

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITS- MAATREGEL



RAPPORT

2014
17

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITSMATREGEEL
RESULTATEN VERVOLGMONITORING 2013

RAPPORT

2014

17

ELFPO EUROPEES LANDBOUWFONDS VOOR PLATTELANDSONTWIKKELING:
"EUROPA INVESTEERT IN ZIJN PLATTELAND"

ISBN 978.90.5773.640.7



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, STOWA

AUTEURS

P.J. Westendorp (red.) (Witteveen+Bos), R. Loeb (B-Ware), M. Thannhauser (Wetterskip Fryslân), G. Roskam (Deltares), F. Ebbens (Waterschap Hunze en Aa's), A.J.P. Smolders (B-Ware) en R. Bijkerk, C.A. Bultstra en M.J. van Herk (Koeman en Bijkerk).

PROJECTGROEP

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

FIGUREN

P.J. Westendorp (Witteveen+Bos, fotografie) en R. Loeb (B-Ware, figuur 2.1)

REFERAAT

In de periode 2010-2012 is uitgebreid onderzoek verricht naar de aanvankelijk omstreden maatregel tijdelijke droogval. 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. In 2013 werd vervolgonderzoek uitgevoerd om de lange(re) termijneffecten vast te stellen. De maatregel tijdelijke droogval blijkt voor bepaalde wateren aan het rijtje van KRW maatregelen te kunnen worden toegevoegd. Het is een krachtige maatregel die op korte termijn al kan leiden tot een sterke verbetering van de waterkwaliteit.

TREFWOORDEN Droogval, waterkwaliteit, lange(re) termijneffecten, fosfaatbinding, doorzicht, vegetatieontwikkeling

FOTO OMSLAG

De plas Woudbloem enkele weken na de droogval

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2014-17

ISBN 978.90.5773.640.7

ELFPO Europees Landbouwfonds voor plattelandsontwikkeling:

“Europa investeert in zijn platteland”

De Subsidieregeling ELFPO werd georganiseerd vanuit Provincie Friesland

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.

TEN GELEIDE

“Van helder naar troebel....., en weer terug”

Dat is de titel van een STOWArapport uit 2008 waarin de kennis over het herstel van (ondiepe) meren en plassen is ontsloten voor het waterbeheer. Het rapport helpt de waterbeheerders maatregelen te ontwerpen die het herstel van ondiepe wateren bevorderen. De doelen voor deze wateren zijn, veelal in het licht van de Kaderrichtlijn water, vastgelegd als helder en plantenrijk.

Of meren daadwerkelijk helder en plantenrijk kunnen worden hangt af van meerdere factoren, zoals de belasting met meststoffen. Als die belasting voldoende laag is kan overwogen worden om het herstel, het weer helder worden van de plassen, te versnellen door het ecosysteem ‘een schop’ te geven.

Tot de populaire herstelmaatregelen horen baggeren, het chemisch vastleggen van fosfaat, ‘actief biologisch beheer’ (visstandbeheer) en het invoeren van flexibel peilbeheer. Kostbare en soms maatschappelijk ingrijpende maatregelen.

Een extreme vorm van flexibel peil is het tijdelijk droog zetten van plassen. In een eerder STOWA-rapport (20012-38) is deze vorm van beheer uitgebreid beschreven. In het kort komt het er op neer dat door het tijdelijk droog laten vallen van plassen de eigenschappen van de waterbodem en oevers zodanig veranderen dat er na het weer vullen van de plas een nieuwe ecologische start gemaakt kan worden. Onder gunstige omstandigheden ontstaat dan het gewenste heldere en plantenrijke water. Aangetoond is ook dat de oevervegetatie zich dan weer goed ontwikkelt, waardoor de ecologische kwaliteit, maar ook de oeverstabiliteit groter worden.

Het onderzoek, dat voor een belangrijk deel gefinancierd is via het Innovatieprogramma Kaderrichtlijn water van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, is in 2010 gestart en in 2012 gerapporteerd. STOWA-rapport 2012-38 bestaat uit een hoofdrapport en een (zeer omvangrijk) achtergrondrapport.

Om de lange(re) termijneffecten meer inzichtelijk te krijgen is in 2013 vervolgmonitoring uitgevoerd. Deze vervolgmonitoring werd uitgevoerd op drie van de vier onderzoekslocaties in Friesland en Groningen. Het rapport dat nu voor u ligt beschrijft de resultaten van deze vervolgmonitoring.

De kosten van de maatregel zullen in veel gevallen lager zijn dan de alternatieven. Of de maatregel geschikt is, hangt af van een aantal factoren, die van locatie tot locatie verschillen. Het onderzoek waarvan de resultaten in dit rapport beschreven worden laten zien dat in een aantal situaties het tijdelijk droog laten vallen van plassen een optie is die serieus meegenomen moet worden bij het ontwerpen van een maatregelpakket voor het ecologisch herstel van ondiepe meren en plassen.

Over het project is een tien minuten durende film gemaakt, die te zien is via de website van de STOWA (STOWA YouTube kanaal).

Joost Buntsma
(Directeur STOWA)

SAMENVATTING

In 2010 is het project 'Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel' van start gegaan. Het onderzoek liep oorspronkelijk tot en met 2012. 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.

De resultaten werden gerapporteerd in een hoofdrapport (Westendorp (red) et al., 2012a) en technisch achtergrond rapport (Westendorp (red) et al., 2012b). Om de effecten op wat langere termijn inzichtelijker te krijgen werd een vervolgmonitoring voor 2013 uitgewerkt. De vervolgmonitoring werd uitgevoerd op drie van de vier onderzoekslocaties, namelijk De Deelen, de Rottige Meente en Lalleweer. In Woudbloem bestonden geen aanwijzingen dat de situatie nog zou veranderen als gevolg van de droogvalperiode.

Na 2012 werden verschillende effecten als gevolg van de tijdelijke droogvalperiode waargenomen. Het ging hier om:

- Binding van fosfaat aan de waterbodem;
- Consolidatie van de waterbodem;
- Verbetering van het doorzicht;
- Vermindering van blauwalgen(bloeien);
- Ontwikkeling water- en oeverplanten.

De effecten werden niet of niet in dezelfde mate op alle locaties waargenomen. In De Deelen was bijvoorbeeld wel sprake van een verbetering van het doorzicht, maar bleef de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten uit. Uit literatuuronderzoek bleek dat droogval ook een vertraagd effect kan hebben, waarbij ontwikkeling van vegetatie pas in het tweede jaar na droogval op gang komt. Helaas bleek dit in De Deelen niet uit de metingen die in 2013 werden uitgevoerd. Er werden geen ondergedoken waterplanten aangetroffen. Ook bleek het doorzicht te zijn afgenomen tot waarden vergelijkbaar met de periode voor de droogval. Een mogelijke oorzaak hiervan is de grote strijklengte van het water waardoor bodemmateriaal sneller opgewerveld kan worden. Het effect van tijdelijke droogval was nog wel zichtbaar in de fytoplanktongemeenschap. Zowel de totale hoeveelheid fytoplankton als de hoeveelheid blauwalgen waren nog steeds lager dan voor de droogvalperiode.

In de kleiplas Lalleweer en in de Rottige Meente was de situatie geheel anders. Op beide locaties was in 2013 sprake van een groot doorzicht en sterke ontwikkeling van zowel ondergedoken waterplanten als oevervegetatie. In de Rottige Meente werden de eerder waargenomen krans- en glanswieren ook in 2013 aangetroffen. In de kleiplas Lalleweer was in 2012 nog sprake van een beperkte ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. In 2013 bleek echter sprake te zijn van een spectaculaire uitbreiding van verschillende soorten waterplanten. Ook de uitbreiding van riet en andere oevervegetatie bleek toegenomen.

De fytoplanktongemeenschap reageert sterk op droogval. In het jaar na de droogval bleek op alle locaties dat de hoeveelheid fytoplankton was afgenomen. Een interessante waarneming was dat ook de aantallen potentieel toxische blauwalgen sterk afnamen als gevolg van de droogval. In 2013 bleek enig herstel van de fytoplanktongemeenschap op te treden maar was de hoeveelheid fytoplankton, nog steeds minder dan in de periode voorafgaand aan de droogval. Soorten die gevoelig zijn voor begrazing, tolerant zijn voor een hogere lichtinstraling en juist lagere nutriëntgehalten lijken positief beïnvloed te worden door de droogval.

Macrofauna is een hele diverse en daardoor complexe groep van organismen. De effecten van droogval op macrofauna als groep zijn dan ook niet goed te duiden. Ook binnen soortgroepen blijken grote verschillen te bestaan in leefwijze, fysiologie, voortplantings- en verspreidingsgedrag. Hierdoor is het ook moeilijk om per soortgroep uitspraken te doen over het effect van droogval. Desondanks zijn er wel veel effecten waargenomen. Binnen de macrofaunagemeenschap traden tal van verschuivingen op na de droogvalperiode. Met name plantminnende soorten leken te profiteren van droogval, indien gelijktijdig sprake was van een uitbreiding van ondergedoken waterplanten. Ook het grotendeels wegvallen van predatie door vis heeft naar verwachting een invloed. Voor wat betreft de effecten van droogval op macrofauna is nog veel onbekend.

Uit dit onderzoek bleek dat tijdelijke droogval zeer positieve effecten op de waterkwaliteit kan hebben. Ook bleek dat de maatregel niet in alle wateren tot hetzelfde resultaat zal leiden. Door vooraf een quickscan te doen (Westendorp (red) et al., 2012b) kan een inschatting worden gemaakt van zowel de praktische uitvoerbaarheid als de effectiviteit van tijdelijke droogval.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie. Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

TIJDELIJKE DROOGVAL ALS WATERKWALITEITS- MAATREGEEL

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Doel	3
	1.3 Projectorganisatie	3
	1.4 Leeswijzer	4
2	BEKNOPT THEORETISCHE ACHTERGROND	5
	2.1 Droogval in relatie tot de Ecologische Sleutelfactoren (ESF's)	6
3	ONDERZOEKSVRAGEN	8
4	ONDERZOEKSOPZET	9
	4.1 Onderzoeklocaties	9
	4.2 Opzet vervolgmonitoring 2013	13
	4.2.1 Water- en bodemchemie	13
	4.2.2 Fytoplankton	14
	4.2.3 Vegetatie	14
	4.2.4 Macrofauna	14

5	RESULTATEN EN DISCUSSIE	16
5.1	Effecten op water- en bodemchemie	16
5.1.1	Rottige Meente	17
5.1.2	De Deelen	22
5.1.3	Lalleweer	26
5.2	Effecten op fytoplankton	32
5.2.1	Rottige Meente	32
5.2.2	De Deelen	38
5.2.3	Lalleweer	42
5.3	Effecten op macrofyten	43
5.4	Effecten op macrofauna	46
5.4.1	Rottige Meente	48
5.4.2	De Deelen	50
5.4.3	Lalleweer	53
6	CONCLUSIES	56
6.1	Effecten per locatie	58
6.2	Aanbevelingen	59
7	LITERATUUR	60
	BIJLAGE I	61

1

INLEIDING

1.1 ACHTERGROND

In 2010 is het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’ van start gegaan. Het onderzoek liep aanvankelijk tot en met 2012. In het onderzoek werden over een periode van ongeveer twee jaar, op verschillende schaalniveaus, de effecten van een tijdelijke droogvalperiode op watersystemen onderzocht. Voor het veldonderzoek werden vier Nederlandse plassen in de zomer van 2011 voor een periode van circa 2,5 maand drooggezet. Het betrof de plassen Lalleweer (kleibodem) en Woudbloem (zandige bodem) in Groningen en laagveenplassen (petgaten) in De Deelen en de Rottige Meente in Friesland.

Het project werd uitgevoerd om te onderzoeken of tijdelijke droogval van watersystemen kan bijdragen aan een verbetering van de waterkwaliteit en tevens praktisch uitvoerbaar is. Hiermee kan de maatregel bijdragen aan het behalen van de KRW doelen en voor bepaalde wateren een mogelijk alternatief bieden voor baggeren.

Hoewel vanuit andere studies al positieve effecten bekend waren, werd de maatregel ‘tijdelijke droogval’ in Nederland nog niet in de praktijk toegepast door onzekerheden over de toepasbaarheid en mogelijke negatieve effecten op gebruikersfuncties. 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 moet worden herhaald.

De resultaten werden gerapporteerd in een hoofdrapport en een technisch achtergrondrapport. De belangrijkste uitkomsten waren:

- 1 Tijdelijke droogval is praktisch uitvoerbaar en vergunbaar;
- 2 Tijdelijke droogval leidt in alle proefgebieden, zowel in de veld- als labexperimenten tot oxidatie van (ijzer)zwavelverbindingen, waarbij zwavel gemobiliseerd wordt en vrij ijzer beschikbaar kan komen;
- 3 Tijdelijke droogval leidt in alle proefgebieden, zowel in de veld- als labexperimenten tot binding van fosfor (P) aan geoxideerd ijzer. De mate waarin dit plaatsvindt, verschilt echter en is voor een deel te relateren aan de mate waarin de bodem is ontwaterd of drooggevallen en de samenstelling van de waterbodem;
- 4 Tijdelijke droogval leidt in alle proefgebieden, zowel in de veld- als labexperimenten, tot mobilisatie en afvoer van stikstof (via nitrificatie, denitrificatie);
- 5 Droogval leidt binnen het damwandencompartment en zijn omgeving niet tot schade (geen bodemdaling, verzakkingen etc). In De Deelen (veengebied, petgat afgesloten door gronddammen) en Woudbloem (zandbodem) is er sprake van een beperkte daling van de grondwaterstand en beperkte schade aan de oevers (De Deelen). Deze effecten hebben niet tot onaanvaardbare schade geleid. Er zijn geen voorzieningen verzakt of aangetast. In De Deelen lijken de lokaal verzakte oevers de vestigingskansen voor oevervegetatie te verbeteren;

1.2 DOEL

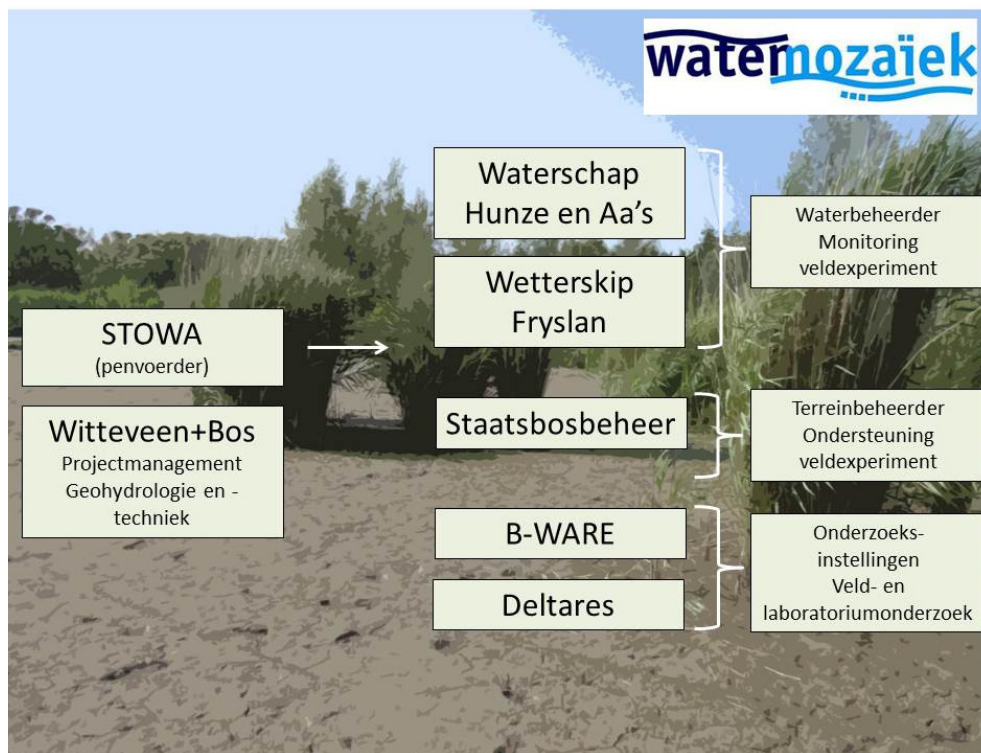
Het doel van het project tot 2012 was inzicht te verkrijgen in de omstandigheden waarin (hoe, wanneer en waar) en tegen welke kosten de maatregel droogval kan worden toegepast en welke baten hiervan mogen worden verwacht. Hoewel uit de resultaten tot en met 2012 werd geconcludeerd dat tijdelijke droogval voor bepaalde watersystemen tot verbetering van de waterkwaliteit kan leiden, konden er geen uitspraken worden gedaan over de lange(re) termijn-effecten. Doel van de vervolgmonitoring (2013) was dan ook om meer inzicht te krijgen in de lange(re) termijn effecten. Voor de locaties Rottige Meente en Lalleweer was het belangrijkste doel om vast te stellen of de positieve effecten zouden aanblijven. Voor De Deelen was dit vooral om vast te kunnen stellen of het verbeterde doorzicht op de wat langere termijn als nog zou leiden tot de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten.

1.3 PROJECTORGANISATIE

Het project 'Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel' is uitgevoerd door een consortium (de projectgroep) dat bestaat uit zowel water- en terreinbeheerders als onderzoeksinstellingen (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

ORGANISATIESHEMA



De vervolgmonitoring werd in 2013 met dezelfde partners voortgezet.

1.4 LEESWIJZER

Na deze inleiding volgt in hoofdstuk 2 een beknopte beschrijving van de effecten van de maatregel. De onderzoeksvragen en hypothesen zijn in hoofdstuk 3 uiteengezet. In hoofdstuk 4 volgt een beschrijving van de onderzoeksopzet. Vervolgens worden in hoofdstuk 5 de belangrijkste resultaten beschreven en bediscussieerd. Tot slot volgen in hoofdstuk 6 de eindconclusies met aanbevelingen voor het toepassen van de maatregel.

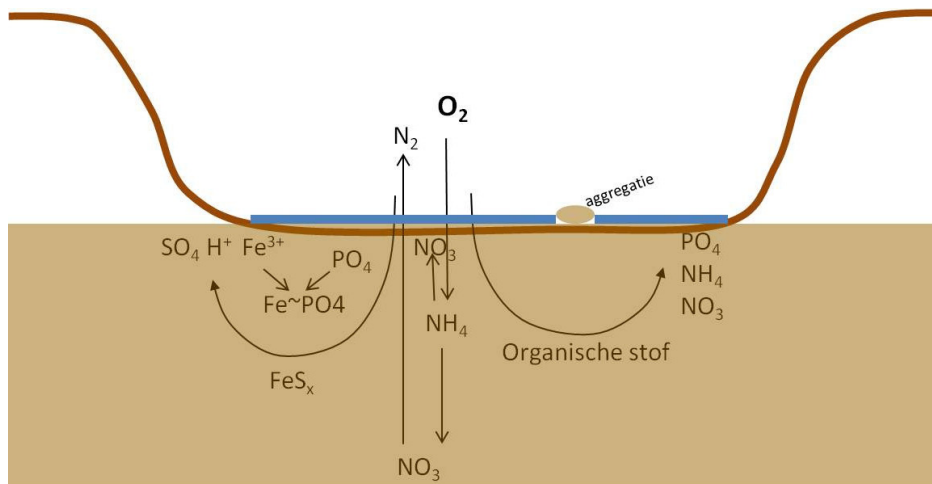
2

BEKNOPTE THEORETISCHE ACHTERGROND

Bij een natuurlijk waterpeilverloop kunnen wateren in de zomerperiode geheel of gedeeltelijk droogvallen (figuur 2.1.). Tegenwoordig wordt het waterpeil van de meeste Nederlandse oppervlaktewateren sterk gereguleerd en treedt natuurlijke droogval in slechts enkele wateren nog op. Bij een natuurlijk peilverloop werkt de dynamiek in waterpeilen door in processen die in de waterbodem plaatsvinden. Bij het uitzakken van het waterpeil en het droogvallen van de waterbodem treden verschillende processen op die van positieve invloed zijn op de waterkwaliteit. Het gaat hierbij om (bio)chemische, fysische als biologische effecten. In de eerder verschenen rapportages (Westendorp (red) *et al.*, 2012 a,b) is hier een uitgebreide literatuurstudie over opgenomen.

FIGUUR 2.1

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



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 fosfor 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. 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 fosfor;
- Stikstofverwijdering;
- Consolidatie (verdichting) van de waterbodem;
- Omzetting toxische stoffen (H_2S , NH_4^+).

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 diffusiebarrière die door het oppervlaktewater en poriewater wordt gevormd, afwezig. De waterbodem wordt zodoende direct aan zuurstof uit de atmosfeer blootgesteld. De aanwezigheid van zuurstof in de drooggevallen waterbodem brengt verschillende processen op gang (figuur 2.1).

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

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

Er zijn verschillende effecten van droogval op vegetatie bekend:

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

Bij het droogvallen van wateren gebruikt de aanwezige macrofauna verschillende overlevingsstrategieën, waaronder migratie naar de bodem om te wachten op het stijgende water. 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, evenals de connectiviteit tussen de verschillende waterlichamen. Buiten de verspreidingsstrategieën van soorten zijn ook de voortplantingsstrategieën van belang. Tijdelijke droogval kan op adult, larve en ei van dezelfde soort een andere impact hebben.

