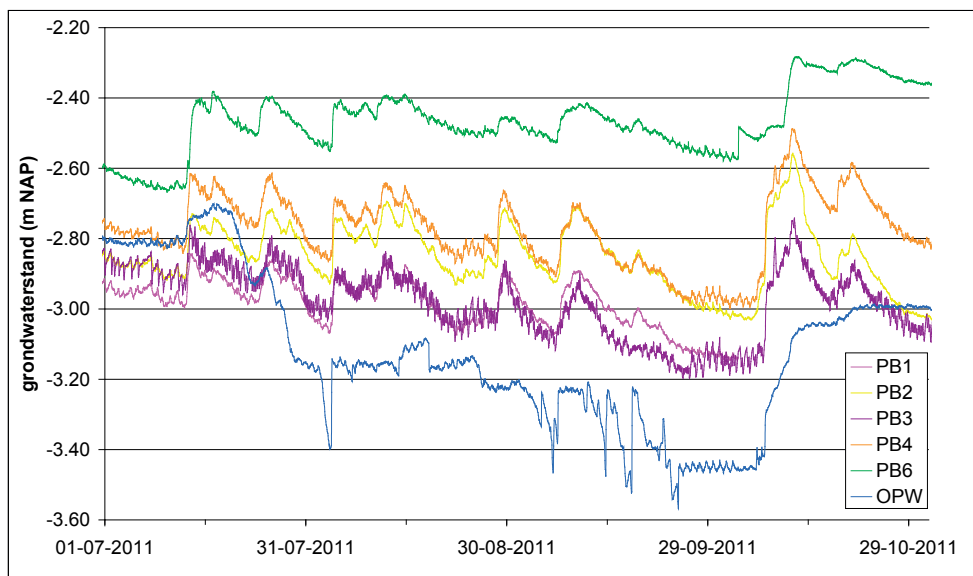
RELATIEVE DALING STIJGHOOGTE

PEILBUIS	ORDEGROOTTE DALING (CM)	AFSTAND VAN PLAS (M)
PB1	10-15	165
PB2	10-15	320
PB3	15-20	220
PB4	15-20	65

Uit peilbuis 5 konden te weinig gegevens worden gebruikt om het verloop tijdens de droogvalperiode goed te reconstrueren.

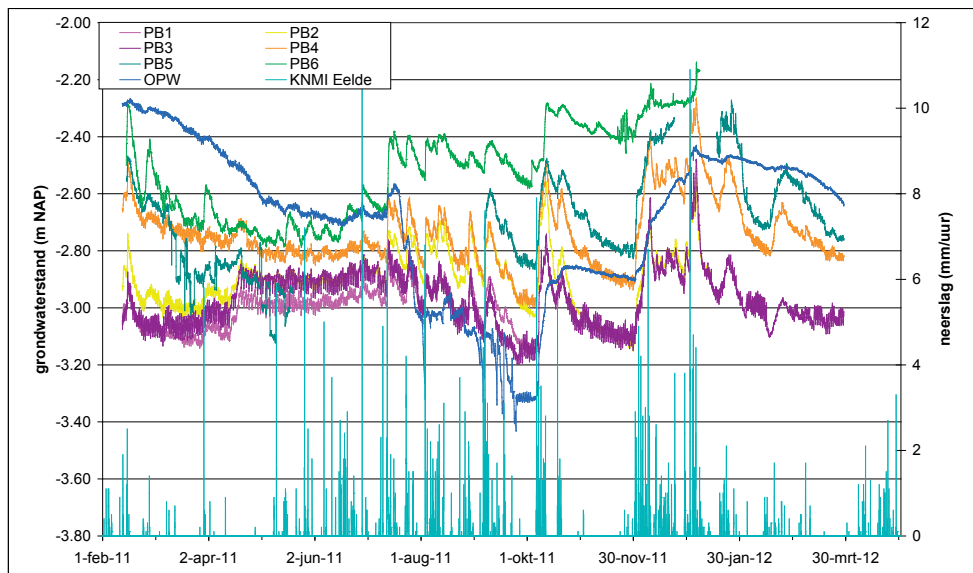
De peilbuizen 1 en 2, ten noorden van de Veenlaan, vertoonden minder reactie op de droogvalperiode dan de peilbuizen ten zuiden van deze weg. Peilbuis 1 en 2 werden waarschijnlijk minder beïnvloed, omdat zich tussen de proeflocatie en de peilbuizen een watergang bevond. Deze watergang kon de effecten mogelijk dempen. Bovendien lagen deze peilbuizen dicht bij de noordelijke plas met ander oppervlaktewaterpeil. Dit resultaat kwam overeen met de nagenoeg afwezige reactie van peilbuis 1 en 2 op de daling van het oppervlaktewaterpeil voorafgaand aan de proef. Het was opvallend dat de verlaging in peilbuizen 3 en 4 van dezelfde orde grootte was, ondanks dat peilbuis 3 verder van de plas lag. Hieruit bleek dat deklaag in de praktijk toch relatief goed doorlatend was, waardoor de reikwijdte van de grondwaterstandverlaging groot was. Waarschijnlijk werd het effect van de droogval in oostelijke richting uitgedempt door een watergang en het oostelijk gelegen agrarisch gebied met eigen peil.

FIGUUR 6.47. VERLOOP STIJGHOOGTE TIJDENS PROEF



De omvang en de reikwijdte van de grondwaterstandverlaging bleken weliswaar beperkt, maar waren wel groter dan vooraf berekend werd (bemalingsadvies Woudbloem, GV940-4/nija4/010). Dit werd vermoedelijk veroorzaakt door het hanteren van een te grote weerstandswaarde voor de deklaag. In de vooraf uitgevoerde berekeningen werd aangenomen dat zich in de deklaag ook veen bevond. Dit bleek echter niet duidelijk uit de boringen die later werden uitgevoerd.

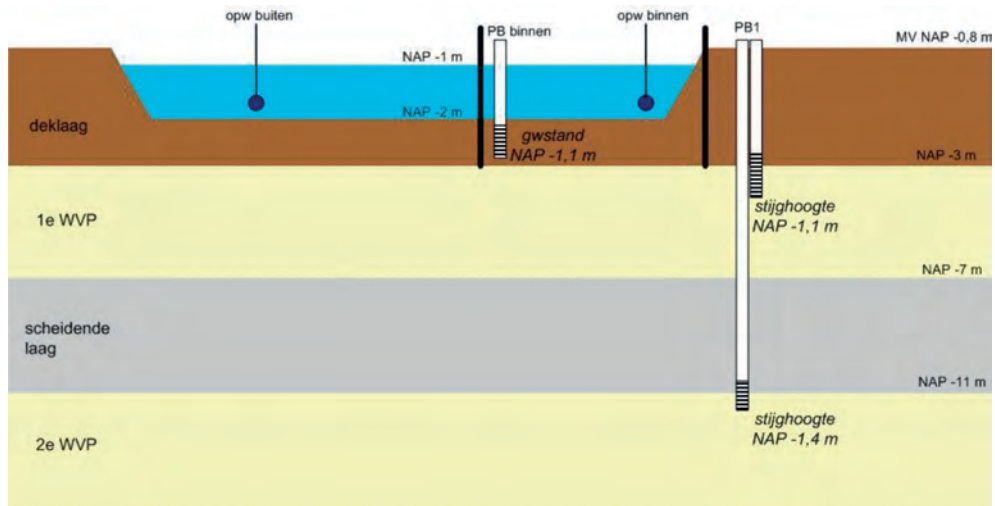
FIGUUR 6.48. PEILBUISWAARNEMINGEN WOUDBLOEM. PB= PEILBUIS MET FILTER IN EERSTE WATERVOEREND PAKKET (WVP1), OPW IS MEETPUNT OPPERVLAKTEWATERPEIL.



Rottige Meente

De proeflocatie in de Rottige Meente werd hydrologisch geïsoleerd door het plaatsen van stalen damwanden in de deklaag. De deklaag ter hoogte van de projectlocatie bestond vooral uit veen. Hieronder werd het 1^e watervoerend pakket aangetroffen (figuur 6.49 en tabel 6.6). De waterbodem bestond uit een circa 1 m dikke weerstandbiedende veenlaag.

FIGUUR 6.49. SCHEMATISCHE DOORSNEDE ROTTIGE MEENTE



Het oppervlaktewaterpeil van het petgat werd ingemeten op NAP -1,0 m. Dit kwam overeen met het zomerpeil. Het winterpeil werd ingemeten op NAP -0,85 m. De hoogte van de waterbodem werd in raaien ingemeten en varieerde tussen NAP -1,6 tot -2,10 m. De opbouw van de waterbodem werd onderzocht door boringen te zetten tot circa 2 m onder de waterspiegel. De waterbodem bestond uit circa 0,5 tot 1,0 m veen, waaronder matig fijn zand werd aangetroffen.

TABEL 6.6. SCHEMATISATIE BODEMOPBOUW ROTTIGE MEENTE

VAN (M NAP)	TOT (M NAP)	LITHOLOGIE	OMSCHRIJVING
-0.8	-3	veen/klei	Deklaag
-3	-7.5	matig fijn zand	WVP1
-7.5	-11	leem/klei	scheidende laag
-11	-135	matig grof zand	WVP2
>-135			scheidende laag

Verloop van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand

Voor de droogvalperiode volgden de oppervlaktewaterpeilen binnen en buiten de proeflocatie elkaar (figuur 6.50). Tijdens de droogval daalde het oppervlaktewaterpeil in het droogvalcompartiment met ongeveer 1 meter en viel de drukopnemer in het droogvalcompartiment droog. Het oppervlaktewaterpeil buiten de proeflocatie steeg juist met ongeveer 10 cm.

Voor de droogvalperiode volgden de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket (peilbuis 1-1) en de grondwaterstand in de waterbodem (peilbuis binnen) elkaar. Bij aanvang van de droogvalperiode reageerde de grondwaterstand in de peilbuis binnen de proeflocatie direct. Tijdens de droogvalperiode stelde zich een duidelijk stijghoogteverschil van 90 cm in tussen het eerste watervoerende pakket en de grondwaterstand binnen het droogvalcompartiment. De stijghoogte in het eerste watervoerende pakket vertoonde geen duidelijke verandering als gevolg van de droogvalperiode.

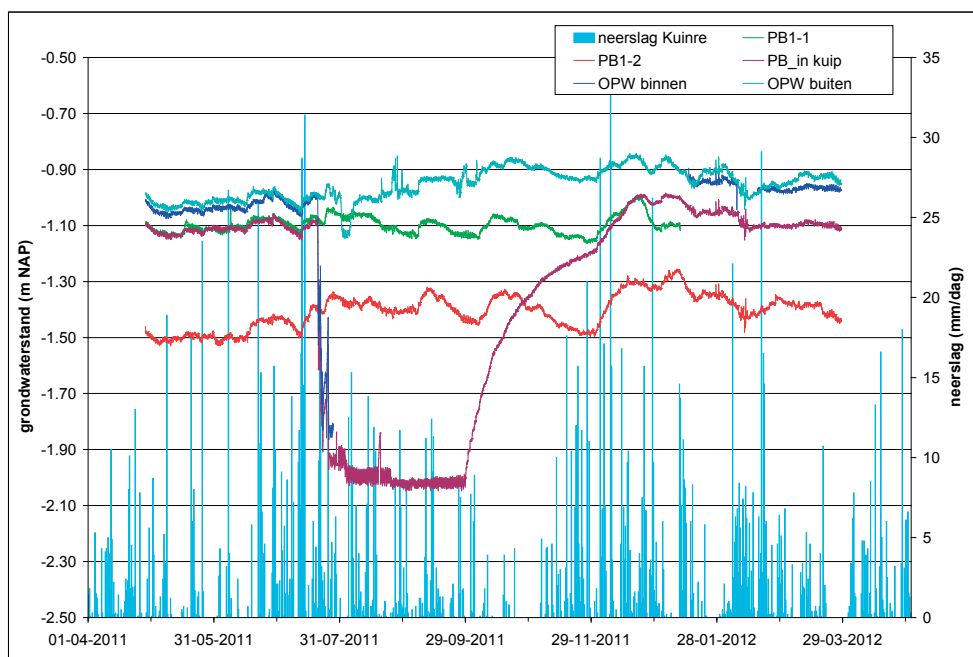
Omgevingseffecten

Voorafgaand aan de tijdelijke droogval lieten de peilbuismetingen zien dat er sprake was van een lichte inzigingssituatie over de deklaag en de eerste scheidende laag. Tijdens de droogvalperiode trad er kwel op richting het petgat. Het voortduren van het stijghoogteverschil tussen de grondwaterstand in de (water)bodem en het eerste watervoerende pakket gaf aan dat de veenlaag onder het petgat hydraulische weerstand bood. Door deze weerstand bleef de omvang van de kwelflux beperkt. Dit kwam overeen met de observatie dat er geen duidelijke, directe reactie van de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket optrad buiten de proeflocatie.

Wel viel op dat het verloop in de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket tijdens de looptijd van de proef afweek van het patroon voorafgaand aan de proef. Voor aanvang van de droogvalperiode vertoonde de stijghoogte in het eerste watervoerende pakket hetzelfde patroon als de oppervlaktewaterstand buiten de proeflocatie. Het verschil tussen beide bedroeg ongeveer 10 cm. Gedurende de droogvalperiode nam het verschil tussen het oppervlaktewaterpeil en de stijghoogte echter toe. De oppervlaktewaterstand en de stijghoogte in het 2^e WVP bleek een stijgende trend hebben, terwijl de stijghoogte in het 1^e WVP op hetzelfde niveau bleef (figuur 6.50). Op het moment dat de pomp werd uitgezet in oktober 2011 was het verschil tussen beiden 20 cm. Dit suggereerde dat het eerste watervoerende pakket op 3 m buiten het compartiment het natuurlijk verloop niet langer volgde. Mogelijk dat hier met enige vertraging toch een beperkt effect - van enkele centimeters grondwaterstands daling - van de droogval zichtbaar werd.

Bij het gebruik van stalen damwanden kon lekkage via de damwanden optreden, zogenaamde slotlekkage. De slotlekkage door de damwand in de deklaag was hier echter klein, omdat de toestroming door de weerstandsbiedende deklaag gering was.

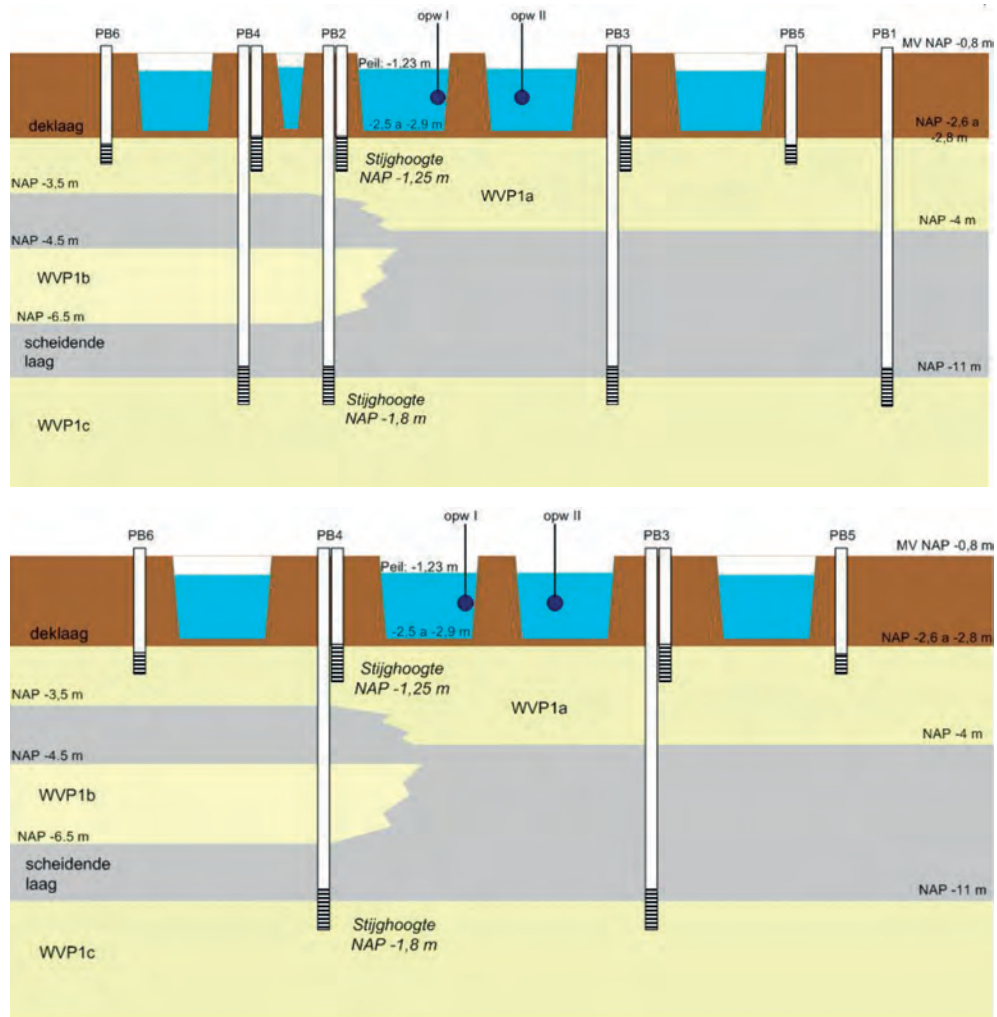
FIGUUR 6.50. PEILBUISMETINGEN ROTTIGE MEENTE. PB1-1: PEILBUIS BUITEN DE PROEFLOCATIE MET FILTER IN HET 1^e WVP, PB2-1: PEILBUIS BUITEN HET COMPARTIMENT MET FILTER IN HET 2^e WVP, PB_IN KUIP: PEILBUIS BINNEN HET DROOGVALCOMPARTIMENT MET FILTER IN DE DEKLAAG, OPW BINNEN: METING OPPERVLAKTEWATERSTAND BINNEN DROOGVALCOMPARTIMENT.



De Deelen

De betreffende petgaten lagen in een deklaag die hoofdzakelijk uit veen bestond (figuur 6.51 en tabel 6.7). De bodem van de petgaten doorsneed op een aantal plaatsen de ondergelegen leem- en zandlaag (WVP1a). Het bodemniveau van het petgat varieerde tussen maximaal NAP -2,5 tot -2,9 m, terwijl de hoogte van de onderkant van de deklaag rond NAP -2,6 tot -2,8 m lag. Vanwege de beperkte of soms afwezige hydrologische weerstand onder de petgaten konden omgevingseffecten optreden in het WVP1a als gevolg van het droogzetten van het petgat. De grootte van de aanwezige weerstand onder het petgat zou hierbij de grootte van de kwelstroom en de omgevingseffecten bepalen.

FIGUUR 6.51. SCHEMATISCHE DOORSNEDE DE DEELN



TABEL 6.7. SCHEMATISATIE BODEMOPBOUW DE DEELN (O.B.V. BORING 2 EN 3)

VAN (M NAP)	TOT (M NAP)	LITHOLOGIE	OMSCHRIJVING
mv -0,7	-2,8	Veen	Deklaag
-2,8	-4,7	zand, matig fijn met leemlaagjes	WVP1a
-4,7	-9,7	leem/klei	SDL
-9,7	-18	zand, matig fijn	WVP1c
-18	-26	Leem	SDL
-26	-43	zand, matig fijn	WVP2a

Het oppervlaktewaterpeil van het petgat waarin droogval zou plaatsvinden werd ingemeten op NAP -1,23 m. De hoogte van de waterbodem is in raaien ingemeten en varieerde voor de droogval tussen NAP -1,6 m langs de oevers van het petgat tot NAP -2,3 m in het midden van het petgat.

Verloop van het oppervlaktewaterpeil en de grondwaterstand

Voor de droogvalperiode volgden de oppervlaktewaterpeilen in beide petgaten elkaar (figuur 6.51). Tijdens de droogval daalde het oppervlaktewaterstand in het petgat (OPWI) met ongeveer 1 m.

Voor de droogvalperiode volgde de stijghoogte in het eerste watervoerend pakket 1a (WVP1a) in peilbuis 2 en 3 de oppervlaktewaterstand (figuur 6.52). Er was weinig stijghoogteverschil tussen beiden, waar uit kon worden afgeleid dat de weerstand onder het petgat klein moest zijn. In peilbuis 3 trad wel een consistent stijghoogteverschil op van circa 0,1 m met het oppervlaktewaterpeil. Hieruit bleek dat hier lokaal, maar vermoedelijk ook op andere plaatsen sprake kon zijn van wat meer weerstand in de deklaag. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket 1a schommelde globaal rond het oppervlaktewaterpeil van NAP -1,25 m. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket 1c lag lager (figuur 6.53), rond NAP -1,8 m, waardoor er een neerwaartse flux optrad over de klei- en lemlagen tussen beide pakketten. Tijdens de droogvalperiode trad er kwel op richting het drooggevalen petgat. In de meest nabijgelegen peilbuis 2 was het drukverschil tussen het oppervlaktewater en de stijghoogte circa 0,8 m. De stijghoogte in peilbuis 6 in het eerste watervoerend pakket 1a vertoonde een afwijkend patroon ten opzichte van de andere peilbuizen in dezelfde laag. De stijghoogte lag relatief hoog en vertoonde minder fluctuatie. Er werd geen verandering in de stijghoogte waargenomen tijdens de droogvalperiode. Omdat de peilbuis weinig overeenstemming vertoonde met het patroon van de andere peilbuizen, leek deze door andere factoren beïnvloed te worden. De stijghoogten in het eerste watervoerend pakket 1c in peilbuis PB2, PB3 en PB4 vertoonden een opvallend dalende trend na aanvang van de proef ten opzichte van het stijgende verloop van de stijghoogte in de controle peilbuis PB1.

Omgevingseffecten

De omgevingseffecten in het watervoerend pakket werden bepaald door de metingen te vergelijken met een controle peilbuis. Voor het eerste watervoerend pakket 1c was dit peilbuis PB1, die zich aan de overzijde van het kanaal bevond. De stijghoogte in het eerste watervoerend pakket 1c in peilbuizen 2, 3 en 4 volgde het verloop van de controle stijghoogte in peilbuis 1 vrij consistent (figuur 6.52). Tijdens de droogvalperiode nam de stijghoogte in deze peilbuizen af. Tegelijkertijd was in de controle peilbuis juist sprake van een toename van de stijghoogte. Gedurende de droogvalperiode trad er dus een opwaartse stroming op vanuit het eerste watervoerend pakket 1c. Hierdoor nam de stijghoogte in de peilbuizen af. Na de droogvalperiode herstelde het verloop van de stijghoogte in de peilbuizen zich weer.

De stijghoogte voor en tijdens de droogvalperiode werden vergeleken met de controle peilbuis (tabel 6.8). In de peilbuizen trad een daling op van de stijghoogte van enkele decimeters. Het effect van de droogvalperiode was in peilbuis PB4-2 groter dan in andere peilbuizen, omdat er minder weerstand aanwezig was tussen het eerste watervoerend pakket 1c en het oppervlaktewater.

TABEL 6.8.

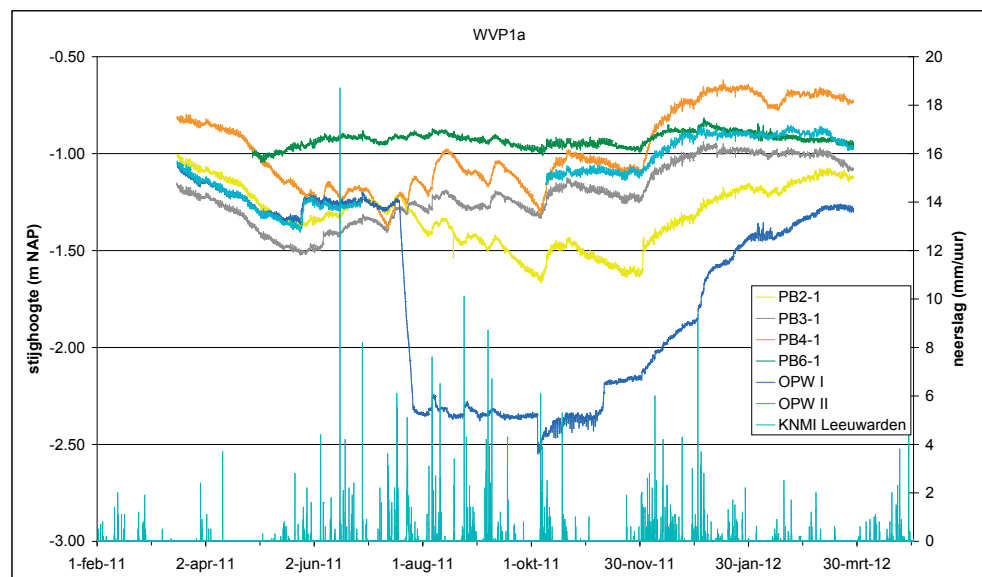
VERSCHILLEN MET CONTROLEPEILBUIS (WVP1C)

PEILBUIS	VERSCHIL VOOR PROEF (M)	VERSCHIL TIJDENS PROEF (M)	DALING (M)	AFSTAND VAN PETGAT (M)
	OP 16-6-2011	OP 11-9-2011		
PB2-2	0,26	-0,02	0,28	50
PB3-2	0,03	-0,20	0,23	5
PB4-2	0,19	-0,21	0,40	70

Voor het eerste watervoerend pakket 1a waren geen directe controlemetingen beschikbaar. Peilbuis 6 leek als controle peilbuis niet geschikt. De fluctuaties in de stijghoogte in deze peilbuis waren beperkt en weken af van de andere peilbuizen. Bovendien leek peilbuis PB3 nauwelijks reactie te vertonen op de proef als peilbuis PB6 als controle peilbuis beschouwd werd. Dit was geheel tegenstrijdig met de waarnemingen in het eerste watervoerend pakket 1c, waar peilbuis PB3 duidelijk reageerde op de droogvalperiode. Om het effect van de droogval op eerste watervoerend pakket 1a te bepalen werd daarom gekeken naar het verloop van de stijghoogte in het ondiepe en diepe pakket. Hierbij werd verondersteld dat in een natuurlijke, onbeïnvloede situatie het stijghoogteverschil tussen beide watervoerende pakketten in de tijd ongeveer gelijk zou blijven. Een verandering van het stijghoogteverschil tussen beiden zou optreden indien er een ingreep plaatsvond waarbij de kwel/wegzijing flux zou veranderen. Omdat duidelijk was dat de stijghoogte in het onderste watervoerend pakket 1c reageerde op de proef, was dit een duidelijke aanwijzing dat ook de stijghoogte in het bovenliggende WVP een reactie moest hebben vertoond.

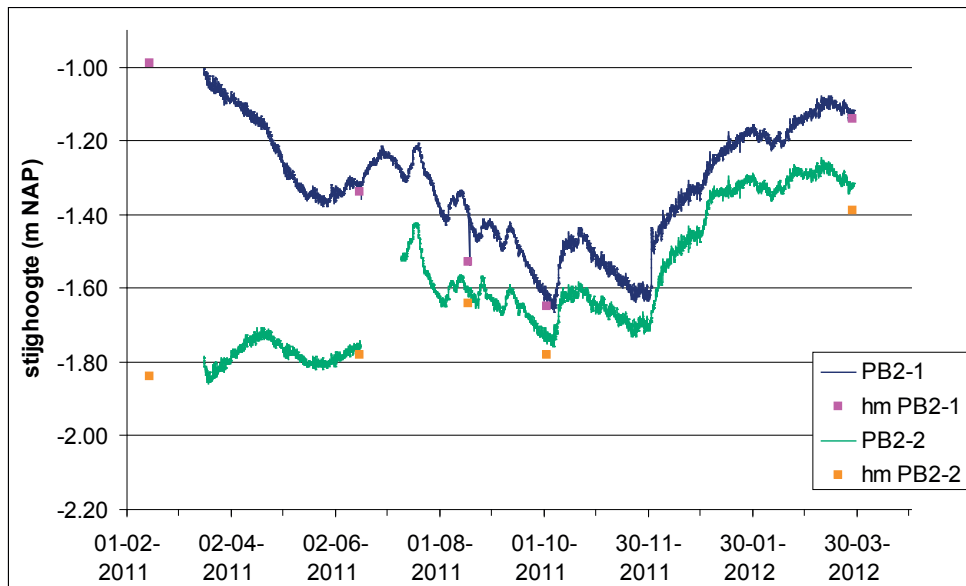
FIGUUR 6.52.

PEILBUISMETINGEN WVP1A DE DEELN



Uit de filters van peilbuizen PB2-1 en PB2-2 bleek dat het stijghoogteverschil tussen het bovenste deel van het eerste watervoerend pakket en het onderste deel afnam tijdens de proef (figuur 6.53). Na het stoppen met pompen herstelde deze situatie zich langzaam. Hieruit bleek dat de stijghoogte in peilbuis PB2-1 nog zeker circa 10 cm extra was gedaald ten opzichte van de daling die al optrad in het eerste watervoerend pakket 1c (figuur 6.54). Ook in peilbuizen PB3 en PB4 werd dit waargenomen, hetzij wat minder uitgesproken.

FIGUUR 6.53. STIJGHOOGTEVERSCHIL PB2-1 EN PB2-2. HM IS HANDMATIGE CONTROLEMETING.

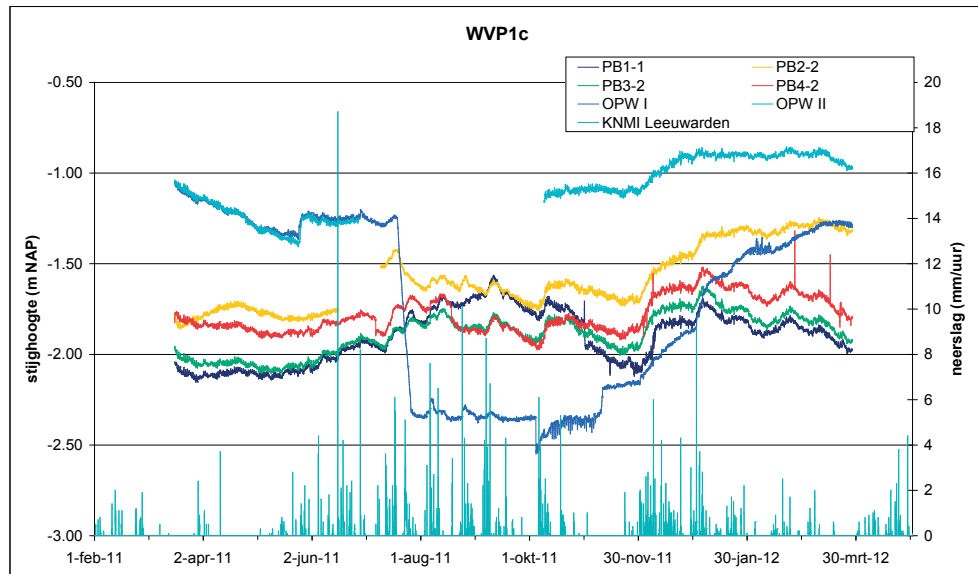


Tijdens de droogvalperiode trad er een verlaging van de stijghoogte op in de peilbuizen PB2, PB3 en PB4 van circa 25 tot 40 cm. In peilbuis PB6 trad geen verandering op van de stijghoogte tijdens de meetperiode. Deze effecten traden op vanwege de beperkte of soms afwezige weerstand onder het drooggepompte petgat. Als gevolg van het droogzetten trad er kwel op vanuit het eerste watervoerend pakket 1a richting het petgat, waardoor de stijghoogte in de omgeving tijdelijk werd verlaagd.

De omvang van de omgevingseffecten bleek uiteindelijk kleiner dan vooraf werd berekend (bemalingsadvies De Deelen, GV940-4/nija4/007). In de praktijk bleek er onder het petgat echter voldoende weerstand aanwezig te zijn om een stijghoogteverschil in stand te houden van circa 80 cm bij peilbuis PB2.

In eerdere berekeningen werd het invloedsgebied van de droogvalperiode bepaald (bemalingsadvies De Deelen, GV940-4/nija4/007). De peilbuizen PB1 (WVP1c) en PB5 (WVP1a) lagen buiten dit invloedsgebied en werden gezien als controle peilbuizen in de analyse (niet weergegeven in de figuur). Bij de uitlezing van de automatische drukopnemers bleek echter dat de metingen in PB5 niet meer bruikbaar waren, dus was uiteindelijk slechts één controle peilbuis in het diepe WVP beschikbaar (PB1 in WVP1c).

FIGUUR 6.54. PEILBUISMETINGEN WVP1C DE DEELLEN.



Toelichting figuur: PB1: peilbuis met filter in WVP1c, PB2-1: peilbuis met filter in WVP1a; PB2-2: peilbuis met filter in WVP1c; PB3-1: peilbuis met filter in WVP1a; PB3-2: peilbuis met filter in WVP1c; PB4-1: peilbuis met filter in WVP1a; PB4-2: peilbuis met filter in WVP1c; PB5: peilbuis met filter in WVP1a; PB6: peilbuis met filter in WVP1a; OPW I: meting oppervlaktewaterstand in drooggepompte petgat; OPW II: meting oppervlaktewaterstand in naastgelegen petgat.

Deelconclusies onderdeel geohydrologie

Voor de vier onderzoekslocaties werden de geohydrologische effecten van tijdelijke droogval voor, tijdens en na het droogvallen van de wateren gemonitord. Op basis van de gemeten effecten konden de vier locaties worden ingedeeld in drie categorieën. De geohydrologische situatie ter hoogte van het waterlichaam werd hierbij als uitgangspunt genomen:

- Categorie I Ligging in een deklaag, voldoende weerstand onder plas. Van toepassing op Lalleweer en Rottige Meente;
- Categorie II Ligging in een deklaag, weinig weerstand onder plas. Van toepassing op de petgaten in De Deelen;
- Categorie III Ligging in een zandpakket. Van toepassing op Woudbloem.

Bij plassen van categorie I traden niet of nauwelijks hydrologische effecten op omdat er onder de plas voldoende weerstand aanwezig was. De deklaag beperkte de horizontale en verticale toestroom van water en daarmee de effecten in de omgeving. Dit is dan ook de reden dat in Lalleweer en de Rottige Meente vrijwel geen effecten optraden.

Bij plassen van categorie II beschikte de deklaag waar de plassen in lagen, weinig weerstand. De petgaten van De Deelen bevonden zich net als Lalleweer en de Rottige Meente in een weerstandsbiedende deklaag. Het verschil met Lalleweer en de Rottige Meente was dat de deklaag onder de petgaten zeer dun was, waardoor de weerstand toch beperkt werd. Als gevolg hiervan trad er een verticale kwelstroom tijdens de tijdelijke droogval op en werden er ook - hetzij in beperkte mate - omgevingseffecten gemeten in het eerste watervoerend pakket.

Bij plassen van categorie III konden omgevingseffecten tot op relatief grote afstand van de plas plaatsvinden omdat het zandpakket goed doorlatend was. Ook staan deze plassen vaak

direct in verbinding met het grondwater. Bij Woudbloem werden ook dan ook - hoewel in omvang beperkt - op relatief grote afstand effecten gemeten.

De grondwaterstands dalingen als gevolg van tijdelijke droogval beperkten zich in dit onderzoeksproject tot hooguit enkele decimeters over beperkte afstand. Hierdoor was de kans op negatieve effecten uiterst gering. In dit onderzoeksproject zijn duidelijk geen negatieve effecten naar voren gekomen.

6.4.2. GEOTECHNIEK

Om te bepalen of tijdelijke droogval op de onderzoekslocaties tot daadwerkelijke of potentiële schade zou leiden werd een geotechnische monitoring opgezet. Schade door inklinking, zettingen en/of scheurvorming spelen met name in veengebieden. Op basis van deze verwachting en sonderingsgegevens werd besloten de monitoring te concentreren in de veengebieden Rottige Meente en De Deelen. Wel werd op alle onderzoekslocaties de waterbodemhoogte voor en na de droogval ingemeten.

Processen krimp, klink en oxidatie

Bij het ontwateren van veengrond kunnen krimp, klink en oxidatie optreden. Hoewel het gaat om specifieke processen worden deze termen in de praktijk, vaak in combinatie met de term bodemdaling, door elkaar heen gebruikt. Krimp, klink en oxidatie zijn strikt genomen niet alleen van toepassing op veenbodems, maar bereiken daar wel de grootste effecten. Deze effecten kunnen grote gevolgen hebben voor bebouwing, infrastructuur en waterhuishouding. Bij het ontwateren van veen is het van belang of dit in het verleden al eerder is opgetreden. De effecten die optreden zijn voor een deel onomkeerbaar en beïnvloeden de sterkteparameters van de veenbodem. Zodoende laten veranderingen in de waterhuishouding permanent sporen na in de bodem. Veranderingen die al eerder in een veenbodem zijn opgetreden door ontwatering beïnvloeden hiermee ook de effecten die op kunnen treden bij volgende ontwatering of droogvalperiode. De grootste effecten van tijdelijke droogval zijn te verwachten in bodems die nog niet eerder werden blootgesteld aan ontwatering.

Klink treedt op bij een diepere ontwatering van veengrond. Bij peilverlaging komt een deel van het veenpakket boven het grondwaterniveau. Door het wegvallen van de opwaartse druk van het grondwater drukt de bovengrond nu veel sterker op de ondergrond. Hierdoor wordt de onderliggende veen of slappe kleibodem samengeperst, waardoor het gehele pakket daalt. Het resultaat is bodem- of maaiveld daling.

Krimp is een geheel ander proces. Bij ontwatering en sterke uitdroging van veen verandert de structuur en de samenstelling. Hierdoor krimpt het veen en neemt het soortelijk gewicht toe (kg/l bodem). Deze veranderingen zijn grotendeels onomkeerbaar.

Veen ontstaat als de opbouw van organisch materiaal groter is dan de afbraak. De afwezigheid van zuurstof is de belangrijkste factor in de remming van de afbraaksnelheid. Bij tijdelijke droogval wordt de veenbodem juist blootgesteld aan zuurstof. Hierdoor zal de oxidatie of afbraak van het veen versnellen. De snelheid en de omvang van oxidatie van veen is van meerdere factoren afhankelijk. Belangrijke factoren zijn de samenstelling en omvang van de microbiële gemeenschap en de afbreekbaarheid van het veen.

Bodemopbouw en grondparameters

Voor het modelleren van de veldsituaties werd een nauwkeurige analyse van de bodemopbouw uitgevoerd (tabel 6.9. en 6.10). Hiertoe werden bodemsonderingen uitgevoerd, aangevuld met laboratoriumonderzoek.

TABEL 6.9. BODEMOPBOUW EN GRONDPARAMETERS ROTTIGE MEENTE

GRONDSOORT	B.K. LAAG [NAP M]	Γ / G_{SAT} [KN/M ³]	Φ' [°]	C' [KPA]	C_p [-]	C'_p [-]	C_s [-]	C'_s [-]	C_v [M ² /S]
toplaag veen / klei*	- 1,7	10,2 / 10,9	17,9	2,4	18,5	6,4	129	325	2,5*10 ⁻⁷
veen*	- 2,0	9,5 / 10,0	17,9	2,4	16,4	5,6	54	102	7,9*10 ⁻⁶
zand, fijn, matig gepakt	- 4,0	18,6 / 19,1	27,0	0,0	1800	600	∞	∞	1,0*10 ⁻¹
leem, zandig, slap	- 7,5	19,0 / 19,0	27,5	0,0	75	25	1950	650	1,0*10 ⁻⁷
zand, fijn, matig gepakt	- 12,0	18,0 / 20,0	27,0	0,0	1800	600	∞	∞	1,0*10 ⁻¹
leem, zandig, vast	- 19,0	21,0 / 21,0	27,0	2,5	210	70	5700	1900	1,0*10 ⁻⁴
zand, vast gepakt	- 25,5	19,0 / 21,0	32,5	0,0	3000	1000	∞	∞	1,0*10 ⁻¹

TABEL 6.10. BODEMOPBOUW EN GRONDPARAMETERS DE DEELLEN

GRONDSOORT	B.K. LAAG [NAP M]	Γ / G_{SAT} [KN/M ³]	Φ' [°]	C' [KPA]	C_p [-]	C'_p [-]	C_s [-]	C'_s [-]	C_v [M ² /S]
toplaag veen*	+ 0,1	10,1 / 11,0	24,9	1,2	78,6	4,5	431	73	1,8*10 ⁻⁶
veen, slap*	- 0,2	9,5 / 10,3	24,9	1,2	23,6	6,9	83	165	1,6*10 ⁻⁶
zand, stoorlaagjes, los	- 2,0	18,0 / 18,7	27,0	0,0	600	200	∞	∞	1,0*10 ⁻¹
klei, sterk siltig	- 6,5	18,0 / 18,0	27,5	0,0	75	25	960	320	1,0*10 ⁻⁷
zand, zeer vast gepakt	- 10,0	19,0 / 21,0	35,0	0,0	3000	1000	∞	∞	1,0*10 ⁻¹
leem, sterk zandig	- 18,0	19,0 / 19,0	27,5	0,0	210	70	5700	1900	1,0*10 ⁻⁴
zand, vast gepakt	- 23,0	19,0 / 21,0	35,0	0,0	3000	1000	∞	∞	1,0*10 ⁻¹

g	: volumiek gewicht bij natuurlijk vochtgehalte	[kN/m ³];
g_{sat}	: volumiek gewicht bij volledige verzadiging	[kN/m ³];
ϕ'	: effectieve hoek van inwendige wrijving	[°];
c'	: effectieve cohesie	[kPa];
C_p	: primaire samendrukkingscoëfficiënt voorbelast gedrag	[-];
C'_p	: primaire samendrukkingscoëfficiënt maagdelijk gedrag	[-];
C_s	: secundaire samendrukkingscoëfficiënt voorbelast gedrag	[-];
C'_s	: secundaire samendrukkingscoëfficiënt maagdelijk gedrag	[-];
c_v	: consolidatiecoëfficiënt	[m ² /s].

Parameters van de grondlagen gemarkeerd met een asterisk werden bepaald in het laboratorium (Wiertsema, 2012). De overige parameters werden bepaald op basis van tabel 2.b uit de nationale bijlage van Eurocode 7. Voor het bepalen van de representatieve volumegewichten en samendrukkingsparameters, werd gebruik gemaakt van lineaire regressie. De representatieve waarden voor de hoek van inwendige wrijving en cohesie werden eveneens bepaald met lineaire regressie.

Opvallend bij de laboratoriumresultaten was dat de gemeten C_s bij maagdelijk gedrag hoger bleek dan bij voorbelast gedrag. Dit werd veroorzaakt doordat de belastingstappen dusdanig klein waren dat de grond stijver reageerde naarmate deze verder belast werd.

Oppervlakte- en grondwaterstanden

De gehanteerde waterstanden in de berekeningen werden gebaseerd op de metingen die zijn uitgevoerd voor, tijdens en na de tijdelijke droogval (tabel 6.11 en 6.12).

TABEL 6.11. WATERSTANDEN LOCATIE ROTTIGE MEENTE

OMSCHRIJVING	DIMENSIE	
Winterpeil	-0,85	[m NAP]
Zomerpeil	-1,0	[m NAP]
actuele waterstand voor droogval	-1,0	[m NAP]
gemiddeld peil tijdens droogval	-2,0	[m NAP]
grondwaterstand tijdens droogval	-1,0	[m NAP]

TABEL 6.12. WATERSTANDEN LOCATIE DE DEELLEN

OMSCHRIJVING	DIMENSIE	
Streefpeil	-0,9	[m NAP]
actuele waterstand voor droogval	-1,0	[m NAP]
gemiddeld peil tijdens droogval	-2,4	[m NAP]
grondwaterstand tijdens droogval	-1,5	[m NAP]

Uit de peilbuismetingen bleek dat de waterstand in de oever tijdens de droogvalperiode redelijk steil verliep van het droogvalpeil naar de oorspronkelijke grondwaterstand.

Veldonderzoeksresultaten

In deze paragraaf wordt ingegaan op resultaten van doorlatendheidsmetingen, zettingsmetingen en de waterspanningsmetingen.

In situ doorlatendheidsmetingen

Na uitvoering van de boringen waarbij grond voor nader onderzoek werd verzameld werden in de boorgaten doorlatendheidsmetingen uitgevoerd. De metingen gaven een beeld van de waterdoorlatendheid van de venige ondergrond (Wiertsema, 2012).

De boringen werden zowel voor als na de droogvalperiode uitgevoerd. Dit werd enerzijds gedaan om een goed beeld te krijgen van de invloed van de droogval op de gemeten parameters uit de grondmonsters en anderzijds om een beeld te krijgen van de invloed van de droogval op de doorlatendheid van de ondergrond. De boringen werden op beperkte afstand van de oevers uitgevoerd en gaven een representatief beeld van de bodemopbouw en de bijbehorende parameters in de oever (tabel 6.13 en 6.14).

TABEL 6.13. RESULTATEN DOORLATENDHEIDSMETINGEN ROTTIGE MEENTE

TIJDSTIP METINGEN	B-5 / B-100	B-6 / B-101	B-7 / B-102	B-8 / B-103
	K-WAARDE [M/D]	K-WAARDE [M/D]	K-WAARDE [M/D]	K-WAARDE [M/D]
voor droogval	0,038	mislukt	0,038	0,10
na droogval	1,02	0,10	mislukt	0,44

TABEL 6.14. RESULTATEN DOORLATENDHEIDSMETINGEN DE DEELLEN

TIJDSTIP METINGEN	B-1A / B-104	B-2 / B-105	B-3 / B106	B-4A / B-107
	K-WAARDE [M/D]	K-WAARDE [M/D]	K-WAARDE [M/D]	K-WAARDE [M/D]
voor droogval	0,29	0,26	0,24	0,095
na droogval	1,68	0,11	0,26	0,21

k-waarde: maat voor de doorlatendheid van de bodem uitgedrukt in meters per dag [m/d].

Uit de doorlatendheidsmetingen bleek dat:

1. De doorlatendheid van de veengrond in De Deelen groter was dan in de Rottige Meente;
2. De structuur van de bodem veranderde door de droogval. Dit bleek uit het feit dat de doorlatendheid na de droogval anders was dan de doorlatendheid vóór de droogval. In de meeste gevallen werd de doorlatendheid groter.

De sterkte van de grond en dan met name de cohesie van veengrond, hangt samen met het vochtgehalte. Bij een lager vochtgehalte zal de grond zwakker worden doordat de cohesie is afgenomen. Uit de doorlatendheidsproeven leek het beeld te ontstaan dat na de droogvalperiode de structuur van de grond dusdanig veranderde dat de grond doorlatender werd. Dit betekende dat de grond bij een volgende droogval of uitdroging veel sneller zou kunnen uitdrogen waardoor de kans op schade aan de oevers toeneemt. Dit betekent dat indien besloten zou worden de droogval nogmaals te laten plaatsvinden, de sterkteparameters van de grond opnieuw moeten worden vastgesteld in het laboratorium om eventueel optreden van schade in te kunnen schatten. Dit geldt niet voor klei- en zandgronden.

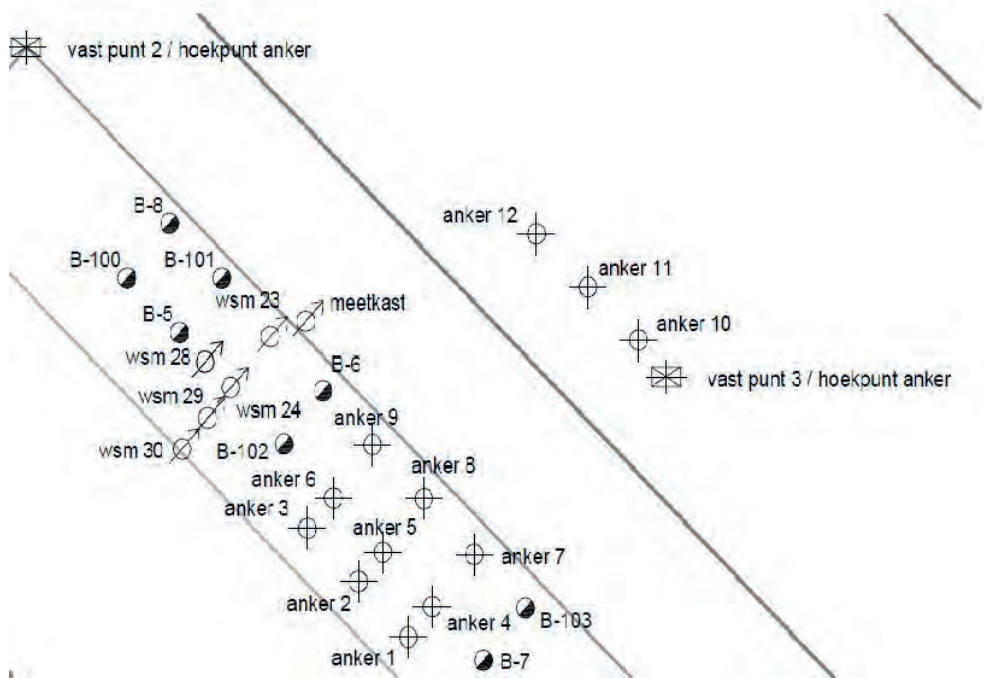
Zettingsmetingen

Verlaging van de waterstand zorgt voor een toename van de korrelspanning. Door de toename van korrelspanning neemt de druk op de onderliggende bodemlagen toe. Hierdoor wordt het grondwater als het ware uit de poriën van de grond geperst. Samen met de oxidatie van het drooggevallen gedeelte van het veen, leidt dit tot maaiveldddaling. Maaiveldddaling kan mogelijk schade veroorzaken aan bebouwing of infrastructuur. In De Deelen en de Rottige Meente werden zakbakens geplaatst om maaiveldddaling te kunnen monitoren (figuur 6.55 en 6.56).

Zetting in veen- en ook kleigebieden is een proces wat jaren duurt. De gangbare rekenmodellen gaan uit van een zettingsperiode van 30 jaar. Dit komt door de slechte waterdoorlatendheid van veen en klei gronden. Droogval beslaat een relatief korte periode binnen de zettingsperiode van 30 jaar. De zettingen waren daarom ook relatief laag (tabel 6.15 en 6.16).

Door het wegpersen van poriënwater ontstaat maaiveldzakking. Uit de gemeten zakkingsverschillen bleek ook dat de grond weer zwol naarmate de poriën volstroonden bij het stoppen van de droogval (tabel 6.15 en 6.16). Het maaiveld zal nooit meer het initieel niveau bereiken doordat een klein gedeelte van de grond werd geoxideerd gedurende de droogvalperiode.

FIGUUR 6.55. LOCATIES ZAKBAKENS EN BORINGEN ROTTIGE MEENTE (WIERTSEMA, 2012)



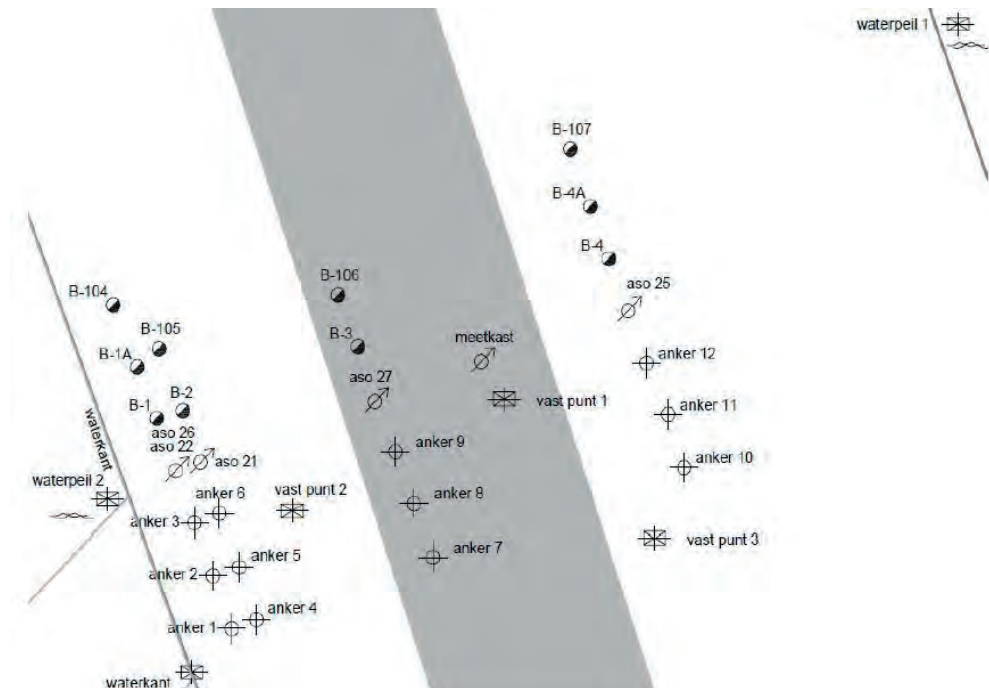
Verder bleek uit de zakkingsmetingen dat de invloed van de waterstandsverlaging redelijk klein was. Bij de zakbaak op 10 m was de zakking nagenoeg 0. De relatie tussen de hoogte van de verlaging is evenredig met het invloedsgebied van de zakking. Dit komt doordat er een directe relatie is tussen de grondwaterstand en de maaiveldzakking.

TABEL 6.15. HOOGTE METINGEN ZAKBAKENS ROTTIGE MEENTE.

ZAKBAAK	0-METING	AFSTAND PETGAT	VERSCHIL [M]	VERSCHIL [M]	VERSCHIL [M]	VERSCHIL [M]
NO	[M NAP]	[M]	17-8-2011	13-9-2011	28-10-2011	13-1-2011
1	-0,460	0,5	0,034	0,038	0,021	0,006
2	-0,592	0,5	0,025	0,028	0,013	0,003
3	-0,562	0,5	0,017	0,019	0,009	0,002
4	-0,454	1,0	0,034	0,039	0,025	0,006
5	-0,537	1,0	0,027	0,030	0,019	0,005
6	-0,590	1,0	0,016	0,019	0,011	0,003
7	-0,571	2,0	0,029	0,035	0,031	0,010
8	-0,575	2,0	0,018	0,023	0,020	0,006
9	-0,668	2,0	0,008	0,010	0,008	0,004
10	-0,651	5,3	-0,001	0,000	0,000	0,003
11	-0,677	5,3	0,000	0,000	0,000	0,004
12	-0,746	5,3	0,000	0,000	0,000	0,002

De maaiveldzakking volgt als het ware de grondwaterstand. Bij voldoende bodemonderzoek vooraf is een goede inschatting te maken van het verloop van de grondwaterstand van droogval naar oorspronkelijk. Aan de hand hiervan is op voorhand een redelijke voorspelling te doen van het invloedsgebied van de zakking.

FIGUUR 6.56. LOCATIES ZAKBAKENS EN BORINGEN DE DEELLEN



TABEL 6.16. HOOGTE METINGEN ZAKBAKENS DE DEELLEN

ZAKBAAK NO	0-METING [M NAP]	AFSTAND PETGAT [M]	VERSCHIL [M] 17-8-2011	VERSCHIL [M] 13-9-2011	VERSCHIL [M] 28-10-2011	VERSCHIL [M] 13-1-2011
1	-0,765	1,0	0,057	0,067	0,080	0,067
2	-0,797	1,0	0,041	0,045	0,048	0,039
3	-0,867	1,0	0,013	0,014	0,015	0,012
4	-0,712	1,5	0,042	0,050	0,059	0,042
5	-0,756	1,5	0,035	0,040	0,044	0,035
6	-0,775	1,5	0,012	0,012	0,014	0,013
7	-0,682	5,0	0,019	0,023	0,029	0,015
8	-0,753	5,0	0,015	0,017	0,020	0,013
9	-0,836	5,0	0,006	0,004	0,006	0,004
10	-0,679	10,0	0,006	0,007	0,011	-0,001
11	-0,742	10,0	0,005	0,005	0,006	0,001
12	-0,784	10,0	0,002	0,000	0,001	0,000

Waterspanningsmetingen

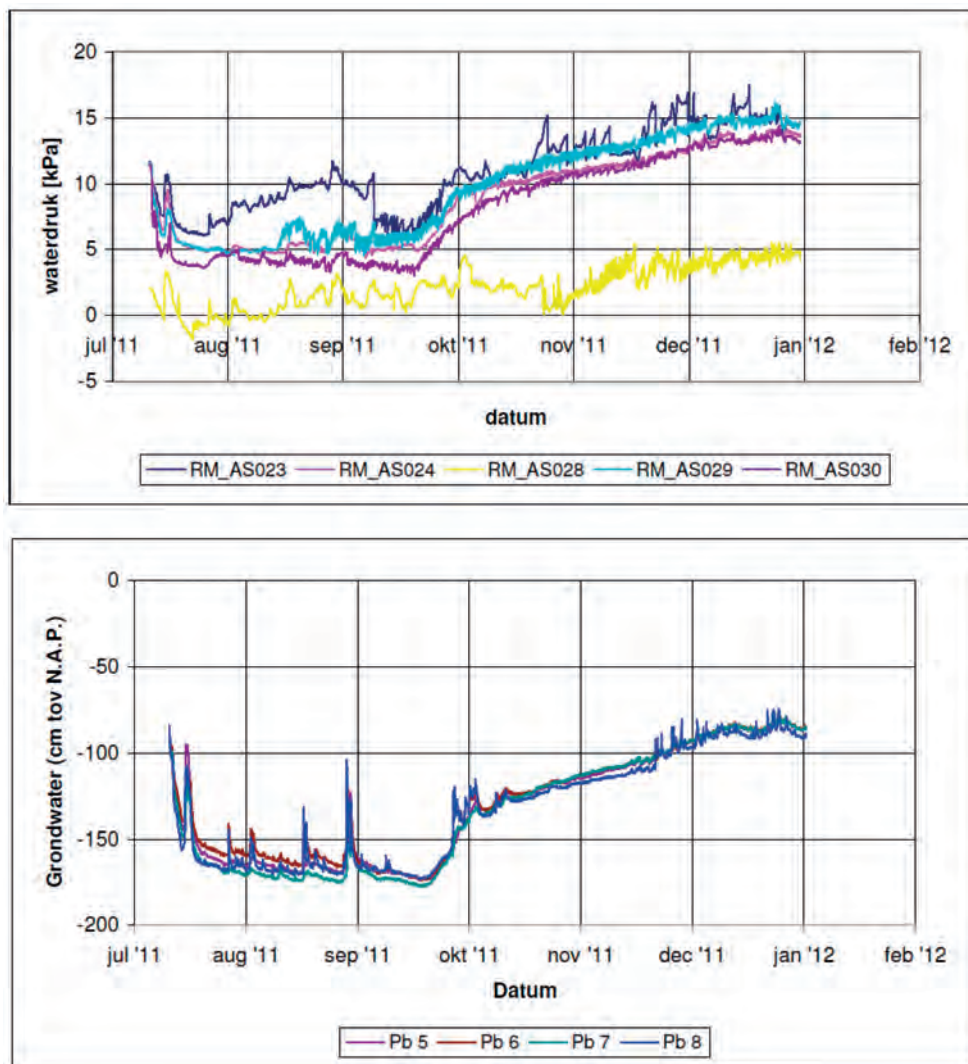
In de ondergrond bevinden zich tussen de vaste bodemdeeltjes poriën. Deze poriën kunnen gevuld zijn met gassen of grondwater. Tussen de bodemdeeltjes heerst een spanningsverschil dat afhankelijk is van de ruimte en vochttoestand tussen de bodemdeeltjes. Doorgaans neemt de waterspanning met de diepte toe en verloopt hydrostatisch. In bijzondere gevallen is het verloop niet hydrostatisch. Er is dan sprake van wateroverspanning of wateronderspanning.