2.1 DROOGVAL IN RELATIE TOT DE ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN (ESF'S)

Door in een watersysteem aan de juiste ecologische sleutelfactoren te draaien wordt de deur geopend naar een goede waterkwaliteit. De ESF's zijn ontwikkeld voor het afleiden van gebiedspecifieke doelen en maatregelen, waarbij inzicht in het ecologisch functioneren van systemen het uitgangspunt is (Figuur 2.2.). Kenmerkend voor de systematiek is dat uitgegaan wordt van een zekere hiërarchie in voorwaarden voor ecologisch herstel. Waterplanten staan hierin centraal, omdat ze een cruciale rol spelen in het ecologisch functioneren van watersystemen. Andere soorten (macrofauna, vis) zijn in belangrijke mate afhankelijk van waterplanten.

Voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten is voldoende licht op de bodem de belangrijkste voorwaarde. Het belangrijkste potentiële knelpunt hiervoor is de aanwezigheid van algen of kroos veroorzaakt door een te hoge externe belasting met nutriënten (ESF1 productiviteit water). Als de belasting voldoet kunnen bijvoorbeeld zwevend stof en kleuring voor verstoring van het lichtklimaat zorgen (ESF2 lichtklimaat). Pas als er voldoende licht op de bodem valt, kan de samenstelling van de waterbodem een knelpunt vormen voor her-

stel (ESF3 productiviteit waterbodem). De ontwikkeling van oeverplanten is afhankelijk van voldoende peilfluctuatie (ESF4 habitatgeschiktheid).

Voor het herstel van specifieke soorten zijn standplaatscondities bepalend (ESF4). In totaal zijn 9 ESF's geïdentificeerd. De maatregel Tijdelijke droogval grijpt met name in op de ESF's 2, 3 en 4. Tijdelijke droogval verbetert het lichtklimaat door consolidatie van de waterbodem (ESF 2), leidt tot binding van fosfor aan de waterbodem (ESF 3) en kieming en uitbreiding van water- en oeverplanten (ESF 4).

FIGUUR 2.2

ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN 2, 3 EN 4



3

ONDERZOEKSVRAGEN

Voor aanvang van het onderzoek in 2010 werden verschillende onderzoeksvragen geformuleerd. In 2012 konden deze vragen voor een belangrijk deel worden beantwoord. In 2013 werden de lange(re) termijneffecten van tijdelijke droogval onderzocht. Hiermee zijn de onderstaande vragen die eerder werden gesteld nog steeds relevant.

1 Ecologie en waterkwaliteit:

- A. *Wat is het effect van tijdelijke droogval op de fysisch-chemische en biologische waterkwaliteit?*
- B. *Hoe moet de maatregel tijdelijke droogval worden uitgevoerd in termen van duur en periode?*

Voor de vervolgmonitoring 2013 werden meer specifiek de volgende vragen gesteld:

- Zijn de waargenomen effecten van tijdelijke droogval in het tweede jaar na de droogvalperiode nog aanwezig?
- Vindt er in De Deelen alsnog ontwikkeling van ondergedoken waterplanten plaats?

4

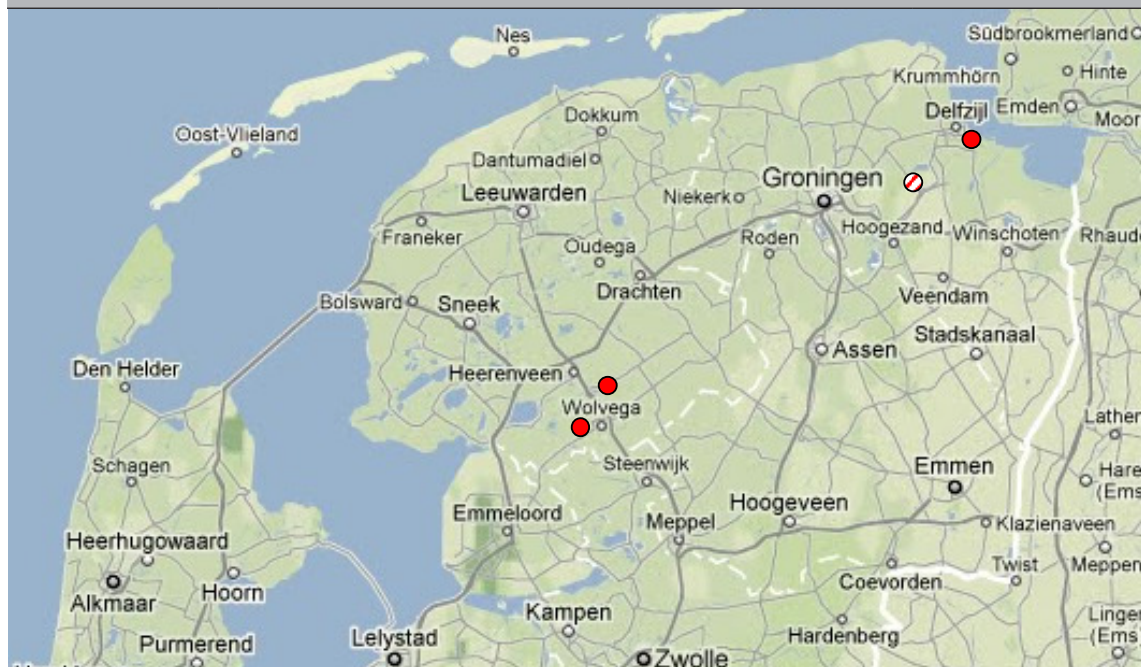
ONDERZOEKSOPZET

4.1 ONDERZOEKSLOCATIES

Het onderzoek werd voortgezet op drie van de vier onderzoekslocaties (Tabel 4.1). Om de droogval te kunnen realiseren werden in 2011 verschillende maatregelen genomen. Voor alle locaties werden de benodigde vergunningen aangevraagd. Voor het aflaten of afpompen van het oppervlaktewater werden alle locaties afgevist, waarbij de vis geregistreerd werd en overgeplaatst naar aangrenzende of naburige wateren. Na het nemen van locatiespecifieke maatregelen werd op alle locaties – gedurende de periode 15 juli – 4 oktober 2011 - een pomp ingezet om de plassen te bemalen.

TABEL 4 ONDERZOEKSLOCATIES

Locatie	x,y	Bodetype	Oppervlak droogval (ha)	Oppervlak referentievak (ha)	Vervolgmonitoring 2013
De Deelen (Fr.)	53°16'28"N 6°59'41"E	Veen	2,14	1,6	Ja
Rottige Meente (Fr.)	52°50'11"N 5°54'13"E	Veen	0,14	0,04	Ja
Lalleweer (Gr.)	51°24'08"N 6°11'01"E	Klei	0,88	-	Ja
Woudbloem (Gr.)	52°25'60"N 4°55'60"E	Zand	4,14	-	Nee



LALLEWEER

De plas Lalleweer (Gr.) bevindt zich in Gemeente Delfzijl, nabij de plaats Lalleweer en aan het Termunterzijldiep. De plas ligt in een zeekeleigebied en heeft een waterbodem die uit zware zeelei bestaat. De plas is ongeveer 10 jaar geleden gegraven ten behoeve van natuurontwikkeling. De plas heeft een gemiddelde diepte van circa 1 m. De oevers lopen zeer flauw af en zijn rijk begroeid met riet en andere oevervegetatie. De plas wordt op peil gehouden door inlaat van oppervlaktewater dat via landbouwsloten wordt aangevoerd. In de winter staat het peil ongeveer 20 cm hoger dan in de zomer.

Om de plas tijdelijk droog te laten vallen waren slechts kleine ingrepen nodig. De aanwezige stuw werd aangepast, zodat de plas kon worden afgesloten. Voor een betere afvoer van oppervlaktewater uit de plas, werd de afvoersloot uitgebaggerd en werd in de plas een sleuf gegraven.

FIGUUR 4.1 LALLEWEER (ZOMER 2013). INZET RECHTSONDER GEKROESD FONTEINKRUID



DE DEELLEN

Het moeras- of laagveengebied De Deellen ligt in Friesland ten noordoosten van Heerenveen aan de westflank van het Drents Plateau. Het gebied bestaat uit legakkers en petgaten. Deze variëren in ouderdom, waterbeheer en kwaliteit. Op beperkte schaal wordt nog steeds veen afgegraven voor de potgrondindustrie. De veendikte is beperkt tot circa 2 m. De legakkers bestaan uit een 1 à 1.5 m dikke laag veenmosveen met een circa 0.1 à 0.2 m dik kleidek. Daar waar petgaten zijn gegraven bevindt zich dus nog nauwelijks veen. Slechts een dikke sliblaag scheidt het water van de zandondergrond. De Deellen heeft de status Wetland (Ramsar Conventie 1971) en is aangewezen als Natura-2000 en vogelrichtlijngebied.

Vanaf de jaren zestig werd er in het gebied boezemwater vanuit de nabijgelegen Hooivaart ingelaten. Sinds 2002 wordt er in principe alleen nog water ingelaten vanuit de zandwinplas. Afgesproken is dat wanneer in zeer droge zomers een tekort aan water voor aanvoer vanuit de zandwinplas optreedt, er dan water vanuit de Hooivaart in De Deelen ingelaten wordt. Vanaf 2011 wordt een streefpeil gehanteerd van -1.10 m NAP in de zomer en -0.90 m NAP in de winter.

In het gebied komen bijzondere vogelsoorten voor zoals roerdomp, purperreiger, grote karekiet, zwarte stern en bruine kiekendief. Het gebied is rijk aan verschillende soorten overwinterende ganzen. In enkele schraallanden worden de bijzondere plantensoorten klokjesgentiaan en Spaanse ruiter aangetroffen. In een aantal petgaten komt krabbescheer uitbundig voor.

In De Deelen werden twee petgaten onderzocht: een petgat met droogval en een vergelijkbaar naastgelegen referentiepetgat. Ten behoeve van het onderzoek en het toepassen van de maatregel droogval werden kleine maatregelen genomen. De petgaten werden eenzijdig afgedamd en tweezijdig voorzien van afsluitbare duikers. Gedurende de droogvalperiode werd het petgat met droogval bemalen met een pomp.

FIGUUR 4.3 DE DEELEN (ZOMER 2013)



ROTTIGE MEENTE

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

In de Rottige Meente zijn, net als in De Deelen, petgaten waarin goed ontwikkelde vegetaties aanwezig zijn en wateren waarin nauwelijks of geen waterplanten voorkomen. Voor het toepassen van tijdelijke droogval is gezocht naar een minder goed ontwikkeld petgat. In de Rottige Meente verdwijnen steeds meer smalle legakkers en blijft verlanding uit. Een risico is dat het areaal open water alsmat groter wordt en de kansen voor nieuwe verlanding hiermee steeds kleiner worden.

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

In de Rottige Meente werd een compartiment geplaatst van stalen damwanden (planklengte 8 m). Het compartiment bestond uit een droogvalcompartiment en een kleiner referentiecompartiment (Tabel 4.1).

FIGUUR 4.4 ROTTIGE MEENTE



VERWIJDEREN VAN DE VOORZIENINGEN OP DE LOCATIES

Na de droogvalperiode in 2011 werden de pompen verwijderd, maar bleven de wateren geïsoleerd door aanwezigheid van dammen of afsluitbare duikers. Het oppervlaktewaterpeil in de plassen herstelde zich door neerslag en kwel. Met uitzondering van de locatie Woudbloem bleven de onderzoekslocaties in 2013 afgesloten van het omringende oppervlaktewater ten behoeve van het onderzoek. In september 2013 werd het compartiment in de Rottige Meente verwijderd. In De Deelen konden de gronddammen blijven liggen, omdat deze voorzien waren van duikers.

4.2 OPZET VERVOLGMONITORING 2013

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

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

4.2.1 WATER- EN BODEMCEMIE

Vanaf april 2013 tot en met september 2013 zijn concentraties nutriënten en macro-elementen in het oppervlaktewater en poriewater van de proeflocaties in de Rottige Meente, De Deelen en de plas bij Lalleweer gemonitord. De bemonstering van het oppervlaktewater werd maandelijks uitgevoerd door Onderzoekcentrum B-ware en op de onderzoekslocaties Rottige Meente en De Deelen eveneens maandelijks door Wetterskip Fryslân. In De Deelen werden het petgat dat in 2011 was drooggezet en het naastgelegen petgat dat als referentie diende, bemonsterd. In De Rottige Meente werden het compartiment dat in 2011 droog was gezet, het referentiecompartiment en een locatie buiten de compartimenten bemonsterd. Door onderzoekcentrum B-ware werd deze laatste bemonstering in hetzelfde petgat uitgevoerd als waar de compartimenten in lagen, door Wetterskip Fryslân werd het naastgelegen petgat ter referentie bemonsterd, omdat het waterschap hier al een vast monsterpunt had liggen.

Het poriewater op de onderzoekslocaties werd in april, juni en augustus 2013 bemonsterd.

OPPERVLAKTEWATER

Bij elk veldbezoek werden op drie verschillende plaatsen in de plas of - in de Rottige Meente - in het compartiment veldmetingen verricht. Op circa 10 cm onder het wateroppervlak werden de pH, EGV, zuurstofconcentratie en temperatuur gemeten met een HQ40d multimeter (Hach Lange). Het doorzicht en de bodemdiepte werden op deze plekken bepaald met een secchi-schijf. Op elke locatie werden twee 1 liter polyethyleen flessen gevuld en meegenomen naar het laboratorium, waarvan er één werd gebruikt voor de chlorofylbepaling en één voor de overige chemische bepalingen.

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 7 minuten 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 (NEN 6520+C1).

PORIEWATER

Het poriewater werd bemonsterd met behulp van poreuze keramische cups, waaruit met 50 ml injectiespuiten het vocht anoxisch verzameld werd. Deze cups werden circa één maand voor de eerste bemonstering in 2013 permanent ingezet op dezelfde plek als in de periode 2010-2012, zodat telkens precies van dezelfde locatie poriewater kon worden bemonsterd. Cups die gedurende het experiment kapot gingen of verdwenen, zijn vervangen. Voor de locaties van de cups wordt verwezen naar Westendorp (red.) (2012).

FYSISCH-CHEMISCHE ANALYSES

Voor een beschrijving van de gehanteerde methode van de chemische analyses wordt verwezen naar Westendorp (red.) et al., 2012. Voor de metingen in 2013 werd de door Wetterskip Fryslan gemeten concentratie zwevend stof 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 is gemeten. Voor de analyses door Wetterskip Fryslân wordt verwezen naar de respectievelijke NEN-voorschriften.

4.2.2 FYTOPLANKTON

Op de drie verschillende onderzoekslocaties werd van april tot en met september 2013 het fytoplankton bemonsterd. Hierbij werd maandelijks 1 bemonstering uitgevoerd op 7 deellocaties (tabel 4.2.). In mei werden de monsterpunten in de Rottige Meente door omstandigheden 2 keer bemonsterd en in juni niet.

TABEL 4.2. AANTALLEN GEANALYSEERDE FYTOPLANKTONMONSTERS PER LOCATIE. DE GRIJZE BALKEN IN DE ZOMERPERIODE 2011 GEVEN DE DROOGVALPERIODE WEER

Locatie	Meetjaar 2011							Meetjaar 2012							Meetjaar 2013							Totaal
	M	A	M	J	J	A	S	M	A	M	J	J	A	S	M	A	M	J	J	A	S	
De Deelen (Fr)																						
Petgat A Droogval		1	1	1	1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	16	
Petgat B Referentie		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	18	
Rottige Meente (Fr)																						
Buiten compartiment	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2		1	1	1	21	
Droogval compartiment		1	2	1				1	2	1	1	1		1	2		1	1	1	16		
Referentie compartiment			2	1	1	1		1	2	1	1	1		1	2		1	1	1	17		
Lalleweer (Gr)			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1	1	16		
Totaal																					114	

Van de zeven meetpunten werden in totaal 114 monsters geanalyseerd (0). De monsters bestaan 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 voor analyse.

Voor een uitvoerige beschrijving van de methode die voor de fytoplanktonanalyse werd gehanteerd wordt verwezen naar Westendorp (red.) et al., 2012.

4.2.3 VEGETATIE

Op de onderzoekslocaties werden vegetatieopnames conform Tansley (te voet in raaien, of met behulp van een satakroon) gemaakt.

4.2.4 MACROFAUNA

Macrofauna werd in het voorjaar van 2013 bemonsterd. De bemonstering vond plaats met een standaard macrofauna-schepnet dat schoksgewijs en sprongsgewijs door de vegetatie en over de waterbodem werd voortbewogen. Afhankelijk van de breedte van het net, 25 of 30 cm, werd 5 of 6 m vegetatie en bodem 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. Monsters werden 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 als intact dier met behulp van een zoom-stereomicroscoop (8-100 ×) of als preparaat onder een sterk vergrotende microscoop (40-400x) zoveel mogelijk tot op soort gedetermineerd.

5

RESULTATEN EN DISCUSSIE

5.1 EFFECTEN OP WATER- EN BODEMCEMIE

Uit de resultaten tot en met 2012 (Westendorp (red.) *et al.*, 2012) bleek dat een aantal effecten en/of processen, als gevolg van de droogval, voor alle locaties relevant was. Tijdens de droogval kunnen dit zijn:

- 1 Zuurstofindringing in de bodem. Bij voldoende uitdroging stijgt de redoxpotential in de bodem. In de bodem reageert zuurstof met verschillende verbindingen (oxidatie);
- 2 Verzuring. Door oxidatie van ijzerzwavelverbindingen (FeS_x , pyriet) treedt verzuring op. Dit wordt duidelijk door een pH-daling, die gepaard gaat met een stijging van de concentratie sulfaat in het poriewater. De ijzerconcentratie stijgt ook, maar omdat ijzer verder oxideert tot slecht oplosbare verbindingen, is dit vaak slechtst tijdelijk meetbaar;
- 3 Binding van fosfaat. Aan de ijzeroxides en ijzerhydroxides die ontstaan na oxidatie van ijzerzwavelverbindingen, kan fosfaat gebonden worden. Dit blijkt dan uit een daling van de fosfaatconcentratie in het poriewater;
- 4 Zuurbuffering. De meeste watersystemen in Nederland zijn kalkrijk en beschikken daardoor over een goede buffercapaciteit. Dit betekent dat bij verzuring calcium- en magnesiumcarbonaten worden opgelost (denk aan ontkalken), waarbij het zuur geneutraliseerd wordt. Als dit proces optreedt, dan wordt dit teruggemeten door een stijging van de pH, calciumconcentratie en/of een daling van de bicarbonaatconcentratie;
- 5 Verdringing van ionen van het bodem- of adsorptiecomplex. Zuurbuffering vindt niet alleen plaats door reactie met carbonaten. Zuur (H^+) kan ook reageren met bodemdeeltjes waaraan positief geladen ionen gebonden zijn zoals calcium (Ca^{2+}), ammonium (NH_4^+) of natrium (Na^+). Als dit gebeurt, verdringen de waterstofionen (H^+) deze andere ionen. Hierdoor kan bij verzuring ook een stijging van positief geladen ionen worden waargenomen;
- 5 Verandering van stikstofverbindingen. In de stikstofkringloop treden verschillende processen op waarbij stikstofverbindingen afwisselend in zowel organische als in anorganische aanwezig zijn. Anorganisch stikstof betreffen bijvoorbeeld elementair of zuiver stikstof (N_2), nitraat (NO_3^-) en nitriet (NO_2^-). Vanuit deze stikstofvormen kunnen organismen (micro-organismen, planten en dieren) bijvoorbeeld eiwitten maken. Als deze verbindingen worden afgebroken kunnen weer anorganische stikstofverbindingen ontstaan. Deze omzettingen vinden voor een belangrijk deel plaats door micro-organismen (bacteriën en schimmels). In oppervlaktewater komt stikstof vooral als ammonium en nitraat voor. Bij droogval treedt oxidatie (afbraak) van ammonium op (nitrificatie). Zogenaamde nitrificerende bacteriën zetten hierbij ammonium (NH_4^+) om in nitraat (NO_3^-). Uit de metingen blijkt dit uit een daling van de ammonium- en stijging van de nitraatconcentratie. Nitrificatie kan alleen plaatsvinden onder zuurstofrijkere omstandigheden. Het nitraat wordt op haar beurt weer omgezet in anorganisch stikstofgas (N_2). Deze denitrificatie vindt alleen plaats onder zuurstofarme omstandigheden; bij droogval alleen dieper in de waterbodem. Het stikstofgas ontstijgt de waterbodem en wordt onderdeel van de lucht of atmosfeer (70% atmosferisch stikstofgas). Omdat nitrificatie en denitrificatie continu verloopende processen of fluxen zijn is niet aan de concentraties af te lezen in welke mate deze processen plaatsvinden.