Aan de hand van waterspanningsmetingen kan bepaald worden met welke snelheid de waterspanning tussen de poriën reageert op de daling of stijging van de grondwaterstand. Dit is belangrijk om te monitoren omdat een verhoogde waterdruk ten opzichte van de waterstand duidt op een wateroverspanning. Door een wateroverspanning neemt de korrelspanning af waardoor de kans op maaiveldzinking en het bezwijken grondlichamen groter wordt.

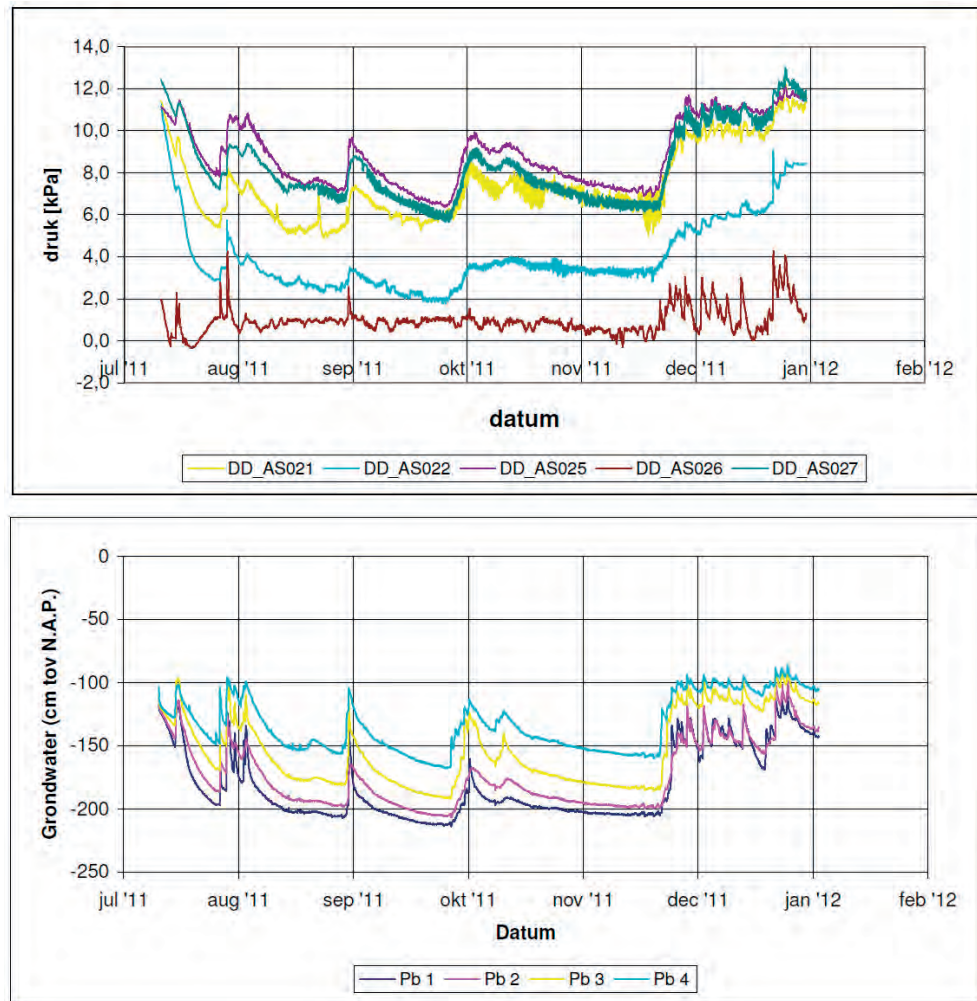
Uit de vergelijking van de waterspanning met de grondwaterstand in de peilbuizen bleek voor zowel De Deelen als de Rottige Meente dat de waterspanning de waterstand snel volgde (figuur 6.57 en 6.58). Hierdoor was de kans op wateroverspanning klein en de kans op oeverinstabiliteit daarmee ook klein. De weergegeven pieken in de grondwaterstand, tijdens de droogval werden veroorzaakt door neerslag.

De waterspanningsmeters RM_AS028 van de Rottige Meente en DD_AS026 van De Deelen weken af van het beeld wat te zien was bij de andere waterspanningsmeters en reageerden niet op de droogval. Dit kwam doordat de waterspanningsmeters ondiep geplaatst waren boven de initiële grondwaterstand. Omdat toch enige waterdruk gemeten werd kon met enige voorzichtigheid geconcludeerd worden dat de bodem boven de grondwaterstand gedurende de proef vochtig bleef wat gunstig is voor de cohesie en stabiliteit van de bodem.

FIGUUR 6.57. VERGELIJK WATERDRUK MET GRONDWATERSTAND ROTTIGE MEENTE



FIGUUR 6.58. VERGELIJK WATERDRUK MET GRONDWATERSTAND DE DEELN



Zettingen

Zettingen kunnen vooraf berekend worden en tijdens een ingreep daadwerkelijk gemeten. In dit onderzoeksproject zijn beide uitgevoerd om een beeld te krijgen van de betrouwbaarheid van berekeningen die vooraf worden uitgevoerd voor potentieel kansrijke locaties om droogval toe te passen.

Voor De Deelen en de Rottige Meente werd rekening gehouden met een belastingsperiode van 150 dagen. Deze periode komt ongeveer overeen met de periode waarin sprake was van droogval en/of een zeer laag oppervlaktewaterpeil.

Voor de zettingsberekening voor de Rottige Meente werd rekening gehouden met een grondwaterstandsverlaging van 70 cm in de oever, gebaseerd op de waarnemingen in peilbuis 7. Peilbuis 7 was op 0,5 m vanaf de oever gesitueerd en liet de grootste grondwaterstandsverlaging zien. Hieruit volgde een belasting van 7 kPa welke met het verloop van de grondwaterstand afnam naar 0. Omdat de stalen damwand in de Rottige Meente een belemmering vormde voor een natuurlijk verloop van de grondwaterstand werd op basis van de peilbuismetingen in De Deelen het verloop van de grondwaterstand naar oorspronkelijk niveau bepaald.

Voor De Deelen werd uitgegaan van een grondwaterstandsverlaging van 100 cm, gebaseerd op waarnemingen in peilbuis 1. Peilbuis 1 was op 0,5 m uit de oever geplaatst en liet voor De Deelen de grootste grondwaterstandsverlaging zien. Uit de verlaging van 1 m volgde een belasting op het onderliggende veenpakket van 10 kPa. De belasting verliep naar 0 over een afstand van 15 m. De afstand van 15 m volgde uit de peilbuisgegevens. Bij peilbuis 4 op 10 m afstand was nog een zeer kleine daling van grondwaterstand te zien als gevolg van de droogval. Op basis hiervan werd geconcludeerd dat het effect van de droogval op ongeveer 15 m uit de oever niet meer merkbaar was.

TABEL 6.17. RESULTATEN ZETTINGSBEREKENINGEN

LOCATIE	BEREKENDE ZETTING [M]	GEMETEN ZETTING [M]	VERSCHIL [M]
Rottige Meente	0,441	0,035	0,406
De Deelen	0,172	0,080	0,092

Uit de berekeningen volgde zettingen die vele malen hoger bleken dan in werkelijkheid optraden. De gemeten laboratorium parameters C_p en C_s gaven een vertekend beeld van de zettingen. Vermoedelijk werd dit veroorzaakt door de relatief lage belastingen. Voor het bepalen van de zettingen bij droogval zou gezocht moeten worden naar een andere methode die is afgestemd op de zeer lage belastingen die hierbij voorkomen.

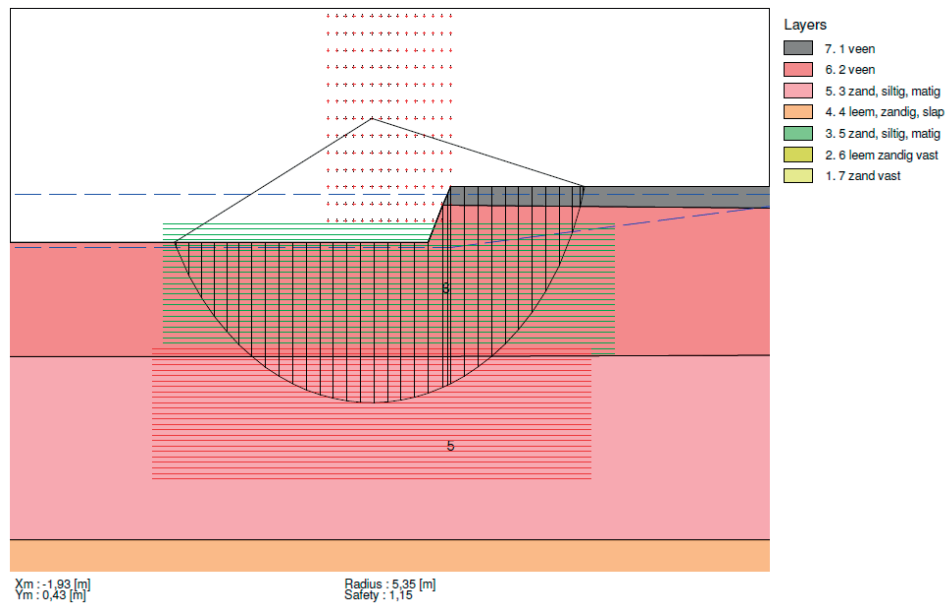
Stabiliteit

De stabiliteitsberekeningen werden uitgevoerd op basis van de sterkte van de grond bij 20% rek en bij maximale rek. Bij de maximale rek is de vervorming het grootst en is de grond het sterkst. In de berekeningen werden geen bovenbelastingen meegenomen omdat dit in de praktijk tijdens de proeven ook niet het geval was. Doel van de berekeningen was de werkelijkheid zo dicht mogelijk te benaderen. Om deze reden werd gebruik gemaakt van karakteristieke parameters voor de veenlagen en niet van de rekenwaarden.

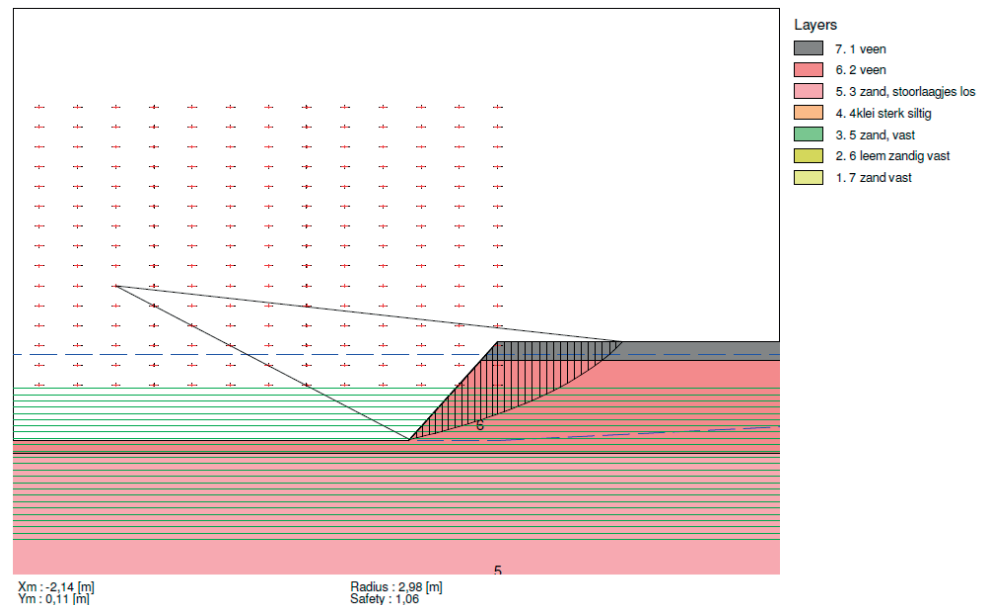
In figuur 6.59 en 6.60 zijn de kritische glijcirkels weergegeven voor de berekeningen bij maximale rek voor beide locaties. Uit de berekeningen bleek dat de oevers bezwijken bij gebruikmaking van de parameters behorende bij 20% rek van de grond. Bij verdere toename van de rek reageerde de grond sterker. Dit blijkt ook uit de berekeningen. Bij berekening met maximale rek blijven de oevers stabiel. In het veld bleek dat met name in De Deelen relatief grote vervormingen optraden.

Voor het inschatten van de eventuele schade bij een volgende droogval in dezelfde gebieden moet de situatie waarbij maximale rek optreedt beschouwd worden en beoordeeld worden of dit acceptabel is.

FIGUUR 6.59. BEZWIJKCIRKEL ROTTIGE MEENTE - MAXIMALE REK



FIGUUR 6.60. BEZWIJKCIRKEL DE DEELLEN - MAXIMALE REK



Effecten op waterbodemhoogte

Als een water tijdelijk droogvalt kan de waterbodem als gevolg van de ontwatering in volume afnemen, uitdrogen en in hoogte afnemen. Om het effect van tijdelijke droogval op plassen met veen-, zand en kleibodem vast te stellen werd de bodemhoogte voor en na de droogvalperiode ingemeten.

Opvallend voor alle locaties was dat de bodemhoogte binnen een locatie na droogval zowel toe als af kon nemen. Een toename van de bodemhoogte was deels te verklaren door nivellering van de bodem. Bij droogval zakt de slappe waterbodem uit van hoger naar lager gelegen delen. Hierdoor nam de bodemhoogte op de lager gelegen delen toe. Mogelijk dat de toename ook veroorzaakt werd door opdrijven van geoxideerd slib. De bodemstijging zoals die in Lalleweer en Woudbloem met name werd geconstateerd kan evenwel het gevolg

zijn van de wijze waarop de metingen werden uitgevoerd. Omdat de bodemhoogte onder water werd bepaald, was het bijvoorbeeld niet goed mogelijk om op precies dezelfde locaties terug te meten. Daarbij werd de bodemhoogte in meters NAP bepaald ten opzichte van het waterpeil in plaats van een vast ijkpunt.

Lalleweer

In Lalleweer veranderde de bodemhoogte nauwelijks (figuur 6.61). In bepaalde delen leek de waterbodemhoogte iets af te nemen, maar op de meeste locaties nam de bodemhoogte toe. In Lalleweer is het centraal gelegen deel, dat in figuur 6.57 blauw is weergegeven vrijwel de gehele droogvalperiode nat/vochtig gebleven.

FIGUUR 6.61. HOOGTE WATERBODEM VOOR EN NA DROOGVAL (M NAP) IN DE PLAS LALLEWEER.



Woudbloem

In Woudbloem leek tegen de verwachting in sprake te zijn van een toename van de bodemhoogte (figuur 6.62). Voor het centrale deel kon dit verklaard worden door aanvoer van materiaal vanuit de hoger gelegen randen. Echter, dit leek niet het geval te zijn omdat ook in de randen sprake is van een toename van de bodemhoogte.

FIGUUR 6.62. VERSCHILKAART BODEMHOOGTE DE DEELN (ROOD= BODEMDALING, GROEN= BODEMSTIJGING, WIT= GEEN VERSCHIL)



Rottige Meente

In de Rottige Meente veranderde de bodemhoogte nauwelijks na de droogvalperiode (figuur 6.63). Hier leek vooral sprake te zijn van nivellering van de slappe veenbodern binnen het compartiment.

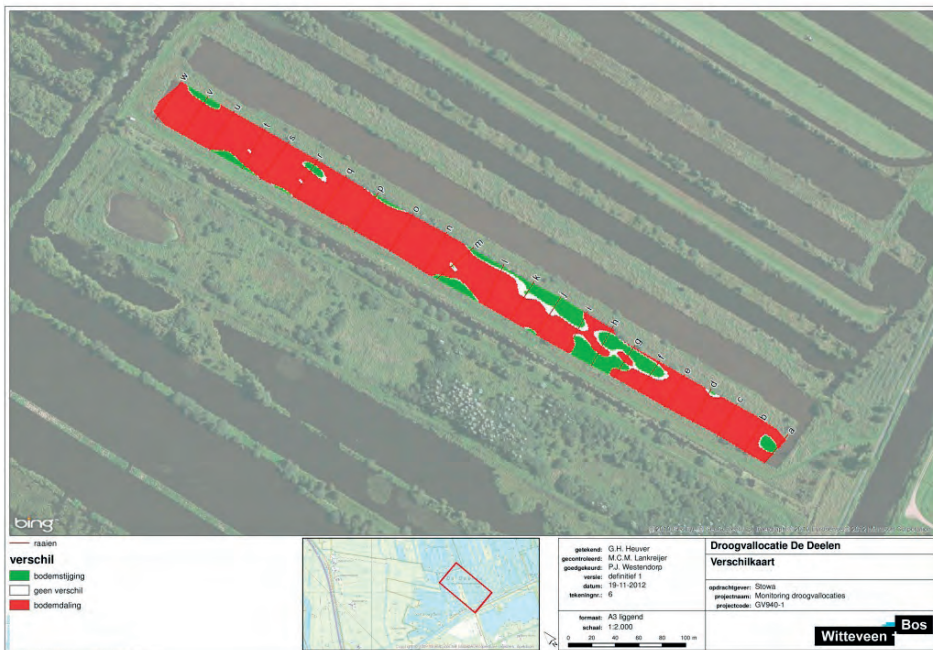
FIGUUR 6.63. VERSCHILKAART BODEMHOOGTE ROTTIGE MEENTE (ROOD= BODEMDALING, GROEN= BODEMSTIJGING, WIT= GEEN VERSCHIL)



De Deelen

In De Deelen leek de waterbodernhoogte niet sterk veranderd te zijn (Figuur 6.64). Over het geheel genomen leek de hoogte wat te zijn afgenomen.

FIGUUR 6.64. VERSCHILKAART BODEMHOOGTE DE DEELN (ROOD= BODEMDALING, GROEN= BODEMSTIJGING, WIT= GEEN VERSCHIL)



Deelconclusies geotechniek

Uit de veldmetingen bleek dat droogval in de betreffende veengebieden mogelijk was. De laboratoriumproeven en de berekeningen die aan de hand van de laboratoriumproeven werden uitgevoerd onderstrepen dit. Kanttekening hierbij was dat er relatief grote vervormingen optraden alvorens de grond haar maximale sterkte bereikte. Dit kwam naar voren uit de stabiliteitsberekeningen en werd met name ook zichtbaar in De Deelen.

De opgetreden maaiveldzakking direct aan de oever bedroeg maximaal 4 cm voor de Rottige Meente en maximaal 8 cm voor De Deelen. De berekende maaiveldzakkingen lagen echter vele malen hoger. In het vervolgtraject moet gezocht worden naar een geschikte methode om de zettingen te bepalen bij zeer lage spanningstoenames. Het invloedsgebied van de zakking is vooraf in te schatten door het verloop van de grondwaterstand te bepalen.

Op beide locaties is de oever niet bezweken door macro-instabiliteit. Echter, in De Deelen trad op sommige locaties wel micro-instabiliteit van de oever op en was er een langsscheur waarneembaar waaruit kon worden opgemaakt dat er mogelijk lokaal enig risico is geweest op het gedeeltelijk afschuiven van de legakker. Dit bleek ook uit de berekeningen waarbij de oever alleen stabiel blijft, uitgaande van sterkteparameters bij maximale rek.

De sterkteparameters bij de Rottige Meente waren lager dan bij De Deelen. Er werden echter geen symptomen van bezwijken waargenomen. Vooraf werd verwacht dat de smalle legakker in het compartiment zou bezwijken. Ook dit gebeurde niet. Oorzaken van het niet bezwijken van deze legakker waren mogelijk de hogere omgevingswaterstand en de lagere doorlatendheid van de grond waardoor de cohesie nauwelijks afnam. Verder had de veengrond in de Rottige Meente een hogere verweringsgraad en was daardoor beter in staat het water vast te houden. De cohesie neemt immers af naarmate grond uitdroogt. Het was aannemelijk dat ook de damwand een positief effect had op de stabiliteit van de oevers en met name op het zakkingsgedrag van het maaiveld. Alleen het maaiveld binnen de gesloten damwand is aan kleine maaiveldzakkingen onderhevig geweest.

In De Deelen beschikte de grond over een hogere gemeten sterkte. De legakkers waren in De Deelen bovendien een stuk breder dan in de Rottige Meente. Desalniettemin trad hier toch enige vorm van schade op. De oorzaken moesten gezocht worden in de hogere doorlatendheid van grond in combinatie met een groter waterstandsverschil tussen het drooggevallen petgat en de omringende wateren. Doordat de grond doorlatender was, nam de sterkteparameter cohesie ook sneller af waardoor tegen het eind van de droogvalperiode de oever instabieler werd. Dit kon een mogelijke verklaring zijn voor het ontstaan van de langsscheur.

De waterbodemoogte werd beïnvloed door de droogval. Lokaal leek sprake te zijn van het indrogen of inklinken van de waterbodem, met name in de veengebieden. Ook trad nivelering op door het uitzakken van de (slib)bodem. Hierdoor ontstond per locatie een diffuus beeld van lokaal toe- en afname van de waterbodemoogte. Bij de veenplassen werd aanvankelijk sterke inklinking verwacht. Echter, omdat sterke uitdroging van de bodems uitbleef trad dit proces niet of nauwelijks op en bleven grote veranderingen in de bodemoogte uit. De wijze waarop de waterbodemoogte werd bepaald is mogelijk foutgevoelig. De betrouwbaarheid van de resultaten is hierdoor moeilijk in te schatten.

6.4.3. WATER- EN BODEMKWALITEIT

Lalleweer

Eigenschappen waterbodem

De waterbodem van de plas Lalleweer bestaat uit zware marine klei. De klei in de bovenste 20 cm bevatte voor de droogval redelijk veel organische stof (7-9%) en bleek zeer rijk aan ijzer, calcium en magnesium (tabel 6.18). In figuur 6.61 geeft de blauwe lijn de concentratie organisch zwavel volgens Boyd (1970) aan. Grote positieve afwijkingen van deze lijn zijn waarschijnlijk indicatief voor de aanwezigheid van veel anorganisch zwavel in de bodem (sulfiden).

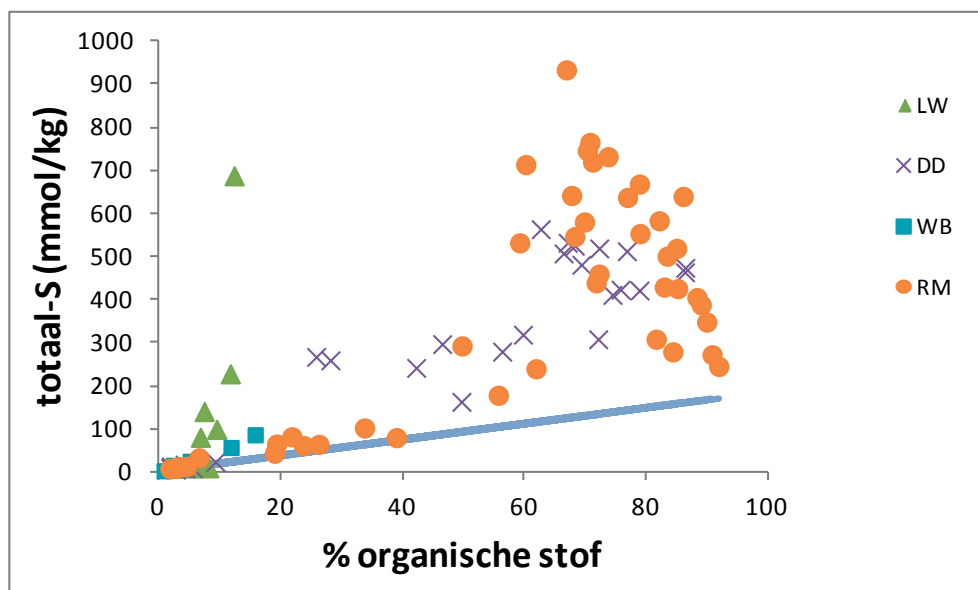
Door de marine oorsprong van de klei bevatte de waterbodem van Lalleweer relatief veel zwavel ten opzichte van organische stof. Dit betekende dat een groot deel van dit zwavel voor de droogvalperiode in anorganische vorm (sulfides) aanwezig was. Door de hoge ijzerconcentraties bleek ook dat een groot deel van het ijzer niet vastgelegd was aan deze sulfides (figuur 6.65). Ten opzichte van de hoeveelheid organische stof was veel stikstof in de bodem aanwezig. De reden hiervoor is dat klei in het algemeen veel ammonium kan binden.

In figuur 6.65. geeft de blauwe lijn de 1:2-verhouding van de hoeveelheid pyriet weer. Als alle ijzer als pyriet (FeS_2) aanwezig zou zijn (organisch zwavel verwaarloosd) zouden alle punten op deze lijn vallen. IJzerconcentraties onder deze lijn geven bodems weer waarin een deel van het ijzer vrij aanwezig was. In Lalleweer en in de zand- en kleilagen van de Rottige Meente was dus ook veel ijzer aanwezig dat niet in de vorm van sulfiden was vastgelegd.

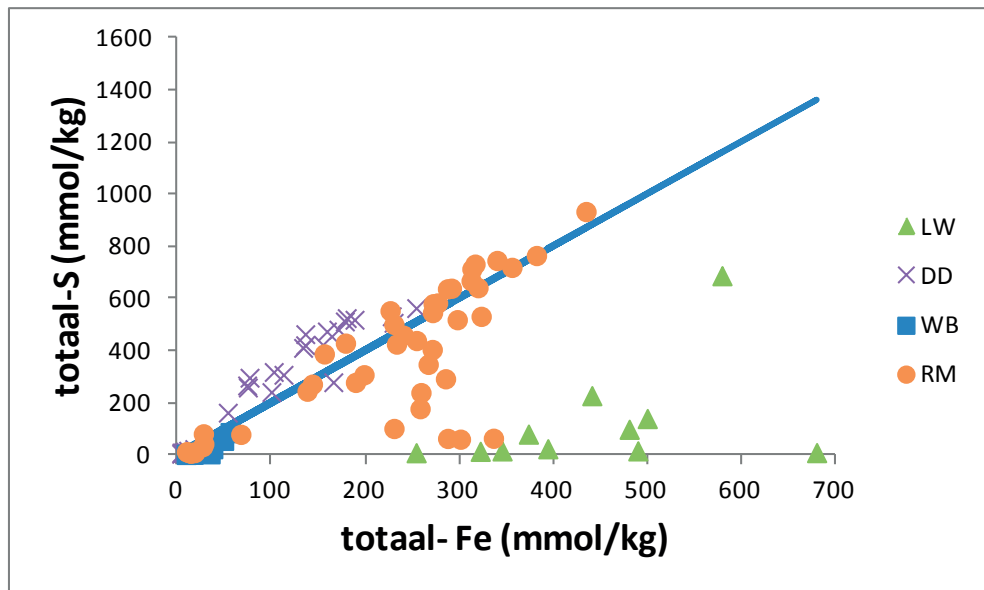
TABEL 6.18. SAMENSTELLING WATERBODEM VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER. CONCENTRATIES IN MMOL/KG DROOGGEWICHT. % OM= MASSA-PERCENTAGE ORGANISCHE STOF. TUSSEN HAAKJES DE STANDAARDFOUT.

BESCHRIJVING	% OM	AL	Ca	Mg	Fe	P	N	S
0-10 Klei	6,9 (0,3)	333 (16)	200 (67)	147 (8)	387 (31)	24 (5)	15 (2)	56 (24)
10-20 Klei	8,6 (1,1)	374 (41)	231 (85)	182 (29)	497 (71)	25 (5)	17 (5)	165 (132)

FIGUUR 6.65. VERHOUDING TUSSEN HET PERCENTAGE ORGANISCHE STOF IN DE BODEM EN DE CONCENTRATIE ZWAVEL IN DE BODEM. DE BLAUWE LIJN IS DE CONCENTRATIE ORGANISCH ZWAVEL VOLGENS BOYD (1970).



FIGUUR 6.66. VERHOUDING TUSSEN IJZER EN ZWAVEL IN DE BODEM. DE BLAUWE LIJN GEEFT DE 1:2-VERHOUDING WEER.



Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater van Lalleweer werd gekarakteriseerd als hard water met een hoge pH, en met veel bicarbonaat, calcium, magnesium en sulfaat (figuur 6.66). Het oppervlaktewater had voor de droogvalperiode een chlorideconcentratie van ongeveer 1800 $\mu\text{mol/l}$ (63 mg/l) en was dus zoet. De totaal fosforconcentratie was met circa 3 $\mu\text{mol/l}$ (0,09 mg/l) niet erg hoog. Ook de concentraties anorganisch stikstof waren relatief laag. Desondanks had de plas een slecht doorzicht met een secchidiepte tussen 10 en 30 cm.

FIGUUR 6.67. DE PLAS BIJ LALLEWEER VOOR (LINKS), TIJDENS (MIDDEN) EN NA (RECHTS) DE DROOGVALPERIODE.



Porievocht

Waargenomen effecten tijdens droogvalperiode

In de plas werd porievocht bemonsterd met drie rhizonsamplers die in de oeverzone of zeer ondiep in het water geplaatst waren: twee die ondiep in het water stonden en één rhizonsampler die in het diepste gedeelte van de plas stond. Het porievocht in de oeverzone bevatte hogere concentraties bicarbonaat, ijzer en calcium dan het porievocht van de diepere zone (figuur 6.68). Het porievocht in het diepste deel van de plas was in tegenstelling tot het porievocht in het ondiepere sediment licht brak. Tijdens de droogvalperiode daalde de pH en de concentratie bicarbonaat door zuurvormende aerobe oxidatieprocessen. De pH kwam in tegenstelling tot in het kolomexperiment echter niet onder de 5,5.

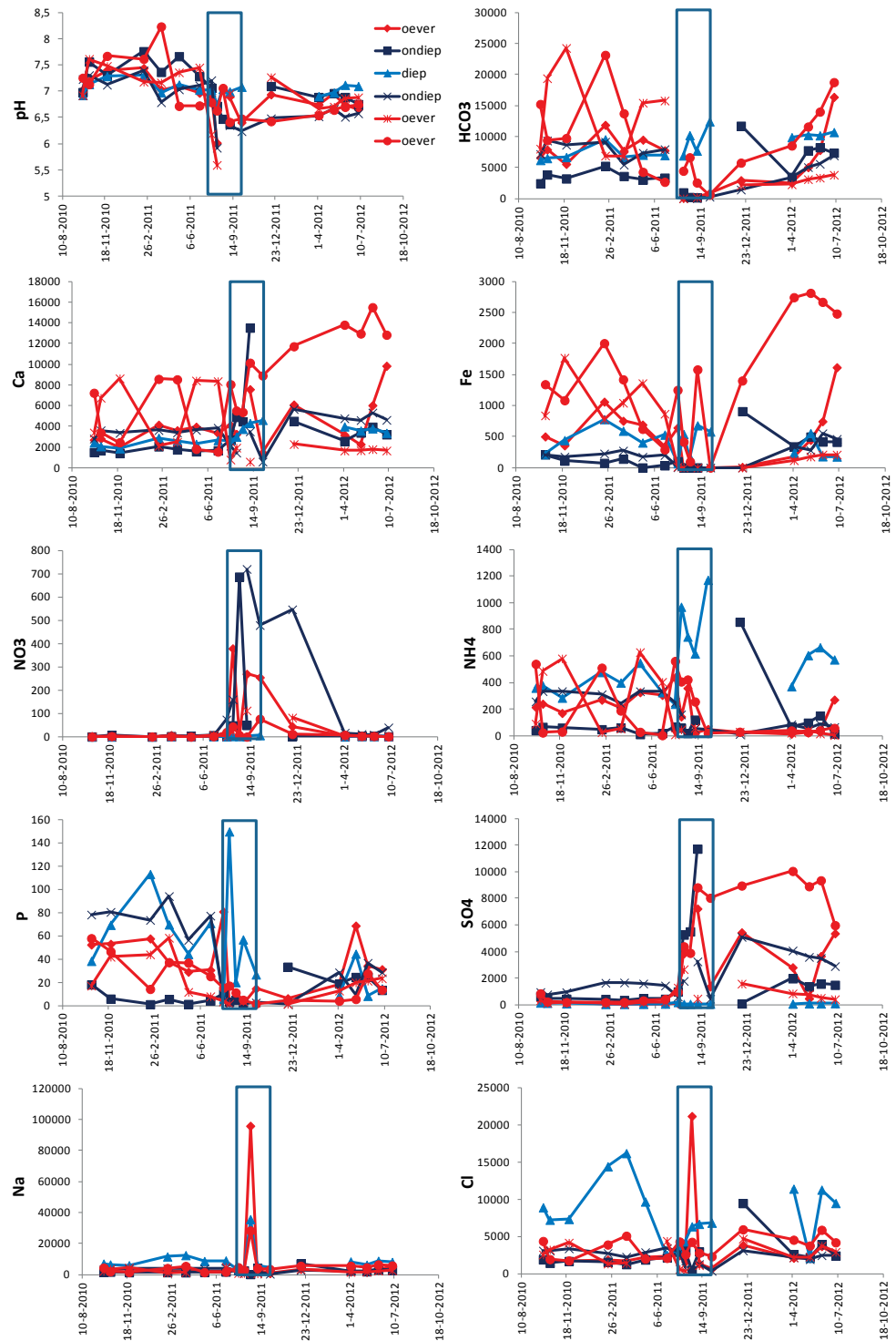
De ijzerconcentratie fluctueerde sterk tijdens de droogvalperiode. Dit werd veroorzaakt door de fluctuatie in het zuurstofgehalte waardoor ijzer wisselend in vaste geoxideerde vorm en opgeloste gereduceerde toestand aanwezig was. De oxidatie van sulfiden zorgde voor een

duidelijke en forse toename van de sulfaatconcentratie in het porievocht tot meer dan 8000 $\mu\text{mol/l}$ (circa 800 mg/l). De fosforconcentratie in het porievocht nam, met name in de ondiepe zones, sterk af door een verbeterde binding met ijzer. De ammoniumconcentratie, die voorafgaand aan de droogval erg hoog was, nam pas tegen het einde van de droogvalperiode af. In het porievocht van het diepste deel van de plas, waar de droogval het kortste geduurd heeft, nam de concentratie ammonium juist toe tijdens de droogvalperiode. Voorafgaand aan de droogvalperiode was de nitraatconcentratie in het porievocht erg laag door de lage redoxpotentiaal in de bodem. Tijdens de droogvalperiode nam de nitraatconcentratie door oxidatie van ammonium sterk toe in de oever en de waterbodem van de ondiepe delen van de plas. Op sommige locaties in de plas zorgde de droogval voor een tijdelijke stijging van de natriumconcentratie. Deze stijging van de natriumconcentratie ging niet samen met een evenredige stijging van de chlorideconcentratie en was waarschijnlijk te verklaren door uitwisseling van - bij oxidatie geproduceerde - waterstofionen tegen natrium aan het adsorptiecomplex van het sediment.

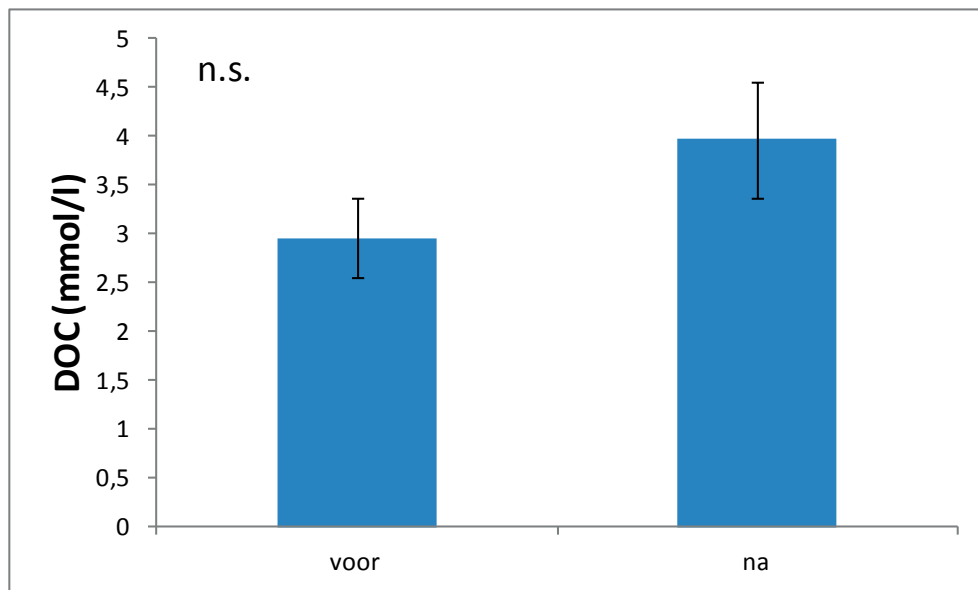
Waargenomen effecten na de droogvalperiode

Na afloop van de droogvalperiode nam de pH in het porievocht weer toe doordat anaerobe processen, waarbij zuur geconsumeerd werd, weer op gang kwamen. De pH bleef echter wel iets lager dan voor de droogval (tussen 6,5 en 7,0 in plaats van tussen 7,0 en 7,5). De bicarbonaatconcentratie nam wel weer toe, maar bleef in de oever toch iets lager dan voor de droogval. De waterbodem was dus aan het einde van het experiment nog niet zo gereduceerd als voorafgaand aan de droogval. Na de droogvalperiode vond er weer ijzerreductie plaats, waardoor de ijzerconcentratie (Fe^{2+}) in het porievocht weer toenam. De sulfaatconcentratie in het porievocht bleef op de meeste plekken hoger dan voor de droogval. Nog niet alle vrijgekomen sulfaat werd dus omgezet in sulfide. Doordat er daardoor minder ijzersulfides aanwezig waren dan voor de droogval, en meer geoxideerd ijzer dan voor de droogval, was de binding van fosfor beter dan voor de droogval. De fosforconcentraties in het porievocht lagen aan het eind van het experiment beneden 40 $\mu\text{mol/l}$, terwijl deze voor de droogval soms meer dan 80 $\mu\text{mol/l}$ waren. De natrium- en chlorideconcentraties in het porievocht waren iets hoger dan voor de droogval, maar lagen wel in het zoete bereik (behalve in het diepste deel van de plas). De DOC-concentratie in het porievocht leek wat toe te nemen na de droogval, maar deze toename was niet significant (figuur 6.69). Uit het kolomexperiment bleek dat de duur van de droogval van invloed is op de DOC-concentratie in het porievocht in Lalleweer: bij korte droogval nam deze toe en bij langere droogval weer af. In het veld hadden de verschillende delen van de plas een andere droogvalduur. Mogelijk was het effect van droogval in het veld daarom niet duidelijk.

FIGUUR 6.68 PORIEVOCHTCONCENTRATIES IN DE WATERBODEM EN OEVER VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



FIGUUR 6.69. DOC-CONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT VAN DE WATERBODEM EN DE OEVER VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER VOOR EN NA DE DROOGVALPERIODE.

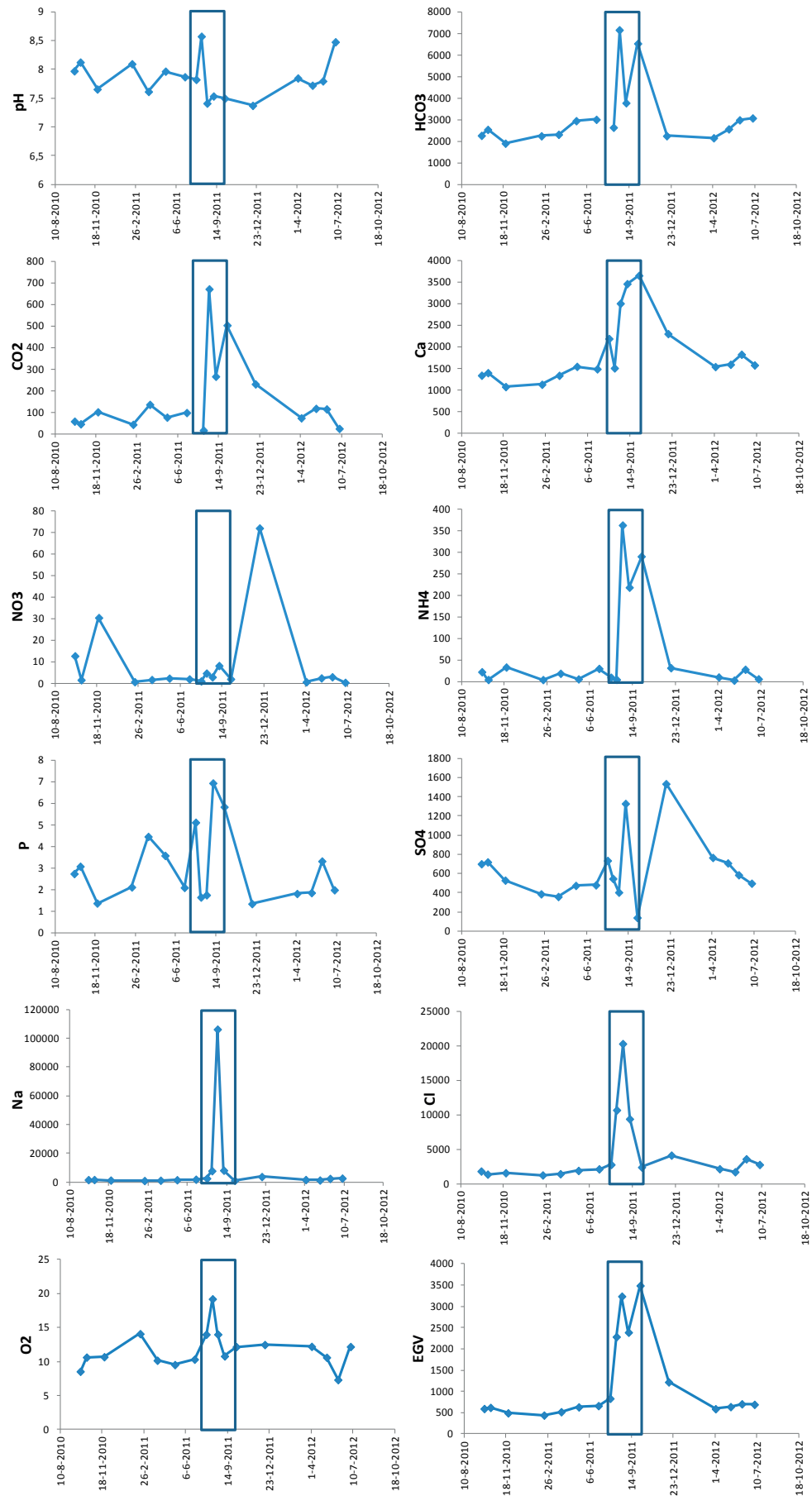


Oppervlaktewater

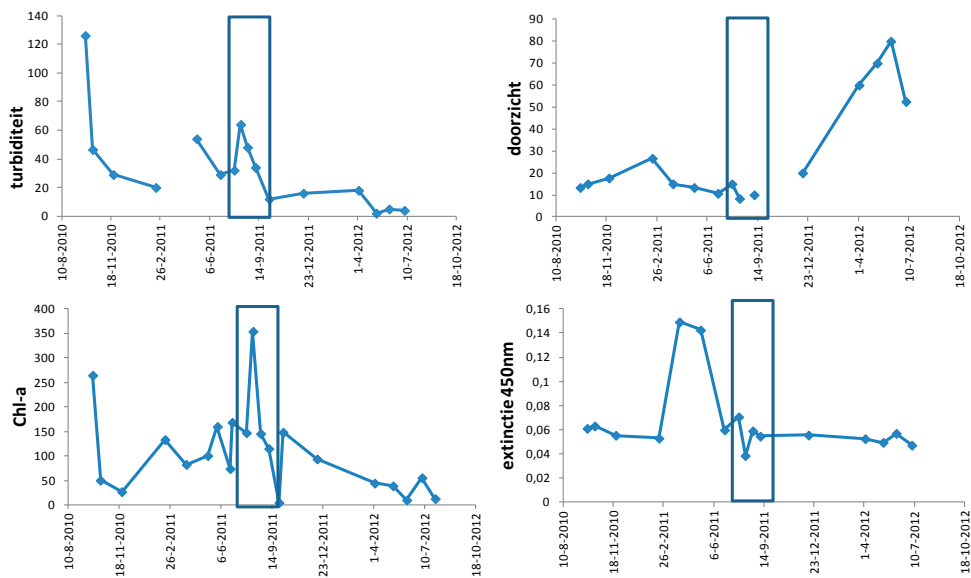
Tijdens de droogval was het overgebleven oppervlaktewater veel sterker gebufferd dan voorheen (circa 3x meer bicarbonaat) (figuur 6.68). Ook namen hierin de concentraties calcium, bicarbonaat, ammonium, fosfaat en natrium en chloride sterk toe tijdens de droogval (en daarmee ook de EGV). Het overgebleven oppervlaktewater was daardoor met concentraties boven 20 mmol Cl/l (700 mg/l) zelfs licht brak. Doordat er tijdens de droogval weinig water aanwezig was ten opzichte van het bodemoppervlak, werd de invloed van het sediment groter, waardoor de samenstelling van het oppervlaktewater meer op het porievocht ging lijken. Door de hoge zoutconcentratie van het poriewater tijdens de droogvalperiode wisselde ammonium van het adsorptiecomplex uit tegen natrium. Hierdoor kwam er tijdelijk veel ammonium vrij in het poriewater, dat voor een klein deel vervolgens naar de dunne laag oppervlaktewater diffundeerde. Nadat de plas weer gevuld was, verdween dit effect grotendeels. Na afloop van de droogvalperiode had het oppervlaktewater wel nog wat hogere natrium-, chloride- en calciumconcentraties.

Na de droogvalperiode nam de concentratie nitraat in de winter (2011/2012) veel sterker toe dan in de voorafgaande winter (2010/2011). Dit kwam waarschijnlijk door de omzetting van het ammonium dat tijdens de droogval in het oppervlaktewater terecht kwam en na afloop van de droogvalperiode werd genitrificeerd. De nitraat- en ammoniumconcentraties waren tijdens het groeiseizoen (2012) echter weer laag door opname door algen en planten en door denitrificatie. De fosforconcentratie bleef ongeveer even laag als voor de droogval. De turbiditeit van het water daalde sterk (figuur 6.71), waardoor het doorzicht ook sterk toenam van circa 15 cm naar meer dan 60 cm. Dit betekende dat er in een aanzienlijk deel van de plas in het groeiseizoen (2012) na de droogvalperiode (2011) sprake was van bodemzicht. De chlorofylconcentratie daalde na de droogval aanzienlijk. Waar er voor de droogvalperiode nog pieken tot 250 µg/l werden gemeten, bleef deze concentratie na de droogvalperiode in het voorjaar en de zomer van 2012 onder 50 µg/l. De voorjaarspiek in de extinctie die voor de droogvalperiode in 2011 werd gemeten, trad na de droogval in 2012 niet op.

FIGUUR 6.70. OPPEVLAKTEWATERKwalITEIT VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$, EGV IN $\mu\text{S/CM}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



FIGUUR 6.71. TURBIDITEIT IN PPM, DOORZICHT (SECCHIDIEPTE) IN CM, CHLOROFYL-A IN $\mu\text{G/L}$, EXTINCTIE BIJ 450 NM IN HET OPPERVLAKTEWATER IN DE PLAS BIJ LALLEWEER.



Bodem

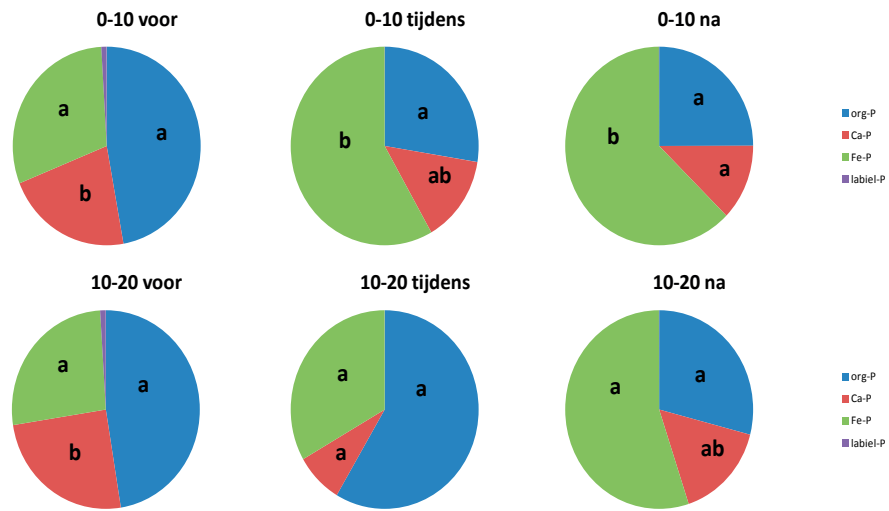
In de delen van de plas die wat langer droogvielen, consolideerde de klei en droogde deze zover in dat deze hard werd en er krimp-scheuren ontstonden (figuur 6.72). Het diepere deel van de plas viel slechts een korte periode droog waarbij de toplaag van de klei veel slapper bleef.

FIGUUR 6.72. INGEDROOGDE KLEI MET KRIMPSCHEUREN AAN HET EINDE VAN DE DROOGVALPERIODE IN DE PLAS BIJ LALLEWEER.



Uit de porievochtanalyses bleek dat fosfor tijdens en na de droogvalperiode sterker werd vastgelegd aan de bodem. Dit leidde tot een verhoging van de absolute en relatieve concentratie ijzergebonden fosfor en een afname van de concentratie labiel gebonden fosfor (figuur 6.73). De concentratie calcium-gebonden P nam weliswaar in relatieve zin af, maar niet in absolute zin. De droogval leek dus weinig effect te hebben op deze fractie.

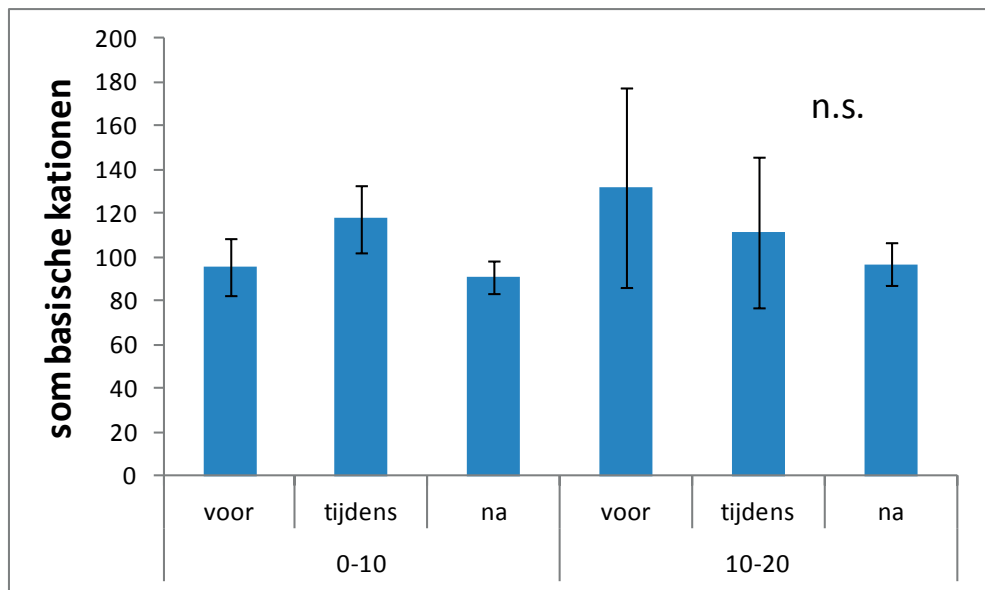
FIGUUR 6.73. VERDELING VAN FOSFORFRACTIES IN DE BODEM VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE OP 0-10 (BOVEN) EN 10-20 CM DIEPTE (ONDER).



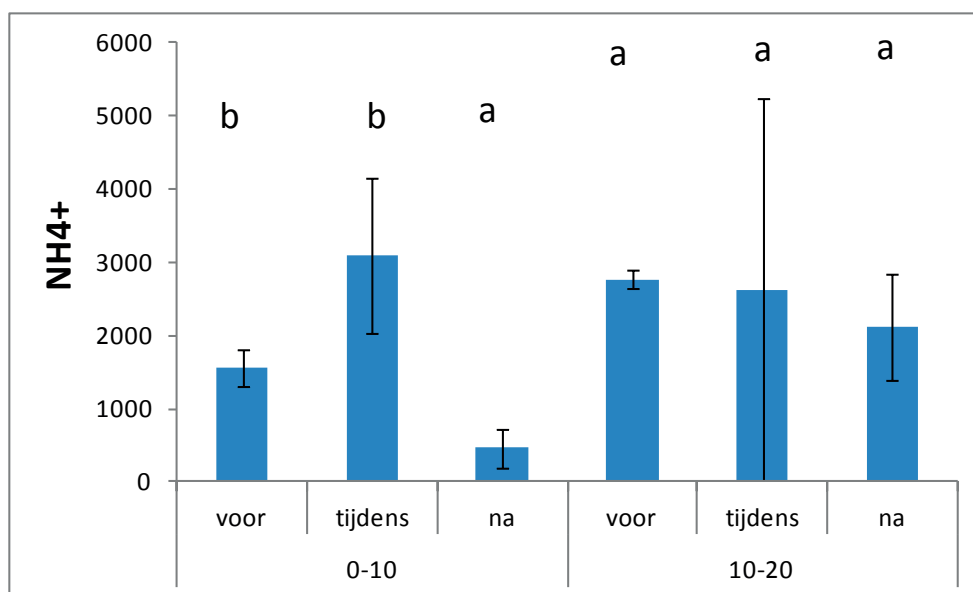
Toelichting: Met letters is aangegeven of er binnen één diepte en één type P-fractie significante verschillen optraden vóór, tijdens en na de droogvalperiode. De concentratie labiel gebonden P (geen letters aangegeven) was voorafgaand aan de droogval significant groter dan tijdens en na de droogval.

De productie van zuur bij de oxidatie van gereduceerde verbindingen zorgde niet voor een afname van de concentratie basische kationen in de bodem (figuur 6.74). Wel leidde de droogval tot een afname van ammonium in de bodem in het jaar na de droogval in de bovenste 10 cm van de bodem. Hierdoor was ook de ammoniumconcentratie in het porievocht na de droogval lager (figuur 6.75). Protonen (zuurionen) wisselen makkelijker uit tegen andere eenwaardige ionen, zoals ammonium, waardoor het effect op ammonium in de bodem vaak groter is dan op calcium en magnesium. Daarnaast wordt ammonium onder zuurstofrijke omstandigheden omgezet in nitraat.

FIGUUR 6.74. SOM VAN DE BASISCHE KATIONEN CA, MG EN K IN DE BODEM VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER VERKREGEN MET DE ZOUTEXTRACTIE VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE OP 0-10 EN 10-20 CM DIEPTE. FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDFOUT WEER.



FIGUUR 6.75 DE CONCENTRATIE VAN AMMONIUM VERKREGEN MET DE ZOUTEXTRACTIE ($\mu\text{MOL/KG DW}$) VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE OP 0-10 EN 10-20 CM DIEPTE. LETTERS BOVEN DE BALKEN GEVEN SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN CONCENTRATIES BINNEN ÉÉN DIEPTE AAN.



Woudbloem

Eigenschappen waterbodem

De bodem van de plas bij Woudbloem bestaat uit fijn zand met plaatselijk veenlaagjes. Op de bodem bevond zich in een deel van de plas een dunne laag slib. Uit de analyses van de waterbodem van Woudbloem bleek dat deze vrij arm was aan organische stof (tabel 6.19). Het sediment was arm aan ijzer, calcium en magnesium. Door de lage organische stof- en ijzerconcentraties was ook de concentratie totaal-zwavel in het sediment laag. De fosforconcentratie van de bodem was ook vrij laag.

TABEL 6.19. SAMENSTELLING WATERBODEM VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM. CONCENTRATIES IN MMOL/KG DROOGGEWICHT. % O.M.= MASSA-PERCENTAGE ORGANISCHE STOF. TUSSEN HAAKJES DE STANDAARDFOUT.

BESCHRIJVING	% O.M.	AL	CA	MG	FE	P	N	S
0-10 Zand	4,5 (2,0)	92 (19)	37 (13)	12 (4)	25 (8)	5 (2)	0,8 (0,4)	19 (10)
10-20 Zand	5,2 (2,6)	135 (36)	35 (10)	16 (5)	31 (7)	5 (1)	0,8 (0,4)	23 (16)

oppervlaktewater

Het oppervlaktewater van de plas Woudbloem was voorafgaand aan de droogval zwak gebufferd (bicarbonaatconcentratie < 1 mmol/l) en had een vrij hoge pH (7-8) (figuur 6.79). De sulfaatconcentratie was met $200 \mu\text{mol/l}$ vrij laag. Het water bevatte daarnaast weinig nitraat en ammonium. De concentratie totaal-P was met gemiddeld $4 \mu\text{mol/l}$ ($0,12 \text{ mg/l}$) relatief hoog. Het water had een slecht doorzicht (secchidiepte tussen 10 en 35 cm), deels veroorzaakt door algenbloeien (chl-a in het seizoen gemiddeld $200 \mu\text{g/l}$) en deels door opwerveling van deeltjes.

FIGUUR 6.76. DE PLAS BIJ WOUDBLOEM VOOR (LINKS), TIJDENS (MIDDEN) EN NA (RECHTS) DE DROOGVALPERIODE.



Porievocht

Het porievocht werd bemonsterd met behulp van zeven rhizonsamplers, waarvan er drie op de oever of in zeer ondiep water stonden, drie in ondiep water en één in het diepste deel van de plas. Door het aanbrenge van de gronddam waarmee de plas werd afgesloten van de watertoevoer, begon de plas al vóór de droogvalperiode in de ondiepe delen droog te vallen. Aan het eind van het experiment had het waterniveau nog steeds het oorspronkelijke peil niet bereikt, waardoor de rhizonsamplers in de oevers en in het water nog steeds droog stonden.

Waargenomen effecten tijdens droogvalperiode

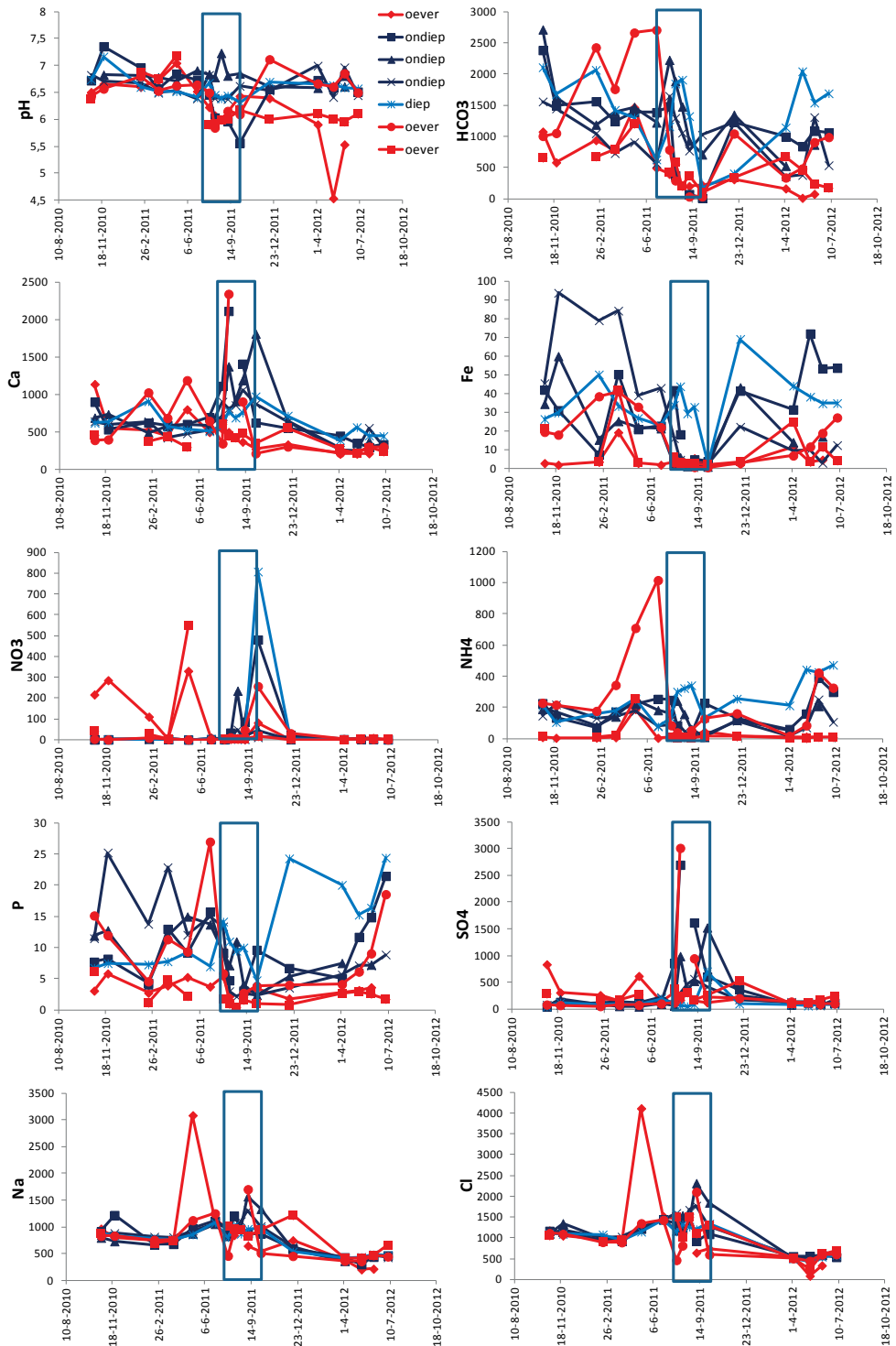
Tijdens de droogvalperiode daalde de pH in de oevers van circa 7 naar 5,5-6 (figuur 6.77). De concentratie bicarbonaat daalde in de oevers tot ongeveer 0. Dit was het gevolg van de zuurvormende oxidatieprocessen zoals de oxidatie van sulfiden en ijzer. De sulfaatconcentratie in het porievocht steeg op sommige plekken in de plas sterk door de oxidatie van sulfiden. De concentratie sulfaat bleef met maximaal 3 mmol/l echter ver onder de concentraties die in het kolomexperiment na 2 maanden op 5 cm onder het maaiveld en na 3 maanden tot 15 cm onder het maaiveld werden gevonden. De concentratie opgelost ijzer in het porievocht daalde tijdens de droogvalperiode sterk door oxidatie van gereduceerd ijzer. Het ontstane Fe^{3+} is slecht oplosbaar, waardoor het niet in het porievocht wordt teruggemeten. Dit geoxideerde ijzer kan goed fosfaat binden, waardoor ook de fosforconcentratie in het porievocht sterk daalde tijdens de droogvalperiode. De calciumconcentratie nam in het porievocht op sommige plekken tijdelijk sterk toe door het oplossen van calciumcarbonaat (kalk) en door uitwisseling van de gevormde protonen tegen calcium van het adsorptiecomplex (zie hoofdstuk literatuuronderzoek). De ammoniumconcentratie in het porievocht daalde gelijk sterk, doordat het ammonium werd omgezet in nitraat (nitrificatie). Aan het eind van de droogvalperiode nam daardoor de nitraatconcentratie in het porievocht sterk toe.

Waargenomen effecten na de droogvalperiode

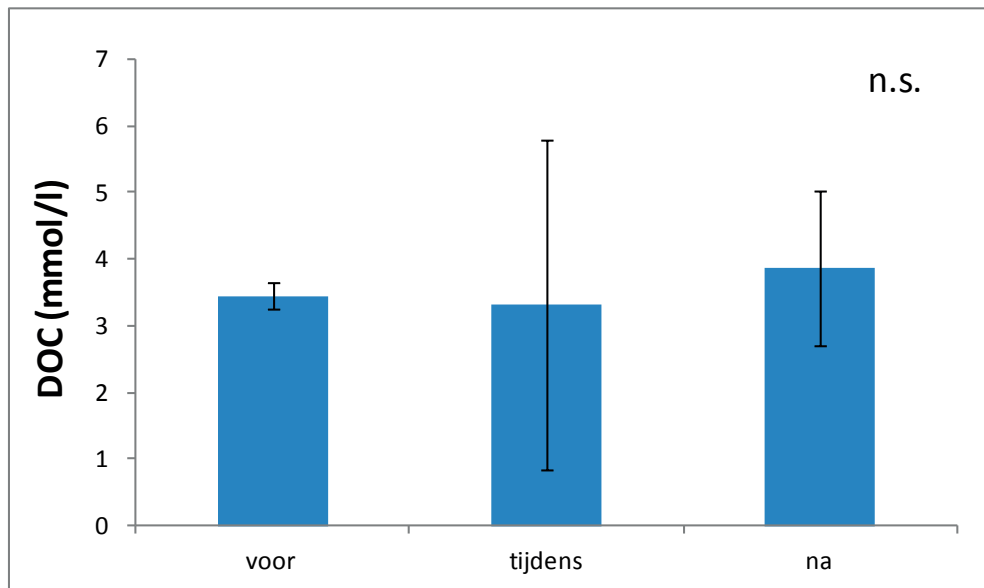
Na afloop van de droogvalperiode daalde de sulfaatconcentratie weer sterk tot dezelfde waarden als voor de droogval. Dit kwam doordat het sulfaat weer werd gereduceerd. De ijzerconcentratie in het porievocht nam weer toe. Dit kwam door de omzetting van geoxideerd in gereduceerd ijzer. De ijzerconcentratie werd daarmee op sommige plekken hoger en op andere plekken lager dan voor de droogvalperiode. In de oever bleef de ijzerconcentratie laag doordat de waterspiegel laag bleef en geoxideerd ijzer dus niet gereduceerd werd. De fosforconcentratie in het porievocht was direct na de droogval lager, behalve in het diepe deel van de plas. Aan het begin van de zomer van 2012 nam de fosforconcentratie echter op enkele plekken toe. Dit leek samen te gaan met een toename van ijzer in het porievocht, wat waarschijnlijk betekende dat er door de reductie van ijzer fosfaat vrijkwam, doordat fosfaat slechter bindt aan gereduceerd ijzer. Bij het vullen van de plas daalde de nitraatconcentratie in het porievocht weer sterk en nam de ammoniumconcentratie weer toe. Voorafgaand aan de droogval was er één oever waar zeer hoge ammoniumconcentraties werden gemeten.

Na afloop van de droogval, waarbij de oever echter nog steeds droog stond, kwamen deze hoge concentraties niet meer voor. De bicarbonaatconcentratie bleef wat lager dan voorafgaand aan de droogval, net als de pH. In de oevers, die na de droogvalperiode droog bleven, kon de pH zelfs nog verder dalen. De concentratie DOC in het porievocht (figuur 6.78) verschilde niet voor en na de droogvalperiode. Dit kwam overeen met de resultaten van het kolomexperiment, waarin er ook geen duidelijk effect werd gevonden van droogval op de DOC-concentratie in het porievocht van het sediment van de plas Woudbloem.

FIGUUR 6.77. PORIEVOCHTCONCENTRATIES IN DE WATERBODEM EN OEVER VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



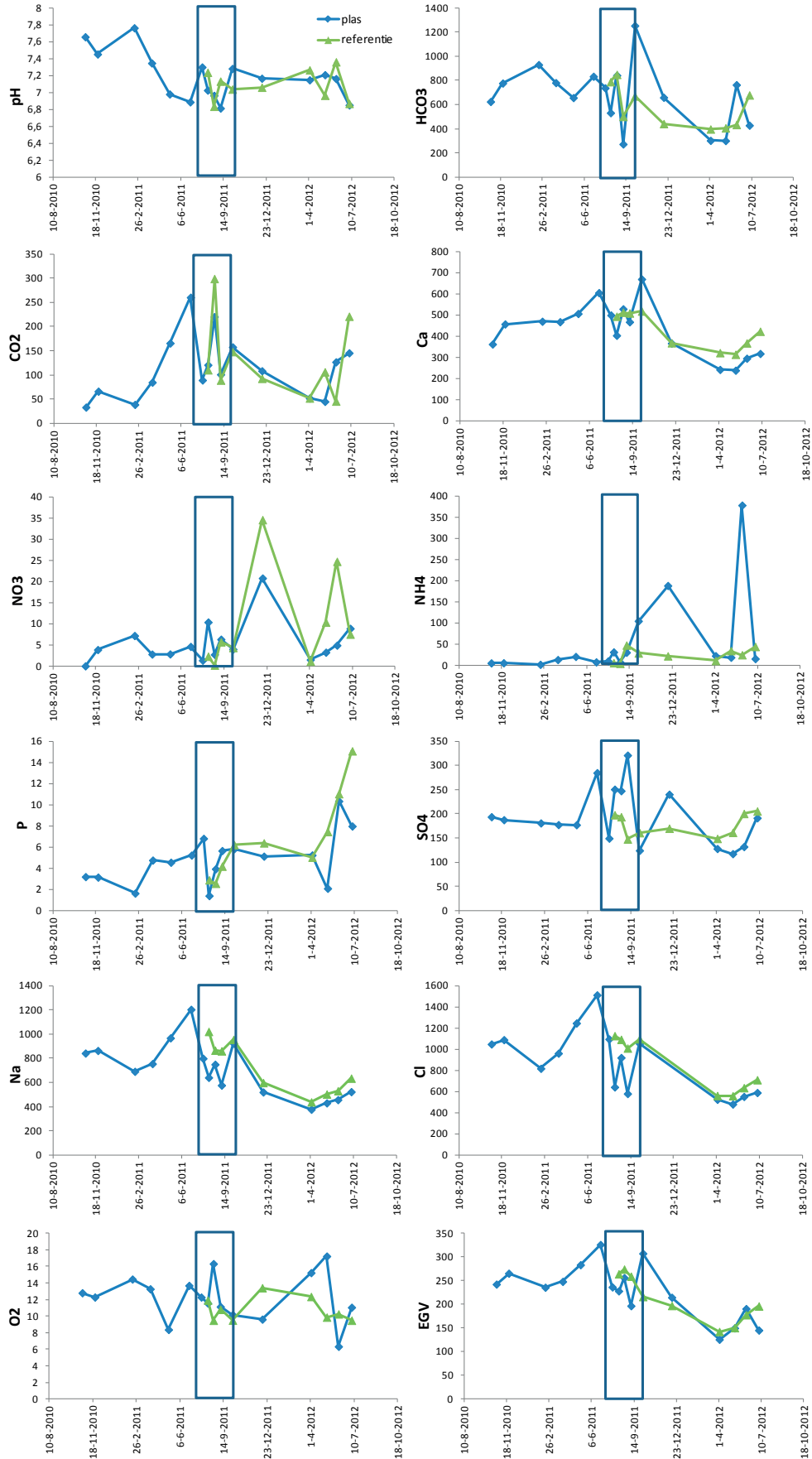
FIGUUR 6.78. DOC-CONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE.



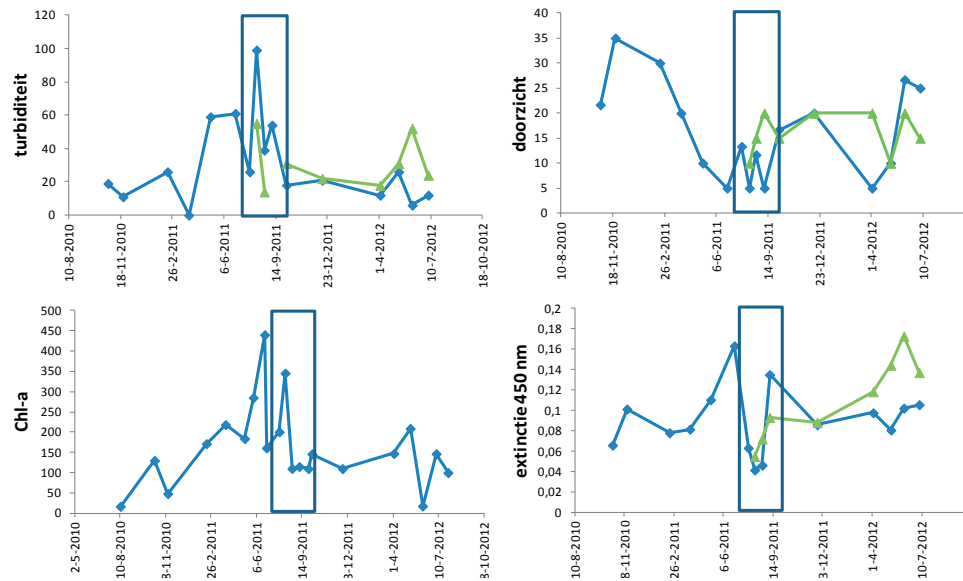
Oppervlaktewater

Tijdens en na de droogval werden ook monsters genomen aan de andere zijde van de gronddam, waar de plas niet droog werd gepompt. Tijdens de droogvalperiode week de waterchemie van drooggevallen zijde nauwelijks af van de niet drooggevallen zijde (figuur 6.79). Aan het eind van de droogvalperiode was het oppervlaktewater aan de drooggevallen zijde rijker aan bicarbonaat, maar deze concentratie verminderde snel na afloop van de droogval. Zowel de drooggevallen als de niet drooggevallen zijde hadden een nitraatpiek in de winter, die iets kleiner was aan de drooggevallen zijde. In plaats daarvan kwamen in de winter en in juni 2012 (na afloop van een algenbloei) in het drooggevallen deel van de plas zeer hoge ammoniumconcentraties voor ($> 200 \mu\text{mol/l}$). De fosforconcentratie was na afloop van de droogval niet lager dan voor de droogval. Na de algenbloei van mei 2012 bereikte de concentratie fosfor zelfs een waarde van $10 \mu\text{mol/l}$ ($0,3 \text{ mg/l}$). Dit bleek echter aan de andere zijde van de gronddam ook zo te zijn. Het overgebleven water in de plas was tijdens de droogval zeer troebel en het water had daardoor een doorzicht van slechts 5-10 cm. Na afloop van de droogval nam het doorzicht weer wat toe, maar werd niet beter dan voor de droogval of dan in het niet drooggevallen gedeelte achter de gronddam (figuur 6.79). Na de droogval kwamen nog steeds algenbloeien voor, die voor zeer hoge chlorofylconcentraties in het oppervlaktewater zorgden (figuur 6.80). De kleuring door humuszuren was na droogval lager aan de drooggevallen kant van de plas dan in het referentiegedeelte.

FIGUUR 6.79. OPPERVLAKTEWATERKwalITEIT VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM EN DE REFERENTIELOCATIE NAAST DE AFGESLOTEN PLAS. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$, EGV IN $\mu\text{S/CM}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN (DROOGVAL= BLAUW, GROEN IS REFERENTIE).



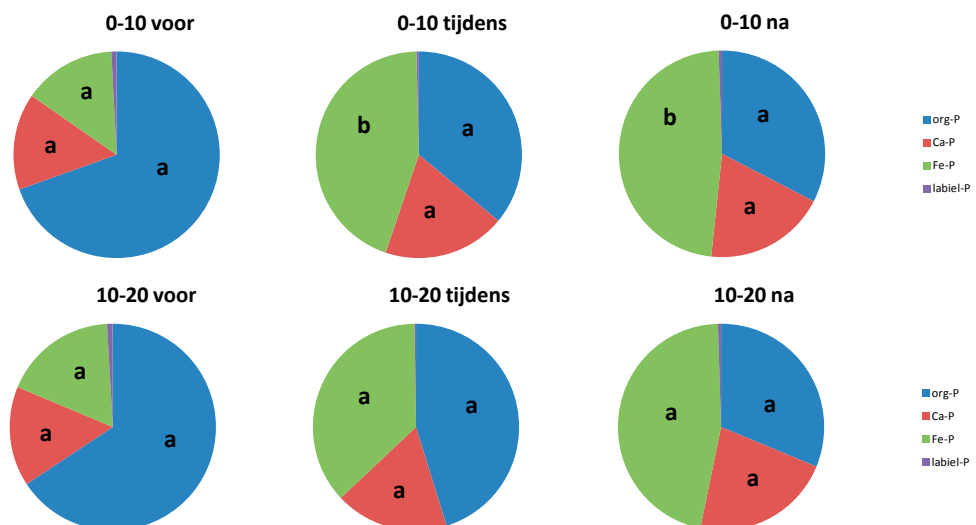
FIGUUR 6.80. TURBIDITEIT IN PPM, DOORZICHT (SECCHIDIEPTE) IN CM, CHLOROFYL-A IN µG/L, EXTINCTIE BIJ 450 NM IN HET OPPERVLAKTewater IN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM EN DE REFERENTIELOCATIE.



Bodem

Tijdens de droogval klom het slib in en verdween zelfs op de plaatsen die lang droogvielen. Een groot deel van de plas viel echter niet zo lang droog dat dit tot inklinking of verdwijnen van de sliblaag leidde. In het porievocht daalde tijdens de droogvalperiode de fosforconcentratie door binding aan ijzer, dat tijdens de droogvalperiode geoxideerd werd. Hierdoor nam de fractie ijzergebonden fosfor in de bodem toe op 0-10 cm diepte, zowel in absolute als in relatieve zin (figuur 6.81). Op 10-20 cm diepte was deze toename niet significant. Ook een half jaar na de droogvalperiode (april 2012) bleef het aandeel ijzergebonden fosfor hoog. Uit de porievocht bemonstering blijkt echter dat er later, namelijk vanaf mei 2012, wel weer een toename van fosfor in het porievocht optrad. Vermoedelijk was dit fosfor afkomstig uit de ijzergebonden fractie.

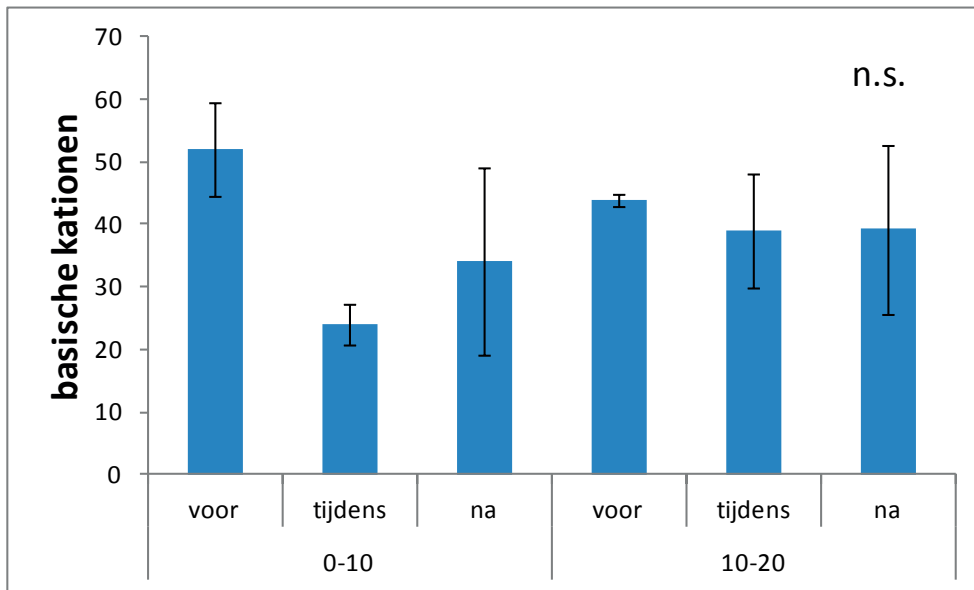
FIGUUR 6.81. VERDELING VAN FOSFORFRACTIES IN DE BODEM VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE OP 0-10 (BOVEN) EN 10-20 CM DIEPTE (ONDER).



Toelichting: Met letters is aangegeven of er binnen één diepte en één type P-fractie significante verschillen optraden vóór, tijdens en na de droogvalperiode. Labiel gebonden P (geen letters aangegeven) veranderde niet significant.

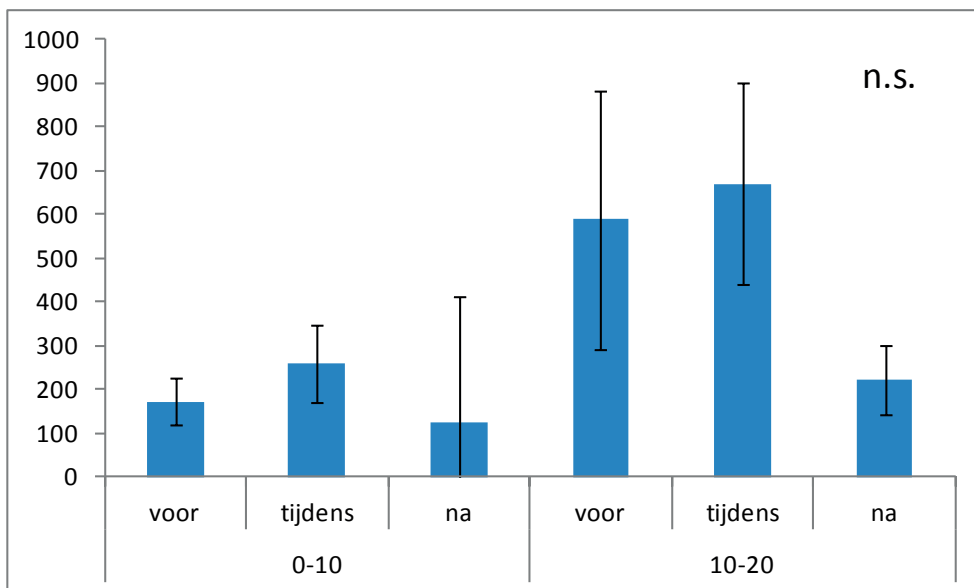
Bij de oxidatie van gereduceerde verbindingen kwam tijdens de droogval zuur vrij. De pH daalde en de concentratie calcium in het porievocht steeg door uitwisseling van zuur tegen basische kationen aan het adsorptiecomplex en het oplossen van calciumcarbonaten. Hoewel de concentratie basische kationen in de bodem tijdens de droogval op 0-10 cm diepte gemiddeld lager was dan voor de droogval, was dit verschil niet significant (figuur 6.82). De afname van ammonium in het porievocht door de droogval leidde niet tot een significante afname van de concentratie zout extraheerbaar ammonium in de bodem (figuur 6.83).

FIGUUR 6.82. SOM VAN DE BASISCHE KATIONEN CA, MG EN K IN DE BODEM VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM VERKREGEN MET DE ZOUTEXTRACTIE VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE OP 0-10 EN 10-20 CM DIEPTE IN MEQ/KG DW.



Toelichting: De foutbalken geven de standaardfout weer.

FIGUUR 6.83. CONCENTRATIE AMMONIUM VERKREGEN MET DE ZOUTEXTRACTIE IN $\mu\text{MOL/KG DW}$ OP 0-10 EN 10-20 CM DIEPTE. DE FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDFOUT WEER.



ROTTIGE MEENTE

Eigenschappen waterbodem

De waterbodem van het petgat in de Rottige Meente bestond voor de droogvalperiode uit een laag slib/slap veen van ongeveer 10 cm dikte met daaronder matig veraard veen. Lokaal werden dunne kleilaagjes aangetroffen op zo'n 20-40 cm diepte. Zand werd aangetroffen vanaf 40 à 70 cm diepte. Het veen was rijk aan aluminium (tabel 6.20), wat wijst op bijmenging van silt/lutum. De concentraties totaal-calcium en totaal-ijzer waren hoog. Vooral het ijzergehalte van de bodem was veel hoger dan in het veen in de waterbodem van De Deelen. De zwavelconcentraties waren ook hoog, met name in de toplaag. De kleilaag was rijk aan organische stof en bevatte lagere concentraties ijzer, calcium en zwavel dan de toplaag. Het zand bleek weinig organische stof te bevatten en ook de concentraties van de overige parameters waren laag.

TABEL 6.20. SAMENSTELLING WATERBODEM VAN HET PETGAT IN ROTTIGE MEENTE (ALLEDRIE DE DEELGEBIEDEN GEMIDDELD). CONCENTRATIES IN MMOL/KG DROOGGEWICHT. % OM= MASSAPERCENTAGE ORGANISCHE STOF. TUSSEN HAAKJES DE STANDAARDFOUT.

BESCHRIJVING	% OM	AL	CA	MG	FE	P	N	S
0-10 Slap veen	72 (2)	311 (39)	492 (20)	153 (4)	307 (16)	11 (0,7)	9 (2)	643 (35)
10-20 Matig veraard veen	81 (3)	203 (51)	440 (15)	144 (5)	226 (13)	7 (0,6)	8 (2)	388 (35)
ca 20-30 Venige klei	26 (2)	539 (110)	126 (9)	152 (26)	183 (35)	10 (2)	4 (2)	71 (5)
ca 50-70 zand	4 (0,4)	43 (2)	28 (4)	9 (1)	16 (2)	1 (0,1)	0,8 (0,3)	14 (2)

Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater had een pH van iets meer dan 7 en was zwak gebufferd (figuur 6.89). Het water had een vrij lage calciumconcentratie en een zeer lage sulfaatconcentratie (100 µmol/l). Gedurende het seizoen waren de nitraat- en ammoniumconcentraties laag, maar in de winter trad er een zeer kleine toename van nitraat op tot circa 15 µmol/l en een ammoniumpiek tot circa 25 µmol/l. De concentratie totaal-fosfor was laag met ongeveer 1-2,5 µmol/l (0,03 – 0,08 mg/l). De turbiditeit en het doorzicht varieerden. De secchi-diepte was ongeveer 20-60 cm en hiermee onvoldoende voor het bereiken van bodemzicht. In het water kwamen regelmatig algenbloeien voor.

FIGUUR 6.84. DE COMPARTIMENTEN IN HET PETGAT VAN DE ROTTIGE MEENTE GEZIEN VANUIT DE VOGELKIJKHUT. VOORAAN HET GROTE DROOGVALCOMPARTIMENT. LINKS DAARACHTER (NIET GOED ZICHTBAAR) HET KLEINE REFERENTIECOMPARTIMENT.



Porievocht

Waargenomen effecten tijdens droogvalperiode

Het porievocht van het droogvalcompartiment werd bemonsterd met behulp van twee rhizonsamplers in de oever, drie in de sliblaag en één iets dieper in het veen. Het porievocht van het referentiecompartiment en het petgat buiten de compartimenten werd ook bemonsterd (Bijlage III). In de oevers van het droogvalcompartiment daalde de pH sterk en daarmee ook de concentratie bicarbonaat door oxidatie van gereduceerde verbindingen (figuur 6.86). In een van de oevers kwam de pH zelfs onder de 4,5. In het porievocht van de waterbodem daalde de pH echter niet en ook de concentratie bicarbonaat nam nauwelijks af. Door oxidatie van sulfiden nam sulfaat in het porievocht van de oevers sterk toe, tot meer dan 10 mmol/l. De concentraties in de waterbodem waren echter zeer laag (rond 50 $\mu\text{mol/l}$) en namen gedurende de droogvalperiode nauwelijks toe. Uit het kolomexperiment bleek echter dat ook in de waterbodem de concentratie sulfaat kon stijgen tot boven de 10 mmol/l mits de bodem voldoende droog wordt. Deze mate van uitdroging trad tijdens het veldexperiment niet op.

FIGUUR 6.85. HET DROOGVALCOMPARTIMENT VOOR (LINKS), TIJDENS (MIDDEN) EN NA (RECHTS) DE DROOGVALPERIODE.

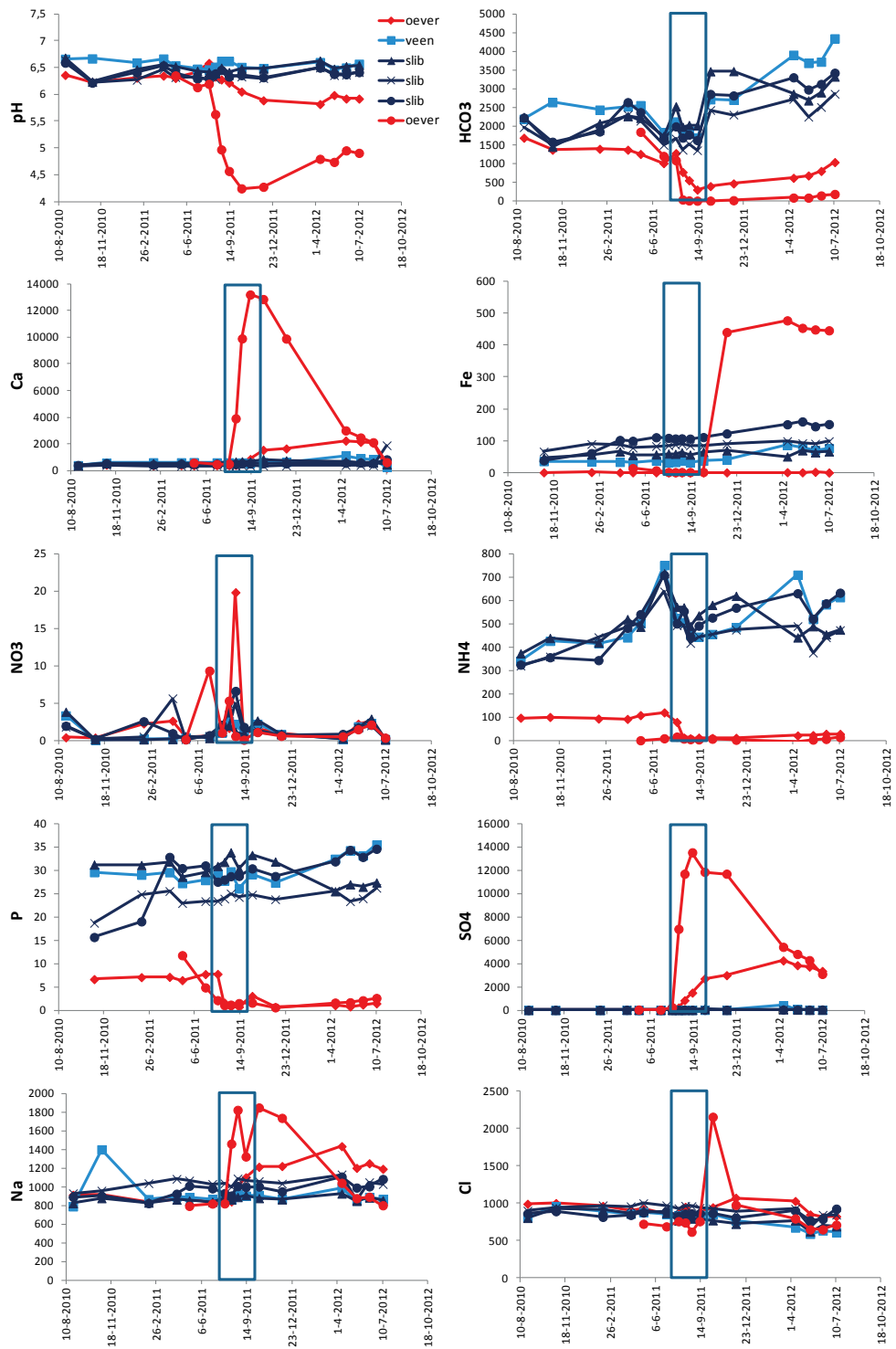


De ijzerconcentratie in het porievocht van de sliblaag leek zeer licht te stijgen. Ondanks de hogere totaal-ijzerconcentratie in de bodem, was de porievochtconcentratie van ijzer ongeveer even hoog als in de waterbodem van het petgat in De Deelen. In de oever nam de ijzerconcentratie nog verder af dan voorafgaand aan de droogval. Dit werd veroorzaakt door de sterke mate van uitdroging die in de oevers optrad en waarbij ijzer geoxideerd werd tot het slecht oplosbare Fe^{3+} . Overeenkomstig met het patroon van de ijzerconcentratie nam de fosforconcentratie in het porievocht gedurende de droogval alleen af in de oevers. De fosforconcentraties in het porievocht waren veel lager dan die in het petgat in De Deelen. Door het zuur dat tijdens de oxidatie geproduceerd werd, trad oplossing van calcium- en magnesiumcarbonaten en uitwisseling van kationen van het adsorptiecomplex op. Hierdoor was er een sterke stijging van de kationen calcium, magnesium en natrium in het porievocht van de oevers van het droogvalcompartiment. Tijdens de droogval werd eenmalig een iets hogere concentratie nitraat in de oever gemeten. De ammoniumconcentratie nam in de oever sterk af tijdens de droogval, omdat hier door de hoge redoxpotentiaal ammonium omgezet kon worden in nitraat. Voorafgaand aan de droogval nam de ammoniumconcentratie in het sediment van het droogvalcompartiment toe tot meer dan 700 $\mu\text{mol/l}$, waarna de concentraties weer afnamen tijdens de droogvalperiode. Deze toe- en afname werden niet waargenomen in het referentiecompartiment en buiten de compartimenten. Tijdens de droogvalperiode nam de DOC-concentratie in het porievocht toe (figuur 6.87). Dit kwam overeen met het effect dat in het kolomexperiment werd gemeten: ook hier nam de DOC-concentratie na een korte droogvalperiode toe en bij een langere droogvalperiode af. Wel was de gemeten concentratie in het kolomexperiment een stuk lager dan in het veld.

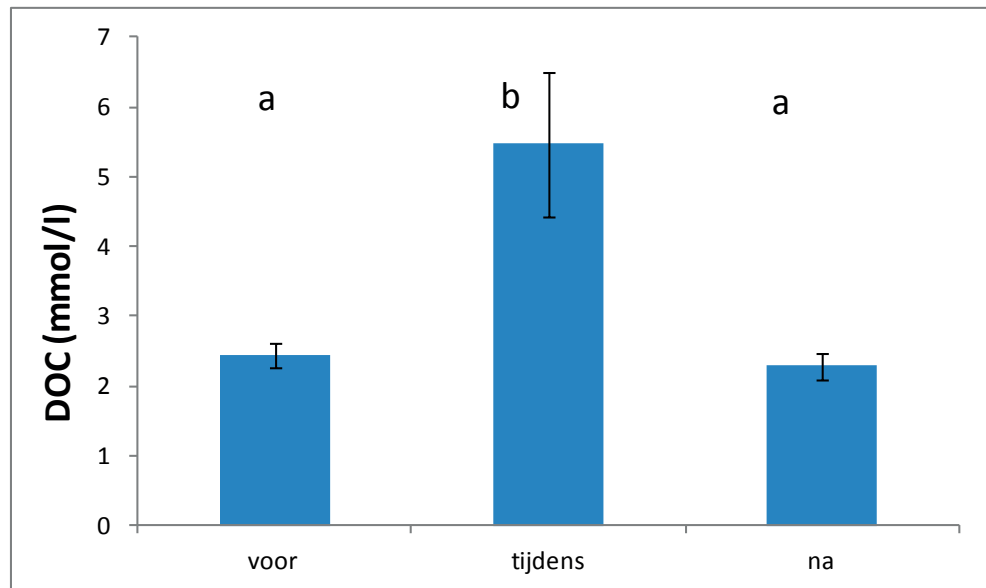
Waargenomen effecten na de droogvalperiode

Na afloop van de droogvalperiode bleef de pH van de waterbodem gelijk. In de oever steeg de pH weer, maar deze werd niet zo hoog als in de periode voorafgaand aan de droogval. Zowel in de vernatte oever als in de waterbodem stegen de bicarbonaatconcentraties. In de waterbodem werden de bicarbonaatconcentraties daarmee hoger dan voorafgaand aan de droogval (een toename van ongeveer 1500-2500 $\mu\text{mol/l}$ tot 2500-3500 $\mu\text{mol/l}$). Deze toename vond echter ook plaats in het referentiecompartiment, maar niet in de waterbodem buiten de compartimenten. De droogval was dus niet de oorzaak van deze hogere concentraties. De concentraties calcium, magnesium en natrium in het porievocht van de oevers daalden sterk na afloop van de droogvalperiode. De calciumconcentratie was in juli 2012 weer even hoog als voorheen, maar de magnesiumconcentratie - en in één van de oevers ook de natriumconcentratie - bleven verhoogd. Ook de sulfaatconcentratie bleef sterk verhoogd. De ijzerconcentratie nam in de oever aan de landzijde na afloop van de droogval sterk toe tot 400 $\mu\text{mol/l}$. Waarschijnlijk was dit ijzer voorafgaand aan de droogval aanwezig in de vorm van slecht oplosbare ijzersulfiden. Tijdens de droogval veranderde dit in slecht oplosbaar geoxideerd ijzer. Na de hervernatting ging het ijzer door reductie in oplossing in het porievocht. Na afloop van de droogval leek in een deel van de bemonsterde waterbodem de ijzerconcentratie nog een klein beetje toe te nemen. De fosforconcentratie bleef laag in het porievocht van de oever, maar bleek in de waterbodem na de droogvalperiode weer even hoog als voor de droogvalperiode. Na afloop van de droogvalperiode was de DOC-concentratie in het porievocht weer even hoog als voorafgaand aan de droogval (figuur 6.87). Ook de concentratie totaal anorganisch stikstof in het porievocht was niet hoger dan in het referentiecompartiment, in tegenstelling tot in De Deelen. Het leek er dus op dat de droogval leidde tot een kortstondig verhoogde afbraak van organische stof (nl. een verhoging van de DOC-concentratie), maar dat dit effect na afloop van de droogval niet meer meetbaar was.

FIGUUR 6.86. PORIEVOCHTCONCENTRATIES IN DE OEVER EN DE WATERBODEM VAN HET DROOGGEVALLEN COMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



FIGUUR 6.87. DOC-CONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE. FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDFOUT WEER. LETTERS BOVEN DE BALKEN GEVEN SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN DE CONCENTRATIES WEER.



Oppervlaktewater

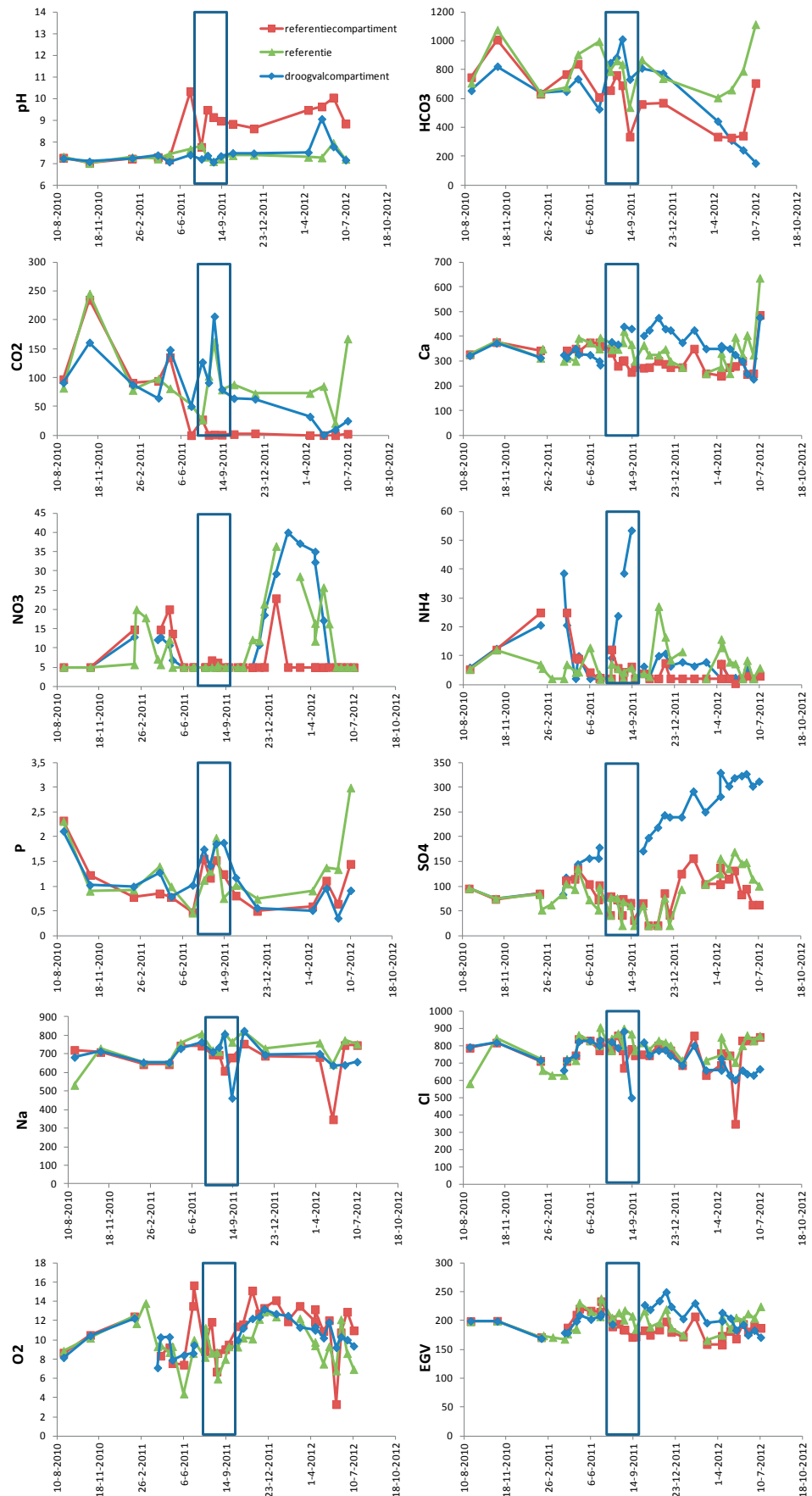
Tijdens de droogvalperiode nam de ammoniumconcentratie in het overgebleven oppervlaktewater sterk toe (figuur 6.89). Verder waren er tijdens deze periode geen noemenswaardige verschillen met het oppervlaktewater buiten het compartiment. Na plaatsing van de compartimenten nam het doorzicht in het referentiecompartiment snel toe door verminderde invloed van golfslag (figuur 21). In het droogvalcompartiment, dat groter was, was dit niet het geval. Door dit verbeterde doorzicht begon een sterke ontwikkeling van de waterplantengroei (met name van *Elodea nutalii*) in het referentiecompartiment. Door de invloed van de hoge biomassa aan waterplanten week de oppervlaktewaterkwaliteit van het referentiecompartiment af van die van het droogvalcompartiment. Zo werd duidelijk dat de waterplanten veel CO_2 en HCO_3^- opnamen, waardoor de concentratie van CO_2 in het referentiecompartiment daalde tot 0. Door deze lage CO_2 -concentratie steeg de pH in dit compartiment tot boven de 9. Ook bleven de concentraties nitraat en ammonium lager door opname door de waterplanten.

Na afloop van de droogvalperiode nam in het droogvalcompartiment de sulfaatconcentratie sterk toe tot circa $300 \mu\text{mol/l}$. In tegenstelling tot het referentiecompartiment en in de rest van het petgat, nam sulfaat niet af in het begin van de zomer van 2012. Mogelijk dat de redoxpotentiaal van de bodem in het drooggevallen compartiment nog zo hoog was, dat er geen sulfaatreductie optrad; terwijl dit daarbuiten wel gebeurde. De ammoniumconcentratie daalde weer tot ongeveer dezelfde waarden als buiten het compartiment. Ook de nitraatpiek in het najaar en de winter was ongeveer even hoog als buiten de compartimenten. Na afloop van de droogval nam de turbiditeit sterk af tot eenzelfde niveau als in het referentiecompartiment. Het doorzicht steeg daardoor sterk tot bodemzicht, terwijl in het groeiseizoen van 2012 het doorzicht in het referentiecompartiment ongeveer 40-60 cm was. Algenbloei bleef in het droogvalcompartiment uit in het begin van de zomer van 2012. De chlorofyl-a concentraties bleven beneden circa $20 \mu\text{g/l}$. Buiten de compartimenten steeg de chlorofyl-a concentratie tot circa $70 - 90 \mu\text{g/l}$. De extinctie door humuszuren bleef na afloop van de droogval laag.

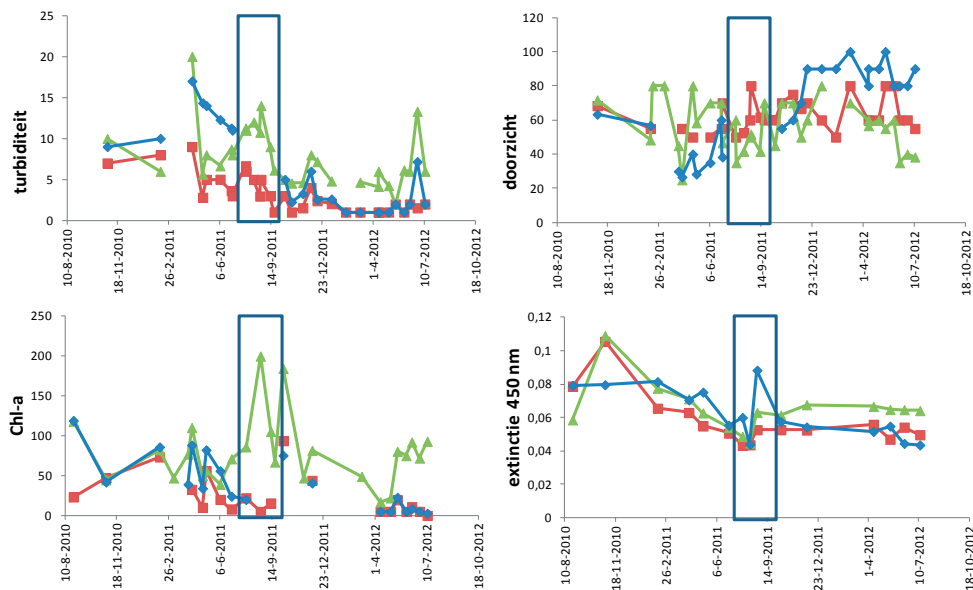
FIGUUR 6.88. EFFECT VAN DE COMPARTIMENTERING OP DE GOLFSLAG. LINKS HET DROOGVALCOMPARTIMENT, RECHTS HET PETGAT BUITEN DE COMPARTIMENTEN.



FIGUUR 6.89. **OPPERVLAKTEWATERKwalITEIT IN HET DROOGGEVALLEN COMPARTIMENT, HET REFERENTIECOMPARTIMENT EN DE REFERENTIE BUITEN DE COMPARTIMENTEN IN DE ROTTIGE MEENTE. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$, EGV IN $\mu\text{S/CM}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.**



FIGUUR 6.90. TURBIDITEIT IN PPM, DOORZICHT (SECCHIDIEPTE) IN CM, CHLOROFYL-A IN $\mu\text{g/L}$, EXTINCTIE BIJ 450 NM IN HET OPPERVLAKTEWATER IN HET DROOGGEVALLEN COMPARTIMENT, HET REFERENTIECOMPARTIMENT EN DE REFERENTIE BUITEN DE COMPARTIMENTEN IN DE ROTTIGE MEENTE.



Bodem

De droogval leidde tot enige consolidatie van de hoogstgelegen delen van de waterbodem. Een groot deel van de bodem van het droogvalcompartment bleef echter vrij vochtig of werd zelfs iets nat op het moment dat er geen water werd weggepompt. Er waren daardoor geen aantoonbare verschillen tussen deze bodem tijdens en na de droogvalperiode in vergelijking met de niet drooggevalle bodem buiten de compartimenten.

DE DEELLEN

Bodem eigenschappen

De bodem van het petgat in De Deelen bestond voor de droogvalperiode uit een laagje venig slib van ongeveer 10 cm dikte met daaronder ongeveer 20 cm onveraard en veraard veen. Op ongeveer 30 cm diepte begon de zandbasis. Het slib en het veen waren rijk aan organische stof, calcium en zwavel en hadden vrij hoge concentraties ijzer (tabel 6.21). Een aanzienlijk deel van het zwavel was waarschijnlijk als sulfiden aanwezig, want het zwavelgehalte was hoog ten opzichte van het organische stofgehalte. Onder het organische materiaal was het zand arm aan calcium, magnesium, ijzer, zwavel en nutriënten. Bij de interpretatie moet wel rekening worden gehouden met het verschil in de dichtheid van het bodemtype. De dichtheid van het zand is immers veel groter dan die van het venige slib. In het venige slib is per liter bodem ongeveer 6-14 keer minder bodemmassa aanwezig dan in het zand. Met andere woorden: het zand is per kilogram armer aan calcium dan het organische materiaal. Als gekeken wordt naar de calciumconcentratie in eenzelfde volume van de bodem, zou er in de zandlaag echter ongeveer evenveel calcium aanwezig zijn als in de organische laag. De hoeveelheid per volume-eenheid is van belang omdat vooral het toplaagje van het sediment bepalend is voor de uitwisseling tussen het sediment en het oppervlaktewater.

TABEL 6.21. SAMENSTELLING WATERBODEM VAN HET PETGAT IN DE DEELLEN. CONCENTRATIES IN MMOL/KG DROOGGEWICHT. % OM = MASSAPERCENTAGE ORGANISCHE STOF. TUSSEN HAAKJES DE STANDAARDFOUT.

	BESCHRIJVING	% OM	AL	CA	MG	FE	P	N	S
0-10	Venig slib	73 (3)	131 (24)	316 (33)	124 (14)	174 (19)	13 (2)	9 (0,4)	472 (42)
10-20	Onvervaard en veraard veen	52 (10)	157 (41)	215 (44)	131 (14)	106 (20)	14 (5)	8 (1)	283 (50)
30-40	Zand	3,7 (0,6)	47 (7)	12 (2)	12 (2)	9 (1)	2 (0,4)	0,6 (0,2)	11 (2)

Oppervlaktewater

Het oppervlaktewater van het petgat in De Deelen was voor de droogvalperiode zwakgebufferd en had een pH tussen circa 6,5 en 7 (figuur 6.94). De calcium- en sulfaatconcentraties in het oppervlaktewater waren laag. Het water bevatte in het groeiseizoen (2011) geen nitraat, maar in de winter (2011/2012) trad een kleine nitraatpiek op tot circa 40 $\mu\text{mol/l}$. De ammoniumconcentratie bleef beneden 20 $\mu\text{mol/l}$. De fosforconcentratie was zeer hoog met circa 12 $\mu\text{mol/l}$ (0,37 mg/l). Het water had een slecht doorzicht (secchidiepte circa 40 cm bij een waterdiepte van circa 1 meter). Er was dus geen sprake van bodemzicht, wat voor de ontwikkeling van de meeste wortelende waterplanten een belangrijke voorwaarde is. In het water kwamen forse algenbloeien voor. Kortom, er was sprake van een zwakgebufferd, voedselrijk en troebel laagveenwater.

FIGUUR 6.91. HET PETGAT IN DE DEELLEN VOOR (LINKS), TIJDENS (MIDDEN) EN NA (RECHTS) DE DROOGVALPERIODE.



Porievocht

Waargenomen effecten tijdens droogvalperiode

Het porievocht werd bemonsterd met behulp van twee rhizonsamplers die in de oever waren geplaatst, zes in de sliblaag en twee dieper net in de zandlaag. Aan het begin en het eind van het experiment werden ook porievochtmonsters van het slib van het naastgelegen petgat verzameld. De pH van het porievocht van de oevers varieerde vóór de droogval tussen iets minder dan 5 tot bijna 7, maar nam tijdens de droogval sterk af tot minder dan pH 4 door oxidatie onder meer ijzersulfiden (figuur 6.92). Hiermee samenhangend verdween ook het bicarbonaat uit de oever. In het sediment fluctueerde de pH tussen circa 6 en 6,5. De pH in de waterbodem nam niet af tijdens de droogval en ook de bicarbonaatconcentratie bleef ongeveer gelijk. De sulfaatconcentratie nam in de oevers tijdens de droogval sterk toe door de oxidatie van sulfiden, van ongeveer 200 μmol per liter (circa 20 mg/l) tot meer dan 3000 $\mu\text{mol/l}$ (circa 300 mg/l). In de waterbodem was deze oxidatie veel minder sterk. Hier nam de concentratie van circa 60-250 toe tot maximaal 800 $\mu\text{mol/l}$. De waterbodem was dus veel minder sterk geoxideerd dan in het kolomexperiment, waar de sulfaatconcentraties na twee tot drie maanden droogval opliepen tot meer dan 15000 $\mu\text{mol/l}$. In de kolommen was het effect van de droogval sterker en droogde het sediment meer en tot op grotere diepte uit.

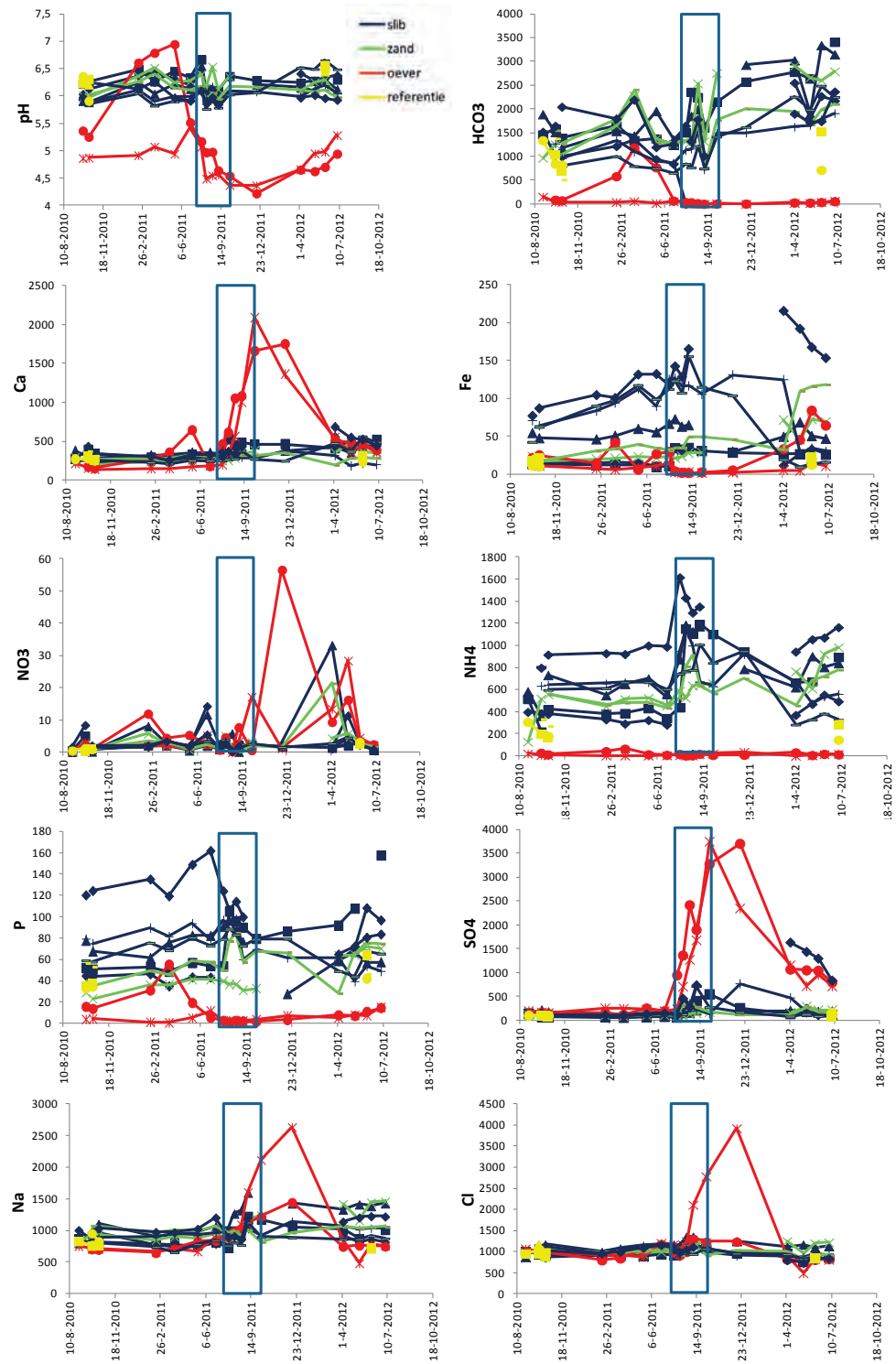
De ijzerconcentratie leek in de waterbodem iets toe te nemen tijdens de droogval. Dit was te verklaren door de oxidatie van ijzersulfiden, waarbij sulfaat en gereduceerd ijzer vrij kwamen. De waterbodem werd duidelijk niet zover geoxideerd dat het gereduceerd ijzer werd geoxideerd tot Fe^{3+} , anders zou er een afname te zien zijn geweest in de ijzerconcentratie in het porievocht. In de oever was dit wel het geval; de ijzerconcentratie was hier al niet hoog, maar nam gedurende de droogvalperiode af tot 0. De fosfaatconcentratie in het porievocht van de waterbodem nam tijdens de droogval alleen op de plek met de hoogst gemeten concentraties wat af, maar bleef verder gelijk. In de oever namen de concentraties tijdens de droogval echter wel sterk af. De calciumconcentratie in het porievocht van de oever nam tijdens de droogvalperiode sterk toe van circa 200 $\mu\text{mol/l}$ tot meer dan 1500 $\mu\text{mol/l}$ door uitwisseling van bij oxidatie ontstane protonen (H^+) tegen calcium aan het adsorptiecomplex van de bodem. In het porievocht van de waterbodem was er slechts op enkele plekken een lichte toename te zien.