Na de droogvalperiode kunnen dit zijn:

- 1 Zuurstofloosheid en alkalisering. In een waterbodem vinden continu afbraakprocessen plaats. Bij deze afbraakprocessen worden zuurstof (en daarna andere elektronenacceptoren) verbruikt. Na droogval is de aanvoer van zuurstof maar beperkt, omdat zuurstof door water veel slechter getransporteerd wordt dan door de lucht. De afname van zuurstof kan direct gemeten worden of indirect worden afgeleid door een daling van de redoxpotentiaal. Zodra de zuurstof op is, worden andere verbindingen of ionen gebruikt bij de afbraak (anaerobe afbraak). Bij oxidatieprocessen worden zuren geproduceerd, terwijl bij anaerobe afbraak bicarbonaat (HCO_3^-) wordt gevormd;
- 2 Mobilisatie van fosfaat. IJzerfosfaat-verbindingen zijn gevoelig voor schommelingen in de redoxpotentiaal. Na de droogval kunnen ijzeroxiden en ijzerhydroxiden gebruikt worden bij afbraakprocessen. Hierbij wordt driewaardig ijzer (Fe^{3+}) gereduceerd tot tweewaardig ijzer (Fe^{2+}). Als dit proces plaatsvindt, kunnen zowel de ijzer- als fosforconcentratie in het poriewater en oppervlaktewater stijgen. Het ijzer kan echter ook snel weer dalen als dit reageert met sulfide, waarbij moeilijk oplosbare ijzerzwavelverbindingen (FeS_x) ontstaan, terwijl fosfaat dan in oplossing blijft;
- 3 Zwavelreductie. Sulfaat kan na droogval weer worden omgezet in sulfide (S^{2-}) of sulfideverbindingen (HS^- , H_2S). Als dit proces speelt dan is dit terug te meten als een daling van de sulfaatconcentratie en stijging van sulfideverbindingen. Echter, indien sulfide aan ijzer bindt en neerslaat wordt geen sulfide gemeten. Indien veel sulfide geproduceerd wordt ten opzichte van ijzer, dan kan ook een afname van gereduceerd ijzer worden gemeten;
- 4 Veranderingen in de stikstofhuishouding (zie hierboven).

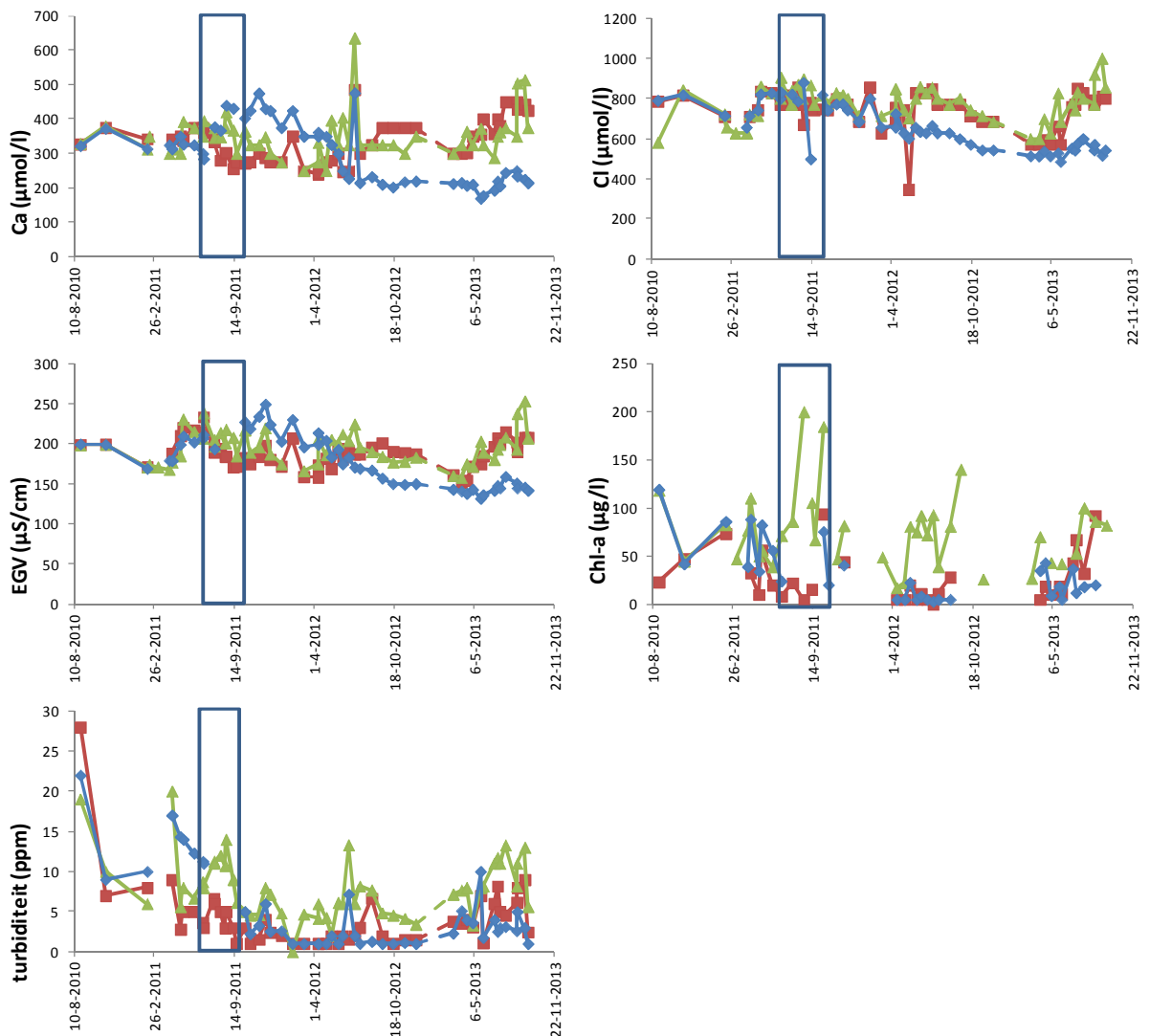
5.1.1 ROTTIGE MEENTE

ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN, VERZURING EN BUFFERING

Na de droogvalperiode werden in 2012 verschillende effecten op de waterkwaliteit waargenomen. Gedurende de droogvalperiode werd sulfaat gemobiliseerd, daalde de pH (met name in de oevers), werd fosfaat in de waterbodem gebonden en nam het doorzicht sterk toe. Deze effecten werden enerzijds door droogval veroorzaakt, anderzijds ook door isolatie veroorzaakt of versterkt. Door isolatie was bijvoorbeeld minder sprake van opwerveling van bodemdeeltjes door windwerking en bioturbatie door vis. Daarnaast werd in het droogvalcompartiment na de droogvalperiode niet actief water ingelaten, waardoor de watersamenstelling voor een belangrijk deel uit neerslag bestond. Na de droogvalperiode was sprake van een verbetering van de waterkwaliteit ten opzichte van zowel de referentie binnen het compartiment als het oppervlaktewater buiten het compartiment.

De invloed van isolatie en de hierdoor toegenomen invloed van neerslagwater bleek bijvoorbeeld uit de concentraties bicarbonaat (HCO_3^-), calcium (Ca), chloride (Cl) en het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) die in het droogvalcompartiment sterk afnamen in 2012 (figuur 5.1.). In 2013 bleven deze waarden, met uitzondering van de bicarbonaatconcentratie, lager dan in beide referenties.

FIGUUR 5.1 CONCENTRATIES VAN CALCIUM, CHLORIDE, ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV), CHLOROFYL-A EN DE TURBIDITEIT IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN DE ROTTIGE MEENTE IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT, HET REFERENTIECOMPARTIMENT EN DE REFERENTIE BUITEN HET COMPARTIMENT. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



Als gevolg van de oxidatie van zwavelverbindingen (o.a. FeS) nam de sulfaatconcentratie van het oppervlaktewater na de droogvalperiode sterk toe (figuur 5.2.). In mei 2012 bereikte de sulfaatconcentratie met meer dan 300 $\mu\text{mol/l}$ (circa 30 mg/l) de hoogste waarde. Buiten het compartiment was de sulfaatconcentratie op dat moment slechts 170 $\mu\text{mol/l}$ (circa 17 mg/l). In 2013 namen de sulfaatconcentraties door reductie steeds verder af en bereikten ongeveer dezelfde waarden als voor de droogval. Sulfaatreductie gaat gepaard met de vorming van bicarbonaat.

DOORZICHT

Aan het begin van het experiment nam het doorzicht in het kleine referentiecompartiment al direct sterk toe door de verminderde windwerking (figuur 5.1. en 5.3.). Omdat het droogvalcompartiment groter was, werd dit effect hier niet waargenomen. Na de droogvalperiode nam het doorzicht in het droogvalcompartiment echter wel sterk toe en ontstond er bodemzicht. In beide referenties - binnen en buiten het compartiment - was dit in het grootste deel van 2012 en in 2013 echter niet het geval. De variatie in het doorzicht in figuur 5.1. wordt niet veroorzaakt door een verschil in helderheid, maar door een verschil in waterdiepte. In

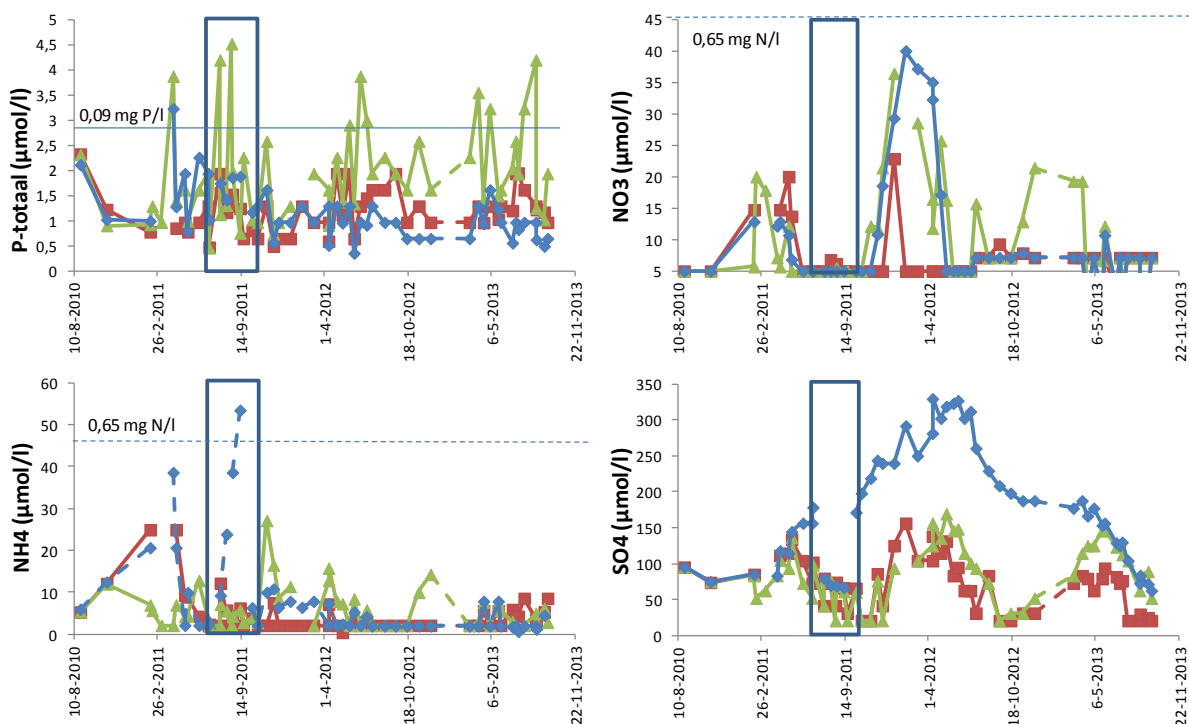
het droogvalcompartiment bestond de gehele periode bodemzicht. Het doorzicht wordt in belangrijke mate bepaald door zwevend stof (gesuspendeerde deeltjes) en algen (gemeten als chlorofyl-a). Beide waren niet alleen in 2012, maar ook in 2013 veel lager dan in beide referenties (figuur 5.1). De chlorofylconcentratie in 2013 was gemiddeld 17 $\mu\text{g/l}$ tegen 36 $\mu\text{g/l}$ in het referentiecompartiment en 66 $\mu\text{g/l}$ in het petgat ernaast (gegevens Wetterskip).

NUTRIËNTEN

De fosforconcentratie van het oppervlaktewater werd na de droogvalperiode lager in het droogvalcompartiment dan in het referentiecompartiment en buiten de compartimenten (figuur 5.2.). De concentratie bleef ook gedurende 2013 veel lager. De gemiddelde fosforconcentratie was met ongeveer 0,78 $\mu\text{mol/l}$ of 0,02 mg P/l slechts de helft van de gemiddelde concentratie in de referentie buiten het compartiment (1,53 $\mu\text{mol/l}$ of 0,05 mg P/l) (gegevens B-ware).

In de figuren 5.2., 5.6. en 5.11 zijn voor de nutriënten fosfor (P) en stikstof (N) blauwe lijnen weergegeven. Voor fosfor (P) is dit de maximale concentratie van de Goede Ecologische Toestand (GET) van het betreffende KRW-type (M27 voor De Deelen en de Rottige Meente, M11 voor Lalleweer). Voor stikstof (N) is niet de maximale concentratie van 1,3 mg N/L weergegeven maar, rekening houdend met de schaal, de halve maximale concentratie van 0,65 mg N/L.

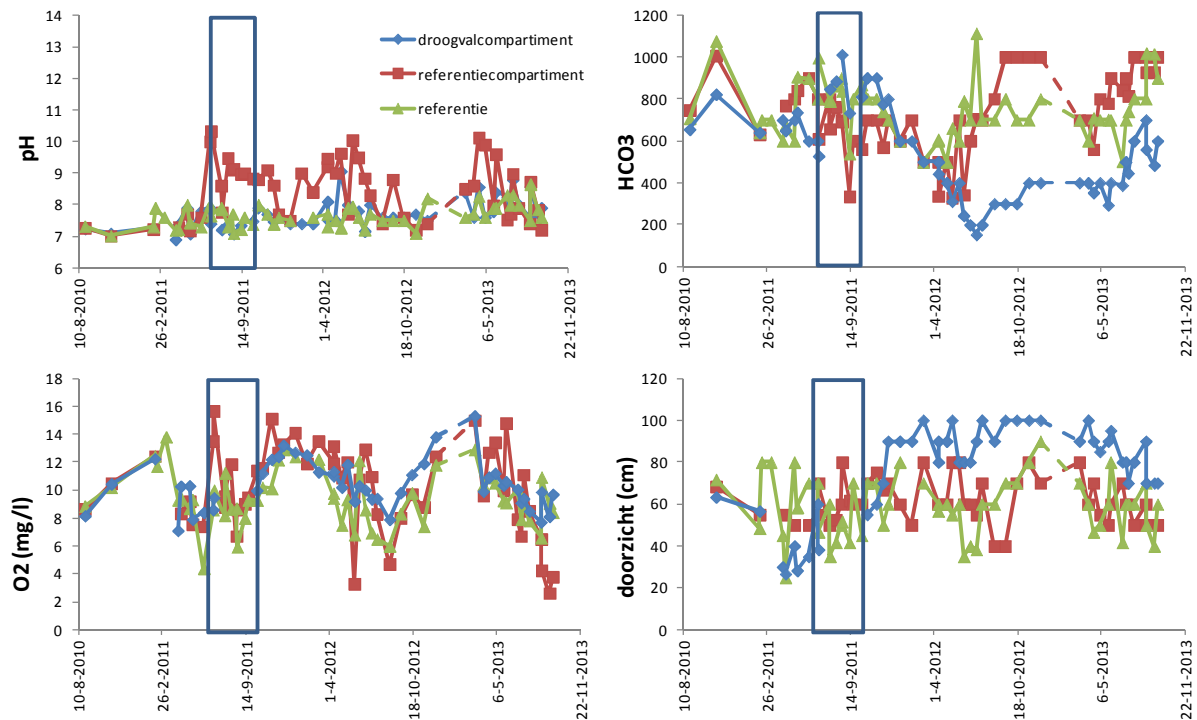
FIGUUR 5.2 HET VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE FOSFOR (P)-TOTAAL, NITRAAT (NO_3^-), AMMONIUM (NH_4^+) EN SULFAAT (SO_4^{2-}) IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN DE ROTTIGE MEENTE IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT, HET REFERENTIECOMPARTIMENT EN DE REFERENTIE BUITEN HET COMPARTIMENT. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN. DE BLAUWE LIJNEN VOOR P EN N GEVEN RESPECTIEVELIJK DE GET-WAARDE EN HALVE GET WAARDE AAN (ZIE TEKST)



In de winter van 2012 werden in zowel het droogvalcompartiment als de referenties nitraatpieken (NO_3^-) gemeten (figuur 5.2.). Dit is een bekend verschijnsel in watersystemen dat wordt veroorzaakt door de lagere activiteit van nitrificerende en denitrificerende bacteriën in de doorgaans koude winterperiode. De nitraatpiek in het droogvalcompartiment was in de winter van 2011-2012 zelfs het hoogst, door oxidatie van bij de droogval vrijgekomen ammonium (NH_4^+). In de winter van 2012-2013 kwam in beide compartimenten (met en zonder droogval)

geen nitraatpiek meer voor. De ammoniumconcentratie in het oppervlaktewater was in 2013 zo laag dat deze bijna altijd onder de detectielimiet ($7 \mu\text{mol/l}$) uitkwam. Buiten de compartimenten trad wel nog een kleine nitraatpiek op en was ook de ammoniumconcentratie hoger.

FIGUUR 5.3 VERLOOP VAN PH, BICARBONAAT, ZUURSTOF EN DOORZICHT IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN DE ROTTIGE MEENTE IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT, HET REFERENTIECOMPARTIMENT EN DE REFERENTIE BUITEN HET COMPARTIMENT. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



PORIEWATER

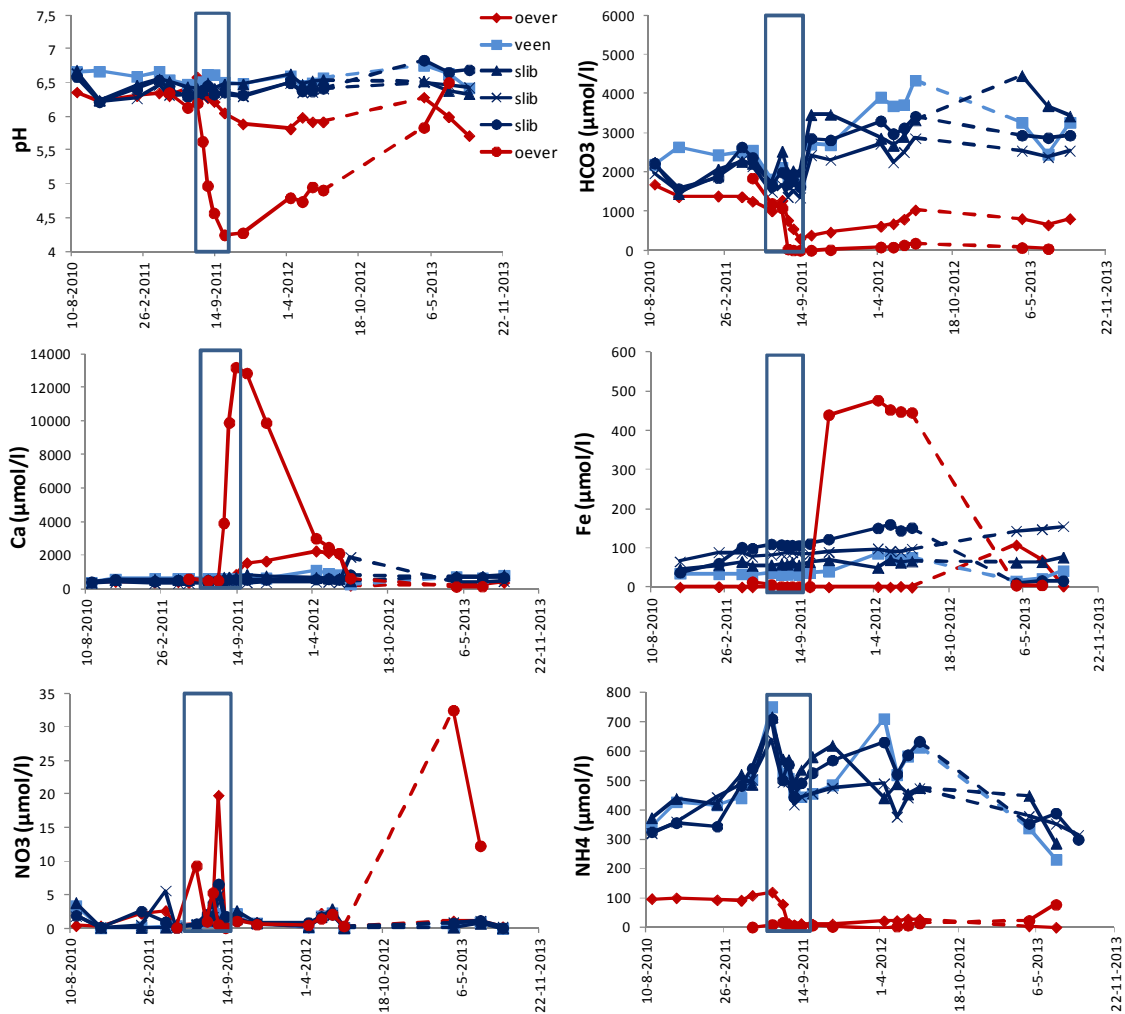
In een watersysteem treedt interactie op tussen processen en stoffen in oppervlaktewater, bodem en poriewater; het vocht tussen de bodemdeeltjes. Uit de samenstelling van het poriewater kan tot op zekere hoogte worden afgeleid welke processen en interacties er plaatsvinden.