Waargenomen effecten na de droogvalperiode

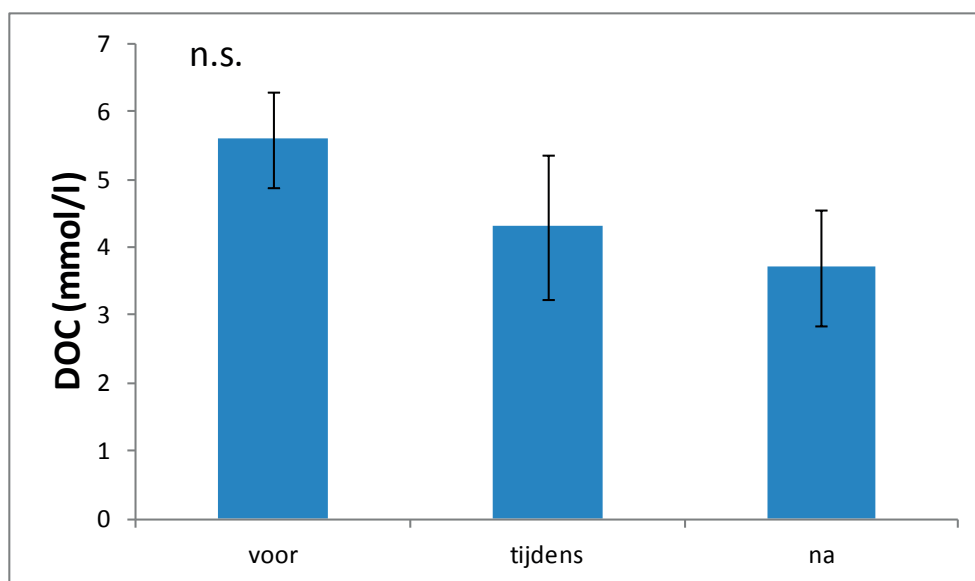
Na afloop van de droogvalperiode leken de oxidatie-effecten zich nog even voort te zetten, mogelijk doordat het petgat zich na de droogval slechts langzaam weer vulde met regenwater en de oevers in die tijd ook nog verder uitdroogden. De natriumconcentratie nam tot december 2011 nog toe en bleef vervolgens in de waterbodem hoger dan voorafgaand aan de droogval. In de oever en de waterbodem werden af en toe iets verhoogde nitraatconcentraties gemeten. In de oever namen de ijzerconcentraties na afloop van de droogval weer wat toe door reductie van het geoxideerde ijzer, waardoor de ijzerconcentraties in het porievocht van de oever hoger werden dan voor de droogvalperiode. Met deze vernatting en reductie van ijzer nam ook de fosforconcentratie in het porievocht wat toe.

In het kolomexperiment leidde de droogval bij lange duur tot een afname van de DOC-concentratie. In het veldexperiment leek eveneens een afname van DOC te zien door de droogval (figuur 6.93), hoewel dit niet significant was. Ook in de bodemprofielen leek er een kleine afname te zien. De bodem is hier echter minder droog geweest dan in het kolomexperiment, wat dit verschil kan verklaren. In het porievocht van de waterbodem was in het veld op de meeste locaties een flinke toename te zien van het totaal anorganisch koolstof (bicarbonaat plus koolstofdioxide) na afloop van de droogvalperiode. Namelijk gemiddeld 2700 $\mu\text{mol/l}$ voor de droogval en gemiddeld 6000 $\mu\text{mol/l}$ aan het einde van het experiment. Deze processen vormden een mogelijke aanwijzing dat droogval in het petgat in De Deelen leidde tot een verhoogde afbraak van organische stof.

FIGUUR 6.92. PORIEVOCHTCONCENTRATIES IN DE WATERBODEM EN DE OEVER VAN HET DROOGGEVALLEN PETGAT EN HET REFERENTIEPETGAT IN DE DEELN. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



FIGUUR 6.93. DOC-CONCENTRATIE IN HET PORIEVOCHT VAN DE WATERBODEM EN DE OEVERS VAN HET DROOGGEVALLEN PETGAT IN DE DEELEN VOOR, TIJDENS EN NA DROOGVAL. FOUTBALKEN GEVEN DE STANDAARDFOUT WEER.



Oppervlaktewater

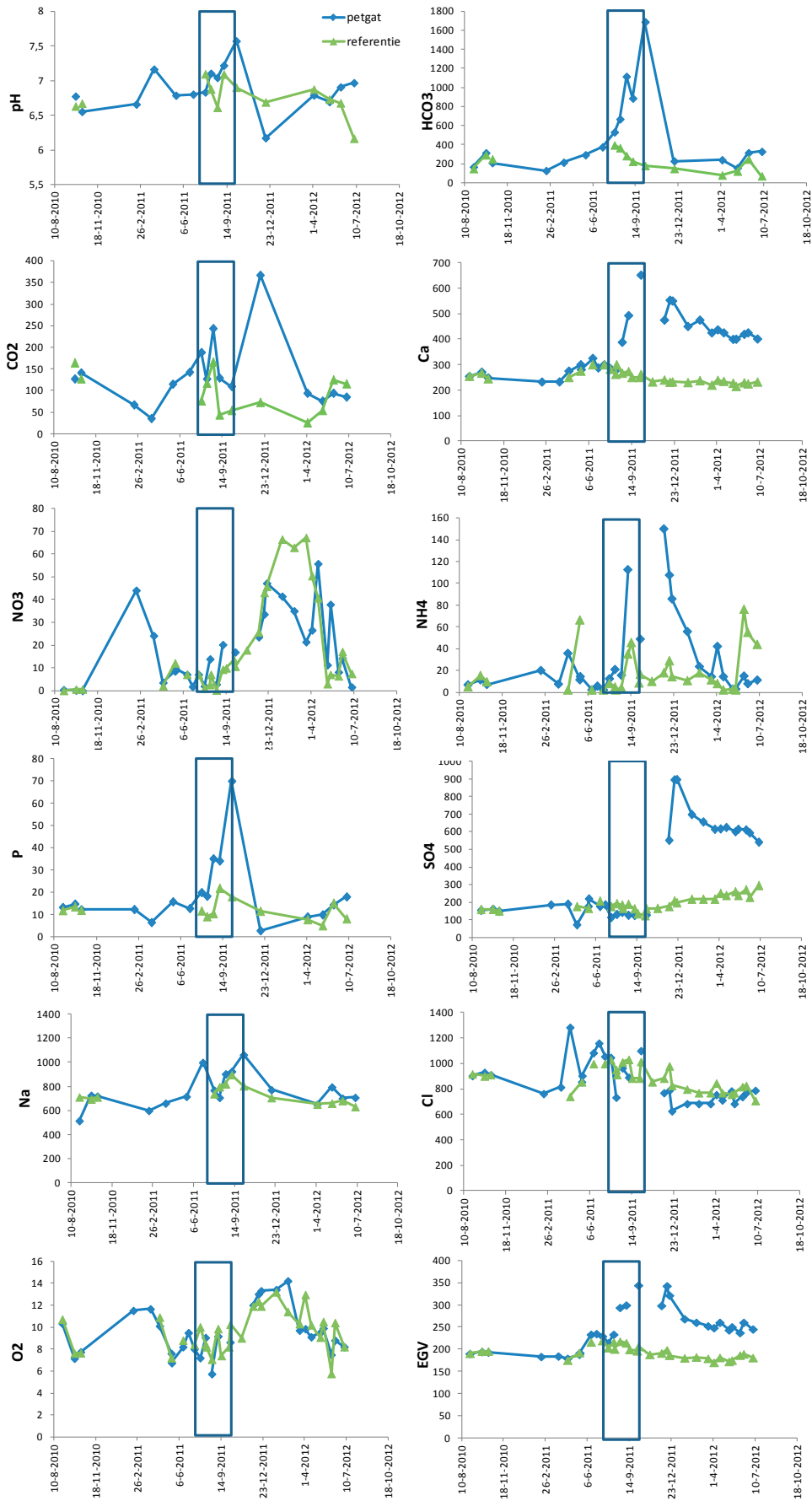
In het overgebleven oppervlaktewater dat tijdens de droogvalperiode nog bemonsterd kon worden, liepen de fosforconcentratie, de calciumconcentratie en de bicarbonaatconcentratie sterk op (figuur 6.94). De ammoniumconcentratie steeg ook, tot hoge concentraties (boven $100 \mu\text{mol/l}$). De nitraatconcentratie nam ook toe, maar dit gebeurde ook in het naastgelegen petgat vanwege de lage opname van nitraat door algen en planten in de winter. Na afloop van de droogval namen de concentraties bicarbonaat en fosfor weer af tot ongeveer de waarden van voor de droogval. De calciumconcentratie nam ook af, maar bereikte niet de waarden van voor de droogval. De concentratie bleef daardoor $400 \mu\text{mol/l}$, terwijl de concentratie in het naastgelegen petgat ongeveer $240 \mu\text{mol/l}$ was, net als voorafgaand aan de droogval. Hetzelfde gebeurde met de magnesiumconcentratie, die ook toenam van ongeveer $200 \mu\text{mol/l}$ voor de droogval naar $400 \mu\text{mol/l}$ na de droogval. Na afloop van de droogvalperiode steeg de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater sterk, tot circa $900 \mu\text{mol/l}$ in december 2011. Daarna nam de sulfaatconcentratie flink af, maar bleef nog steeds sterk verhoogd met ongeveer $600 \mu\text{mol/l}$ na de droogval. Voor de droogval was de concentratie circa $200 \mu\text{mol/l}$. Door de toenames van deze ionen in het oppervlaktewater steeg ook de EGV, van ongeveer $200 \mu\text{S/cm}$ tot circa $250 \mu\text{S/cm}$. Dit werd mogelijk vooral veroorzaakt doordat er in de oevers sprake was van een sterke sulfide oxidatie en daardoor een flinke productie van zuur, dat voor hogere concentraties calcium en magnesium in het porievocht zorgde. Dit sulfaat, calcium en magnesium spoelde vervolgens uit naar het oppervlaktewater. Dit gebeurde niet alleen tijdens, maar ook na afloop van de droogvalperiode. Doordat het petgat zich met regenwater vulde, namen in de loop van het experiment deze concentraties weer iets af.

De nitraatpiek in de winter van 2011/2012 was iets minder hoog dan in het naastgelegen petgat, maar in plaats daarvan werd er tot in april een erg hoge ammoniumconcentratie gemeten (in december meer dan $100 \mu\text{mol/l}$). Mogelijk was dit ammonium ook door uitspoeling uit de oevers in het oppervlaktewater terecht gekomen, maar dat bleek niet uit de oppervlakkige porievochtmetingen in de oevers.

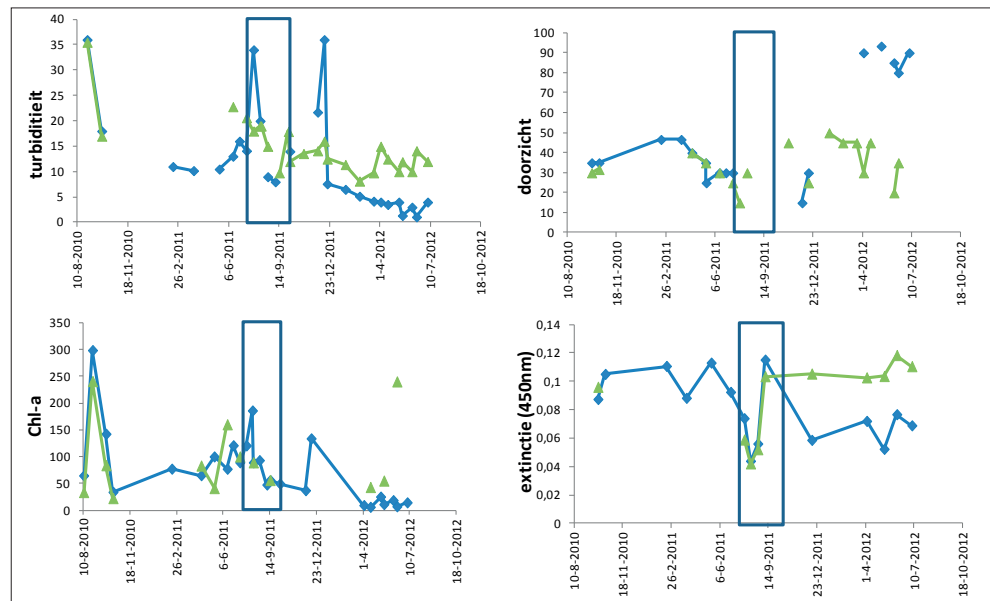
Vanaf april 2012 nam de turbiditeit van het water sterk af en nam het doorzicht toe tot ongeveer 90 cm (net geen bodemzicht) (figuur 6.95). Ook de chlorofylconcentratie bleef in het

voorjaar erg laag, met gemiddeld 13 $\mu\text{g/l}$, terwijl in het naastgelegen petgat de concentratie in juni opliep tot 240 $\mu\text{mol/l}$. De extinctie door humuszuren was na afloop van de droogval ongeveer 40% lager dan in het referentiepetgat. Bij een veldbezoek eind juli leek het water op het oog echter weer vrij troebel. Mogelijk was er toen wel sprake van een algenbloei.

FIGUUR 6.94. OPPERVLAKTEWATERKwalITEIT IN HET DROOGGEVALLEN PETGAT EN HET REFERENTIEPETGAT IN DE DEELN. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$, EGV IN $\mu\text{S/CM}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



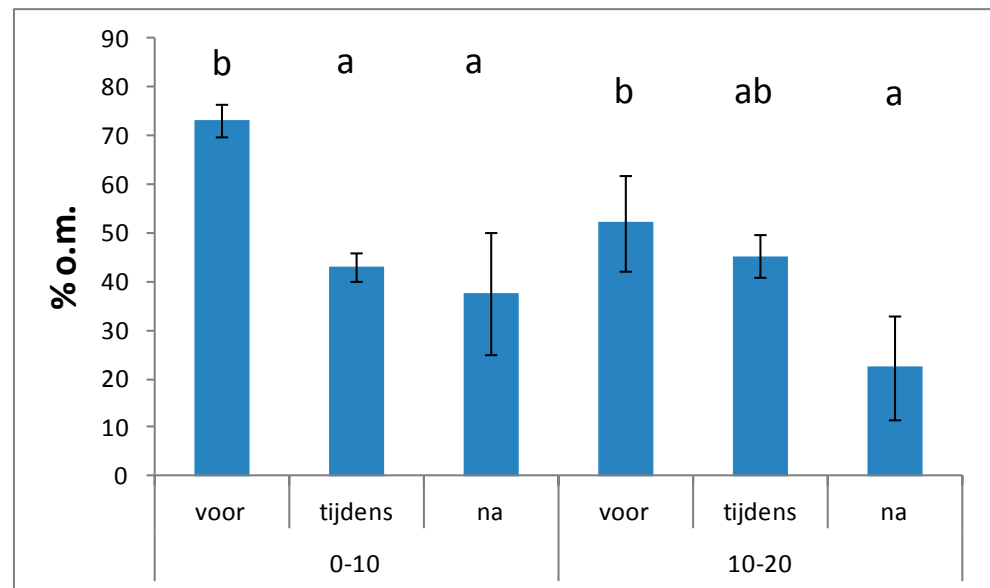
FIGUUR 6.95. TURBIDITEIT IN PPM, DOORZICHT (SECCHIDIËPTE) IN CM, CHLOROFYL-A IN µG/L, EXTINCTIE BIJ 450 NM IN HET OPPERVLAKTewater IN HET DROOGGEVALLEN PETGAT EN HET REFERENTIEPETGAT IN DE DEELen.



Bodem

De slibbige bodem van het petgat klom in door de droogval. Hierdoor kwam de zandlaag dichters aan het oppervlak te liggen. In de bovenste 20 cm van de bodem werd daardoor op veel plekken in het petgat al zand aangetroffen, wat te zien is aan de forse afname van organische stof (figuur 6.96). Vanwege de verschillende eigenschappen van het zand en het veen is het niet goed mogelijk om veranderingen in de bodemchemie te relateren aan het optreden van de droogval. De veranderingen kunnen ook het gevolg zijn van het veranderen van de invloed van de verschillende bodemtypen.

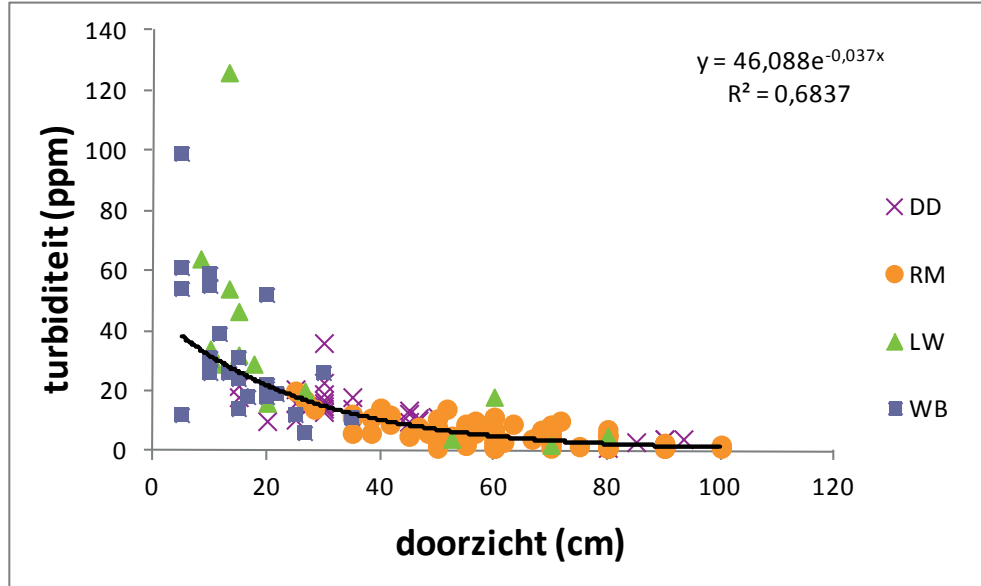
FIGUUR 6.96. PERCENTAGE ORGANISCHE STOF IN DE BODEM VAN HET PETGAT IN DE DEELen VOOR, TIJDENS EN NA DE DROOGVALPERIODE OP 0-10 EN 10-20 CM DIEPTE. FOOTBALKEN GEVEN STANDAARDFOUT WEER. LETTERS BOVEN DE BALKEN GEVEN SIGNIFICANTE VERSCHILLEN TUSSEN DE GEHALTES AAN ($P \leq 0,053$).



De rol van fytoplankton en van sedimentdeeltjes in het doorzicht

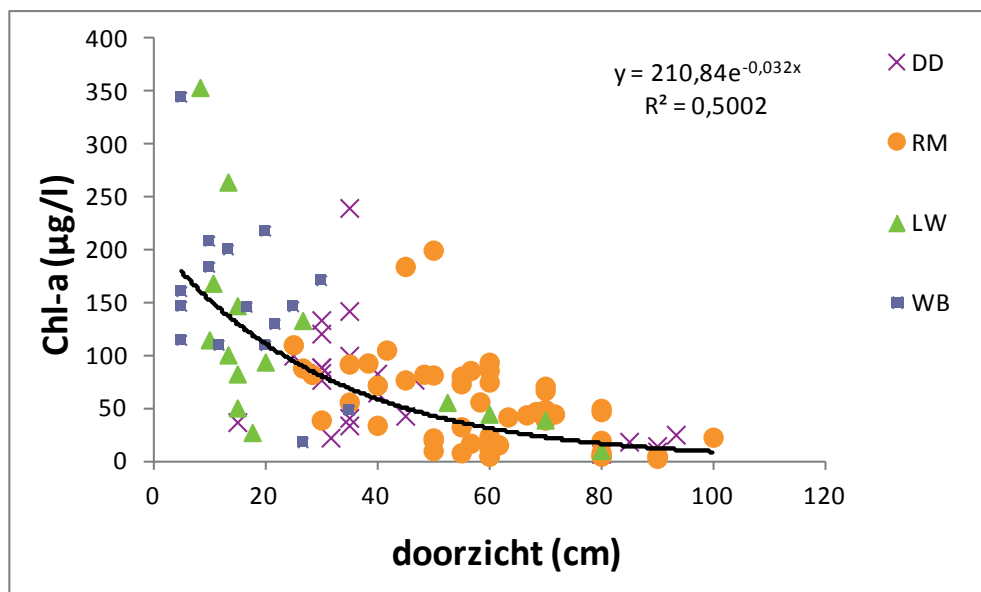
Het doorzicht in de onderzochte plassen hing sterk samen met de gemeten turbiditeit (figuur 6.97). Turbiditeit wordt gemeten door de lichtafname bij zichtbaar licht (breed spectrum) over een bepaalde afstand te meten. Deze turbiditeit bestaat voor een deel uit verstrooiing van het licht door gesuspendeerde deeltjes zoals kleideeltjes, algen en detritus, en een deel uit absorptie van licht door bijvoorbeeld humuszuren en algen (Scheffer, 2004).

FIGUUR 6.97. RELATIE TUSSEN HET DOORZICHT (VOOR ZOVER GEEN BODEMZICHT) EN DE TURBIDITEIT.



De chlorofylconcentratie alleen gaf een minder goede verklaring voor het doorzicht (figuur 6.94). In figuur 6.98 is bijvoorbeeld goed te zien dat bij eenzelfde chlorofylconcentratie het doorzicht in De Deelen beter was dan in Woudbloem en Lalleweer. Bij een chlorofylconcentratie van ongeveer 100 $\mu\text{g/l}$ was het doorzicht in De Deelen ongeveer 30 cm, in Woudbloem en Lalleweer ongeveer 20 cm. Dit was een aanwijzing dat er in Woudbloem en Lalleweer relatief meer andere deeltjes in de waterkolom aanwezig waren die het doorzicht verstoren. Het gaat hierbij om zwevend stof dat onder meer uit klei- en detritusdeeltjes kan bestaan.

FIGUUR 6.98. RELATIE TUSSEN HET DOORZICHT (VOOR ZOVER GEEN BODEMZICHT) EN DE CONCENTRATIE CHLOROFYL-A.

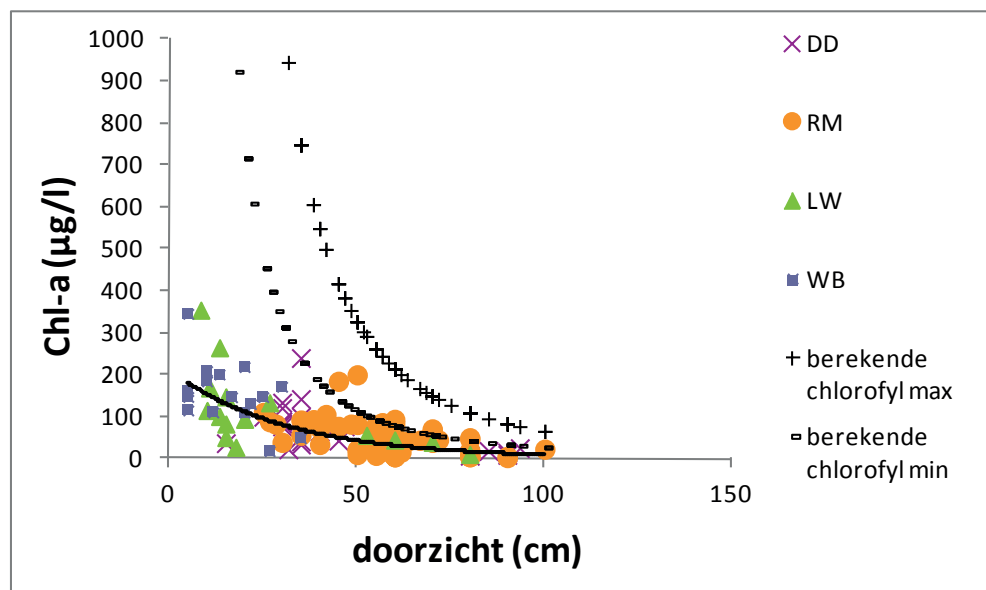


Uit meta-onderzoek blijkt dat voor meren in gematigd klimaat de relatie tussen de secchi diepte en de chlorofylconcentratie beschreven kan worden met de volgende vergelijking (Mazumder & Havens, 1998):

$$\log(\text{secchidiepte}) = (0,74 \pm 0,04) - (0,46 \pm 0,04)\log(\text{concentratie chlorofyl-a})$$

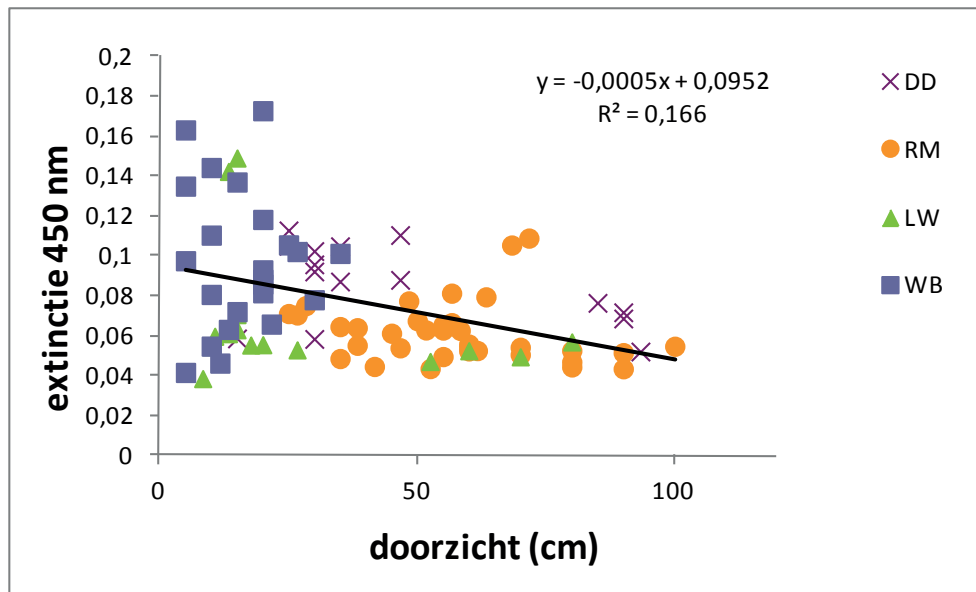
In figuur 6.99 is deze relatie met daarin de berekende minimum- en maximum-chlorofylconcentraties weergegeven als het doorzicht bepaald zou worden door fytoplankton. Hieruit blijkt dat met name in Woudbloem en Lalleweer de opwerveling van andere deeltjes een belangrijk aandeel heeft in het doorzicht. Als we uitgaan van de berekende minimale chlorofylconcentratie die het doorzicht zou verklaren volgens Mazumder & Havens (1998), dan kon in Woudbloem gemiddeld 14% van het doorzicht verklaard worden door chlorofyl (10-percentiel 1%, 90-percentiel 31%), in Lalleweer 21% (10-percentiel 4%, 90-percentiel 57%), in De Deelen 37% (10-percentiel 15%, 90-percentiel 62%) en in de Rottige Meente 54% (10-percentiel 8%, 90-percentiel 115%). Dit kwam overeen met metingen in andere meren in Nederland waar circa 15% (het Markermeer in 1990) tot 60% (het Wolderwijd in 1981) van het doorzicht door fytoplankton bepaald werd (Scheffer, 2004). Het uitdoven van de lichtintensiteit in het water is echter niet hetzelfde als het doorzicht dat met een secchischijf wordt gemeten. In de afname van de lichtintensiteit speelt fytoplankton een wat grotere rol dan andere deeltjes door absorptie van het licht (Scheffer, 2004).

FIGUUR 6.99. RELATIE TUSSEN HET DOORZICHT EN DE CONCENTRATIE CHLOROFYL-A MET DE BEREKENDE MINIMUM- EN MAXIMUMCONCENTRATIE CHLOROFYL-A VOLGENS MAZUMDER EN HAVENS (1998).



Naast deeltjes fytoplankton kan ook opgeloste organische stof voor absorptie van licht in het water zorgen. Dit is met name belangrijk in dystrofe wateren zoals zure veenplassen. Uit figuur 6.100 blijkt dat de kleuring door humuszuren in de onderzochte meren geen goede verklaring vormde voor het doorzicht. Een wat sterkere kleuring door humuszuren werd met name gevonden in Woudbloem en in iets mindere mate ook in De Deelen.

FIGUUR 6.100. VERBAND TUSSEN HET DOORZICHT (VOOR ZOVER GEEN BODEMZICHT) EN DE EXTINCTIE BIJ 450 NM NA FILTRATIE ALS MAAT VOOR DE CONCENTRATIE HUMUSZUREN.



BODEMPROFIELEN VELD

Voorafgaand aan de droogvalperiode en in de week dat de pompen op de locaties werden uitgezet, werden op de vier veldlocaties kolommen gestoken waarin een profiel van de concentraties in het porievocht en in de vaste stof werd gemeten. Bij de kolommen die aan het eind van de droogvalperiode werden gestoken, werd rekening gehouden met de mate van droogval. Er werden kolommen in de diepere gedeelten van de plas gestoken, die niet of slechts gedurende een beperkte periode droogvielen en kolommen aan de rand van de plas die gedurende een langere periode droogvielen. Op basis van de sulfaatconcentraties in het porievocht werd per locatie de mate van droogval afgeleid. De resultaten van de droogste kolom worden in de figuren rood weergegeven, de kolom die volgde in oranje, en de natste kolom in licht-oranje. De kolommen voorafgaand aan de droogvalperiode zijn in twee tinten blauw weergegeven. Op de locaties De Deelen en de Rottige Meente waren maar beperkte verschillen tussen de kolommen, de bodem op deze locaties was niet sterk uitgedroogd. Op de locaties Woudbloem en Lalleweer was wel een duidelijke gradiënt zichtbaar vanaf de kant naar het midden van de plas.

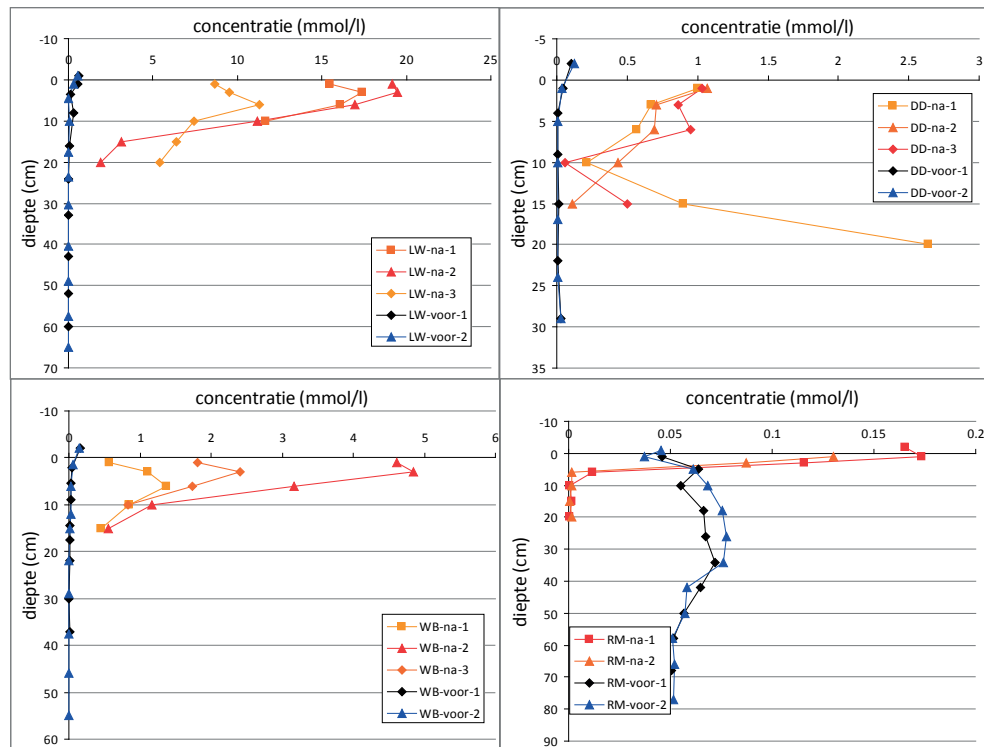
Op de locatie Woudbloem werd een groot verschil in de samenstelling van de vaste stof voor en na droogval geconstateerd. Zowel de percentages van alle elementen (zoals aluminium en calcium) als van het gehalte aan organische stof waren na droogval veel lager. De bodem in Lalleweer was na afloop van de droogvalperiode nog dermate uitgedroogd, dat er niet op alle diepten voldoende porievocht kon worden onttrokken voor de uitvoering van alle analyses.

Veranderingen in het porievocht

Sulfaatmobilisatie

Ondanks dat de mate van uitdroging in de Rottige Meente en De Deelen beperkt was, waren op alle locaties de sulfaatconcentraties in het porievocht verhoogd ten opzichte van de situatie voor droogval (figuur 6.101).

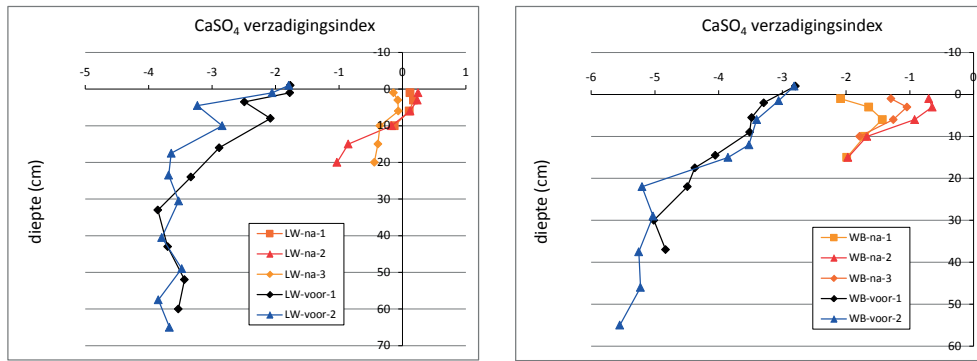
FIGUUR 6.101. SULFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT VOOR EN NA DROOGVAL.



De grootste stijging vond in Lalleweert plaats, waar op 3 cm diepte een concentratie van 20 mmol/l werd gemeten. In het kolomexperiment werd een dergelijke concentratie na 2 à 3 maanden droogval ook aangetroffen, maar dan over een groter deel van het diepteprofiel. In het kolomexperiment werden in het bijzonder de diepere lagen dus sterker geoxideerd dan in het veld. De concentraties zoals gemeten in het veldexperiment en in de mesocosmos lieten lagere maxima zien; dit verschil werd veroorzaakt doordat de bemonstering in deze experimenten op een diepte van 10 tot 20 cm plaatsvond, waar de bodem in mindere mate werd geoxideerd.

De hoogste sulfaatconcentratie in Woudbloem werd aangetroffen op een diepte van 3 cm. Met 5 mmol/l was deze lager dan in de kolomexperimenten (15 mmol/l), in overeenstemming met het veldexperiment (3 mmol/l op grotere diepte) en vergelijkbaar met de concentraties in de mesocosmos (6 mmol/l).

De sulfaatconcentraties in de profielen van De Deelen en de Rottige Meente waren veel lager dan in het kolomexperiment; de hoogste concentraties in het kolomexperiment van de beide locaties lagen rond de 20 mmol/l. Het was niet verrassend dat de bodems in het laboratorium sterker uitdroogden dan de waterbodem in het veld, maar het was wel opvallend dat de concentraties in de profielen veel lager waren dan in het veldexperiment werd gemeten (maximum concentratie in De Deelen 3,5 mmol/l, in de Rottige Meente 10 mmol/l). De kolommen voor de profielmetingen werden in de Rottige Meente vanaf de damwand gestoken, dus helemaal aan de rand van het compartiment. Ook in De Deelen was het petgat niet goed begaanbaar, waardoor deze kolommen ook aan de randen van de plas werden gestoken. Mogelijk was er aan de randen van het compartiment en het petgat sprake van enige lokale kwel, waardoor de bodem niet sterk oxideerde en het geproduceerde sulfaat kon uitspoelen. Vanwege de verschillen tussen de resultaten van de veldproef en de profielmetingen en vanwege het beperkte effect van de droogval, worden de resultaten van de profielmetingen op de Rottige Meente en De Deelen buiten beschouwing gelaten.

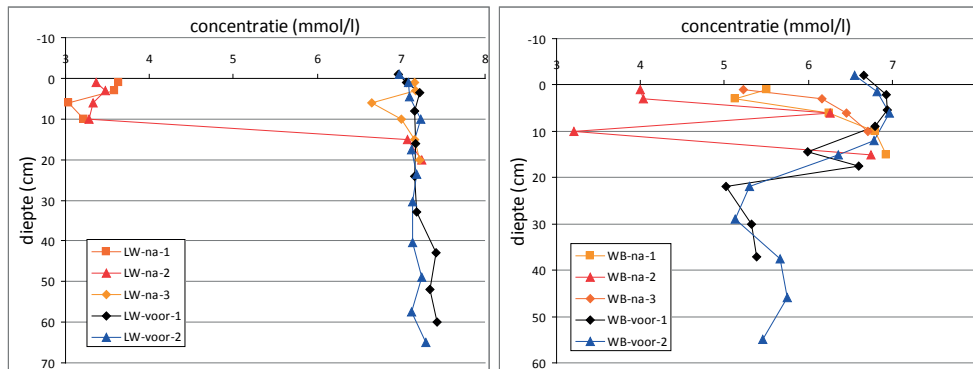
FIGUUR 6.102. VERZADIGINGSINDEX VOOR CaSO_4 VOOR EN NA DROOGVAL.

Evenals in het kolomexperiment, raakte het porievocht in Lalleweer oververzadigd voor CaSO_4 . In Woudbloem was dit niet het geval (figuur 6.102).

Effecten van verzuring

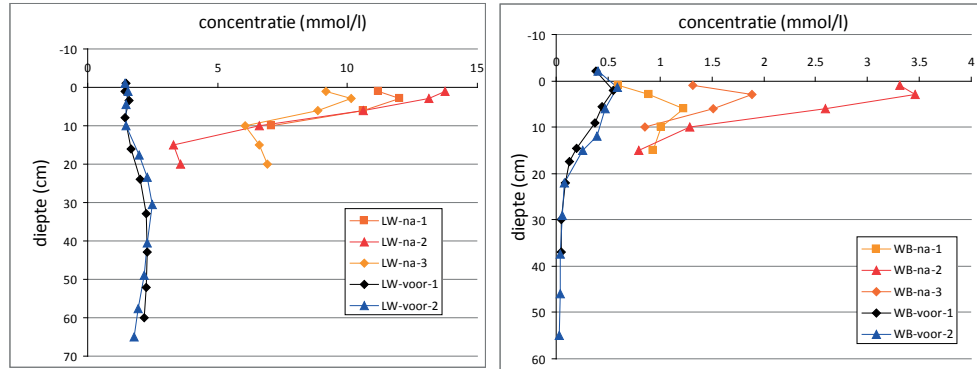
Voor de oxidatie van sulfiden (en ijzer) daalde de pH in het porievocht (figuur 6.103). De sulfaatproductie in De Deelen en de Rottige Meente was beperkt en werd volledig gebufferd door het in oplossing gaan van carbonaten. In Lalleweer daalde de pH in de bovenste 10 cm met vier eenheden, en ook in Woudbloem was de bovenste 10 cm duidelijk verzuurd.

FIGUUR 6.103. PH IN HET PORIEVOCHT VAN LALLEWEER EN WOUDBLOEM VOOR EN NA DROOGVAL.



De verzuring gevolgd door de buffering door carbonaten, leverde verhoogde calcium- en magnesiumconcentraties in het porievocht op (calcium in figuur 6.104, magnesium niet getoond). De calciumconcentraties zoals gemeten in de porievochtprofielen kwamen voor de locaties Lalleweer, Woudbloem en De Deelen goed overeen met de gemeten concentraties in het veldexperiment. In de Rottige Meente waren de gestoken kolommen duidelijk minder verzuurd (en gebufferd) dan de resultaten van het veldexperiment aangeven. In de kolomexperimenten van De Deelen, Woudbloem en de Rottige Meente kwamen hogere calciumconcentraties voor. Zoals ook al uit de sulfaatconcentraties bleek waren deze kolommen sterker uitgedroogd, geoxideerd, verzuurd en meer gebufferd dan de bodem in het veld.

FIGUUR 6.104. CALCIUMCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT VAN LALLEWEER EN WOUDBLOEM VOOR EN NA DROOGVAL

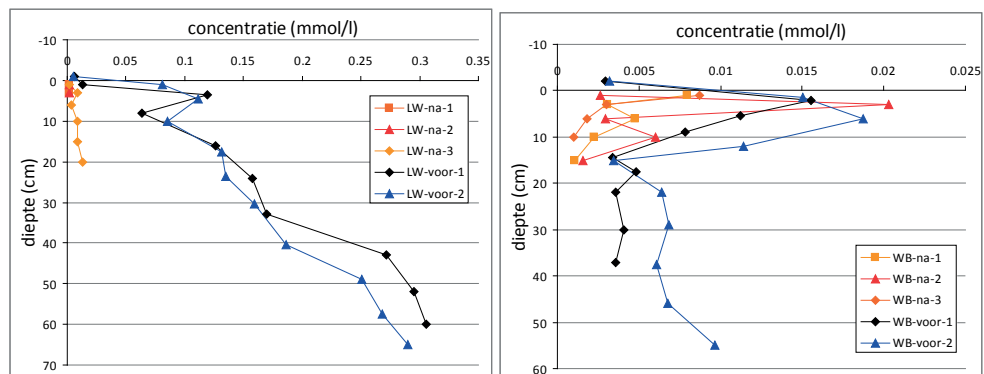


Door de sterke pH-daling in Lalleweer werden ook de kleimineralen aangetast, met als gevolg een stijging van de aluminiumconcentraties tot 30 $\mu\text{mol/l}$, ver boven de MTR (maximaal toelaatbaar risiconiveau) van 1,7 $\mu\text{mol/l}$. Daarnaast werden ook de zware metalen kobalt, zink en koper na droogval in hogere concentraties aangetroffen (maximaal 7 $\mu\text{mol/l}$). Bij stijging van de pH slaat aluminium weer neer in de vorm van aluminium(hydr)oxiden, waaraan fosfaat en zware metalen gebonden kunnen worden.

IJzer en fosfaat

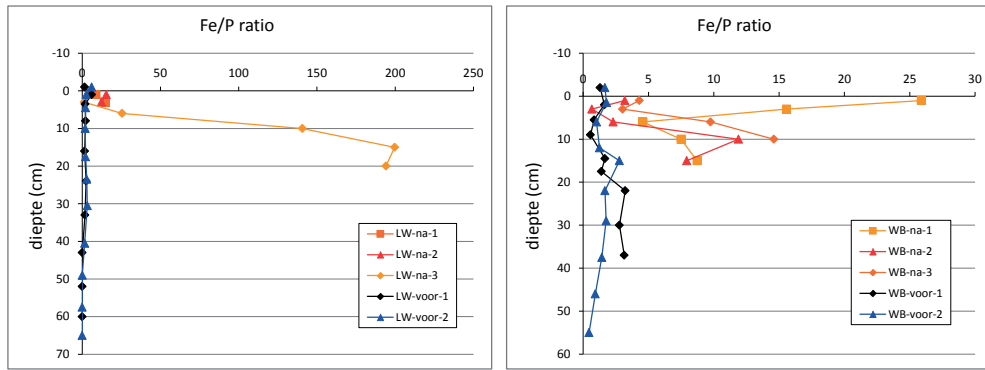
Gedurende de droogval trad oxidatie van ijzersulfiden tot sulfaat en Fe^{3+} op. Geoxideerd ijzer is zoals eerder genoemd slecht oplosbaar en slaat, tenzij de pH te laag is, snel neer in de vorm van ijzer(hydr)oxiden. De ijzerconcentraties die in oplossing werd aangetroffen waren dan ook beperkt (hoogste concentratie in Lalleweer van 2,5 mmol/l). Zeker in vergelijking met de hoeveelheid sulfaat die vrijkomt (niet weergegeven). Het ijzer dat vrijkwam was beschikbaar om fosfaat te binden. Dit bleek duidelijk uit de fosfaatconcentraties die in Lalleweer werden gemeten (figuur 6.105) en ook hetzij in wat mindere mate in De Deelen en Woudbloem.

FIGUUR 6.105. FOSFAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT VAN LALLEWEER EN WOUDBLOEM VOOR EN NA DROOGVAL.



Een indicator voor de vastlegging van fosfaat is de ijzer:fosfaat ratio. Als deze ratio onder de 1 zakt, neemt de diffusie naar het oppervlaktewater toe. In figuur 6.106 komt naar voren dat in Lalleweer en Woudbloem de ratio door de droogval toenam, zelfs sterker dan in het kolomexperiment. Uit de twee kolommen van Lalleweer die het sterkst waren geoxideerd, was het niet mogelijk om op alle bemonsteringsdieptes voldoende porievocht te onttrekken. De Fe/P ratio die opliep tot 200 trad dus op in de minst geoxideerde kolom. Bij De Deelen en de Rottige Meente nam de ratio in het kolomexperiment sterker toe dan in de profielen (tot 120 in De Deelen en bijna 300 in de Rottige Meente), doordat de bodems in het veld niet zo sterk waren uitgedroogd.

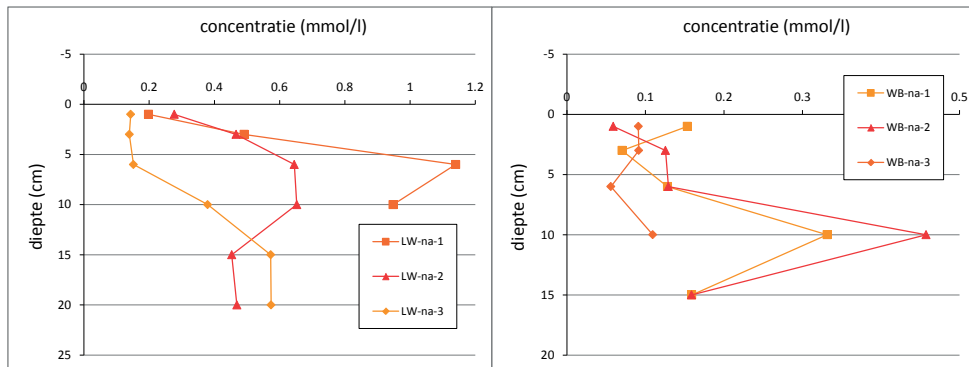
FIGUUR 6.106. IJZER:FOSFAATRATIO IN HET PORIEVOCHT VOOR EN NA DROOGVAL.



Ammonium en nitraat

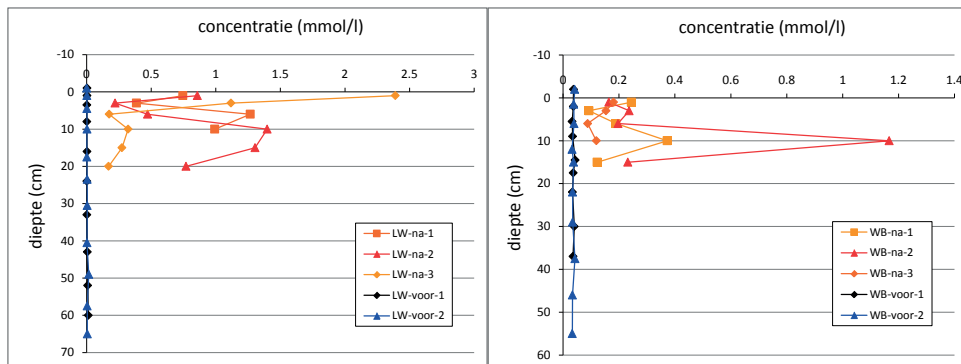
Voorafgaand aan de droogvalperiode werden de ammoniumconcentraties niet bepaald. Na de droogval lagen de concentraties in alle gebieden op gelijk niveau met maxima tussen de 0,45 en 2 mmol/l (figuur 6.107). Waar in Lalleweer, Woudbloem en de Rottige Meente het maximum op 5 tot 15 cm diepte lag, bleven in De Deelen de concentraties oplopen met de diepte. Het verschil tussen de sterker en minder sterk geoxideerde kolommen van Lalleweer en Woudbloem kwam niet in het verloop van de ammoniumconcentratie naar voren.

FIGUUR 6.107. AMMONIUMCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT VOOR EN NA DROOGVAL



Op alle locaties was nitraat voor droogval nagenoeg afwezig in het profiel (figuur 6.108). Na afloop van de droogvalperiode liepen de concentraties in Lalleweer en Woudbloem op tot ruim 1 mmol/l waarbij het maximum rond 10 cm diepte lag. In De Deelen en de Rottige Meente werd duidelijk een beperktere toename van nitraat gemeten.

FIGUUR 6.108. NITRAATCONCENTRATIES IN HET PORIEVOCHT VOOR EN NA DROOGVAL



Organisch en anorganisch koolstof

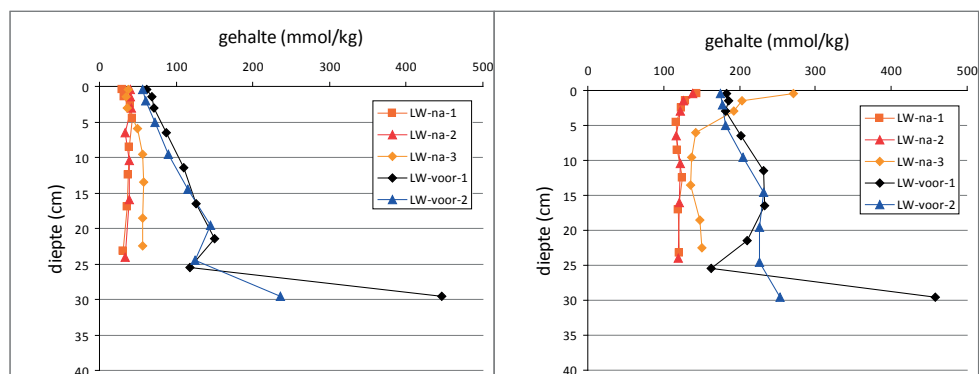
De concentraties anorganische koolstof (m.n. bicarbonaat) in oplossing zijn een directe afspiegeling van de pH (resultaten niet getoond). Behalve dit pH-effect, leek het effect van droogval op de bicarbonaatconcentraties beperkt. Ook de verschillen in de organische koolstof concentraties voor en na droogval waren nagenoeg afwezig.

Veranderingen in de samenstelling van de bodem

Op de locatie Woudbloem werden voor de droogval kolommen in een slibrijk gebied van de plas gestoken. De kolommen die na de droogvalperiode werden gestoken lieten lagere gehalten van alle elementen zien, waaruit viel af te leiden dat we met veel zandiger materiaal te maken hadden. Op basis van de samenstelling van het porievocht werd duidelijk dat er een verschil in mate van droogval was tussen de drie kolommen die aan het einde van de droogvalperiode bij Woudbloem gestoken werden. Er bleek echter geen verschil te bestaan in de vaste stof gehalten, waardoor geen eenduidig effect van droogval kon worden afgeleid. De kolommen van de Rottige Meente en De Deelen lieten, op enkele kleine veranderingen na, geen verschil in vaste stof gehalten zien vanwege de beperkte mate van uitdroging. In het porievocht dat gevoeliger is voor veranderingen, kwamen wel enkele effecten van oxidatie naar voren. Voor de presentatie van de vaste stof profielen wordt daarom alleen gebruik gemaakt van de analyseresultaten van Lalleweer. Ook bij de kolommen van Lalleweer was discussie mogelijk over de vergelijkbaarheid van de kolommen voorafgaand en na afloop van de droogvalperiode. Echter, omdat de mate van droogval die uit de porievochtprofielen naar voren kwam ook in de vaste stof profielen was terug te zien, leek de sterke oxidatie die op deze locatie plaatsvond door te werken in de totaal gehalten in de vaste stof.

De hoeveelheid sulfaat die in Lalleweer werd vrijgemaakt was dusdanig dat het totaal sulfaatgehalte na droogval sterk verlaagd was (figuur 6.109). De kolom die meer naar het midden van de plas werd gestoken (LW-na-3) en die geen pH-daling in het porievocht liet zien, vertoonde ook een (lichte) daling van het zwavelgehalte. Een deel van de daling kon zodoende veroorzaakt worden door een beperkte vergelijkbaarheid van de kolommen voor en na de droogvalperiode, maar het verschil tussen de kolommen LW-na-1 en 2 (sterk geoxideerd) en kolom LW-na-3 kon worden toegeschreven aan oxidatieprocessen. Door de zuurproductie gingen de carbonaten in oplossing, met een sterke daling van de calciumgehalten tot gevolg.

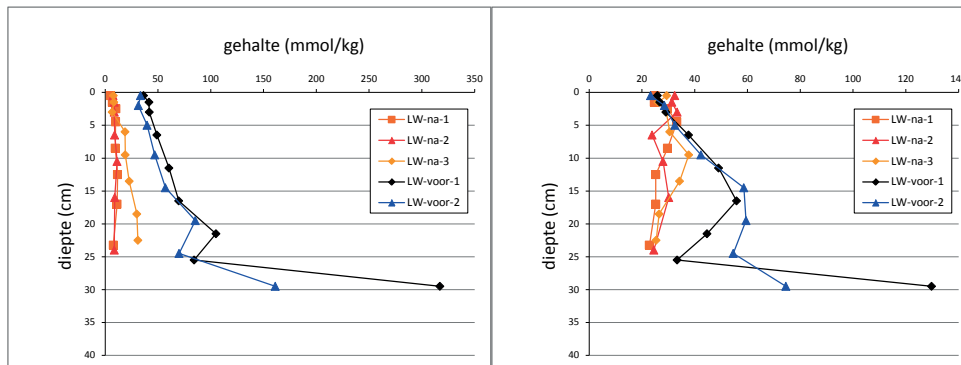
FIGUUR 6.109. ZWAVEL- (LINKS) EN CALCIUMGEHALTEN (RECHTS) IN DE WATERBODEM VOOR EN NA DROOGVAL.



Tijdens de zwavelanalyse kwamen sulfide en organisch zwavel eerder vrij dan zwavel in de vorm van sulfaat. Bij hoge organische stof percentages is de scheiding tussen de beide pieken lastig, maar in de monsters van Lalleweer was het wel mogelijk om een semi-kwantitatief onderscheid te maken. In figuur 6.110 is het gehalte sulfide/organisch zwavel (linkerzijde) en

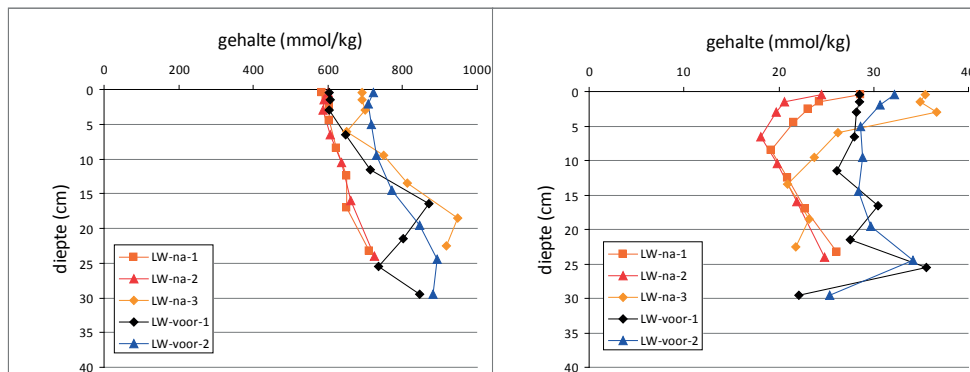
sulfaat (rechterzijde) weergegeven. In de twee sterk geoxideerde kolommen van Lalleweer was sprake van een duidelijke afname van de hoeveelheid sulfiden. Ondanks de oververzadiging voor CaSO_4 in het porievocht, was een toename van het sulfaatgehalte in de vaste stof nog niet zichtbaar.

FIGUUR 6.110. SULFIDE/ORGANISCH ZWAVELGEHALTEN (LINKS) EN SULFAATGEHALTEN (RECHTS) IN DE WATERBODEM VAN LALLEWEER VOOR EN NA DROOGVAL.

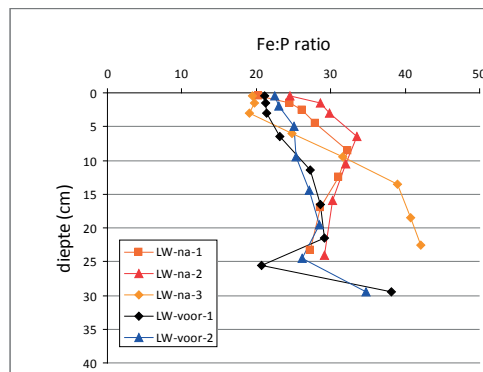


Tijdens de oxidatieprocessen kwam ijzer dat was vastgelegd in de vorm van ijzersulfiden vrij. Geoxideerd ijzer is slecht oplosbaar en zal precipiteren in de vorm van ijzer(hydr)oxiden. Gezien de verlaging van de ijzergehalten in het profiel (figuur 6.111, linkerzijde), leek een aanzienlijk deel van het ijzer te zijn afgevoerd, mogelijk met het weggepompte water. Daarnaast waren de fosfaatgehalten verlaagd (figuur 6.111, rechterzijde), waarbij de mate van verlaging duidelijk samenhangt met de mate van oxidatie. De combinatie van deze twee gegevens leverde een verbeterde ijzer:fosfaat ratio op na afloop van de droogvalperiode (figuur 6.112)

FIGUUR 6.111. IJZER- (LINKS) EN FOSFAATGEHALTEN (RECHTS) IN DE WATERBODEM VAN LALLEWEER VOOR EN NA DROOGVAL.

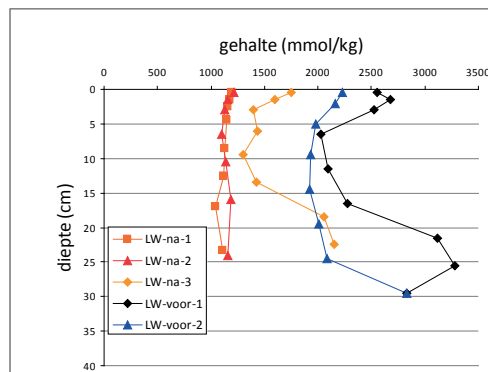


FIGUUR 6.112. IJZER:FOSFAAT RATIO VOOR EN NA DROOGVAL.



In Lalleweer trad daarnaast afbraak van organisch materiaal op (figuur 6.113), waarbij de kolommen die het sterkst verzuurd waren ook de grootste daling lieten zien.

FIGUUR 6.113. ORGANISCH KOOLSTOFGEHALTE VOOR EN NA DROOGVAL.



Ondanks dat er op slechts één locatie een duidelijk effect van de droogval op de vaste stof gehalten naar voren kwam, was er toch een parameter die beïnvloed leek door de oxidatie, verzuring en buffering als gevolg van de droogval. Magnesium kan in de bodem voorkomen in de vorm van carbonaten, maar is daarnaast ook onderdeel van kleimineralen en veldspaten. Wanneer magnesium voornamelijk aanwezig is in carbonaten, zal het totaalgehalte correleren met het totaalgehalte van calcium. Wanneer kleimineralen een grote rol spelen, ligt een correlatie met aluminium voor de hand. Uit het kolomexperiment was al naar voren gekomen dat er een groot verschil in de samenstelling van de carbonaten bestond tussen de verschillende locaties, waarbij met name De Deelen eruit sprong met een Ca:Mg verhouding van bijna 1:1. Het was dan ook niet verrassend dat er voorafgaand aan de droogvalperiode een sterke correlatie tussen calcium en magnesium bestond in de waterbodem van De Deelen (tabel 6.22). In Lalleweer en de Rottige Meente was de correlatie met aluminium sterker, hoewel er in Lalleweer ook een correlatie met calcium aanwezig was.

Na de droogvalperiode trad er op alle locaties behalve de Rottige Meente een duidelijke verschuiving op. De correlatie met calcium verdween nagenoeg geheel. De correlatie met aluminium werd sterker, hoewel deze in De Deelen zwak bleef. Deze verschuiving in de correlatie was een aanwijzing dat er buffering door carbonaten was opgetreden en dat de totale buffercapaciteit was afgenomen.

TABEL 6.22.

CORRELATIES TUSSEN MAGNESIUM EN ALUMINIUM EN MAGNESIUM EN CALCIUM.

	VOOR DROOGVAL		NA DROOGVAL	
	MG VS. AL	MG VS. CA	MG VS. AL	MG VS. CA
Lalleweer	0.96	0.73	0.97	-0.26
Woudbloem	0.46	0.64	0.92	0.73
De Deelen	0.01	0.93	0.60	-0.26
Rottige Meente	0.81	-0.76	0.89	-0.43

Deelconclusies water- en bodemonderzoek veldexperiment

In de veengebieden de Rottige Meente en De Deelen bleef een groot deel van de onderwaterbodem tijdens de droogvalperiode vrij vochtig. Hierdoor vond er weinig oxidatie plaats van gereduceerde verbindingen zoals sulfiden, gereduceerd ijzer en ammonium in de waterbodem. De oevers van deze petgaten werden echter wel veel droger, waardoor deze oxidatieprocessen hier sterker plaatsvonden. Dit leidde tot het vrijkomen van hoge concentraties sulfaat, dat na vernatting van de petgaten in het oppervlaktewater terecht kwam. Dit leidde tot een verdubbeling van de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater. In De Deelen spoelde ook veel calcium uit vanuit de oevers. Dit leidde daar eveneens tot een verdubbeling van de calciumconcentratie in het oppervlaktewater. In de Rottige Meente was de fosforconcentratie in het oppervlaktewater lager na droogval. In De Deelen leek de droogval een verhoogde afbraak van organische stof te veroorzaken. Onder invloed van zuurstof breken organische verbindingen zoals humuszuren sneller af dan onder anaerobe omstandigheden (Ramunni et al., 1987). Hierdoor nam waarschijnlijk de DOC-concentratie en de concentratie humuszuren (extinctie bij 450 nm) af na de droogval. Het effect van droogval op de DOC-concentratie is echter ambivalent: bij afbraak van vaste organische deeltjes ontstaat ook weer DOC. Dit was te zien tijdens de droogvalperiode in de Rottige Meente. De extra afbraak van organische stof leidde niet tot een duidelijke toename van nutriëntenconcentraties in het (porie)water. In het kolomexperiment was er daarom ook vaak eerst een toename van DOC te zien bij kortdurende droogval, gevolgd door een afname bij een langdurende droogval. Het precieze effect van droogval op DOC (waaronder humuszuren die de lichtinval in het oppervlaktewater kunnen verminderen) is vanuit de resultaten van het experiment niet concreet te voorspellen. Van groot belang hierin is in welke mate het veen nog intact is. Hervernatting van veraard veen leidt tot het uitspoelen van veel hogere concentraties DOC dan het hervernatten van onveraard veen (Zak & Gelbrecht, 2007).

De droogval en het wegvangen van vis leidde in de Rottige Meente tot consolidatie van de bodem en minder opwerveling van slibdeeltjes. Als gevolg hiervan ontstond een beter doorzicht en konden zich ondergedoken waterplanten ontwikkelen. Door de lage fosfaatbeschikbaarheid bleven ook algenbloeien uit.

De verhoogde sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater door de droogval kan echter - indien dit niet wordt afgevoerd - op den duur een gevaar vormen voor het vrijkomen van meer fosfaat uit de bodem wanneer dit sulfaat wordt gereduceerd. De kans hierop is waarschijnlijk groter in De Deelen omdat hier minder ijzer beschikbaar is dat nog niet als sulfide is vastgelegd en er ten opzichte van ijzer meer fosfor in de bodem zit.

In de plas Lalleweer die een marine kleibodem heeft, leidde droogval wel tot een aanzienlijke oxidatie van sulfiden, ijzer en daarmee tot een sterkere vastlegging van fosfor aan de bodem. Op het moment dat er slechts een klein laagje water in de plas stond, nam de invloed van de waterbodem op het oppervlaktewater toe, waardoor het water in de plas tijdelijk licht brak werd. Dit was van invloed op de kieming van planten, die aan deze omstandigheden moeten

zijn aangepast. Na afloop van de droogval had het oppervlaktewater nog steeds iets hogere natrium-, calcium- en chlorideconcentraties. De sulfaatconcentratie nam uiteindelijk in het oppervlaktewater niet toe en de fosforconcentratie, die al vrij laag was, nam niet verder af. De sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater was en bleef vrij hoog, maar dit zal bij reductie van dit sulfaat naar verwachting weinig invloed hebben op de beschikbaarheid van fosfaat, omdat veel ijzer in de bodem niet was vastgelegd aan sulfides en doordat er relatief weinig fosfor aanwezig was ten opzichte van het ijzer. Het doorzicht in de plas nam sterk toe door de droogval. Dit kan verklaard worden door de consolidatie van kleibodem, door de afwezigheid van bodemomwoelende vis en door de vestiging van helofyten die de invloed van de golfslag verkleinden (zie hoofdstuk vegetatie).

In de zandplas bij Woudbloem leidde droogval slechts zeer tijdelijk tot oxidatie van sulfide, ijzer en ammonium. In de bodem van de plas was slechts weinig ijzer aanwezig, waardoor het effect op de ijzerbeschikbaarheid beperkt was. In het jaar na de droogval vond er weer reductie plaats van sulfaat en ijzer en hoopten zich weer hoge concentraties ammonium op. De oppervlaktewaterkwaliteit van de plas veranderde daardoor niet door de droogval en na afloop van de droogval was het water nog even troebel en kwam er nog evenveel algenbloei voor.

Zowel fytoplankton als opgewerveld slib speelden een belangrijke rol in de onderzochte plassen. Dit betekent dus dat droogval zowel via vermindering van de fosforlevering en daarmee de vermindering van algenbloei, als via de aggregatie van deeltjes en verminderde opwerveling door vis positieve effecten kan hebben. In wateren zoals Woudbloem waarin het doorzicht grotendeels door andere deeltjes bepaald werd, leidt een vermindering van algenbloei niet of nauwelijks tot een verbetering van het doorzicht. Overigens kan de fytoplanktongroei zelf ook geremd worden door een slecht doorzicht. Als het doorzicht dan verbetert door vermindering van gesuspendeerde deeltjes zonder dat de nutriëntenconcentraties voldoende afnemen, kan dit leiden tot extra fytoplankton groei.

Porievocht- en vaste stofprofielen

Op de beide locaties met een veenbodem had de droogval maar een beperkte invloed, waarbij deze invloed in de profielen mogelijk nog werd onderschat doordat in verband met de slechte begaanbaarheid de kolommen aan de rand van het petgat en het droogvalcompartiment werden gestoken. Op deze plekken trad mogelijk kwel op van water uit de omgeving, waardoor enerzijds de waterbodem minder kans kreeg om uit te drogen, en anderzijds eventuele reactieproducten werden uitgespoeld en daardoor niet meer zichtbaar waren in het profiel.

In Woudbloem waren de kolommen die voor de droogvalperiode waren gestoken gevuld met sterk slibhoudend materiaal, terwijl de kolommen die na de droogval waren bemonsterd een veel zandiger karakter hadden. De invloed van droogval was desondanks wel in het porievocht terug te zien: de drie kolommen hadden verschillende sulfaatconcentraties, waardoor duidelijk is wat de bandbreedte is van de concentraties in het porievocht. De verschillen tussen de kolommen werden veroorzaakt door de mate van uitdroging tussen de rand en het midden van de plas. Een sterkere mate van uitdroging leverde niet een hoge ijzer:fosfaat ratio op, dus deze profielen leverden geen aanwijzing dat door de droogval de nalevering van fosfaat in Woudbloem zal verminderen.

De meeste effecten van droogval werden in de kleiplas Lalleweer bereikt. Door de forse uitdroging kwam er veel sulfaat vrij, trad een daling van de pH met 4 eenheden op en

daalde de fosfaatconcentratie in het porievocht. De waterbodem liet een verlaging van het zwavelgehalte zien over de 25 cm waterbodem die werd geanalyseerd. Deze verlaging bestond volledig uit sulfiden en/of organisch zwavel, een eventuele vorming van CaSO_4 kon (nog) niet worden aangetoond. Gezien de daling van het carbonaatgehalte en de sterke pH-daling, was de buffercapaciteit van de waterbodem grotendeels verbruikt. Zowel de ijzer- als de fosfaatgehalten daalden, mogelijk werden deze elementen met het weggepompte water afgevoerd. Het resultaat is een waterbodem die een deel van zijn nutriënten is kwijtgeraakt, en waar de verhoogde ijzer:fosfaat ratio de kans op nalevering van fosfaat verkleind.

6.4.4. FYTOPLANKTON

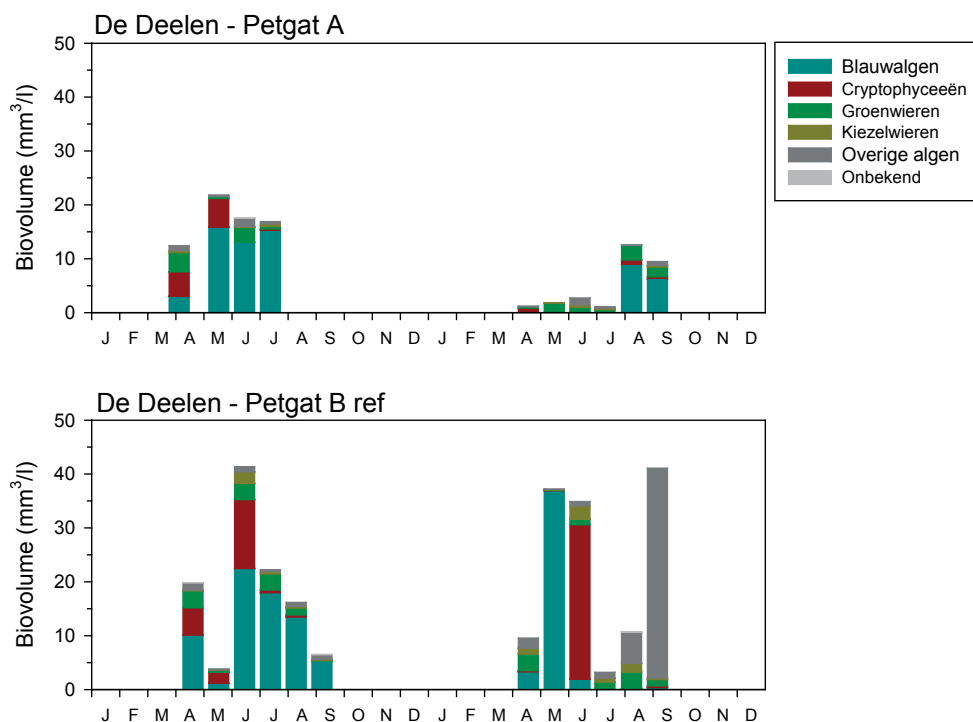
Op de verschillende onderzoekslocaties werden voor, tijdens en na de droogval de fytoplanktongemeenschappen bemonsterd en geanalyseerd. Hierbij werd specifiek aandacht geschonken aan zowel hoeveelheden of biovolumes als de diversiteit aan taxa, het optreden van blauwalgenbloeien en de aanwezigheid van verschillende functionele groepen.

Biovolume

Op de onderzoekslocaties waar in 2011 tijdelijke droogval optrad is het totale biovolume in 2012 duidelijk lager dan in 2011. Op de referentielocaties traden deze verschillen niet op. Daarnaast traden ook verschuivingen in de soortensamenstelling op, die ook tot uiting kwamen op het niveau van hoofdgroepen.

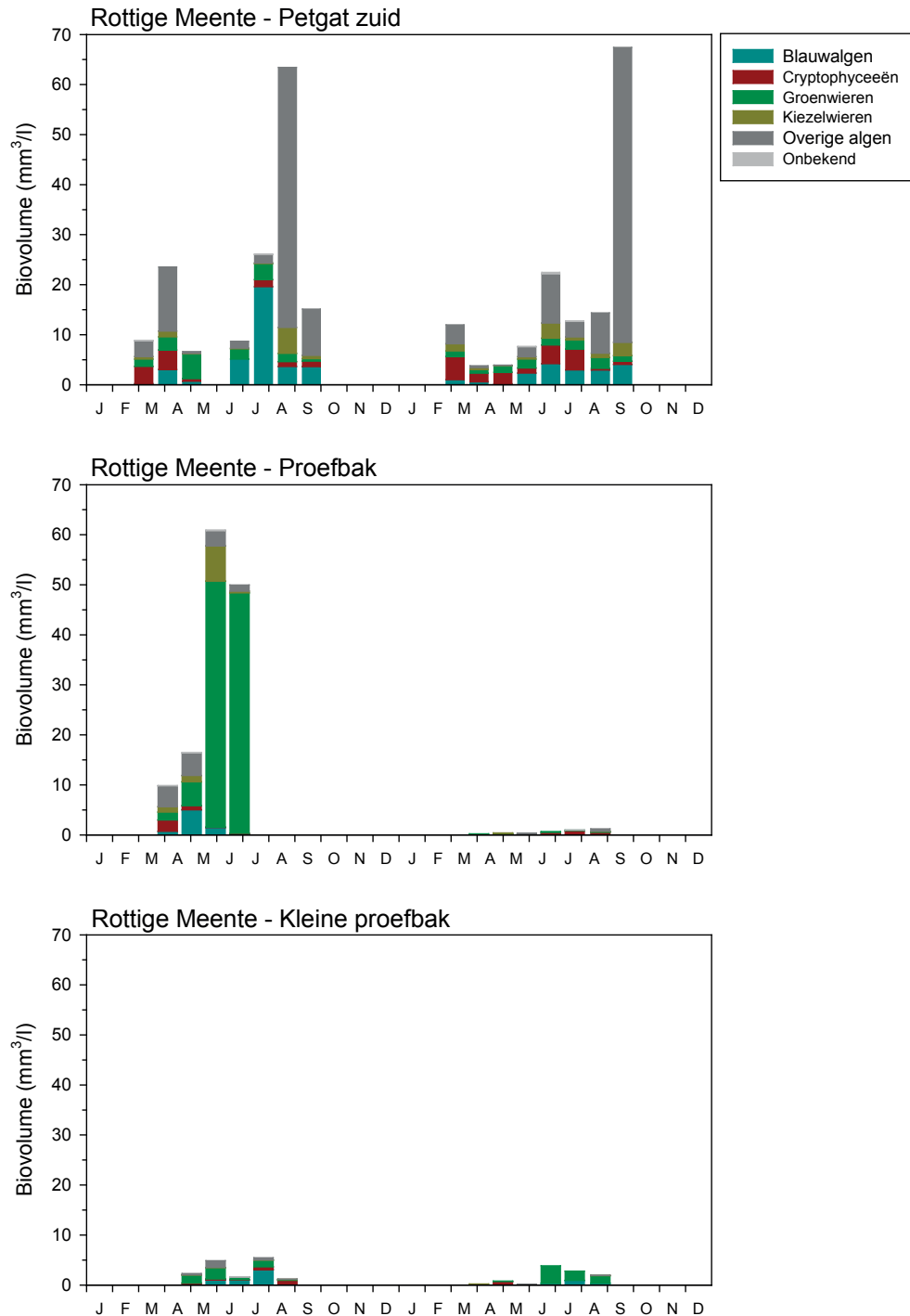
In De Deelen was het biovolume van het fytoplankton in het drooggeval petgat in de periode april-juli 2012 een factor 10 lager dan in dezelfde periode in 2011 (figuur 6.114). In het referentiepetgat was geen sprake van een afname van het biovolume. Wel traden in 2012 verschuivingen op in de soortensamenstelling.

FIGUUR 6.114. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER ALGENGROEP OP DE TWEE PROEFLOCATIES IN DE DEELLEN (PETGAT A= MET DROOGVAL, PETGAT B= REFERENTIE), IN DE PERIODE APRIL 2011 TOT EN MET SEPTEMBER 2012. DROOGVAL TRAD OP IN DE PERIODE JULI – SEPTEMBER 2011.



Vanaf mei 2012 nam het aandeel blauwalgen af ten gunste van cryptophyceen. Later in het seizoen kwam de raphidophyce *Gonyostonum semen* sterk tot ontwikkeling. Het aandeel blauwalgen in het drooggevallen petgat was in de periode april-juli 2012 zeer laag (gemiddeld 1,2%). In 2011 was het aandeel met 65,5% beduidend hoger. Echter, enige tijd later in 2012 bereikte het aandeel blauwalgen in het drooggevallen petgat weer een vergelijkbaar aandeel in de fytoplanktongemeenschap.

FIGUUR 6.115. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER ALGEGROEP IN DE ROTTIGE MEENTE (PETGAT ZUID = REFERENTIE BUITEN COMPARTIMENT, PROEFBAK = DROOGVALCOMPARTIMENT, KLEINE PROEFBAK = REFERENTIECOMPARTIMENT) IN DE PERIODE APRIL 2011 TOT EN MET SEPTEMBER 2012.

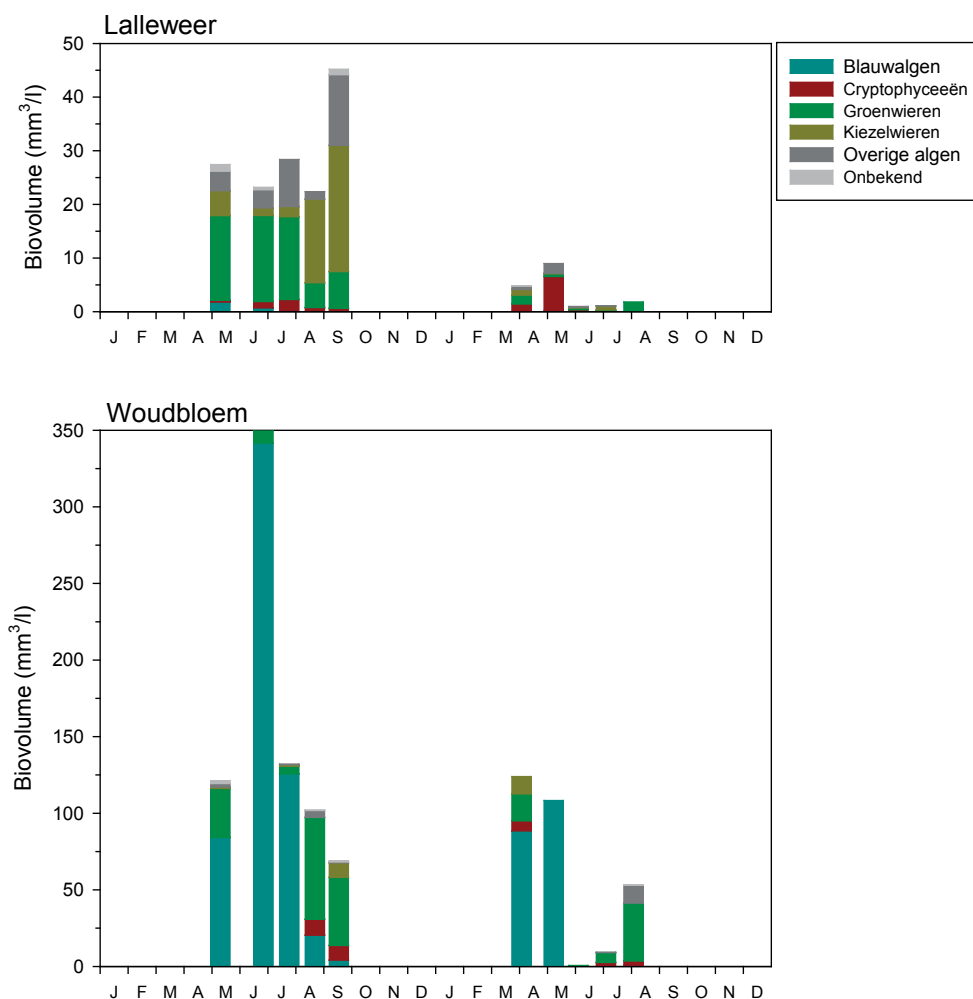


De afname van het totale biovolume na de droogvalperiode was nog duidelijker zichtbaar in het droogvalcompartiment in de Rottige Meente (figuur 6.115). Terwijl het biovolume eind mei 2011 nog 61 mm³/l bedroeg, werd in dezelfde periode in 2012 een hoeveelheid van slechts 0,4 mm³/l gemeten. De hoogste waarde gemeten in 2012 bedraagt 1,2 mm³/l en deed zich voor aan het einde van de meetperiode in augustus 2012.

In 2011 waren groenwieren qua biovolume nog het sterkst vertegenwoordigd in de fytoplanktongemeenschappen van De Deelen en de Rottige Meente. In 2012, na de droogvalperiode, traden verschuivingen op en hadden cryptophyceen het grootste aandeel. Alleen in april 2012 was nog sprake van een groot aandeel groenwieren, hoewel dit andere soorten betrof dan in 2011. In het referentiepetgat in De Deelen traden ook verschuivingen op, hetzij wat minder uitgesproken.

In het referentiecompartiment was het biovolume in zowel 2011 als 2012 relatief laag met gemiddelden van respectievelijk 3,1 en 1,6 mm³/l. Blauwalgen, groenalgen en cryptophyceen vormden het grootste aandeel in de fytoplanktongemeenschap. In de zomer van 2011 was het aandeel blauwalgen wat groter, terwijl in 2012 de groenalgen een groter aandeel hadden.

FIGUUR 6.116. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER ALGENGROEP IN LALLEWEER EN WOUDBLOEM, IN DE PERIODE MEI 2011 TOT EN MET AUGUSTUS 2012.



Ook op de onderzoekslocaties Lalleweer en Woudbloem trad in het jaar na de droogval een forse afname in het biovolume van het fytoplankton op (figuur 6.116). In Lalleweer nam zoals in De Deelen het aandeel groenwieren af, terwijl het aandeel cryptothyceen juist toenam. In Lalleweer kwamen blauwalgen voor en na de droogval maar zeer beperkt of geheel niet voor (figuur 6.119).

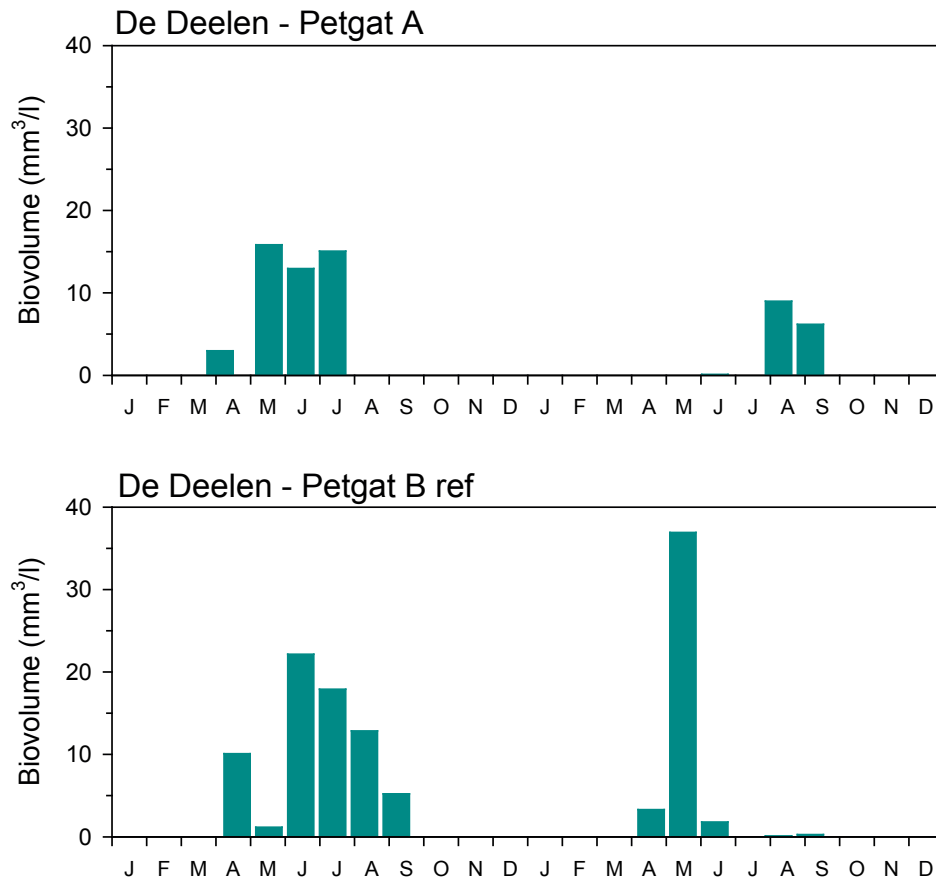
In Woudbloem vormden blauwalgen zowel voor als na de droogval een belangrijk aandeel van de fytoplanktongemeenschap. In de periode mei-juli 2011 was sprake van een bloei van de blauwalg *Planktothrix agardhii* wat ook sterk tot uitdrukking kwam in het biovolume (figuur 6.116). In de periode dat de plas droogviel verdween deze soort volledig. Ook in 2012 werd *Planktothrix agardhii* niet meer aangetroffen. Deze soort was klaarblijkelijk niet in staat om een droogvalperiode goed door te komen. In Woudbloem domineerden blauwalgen ook na de droogval nog. In het voorjaar 2012 kwam een andere blauwalg, *Aphanizomenon gracile*, sterk tot ontwikkeling en werden biovolumes bereikt die vergelijkbaar waren met 2011. Echter, wat later in het seizoen verdween deze soort en was er sprake van beduidend lagere hoeveelheden fytoplankton dan in 2011.

Toxische blauwalgen

Bepaalde blauwalgen scheiden toxische verbindingen uit, waardoor gezondheidsrisico's bij mens en dier kunnen ontstaan. In beide petgaten in De Deelen was voor de droogval sprake van hoge concentraties toxische blauwalgen. Indien er sprake zou zijn geweest van een zwemwaterfunctie zou hier een negatief zwemadvies afgegeven moeten worden, omdat er sprake was van een biovolume van meer dan 15 mm³/l. In 2012 werden in het referentie petgat vergelijkbare hoeveelheden aangetroffen. In het drooggevallen petgat waren weliswaar blauwalgen aanwezig, maar bleef het biovolume beneden 9 mm³/l. (figuur 6.117). Wel traden enkele verschuivingen in soorten op. Zo waren voor de droogval de taxa *Aphanizomenon* en *Planktothrix* het sterkst vertegenwoordigd. Na de droogval gold dit nog steeds voor het referentiepetgat. De bloei die in mei optrad werd veroorzaakt door *Planktothrix agardhii*. In het drooggevallen petgat werden echter soorten van het geslacht *Anabaena* verantwoordelijk voor de hogere waarden in augustus en september 2012.

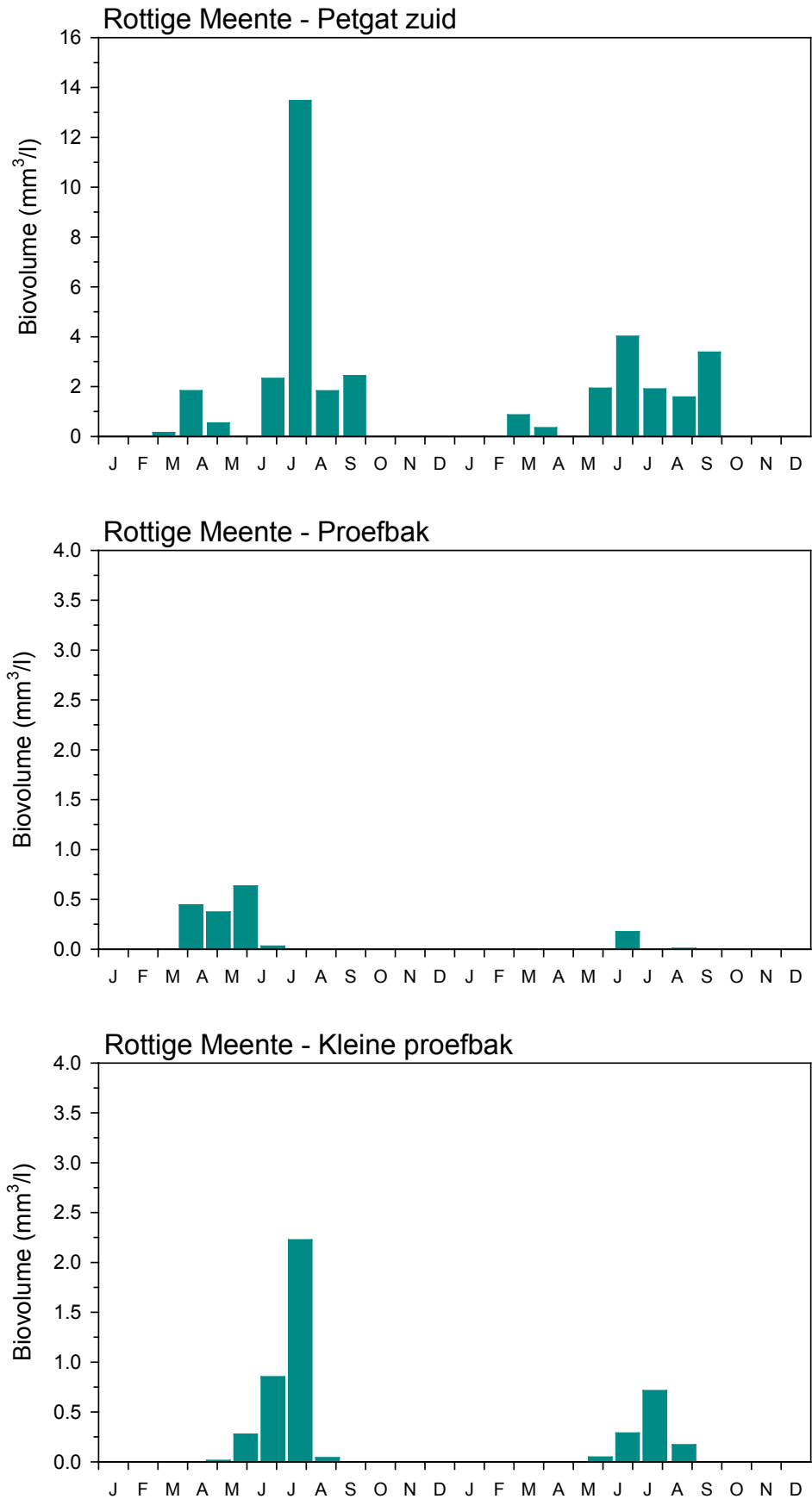
De verschuivingen van *Aphanizomenon* en *Planktothrix* (of *Microcystis*) naar *Anabaena* waren mogelijk het gevolg van verbeteringen in de waterkwaliteit (meer doorzicht, minder stikstof). Mogelijk dat ook gevoeligheid voor de droogval een rol speelde. *Anabaena* vormde in tegenstelling tot *Planktothrix* sporen, waarmee tijdelijk minder gunstige omstandigheden konden worden doorstaan.

FIGUUR 6.117. BIOVOLUME VAN POTENTIEEL TOXISCHE BLAUWALGEN IN DE PETGATEN (PETGAT A= DROOGVAL, PETGAT B= REFERENTIE) VAN DE DEELLEN, IN DE PERIODE MAART 2011 TOT EN MET SEPTEMBER 2012.

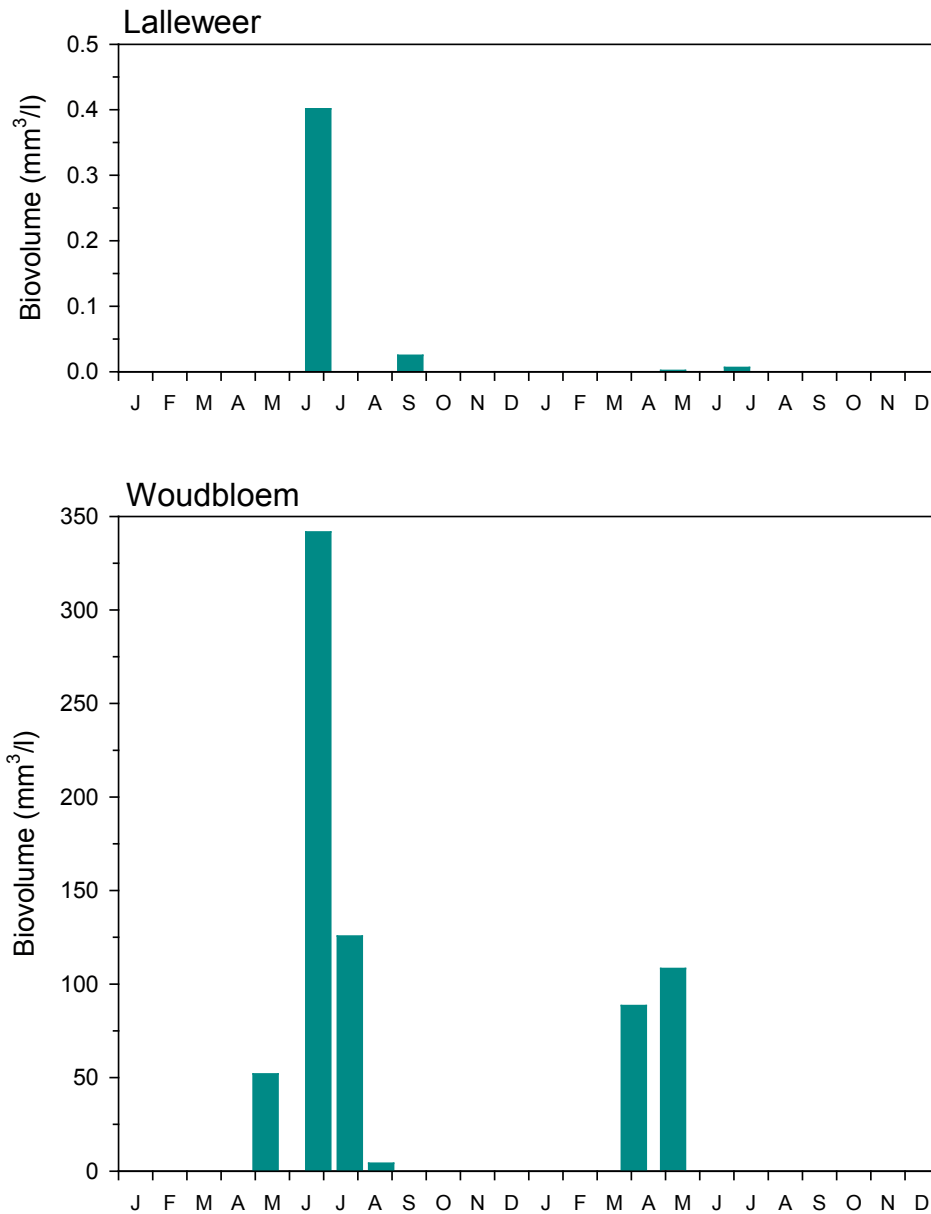


Ook in de Rottige Meente waren de hoeveelheden toxische blauwalgen in 2012 veel lager dan voor de droogval in 2011 (figuur 6.118). De afname werd veroorzaakt door veel lagere aantallen aan *Aphanizomenon*, *Microcystis* en *Woronichinia*. *Anabaena* kwam nog wel voor in 2012, hetgeen vooral meetbaar was in mei 2012. In de referentie buiten het compartiment traden amper veranderingen op.

FIGUUR 6.118. BIOVOLUME VAN POTENTIEEL TOXISCHE BLAUWALGEN OP DE PROEFLOCATIES IN DE ROTTIGE MEENTE (PETGAT ZUID= REFERENTIE BUITEN COMPARTIMENT, PROEFBAK= DROOGVALCOMPARTIMENT, KLEINE PROEFBAK= REFERENTIECOMPARTIMENT), IN DE PERIODE MAART 2011 TOT EN MET SEPTEMBER 2012.



FIGUUR 6.119. BIOVOLUME VAN POTENTIEEL TOXISCHE BLAUWALGEN IN LALLEWEER EN WOUDBLOEM, IN DE PERIODE MEI 2011 TOT EN MET AUGUSTUS 2012.



Diversiteit

Het aantal taxa binnen de fytoplanktongemeenschap leek door de droogval ten opzichte van zowel de referentie als de situatie voor droogval af te nemen (tabel 6.23). Hierbij werd het aantal taxa als maat voor diversiteit gehanteerd en niet het daadwerkelijk aantal soorten.

TABEL 6.23. DIVERSITEIT IN TAXA OVER HET ZOMERHALFJAAR (AANTAL TAXA IN DE TELLINGEN EN HET GEMIDDELDE PER SEIZOEN).

LOCATIE	MEETJAAR 2011								MEETJAAR 2012							
	M	A	M	J	J	A	S	GEM	M	A	M	J	J	A	S	GEM
De Deelen (Fr)																
Droogval (petgat A)		45	24	39	29			34		23	10	32	30	16	46	26
Referentie (petgat B)		39	25	46	29	39	18	33		53	19	34	46	77	57	48
Rottige Meente (Fr)																
Buiten compartiment	56	60	40	62	62	76	46	57	63	65	58	66	112	82	79	75
Compartiment		53	55	43				50		10	19	24	17	54		25
Referentie		48	25	60	32		41		15	23	25	32	41		27	
Lalleweer (Gr)																
			44	61	46	37	43	46		36	29	26	32	12		27
Woudbloem (Gr)																
			52	7	8	37	68	34		9	1	12	32	53		21

Bijzondere waarnemingen

De meeste aangetroffen soorten fytoplankton waren algemeen voor Nederlandse matig tot sterk gebufferde oppervlaktewateren. In Lalleweer en incidenteel in Woudbloem werden de kiezelwieren *Ceratoneis gracilis* en *C. closterium* aangetroffen. Deze soorten worden doorgaans aangetroffen in sterk alkalische wateren met een verhoogd zoutgehalte door bijvoorbeeld brakke kwel. Uit de analyses van het oppervlaktewater bleek ook dat zowel EGV als zoutgehalte tijdens de droogvalperiode toenamen.

In De Deelen en de Rottige Meente werd de soort *Gonyostomum semen* aangetroffen. Deze grote flagellaat komt algemeen voor in zure vennen, maar wordt ook aangetroffen in neutrale plassen met beperking van het doorzicht door humuszuren of gesuspendeerde bodemdeeltjes. In beide plassen nam de pH gedurende de droogvalperiode tijdelijk af. Mogelijk dat deze tijdelijke verandering de ontwikkeling van *G. semen* mogelijk maakte.

Functionele groepen

Op basis van hun ecologisch functioneren kan fytoplankton in verschillende functionele groepen worden ingedeeld. Momenteel worden ongeveer veertig groepen onderscheiden (Padisak *et al.* 2009). Uitgaande van een minimaal biovolume van 1 mm³/l en door hergroepering in gemeenschappelijke primaire eigenschappen bleven er voor de onderzoekslocaties 7 relevante groepen over (tabel 6.24, 6.25).

TABEL 6.24. OMSCHRIJVING EIGENSCHAPPEN VAN DE BELANGRIJKSTE FUNCTIONELE GROEPEN (NAAR REYNOLDS 2006, PADISAK ET AL. 2009).

GROEP	HABITATKEUZE	TOLERANTIES	GEVOELIGHEDEN	VOORBEELDTAXA
H1	Stikstoffixerende blauwalgen van eutrofe meren	N-tekort, C-tekort, begrazing	Menging, P-tekort, lichttekort	<i>Anabaena</i> p.p. <i>Aphanizomenon</i>
J	Ondiepe, geëutrofiëerde meren en rivieren	Lichttekort	Sedimentatie naar de bodem	<i>Coelastrum</i> , <i>Pediastrum</i> , <i>Scenedesmus</i>
Lo	Ondiepe en diepe, oligo- tot eutrofe meren	Heterogene verdeling N en P, begrazing	Aanhoudende, of diepe menging	<i>Gymnodinium</i> , <i>Merismopedioidia</i> , <i>Woronichinia</i>
M	Eutrofe tot hypertrofe plassen en meren	Hoge instraling	Doorspoeling, lichttekort	<i>Microcystis</i>
P	Eutrofe tot hypertrofe, gemengde, twee tot drie meter diepe waterkolommen	Mild lichttekort en C-tekort	Si-tekort, stratificatie	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Closterium aciculare</i>
Q	Kleine, zure tot neutrale, huimeuze plassen	Hoge troebelheid door kleurstoffen		<i>Gonyostomum semen</i>
S1	Gemengde, troebele waterlagen	Sterk lichttekort, begrazing	Uitspoeling	<i>Limnithrix</i> , <i>Planktotrix agardhii</i>
Y	Kleine, geëutrofiëerde meren	Lichttekort	Begrazing	<i>Cryptomonas</i>

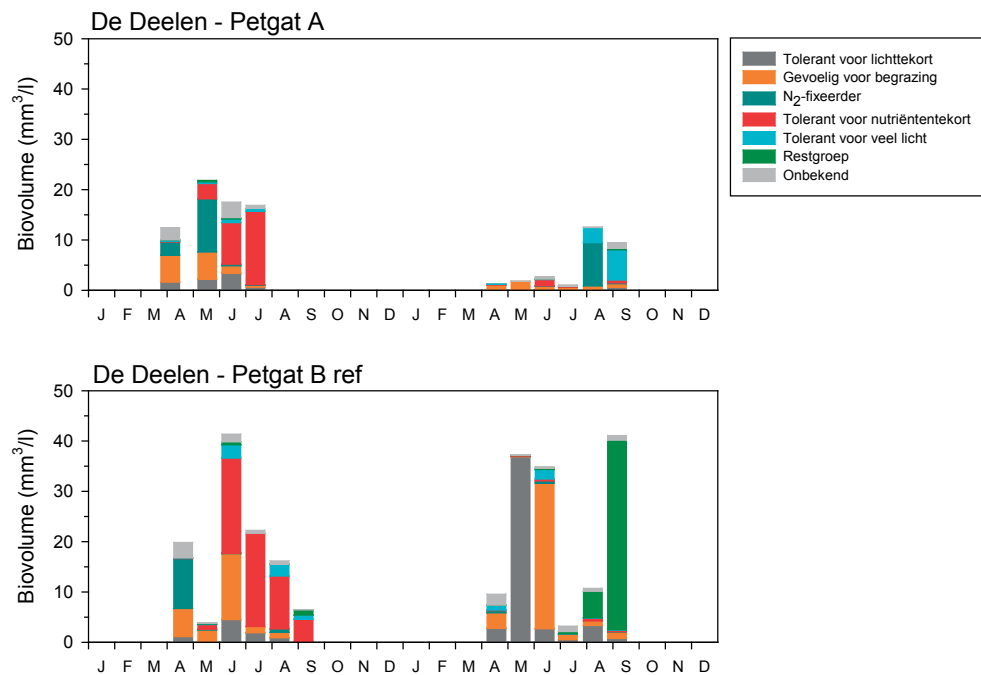
TABEL 6.25. DE 7 ONDERSCHIEDEN HOOFDGROEPEN MET DE VOOR DE ONDERZOEKSLocatIES BELANGRIJKSTE FUNCTIONELE GROEPEN (CODERING NAAR REYNOLDS, 2006).

PRIMAIRE EIGENSCHAP	FUNCTIONELE GROEPEN
Tolerant voor lichttekort	J, P, S1
Gevoelig voor begrazing	Y
N ₂ -fixeerders	H1
Tolerant voor nutriëntentekort	Lo
Tolerant voor veel licht	M
Restgroep	Q
Onbekend	

De Deelen

In beide petgaten in De Deelen kwamen in 2011 vooral groepen voor die gevoelig zijn voor begrazing, in staat zijn tot N₂-fixatie of tolerant zijn voor een tekort aan nutriënten (figuur 6.120). Na de droogval in 2012 leek in het referentie petgat vooral lichttekort een sturende factor. Ook de restgroep bevestigde dit beeld, omdat deze vooral uit de soort *G. semen* bestond, die zich goed kan ontwikkelen bij een beperkt doorzicht. In het drooggevallen petgat was het aandeel van de groep met tolerantie voor lichttekort veel minder uitgesproken aanwezig. Dit beeld kwam overeen met het doorzicht dat in beide petgaten na de droogval werd gemeten. Kort na de droogval waren er in het drooggevallen petgat vooral begrazingsgevoelige en snelgroeïende soorten aanwezig. Hieruit kon worden opgemaakt dat er sprake was van verminderde concurrentie binnen het fytoplankton en een afgenomen graasdruk. In 2012 kwamen in de nazomer juist groepen tot ontwikkeling met tolerantie tegenover stikstoflimitatie en een hoge instraling van zonlicht. Dit laatste sloot ook weer aan bij het verbeterde doorzicht in het droogval petgat ten opzichte van het referentie petgat.

FIGUUR 6.120. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER FUNCTIONELE GROEP OP DE TWEE PROEFLOCATIES IN DE DEELLEN, IN DE PERIODE MAART 2011 TOT EN MET SEPTEMBER 2012.



Rottige Meente

In beide compartimenten blijken in 2012 andere functionele groepen naar voren te komen dan in 2011 (figuur 6.121). In het compartiment met droogval domineerden aanvankelijk groepen met een gevoeligheid voor begrazing of tolerantie voor lichttekort.

In het referentiecompartiment trad in 2012 vooral de groep met tolerantie voor nutriëntentekorten meer naar voren. De restgroep bestond uit de draadalg *Spirogyra*, behorend tot de groep met tolerantie voor lichttekorten. In het referentiecompartiment was echter sprake van een groot doorzicht. Er was echter nauwelijks sprake van bodemzicht door de sterke ontwikkeling van smalle waterpest (*Elodea nutalli*). *Spirogyra* is een bodemalg die waarschijnlijk tot ontwikkeling kon komen op het moment dat er nog sprake was van bodemzicht in het vroege voorjaar van 2011. Later werden de lichtcondities op de bodem minder, door de sterke ontwikkeling van *E. nutalli*. *Spirogyra* kwam in 2012 dan ook vooral voor aan het wateroppervlak als flab (floating algal beds).

In de referentie buiten het compartiment traden er weinig veranderingen in functionele groepen op (figuur 6.121). In het voorjaar bleek de graasdruk beperkt, waarna begrazingsgevoelige soorten afnamen ten gunste van soorten met tolerantie voor begrazing en nutriëntentekort.

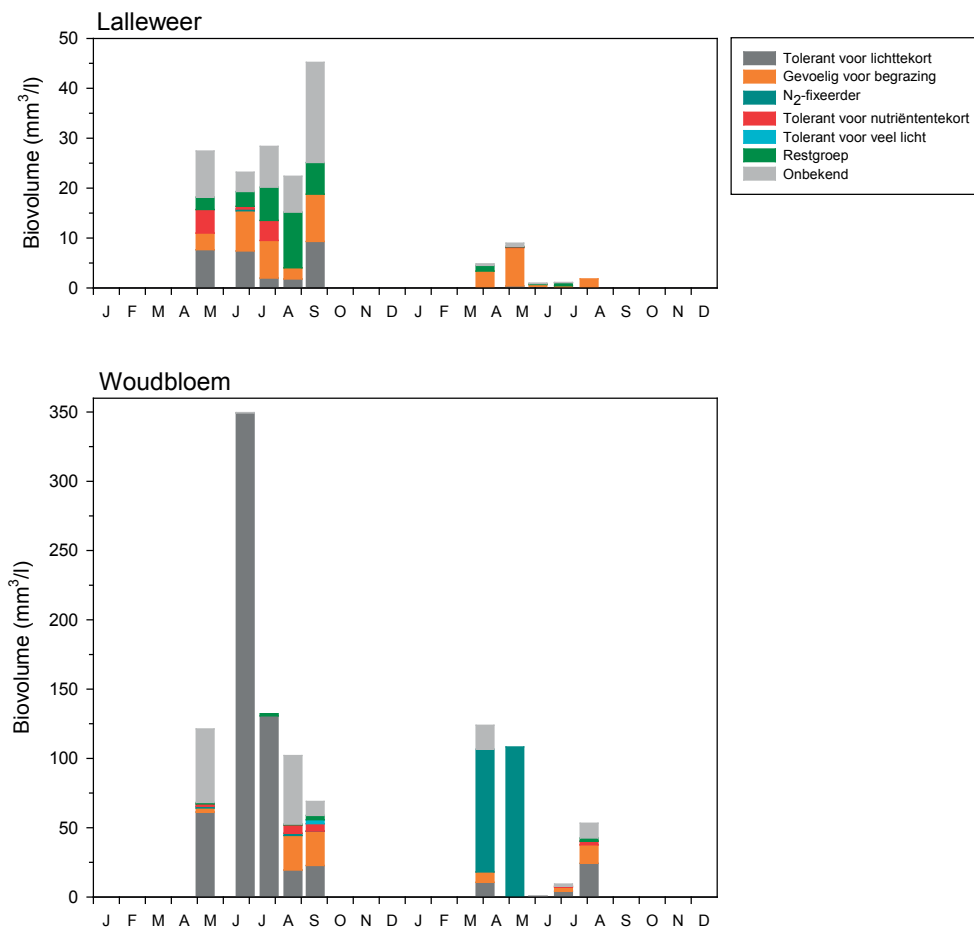
Lalleweer

Voor de droogval optrad was er in Lalleweer sprake van functionele groepen die tolerant zijn voor lichttekort of beperkte beschikbaarheid van nutriënten. Voor de droogval was het oppervlaktewater inderdaad erg troebel door opwerveling van kleideeltjes. De droogval leidde in Lalleweer tot een sterke verbetering van het doorzicht. In de functionele groepen trad ook een verschuiving op. Na de droogval bleken groepen die gevoelig zijn voor begrazing maar snel kunnen groeien veel sterker vertegenwoordigd (figuur 6.122).

Woudbloem

De belangrijkste verschuiving die in Woudbloem na de droogvalperiode optrad was het verdwijnen van de blauwalg *Planktothrix agardhii*. Dit is een soort die goed is aangepast aan een beperkte hoeveelheid licht. De N_2 fixeerder *Aphanizomenon gracile* nam juist in aantal toe. De verschuiving leek niet direct het gevolg van veranderingen in de nutriëntenhuishouding, want deze bleken beperkt te zijn. De verschuiving zal eerder het gevolg zijn geweest van verschillen in overlevingsstrategie. *Planktothrix* vormt namelijk geen sporen en moet zich in de waterkolom zien te handhaven, terwijl *Aphanizomenon* sporen maakt en zodoende in het sediment kan overleven.

FIGUUR 6.122. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER FUNCTIONELE GROEP IN LALLEWEER EN WOUDBLOEM, IN DE PERIODE MEI 2011 TOT EN MET AUGUSTUS 2012.



Toetsing aan de KRW-maatlat bloeien

De resultaten van de fytoplanktonanalyse werden tevens getoetst aan de maatlat voor bloeien. Hieruit bleek dat de drooggevallen wateren in veel gevallen hoger scoorden na de droogvalperiode (tabel 6.26). De grootste verschillen deden zich voor in de Groningse plassen Lalleweer en Woudbloem. In 2012 scoorden beide locaties een klasse hoger dan voor de droogval. De reden hiervoor is dat het aantal bloeien sterk was afgenomen en de meest 'slechte' bloeien, zoals van *Planktothrix agardhii* en *Stephanodiscus hantzschii* (Bijlage IV) niet werden meer aangetroffen. De droogval leidde tot weinig verandering in De Deelen. In de Rottige Meente traden in 2012, na de droogvalperiode, geen bloeien meer op.

TABEL 6.26. HANDMATIG BEREKENDE EKR'S EN EINDOORDELEN VOLGENS DE FYTOPLANKTONMAATLAT BLOEIEN.

MEETJAAR 2011									
LOCATIE	MAART	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEPT	GEMIDD	OORDEEL
De Deelen (Fr)									
Droogval (Petgat A)		0.4	0.4	0.4	0.6			0.45	Matig
Referentie (Petgat B)		0.4	0.6	0.4	0.4	0.4	0.6	0.47	Matig
Rottige Meente (Fr)									
Buiten compartiment	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.40	Ontoereikend
Compartiment		0.6	0.5	-				0.55	Matig
Referentie compartiment			0.4	-	0.4	-		0.40	Matig
Lalleweer (Gr)			0.2	0.2	0.4	0.4	0.2	0.28	Ontoereikend
Woudbloem (Gr)			0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.14	Slecht
MEETJAAR 2012									
LOCATIE	MAART	APRIL	MEI	JUNI	JULI	AUG	SEPT	GEMIDD	OORDEEL
De Deelen (Fr)									
Droogval (Petgat A)		-	-	0.7	0.4	0.5	0.2	0.45	Matig
Referentie (Petgat B)		0.4	-	0.4	0.4	0.4	0.3	0.38	Ontoereikend
Rottige Meente (Fr)									
Buiten compartiment	-	-	-	0.4	0.6	0.5	0.3	0.45	Matig
Compartiment		-	-	-	-	-		-	-
Referentie compartiment		-	-	-	0.4	-		0.40	Ontoereikend
Lalleweer (Gr)		0.4	0.4	-	-	0.6		0.47	Matig
Woudbloem (Gr)		0.4	0.4	-	0.6	0.2		0.40	Ontoereikend

6.4.5. VEGETATIE

Ontwikkeling van vegetatie in de tijd en effect van vraat

Voor en na de droogval werd de ontwikkeling van water- en oevervegetatie in beeld gebracht. Naast vegetatieopnames in en rond de plassen, werd de ontwikkeling van vegetatie in de tijd ook in exclusures gevolgd. Hierbij werd tevens het effect van vraat onderzocht.

Droogval kan directe effecten hebben op de vegetatieontwikkeling door de stimulering van kieming van waterplanten en door uitbreiding van de helofytenzone. Daarnaast zijn er indirecte effecten te verwachten door veranderingen in de waterkwaliteit. Om de veranderingen te volgen werden er in elk gebied permanente kwadraten uitgezet om de veranderingen te monitoren. De helft van deze permanente kwadraten waren exclusures, waardoor ook de effecten van vraat in beeld konden worden gebracht.

Woudbloem

De plas bij Woudbloem was troebel en voorafgaand aan de droogval werden geen ondergedoken waterplanten aangetroffen. Voordat de plas werd afgescheiden van de rest van de plassen door middel van de gronddam, bestond de oever uit een zone met Pitrus (*Juncus effusus*). Door de aanleg van de gronddam begon een deel van de plas al droog te vallen voordat de pompen werden aangezet voor de droogvalperiode. Deze zone kon hierdoor eerder begroeid raken dan de rest van de waterbodem van de plas. Na afloop van de droogvalperiode

bleef het waterpeil nog een relatief lange periode laag waarbij het eerst drooggevallen deel nog steeds niet onder water kwam te staan.

Aquatische zone

Op de drooggevallen bodem begon binnen 2 tot 3 weken na aanvang van de droogvalperiode massaal slijkgroen (*Limosella aquatica*) te groeien. Na enige weken begonnen ook onder andere greppelrus (*Juncus bufonius*), moerasdroogbloem (*Gnaphalium uliginosum*) en blaartrekkende boterbloem (*Ranunculus sceleratus*) op het drooggevallen slib te groeien (figuur 6.123). In het deel van de plas dat al langer droogstond en wat hoger lag, groeide in eerste instantie veel naaldwaterbies (*Eleocharis acicularis*), maar de bedekking hiervan nam vanaf half augustus af. Naast naaldwaterbies, groeiden er steeds meer (semi-)terrestrische soorten, zoals greppelrus, beklierde duizendknoop (*Persicaria lapathifolia*) en verschillende grassoorten.

In het groeiseizoen na de droogval was het water in de plas weer troebel. Er werden geen ondergedoken waterplanten aangetroffen. In het mesocosmos-experiment, waarin het water veel helderder werd, kiemden tener- en haarfonteinkruid (*Potamogeton pusillus* en *P. trichoides*). Deze soorten waren dus zeker in de zaadbank aanwezig.

FIGUUR 6.123. EXCLOSURE MET SLIJKGROEN, GREPPELRUS EN MOERASDROOGBLOEM OP DE DROOGGEVALLEN WATERBODEM VAN DE PLAS BIJ WOUDBLOEM NA ONGEVEER 9 WEKEN DROOGVAL.



Oeverzone

Pitrus breidde zich vanuit de oever niet uit naar de drooggevallen waterbodem. Mogelijk kwam dit door de (lokaal) scherpe overgang van oever naar plas. Op enkele plaatsen groeiden na de droogvalperiode wel riet en, langs voormalige greppeltjes, gewone waterbies (*Eleocharis palustris*). Er was geen sprake van een uitbreiding van de helofytenzone door de droogval.

Effecten van vraat

In de plas bij Woudbloem werden bij verschillende veldbezoeken grote groepen watervogels (waaronder veel ganzen) aangetroffen (figuur 6.124). Het was dus goed mogelijk dat de vegetatie op de drooggevallen bodem van de plas beïnvloed werd door vraat. In de enclosure in het aquatische deel van de plas was het aantal soorten planten aan het eind van de droogvalperiode (9 soorten) veel groter dan in het permanente kwadraat zonder enclosure (3 soorten). In de enclosure stonden bijvoorbeeld rode waterereprijs (*Veronica catenata*), lisdodde (*Typha spec.*) en kattenstaart (*Lythrum salicaria*). De bedekking van de vegetatie was echter even hoog. De planten in de enclosure stonden beschut tegen de wind en de zon dan buiten de enclosure. Het is niet zeker of de soortenrijkdom binnen de enclosure daardoor groter was, of

dat dit door vraat buiten de exclusie kwam. In de exclusie op de oever kwamen niet meer soorten voor dan in het pq buiten de exclusie.