Tijdens de droogvalperiode droogde de venige oever sterk uit waardoor oxidatie van ijzersulfiden (FeS_x) optrad. Hierbij trad als gevolg van de vorming van zwavelzuur ($4 \text{FeS}_2 + 15 \text{O}_2 + 10 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{FeOOH} + 16 \text{H}^+ + 8 \text{SO}_4^{2-}$) tijdelijk sterke verzuring op (figuur 5.4.). Op één van de twee monsterpunten daalde de zuurgraad zelfs beneden pH 4,5. In goed gebufferde (kalkrijke) bodems wordt de zuurvorming vooral door bicarbonaat geneutraliseerd. In 2013 werden dezelfde pH waarden in de oever gemeten als voor de droogvalperiode.

De fosforconcentraties (P) in het poriewater van de oever namen na de droogval sterk af doordat ijzer geoxideerd werd en fosfaat sterker werd gebonden (figuur 5.4. en 5.5.). Dit effect hield ook in 2013 nog aan. In het droogvalcompartment was de fosforconcentratie van de waterbodem aan het eind van de meetperiode echter wel lager ($5 \mu\text{mol/l}$, $0,15 \text{ mg P/l}$) dan in het referentiecompartment ($27 \mu\text{mol/l}$, $0,84 \text{ mg P/l}$) en in het petgat zelf ($28 \mu\text{mol/l}$, $0,88 \text{ mg P/l}$).

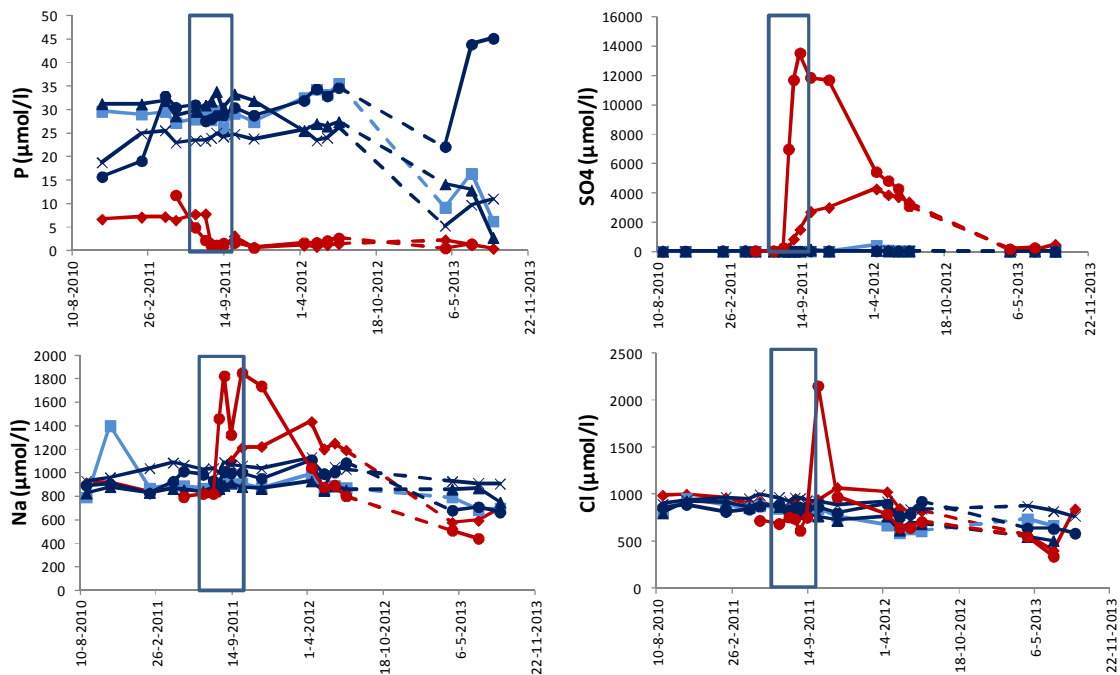
In de stikstofkringloop komt ammonium vrij bij afbraakprocessen en wordt door nitrificerende bacteriën onder zuurstofrijke (aerobe) omstandigheden omgezet in nitraat. Het nitraat dringt de waterbodem in en wordt vervolgens onder zuurstofarme (anaerobe) omstandigheden gereduceerd tot stikstofgas (N_2). Hierdoor is de ammoniumconcentratie in de waterlaag vaak lager, dan de nitraatconcentratie en geldt voor het poriewater juist het omgekeerde.

FIGUUR 5.4 VERLOOP VAN PH, CONCENTRATIE VAN BICARBONAAT, CALCIUM, IJZER, NITRAAT EN AMMONIUM VAN HET PORIEWATER IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT, IN DE ROTTIGE MEENTE. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE WEER



De ammoniumconcentratie was hoog in het poriewater van de waterbodem en bleef dat ook gedurende het experiment (figuur 5.4.). Hieruit blijkt dat de zuurstofindringing in de waterbodem gedurende de droogval maar beperkt is geweest. In het poriewater van de oever was de ammoniumconcentratie veel lager en werd het ammonium tijdens de droogval geoxideerd tot nitraat. Na de droogvalperiode tot in 2013 bleef de ammoniumconcentratie in de oever fors lager, dan in de waterbodem.

FIGUUR 5.5 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE P-TOTAAL, SULFAAT, NATRIUM EN CHLORIDE IN HET PORIEWATER VAN HET DROOGVALCOMPARTIMENT, IN DE ROTTIGE MEENTE. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE WEER



5.1.2 DE DEELLEN

EGV, VERZURING EN BUFFERING

In de Deelen werden tijdens en na de droogvalperiode verschillende effecten waargenomen. Evenals in de Rottige Meente droogde de venige waterbodem ook hier nauwelijks uit tijdens de droogvalperiode. Als gevolg van oxidatie van zwavelverbindingen (FeSx) op trad in de waterbodem dan ook geen verzuring op (figuur 5.6.). In de sterk uitgedroogde oevers gebeurde dit wel. De sulfaatconcentratie steeg sterk tijdens de droogvalperiode tot ongeveer 900 µmol/l (circa 90 mg/l), maar in 2013 was sprake van dezelfde concentraties als voor de droogval (circa 150 µmol/l). Als gevolg van de verzuring losten calciumcarbonaten op of werd calcium vrijgemaakt van het bodem- of adsorptiecomplex. Hierdoor steeg de concentratie calcium tijdens en kort na de droogval fors (figuur 5.7). In de periode tot en met 2013 daalde de concentratie calcium tot dezelfde waarden als voor de droogvalperiode.

DOORZICHT

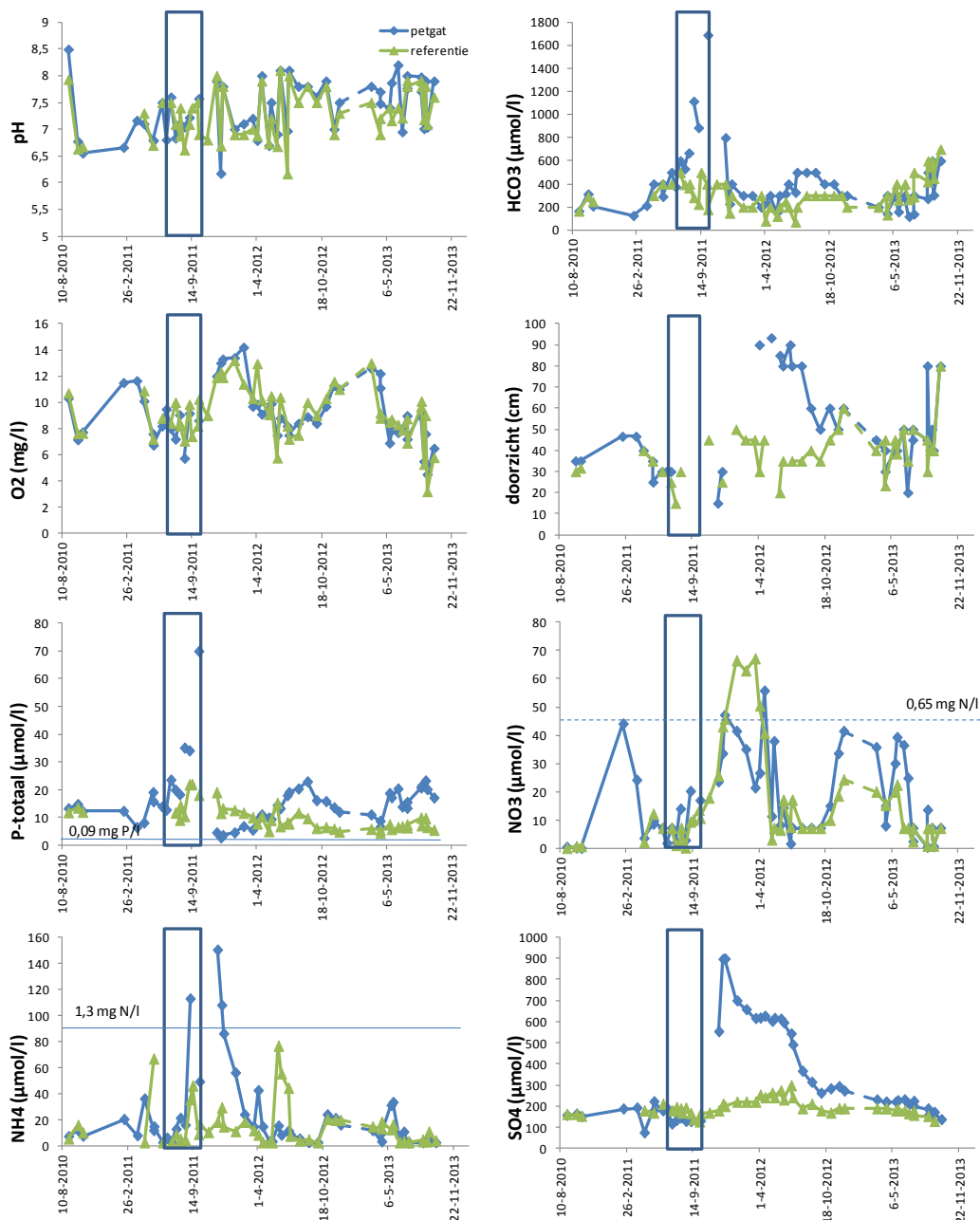
Ook in De Deelen nam het doorzicht in het jaar na de droogval sterk toe, tot ongeveer 90 cm (figuur 5.6). Hierdoor was op verschillende momenten sprake van bodemzicht. In het referentiepetgat was het doorzicht in 2012 met circa 40 cm beduidend lager. De verbetering van doorzicht ging gepaard met lage gehalten zwevend stof (turbiditeit) en lagere hoeveelheden algen (zie ook paragraaf 5.2.). Helaas bleek het doorzicht in 2013 te verslechteren en werd vergelijkbaar met de situatie voor de droogval en de referentie. Alleen aan het einde van de zomerperiode nam het doorzicht in beide petgaten toe. Opvallend was dat in dezelfde periode een duidelijk verschil optrad in het chlorofyl-a gehalte tussen de referentie (zeer hoog) en het petgat waar in 2011 droogval had plaatsgevonden (figuur 5.7).

NUTRIENTEN

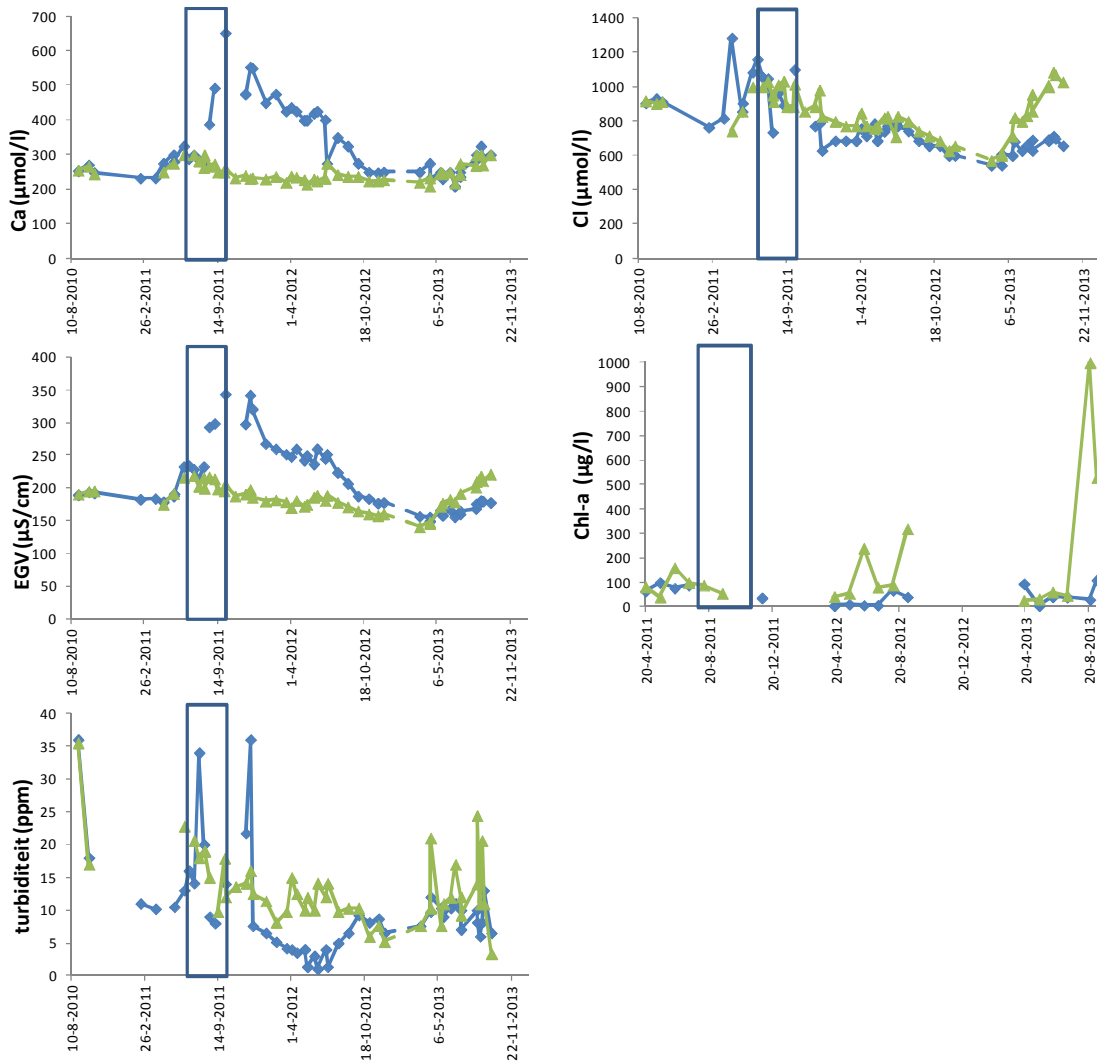
De droogval leidde aanvankelijk tot een forse daling van de fosforconcentratie (4,5 -7 $\mu\text{mol P/l}$, 0,14-0,22 mg P/l) (figuur 5.6.). In het referentiepetgat bleef de concentratie met 12 $\mu\text{mol P/l}$ (0,38 mg P/l) hoog. In 2012 en 2013 steeg de fosforconcentratie in het drooggevallen petgat echter weer en werden hogere concentraties bereikt (15-20 $\mu\text{mol P/l}$, circa 0,5 - 0,6 mg P/l) dan in de referentie.

In de winterperiode was er sprake van een nitraatpiek in het oppervlaktewater van beide petgaten. In de winter van 2012, volgend op de droogval, was de nitraatpiek in het drooggevallen petgat lager dan in het referentiepetgat. Echter, in de winter van 2012-2013 bleek deze piek fors hoger dan in het referentiepetgat.

FIGUUR 5.6 VERLOOP VAN DE PH, DE CONCENTRATIE BICARBONAAT, ZUURSTOF, DOORZICHT, P-TOTAAL, NITRAAT, AMMONIUM EN SULFAAT IN HET OPPERVLAKTEWATER IN HET DROOGVALPETGAT EN HET REFERENTIEPETGAT IN DE DEELLEN. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN. DE BLAUWE LIJNEN VOOR P EN N GEVEN RESPECTIEVELIJK DE GET-WAARDE EN HALVE GET WAARDE AAN (ZIE TEKST)



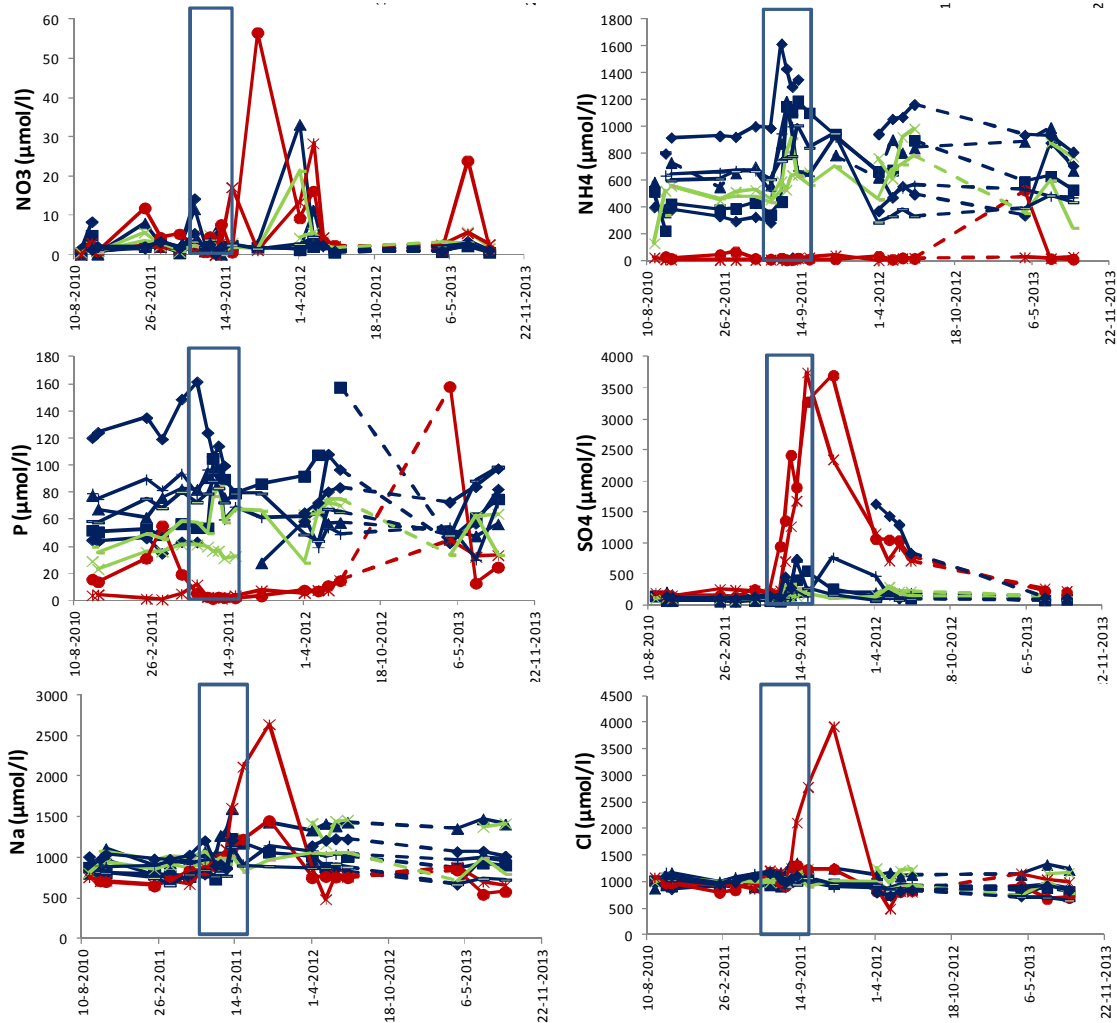
FIGUUR 5.7 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE CALCIUM, CHLORIDE, CHLOROFYL-A, HET ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV), CHLOROFYL-A EN DE TURBIDITEIT IN HET OPPERVLAKTEWATER IN HET DROOGVALPETGAT EN HET REFERENTIEPETGAT IN DE DEELN. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



PORIEWATER

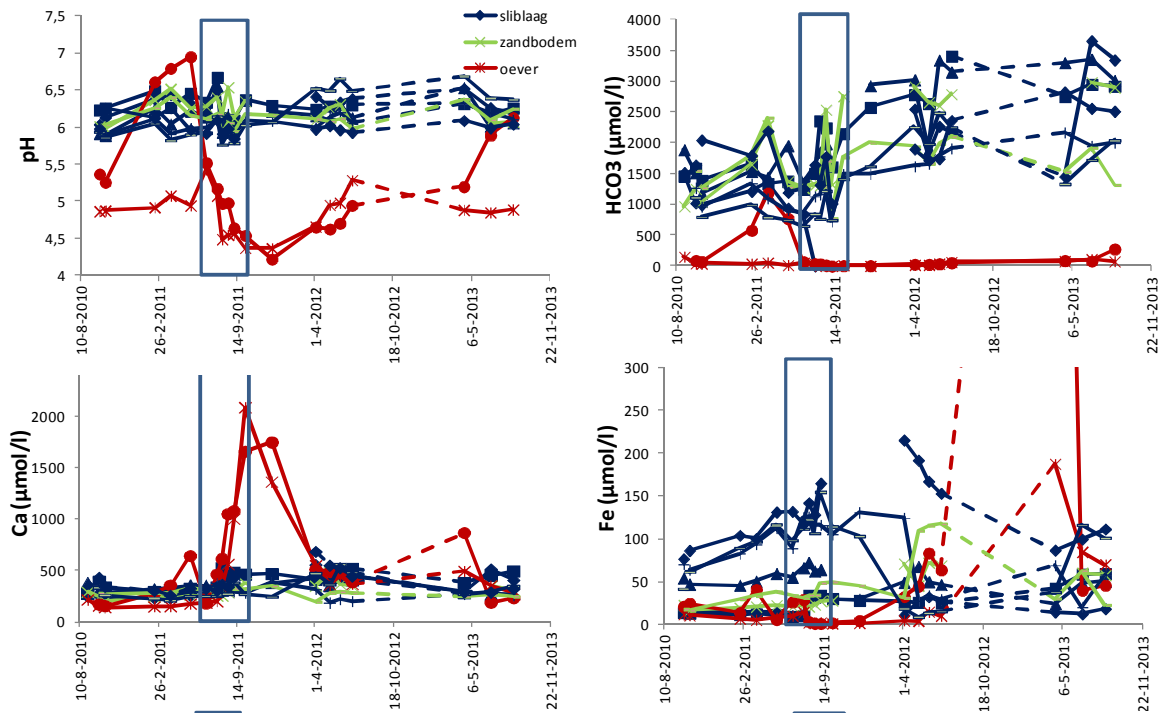
Aan het eind of net na de droogvalperiode ontstond een kleine nitraatpiek in het poriewater van de oever (figuur 5.8.). Deze verdween echter weer snel door uitspoeling. In de drooggevallen waterbodern ontstond iets later een nitraatpiek, na oxidatie van het ammonium dat tijdens de droogvalperiode was vrijgekomen. De fosforconcentratie in het poriewater van de waterbodern was voorafgaand aan de droogval hoog, op de meeste plekken tussen 40 en 80 µmol/l (1,2 – 2,5 mg P/l). Na de droogval was deze concentratie vergelijkbaar hoog. Op de plaatsen in de oever waar de concentratie ook hoog was, nam deze tijdens de droogvalperiode sterk af door vastlegging aan geoxideerd ijzer. Dit illustreert ook hier het belang van voldoende uitdroging van de bodern en de daarmee gepaard gaande zuurstofindringing in relatie tot de binding van fosfaat. Dat het hier gaat om een omkeerbaar proces bleek tijdens de natte periode van het voorjaar van 2013. Door vernatting wordt de zuurstofbeschikbaarheid kleiner en treed ijzerreductie op.

FIGUUR 5.8 VERLOOP VAN NITRAAT, AMMONIUM, P-TOTAAL, SULFAAT, NATRIUM EN CHLORIDE IN HET PORIEWATER IN HET DROOGVALPETGAT. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE A



Hierbij ontstaat goed oplosbaar tweewaardig ijzer (Fe^{2+}) dat in het poriewater teruggemeen wordt (figuur 5.9). Ook de fosfor- (P) en ammoniumconcentraties stegen in deze natte periode in het poriewater (figuur 5.8). Het fosfor komt vrij bij de reductie van de ijzerfosforverbinding, terwijl ammonium bij een lage zuurstofbeschikbaarheid nauwelijks wordt omgezet in nitraat. Later in het voorjaar werden de omstandigheden droger, waardoor ijzer en fosfaat weer werden vastgelegd en ammonium werd omgezet in nitraat, waardoor er korte tijd een verhoogde nitraatconcentratie ontstond.

FIGUUR 5.9 VERLOOP VAN PH EN DE CONCENTRATIE BICARBONAAT, CALCIUM EN IJZER IN HET PORIEWATER IN HET DROOGVALPETGAT. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



5.1.3 LALLEWEER

EGV, VERZURING EN BUFFERING

Tijdens de droogvalperiode viel het diepste deel van de plas niet droog. Het achtergebleven oppervlaktewater werd gedurende de droogvalperiode geconcentreerder door indamping. Tevens vond uitspoeling en aanvoer van stoffen als sulfaat vanuit de drooggevallen delen plaats.

Voorafgaand aan de droogvalperiode was de chlorideconcentratie in het oppervlaktewater ongeveer 1500 $\mu\text{mol/l}$ (circa 50 mg/l) (figuur 5.11). Tijdens de droogvalperiode steeg de chlorideconcentratie echter tot ongeveer 20.000 $\mu\text{mol/l}$ of 700 mg/l. De concentraties bicarbonaat, sulfaat en calcium namen gelijktijdig ook sterk toe (figuur 5.10 en 5.11). Na de droogval nam het watervolume in de kleiplas weer toe. Dit ging gepaard met een daling (verdunning) van de hiervoor genoemde concentraties stoffen. De chlorideconcentratie bleef echter nog steeds 80% hoger ten opzichte van de situatie voor droogval (2700 $\mu\text{mol/l}$ of 95 mg Cl/l). De sulfaatconcentratie daalde uiteindelijk wel wel tot dezelfde concentratie als voorafgaand aan de droogval. De daling is het gevolg van enerzijds het verdunningseffect, maar anderzijds ook van sulfaatreductie en vastlegging van zwavel in de bodem.

DOORZICHT

Veel kleiplassen hebben een zeer beperkt doorzicht door zeer fijne gesuspendeerde kleideeltjes. Ook in kleiplas Lalleweer was het doorzicht voorafgaand aan de droogval met 10-20 cm beperkt. De droogval zorgde voor vastlegging van slibdeeltjes en de kieming van helofyten en goudzuring die ervoor zorgden dat er na de droogvalperiode minder golfslag optrad. Hierdoor nam de turbiditeit van circa 20-60 ppm af tot zo'n 4-5 ppm. Het doorzicht nam hierdoor toe tot circa 50-80 cm, wat betekende dat er in een groot deel van de plas sprake was van

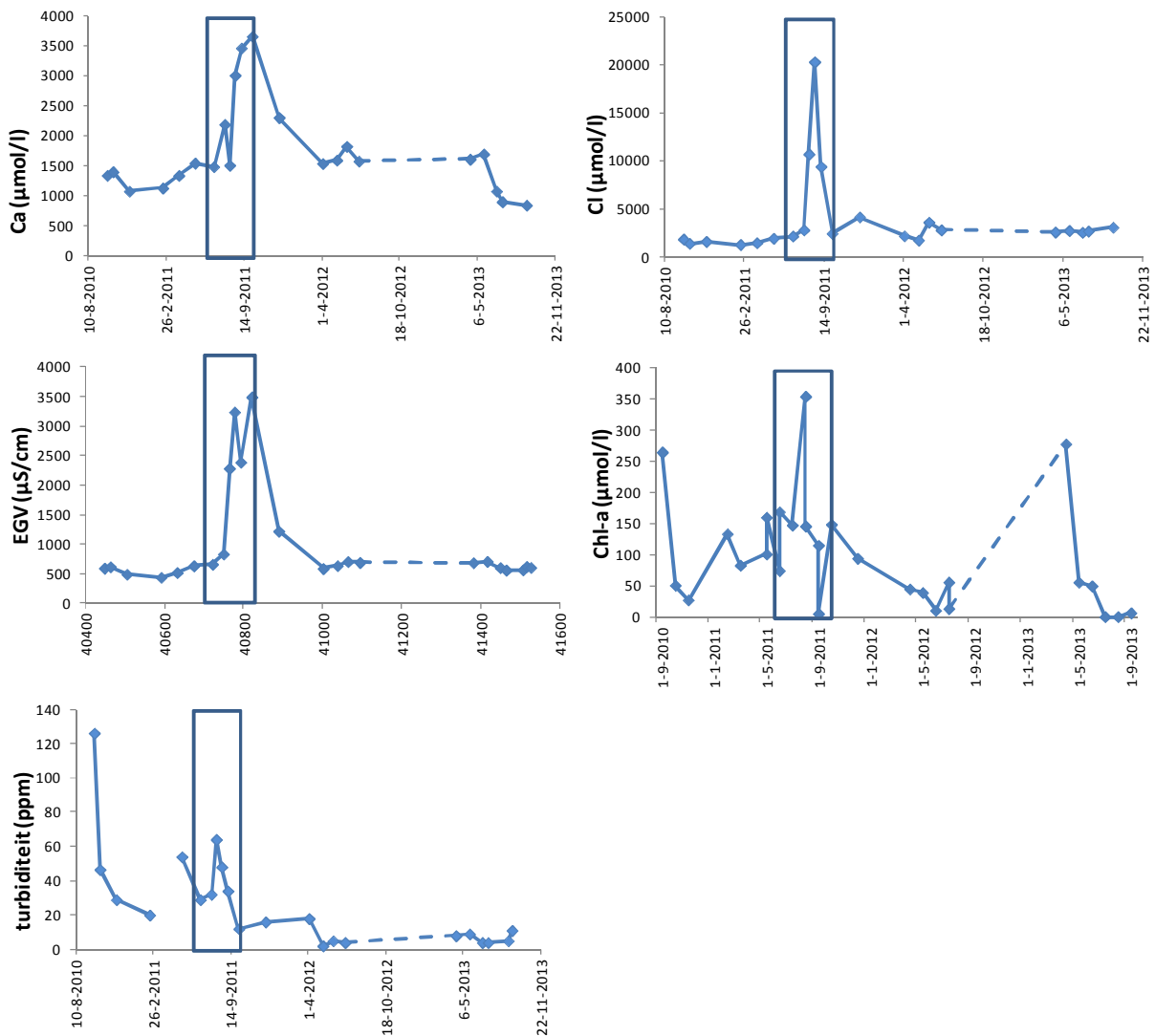
bodemzicht. Hiervan profiteerden ondergedoken waterplanten, die in het tweede jaar na de droogval dan ook massaal aanwezig waren (zie paragraaf 5.3).

Ondergedoken waterplanten zijn door fotosynthese en respiratie van grote invloed op de zuurstofhuishouding en zuurgraad (pH) van oppervlaktewateren. Beide kunnen grote fluctuaties laten zien gedurende een periode van 24 uur. In Lalleweer werden in 2013 zowel hoge als normale pH waarden gemeten en zowel zeer hoge als zeer lage zuurstofgehalten (figuur 5.10). In september was de afbraak van planten en algenresten waarschijnlijk zo dominant dat het zuurstofgehalte daalde tot 3 mg O₂/l.

NUTRIËNTEN

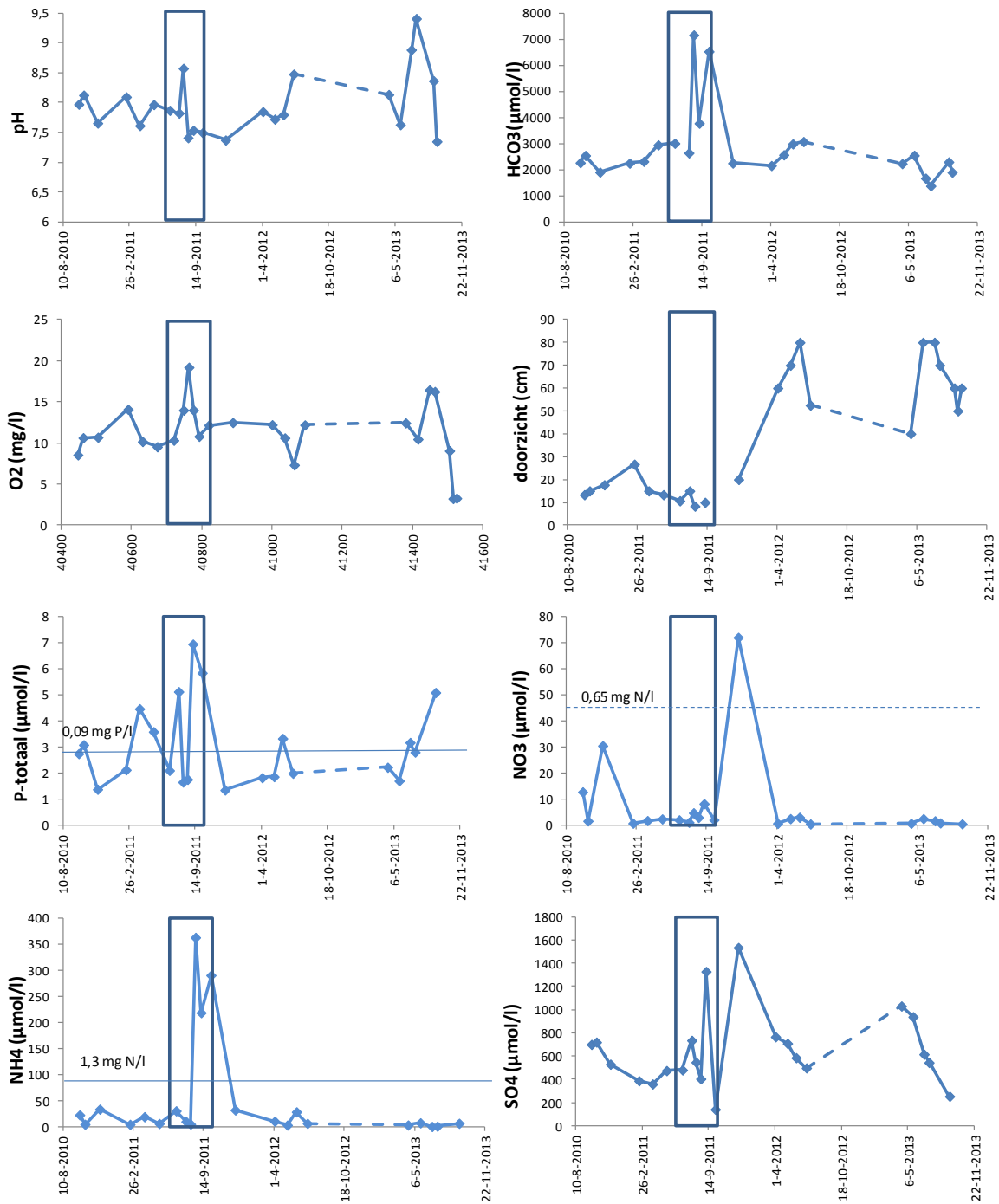
De fosforconcentratie in het oppervlaktewater schommelde voorafgaand aan de droogval rond de 3 µmol/l (circa 0,1 mg/l). In het eerste jaar na de droogval leek de P-concentratie iets lager te zijn, maar aan het eind van de meetperiode lag de concentratie op ongeveer hetzelfde niveau (figuur 5.11). Hierbij was sprake van twee verschillende toestanden: voor de droogval was de plas troebel en plantenarm en na de droogvalperiode helder en plantenrijk.

FIGUUR 5.10 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE CALCIUM, CHLORIDE, ELEKTRISCH GELEIDINGSVERMOGEN (EGV) EN CHLOROFYL-A, EN DE TURBIDITEIT IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



Tijdens de droogvalperiode werden hoge ammoniumconcentraties in het achtergebleven oppervlaktewater gemeten (figuur 5.11). Het ammonium was vooral afkomstig van het adsorptiecomplex van de bodem. De hoge beschikbaarheid van ammonium leidde in het najaar van 2011 tot een hoge nitraatpiek. In het najaar voorafgaand aan de droogval was ook sprake geweest van een nitraatpiek, maar deze was beduidend lager dan in 2011. In 2013 was sprake van zeer lage nitraat- en ammoniumconcentraties in het oppervlaktewater. Omdat er geen metingen beschikbaar zijn van het najaar van 2012 en 2013 is het niet te zeggen of er nog steeds sprake is van een nitraatpiek in de winter.

FIGUUR 5.11 VERLOOP VAN PH, CONCENTRATIE BICARBONAAT, ZUURSTOF, DOORZICHT, P-TOTAAL, NITRAAT, AMMONIUM EN SULFAAT IN HET OPPERVLAKTEWATER VAN DE KLEIPLAS LALLEWEER. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN. DE BLAUWE LIJNEN VOOR P EN N GEVEN RESPECTIEVELIJK DE GET-WAARDE EN HALVE GET WAARDE AAN (ZIE TEKST)



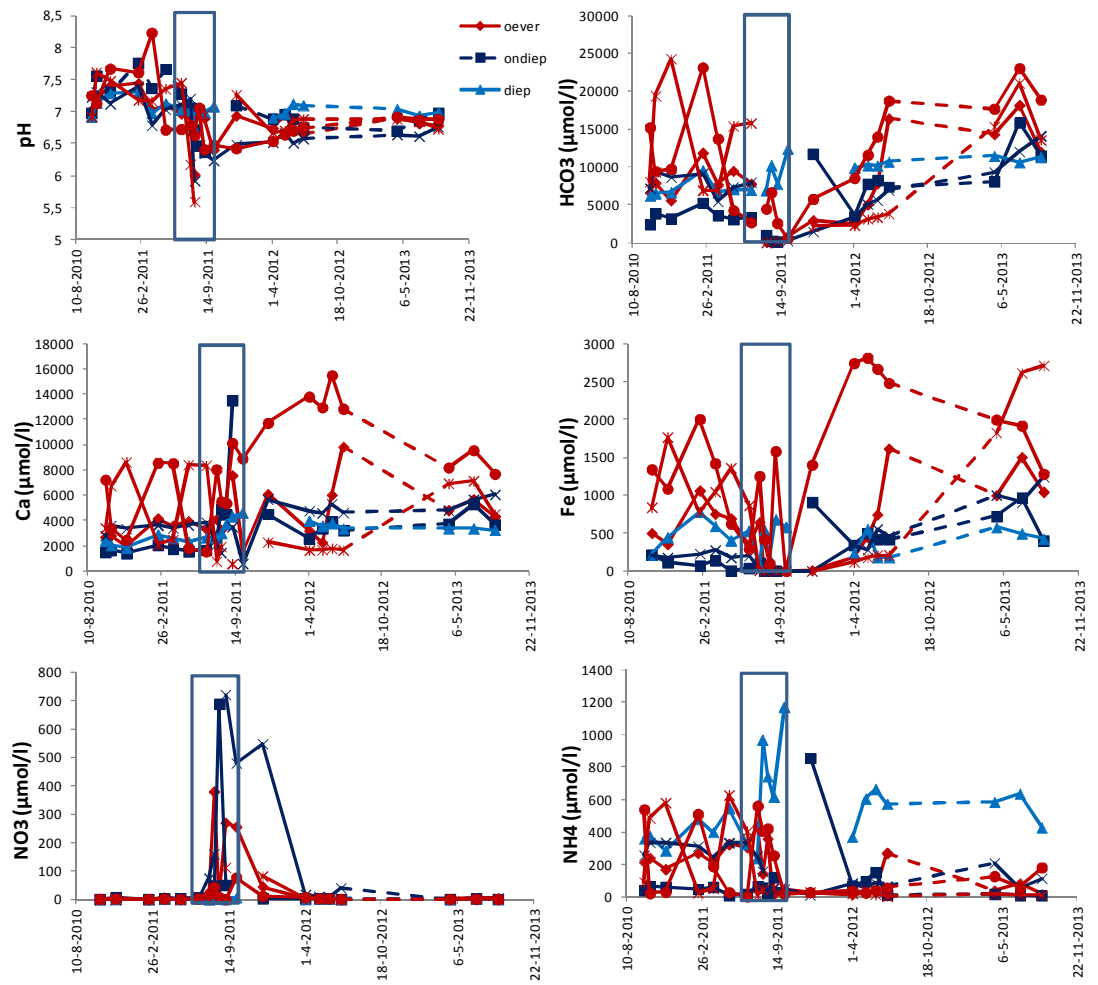
PORIEWATER

Tijdens de droogvalperiode traden oxidatieprocessen op waarbij zuur vrijkwam (figuur 5.12). Ondanks de goed gebufferde omstandigheden werd tijdens de droogval een pH daling tot een waarde van 5,5 gemeten. Bij onderzoek aan de toplaag van het sediment werden zelfs nog lagere waarden gemeten (Westendorp (red), 2012). De hoge bicarbonaatconcentratie in het poriewater zorgde voor voldoende buffering van het vrijgekomen zuur. Hierdoor nam de bicarbonaatconcentratie tijdens de droogval met ongeveer een factor 10 af. Na afloop van de droogval kwamen er weer reductieprocessen op gang, waarbij bicarbonaat gevormd werd. In het tweede jaar na droogval waren zowel de bicarbonaatconcentratie als de pH van het poriewater weer vergelijkbaar met de situatie voor de droogvalperiode.