FIGUUR 6.124. GANZEN IN DE DROOGGEVALLEN PLAS BIJ WOUDBLOEM, SEPTEMBER 2011.



LALLEWEER

De plas bij Lalleweer was voorafgaand aan de droogvalperiode zeer troebel en er kwamen daardoor geen ondergedoken waterplanten voor. De plas werd omzoomd door een brede helofytenzone bestaand uit voornamelijk riet (*Phragmites australis*), liesgras (*Glyceria maxima*) en grote lisdodde (*Typha latifolia*). Deze helofytenzone liep ongeveer tot de waterlijn. In de plas zelf kwamen nauwelijks helofyten voor, op enkele eilanden met riet na.

Aquatiscche zone

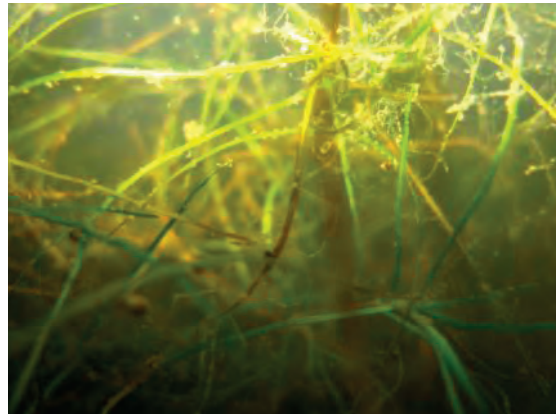
Tijdens de droogvalperiode trad er op de drooggevallen delen massale kieming van zannichellia (*Zannichellia palustris*) op. Dit gebeurde binnen enkele dagen tot circa 2 weken na het begin van de droogvalperiode. Op de plaatsen waar de droogval langdurig aanhield, werd de bodem zeer droog en hard en verdween zannichellia weer binnen enkele weken. Op de plaatsen waar nog een dun laagje water stond en er dus licht tot op de waterbodem kwam, groeiden bentische algen, die na enkele weken van de bodem loslieten en als kleine plakken rondredden. Omdat deze zone bij het droogpompen steeds opschoof, schoof ook de zone met bentische algen op tijdens de droogval. Het water dat tijdens de droogvalperiode in de plas nog aanwezig was, bleef zeer troebel. In het ondiepe deel van de plas waar langdurig droogval optrad, kiemden typische pioniersoorten, zoals goudzuring (*Rumex maritima*), en ook helofyten als riet, grote lisdodde, kleine lisdodde (*Typha angustifolia*), grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*) en mattenbies of ruwe bies (*Scirpus lacustris*). Aan het eind van de droogvalperiode stagneerde regenwater in ingedroogde laagtes. Hier was het water wel helder en hierdoor konden er ook andere ondergedoken waterplanten groeien, zoals gewoon kransblad (*Chara vulgaris*) en gekroesd fonteinkruid (*Potamogeton crispus*).

In het groeiseizoen volgend op de droogvalperiode werd een brede zone van de plas bij Lalleweer gedomineerd door goudzuring (figuur 6.125). Deze planten zorgden voor luwe omstandigheden met weinig invloed van golfslag, waardoor er tussen de zuring veel ondergedoken waterplanten konden groeien, zoals stomphoekig sterrekroos (*Callitriche obtusangula*), zannichellia, tenger fonteinkruid (*Potamogeton pusillus*), gewoon kransblad en gekroesd fonteinkruid konden groeien (figuur 6.126). In het open water, waar weinig helofyten of zuring stonden, groeiden zannichellia en tenger fonteinkruid in de zone tot ongeveer 60-80 cm diepte. In deze zone dreef echter ook veel flab (figuur 6.127). In het mesocosmos-experiment werd eveneens een zeer hoge bedekking van zannichellia aangetroffen. Tenger fonteinkruid en gewoon kransblad kwamen in de proefbakken met een lagere bedekking voor.

FIGUUR 6.125. VOORJAARSASPECT VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER (MEI 2012). DOOR DE DROOGVAL IS EEN BREDE ZONE MET GOUDZURING ONTSTAAN.



FIGUUR 6.126. IN DE ONDIEPE LUWTES DIE ONTSTONDEN TUSSEN DE GOUDZURING (LINKS) GROEIDEN ONDER ANDERE GEWOON KRANSBLAD (RECHTS) EN GEKROESD FONTEINKRUID (ONDER) (FOTO'S JULI 2012).



FIGUUR 6.127. ONDIEPE ZONE MET VEEL FLAB (LINKS). ZANNICHELLIA IN DEZE ZONE (RECHTS) (FOTO JULI 2012).



Oeverzone

In de oeverzone groeide kortstondig zannichellia totdat de zone te droog werd. Daarna trad er kieming van onder andere grassen, russen (onder andere Pitrus), bastaardwederiken (*Epilobium* species), blaartrekkende boterbloem en rode ganzevoet (*Chenopodium rubrum*). Vanuit de helofytenzone verplaatsten ook riet, liesgras en rietgras (*Phalaris arundenacea*) zich richting het water. Het jaar volgend op de droogval had de helofytenzone zich circa 1,5 tot 2 meter uitgebreid richting de plas. De nieuwe helofytenzone bestond uit pitrus, liesgras, riet en stomphoekig sterrekroos (figuur 6.128).

Effecten van vraat

Er waren verschillen tussen de permanente kwadraten die afgesloten waren voor vraat van bijvoorbeeld vogels (exclosures) en permanente kwadraten die open waren. De enclosures hadden echter ook andere effecten: het gaas en de netten zorgden voor beschaduwing en voor beschutting tegen wind en golfslag. Daarnaast bleven ondergedoken en drijvende waterplanten en flab aan de netten van de exclosure hangen. Het is daarom niet duidelijk of de verschillen tussen de vegetatie binnen en buiten de exclosures daadwerkelijk (mede) veroorzaakt worden door vraat. In de exclosure op de oever kwamen meer soorten voor dan in het permanente kwadraat zonder exclosure. In de exclosure stonden onder andere harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*) en watertorkruid (*Oenanthe aquatica*). In de exclosure in het water kwam tenger fonteinkruid voor, terwijl deze soort in het pq erbuiten niet voorkwam. Ook was binnen de exclosure de bedekking met zannichellia en met stomphoekig sterrekroos groter.

FIGUUR 6.128. VEGETATIE VAN 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.



TABEL 6.27. LIJST VAN SOORTEN AANGETROFFEN IN DE PLAS LALLEWEER IN 2011 EN 2012, MET TANSLEYWAARDEN

SOORT	TYPE	OEVER		WATER	
		17-6-2011	17-6-2011	3-7-2012	3-7-2012
<i>Agrostis stolonifera</i>	0				2
<i>Alisma plantago-aqu.</i>	0			1	
<i>Callitriche</i>	W	3		1	2
<i>Cardamine pratensis</i>	D	1			
<i>Carex pseudocyperus</i>	0				1
<i>Carex riparia</i>	0				1
<i>Cirium arvense</i>	D	1			
<i>Convolvulus sepium</i>	0	3		1	1
draadalgen submers	F				2
<i>Epilobium hirsutum</i>	0	2		2	2
<i>Equisetum arvense</i>	D	1			
<i>Galium aparine</i>	D	2			
<i>Glyceria maxima</i>	0	8		1	2
<i>Juncus articulatus</i>	0				2
<i>Juncus compressus</i>	0				2
<i>Juncus effusus</i>	0	1			2
<i>Lemna minor</i>	W	3		2	2
<i>Lycopus europeus</i>	0	2		2	2
<i>Oenanthe aquatica</i>	o				1
<i>Phalaris arundinacea</i>	o				2
<i>Phragmites australis</i>	o	7		9	3
<i>Potamogeton trichoid.</i>	w				2
<i>Ranunculus sceleratus</i>	o	2			2
<i>Rorippa amphibia</i>	o				1
<i>Rorippa palustris</i>	o			1	
<i>Rumex maritimus</i>	o				5
<i>Rumex palustris</i>	o				2
<i>Stachys palustris</i>	o	1			
<i>Typha angustifolia</i>	o	1			2
<i>Typha latifolia</i>	0				2
<i>Urtica dioica</i>	d	1		2	2
doorzicht Secchi		-	-	-	70 cm
Trajectlengte		30 m	10 m	30 m	40 m
gemiddelde breedte		2 m	2 m	2 m	2 m
bedekking flab		0%	0%	0%	1%
bedekking kroos		1%	0%	0,1%	0%
bedekking submers		1%	0%	40%	20%
bedekking drijfblad		0%	0%	0,1%	0,1%
bedekking emers		90%	0%	100%	30%
aantal soorten		16	0	10	24

TABEL 6.28. LIJST VAN SOORTEN AANGETROFFEN IN DE PLAS WOUDBLOEM IN 2011 EN 2012, MET TANSLEYWAARDEN:

SOORT	TYPE	OEVER	DROGE	WATER	OEVER	DROGE	WATER
		17-6-2011	BODEM	17-6-	3-7-	BODEM	3-7-
			17-6-2011	2011	2012	3-7-2012	2012
<i>Agrostis stolonifera</i>	0	4				2	
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	0	2					
<i>Alopecurus geniculatus</i>	0	3					
<i>Angelica sylvestris</i>	0	1					
<i>Atriplex</i>	D	2					
<i>Bidens cernua</i>	0					2	
<i>Cardamine pratensis</i>	D	1			2		
<i>Carex otrubae</i>	0	2					
<i>Carex pseudocyperus</i>	o					2	
<i>Cerastium fontanum</i>	d	2					
<i>Cirsium arvense</i>	d	2			2	2	
<i>Cirsium vulgare</i>	d	2			1		
<i>Eleocharis acicularis</i>	w		2			2	2
<i>Eleocharis palustris</i>	w	3				2	
<i>Epilobium hirsutum</i>	d				1		
<i>Epilobium palustre</i>	o				2		
<i>Galium palustre</i>	o				3		
<i>Glechoma hederacea</i>	d				2		
<i>Gnaphalium luteo-alb.</i>	d					2	
<i>Gnaphalium uliginos.</i>	o		2			2	
<i>Juncus articulatus</i>	o	2	2		1	2	
<i>Juncus bufonius</i>	o	2	2				
<i>Juncus compressus</i>	o	8				7	
<i>Juncus effusus</i>	o				7	3	
<i>Limosella aquatica</i>	o		4			3	
<i>Lotus pedunculatus</i>	d	2			2		
<i>Lycopus europeus</i>	o		2			2	
<i>Lysimachia nummularia</i>	o	2					
<i>Lysimachia vulgaris</i>	d	2					
<i>Lythrum portula</i>	o					2	
<i>Lythrum salicaria</i>	o	2			2		
<i>Mentha aquatica</i>	o				2		
<i>Myosotis arvense</i>	d				2		
<i>Myosotis scorpioides</i>	o	2	2		1		
<i>Oenanthe aquatica</i>	o					1	
<i>Persicaria amphibia</i>	w		2			2	
<i>Persicaria hydropiper</i>	o	3			2		
<i>Phalaris arundinacea</i>	o	6			3	2	
<i>Phragmites australis</i>	o	1					
<i>Plantago lanceolata</i>	d		2				
<i>Plantago major</i>	d	2					
<i>Polygonum aviculare</i>	d		2				
<i>Ranunculus repens</i>	d	2					
<i>Ranunculus sceleratus</i>	o		2				
<i>Rorippa amphibia</i>	o	2	2		2		

SOORT	TYPE	OEVER	DROGE	WATER	OEVER	DROGE	WATER
		17-6-2011	BODEM 17-6-2011	17-6- 2011	3-7- 2012	BODEM 3-7-2012	3-7- 2012
Rumex maritimus	o		2			2	
Rumex obtusifolius	d	1				1	
Salix alba	o					2	
Salix cinerea	o					2	
Senecio congestus	o				1	1	
Spergula arvensis	d		2				
Stachys palustris	o				2		
Taraxacum officinale	d	1					
Typha latifolia	o		2				
Trifolium alba	d	2			6		
Urtica dioica	d	2			2		
doorzicht Secchi		-	-	-	-	-	30 cm
trajectlengte		50 m	50 m	50 m	50 m	50 m	20 m
gemiddelde breedte		2 m	2 m	2 m	2 m	2 m	2 m
bedekking flab		0%	0%	0%	0%	0%	0%
bedekking kroos		1%	0%	0%	0%	0%	0%
bedekking submers		1%	0%	0%	0%	0%	0%
bedekking drijfblad		0%	0%	0%	0%	0%	0%
bedekking emers		90%	10%	0%	100%	40%	0%
aantal soorten		29	15	0	21	22	1

DE DEELLEN

Het onderzochte petgat in De Deelen had voorafgaand aan de droogval een slecht doorzicht. Er kwamen geen ondergedoken waterplanten voor. De oevers waren zeer stijl en hadden op sommige plekken zelfs een hol profiel. Er was daardoor geen helofytenzone aanwezig.

Aquatiscche zone

De emerse vegetatie, met een bedekkingspercentage 1% veranderde nauwelijks. Tijdens de droogvalperiode kiemden op de drooggevallen veengrond vooral veel russen (*Juncus spec.*), smal en knikkend tandzaad (*Bidens cernua* en *B. connata*) en duizendknoopsoorten (*Persicaria spec.*) (figuur 6.129). Na afloop van de droogvalperiode verbeterde het doorzicht. Er werden echter nog steeds geen ondergedoken waterplanten aangetroffen. Drijfbladplanten (*Callitriche sp.*, *Glyceria fluitans* en *Hydrocharis morsus-ranae*) werden in beide petgaten met een bedekkingspercentage van minder dan 1% aangetroffen. Dit gold ook voor kroos (*Lemna gibba*, *Lemna minor* en *Spirodela polyrhiza*). Op veel plaatsen was er bodembedekkende draadalg aanwezig in juli 2012. Het gebrek aan ondergedoken waterplanten kwam niet door een tekort aan diasporen; uit het mesocosmos-experiment bleek dat er diasporen aanwezig waren van onder andere boomglanswier (*Tolypella spec.*), gewoon kransblad (*Chara globularis*) en tenger fonteinkruid (*Potamogeton pusillus*).

FIGUUR 6.129. KIEMING VAN OP DE DROOGGEVALLEN DELEN VAN HET PETGAT IN DE DEELEN IN SEPTEMBER 2011.



Oeverzone

Door de steile oever kon de oevervegetatie zich niet richting het water uitbreiden tijdens de droogvalperiode. Wel vielen er stukken veen inclusief vegetatie van de oever in het water doordat de oevers op sommige plekken hol waren. Op deze manier kwamen soorten als gele lis in het water terecht, waar ze verder konden groeien. Lisdodde (*Typha spec*) kiemde tijdens de droogvalperiode op de drooggevallen waterbodem. Ondanks deze ontwikkeling is er tijdens de droogvalperiode geen helofytenzone langs de oever ontstaan.

Effecten van vraat

Er werden geen effecten van vraat gevonden. Aan het eind van het experiment groeiden er echter wel semi-terrestrische soorten en draadalg op de exclusie, omdat zij aan het net waren blijven hangen.

ROTTIGE MEENTE

In de Rottige Meente was het water voorafgaand aan het plaatsen van de compartimenten vrij troebel. Er kwamen maar weinig ondergedoken waterplanten voor. Op enkele plekken werden smalle waterpest (*Elodea nutallii*) en stomp fonteinkruid (*Potamogeton obtusifolius*) aangetroffen. Ook waren er plekken met gele plomp (*Nuphar lutea*).

Aquatiscche zone

Na de plaatsing van de compartimenten werd het kleine referentiecompartiment snel helder. Hier begonnen al snel smalle waterpest (dominant), stomp fonteinkruid, glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*), kikkerbeet (*Hydrocharis morsus-ranae*) en gele plomp te groeien. Deze soorten bleven ook in 2012 aanwezig, behalve stomp fonteinkruid. In de zomer van 2012 werd echter ook een groot gedeelte van het referentiecompartiment met flab bedekt (figuur 6.130, 6.131).

FIGUUR 6.130. HET REFERENTIECOMPARTIMENT IN 2011 ZONDER FLAB (LINKS) EN IN 2012 (RECHTS) MET FLAB.

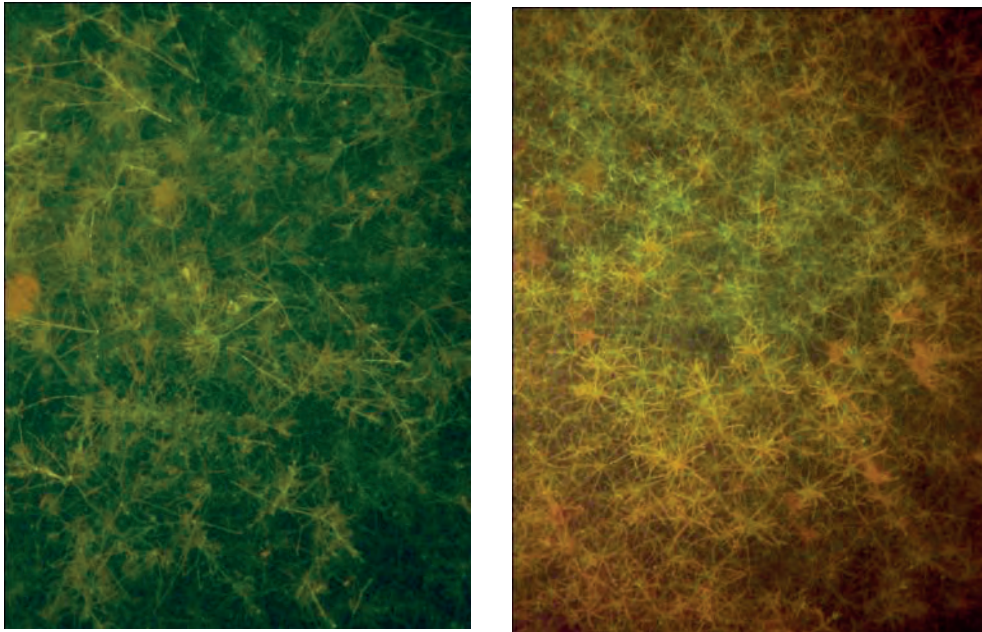


FIGUUR 6.131. LINKS HET DROOGVALCOMPARTIMENT, RECHTS HET REFERENTIECOMPARTIMENT IN JULI 2012. HET REFERENTIECOMPARTIMENT IS VOOR EEN GROOT DEEL BEDEKT MET FLAB.



Het compartiment waar de droogval plaats zou vinden, was het eerste veldseizoen (voorafgaand aan de droogval) nog troebel. Er kwamen nagenoeg geen ondergedoken waterplanten voor. Na het droogpompen was te zien dat er op een enkele plek glanzig fonteinkruid had gegroeid. Tijdens de droogvalperiode kiemden naast terrestrische soorten ook helofyten als egelskop (*Sparganium spec.*), grote en kleine lisdodde (*Typha angustifolia* en *T. latifolia*), riet (*Phragmites australis*), oeverzegge (*Carex pseudocyperus*) en grote waterweegbree (*Alisma plantago-aquatica*). In 2012, het jaar na de droogvalperiode, was er bodemzicht in het compartiment. De bodem was overwegend kaal, maar pleksgewijs kwamen hier kleinhoofdig glanswier (*Nitella capillaris*), teer kransblad (*Chara globularis var virgata*) (figuur 6.132), smalle waterpest, drijvend fonteinkruid en glanzig fonteinkruid voor. In het gedeelte van het compartiment ten westen van de legakker waren kleinhoofdig glanswier en smalle waterpest bodembedekkend. Riet en de lisdoddesoorten hadden zich na het vullen van het compartiment weten te handhaven. Ook was er in het water pijlkruid (*Sagittaria sagittifolia*) gaan groeien. In het mesocosmos-experiment werd het glanswier niet aangetroffen. Wel groeiden er in het experiment smalle waterpest, teer kransblad, tener fonteinkruid, haarfonteinkruid en stomp fonteinkruid.

FIGUUR 6.132. KLEINHOOFDIG GLANSWIJER (LINKS) EN TEER KRANSBLAD (RECHTS) OP DE BODEM VAN HET DROOGVALCOMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE IN HET JAAR NA DE DROOGVAL.



Buiten de compartimenten was er geen bodemzicht. Hier groeiden slechts sporadisch ondergedoken waterplanten. In het water werden op enkele plekken smalle waterpest, stomp fonteinkruid, glanzig fonteinkruid en gele plomp aangetroffen.

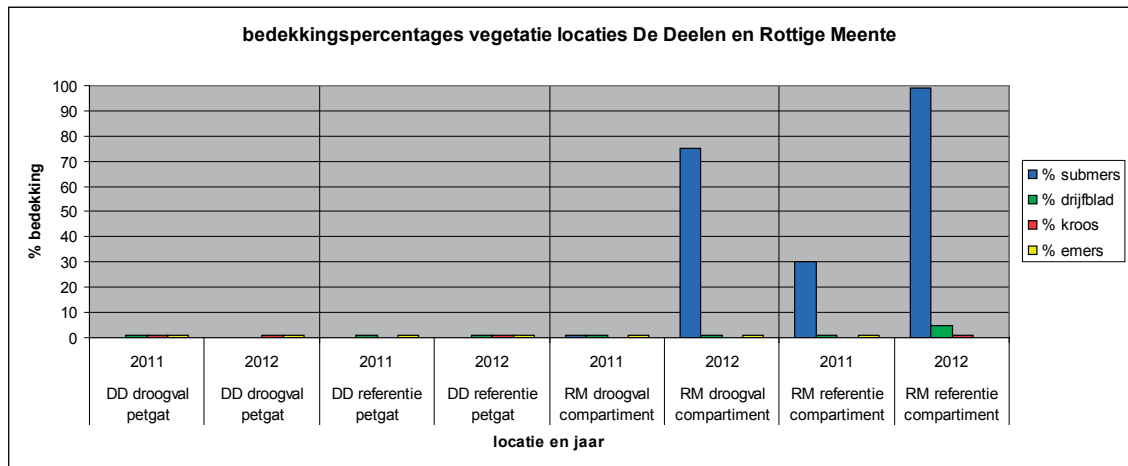
Oeverzone

In het droogvalcompartiment konden helofyten, zoals riet, zich vanuit de oevers op enkele plekken iets uitbreiden door het invallen van oevermateriaal of het instorten van kleine delen van de legakker. Er ontstond echter geen helofytenzone op de voormalige waterbodem, zoals dat in de plas bij Lalleweer wel het geval was.

Effecten van vraat

In het gaas en het overdekkende net van de exclusures bleven stukken afgedreven plantmateriaal, zoals van smalle waterpest, stomp fonteinkruid en gele plomp, hangen. Waarschijnlijk mede hierdoor begon er met name smalle waterpest in de exclusures buiten de compartimenten te groeien. Het is hierdoor niet te zeggen of vraat een effect heeft op de waterplantengroei in het petgat. In het droogvalcompartiment zelf waren er geen duidelijke verschillen tussen de vegetatie binnen en buiten de exclusures te zien.

FIGUUR 6.133. BEDEKKINGSPERCENTAGES VEGETATIE SUBMERS, DRIJFBLAD, KROOS EN EMERS - VEGETATIEOPNAMES 2011 EN 2012 IN DE DEELEN EN DE ROTTIGE MEENTE.



TABEL 6.29. BEDEKKINGSPERCENTAGES EN TANSLEYCODERING- VEGETATIEOPNAMES 2011 EN 2012 IN DE DEELLEN EN DE ROTTIGE MEENTE

	DD droogval		DD referentie		RM droogval		RM referentie		WF locatie	
	petgat	petgat	petgat	petgat	compartiment	compartiment	compartiment	compartiment	petgat	petgat
	1785	1785	1786	1786	1784	1784	1787	1787	0149	0149
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
percentage bedekking drijbladplant	1	0	1	1	1	1	1	5	30	40
percentage bedekking emers	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
percentage bedekking kroos	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
percentage bedekking submers	0	1	1	0	1	75	30	99	1	5
percentage bedekking draadwieren	1	5	0	0	0	0	0	40	1	1
percentage bedekking drijvend	1	1	1	1	1	1	1	5	30	40
percentage bedekking totaal	1	5	1	1	1	75	30	99	30	40
submers										
Ceratophyllum demersum										1
Chara virgata						7				
Elodea nuttallii						3	5	9	2	2
Lemna trisulca									1	
Nitella flexilis						7				
Potamogeton compressus									1	
Potamogeton lucens					2	3	2			
Potamogeton mucronatus								4	2	2
Potamogeton obtusifolius										
drijvend										
Callitriche sp.			2							
Glyceria fluitans				2		1				
Hydrocharis morsus-ranae	1		2	2	2	2		2	3	2
Lemna gibba		1		1						
Lemna minor	1	2		2				1	3	
Nuphar lutea						1	3	3	5	5
Nymphaea alba									2	
Potamogeton natans						2				
Spirodela polyrhiza	1								1	
emers										
Alisma plantago-aquatica	1		1		1	1			1	
Butomus umbellatus						1				
Carex acuta		2								
Carex nigra					1					
Carex paniculata	3	3	2	3	1	2			2	2
Carex pseudocyperus	1		2	2	2	2		2	1	
Carex riparia					1					
Eleocharis palustris			1	2						
Epilobium hirsutum			1		1				2	1
Iris pseudacorus	2	2	1	2	2	2		1	2	
Juncus acutifloris						2				
Juncus subnodulosus						2				
Lysimachia thysiflora	1	1	2	2	1	1			2	1
Mentha aquatica					2	1			2	3
Myosotis scorpioides	2	2	2	2	1				2	
Persicaria amphibia		1	2	2	1					
Persicaria hydropiper	3		3	1						
Peucedanum palustre	2	2	2		1	1	1		3	3
Phalaris arundinaceae	1	1		3						
Phragmites australis		1		2	3	2	1	2	2	3
Ranunculus sceleratus	1		2							
Rorippa amphibia	1	1	1	2	1				1	
Rorippa microphylla	1								1	
Rumex hydrolypaphum	3	2	1	2	1				3	1
Solanum dulcamara	2	2	2	3	2	2			3	2
Sparganium emersum						1				
Sparganium erectum									1	2
Typha angustifolia						2			3	3
Typha latifolia		1		2		1			2	
oever	15	14	17	15	18	14	2	3		
Agrostis stolonifera	1	3						3		
Angelica sylvestris	1	1		1					2	
Bidens cernua			3	1						
Bidens frondosa	2		1	2	1	1		1	1	
Bidens sp	2									
Calamagrostis canascens		3		5		2		2		
Calystegia sepium	2				1				2	
Epilobium sp	1		1							
Eupatorium cannabinum	1	3	2		1	1	1	1	2	2
Galium palustre	1		1	1	1					1
Holcus lanatus	1	2	1	2	1					
Hydrocotyle vulgare				1	1	1				
Juncus articulatus				2						
Juncus bufonius	1			1	1					
Juncus conglomeratus					2	2				
Juncus effusus	3	2	2	3		1				
Lotus pedunculatus			1	2						
Lycopus europaeus	2	2	2	3	1				3	
Lysimachia vulgaris	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1
Lythrum portula			2							
Lythrum salicaria	1		1	1	2	1	1	2		1
Molinia caerulea					2					
Ranunculus flammula	1									
Rumex maritimus			2							
Scutellaria galericulata	2	2	2	2	1	2			2	2
Stachys palustris	1	2	1			2		2	2	
Stellaria uliginosa	1									
Thalictrum flavum	1									
Thelypteris palustris									5	7
overig										
Hydrodictyon reticulatum		5	1							
Drepanocladia aduncus										2

TABEL 6.30. TANSLEY-CODERING MET TOELICHTING

AANDUIDING	AFKORTING	CODERING	OMSCHRIJVING
Rare	R	1	Slechts enkele individuen, alleen bij toeval of gericht onderzoek te vinden
Occasional	O	2	Weinig individuen/biomassa, maar bij goed kijken van de vegetatie niet over het hoofd te zien
Locaal frequent	loc.f	3	Individuen lokaal frequent aanwezig, maar niet in grote mate. Meestal een losse samenhang in het opnamegebied
Frequent	F	4	Veel individuen, maar lage totale bedekking. Indien alleen deze soort aanwezig is, is een groot deel van de bodem of het water zichtbaar/onbegroeid
Locaal abundant	loc.a	5	Individuen lokaal abundant aanwezig. De soort vormt dan op één of meerdere plaatsen een groot aaneengesloten geheel t.o.v. het opnamevlak
Abundant	A	6	Veel individuen, minder dan ca. 50% van het water bedekkend
Locaal dominant	loc.d	7	Individuen lokaal dominant aanwezig. De soort bedekt lokaal 50% of meer van de bodem t.o.v. andere soorten in dat (die) locale gebied(jes).
Codominant	co.d	8	Samen met een of meer andere soorten ca. 50% of meer van de bodem of het wateroppervlak bedekkend. Co-dominante soorten ongeveer even algemeen
Dominant	D	9	Alleen ca. 50% of meer van de bodem of het wateroppervlak bedekkend

Deelconclusies vegetatie

Uitbreiding van de helofytenzone - één van de doelen van de droogval als maatregel - vond alleen plaats in de plas bij Lalleweer, waar de zone circa 1,5 meter breder werd. In De Deelen en in de Rottige Meente gebeurde dit nauwelijks, omdat hier de oevers zeer steil waren. Wel kiemden hier helofyten zoals lisdodde in het deel dat voor de droogval open water was. In Woudbloem waren de oevers minder steil, maar toch breidde de helofytenzone zich hier niet uit. Waarschijnlijk kwam dit doordat er in de oorspronkelijke oever nauwelijks helofyten zoals riet of lisdodde aanwezig waren.

In de Rottige Meente en in de plas bij Lalleweer had droogval een zeer positief effect op de ontwikkeling van de aquatische vegetatie. Het verschil tussen deze twee locaties en De Deelen en de plas bij Woudbloem anderszids is dat er in de Rottige Meente en in de plas bij Lalleweer op de plekken waar ondergedoken waterplanten groeiden sprake was van bodemzicht. In Woudbloem was hier geen sprake van en in De Deelen, waar het doorzicht wel verbeterde, mogelijk niet langdurig genoeg. De droogval stimuleerde in de Rottige Meente en Lalleweer vooral de kieming van fonteinkruiden, kranswieren en zannichellia.

De zaadbank vormde voor de ontwikkeling van de aquatische vegetatie geen probleem, afgaand op de aanwezigheid van veel aquatische soorten in het mesocosmos-experiment. Het feit dat deze soorten niet in het veld werden waargenomen, lag dus aan de ongunstige omstandigheden in het veld. Vraat vormde geen belemmering, wat blijkt uit de enclosures in het veld.

Doorzicht speelde een cruciale rol in het al dan niet tot ontwikkeling komen van de aquatische vegetatie. Dit verklaarde ook de verschillen in effecten van droogval die in het veld en in de mesocosmosstudie werden waargenomen. In de mesocosmos was de waterlaag ondiep, waardoor er eerder bodemzicht optrad, waren er geen vissen aanwezig en was er door de geringe strijklengte nauwelijks sprake van windwerking en er dus nauwelijks deeltjes opgewerveld werden. Hierdoor groeiden er in de niet drooggevallen mesocosmos allerlei soorten die in het veld door het slechte doorzicht niet aanwezig waren. Het positieve effect van droogval verliep in het veld dus vooral via het verhogen van het doorzicht, terwijl het effect in de mesocosmosstudie alleen via het extra stimuleren van kieming verliep. Hierdoor leek het positieve effect van droogval op de plas in Lalleweer bijvoorbeeld veel kleiner dan

deze in het veld bleek te zijn. De rol van doorzicht bleek ook uit de ontwikkelingen in het referentiecompartiment in de Rottige Meente. Door de kleine omvang van dit compartiment werd het water snel helder vanwege de verminderde windwerking, zonder dat er droogval optrad. Dit gebeurde in het droogvalcompartiment pas na afloop van de droogval. Er was echter een groot verschil tussen de vegetatieontwikkeling in beide compartimenten. Het referentiecompartiment werd gelijk geheel bedekt door Smalle waterpest, waartussen in het eerste jaar nog stomp fonteinkruid groeide. Het jaar erop, naast enkele drijvende soorten, waren alleen nog smalle waterpest en flab over. In het droogvalcompartiment bleef een groot deel van het water onbedekt in het eerste jaar na de droogval. Hier werden kranswieren gevonden, die in het niet drooggevallen referentiecompartiment niet gevonden werden. Dit is het effect van de droogval.

In dit onderzoek werden de effecten van droogval slechts tot één jaar na de droogval gemonitord. De vraag is hoe de vegetatie zich de komende jaren zal gaan ontwikkelen. Kranswieren zijn vaak pioniers na droogval, dus het is niet zeker dat deze zich zullen handhaven. Andere soorten zullen mogelijk wel profiteren van de langdurige heldere situatie in het compartiment. Bij het opheffen van de compartimentering zal er echter troebel water uit de rest van het petgat op de drooggevallen waterbodem komen te staan. De bedekking van de bodem met waterplanten is momenteel echter nog zo laag dat deze vegetatie niet lokaal voor een beter doorzicht zal kunnen zorgen.

In Lalleweer is de luwte waarin onder andere gewoon kransblad en gekroesd fonteinkruid groeiden, te danken aan een brede zone met goudzuring. Dit is een tweejarige soort, die zich tijdens de droogval heeft kunnen vestigen en die dus waarschijnlijk in het tweede jaar na de droogval zal verdwijnen als er niet opnieuw droogval plaatsvindt. Ook hier is het dus nog niet duidelijk of het water dan nog voldoende helder zal blijven voor een positieve ontwikkeling van de droogval op de vegetatie. In Woudbloem heeft de droogval niet geleid tot het helderder worden van de plas. Ook was er geen effect op de waterkwaliteit. Het is daarom niet te verwachten dat hier nog effecten van de droogvalperiode op gaan treden. In De Deelen werd het petgat wel helderder. Dit leidde echter niet tot de vestiging van ondergedoken waterplanten. Als het positieve effect op het doorzicht en op de algenbloei langer aanhouden, dan zou het kunnen dat de droogval nog een positief effect kan hebben.

TABEL 6.31. SAMENVATTING VAN DE EFFECTEN VAN DE DROOGVAL OP ONDERGEDOKEN WATERPLANTEN, HELOFYTEN EN VERMINDERING VAN ALGEN (CHLOROFYL-A) IN HET EERSTE JAAR NA DROOGVAL.

Locatie	Ondergedoken waterplanten	helofyten	Algen (chlorofyl-a)
Rottige Meente	++	+	++
Lalleweer	+	++	+
De Deelen	0	+	+
Woudbloem	0	0	0

KRW score vegetatie

Voor de KRW beoordeling wordt gebruik gemaakt van maatlatten. Bij vegetatie is de eindscore het gemiddelde van twee deelmaatlatten, te weten voor groeivormen en voor het aantal meetellende waterplanten.

TABEL 6.32. VAN DE KRW BEOORDELING VOOR WATERTYPE M11, MET QBWAT VERSIE 4.42:

	2011		2012	
	Woudbloem	Lalleweer	Woudbloem	Lalleweer
Eqr	0,017	0,067	0,017	0,261
Benaming	slecht	slecht	slecht	ontoreikend

De andere deelmaatlat betreft het aantal soorten. In 2011 waren er slechts twee meetellende soorten, te weten Lemna minor en Persicaria amphibia. In 2012 kwam daar als derde soort Potamogeton trichoides bij. De vegetatieopnamen werden eenmaal per jaar gemaakt. In 2012 werden in plas Lalleweer op latere data nog andere waterplanten gevonden die de eindscore positief beïnvloed zouden hebben. Dit is niet meegenomen in de resultaten en de KRW beoordeling.

TABEL 6.33. KRW-BEOORDELING DE DEELLEN EN ROTTIGE MEENTE: MAATLATScores.

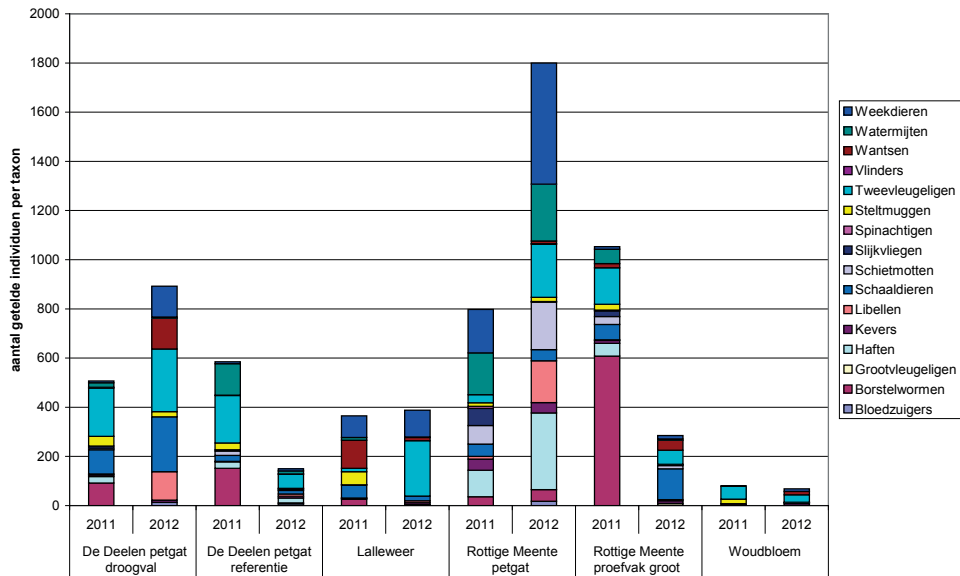
Berekeningen waterkwaliteit macrofyten - QBWat versie 4.42, watertype M27						
		DD droogval petgat	DD referentie petgat	RM droogvalcompartiment	RM referentie compartiment	RM petgat
eqr	2011	0.082	0.213	0.109	0.257	0.364
beoordeling		slecht	ontoreikend	slecht	ontoreikend	ontoreikend
eqr	2012	0.132	0.175	0.465	0.264	0.413
beoordeling		slecht	slecht	matig	ontoreikend	matig

6.4.6. MACROFAUNA

Er bestaat een gemengd beeld voor wat betreft het effect van droogval op macrofauna. Bepaalde soorten lijken te profiteren van de tijdelijke droogvalperiode, terwijl andere soorten geheel verdwenen door de droogval.

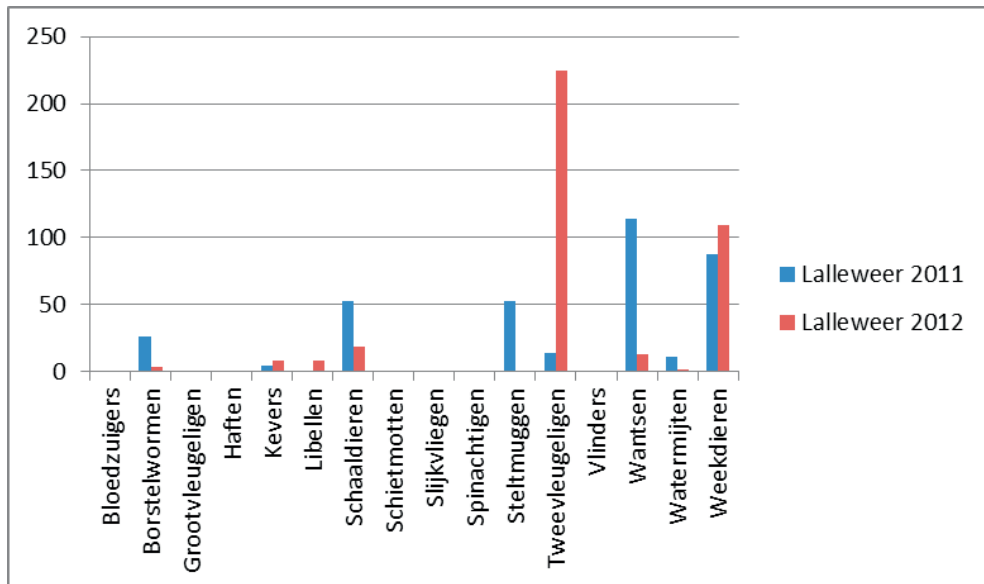
Vooraf de taxa borstelwormen, steltmuggen, watermijten en haften waren in aantal afgenomen na de droogvalperiode. Bij de taxa tweevleugeligen, schaaldieren, weekdieren, libellen en wantsen bleven aantallen ongeveer gelijk of namen toe na de droogvalperiode (figuur 6.134). Tevens waren dit de sterkst vertegenwoordigde taxa voor alle locaties (figuren 6.135 t/m 6.140).

FIGUUR 6.134. 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 DEELEN PETGAT REFERENTIE, ROTTIGE MEENTE PETGAT).

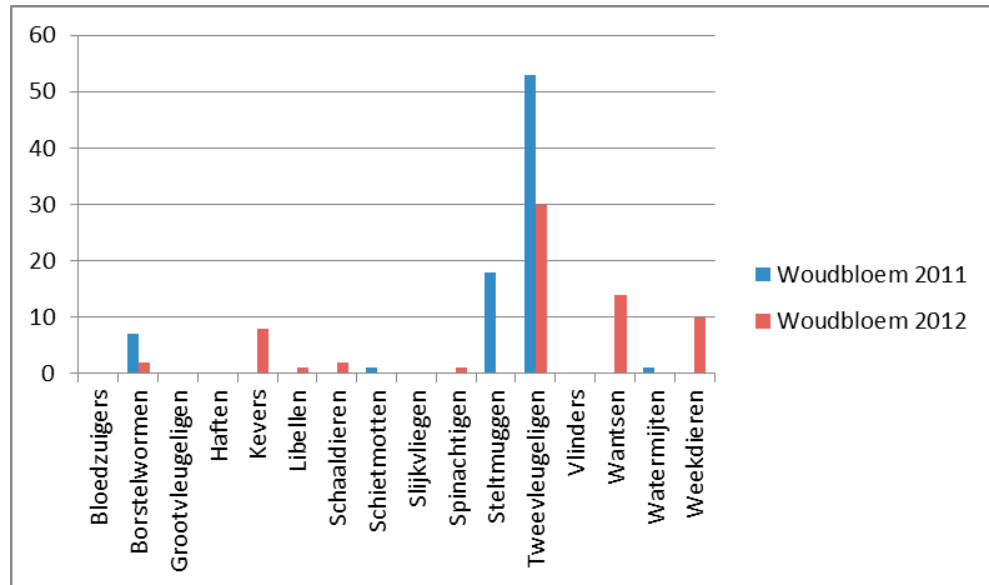


Opvallend voor Lalleweer waren de sterke toename van tweevleugeligen en de afname van wantsen in het jaar na de droogvalperiode. Voor Woudbloem was het niet meer mogelijk de oever in het eerste jaar van droogval te bemonsteren omdat deze al geruime tijd was drooggevalen door het droge voorjaar. Hierdoor was een goede vergelijking niet meer mogelijk.

FIGUUR 6.135 AANTAL INDIVIDUEN PER TAXON VOOR EN NA DROOGVAL IN PLAS LALLEWEER.



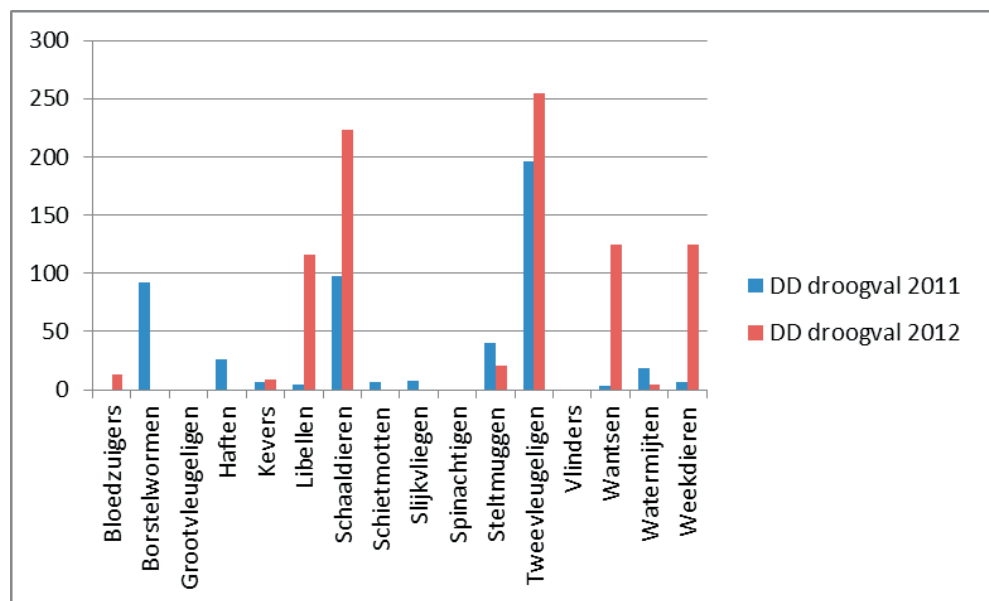
FIGUUR 6.136. AANTAL INDIVIDUEN PER TAXON VOOR EN NA DROOGVAL IN PLAS WOUDBLOEM (IN 2011 WERD DE OEVER NIET BEMONSTERD OP MACROFAUNA).



Verschillen droogvallocaties en referenties (geen droogval)

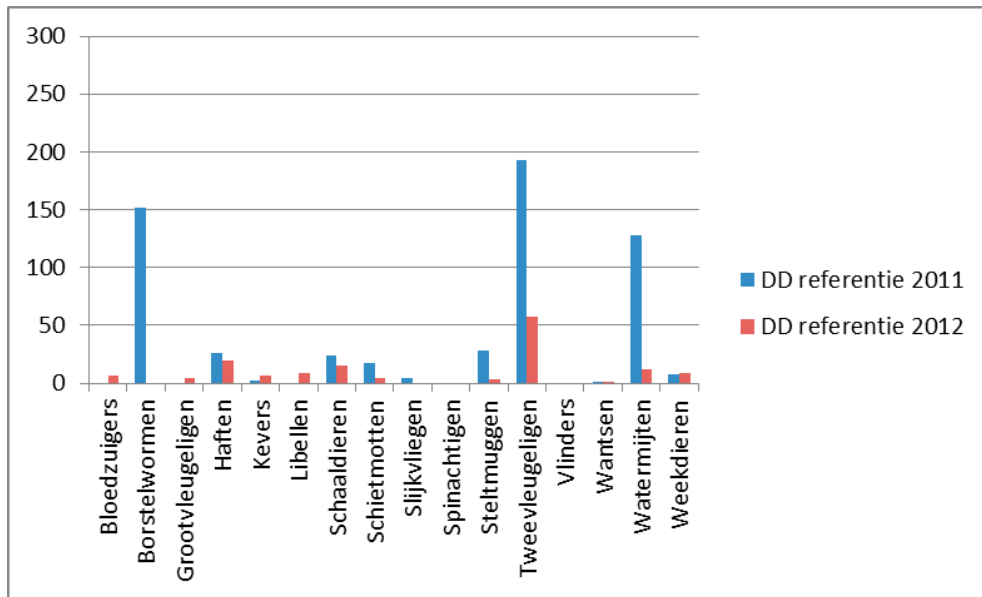
Op de onderzoekslocaties De Deelen en de Rottige Meente waren referentieplassen aanwezig. Hier kon buiten vergelijking voor en na droogval ook een vergelijking van wel en geen droogval plaatsvinden. Voor De Deelen was het aantal individuen binnen de taxa libellen, bloedzuigers, schaaldieren (schelpen), weekdieren (slakken) en wantsen hoger in het jaar na het plaatsvinden van de droogval. In de referentie was het aantal individuen binnen de verschillende taxa in 2012 juist lager en soms veel lager dan in 2011. Met name bij tweevleugeligen was dit effect erg duidelijk. Voor wat betreft dit taxon was dit terug te herleiden tot drie soorten, namelijk *Cricotopus intersectus* agg, *Endochironomus albipennis* en *Glyptotendipes* sp. Dit betreft soorten dansmuggen en knutten, die zich sterk kunnen uitbreiden in vochtige organische bodems en ondiepe plassen zonder vis.

FIGUUR 6.137. AANTAL INDIVIDUEN PER TAXON VOOR EN NA DROOGVAL IN DE DEELLEN.

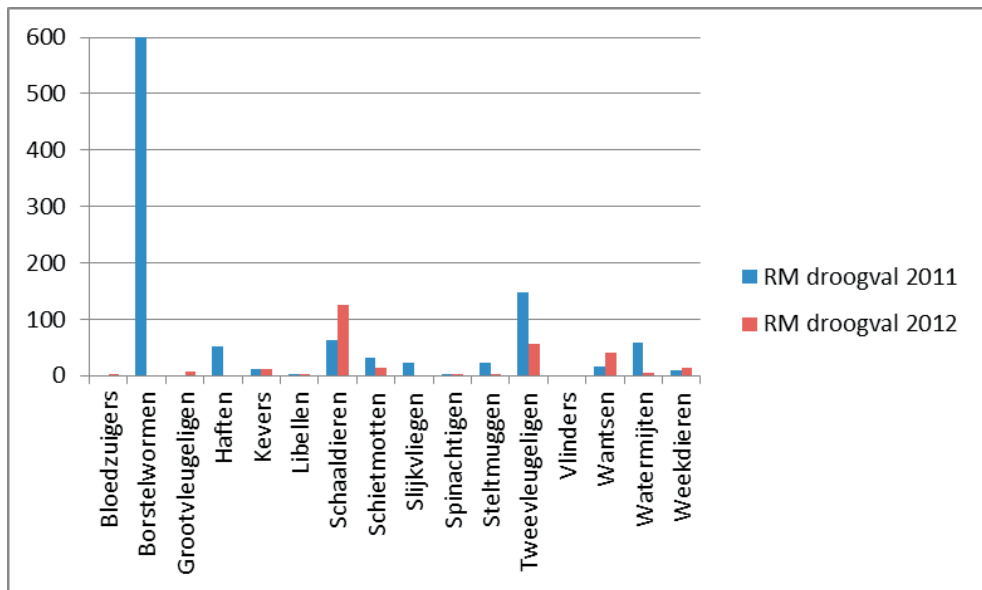


Het aantal borstelwormen was in 2012 in zowel de referentie als in het drooggevallen petgat veel lager dan voor in 2011. Hieruit bleek geen duidelijk effect van droogval.

FIGUUR 6.138. AANTAL INDIVIDUEN PER TAXON IN REFERENTIE PETGAT DE DEELN.

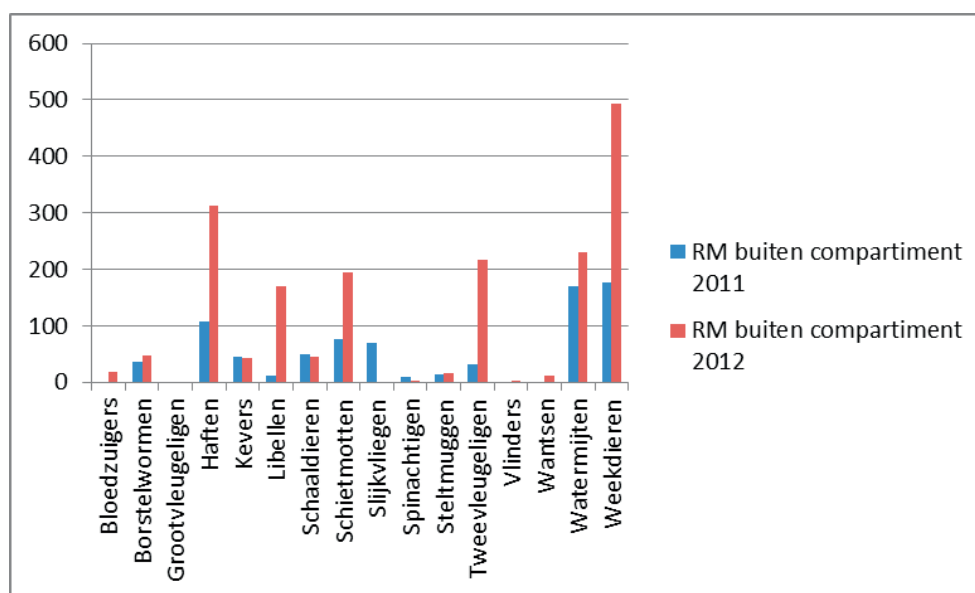


FIGUUR 6.139. AANTAL INDIVIDUEN PER TAXON VOOR EN NA DROOGVAL IN DE ROTTIGE MEENTE.



In de Rottige Meente was sprake van een ander beeld. Het aantal individuen per taxon was in veel gevallen zowel voor als na de droogval veel lager in het compartiment dan in de referentie buiten het compartiment. Alleen voor wat betreft de taxa schaaldieren en wantsen was binnen het compartiment na droogval een lichte toename van aantal individuen. Voor alle overige taxa bleek een duidelijke afname. Met name voor het aantal borstelwormen was de afname groot ten opzichte van de periode voor droogval.

FIGUUR 6.140. AANTAL INDIVIDUEN PER TAXON IN PETGAT (= BUITEN COMPARTIMENTEN) DE ROTTIGE MEENTE.

*Effect op soorten*

Zowel de oevers als de waterbodems werden bemonsterd. Over het algemeen waren de oevers soortenrijker dan de waterbodems. In enkele gevallen nam de soortenrijkdom in oevers en waterbodem af na droogval, maar in andere gevallen was juist sprake van een toename. Het verschil tussen oever of waterbodem was hierbij niet duidelijk (tabel 6.34).

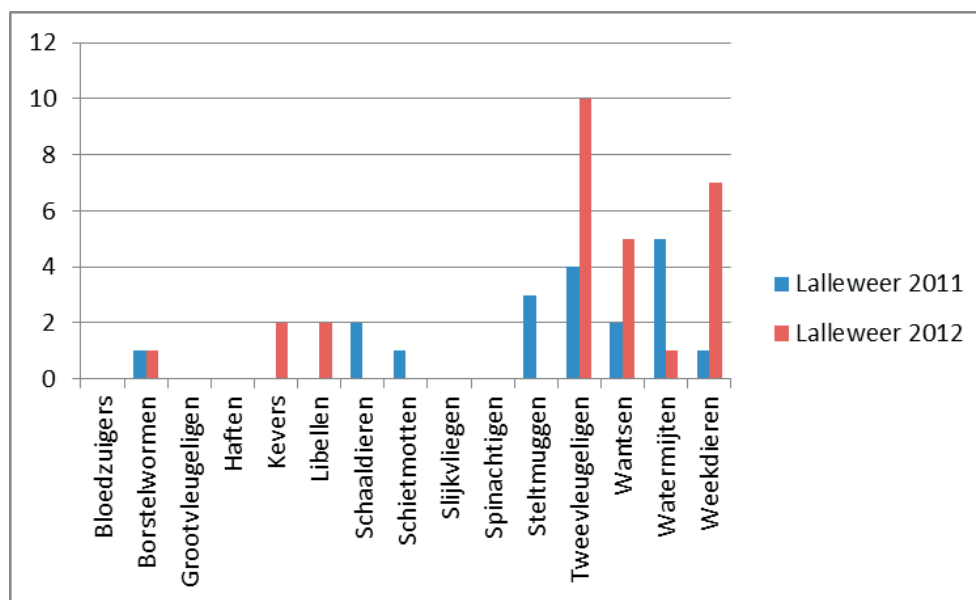
TABEL 6.34. AANTAL MACROFAUNASOORTEN PER LOCATIE EN PER TAXON VOOR (2011) EN NA (2012) DROOGVAL.

WATERBODEM	DE DEELLEN		LALLEWEER		ROTTIGE MEENTE		WOUDBLOEM	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Taxon								
Bloedzuigers		2						
Borstelwormen	2		1	1	7		3	1
Grootvleugeligen						1		
Haften	2				3			
Kevers		1		2	1			
Libellen		3		2				
Schaaldieren	3	3	2		1	6		1
Schietmotten	2		1		1	1	1	
Slijkvliegen					1			
Spinachtigen								
Stelmuggen	1	1	3		2	1	7	
Tweevleugeligen	2	18	4	10	4	6	5	2
Wantsen		9	2	5	2	7		3
Watermijten	4	2	5	1	11	2	1	
Weekdieren		4	1	7	3	1		1
Eindtotaal waterbodem	16	43	19	28	36	25	17	8

OEVER	DE DEELLEN		LALLEWEER		ROTTIGE MEENTE	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Taxon						
Bloedzuigers		1		1		2
Borstelwormen	3		3	1	7	
Grootvleugeligen						1
Haften	2				2	
Kevers	5	5	2	5	9	5
Libellen	2	1	1		2	1
Schaaldieren	5	3	4	3	4	5
Schietmotten	2				7	7
Slijkvliegen	3				4	
Spinachtigen					2	1
Steltmuggen	4	1	3		3	
Tweevleugeligen	10	17	4	3	11	8
Wantsen	3	10	3	1	6	5
Watermijten	8	2	2	1	10	2
Weekdieren	5	8	10	13	5	7
Eindtotaal oever	52	48	32	28	72	44

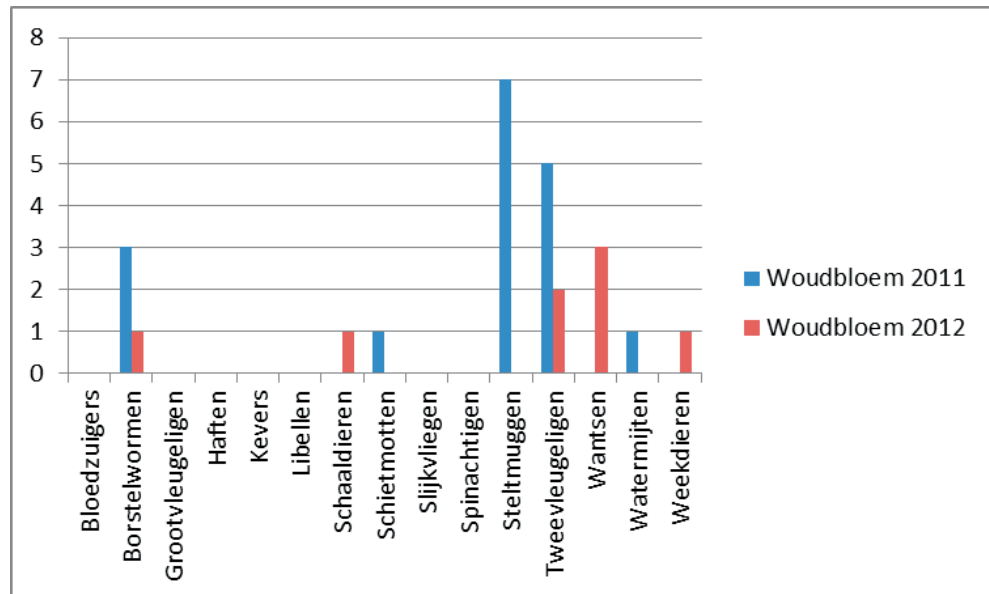
* In Woudbloem werd alleen in 2012 een opname van macrofauna in de oever uitgevoerd (zie Bijlage V), waardoor geen vergelijking mogelijk is.