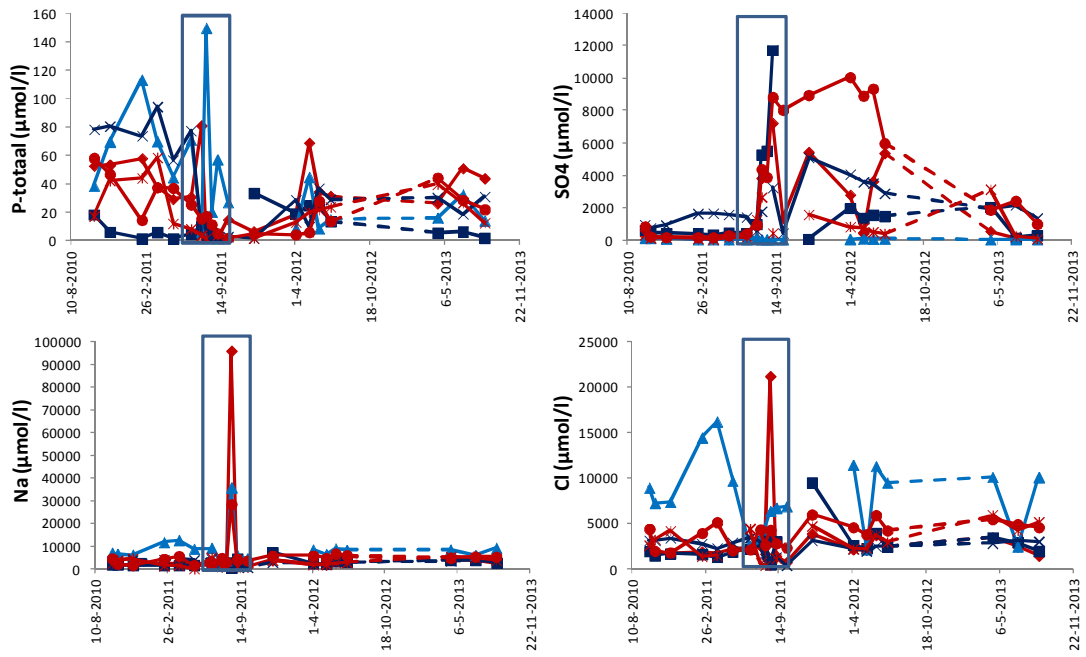
Tijdens de droogvalperiode werden ijzerzwavelverbindingen (FeS_x) geoxideerd. Hierbij ontstonden eerst sulfaat en gereduceerd (oplosbaar) ijzer (Fe^{2+}). Daarna oxideerde het ijzer tot Fe^{3+} waardoor het – al dan niet met fosfor - neersloeg en niet meer teruggemeten werd in het poriewater (figuur 5.12). De ijzerconcentratie in het poriewater vertoonde hierdoor tijdens de droogvalperiode dan ook een kenmerkend verloop van ‘laag-hoger-lager’, waarbij een duidelijke relatie bestaat met de redoxpotentiaal; een maat voor de aanwezigheid van zuurstof.

Na afloop van de droogvalperiode vond reductie plaats van ijzer, en gedeeltelijk ook van sulfaat (figuur 5.13). Met name in het ondiepe water en op een aantal plaatsen op de oever was er in het poriewater beduidend meer ijzer in oplossing dan voorafgaand aan de droogval. Uit het verloop van de sulfaatconcentratie bleek tevens dat nog niet alle sulfaat in sulfides was omgezet. Hierdoor was nog relatief veel ijzer als ijzer(hydr)oxide. Dit is gunstig voor de vastlegging van fosfaat. Hierdoor waren de fosfaatconcentraties ook twee jaar na de droogval nog steeds lager was dan voor de droogval (figuur 5.13).

FIGUUR 5.12 VERLOOP VAN PH EN CONCENTRATIE BICARBONAAT, CALCIUM, IJZER, NITRAAT, AMMONIUM IN HET PORIEWATER VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



FIGUUR 5.13 VERLOOP VAN DE CONCENTRATIE P-TOTAAL, SULFAAT, NATRIUM EN CHLORIDE IN HET PORIEWATER VAN DE PLAS BIJ LALLEWEER. HET BLAUWE KADER GEEFT DE DROOGVALPERIODE AAN



5.2 EFFECTEN OP FYTOPLANKTON

Op alle locaties waar in de zomer van 2011 tijdelijke droogval plaatsvond, was de hoeveelheid fytoplankton na de droogval sterk afgenomen. In de referenties waar geen droogval plaatsvond was geen sprake van een afname. In 2013 was sprake van enig herstel. Daarnaast werd al eerder waargenomen dat droogval tot veranderingen in de soortensamenstelling leidde (Westendorp (red.) et al., 2012). Droogval leidde in het eerste jaar na droogval tot een afname van het aantal taxa. In het tweede jaar na droogval trad echter herstel van de diversiteit op. Hierbij kon sprake zijn van dezelfde, maar ook van nieuw gevestigde soorten.

5.2.1 ROTTIGE MEENTE

ABUNDANTIE

De hoeveelheid fytoplankton of abundantie kan worden uitgedrukt in een biovolume in mm^3/l . In het droogvalcompartiment in de Rottige Meente was na de droogval sprake van een zeer sterke afname van de hoeveelheid fytoplankton (0). Eind mei 2011 werd een biovolume van $61 \text{ mm}^3/\text{l}$ gemeten terwijl na de droogval in mei 2012 slechts $0,4 \text{ mm}^3/\text{l}$ werd gemeten. In het tweede jaar na de droogval steeg de hoeveelheid fytoplankton beperkt tot $1,2 \text{ mm}^3/\text{l}$ aan het einde van de meetperiode. In de referentie buiten het compartiment traden geen duidelijke verschillen op, behalve twee algenbloeien in 2011 en 2012, veroorzaakt door de slijmalg *Gonyostomum semen*. In het referentiecompartiment was de hoeveelheid fytoplankton in 2011 en 2012 naar verhouding bijzonder laag. Dit werd veroorzaakt door waterpest (*Elodea nutalli*) dat kort na het plaatsen van het compartiment massaal tot ontwikkeling kwam. In 2013 nam de hoeveelheid fytoplankton weer toe. Gelijktijdig werd een afname van de hoeveelheid ondergedoken waterplanten in het referentiecompartiment waargenomen.

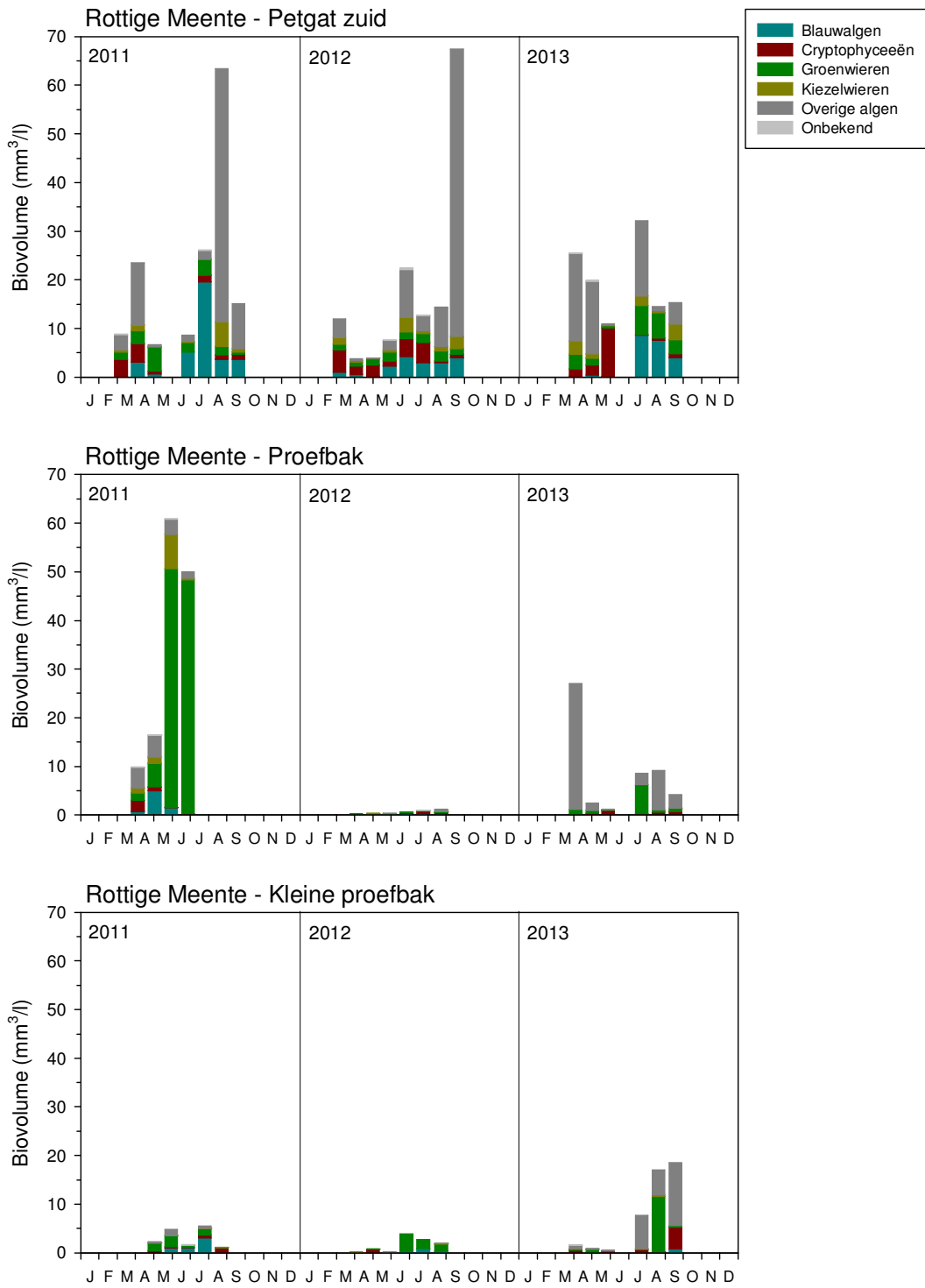
In 2011, voor de droogvalperiode, hebben groenalgen het grootste aandeel in het droogvalcompartiment. In 2012 zijn dit cryptophyceën (een kleine algensoort met zweefharen uit de flagellatenklasse). Alleen in april 2012 domineren groenalgen nog, maar daarbij zijn andere soorten betrokken dan voor de droogvalperiode. In in het tweede jaar na droogval overheerst de goudalg *Uroglena* in het voorjaar en domineren dinoflagellaten in het najaar. In het referentiecompartiment domineren afwisselend blauwalgen, groenalgen en cryptophyceën. In de zomer van 2011 waren meer blauwalgen aanwezig, in 2012 wat meer groenalgen. In 2013 vond een stijging van de hoeveelheid fytoplankton plaats door eerst een toename van de slijmalg *Gonyostomum semen* gevolgd door een toename van de sialg *Closterium tumidulum*.

DIVERSITEIT

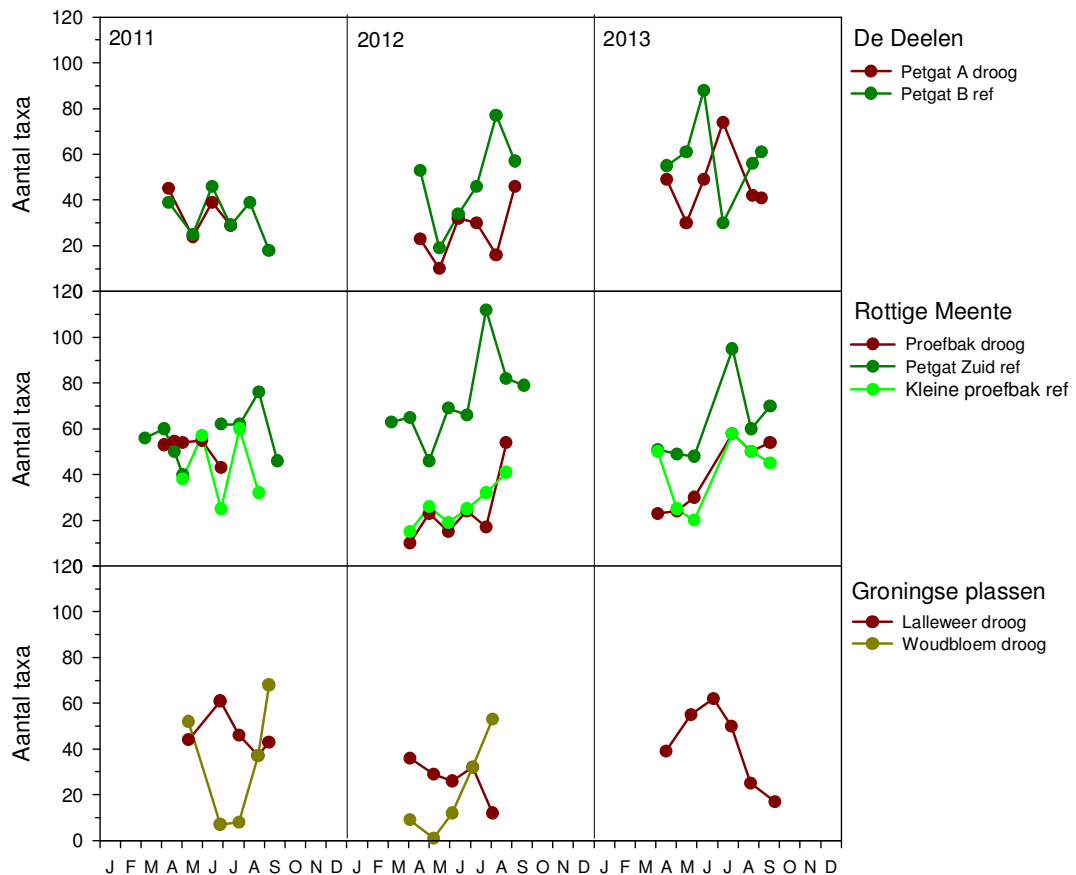
Na de droogval nam het aantal taxa in zowel het droogvalcompartiment als het referentiecompartiment af (figuur 5.15). In de referentie buiten het compartiment was juist sprake van een toename van het aantal taxa. In het tweede jaar na droogval is het aantal taxa in het droogvalcompartiment toegenomen, maar nog wel lager dan voor de droogval en in vergelijking met de referentie buiten het compartiment. Het verloop van zowel de abundantie als diversiteit van fytoplankton in het referentiecompartiment is meer vergelijkbaar met die van het droogvalcompartiment dan met die van de referentie buiten het compartiment. Ook hier blijkt een sterk effect van compartimentering of isolatie, los van het effect van droogval.

FIGUUR 5.14

ABUNDANTIE FYTOPLANKTON. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME PER ALGEGROEP OP DE DRIE PROEFLOCATIES IN DE ROTTIGE MEENTE IN DE PERIODE 2011-2013. PETGAT ZUID = REFERENTIE BUITEN COMPARTIMENT, PROEFBAK = DROOGVALCOMPARTIMENT, KLEINE PROEFBAK = REFERENTIECOMPARTIMENT



FIGUUR 5.15 DIVERSITEIT VAN FYTOPLANKTON OP DE ZEVEN LOCATIES IN DE PERIODE 2011-2013. DE DEELEN PETGAT A = MET DROOGVAL, PETGAT B = REFERENTIE. ROTTIGE MEENTE: PETGAT ZUID = REFERENTIE BUITEN COMPARTIMENT, PROEFBAK = DROOGVALCOMPARTIMENT, KLEINE PROEFBAK = REFERENTIECOMPARTIMENT



Toelichting : Het aantal taxa in de telling geeft een indicatie van de diversiteit. Het aantal soorten kan in werkelijkheid zowel groter als kleiner zijn. Een onderschatting treedt op als soorten niet tot op soortsniveau gedetermineerd kunnen worden, terwijl een overschatting optreedt als een soort op verschillende taxonomische niveaus gedetermineerd wordt. Dit laatste kan gebeuren bij soorten met een veranderlijk uiterlijk.

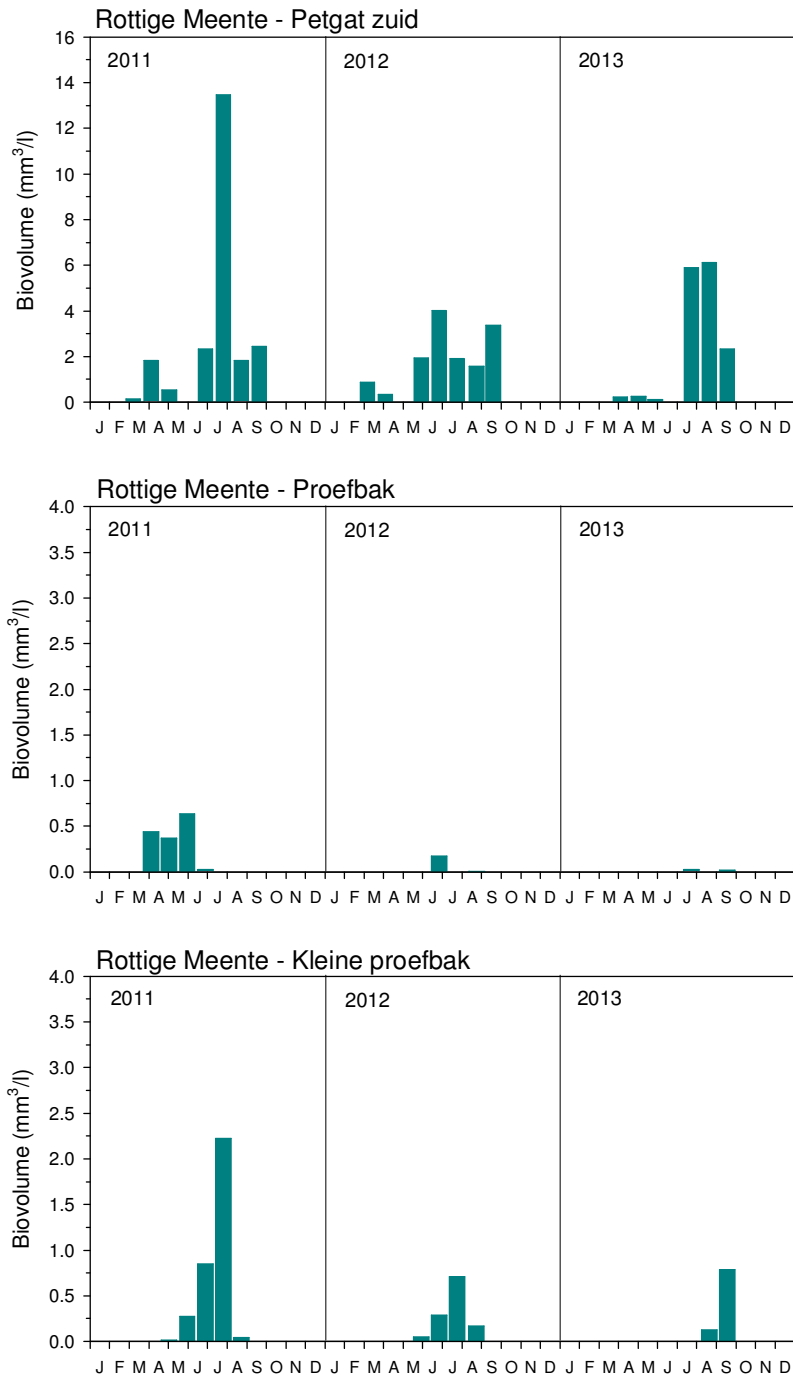
SOORTEN, BLAUWALGEN EN FUNCTIONELE GROEPEN

Abundantie geeft aan hoeveel individuen van een bepaalde soort, geslacht of bijvoorbeeld familie voorkomen. De diversiteit die hiervoor besproken werd, geeft een beeld van het aantal soorten, geslachten of bijvoorbeeld families. Om uitspraken te kunnen doen over het effect van droogval, andere ingrepen of de kwaliteit van een watersysteem kan aanvullend worden onderzocht om welke soorten het gaat en wat hun rol is in een watersysteem. Hierbij worden fytoplanktonsoorten op basis van verschillende kenmerken (b.v. lichttolerantie, gevoeligheid voor begrazing) ingedeeld in zogenaamde functionele groepen. Bij fytoplankton wordt relatief veel aandacht geschonken aan het vóórkomen van blauwalgen. Dit zijn feitelijk geen algen maar cyanobacteriën die overlast kunnen veroorzaken.

In het droogvalcompartiment werden na de droogval, in zowel 2012 als 2013, veel lagere hoeveelheden potentieel toxische blauwalgen aangetroffen. In het referentiecompartiment trad dit effect niet op, maar waren de hoeveelheden toxische blauwalgen wel beduidend lager dan in de referentie buiten de compartimenten (0).

De sterke afname van blauwalgen in het droogvalcompartiment werd veroorzaakt door *Aphanizomenon sp.*, *Microcystis sp.* en *Woronichinia sp.* In 2012 werd in het droogvalcompartiment een zeer kleine hoeveelheid blauwalgen aangetroffen, voornamelijk *Anabaena sp.* In 2013 bleek dat de hoeveelheid blauwalgen aan het begin van het groeiseizoen op alle locaties beperkt was. Mogelijk werd dit veroorzaakt door de relatief lange koude periode in het voorjaar.

FIGUUR 5.16 BIOVOLUME VAN POTENTIEEL TOXISCHE BLAUWALGEN OP DE PROEFLOCATIES IN DE ROTTIGE MEENTE, IN DE PERIODE 2011-2013; PROEFBAK IS DROOGGELEGD IN JULI-SEPTEMBER 2011. PETGAT ZUID = REFERENTIE BUITEN COMPARTIMENT, PROEFBAK = DROOGVALCOMPARTIMENT, KLEINE PROEFBAK = REFERENTIECOMPARTIMENT



Binnen het systeem van functionele groepen in het fytoplankton worden momenteel ongeveer veertig verschillende groepen onderscheiden (Padisak *et al.* 2009). Van de bemonsterde fytoplanktongemeenschappen op alle onderzochte locaties werden veertien relevante groepen onderscheiden. Voor de analyse van het ecologische functioneren werden deze gegroepeerd op één gemeenschappelijke, primaire eigenschap, zoals 'Tolerant voor lichttekort' of 'Gevoelig voor begrazing'. Op deze wijze bleven er uiteindelijk zeven hoofdgroepen over (0), inclusief een restgroep en een groep van taxa die niet ingedeeld kon worden.

TABEL 5.1 OMSCHRIJVING EIGENSCHAPPEN VAN DE BELANGRIJKSTE FUNCTIONELE GROEPEN (NAAR REYNOLDS 2006, PADISAK ET AL. 2009)

Groep	Habitatkeuze	Toleranties	Gevoeligheden	Voorbeeldsoorten
C	Gemengde, eutrofe, kleine tot middelgrote meren	Lichttekort, C-tekort	Si-tekort, stratificatie	<i>Asterionella formosa</i> , <i>Diatoma tenuis</i> ,
H1	Stikstoffixerende blauwalgen van eutrofe meren	N-tekort, C-tekort, begrazing	Menging, P-tekort, lichttekort	<i>Anabaena</i> , <i>Aphanizomenon</i>
J	Ondiepe, geëutrofeerde meren en rivieren	Lichttekort	Sedimentatie naar de bodem	<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>Merismopedia</i> , <i>Snowella</i> , <i>Woronichinia</i>
M	Eutrofe tot hypertrofe plassen en meren	Hoge instraling	Doorspoeling, lichttekort	<i>Microcystis</i>
MP	Door regelmatige opwerveling troebele, ondiepe meren			<i>Surirella</i> , <i>Fragilaria</i> , <i>Campylodiscus</i>
P	Eu- tot hypertrofe, gemengde, 2 tot 3 m diepe waterkolommen	Mild lichttekort en C-tekort	Si-tekort, stratificatie	<i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i>
Q	Kleine, zure tot neutrale, humeuze plassen	Hoge troebelheid door kleurstoffen		<i>Gonyostomum semen</i>
S1	Gemengde, troebele waterlagen	Sterk lichttekort, begrazing	Uitspoeling	<i>Limnothrix</i> , <i>Planktolyngbya</i> , <i>Planktotrix agardhii</i>
U	Oligo- tot mesotrofe plassen waar nutriënten in de bovenste waterlaag uitgeput raken	N- en P-tekort	C-tekort	<i>Uroglena</i>
W1	Kleine eutrofe plassen met een hoge saprobiegraad	Hoog BOD?		<i>Euglena</i> , <i>Phacus</i> , <i>Lepocinclis</i>
X1	Ondiepe, geëutrofeerde, gemengde waterlagen	Stratificatie	Nutriëntentekort, begrazing	<i>Crucigenia</i> , <i>Lagerheima</i> , <i>Monoraphidium</i>
X2	Ondiepe, meso-eutrofe, heldere, gemengde waterlagen	Stratificatie	Menging, begrazing	<i>Chrysochromulina</i> , <i>Plagioselmis</i> , <i>Rhodomonas</i>
Y	Kleine, geëutrofeerde meren	Lichttekort	Begrazing	<i>Chroomonas</i> , <i>Cryptomonas</i>

Op basis van de eigenschappen van de verschillende groepen werden de groepen gerangschikt op voorkomen in alle onderzoekslocaties (tabel 5.2). Hieruit bleek dat de functionele groepen over een gemeenschappelijke tolerantie voor oppervlaktewater met een beperkt doorzicht (C, J, P, S1, maar ook Q in de restgroep) beschikten. Daarna volgen als belangrijkste groepen de stikstoffixeerders (H1) en groepen die gevoelig zijn voor begrazing, zoals *Cryptomonas* (Y).

TABEL 5.2 DE VOOR DEZE WATEREN BELANGRIJKSTE FUNCTIONELE GROEPEN MET EEN GEMIDDELTE BIOVOLUMEBIJDRAGE VAN MEER DAN 5% EN DE LOCATIES WAAR DIT VAN TOEPASSING WAS (CODERING NAAR REYNOLDS 2006 EN PADISAK ET AL. 2009)

Primaire eigenschap	FG	Locaties met meer dan 5% aandeel FG
Tolerant voor lichttekort	C	Woudbloem
	J	Lalleweer, Woudbloem
	P	RM droogvalcompartiment en referentiecompartiment
	S1	DD referentie, Woudbloem
Gevoelig voor begrazing	X1	DD droogval, Lalleweer
	X2	RM referentie buiten compartiment en droogvalcompartiment
	Y	DD droogval en referentie, RM referentie buiten compartiment en referentiecompartiment, Lalleweer
N ₂ -fixeerders	H1	DD droogval, Woudbloem
Tolerant voor nutriëntentekort	Lo	DD droogval en referentie
	U	RM droogvalcompartiment
Tolerant voor veel licht	M	DD droogval, RM referentie buiten compartiment en referentiecompartiment
Restgroep	Q	DD droogval en referentie, RM referentie buiten compartiment en referentiecompartiment
	W1	Lalleweer
	MP	referentiecompartiment, Lalleweer

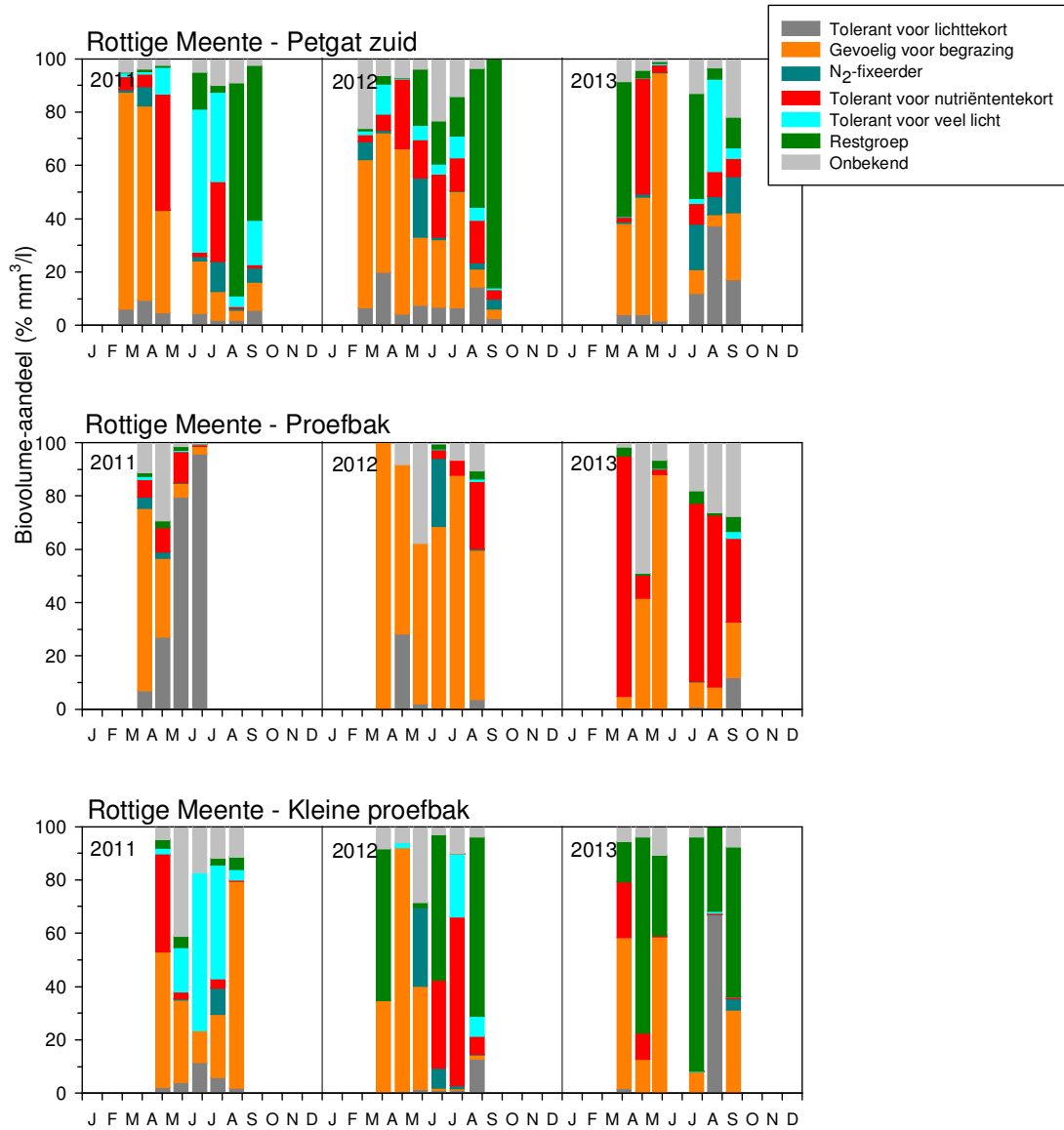
*DD= De Deelen, RM = Rottige Meente.

In het droogvalcompartiment domineren voor de droogval algensoorten die gevoelig zijn voor begrazing (figuur 5.17). Hieruit kan worden afgeleid dat er op dat moment sprake was van een lage graasdruk. Een mogelijke verklaring hiervoor is een laag aantal watervlooien, die onder druk staan van predatie door vis. Voor de droogval werd de eutrafente sieralg *Closterium acutum* waargenomen, die in de groep 'Tolerant voor lichttekort' werd geplaatst. Na de droogval is de situatie geheel anders. De hoeveelheid fytoplankton is sterk afgenomen. Het resterende fytoplankton, bestond hoofdzakelijk uit begrazingsgevoelige soorten. Dit is enigszins opmerkelijk, omdat er in het droogvalcompartiment geen vissen aanwezig waren na de droogval, waardoor algenetend zoöplankton zoals watervlooien zich konden uitbreiden. Watervlooien blijken zich na een droogvalperiode snel te kunnen herstellen, maar of dat hier ook gebeurde is onbekend. In het tweede jaar na de droogval lijkt de samenstelling van het fytoplankton sterker te worden bepaald door een beperkte beschikbaarheid van nutriënten dan door de factor begrazing.

In de referentie buiten het compartiment zijn de verschillen tussen de jaren minder uitgesproken. In deze referentie was de graasdruk in het voorjaar na de droogval nog beperkt, maar vanaf april/mei nam het aandeel begrazingsgevoelige algen af, ten gunste van soorten die tolerant zijn voor nutriëntentekort en soorten die zijn aangepast aan een hoge instraling van zonlicht. In de nazomer trad een bloei op van *Gonyostomum semen*, wat kan duiden op een verhoogde concentratie aan kleurstoffen of zwevend stof in het water.

Voor de droogval waren vermoedelijke stuurfactoren in het referentiecompartiment een verminderde graasdruk en een hoge lichtinstraling. Na de droogval leek nutriëntenschaarste de belangrijkste sturende factor te zijn. De restgroep bestaat hier aanvankelijk uit aangroei-algen zoals de bodemalg *Spirogyra* en perifytische kiezelalgen. In 2013 is dat de slijmalg *Gonyostomum semen*. Deze soorten werden ingedeeld in de groep 'Tolerant voor lichttekort'. Een andere soort uit deze groep die in augustus 2013 domineert, is *Closterium tumidulum*, een algemene sieralg uit eutrofe, zwak zure tot alkalische wateren.

FIGUUR 5.17 ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME-AANDEEL PER FUNCTIONELE GROEP OP DE DRIE PROEFLOCATIES IN DE ROTTIGE MEENTE IN DE PERIODE 2011-2013. PETGAT ZUID = REFERENTIE BUITEN COMPARTIMENT, PROEFBAK = DROOGVALCOMPARTIMENT, KLEINE PROEFBAK = REFERENTIECOMPARTIMENT



5.2.2 DE DEELEN

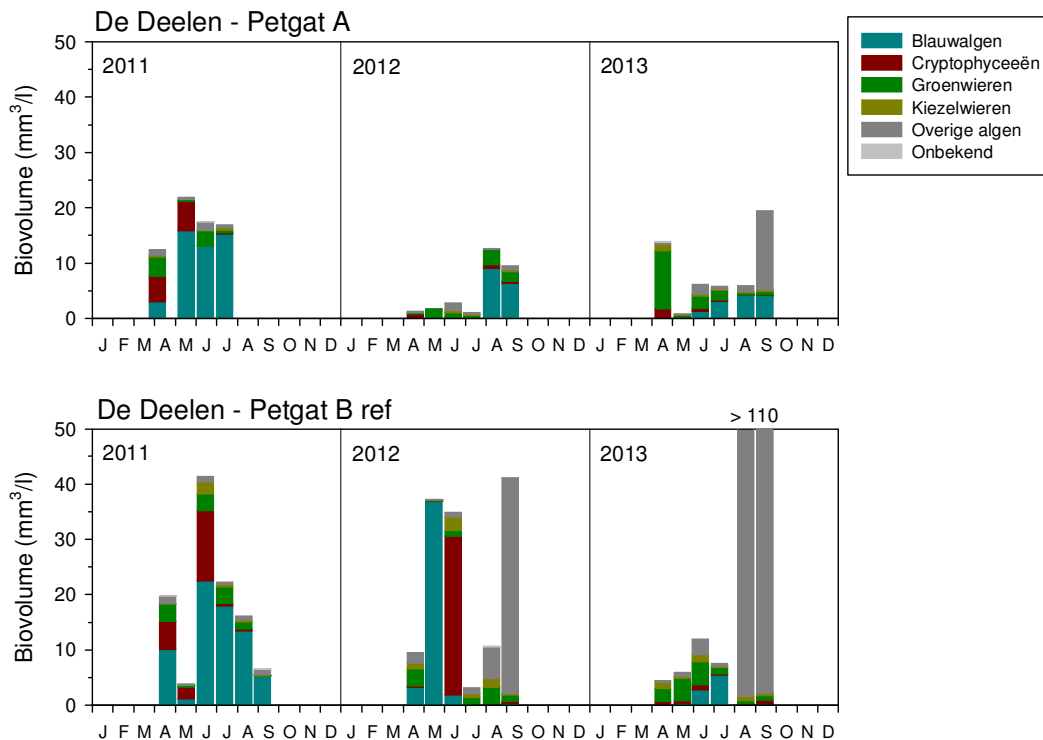
ABUNDANTIE

In het drooggevallen petgat (Petgat A) was de totale hoeveelheid fytoplankton na de droogval een factor tien lager dan daarvoor (0); vergelijk april-juli 2011 en 2012). Daarnaast werd een sterke afname van het aandeel blauwalgen gemeten van gemiddeld -66% in april-juli 2011 tot gemiddeld -1% in april-juli 2012. In 2013 was de totale hoeveelheid fytoplankton in april-juli alweer een factor vier hoger dan in 2012 en het aandeel blauwalgen toegenomen tot 7%.

In de referentie (Petgat B) bleef de totale hoeveelheid fytoplankton van 2011 naar 2012 gelijk (0). Hieruit kan worden afgeleid dat de afname in het drooggevallen petgat (Petgat A) waarschijnlijk niet veroorzaakt werd door de ongunstige weersomstandigheden in het voorjaar van 2012. In 2013 nam de totale hoeveelheid fytoplankton in de referentie met een factor drie af. Omdat dit effect ook in de Rottige Meente werd waargenomen is de aanname dat dit ook in

De Deelen het gevolg was van het koude voorjaar. In 2013 werden nog maar weinig verschillen tussen het fytoplankton van drooggevalen petgat en referentie waargenomen, respectievelijk 6,6 in het drooggevalen petgat en 7,5 mm³/l in de referentie). Ook in de samenstelling op het niveau van hoofdgroepen bestonden in 2013 nog maar weinig verschillen. Het aandeel blauwalgen was 22% in het drooggevalen petgat en 25% in de referentie.

FIGUUR 5.18 ABUNDANTIE FYTOPLANKTON. ONTWIKKELING VAN DE HET BIOVOLUME PER ALGENGROEP OP DE TWEE PROEFLOCATIES IN DE DEELLEN IN DE PERIODE 2011-2013. PETGAT A BETREFT HET DROOGGEVALLEN PETGAT



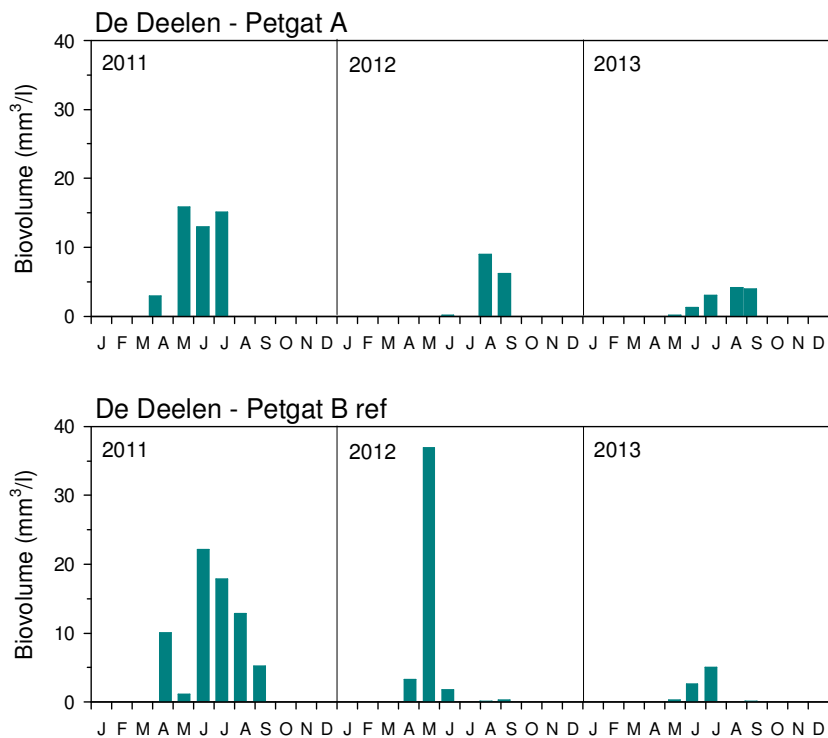
DIVERSITEIT

Na de droogval nam de diversiteit van het fytoplankton in het drooggevalen petgat af ten opzichte van de referentie, waar sprake was van een lichte toename (figuur 5.15). In het tweede jaar na de droogval waren de verschillen in diversiteit tussen referentie en drooggevalen petgat minimaal, maar wel hoger dan voor de droogval. Mogelijk speelt hierin de isolatie van het overige watersysteem en een toegenomen invloed van neerslag een rol. Een toevallige variatie is ook niet uit te sluiten.

SOORTEN, BLAUWALGEN EN FUNCTIONELE GROEPEN

Voor de droogval was in beide petgaten sprake van een overschreiding van tweemaal de norm voor toxische blauwalgen voor wateren met een zwemwaterfunctie (norm=15 mm³/l). Wanneer sprake zou zijn van een zwemwaterfunctie zou hier een negatief negatief zwemadvies worden afgegeven in verband met een verhoogd risico voor de volksgezondheid. In 2012 trad na de droogval alleen in de referentie nog een overschrijding op. In het petgat waarin tijdelijke droogval had plaatsgevonden, bleef de concentratie (biovolume) van potentieel toxische blauwalgen beneden 9 mm³/l (0). In het tweede jaar na de droogval werd de concentratie toxische blauwalgen in beide petgaten niet hoger dan 4 à 5 mm³/l.