FIGUUR 6.141. AANTAL MACROFAUNASOORTEN IN DE WATERBODEM VAN LALLEWEER VOOR (2011) EN NA (2012) DROOGVAL



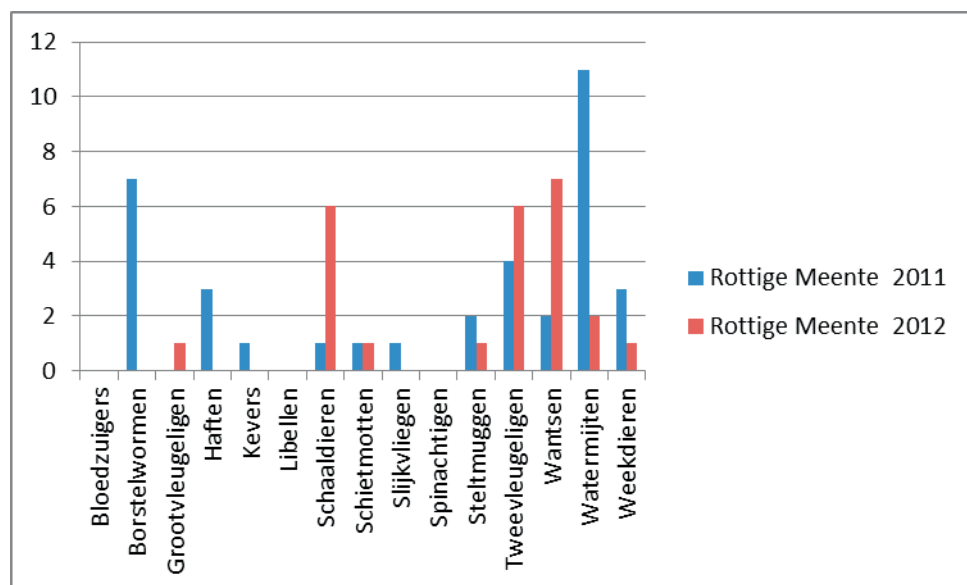
Voor wat betreft het aantal soorten was in Lalleweer sprake van een toename van tweevleugeligen, wantsen, kevers, libellen en weekdieren in het jaar na droogval (figuur 6.141). Het aantal soorten watermijten, steltmuggen en schaaldieren was duidelijk lager na droogval dan in het jaar voor droogval.

FIGUUR 6.142. AANTAL MACROFAUNASOORTEN IN DE WATERBODEM VAN WOUDBLOEM VOOR (2011) EN NA (2012) DROOGVAL.



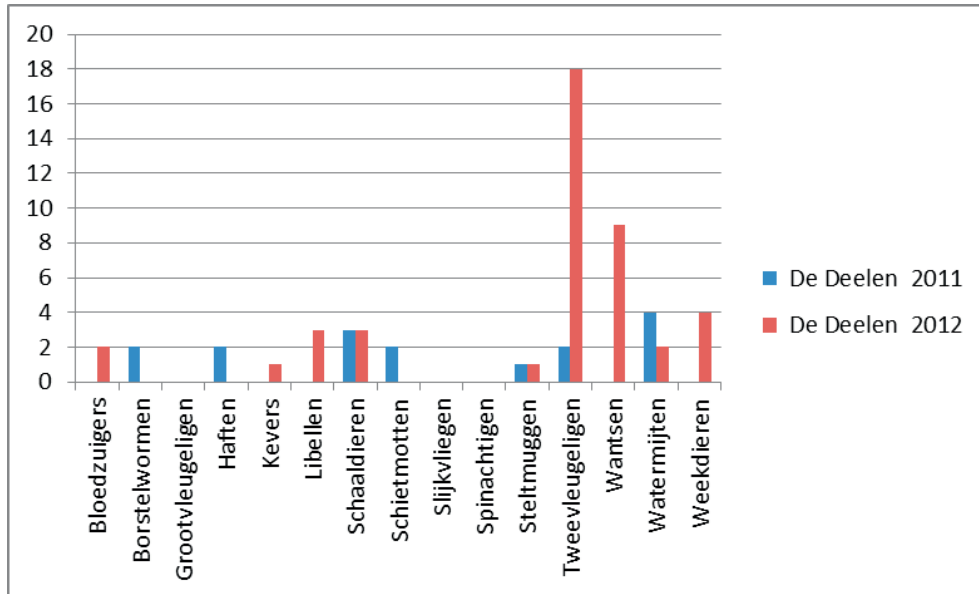
In Woudbloem was sprake van een afname van het aantal soorten borstelwormen, steltmuggen en watermijten. Voor wat betreft wantsen, schaaldieren en weekdieren, leek sprake te zijn van kolonisatie na droogval, omdat deze soorten voor de droogval niet werden aangetroffen.

FIGUUR 6.143. AANTAL MACROFAUNASOORTEN IN DE WATERBODEM VAN DE ROTTIGE MEENTE VOOR (2011) EN NA (2012) DROOGVAL



In de Rottige Meente en De Deelen werd ook een afname van het aantal soorten watermijten waargenomen. Ook was sprake van een afname van het aantal soorten borstelwormen en haften. In de Rottige Meente was duidelijk sprake van een toename van het aantal soorten schaaldieren. In de Rottige Meente was in enige mate en in De Deelen in sterke mate sprake van een toename van het aantal tweevleugeligen en wantsen.

FIGUUR 6.144. AANTAL MACROFAUNASOORTEN IN DE WATERBODEM VAN DE DEELEN VOOR (2011) EN NA (2012) DROOGVAL.



Soortswaarnemingen

Soorten die in opvallend hoge aantallen voorkwamen, betroffen:

- *Arrenurus sinuator*, met 44 exemplaren in het mengmonster van de referentieplas Rottige Meente in 2011. Deze zeer algemene watermijt komt in ondiep, stilstaand, temporair, α -mesosaproob, eutroof en pH-neutraal water voor;
- *Micronecta* sp., met 87 exemplaren in het bodemmonster van Lalleweer in 2011. De vier Nederlandse wantsen van dit geslacht hebben allen een voorkeur voor matig tot nutriëntrijke stilstaande wateren;
- *Caenis horaria*, met 91 exemplaren in het mengmonster van de referentieplas Rottige Meente in 2011, terwijl in 2012 grote aantallen juveniele exemplaren van het geslacht *Caenis* aangetroffen zijn. Deze haft komt zeer algemeen voor in vooral diepere, permanente, β -mesosaprobe, matig voedselrijke of voedselrijke wateren;
- *Crangonyx pseudogracilis* in het bodemmonster van de droogvalplas De Deelen in 2012. Deze vlokreeft is een relatieve nieuwkomer in de Nederlandse wateren die zich in de loop van enkele tientallen jaren sterk heeft uitgebreid. De soort kiest voor permanent, stilstaand of langzaam stromend, α -mesosaproob, vrij voedselrijk water;
- *Endochironimus albiperennis*, met resp. 107, 79 en 121 exemplaren in de oevermonsters van de beide Friese droogvalplassen en in referentieplas De Deelen, alles in 2011. Deze soort behoort tot de soortenrijke groep van de chironomiden, de vedermuggen. Deze zeer algemeen voorkomende soort komt vooral voor in permanent, α - of β -mesosaproob, eutroof, pH-neutraal en waterplantenrijke wateren;
- *Hydrobidae* sp., met 31 exemplaren in het bodemmonster van Lalleweer in 2011. Wadslakjes duiden doorgaans op licht brak water;
- *Limnesia undulata*, met 128 exemplaren in het klein compartiment in de Rottige Meente in 2012. Deze zeer algemeen voorkomende watermijt komt vooral voor in ondiepe tot diepe wateren, met een lichte voorkeur voor iets diepere wateren, die permanent watervoerend zijn of jaarlijks gedurende korte tijd droogvallen, α - of β -mesosaproob en eutroof zijn;
- *Microchironomus tener*, met 36 exemplaren in het bodemmonster van Lalleweer in 2011. Een vrij algemene soort vedermug die een duidelijke voorkeur heeft voor stilstaand, ondiep water dat mesosaproob, eutroof en neutraal tot licht basisch is;

- *Oecetus furva*, met 35 exemplaren in het mengmonster van de referentieplas Rottige Meente in 2011. Het betreft een zeer algemeen voorkomende soort kokerjuffer. De soort komt vooral voor in ondiep, stilstaand, niet-droogvallend, voedselrijk, β -mesosaproob, neutraal tot licht basisch water dat rijk is aan waterplanten;
- *Stylaria lacustris*, met 448 exemplaren in het oevermonster van de droogvalplas Rottige Meente in 2011. Deze worm heeft weinig voorkeur voor een bepaalde waterdiepte, maar verkiest permanent water dat mesosaproob, voedselrijk, neutraal tot licht-basisch, en rijk aan waterplanten is.

Bovengenoemde soorten met hun milieuindicaties geven een indicatie van het ecologisch functioneren van de vier onderzoekslocaties.

Beoordeling op zeldzaamheid.

Over het algemeen geldt dat naarmate een soort zeldzamer is deze specifiekere eisen stelt aan het milieu. Op vijf soorten na kwamen alle aangetroffen soorten vrij tot zeer algemeen voor in Nederland. De vijf uitzonderingen bevonden zich niet in de droogvalplassen, maar werden aangetroffen in het referentiepetgat in de Rottige Meente. Het betrof de soorten *Einfeldia dissidens*, *Limnophilus nigriceps*, *Limnophilus politus*, *Marstaniopsis scholtzi* en *Ripistis parasita*. In hetzelfde water werd ook nog een platworm gevonden behorende tot de orde Rhabdozoela. In het boek van De Pauw en Vannevel¹ is slechts één soort van deze orde genoemd, te weten *Mesostoma ehrenbergi*. In de onlangs verschenen Nederlandse macrofaunalijs komt de soort in geheel niet voor.

Beoordeling met de KRW-maatlatten

De wateren werden ook beoordeeld met het beoordelingsprogramma QBWat versie 4.42 voor het hydromorfologische watertype M11. In alle gevallen waren de uitkomsten 3= matig, 2= ontoereikend of 1= slecht.

TABEL 6.35. VAN KRW BEOORDELINGEN MACROFAUNA MET QBWAT

WATER		2011		2012	
		EQR	ORDEEL	EQR	ORDEEL
Rottige Meente, referentieplas	Oever + bodem	0,450	matig	0,481	matig
Rottige Meente, droogvaldeel	Oever	0,411	matig	0,359	ontoereikend
	Bodem	0,404	matig	0,231	ontoereikend
Rottige Meente, compartiment	Oever	-	-	0,434	matig
	Bodem	-	-	0,298	ontoereikend
De Deelen, referentieplas	Oever	0,358	ontoereikend	0,316	ontoereikend
	Bodem	0,418	matig	0,243	ontoereikend
De Deelen, droogvalplas	Oever	0,290	ontoereikend	0,336	ontoereikend
	Bodem	0,578	matig	0,393	ontoereikend
Woudbloem, droogvalplas	Oever	0,180	slecht	0,25	ontoereikend
	Bodem	0	slecht	0,25	ontoereikend
Lalleweer, droogvalplas	Oever	0,271	ontoereikend	0,301	ontoereikend
	Bodem	0,430	matig	0,194	slecht

¹ De Pauw en Vannevel, blz. 240

Deelconclusies

1. De effecten op macrofauna blijken niet geheel eenduidig. Binnen locaties en tussen locaties en referenties traden zowel dezelfde als tegengestelde effecten op;
2. Wel lijkt voorzichtig de conclusie getrokken te kunnen worden dat soorten die zich met name in de waterbodem bevinden en weinig mobiel zijn last hebben van droogval. Soorten die mobiel zijn of gebaat bij een drassige waterbodem of ondiepe warme plassen lijken te profiteren van droogval.

7

INTEGRALE DISCUSSIE

7.1 OPZET EN UITVOERING VAN 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.

Geschikte 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 minimale omvang hebben van circa 1 ha en te kampen hebben met waterkwaliteitsproblemen, of meer specifiek te maken hebben met een nutriëntenprobleem.

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. Hiervoor werden uiteenlopende redenen opgevoerd. Zo werd aangegeven dat de maatregel op veel weerstand van gebruikers zou stuiten, dat droogval mogelijk schade zou veroorzaken en dat veel locaties vanwege functieverlies niet geschikt zouden zijn voor het toepassen van de maatregel. Het ging hierbij dan met name om de functies scheepvaart en watertransport. De aandacht werd verlegd naar meer geïsoleerde en afgelegen locaties, waaraan weinig functies verbonden waren.

Staatsbosbeheer Regio Noord kwam met vier mogelijk geschikte onderzoekslocaties. De locaties varieerden in bodemtype, waren ongeveer een hectare groot en hadden te maken met een matige of slechte waterkwaliteit. Daarbij betrof het 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 de kosteneffectiviteit van de maatregel uit te drukken. 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.

Veldonderzoek versus laboratoriumonderzoek

Het project omvat wetenschappelijk onderzoek op verschillende schaalniveaus. Op de eerste plaats is veldonderzoek uitgevoerd. Op verschillende (type) locaties is onderzocht wat de effecten zijn van een periode van droogval. Omdat de omstandigheden in een veldexperiment beperkt te controleren zijn is gekozen voor aanvullend laboratoriumonderzoek. Ook het

laboratoriumonderzoek werd gekozen voor verschillende schaalniveaus. Er werden bij de betrokken onderzoeksinstituten experimenten uitgevoerd met gebruik van glazen flessen, kolommen en proefvijvers. Hierbij werd bodemmateriaal van de onderzoekslocaties gebruikt. Vooral de gecontroleerde omstandigheden en de mate waarin gevarieerd kan worden in verschillende omstandigheden is een belangrijk voordeel van de laboratoriumonderzoeken (tabel 8.1.).

TABEL 8.1. 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

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 8.1), 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 termijn effecten 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. Pompen kunnen verstopt raken en uitvallen, waardoor het waterpeil in sommige gevallen vrij snel weer kan toenemen. Daar waar vee aanwezig is moeten gebieden worden uitgerasterd en dienen meetinstrumenten extra beschermd te worden. Koeien trekken peilbuizen uit de grond, kauwen op slangetjes en schuren tegen de buizen aan. 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. Bij maaiwerkzaamheden moet extra aandacht worden geschonken aan kabels. Buizen moeten zoveel mogelijk tot aan het maaiveld worden afgewerkt en/of voorzien worden van duidelijke markeringen.

Beperkingen van het onderzoek

De onderzoeksopzet en uitvoering is 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. Hierdoor werd het referentiecompartment snel helder na de aanleg, terwijl het droogvalcompartment dat niet werd, doordat hier meer windwerking was. Het effect van de compartimentering is daardoor niet eenduidig af te leiden uit de resultaten in het referentiecompartment. 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.

7.2 ECOLOGIE EN WATERKWALITEIT

- I. *Wat is het effect van tijdelijke droogval op de fysisch-chemische en biologische waterkwaliteit?*
- II. *Hoe moet de maatregel tijdelijke droogval worden uitgevoerd in termen van duur en periode?*

1. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbare waterkwaliteitsverbetering binnen de kaders van de KRW?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot een verhoging van de maatlatscores van één of meerdere biologische kwaliteitselementen*?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot een toename van het areaal en de diversiteit aan water- en/of oeverplanten?
 - c. Leidt tijdelijke droogval tot veranderingen in de macrofaunagemeenschap?
 - d. Leidt tijdelijke droogval tot veranderingen in de fytoplanktonsamenvatting?

**De biologische kwaliteitselementen betreffen vis, macrofauna, macrofyten en fytoplankton*

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

KRW MAATLAT	JAAR	LALLEWEER	WOUDBLOEM	ROTTIGE MEENTE	DE DEELLEN
Fytoplankton*	2011	Ontoereikend (0,28)	Slecht (0,14)	Matig (0,55)	Matig (0,45)
	2012	Matig (0,47)	Ontoereikend (0,40)	-	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

Voor de droogval scoorden alle locaties matig of slecht op de maatlat voor macrofauna. Na de droogval scoorden alle locaties zoals verwacht slechter, omdat veel macrofaunasoorten droogval niet overleven. De verwachting is dat er mogelijk wel een verbetering voor macrofauna kan optreden, maar dat dit effect pas over langere tijd zichtbaar wordt, als soorten zich weer hebben kunnen vestigen.

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, zelfs 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.

1b t/m 1d Heeft droogval effect op macrofyten, macrofauna en fytoplankton

Buiten de maatlatscores kan ook in andere opzichten worden beoordeeld wat het effect van droogval is.

Fytoplankton

De tijdelijke droogval heeft effecten op de totale hoeveelheid fytoplankton en de soortensamenstelling. Hoewel verschillende soorten overlevingsstrategieën beschikken sterft een groot deel van de fytoplanktongemeenschap tijdens de droogvalperiode af. Het aantal taxa neemt 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 leiden 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 blijken 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 zijn 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 is voordelig voor soorten die gevoelig zijn voor begrazing.

Het blijkt dat fytoplankton zich na een droogvalperiode snel weer kan ontwikkelen. Hieruit blijkt een groot regeneratie- en/of kolonisatievermogen. Ook blijkt 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 heeft een negatief effect op blauwalgen, of andersgezegd een positief effect ten aanzien van mogelijke blauwalgenoverlast. Het biovolume van potentieel toxische blauwalgen is 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 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.

Verder blijkt dat droogval ook leidt tot soortverschuivingen binnen de blauwalgen. Deze verschuivingen zijn waarschijnlijk het gevolg van de verbeterde waterkwaliteit. Met name het verbeterde lichtklimaat en beperking van nutriënten leiden tot deze verschuivingen naar andere soorten die zich onder deze condities beter ontwikkelen. Ook is waargenomen dat soorten die sporen vormen (b.v. *Anabeana*, *Aphanizomenon*) droogval beter doorstaan, dan soorten die in de waterkolom moeten zien te overleven (b.v. *Planktothrix*).

Macrofyten

Belangrijke effecten van droogval werden verwacht op het voorkomen en de ontwikkeling van emerse en submerse vegetatie. Hoewel er op een aantal locaties sprake is van een toename van de hoeveelheid submerse waterplanten, geldt dit bijvoorbeeld niet voor De Deelen en voor Woudbloem. Vooralsnog lijken vooral emerse en terrestrische macrofyten zich uit te breiden tijdens en na de periode van droogval. Het is de vraag of op deze korte termijn al een groot positief effect verwacht kon worden. Uit andere studies blijkt dat vegetatie soms snel, maar vaak ook pas over langere tijd reageert op droogval. Daarbij kunnen ook de omstandigheden in het veld niet optimaal zijn geweest. Voor wat betreft dit laatste kunnen de resultaten van laboratoriumexperimenten helpen. In het mesocosmos experiment is ook het effect op macrofyten onderzocht. Hieruit blijkt dat er meer submerse macrofyten tot ontwikkeling komen dan in de veldsituatie is waargenomen. Omdat aanvoer van zaden vrijwel uitgesloten kan worden, betekent dit dat er in de waterbodems wel een zaadbank voor verschillende soorten aanwezig is. In de proefvijvers was de waterdiepte relatief gering, waardoor al in het beginstadium licht op de bodem viel. Hierdoor ontwikkelden zich op bepaalde bodemtypen al waterplanten voor de droogval had plaatsgevonden. In het veld ontwikkelde zich in het referentiecompartiment in de Rottige Meente veel ondergedoken waterplanten nadat de windwerking werd doorbroken en het doorzicht verbeterde.

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) verbetert. 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. 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. 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). 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. In het referentiecompartiment kon na verbetering van het doorzicht smalle waterpest zich zeer snel ontwikkelen. Zo massaal dat de kansen voor ontwikkeling van

andere ondergedoken waterplanten sterk beperkt werden. In het droogvalcompartiment zijn plantendelen van smalle waterpest, maar mogelijk ook andere soorten, afgestorven. Hierdoor kregen de kranswieren die bestand zijn tegen droogval een kans om zich te ontwikkelen.

Helofyten kunnen zich met name vegetatief uitbreiden als de oever vlak afloopt. Bij steile oevers - zoals bij de petgaten het geval is - kan dit echter nauwelijks plaatsvinden. Daar waar de oevers verzakken en verflauwen kunnen helofyten zich beter vestigen. Ook via zaden kunnen helofyten zich uitbreiden op de drooggevallen waterbodem, maar permanente vestiging vindt alleen plaats als de helofyten na vernatten nog voldoende boven water uitkomen. Uitbreiding van helofyten zoals riet en lisdodde via zaden leidt tot een diffuse verspreiding over het gehele waterbodempoppervlak. Uitbreiding van de reeds aanwezige helofytenzone vindt vooral vegetatief plaats.

Macrofauna

De effecten op macrofauna blijken niet geheel eenduidig na deze onderzoeksperiode. Binnen locaties en tussen locaties en referenties traden zowel dezelfde als tegengestelde effecten op. Dit gaat zowel om positieve (meer soorten en individuen) als negatieve effecten (minder soorten en individuen). Wel lijkt voorzichtig de conclusie getrokken te kunnen worden dat soorten die zich met name in de waterbodem bevinden en weinig mobiel zijn last hebben van droogval. Soorten die mobiel zijn of gebaat zijn bij een drassige waterbodem of ondiepe warme plassen lijken te profiteren van droogval. Grote verschuivingen in soortgroepen zijn vooral op langere termijn te verwachten (uitgestelde effecten), bijvoorbeeld als gevolg van verbetering van het doorzicht en ontwikkeling van ondergedoken waterplanten.

2. Leidt tijdelijke droogval tot een verbeterde chemische waterkwaliteit?

- a. Leidt tijdelijke droogval tot immobilisatie van fosfaat en een meetbaar lagere fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater?
- b. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbaar hogere afvoer van stikstof uit de waterbodem?
- c. Leidt tijdelijke droogval tot mobilisatie van zwavel, waardoor netto afvoer mogelijk wordt?

2a, 2b. Effect van droogval op nutriënten

Een tijdelijke droogvalperiode leidt tot het vastleggen van fosfaat aan ijzer in de bodem. Dit gebeurt echter alleen als de bodem voldoende droog wordt en vindt in mindere mate of niet plaats onder vochtige (plas-dras) omstandigheden, en als er voldoende ijzer aanwezig is. Vastlegging van fosfaat zorgt ervoor dat de fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater na vernatting lager is. De binding van fosfaat aan ijzer in de waterbodem is echter reversibel. Hierdoor kan na hervernatting op de langere termijn 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 blijkt dat de lagere fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater minimaal 3 maanden gehandhaafd blijven.

Effect op stikstof

Het belangrijkste effect van droogval op de stikstofhuishouding is de oxidatie van ammonium tot nitraat. Dit gevormde nitraat kan worden gedenitrificeerd, in algen opgenomen of waterplanten of worden afgevoerd via het verpompen van oppervlaktewater. In het onderzoek bleef in de meeste behandelingen de concentratie ammonium in het porievocht ongeveer gelijk of steeg. 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 worden geen noemenswaardige veranderingen in de beschikbaarheid van stikstof gevonden. Met andere woorden de concentraties in porievocht en oppervlaktewater blijven ongeveer gelijk, maar de fluxen veranderen.

Een tijdelijke droogvalperiode leidt tot een afname van de ammoniumvoorraad in de waterbodem. Het ammonium wordt onder zuurstofrijke omstandigheden via nitrificatie omgezet in nitraat. Nitraat is mobiel en wordt zowel naar oppervlaktewater als diepere bodemlagen getransporteerd. Via het verpompen van oppervlaktewater kan nitraat zodoende worden afgevoerd. In diepere bodemlagen vindt denitrificatie plaats waarbij stikstofgas geproduceerd wordt. Het stikstofgas is inert en wordt via transport door de bodemporiën in de atmosfeer opgenomen. Hoewel deze processen gedurende het veldexperiment optraden is het uiteindelijke effect op de totale stikstofconcentratie in de waterbodem gering. De reden hiervoor is dat een groot gedeelte van het stikstof als organisch stikstof in de bodem aanwezig is. De periode van droogval is te kort geweest om deze fractie via afbraak te mobiliseren. Er zou dan met name een effect op reeds gemobiliseerd anorganisch stikstof meetbaar moeten zijn. Hoewel zeer aannemelijk blijkt dit slechts beperkt uit de veldresultaten.

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 (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.

De mesocosmos proef toont aan dat droogval, afhankelijk van het bodemtype, ook indirect een effect kan hebben op de stikstofbeschikbaarheid in de bodem. 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 oxidatie van de bodem resulterend in sterk verlaagde ammoniumconcentraties in de wortelzone (20-35 cm).

2c. Effect van droogval op zwavelmobilisatie en afvoer

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 porievocht naar het oppervlaktewater worden getransporteerd. 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.

Buiten oxidatie van de waterbodem treedt er door de ontwatering ook oxidatie van de omringende oevers op. Vanuit de oevers kan zodoende sulfaat uitspoelen richting het oppervlaktewater. Dit was in de petgaten De Deelen en Rottige Meente met zeer steile oevers het geval. 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. Voor locatie Lalleweer komt in ieder geval duidelijk naar voren dat het totaal gehalte aan zwavel (organisch en sulfide) afneemt, maar niet tot uitdrukking komt in het totale sulfaatgehalte. Hier is dus sprake geweest van een netto afvoer van sulfaat.

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 indiceren de resultaten van de mesocosmos proef 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 microcosmos proef laat 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 waterbodem heeft plaatsgevonden.

Immobilisatie sulfaat door gipsvorming

Een andere mogelijkheid waardoor de sulfaatbeschikbaarheid binnen het systeem kan afnemen zonder afvoer, is door vastlegging in de vorm van calciumsulfaat. Bij zeer hoge concentraties sulfaat in combinatie met een hoge concentratie calcium slaan sulfaat en calcium neer. Deze verbinding is niet redoxgevoelig. Dit proces blijkt vooral duidelijk uit de kolomexperimenten.

3. Leidt tijdelijke droogval tot consolidatie van de waterbodem?

- a. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbaar verlaagd gehalte zwevend stof (gesuspendeerde sedimentdeeltjes) in het oppervlaktewater?
- b. Leidt tijdelijke droogval tot een meetbare verbetering van het doorzicht?
- c. Leidt tijdelijke droogval tot het inklinken van de waterbodem?

3a en 3b. Effect van tijdelijke droogval op zwevend stofgehalte

Een tijdelijke droogvalperiode leidt tot een vermindering van zwevende stof in het oppervlaktewater. Het effect is met name sterk in kleiplassen. 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 leidt een vermindering van het zwevende stof tot een verbeterd doorzicht.

3c. Effect van tijdelijke droogval op inklinking waterbodem

Tijdelijke droogval leidt tot beperkte inklinking van de waterbodem. De inklinking wordt veroorzaakt door ontwatering, zetting en consolidatie en niet zozeer door afbraakprocessen. Naast inklinking treedt ook nivellering van de waterbodem op. Met name in plassen met veel slib zakt het slib uit naar diepere delen, zodat over het geheel genomen de verschillen in bodemhoogte afnemen.

4. Hoe lang moet de droogvalperiode duren en in welk seizoen moet deze plaatsvinden zodat positieve effecten optreden?

- a. Wat is de optimale duur van de droogval? Is er sprake van een minimale duur?
- b. Treden er bij droogval in voorjaar, zomer, herfst of winter dezelfde effecten op?

4a en 4b. 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. In het veldexperiment zijn verschillende positieve effecten naar voren gekomen. 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 blijkt dat het seizoen waarin de droogval plaatsvindt ook erg belangrijk is. De verminderde verdamping en biologische activiteit bij lage temperaturen zorgt er bijvoorbeeld voor dat drie maanden droogval in winter (bij 4 graden) een effect oplevert dat vergelijkbaar is met één maand droogval in de zomer (bij 20 graden). Verder blijkt uit het mesocosmos experiment dat droogval in zomer en voorjaar in biogeochemisch opzicht vergelijkbare effecten kan opleveren. Positieve effecten van droogval kunnen langer aanhouden door beluchting van de waterbodem via wortels van bijvoorbeeld lisdodde (*Typha sp.*).

Uit het mesocosmos experiment blijkt de zomerperiode voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten optimaal 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. 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 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.

7.3 NEGATIEVE EFFECTEN EN SCHADE

- I. *Treden er als gevolg van tijdelijke droogval negatieve effecten op?*
- II. *Leidt tijdelijke droogval tot maatschappelijke schade?*

1. Leidt tijdelijke droogval tot een verslechtering van de waterkwaliteit?
 - a. Leidt tijdelijke droogval tot verzuring?
 - b. Leidt tijdelijke droogval tot een verhoogde afbraak van organische stof?
 - c. Leidt tijdelijke droogval tot mobilisatie van nutriënten?
 - d. Leidt tijdelijke droogval tot een vermindering van voorkomen en diversiteit van soorten?

1a. Verzuring

Uit de veld- en laboratoriumexperimenten blijkt dat gedurende de droogvalperiode, zoals verwacht, verzuring optreedt als gevolg van zwaveloxidatie. De verzuring is in het veld met name meetbaar in de oevers van de veengebieden. Hier treedt langdurige verzuring op

waarbij de pH daalt naar $\text{pH} < 5$. In de waterbodem treedt 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 stijgt zodra de plas weer gevuld werd. In de veenoevers kan het veel langer duren voordat de pH weer hersteld is. Hieruit blijkt dat waterbodem en oever, die onder andere verschillen in mate van droogval, grondwaterinvloed en bodemsamenstelling, anders reageren op droogval.

1b. Afbraak organische stof

Tijdelijke droogval zoals die in dit project is uitgevoerd leidt niet meetbaar tot afbraak van organische stof. Vanuit de literatuur is bekend dat afbraak van organische stof na enkele dagen op gang kan komen. In dit project zijn wel aanwijzingen voor afbraak gevonden, maar de omvang en invloed hiervan leek beperkt te zijn.

1c. Mobilisatie van nutriënten

De mobilisatie van nutriënten door droogval kan als positief en negatief worden beschouwd. In deze alinea wordt bedoeld de mobilisatie van nutriënten als gevolg van afbraakprocessen (zie voorgaande vraag). Mobilisatie van nutriënten zoals ammonium kan echter ook als positief worden beschouwd als het doel is om nutriënten te mobiliseren en via natuurlijke processen of afpompen af te voeren. Deze mogelijk positieve effecten zijn in het voorgaande reeds aan de orde geweest.

Tijdelijke droogval leidt niet tot mobilisatie van fosfor, maar wel zoals verwacht tot mobilisatie van stikstofverbindingen. Tijdelijke droogval leidt echter niet tot een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten na afloop van de droogvalperiode.

2. Leidt tijdelijke droogval tot schade aan voorzieningen in de directe omgeving?

- a. Leidt tijdelijke droogval tot verlaging van grondwaterstanden waarbij schade aan voorzieningen kan ontstaan?
- b. Leidt tijdelijke droogval in de directe omgeving tot veranderingen in de bodem?
 - i. Leidt tijdelijke droogval tot het verzakken van oevers?
 - ii. Leidt tijdelijke droogval tot bodemdaling?
 - iii. Leidt tijdelijke droogval tot bodeminstabiliteit?

2a. Verlaging grondwaterstanden

Tijdelijke droogval leidt in principe tot een tijdelijke verlaging van de grondwaterstanden in de directe omgeving. De omvang en reikwijdte van de grondwaterstands daling hangen 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 onderzoekslocaties traden omgevingseffecten op. Deze waren echter zo beperkt dat deze geen schade hebben veroorzaakt. Dit wil natuurlijk niet zeggen dat dit bij andere locaties ook zo zal zijn.

Extrapolatie

De geohydrologische situatie ter plaatse is sterk bepalend voor de effecten op het watersysteem van de tijdelijke droogval. Hierbij zijn de volgende factoren van belang:

1. bodemopbouw (lagen, doorlatendheid, weerstand);
2. waterlichaam (peil, diepte, grootte, samenstelling bodem);
3. grondwaterstand en stijghoogte (kwel/wegzijging);
4. ligging ander oppervlaktewater (demping effect).

Indien er effecten optreden op het watersysteem kan dit leiden tot daadwerkelijke schades; dit is echter mede afhankelijk van de aanwezigheid van kwetsbare objecten in de omgeving.

Directe extrapolatie van de effecten van een dergelijke maatregel in andere gebieden is niet mogelijk, omdat de effecten sterk afhankelijk zijn van de veldsituatie. Over het algemeen kan wel gesteld worden dat de verlagingen in de omgeving beperkt zijn, indien het waterlichaam omsloten ligt in een weerstands biedende deklaag (klei/veen). De verlagingen in de omgeving als gevolg van de tijdelijke droogval zijn groter indien het waterlichaam zich in een zandige laag bevindt.

Voorafgaand aan de toepassing van tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel, dienen de te verwachten geohydrologische effecten te worden beschouwd of berekend. Dit om schade aan kades, dijken of woningen te voorkomen, maar ook voor de vergunning voor het bevoegd gezag. Bovendien kan het te verwachten onttrekkingsdebiet worden bepaald dat nodig is om de plas gedurende een periode droog te houden. Hierbij is locatiespecifiek inzicht in de geohydrologische situatie van belang. In dit project weken eerder berekende effecten voor de vier locaties soms van de werkelijkheid af (Woudbloem en De Deelen) door het gebruik van regionale gegevens bij de berekeningen van die effecten. Indien er weinig lokale gegevens beschikbaar zijn is het aan te bevelen om veldmetingen of boringen uit te voeren om meer inzicht te verkrijgen in de situatie ter plaatse.

2b. Stabiliteit bodem en effecten omgeving

Tijdelijke droogval heeft in dit project op alle onderzoekslocaties geleid tot enige verandering van de waterbodemhoogte. Het gaat hierbij om het proces van inklinking en nivellering van de waterbodem. De zettingen die optreden zijn naar verwachting eenmalig, dat wil zeggen indien dezelfde plas nogmaals wordt drooggezet daalt de bodem niet verder.

In De Deelen en de Rottige Meente traden zoals verwacht enige maaiveld dalingen in de oeverzone (legakkers) op. De gemeten maaiveld daling was echter gering en vele malen lager dan vooraf berekend. De steile oevers van de veenplassen zijn gedurende de droogvalperiode lokaal verzakt. Vanuit geotechniek of oeverstabiliteit kan 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 over een hogere gemeten sterkte dan de veenbodem uit de Rottige Meente te beschikken. Desalniettemin is hier toch enige vorm van schade opgetreden in de vorm van enkele scheuren in de oeverzone. De oorzaken moeten gezocht worden in de hogere doorlatendheid van grond in combinatie met een groter waterstandsverschil tussen het drooggevallen petgat en de omringende wateren/petgaten. Ook de eigenschappen van de

bodem spelen hierbij een belangrijke rol. Zo is 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 is waarschijnlijk van invloed geweest op de stabiliteit van de legakkers in de Rottige Meente.

De maatregel tijdelijke droogval kon in dit project op alle locaties worden uitgevoerd zonder dat er noemenswaardige schade is ontstaan.

7.4 UITVOERBAARHEID EN KOSTENEFFECTIVITEIT

- V. *Is tijdelijke droogval praktisch en technisch uitvoerbaar voor watersystemen in Nederland?*
 VI. *Is tijdelijke droogval een kosten-effectieve maatregel?*

1. Is tijdelijke droogval vergunbaar?
2. Is tijdelijke droogval ten opzichte van andere maatregelen goedkoper?

1 VERGUNNINGEN

Voor dit project moesten vergunningen worden aangevraagd voor locaties in verschillende gemeenten en provincies. 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 lokatiespecifieke 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.

2 KOSTENEFFECTIVITEIT

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 voordeel van droogval ten opzichte van baggeren is dat er geen materiaal afgevoerd hoeft te worden.

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.

7.5 OPSCHAALBAARHEID EN TOEPASBAARHEID VAN DE MAATREGEL

Wat zijn kansrijke locaties?

In dit onderzoeksproject is voor vier verschillende locaties gedemonstreerd dat de maatregel kan worden uitgevoerd en reeds op korte termijn tot positieve effecten op waterkwaliteit kan leiden. Ook is gedemonstreerd welke instrumenten gebruikt kunnen worden om vooraf een inschatting te kunnen maken van enerzijds de uitvoerbaarheid en anderzijds de effecten op waterkwaliteit. Niet alle locaties zullen zich even goed lenen voor het toepassen van de maatregel. Hiervoor kunnen verschillende redenen worden opgevoerd.

Op basis van de resultaten van dit onderzoek zijn een aantal selectiecriteria opgesteld, op basis waarvan beoordeeld kan worden of een locatie potentieel baat kan hebben bij het toepassen van de maatregel tijdelijke droogval.

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 7.1.).

TABEL 7.1. 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 droogval niet direct kansrijk
<p>Toelichting 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 droogval kan nog steeds kansrijk zijn, maar effecten van korte duur. Maatregel moet dan frequent herhaald worden.
<p>Toelichting 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 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>Toelichting 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 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>Toelichting 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 > Tijdelijke droogval kan niet worden toegepast in verband met verlies van gebruikersfuncties.
<p>Toelichting 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 achtereen geteisterd 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>		
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>Toelichting 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.</p>		

7.	Bodemstabiliteit	Bestaat de bodem hoofdzakelijk uit zand of klei?	Bij ja > vraag 8. Bij nee > droogval kan worden uitgevoerd maar de kans op zettingen, bodemdaling en eventueel schade is groter dan bij watersystemen op klei of zand.
<p>Toelichting 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 bodeminstabiliteit vaak kleiner zijn bij herhaling(en) van de maatregel.</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>Toelichting 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.</p>			

8

EINDCONCLUSIES

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 vergunningentraject tijdig op te starten. In dit rapport en het uitgebreidere 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.

9

LITERATUUR

- Antheunisse, A.M., W.C.E.P. Verberk, J.M. Schouwenaars, J. Limpens & J.T.A. Verhoeven 2008. Preadvies laagveen- en zeekleilandschap. Rapportnr dk099-O. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede.
- Arts: G.H.P. Arts, A.J.P. Smolders & J.D.M. Belgers, Kwaliteit van oppervlaktewater, poriewater en sediment in relatie tot de vegetatiekundige samenstelling van 60 aquatische referentiepunten: een statistische analyse, Alterra-rapport 1479, Wageningen 2007
- 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. & 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.
- Bijkerk, R. (red). 2010. Handboek Hydrobiologie. Biologisch onderzoek voor de ecologische beoordeling van Nederlandse zoete en brakke oppervlaktewateren. Rapport 2010-28, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, Amersfoort.
- Bijkerk, R., R. Schilt & R.M. van Wezel. 2012. Bepaling van de soortensamenstelling, de dichtheid en het biovolume van fytoplankton volgens de Utermöhl-methode. Validatierapport. Versie 01. Rapport 2012-060. Koeman en Bijkerk bv, Haren.
- Bijkerk: Ronald Bijkerk, Is de productiviteit van het Zuidlaardermeer gedaald?, Een verkennende analyse van veranderingen in de waterkwaliteit en fytoplanktonbiomassa van het Zuidlaardermeer, met een prognose en aanbevelingen voor monitoring, Koeman en Bijkerk rapport 2009-133, Haren 2009.
- Bilton, D.T., Freeland, J.R. & Okamura, B. 2001. Dispersal in Freshwater Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Vol. 32, pp. 159-181.
- Bloemendaal, F. & Roelofs, J.G.M. (1988) Waterplanten en waterkwaliteit - Natuurhistorische bibliotheek van de KNNV nr. 45. KNNV Uitgeverij, Utrecht. Deursen, E.J.M. van (1994) Ontwikkeling van moerasvegetaties in het IJsselmeergebied bij het huidige peilbeheer en bij natuurlijker scenario's: toepassing van het model WAVEG - Werkdocument 1994-27. Rijkswaterstaat Directie Flevoland, Lelystad.
- Boedeltje: Geert Boedeltje, The role of dispersal, propagule banks and abiotic conditions in the establishment of aquatic vegetation, Nijmegen 2005.
- Boer, W (2010). Waterkwaliteit en waterbeheer van de Rottige Meente, Wetterskip Fryslân.
- Bohonak, A.J. & Jenkins, D.G. 2003 Ecological and evolutionary significance of dispersal by freshwater invertebrates. *Ecology Letters*, 6, pp. 783-796.

- 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.
- Bouius G, Meijer A. (2010). Behoud legakker- en petgatenstructuur in laagveengebieden “De Deelen” en “Rottige Meente”.
- Boulton, A.J. Parallels and contrasts in the effects of drought on stream macroinvertebrate assemblages. *Freshwater Biology* 48 (7); 1173-1185, 2003.
- Boyd, C.E., 1970. Influence of organic matter on some characteristics of aquatic soils. *Hydrobiologia* 36: 17-27.
- 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.
- Bruinsma, J. & P. Voorn, 2008. Kroontjeskransblad in Nederlandse visvijvers. *De Levende Natuur* 109 (6): 234-237.
- Claassen, T.H.L. (2003), Thannhauser-Douwma M., (2003), Overzicht van waterkwaliteitsonderzoek in De Deelen, in de periode 1987-2003, Wetterskip Fryslân, Leeuwarden.
- Collinson: N.H. Collinson, J. Biggs, A. Cornfield, M.J. Hodson, D. Walker, M. Whitfield & P.J. Williams, Temporary and permanent ponds: An assessment of the effects of drying out on the conservation value of aquatic macroinvertebrate communities, in: *Biological Conservation* 74 (1995), 125-133.
- 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.
- Cooke, 1980. Lake level drawdown as a macrophyte control technique. *Water Resources Bulletin* 16 (2): 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.
- Coops, H. & G.J. van Geest 2005. Extreme water-level fluctuations determine aquatic vegetation in modified large-river floodplains. *Archiv für Hydrobiologie Suppl. Large Rivers*, Vol. 155, No. 1-4. (May 2005), pp. 261-274.
- Coops, H. (ed) 2002. Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht. Rapport Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, Lelystad.
- Coops: Hugo Coops, *Helophyte zonation: impact of water depth and wave exposure*, Nijmegen 1996.
- 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.
- 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.
- Denys, L., K. Muylaert, K. Krammer, T. Joosten, M. Reid & P. Rioual. 2003. *Aulacosiera subborealis* stat. nov. (Bacillariophyceae): a common but neglected plankton diatom. *Nova Hedwigia* 77(3-4):407-427.
- 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.
- Drever, J.I., (1997) *The Geochemistry of Natural Waters, Surface and Ground Water Environments*, third ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

- Figuerola, J. & Green, A.J. 2002 Dispersal of aquatic organisms by waterbirds: a review of past research and priorities for future studies. *Freshwater Biology* 47, pp. 483-494.
- Figuerola, J., Green, A.J. & Michot, T.C. 2005. Invertebrate Eggs Can Fly: Evidence of Waterfowl-Mediated Gene Flow in Aquatic Invertebrates. *The American Naturalist*, Vol. 165, No. 2, pp. 274-280.
- 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.
- Fox: Jackson L. Fox, Patrick L. Brezonik & Michael A. Keirn, Lake drawdown as a method of improving water quality, Gainesville Florida 1977.
- Franken: Rob J.M. Franken, Jean J.P. Gardeniers & Edwin T.H.M. Peeters, Handboek Nederlandse ecologische beoordelingssystemen (EBEO-systemen), STOWA rapport 2006-04, Utrecht 2006.
- 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.
- Geest, G.J. van, 2005. Macrophyte succession in floodplain lakes. Spatio-temporal patterns in relation to hydrology, lake morphology and management. Proefschrift Wageningen Universiteit
- Geest: Gerben van Geest Macrophyte succession in floodplain lakes, Spatio-temporal patterns in relation to hydrology, lake morphology and management, Wageningen 2005
- Geurts J.J.M., Smolders A.J.P., Verhoeven J.T.A., Roelofs J.G.M. & Lamers L.P.M. (2008) Sediment Fe:PO₄ ratio as a diagnostic and prognostic tool for the restoration of aquatic biodiversity in fen waters. *Freshwater Biology* 53: 2101-2116.
- 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.
- Higler: B. (2000). Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren, deel 7, Laagveenwateren, Wageningen 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, Feanwälden.
- 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. Verdonschot, Natuurlijke levensgemeenschappen van de Nederlandse binnenwateren, deel 8, Wingaten, Wageningen 2000.
- Jackson 1977.
- 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.
- Jans, L. & H.J. Drost 1995. De Oostvaardersplassen, 25 jaar vegetatieonderzoek. *Flevobericht* 382.

- Kadlec, J.A., 1962. Effects of a drawdown on a waterfowl impoundment. *Ecology* 43: 267-281.
- Ketelaars: H.A.M. Ketelaars, Makrofaunagemeenschappen in droogvallende watergangen, Zwolle 1986.
- 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.
- Lamers, L.P.M., H.B.M. Tomassen & J.G.M. Roelofs, 1998. Sulphate induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology* 32: 199-205.
- 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.
- Lamers, L.P.M., Geurts, J., Bonte, B., Sarneel, J.M., Pijnappel, H., Boonstra, H., Schouwenaars, J., Klinge, M., Verhoeven, J.T.A., Esselink, H. & Roelofs, J.G.M. (2006) Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van de Nederlandse laagveenwateren - Eindrapport 2003-2006 057-O. DK, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Ede.
- Ligtfoot: Willem Ligtfoot (red.), Kwaliteit voor later, Ex ante evaluatie Kaderrichtlijn Water, PBL publicatie 50014001, Bilthoven 2008.
- Loeb 2009: R.Loeb & P.F.M. Verdonchot, Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren, WUR werkdokument 128, Wageningen 2009.
- Loeb, R., E. van Daalen, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2007. How soil characteristics and water quality influence the biogeochemical response to flooding in riverine wetlands. *Biogeochemistry* 85: 289-302.
- Loeb, R., L.P.M. Lamers, & J.G.M. Roelofs, 2008. Effects of winter versus summer flooding and subsequent desiccation on soil chemistry in a riverine hay meadow. *Geoderma* 145: 84-90.
- Lucassen, E.C.H.E.T & J.G.M. Roelofs (2005c) Vernatten met beleid: Lessen uit het recente verleden. Speciale uitgave herstel natte natuur in Limburg. *Natuurhistorisch Maandblad* 94: 211-215.
- Lucassen, E.C.H.E.T., A.J.P. Smolders & J.G.M. Roelofs, 2002. Potential sensitivity of mires to drought, acidification and mobilisation of heavy metals: the sediment S/(Ca+Mg) ratio as a diagnostic tool. *Environmental Pollution* 120: 635-646.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2002) Anti-uitdrogingsmaatregelen en vegetatieherstel in Elzenbroekbossen: het belang van een natuurlijk waterregime. *Natuurhistorisch Maandblad* 91: 635-646.
- 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.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2003) Beneficial effects of temporary desiccation of sulphate-rich wetlands depends on the oxidisable iron pool of the sediment. In: A Järvet & E. Lode, Selected Papers International Symposium on Ecohydrological Processes in Northern Wetlands. Institute of Ecology, Pedagogical University of Tallin, Estonia, 30 June-4 July 2003, 189-195 pp.

- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2005b) Effects of temporary desiccation on the mobility of phosphorus and metals in sulphur-rich fens: differential responses of sediments and consequences for water table management. *Wetlands Ecology and Management* 13: 135-148.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P., Boedeltje, G., Van den Munckhof, P.J.J. & J.G.M. Roelofs (2006) Groundwater input affecting plant distribution by controlling ammonium and iron availability. *Journal of Vegetation Science* 17: 425-434.
- Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M. & J.G.M. Roelofs (2005a) Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate eutrophication in sulphate-rich fens: consequences for wetland restoration. *Plant and Soil* 269: 109-115.
- Lucassen: Esther C.H.E.T. Lucassen, *Biogeochemical Constraints for Restoration of Sulphate-rich Fens*, 2003.
- 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., Brient 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.
- Mazumder, A. & K.E. Havens, 1998. Nutrient-chlorofyll-Secchi relationships under contrasting grazer communities of temperate versus subtropical lakes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55: 1652-1662.
- 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.
- 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.
- Moog Otto (red.), *Fauna Aquatica Austriaca, Katalog zur autökologischen Einstufung aquatischer Organismen Österreichs*, 1995.
- 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.
- Netten: Jordie J.C. Netten, *Competition between free-floating and submerged macrophytes in a future of climate change*, Wageningen 2011.
- Nijboer 2012: Rebi Nijboer, *Milieu- en habitatpreferenties van Nederlandse zoetwatermacrofauna*; STOWA-rapport 2012-19; WEW themanummer 2.
- Nijboer: Rebinalda Cherjam Nijboer, *The myth of communities, Determining ecological quality of surface waters using macroinvertebrate community patterns*, Nijmegen 2006.
- Padiasak, J., L.O. Crossetti & L. Naselli-Flores. 2009. Use and misuse in the application of the phytoplankton functional classification: a critical review with updates. *Hydrobiologia* 621: 1-19.
- Paller M.H. 1997. Recovery of a Reservoir Fish Community from Drawdown Related Impacts *North American Journal of Fisheries Management* Volume 17, Issue 3.

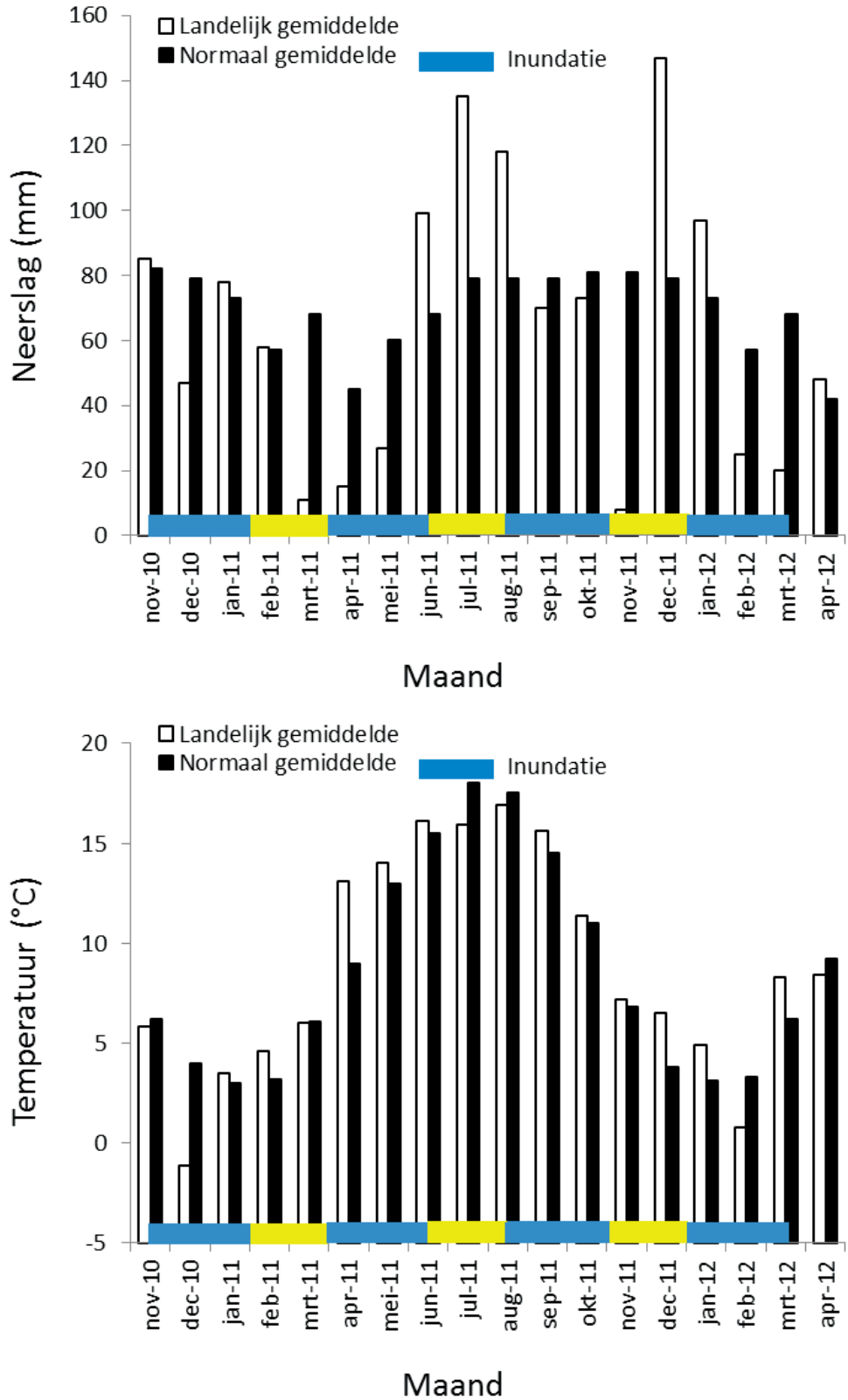
- Patrick, W.H. & R.A. Khalid, 1974. Phosphate release and sorption by soils & sediments – effect of aerobic and anaerobic conditions. *Science* 186: 53-55.
- Pauw 1991: N. De Pauw en R. Vannevel Macro-invertebraten en waterkwaliteit, Dossiers Stichting Leefmilieu 11, 1991.
- Pearson J. & G.R. Stewart, 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.
- Portielje 1997: R. Portielje en D.T. van der Molen, Trendanalyse eutrofiëringstoestand van de Nederlandse meren en plassen, Deelrapport I voor de Vierde Eutrofiëringsequête, RIZA rapport 97.060, Lelystad 1997.
- Portielje 1998: R. Portielje & D.T. van der Molen, Relaties tussen eutrofiëringvariabelen en systeemkenmerken van de Nederlandse meren en plassen, RIZA rapport 98.007, Lelystad 1998.
- Portielje 2006: Rob Portielje, Fytoplankton in meren, Factsheets Ecologische kennisregels, Lelystad 2006.
- Proctor, V.W. 1964. Viability of Crustacean Eggs Recovered From Ducks. *Ecology*, Vol. 45, No. 3, pp. 656-658.
- Raam, J.C., E.X. Maier, J. Bruinsma, J. Simons, H. Stegenga, 1998. Handboek kranzwieren.
- Ramunni, A., R. Scialdone & D. Felleca, 1987. Decomposition of humic acids by incubation in a soil water-extract under various conditions of oxygen availability. *Plant and Soil* 97: 15-23.
- Ramunni, A., R. Scialdone & D. Felleca, 1987. Decomposition of humic acids by incubation in a soil water- extract under various conditions of oxygen availability. *Plant and Soil* 97: 15-23.
- 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.
- Reynolds CS (2006) *Ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge. 535 pp.
- Riemersma, P., Niemeijer, A. and Veenman, I. (2002). *Watermeetplan Rottige Meente en Brandermeer-Zuid*.
- Rijkens, B.G.A. (2008). *Evaluatie van de waterkwaliteit en herstelmaatregelen in De Deelen*. Wetterskip Fryslân.
- 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.
- Scheffer, M., 2004. *Ecology of shallow lakes*. Kluwer Publishers, Dordrecht, Nederland. 363 pp.
- Schutten: Johan Schutten, Biomechanical limitations on macrophytes in shallow lakes, 2005.

- Sheffield: C.W. Sheffield, Report on loose unconsolidated sediment samples from Lake Apopka, 1967.
- 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., Lucassen, E. & J. Roelofs. Waterpeilregulatie: een bron van aanhoudende zorg (2003) *H2O* 24: 17-19.
- 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.
- Sollie, S., 2007. Littoral zones in shallow lakes. Contribution to water quality in relation to water level regime. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Sprandel 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.
- Stumm, W.J. & J.J. Morgan, 1981. *Aquatic Chemistry. An introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters* (2nd editon). John Wiley & Sons, New York, USA, 780 pp.
- Ter Heerdt G.N.J. en H.J. Drost, 1994. Potential for the development of marsh vegetation form the seed bank after a drawdown. *Biological conservation* 67: 1-11.
- Thannhauser-Douwma, M. (1998). Ontwikkelingen in de Rottige Meente en de Brandemeer. Waterkwaliteitsonderzoek en beheersmaatregelen.
- Thannhauser-Douwma, M. (2010). Vegetatieontwikkeling in De Deelen 2003 t/m 2008. Wetterskip Fryslân. Leeuwarden.
- Uhlmann: Dietrich Uhlmann & Wolfgang Horn, *Hydrobiologie der Binnengewässer*, Stuttgart 2001.
- Ulrich, B. & M.E. Sumner, Eds., 1991. *Soil Acidity*. Springer-Verlag, 224 pp.
- Valk, A.G. van der & C.B. Davis 1978. The role of seed banks in the vegetation dynamics of prairie glacial marshes. *Ecology* 59:322-335.
- Valk, A.G. van der 2005. Water-level fluctuations in North American prairie wetlands. *Hydrobiologica* 539:171-188.
- Van Geest, G.J., H. Wolters, F.C.J.M. Roozen, H. Coops, R.M.M. Roijackers, A. D. Buijse & M. Scheffer, 2005. Water-level fluctuations affect macrophyte richness in floodplain lakes. *Hydrobiologica* 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.
- Verhagen R., Bouwhuis H., Molenaar W., *Laagveenmoerassen in Fryslân, Evaluatie van herstelmaatregelen en beschrijving van KRW-doelen*, (2007), Oranjewoud, Heerenveen
- Waterbeheerplan 2010-2015, Waterhuishoudingsplan Fryslân 2010-2015, ontwerp 11 november 2008, Wetterskip Fryslân en Provinsje Fryslân, Leeuwarden.
- 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.
- Wetzel: Robert G. Wetzel, *Limnology, Lake and River Ecosystems*, 3e druk San Diego 2001.

- Wiertsema en partners, 2012. Monitoringswerkzaamheden, geotechnisch grond- en laboratoriumonderzoek project Watermozaïek. Locaties de Deelen en de Rottige Meente. Opdrachtnummer VN-53476-1, rapportnummer: R18853.
- 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.
- Zak, D. & J. Gelbrecht, 2007. The mobilisation of phosphorus, organic carbon and ammonium in the initial stage of fen rewetting (a case study from NE Germany). *Biogeochemistry* 85: 141-151.

BIJLAGE I MESOCOSMOS

FIGUUR I.1 DE LANDELIJKE EN NORMALE GEMIDDELTE HOEVEELHEID NEERSLAG EN TEMPERATUUR PER MAAND GEDURENDE DE EXPERIMENTELE PERIODE. IN BLAUWE EN GELE BALKJES ZIJN DE DRIE PERIODEN MET TIJDELIJKE DROOGVAL EN DE VIER PERMANENT NATTE PERIODEN AANGEGEVEN (BRON: KNMI).



VEGETATIEGEGEVENS

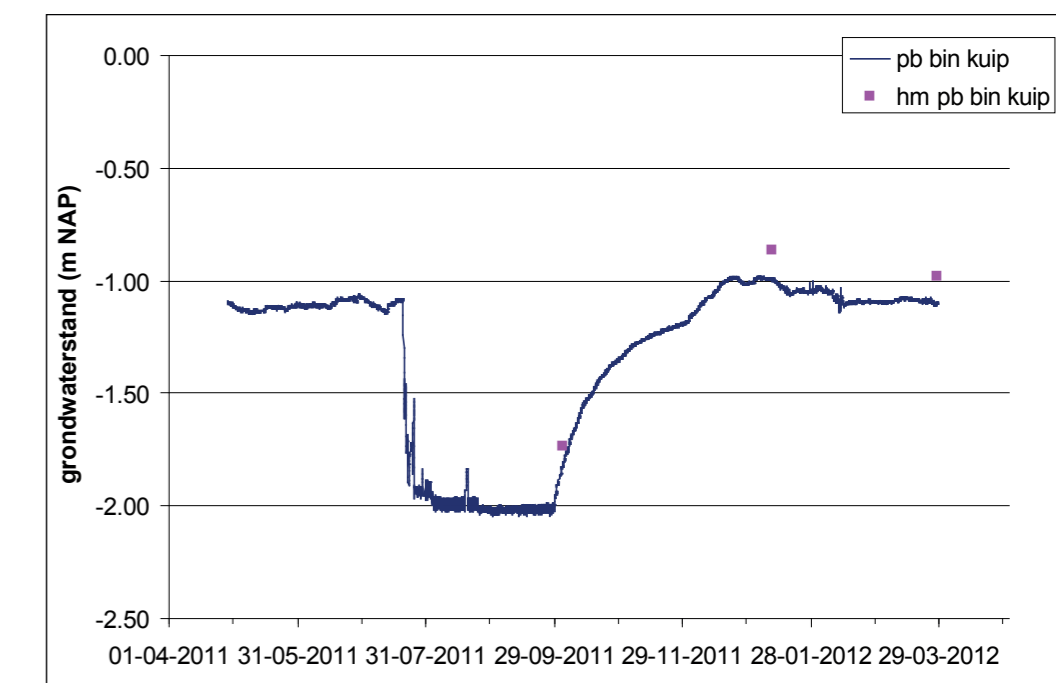
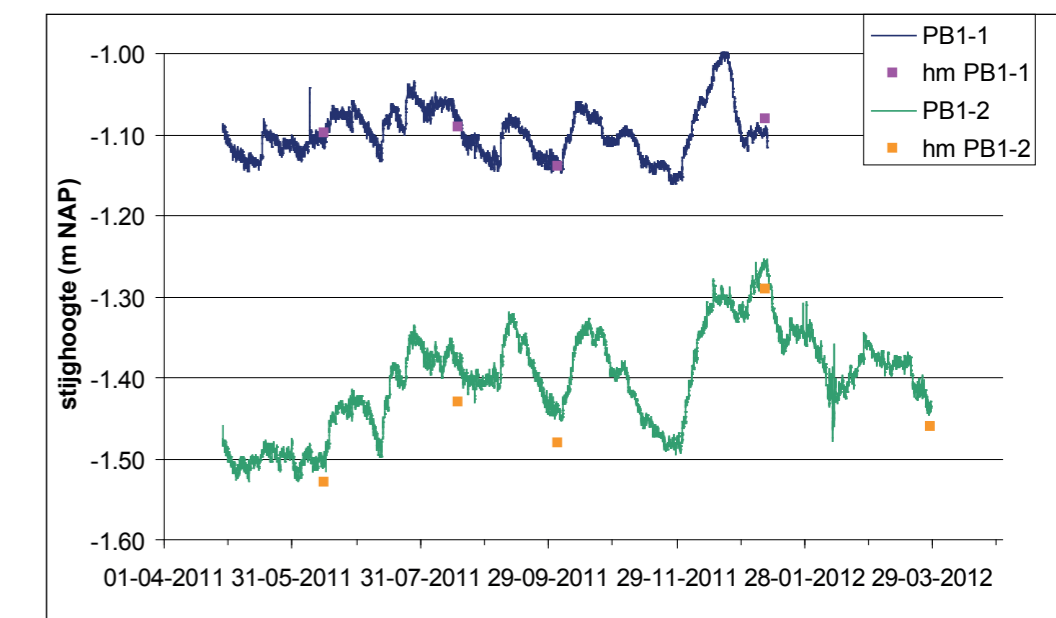
Nederlandse naam	Wetenschappelijke naam	RM-1	RM-3	RM-2	RM-C	IL-C	IL-2	IL-1	IL-3	DD-2	DD-3	DD-C	DD-1	WB-C	WB-1	WB-3	WB-2	LW-3	LW-1	LW-2	LW-C	
		# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %	# BB %
Draadalg	-				4 75	5 100	5 100	3 40	5 100	4 60	3 40	+	4 70		3 50							
Moerasstruisgras	Agrostis canina																					
Waterweegbree	Alisma spec.																					
Tandzaad	Bidens spec.																					
Slangenwortel	Calla palustris																					
Zegge	Carex spec.																					
Chara major	Chara major							2a 10														
Gewoon kransblad	Chara vulgaris																					
Breekbaar kransblad	Chara globularis	r																				+
Waterscheerling	Cicuta virosa																					
Naaldwaterbies	Eleocharis acicularis																4 60					
Smalle waterpest	Elodea nuttallii		5 100																			
Darmwier	Enteromorpha spec.																					
Beklierde basterdwederik	Epilobium ciliatum																					
Moerasbasterdwederik	Epilobium palustre																					
Kantige basterdwederik	Epilobium tetragonum																					
Mannagras	Glyceria fluitans																					
Veldrus	Juncus acutiflorus	1																				
Knolrus	Juncus bulbosus																					
Pitrus	Juncus effusus				2b 20																	
Paddenrus	Juncus subnodulosus				2a																	
Klein kroos	Lemna minor	1 <5																				
Slijkgroen	Limosella aquatica																					
Wolfspoot	Lycopus europaeus																					
Moeraswederik	Lysimachia thyrsoflora																					
Grote wederik	Lysimachia vulgaris																					
Kattenstaart	Lythrum spec.																					
Groot nimfkruid	Najas marina						3 30	4 60														
Gele plomp	Nuphar lutea	r																				
Veenwortel	Persicaria amphibia				+																	+
Waterpeper	Persicaria hydropiper																					
Perzikkruid	Persicaria maculosa																					
Meikeppe	Peucedanum palustre																					
Rietgras	Phalaris arundinacea																					
Drijvend fonteinkruid	Potamogeton natans	r			+																	
Stomp fonteinkruid	Potamogeton obtusifolius																					
Schedefonteinkruid	Potamogeton pectinatus							+	+													
Tenger fonteinkruid	Potamogeton pusillus	2b 30												3 25	2a 10	3 25						
Haarfonteinkruid	Potamogeton trichoides				2b 20																	
Wateraardbei	Potentilla palustris																					
Blaartrekkende boterbloem	Ranunculus scleratus																					
Moeraszuring	Rumex palustre																					
Grauwe wilg	Salix cinerea																					
Mattenbies	Schoenoplectus lacustris					1																
Grote egelskop	Sparganium erectum	4 70																				r
Groot boomglanswier	Tolypella prolifera																					
Boomglanswieren	Tolypella spec.																					
Kleine lisdodde	Typha angustifolia																					
Grote lisdodde	Typha latifolia	2a 10																				
Zittende zannichellia	Zannichellia palustris					1 r															5 100	5 90
Juncus/bies										1 5												5 90

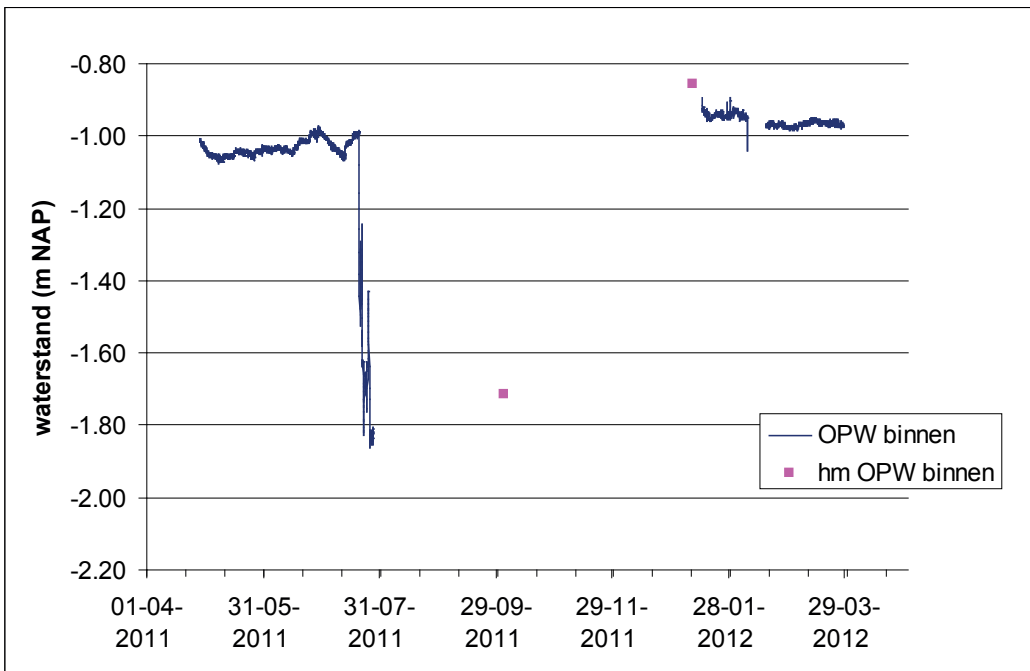
VEGETATIEGEGEVENS

VEGETATIEGEGEVENS

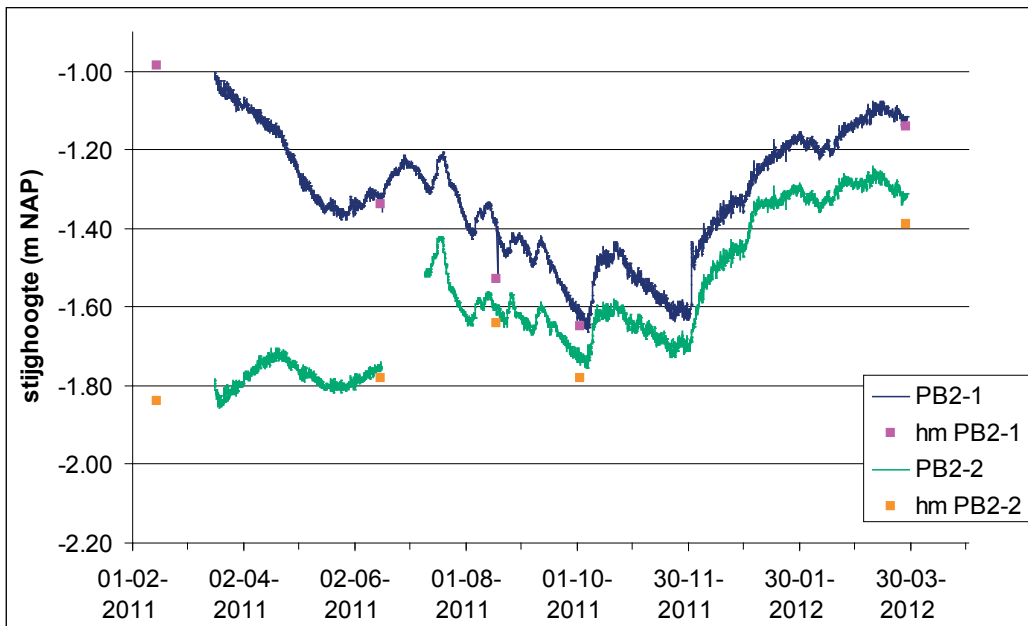
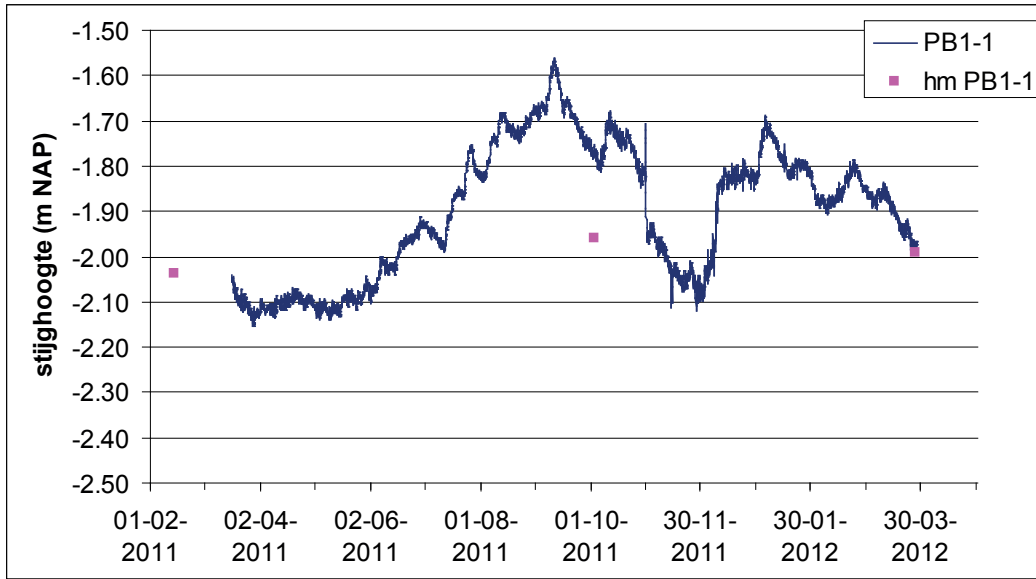
BIJLAGE II GEOHYDROLOGIE

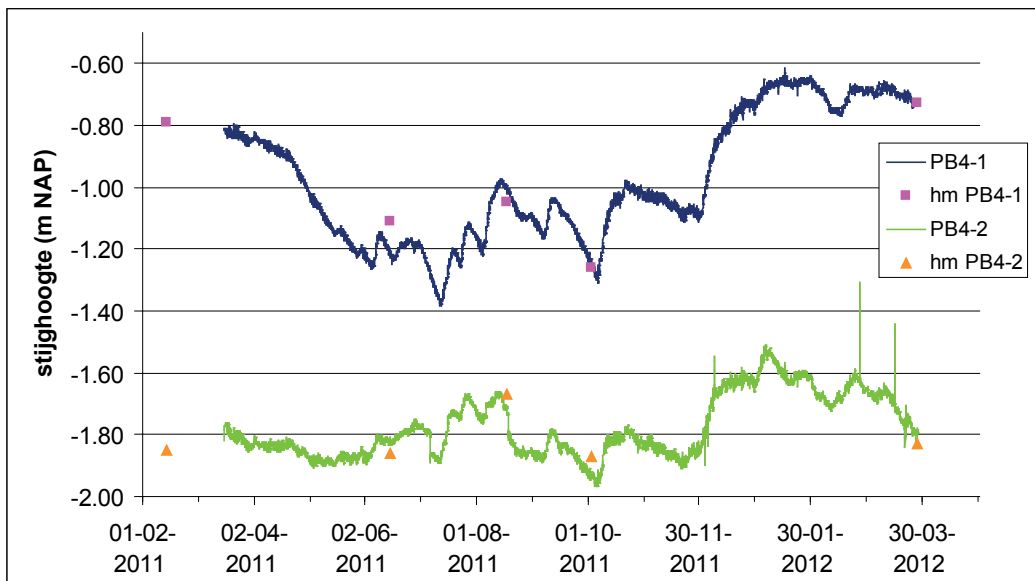
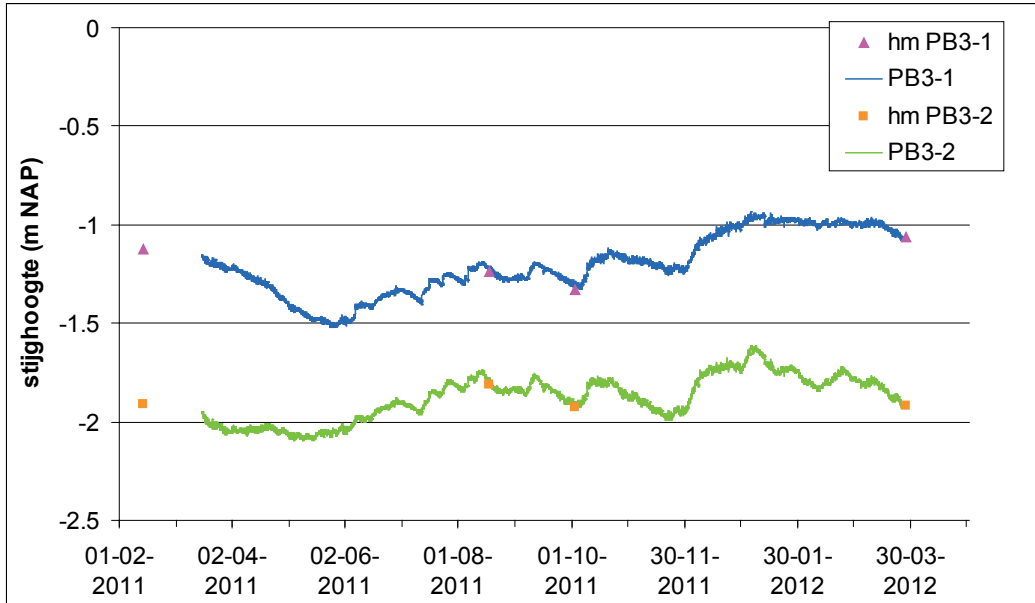
METINGEN ROTTIGE MEENTE

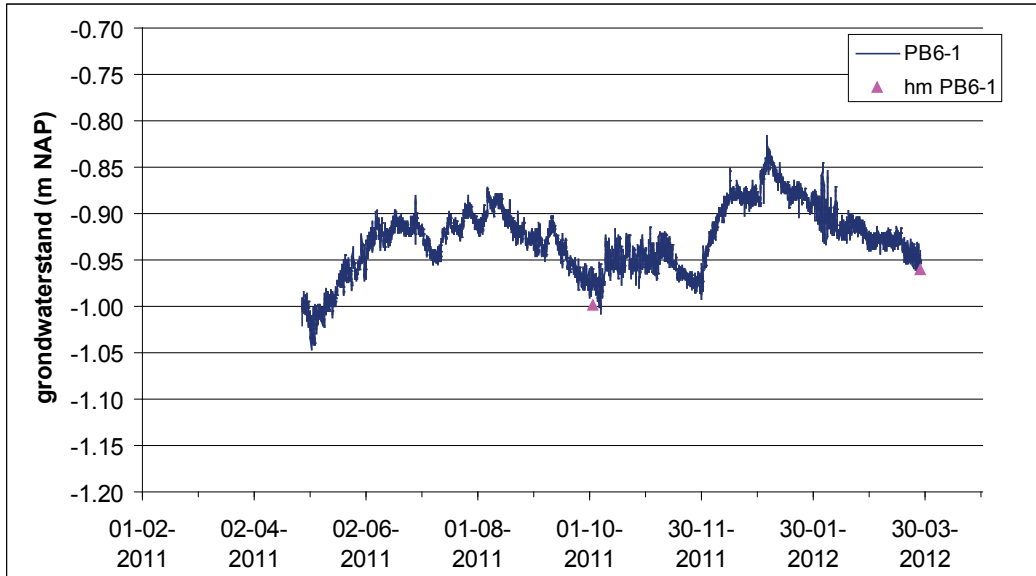




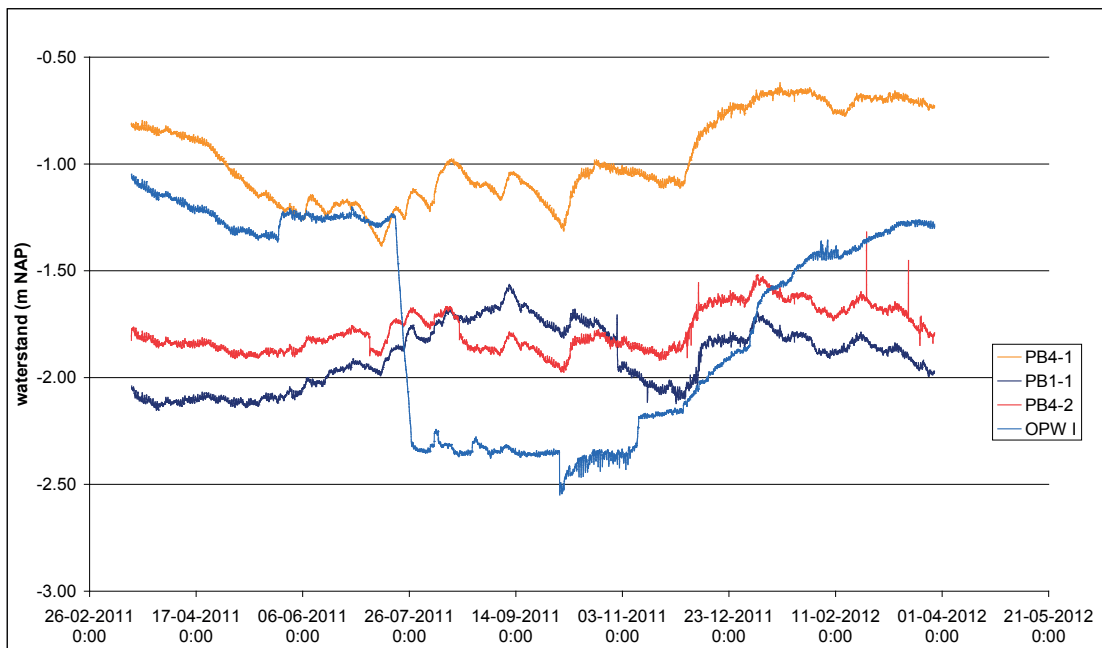
METINGEN DE DELEN







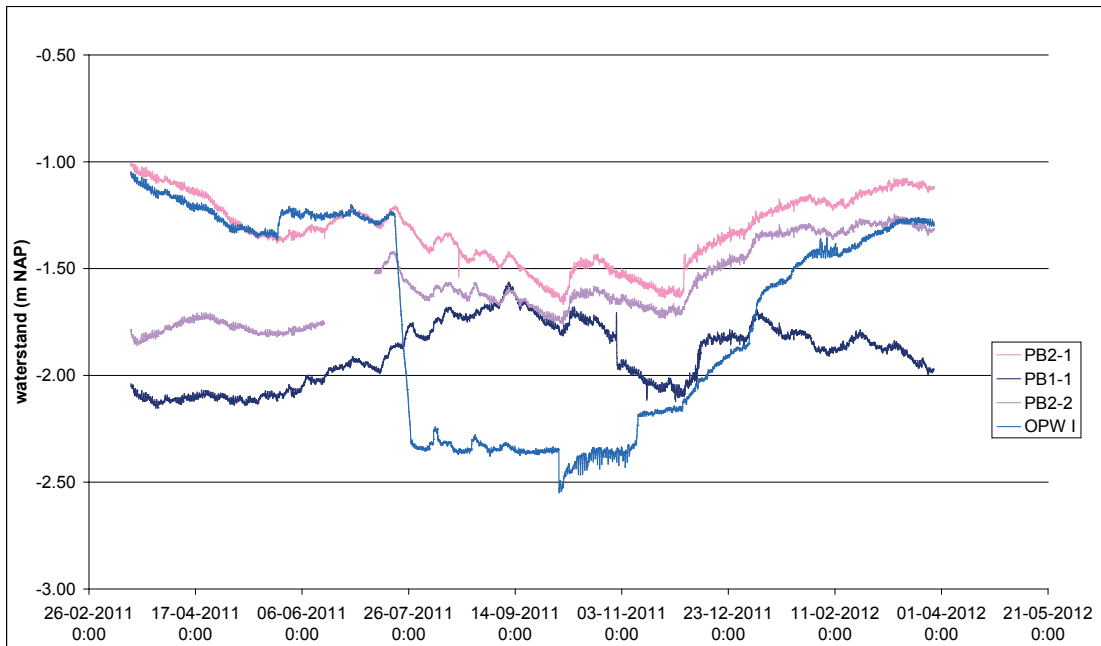
STIJGHOOGTEVERLOOP PB4-1 EN PB4-2

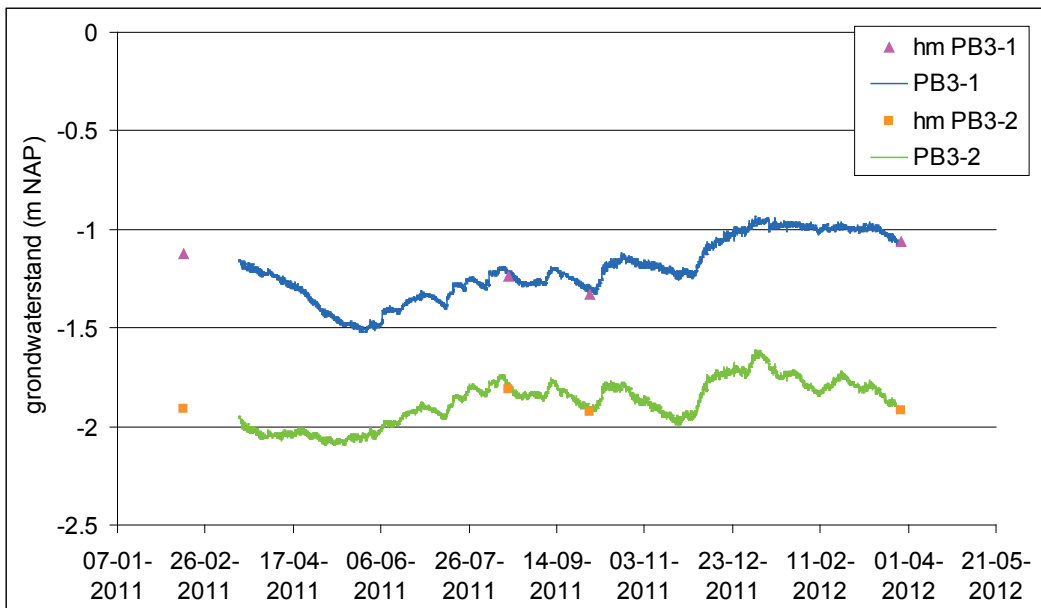
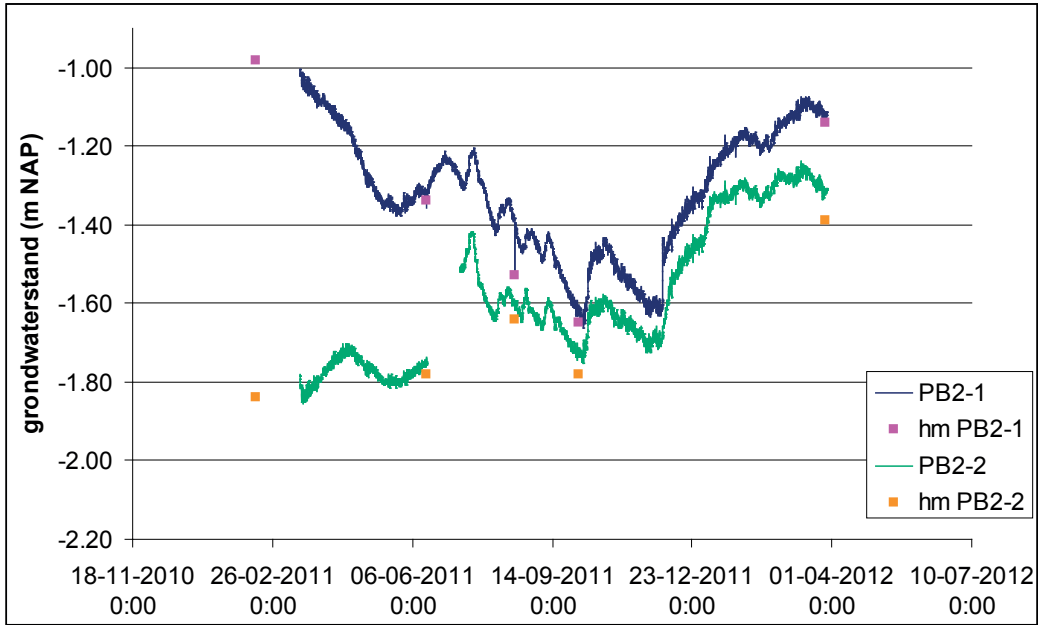


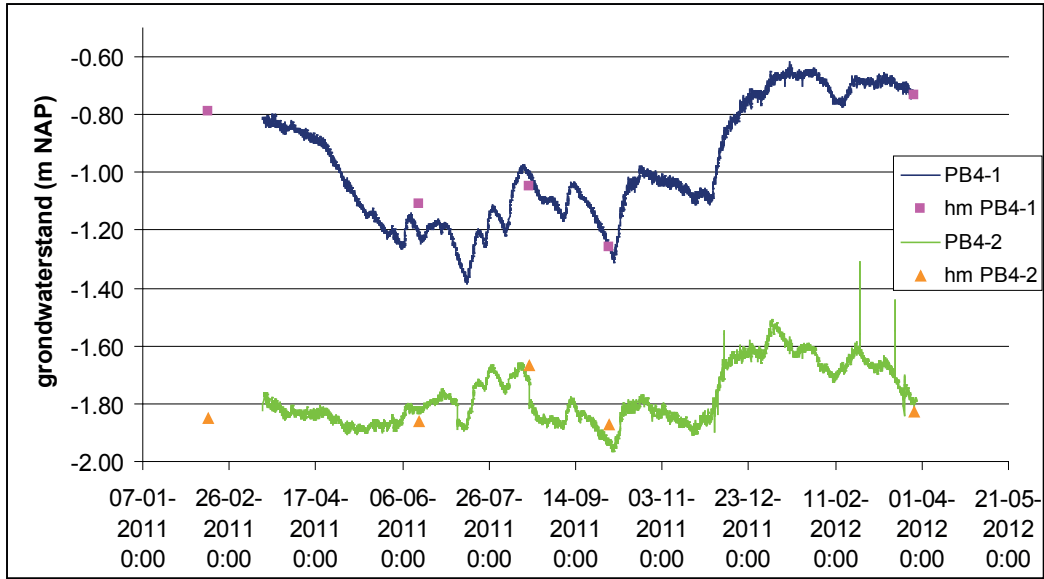
STIJGHOOGTEVERLOOP PB3-1 EN PB3-2



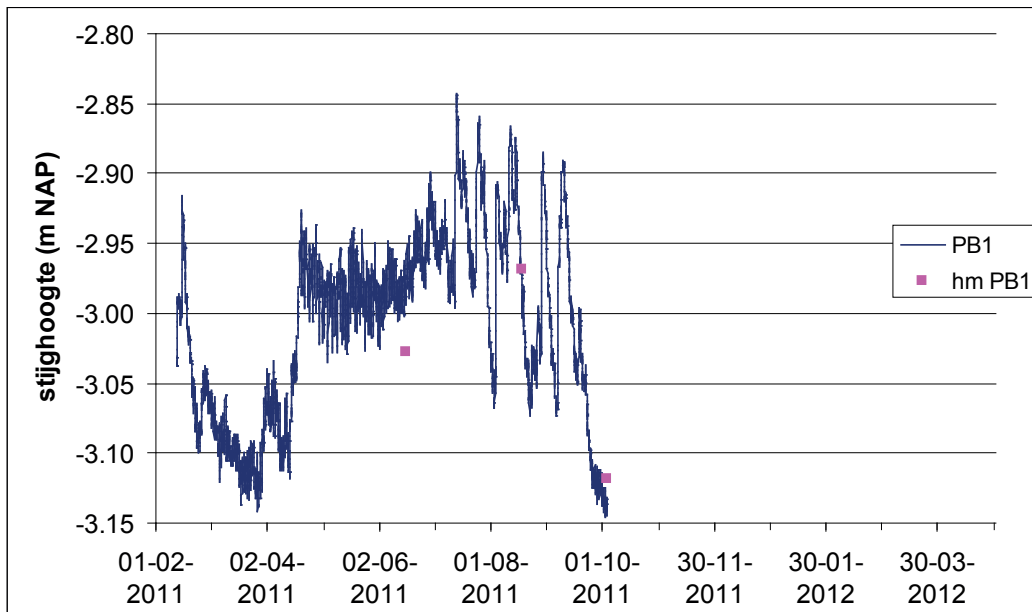
STIJGHOOGTEVERLOOP PB4-1 EN PB4-2

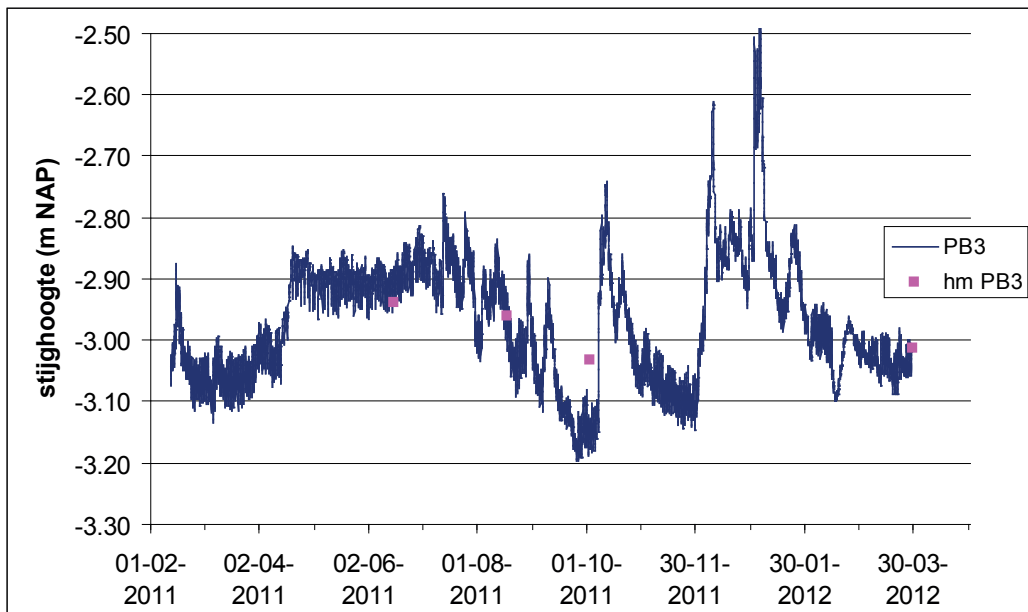
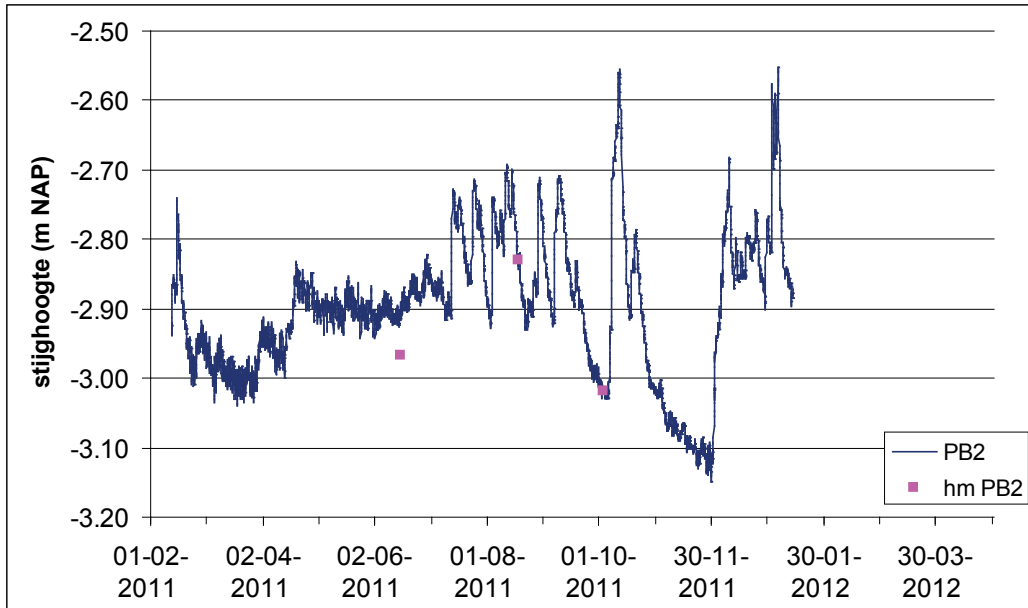


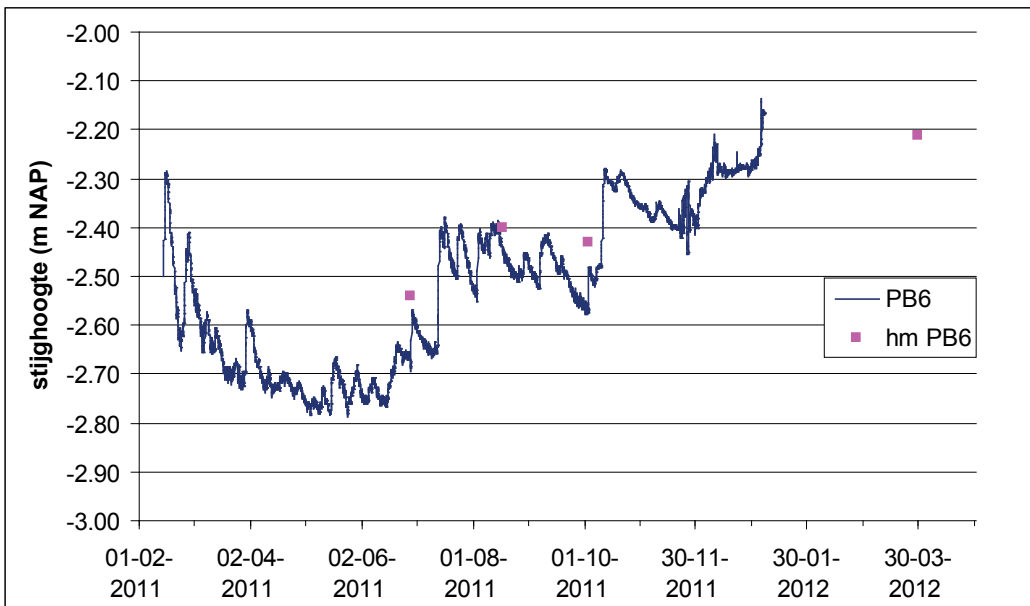
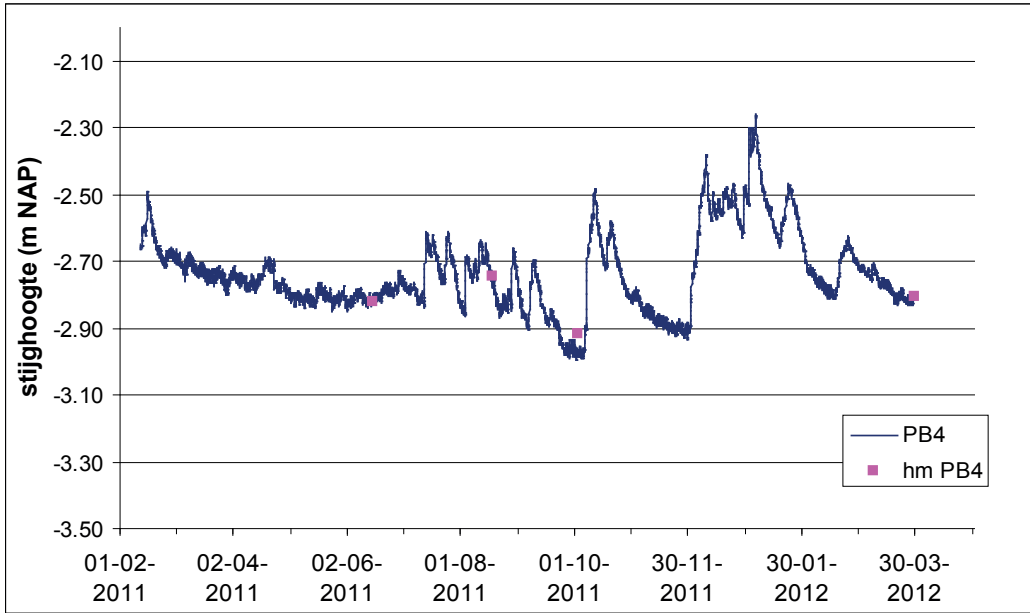


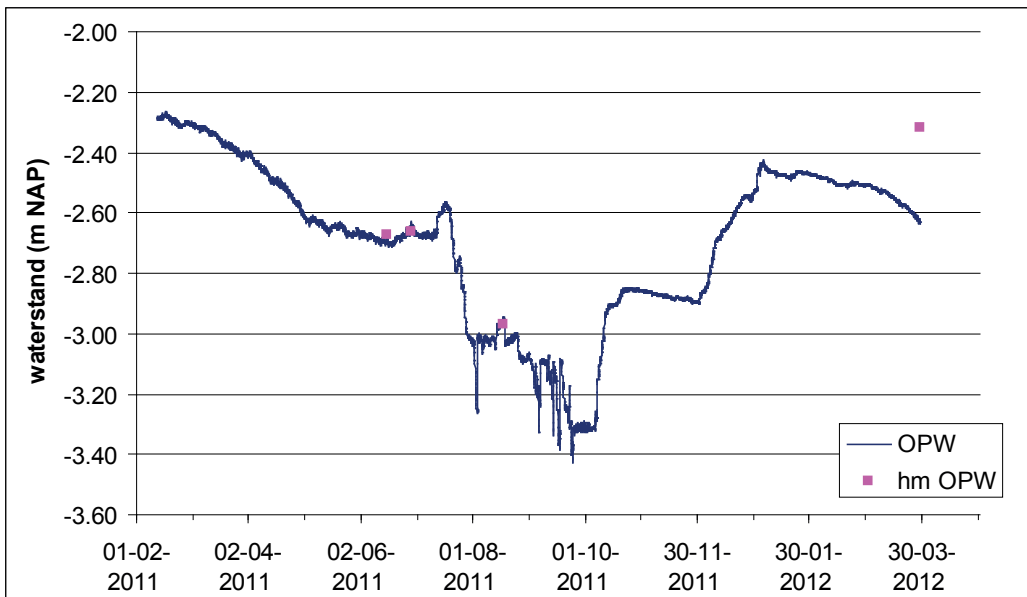
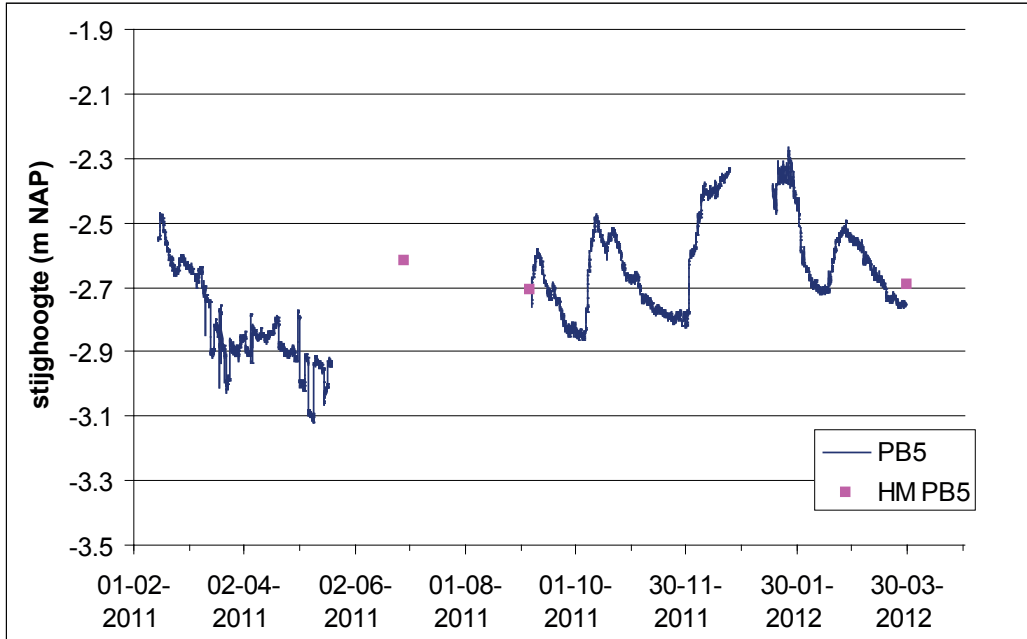


METINGEN WOUDBLOEM

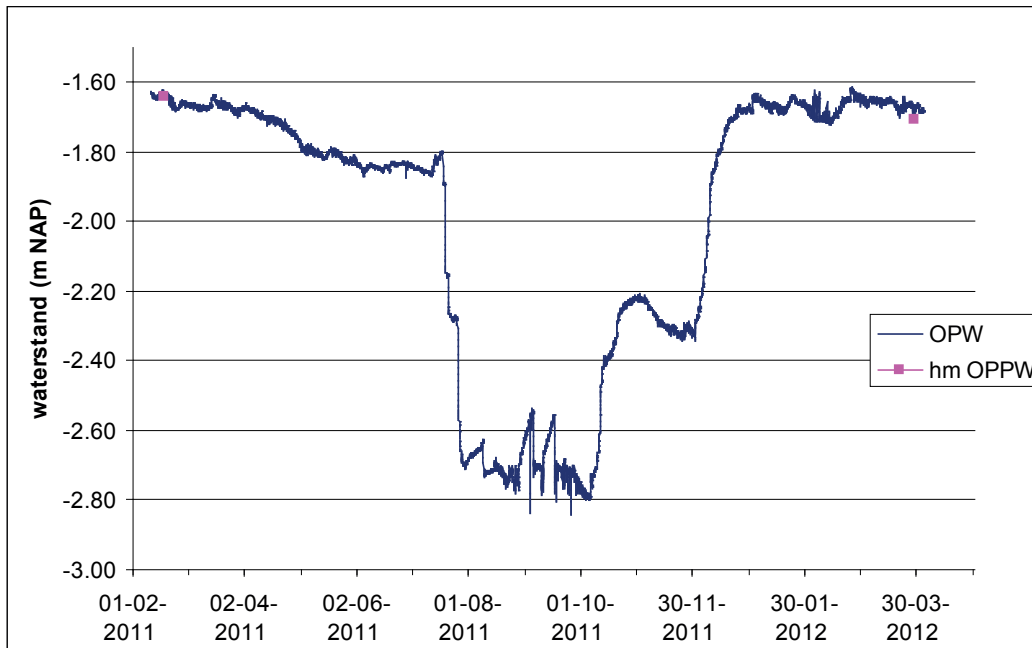
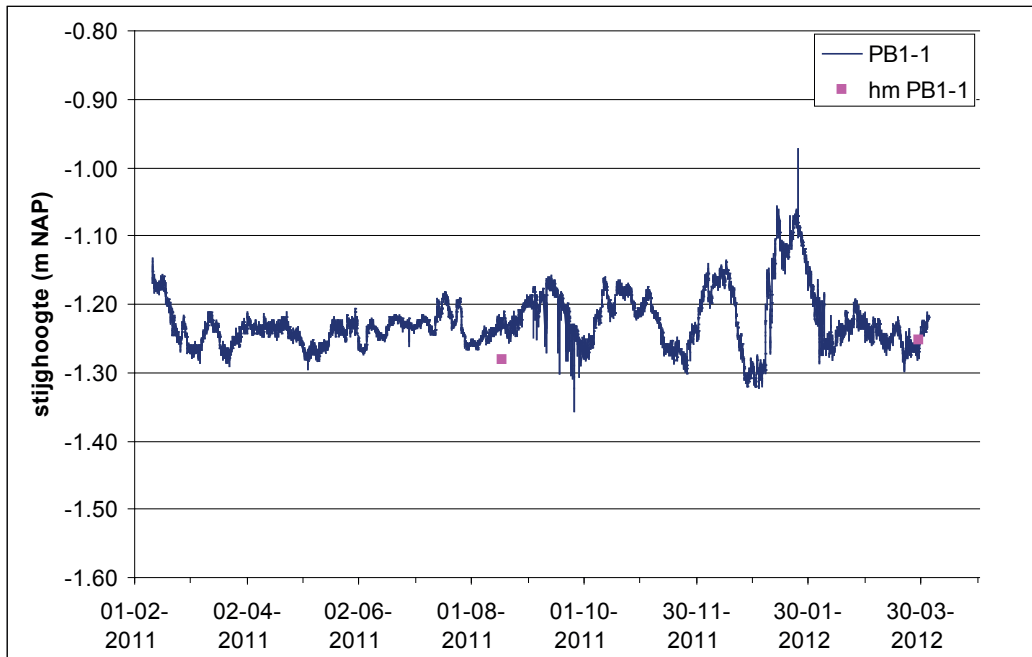






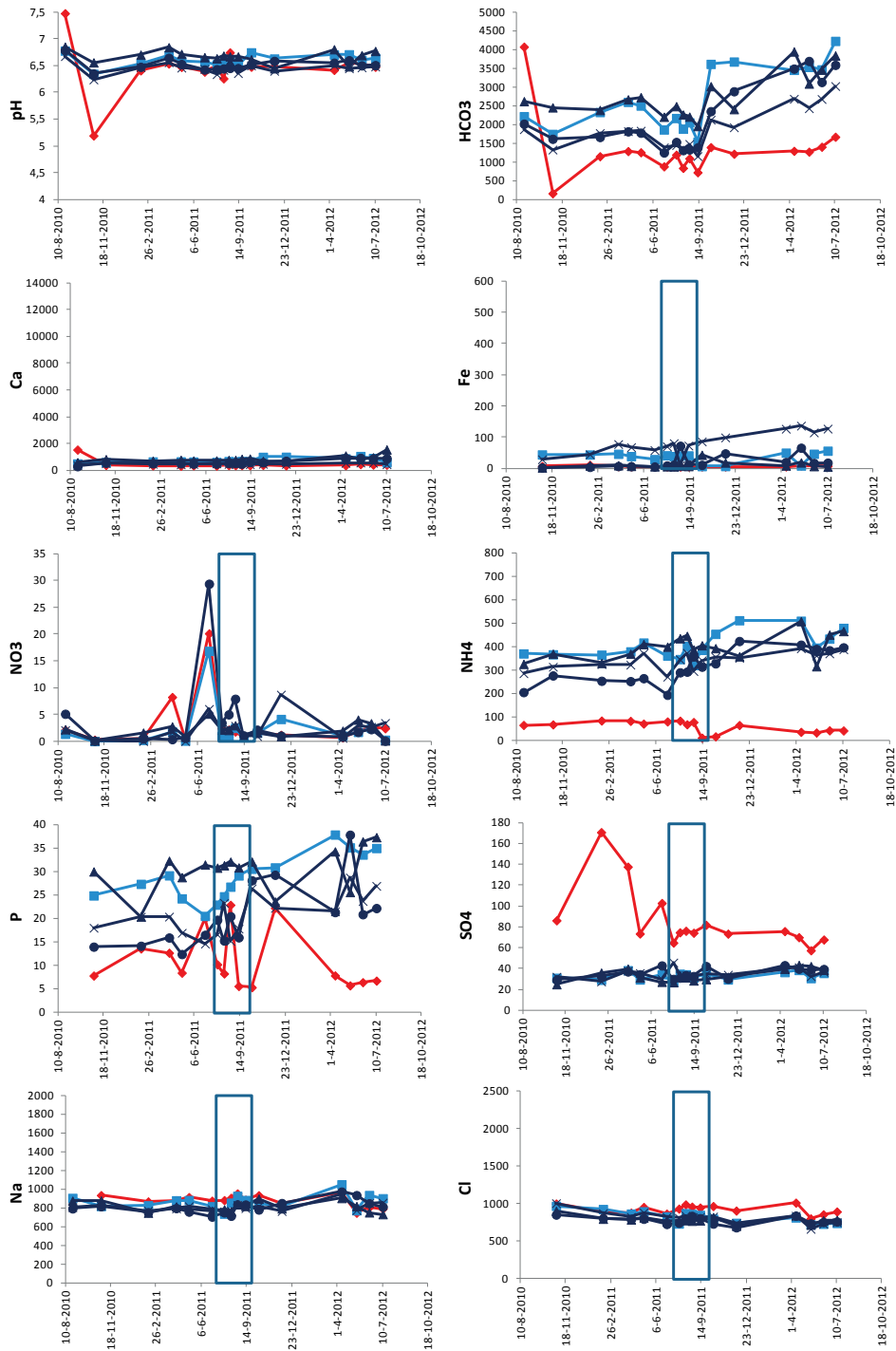


METINGEN LALLEWEER



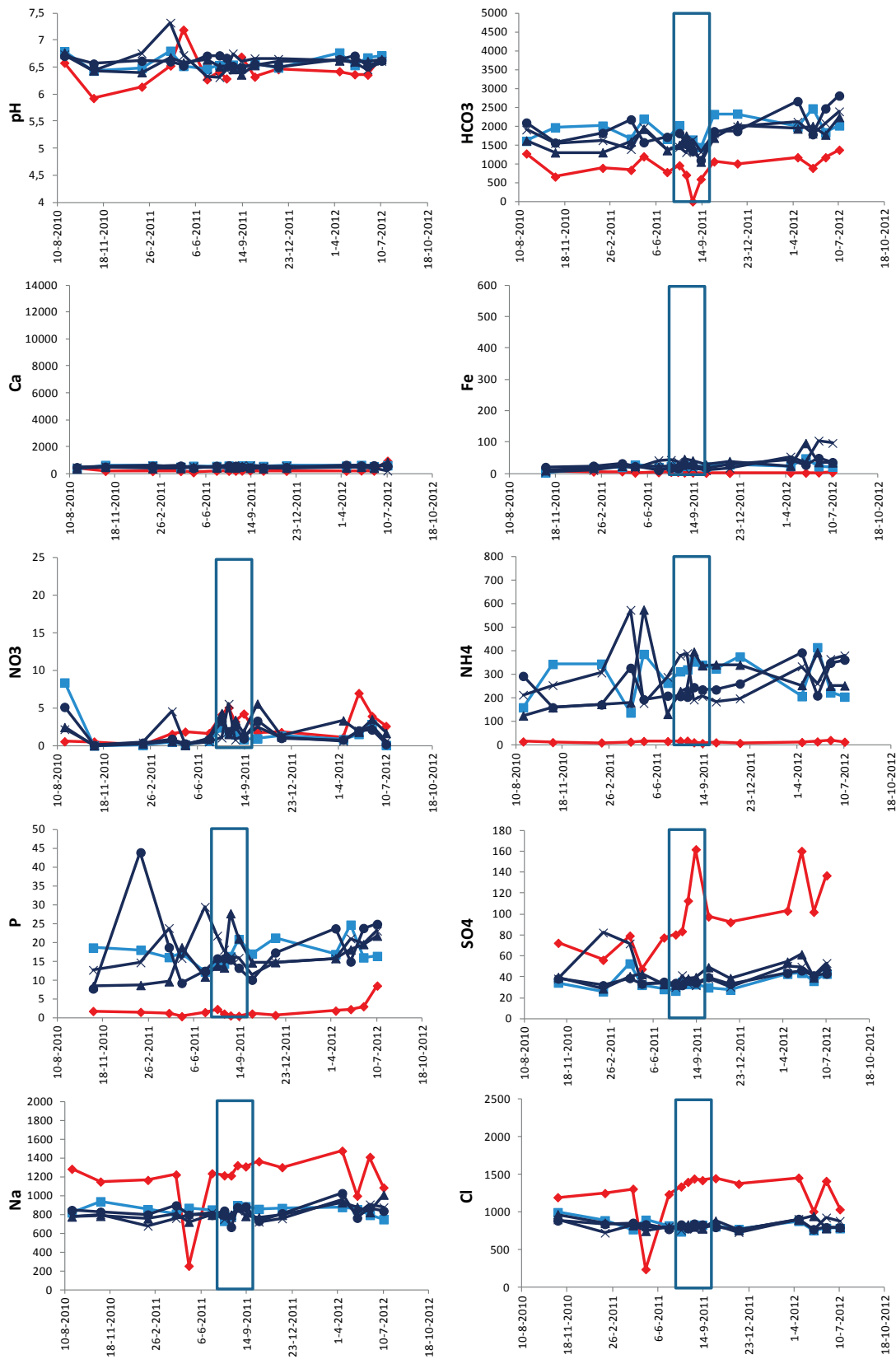
BIJLAGE III VELDEXPERIMENT WATER- EN BODEMKWALITEIT

FIGUUR III.1. PORIEWATERCONCENTRATIES IN DE OEVER EN DE WATERBODEM IN HET REFERENTIECOMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE. CONCENTRATIES IN $\mu\text{MOL/L}$. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



FIGUUR III.2. PORIEWATERCONCENTRATIES IN DE OEVER EN DE WATERBODEM IN BUITENCOMPARTIMENTEN IN HET PETGAT DE ROTTIGE

MEENTE. CONCENTRATIES IN µMOL/L. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN.



BIJLAGE IV FYTOPLANKTON

TABEL IV.1 OVERZICHT VAN BLOEIEN AANGETROFFEN OP DE ZEVEN LOCATIES IN 2011 EN 2012.

NR	BLOEI	EKR	DD-PG A		DD-PG B		RM-PG Z		RM-PB		RM-KPB		LW		WB		
			11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	11	12	
1	Planktothrix. agardhii	0,1														+	
4	LPP-blauwalgen	0,2														+	
6	Steph. hantzschii.s.l.	0,2											+				
7	Microcystisdrijfslag	0,2		+													
8	Microcystis	0,4			+	+	+				+						
9	Micr. wesenbergii	0,6					+										
10	Scenedesmus s.l.	0,2											+		+	+	
11	Cycl. meneghiniana	0,3											+				
13	Gonyostomum	0,3				+	+	+									
14	Aphan. gracile	0,4						+								+	+
15	kl Chlorococcales	0,4	+	+	+	+	+	+			+		+	+	+		
19	kl Cryptophyceae	0,4											+				
20	Cryptomonas	0,4	+		+	+	+	+							+	+	+
23	kl Chroococcales	0,5							+	+			+	+	+	+	
25	Aphan. flos-aquae	0,5	+		+												
26	Anabaena	0,5	+	+													
30	Ankyra	0,6												+			
31	Monomastix	0,6														+	
34	Wor. naegeliana	0,6	+		+			+	+								
35	Chrysochromulina	0,6						+	+	+							
44	Mallomonas	0,7		+										+			
45	Dinobryon	0,7										+					
51	Botryococcus	0,7				+											
52	gr Chlorococcales	0,4											+	+		+	+
54	Chlamydomonas	0,5						+						+		+	+
Totaal			5	4	6	4	9	6	2	0	3	1	9	4	9	7	

BIJLAGE V MACROFAUNA