FIGUUR 5.19 BIOVOLUME VAN POTENTIEEL TOXISCHE BLAUWALGEN IN DE PETGATEN IN DE DEELLEN, IN DE PERIODE MAART/APRIL TOT EN MET SEPTEMBER VAN DE JAREN 2011 TOT EN MET 2013; PETGAT A IS DROOGGELEGD IN JULI-SEPTEMBER 2011, PETGAT B = REFERENTIE



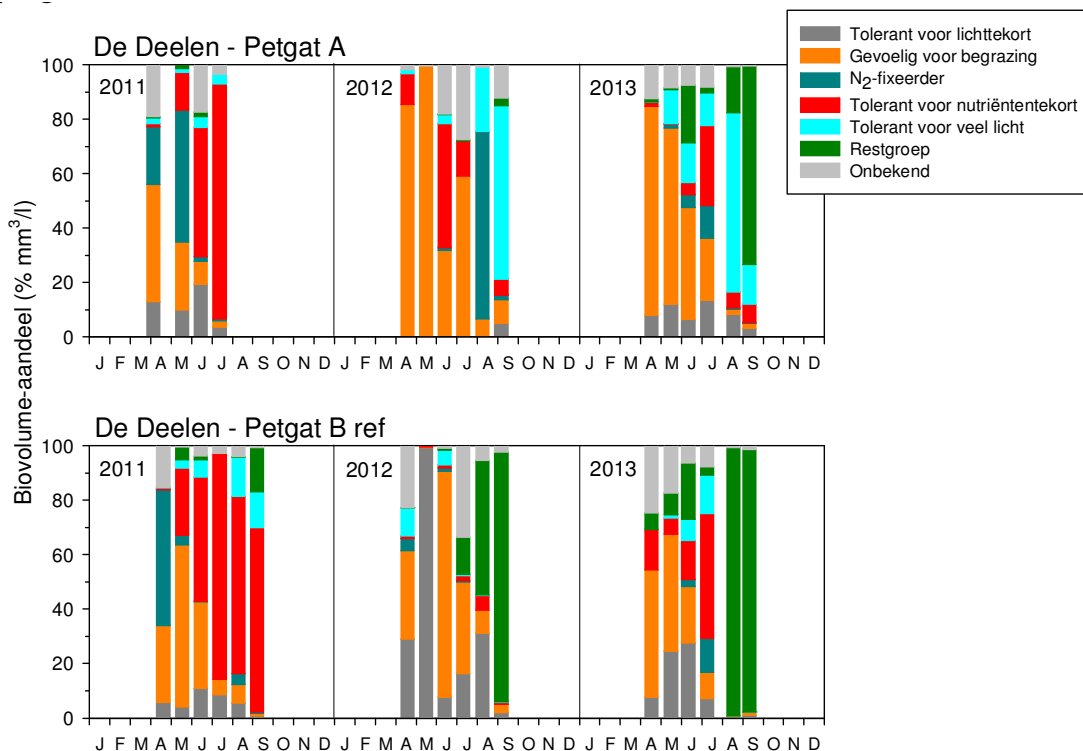
In het petgat met droogval traden verschuivingen op in het tijdstip van de bloeien, namelijk van voorjaar en vroege zomer (mei-juli) naar nazomer (augustus-september). In de referentie bleven de pieken optreden in de voorzomer. In 2011 waren in beide petgaten de belangrijkste taxa *Aphanizomenon* en *Planktothrix*. In 2012 was dit in de referentie nog steeds het geval (de piek in mei wordt veroorzaakt door *Planktothrix agardhii*), maar in het petgat met droogval waren *Anabaena*-soorten dominant in augustus en september. Geheel anders was de situatie in 2013. Buiten dat de hoeveelheden blauwalgen veel minder waren dan voor de droogval, werd de grootste bijdrage in beide petgaten geleverd door *Microcystis* en *Woronichinia naegeli-ana*. *Planktothrix agardhii* werd in de referentie alleen nog in september eenmalig waargenomen.

Verschuivingen van *Aphanizomenon* en *Planktothrix* (of *Microcystis*) naar *Anabaena* kunnen het gevolg zijn van verbeteringen in de waterkwaliteit (meer doorzicht, minder nitraat en ammonium). Bovendien moet *Planktothrix* slechtere tijden zien te overleven in de waterkolom, terwijl *Anabaena* sporen (ruststadia) vormt. Mogelijk kan *Anabaena* ook droogval daardoor beter doorstaan dan *Planktothrix*. *Microcystis* en *Woronichinia* nemen een intermediaire positie in: ze vormen geen sporen maar hun cellen overleven op en in het sediment.

FIGUUR 5.20

ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME-AANDEEL PER FUNCTIONELE GROEP OP DE TWEE PROEFLOCATIES IN DE DEELEN IN DE PERIODE 2011-2013.

PETGAT A = MET DROOGVAL, PETGAT B = REFERENTIE



Voor de droogval werden in beide petgaten vooral functionele groepen aangetroffen die duiden op schaarste aan stikstof en in de nazomer mogelijk ook fosfaat (figuur 5.20). Soorten die in staat zijn tot N₂-fixatie of tolerant zijn voor lage(re) nutriëntbeschikbaarheid, zoals verschillende soorten blauwalgen, waren in deze periode dominant. Vanaf mei leek begrazing door zoöplankton een belangrijkere rol te gaan spelen, afgaand op het afnemende aandeel van begrazingsgevoelige soorten.

In het jaar na de droogval werden in de eerste maanden vooral snelgroeïende en begrazingsgevoelige soorten aangetroffen in het petgat met droogval (Petgat A), waarschijnlijk veroorzaakt door verminderde concurrentie binnen het fytoplankton en een afgenomen graasdruk. In de nazomer werden soorten dominant die tolerant zijn voor stikstoflimitatie en een hoge instraling van zonlicht. Dit laatste sluit aan bij het sterk verbeterde doorzicht.

Ook in de referentie, Petgat B, was de situatie in 2012 duidelijk anders dan in 2011. Hier leek lichttekort een belangrijke, sturende factor voor *Planktothrix agardii* en in de nazomer voor *Gonyostomum semen* (geplaatst in de restgroep). Daarnaast was tot ver in de zomer een groot aandeel van begrazingsgevoelige soorten aanwezig.

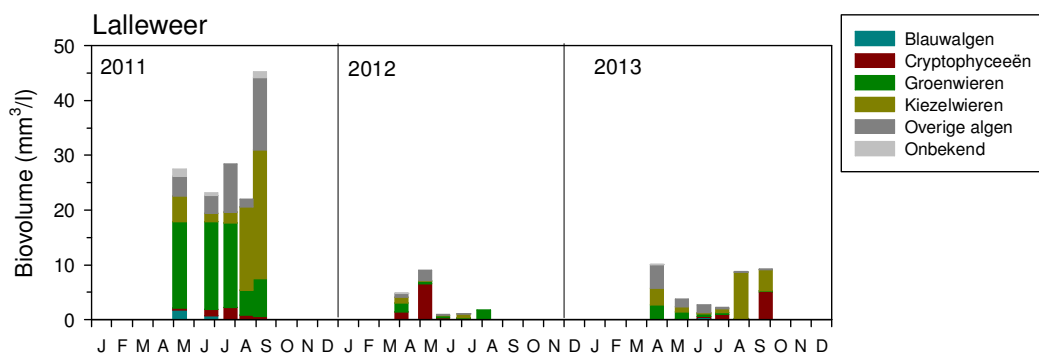
In het tweede jaar na de droogval was er voor wat betreft de functionele samenstelling van het fytoplankton weinig verschil meer tussen het petgat met droogval en de referentie. Wel was het aandeel soorten die zijn aangepast aan veel lichtinstraling in het petgat met droogval hoger dan in de referentie.

5.2.3 LALLEWEER

ABUNDANTIE

In de kleiplas Lalleweer was na de droogval sprake van een zeer sterke afname van de hoeveelheden fytoplankton. Deze afname ging gepaard met een afname van het aandeel groenalgen en een toename van het aandeel cryptophyceën. Blauwalgen maakten nauwelijks onderdeel uit van de fytoplanktongemeenschap. In het tweede jaar na droogval nam de hoeveelheid fytoplankton iets toe, maar er was nog steeds sprake van veel lagere hoeveelheden ten opzichte van de situatie voor droogval. In de periode april-juli werd achtereenvolgens voor, één jaar en twee jaar na droogval de volgende hoeveelheden gemeten: 26,3 mm³/l, 4,0 mm³/l en 4,7 mm³/l (0). Ook het aandeel groenalgen was in 2013 nog steeds veel kleiner dan in 2011.

FIGUUR 5.21 ABUNDANTIE FYTOPLANKTON. ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME IN MM³/L PER ALGEGROEP IN DE PERIODE 2011-2013 IN DE KLEIPLAS LALLEWEER



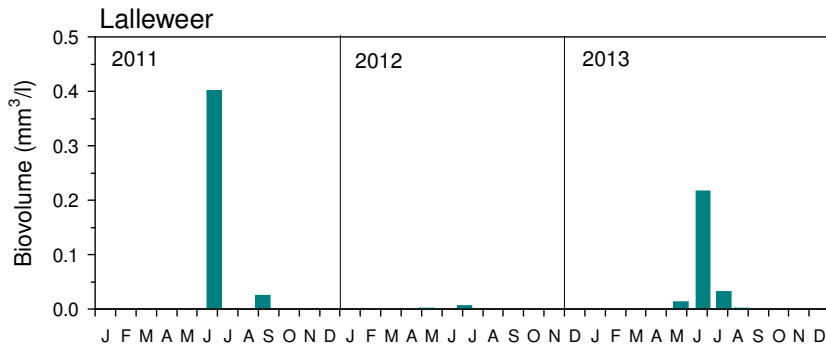
DIVERSITEIT

De diversiteit van de fytoplanktongemeenschap in de kleiplas Lalleweer, uitgedrukt in aantal taxa, nam na de droogval in 2012 af (figuur 5.15). In het tweede jaar na de droogval was het aantal taxa in het voorjaar en vroege zomer groter dan voor de droogval. Daarna nam het aantal taxa af en werd de situatie vergelijkbaar met die van het eerste jaar na droogval. Mogelijk bestaat in het verloop over het seizoen een relatie met de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten, later in het groeiseizoen. Verder werd in de loop van het groeiseizoen 2013 veel flab waargenomen en was aan het einde van het groeiseizoen in Lalleweer sprake van hoge bedekkingen met verschillende soorten ondergedoken waterplanten.

SOORTEN, BLAUWALGEN EN FUNCTIONELE GROEPEN

In de kleiplas Lalleweer spelen potentieel toxische blauwalgen geen rol van betekenis. Met hoeveelheden van slechts 0,4 mm³/l in 2011 (figuur 5.22). In 2012 na de droogval waren de aangetroffen hoeveelheden nog veel lager (< 0,2 mm³/l). In 2013 is sprake van een herstel qua hoeveelheden (biovolume) aan blauwalgen. Wel bleek de soortensamenstelling veranderd. Van 2011 naar 2012 daalde de hoeveelheid *Anabaena* en *Planktothrix agardhii*. Hoewel *Anabaena* zich in 2013 volledig herstelde, werd *Planktothrix agardhii* niet meer aangetroffen.

FIGUUR 5.22 BIOVOLUME VAN POTENTIEEL TOXISCHE BLAUWALGEN IN DE KLEIPLAS LALLEWEERIN DE PERIODE 2011 -2013



Direct na de droogval namen diverse planktische algen in de kleiplas Lalleweer af, terwijl deels benthische kiezelalgen (restgroep) toenamen (figuur 5.23). Ten opzichte van 2011 werd in het voorjaar van 2012 een sterke toename van het aandeel van snelgroeiende, begrazingsgevoelige soorten waargenomen. Dit was vermoedelijk het gevolg van een lagere graasdruk en verminderde concurrentie tussen algen. In 2013 leek de functionele samenstelling van het fytoplankton weer meer op die in 2011. Alleen de hoeveelheid troebelheidstolerante soorten was nog relatief laag.

FIGUUR 5.23 ONTWIKKELING VAN HET BIOVOLUME-AANDEEL PER FUNCTIONELE GROEP IN DE KLEIPLAS LALLEWEER IN DE PERIODE 2011-2012



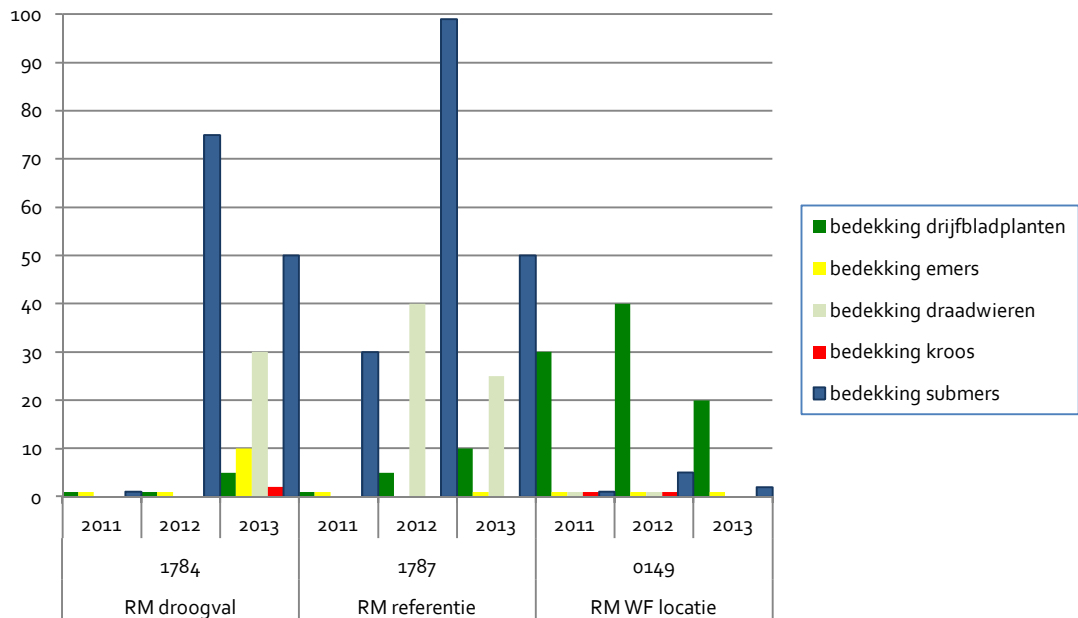
5.3 EFFECTEN OP MACROFYTEN

ROTTIGE MEENTE

Na het plaatsen van het compartiment door middel van stalen damwanden werd direct waargenomen dat de windwerking binnen de compartimenten veel minder sterk was dan daarbuiten. Het referentiecompartiment, bedoeld om het effect van compartimentering of isolatie te onderzoeken, was iets kleiner dan het droogvalcompartiment. Hier kwam in het vroege voorjaar massaal smalle waterpest (*Elodea nutalli*) tot ontwikkeling (figuur 5.24). In de loop van het groeiseizoen (2011) nam de bedekking met ondergedoken waterplanten toe tot circa 30%. De meest dominante soort bleef smalle waterpest.

Een jaar na de droogval, was in beide compartimenten sprake van een enorme groei van ondergedoken waterplanten. In het referentiecompartiment nam de bedekking toe tot bijna 100%. Nog steeds was dit vooral toe te schrijven aan smalle waterpest. In het droogvalcompartiment kwamen geheel andere soorten voor.

FIGUUR 5.24 BEDEKKING MACROFYTEN OP DRIE LOCATIES IN DE ROTTIGE MEENTE IN DE PERIODE 2011-2013. OP DE Y-AS IS DE BEDEKKING WEERGEGEVEN ALS EEN PERCENTAGE. RM DROOGVAL = DROOGVALCOMPARTIMENT, RM REFERENTIE = REFERENTIECOMPARTIMENT EN RM WF LOCATIE = REFERENTIE BUITEN HET COMPARTIMENT



Voor de droogval en in 2011 direct na de droogval werden zowel in de referentie buiten het compartiment als in de beide compartimenten geen krans- of glansalgen aangetroffen. In 2012 werden in het droogvalcompartiment het kranswier (*Chara virgata*) en het glanswier (*Nitella flexilis*) aangetroffen in ongeveer gelijke bedekking. Meer dan 50% van de waterbodem was bedekt met deze krans- en glansalgen. Tussen de kranswievelden werd in zowel 2012 als 2013 nog een andere zeldzame soort aangetroffen. Het bleek te gaan om *Nitella capilaris* of kleinhoofdig glanswier.

In 2013 bleek de bedekking van de submerse vegetatie in het droogvalcompartiment te zijn afgenomen tot nog steeds het hoge percentage van 50%. Hierbij bleek het aandeel *Chara virgata* veel groter ten opzichte van de *Nitella sp* (Tansleyschaal 9 voor *Chara* en 3 voor *Nitella*).

Niet alleen de ondergedoken of submerse waterplanten breidden zich na de droogval sterk uit. Ook emerse vegetatie of oevervegetatie kwam uiteindelijk goed tot ontwikkeling. De ontwikkeling van emergente vegetatie kwam langzaam op gang. Maar in 2013 was de bedekking 10% (ten opzichte van <1% in 2012) van met name riet (*Phragmites australis*), grote lisdodde (*Typha angustifolia*) en kleine lisdodde (*Typha latifolia*).

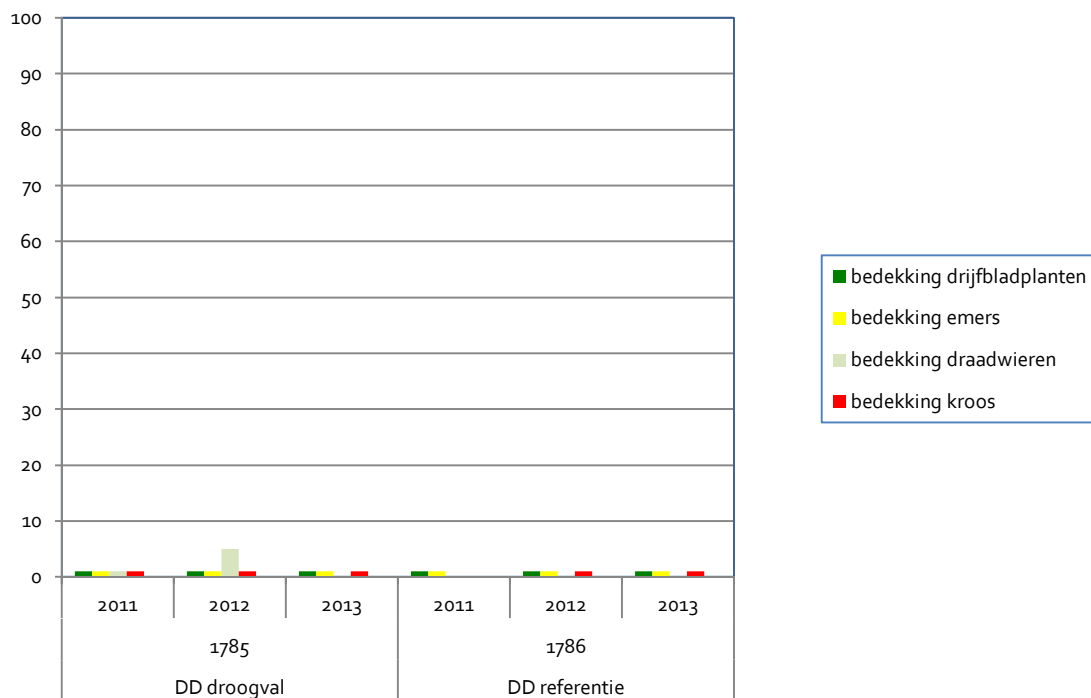
In de referentie buiten het compartiment was in 2013 sprake van een toename van ondergedoken waterplanten. Het ging hierbij met name om de soorten glanzig fonteinkruid (*Potamogeton lucens*) en smalle waterpest (*Elodea nuttalli*) en de drijfbladplanten gele plomp (*Nuphar lutea*) en witte waterlelie (*Nymphaea alba*). Langs de oevers van dit omvangrijke petgat kwam ook emerse vegetatie voor waaronder grote egelskop (*Sparganium erectum*).

De windwerking werd in dit petgat sterk verminderd door het aanbrengen van het compartiment. Tevens werd de waterstroming minder doordat het compartiment een doorbraak in een legakker omsloot. Waarschijnlijk hadden de verminderde waterstroming en windwerking een positieve invloed op het toenemende doorzicht en de verminderde turbulentie waardoor de vegetatie zich beter kon ontwikkelen.

DE DEELEN

In De Deelen werd voor en na de droogval geen submerse vegetatie waargenomen (figuur 5.25). De emerse vegetatie, drijfblad- en de kroossoorten kwamen in zeer lage bedekking voor en hebben zich na de droogval niet uitgebreid. In 2013 werden zowel in het petgat met droogval als in de referentie voor wat betreft de vegetatie geen veranderingen ten opzichte van het eerste jaar na droogval waargenomen.

FIGUUR 5.25 BEDEKKING MACROFYTEN OP TWEE LOCATIES IN DE DEELEN IN DE PERIODE 2011-2013. OP DE Y-AS IS DE BEDEKKING WEERGEGEVEN ALS EEN PERCENTAGE



Na de droogval verbeterde het doorzicht sterk in het drooggevallen petgat van circa 30-40 cm naar 80 cm. In 2013 verslechterde het doorzicht weer. In het referentiepetgat werd in september 2013 een doorzicht gemeten van 80 cm. Beide petgaten zijn noordzuid tot noordoostelijk georiënteerd en beschikken over een grote strijklengte. Waarschijnlijk is hierdoor de windwerking gemiddeld genomen groot. Dat in september 2013 een groter doorzicht werd gemeten hangt vermoedelijk samen met de warme en droge zomer.

LALLEWEER

Tijdens en na droogval in 2012 trad een spectaculaire ontwikkeling van de oevervegetatie op (figuur 5.26). Met name riet (*Phragmites australis*), maar ook mattenbies (*Schoenoplectus lacustris*) en verschillende russen (*Juncaceae*) konden zich door de droogval vestigen of uitbreiden. Op de drooggevallen waterbodembodem kwamen ook verschillende terrestrische plantensoorten tot ontwikkeling. Hoewel verwacht mag worden dat deze soorten in een watersysteem van weinig betekenis zijn, leek de structuur van met name goudzuring (*Rumex maritimus*) de klei-

bodem te stabiliseren en de windwerking te breken. In combinatie met de eerder opgetrede consolidatie van de kleibodem, bleef het oppervlaktewater in de periode na de droogval helder. Hierdoor konden verschillende ondergedoken waterplanten zich ontwikkelen. Met een bedekkingspercentage van circa 20%, betekende dit in 2012 al een toename met ongeveer een factor 10 ten opzichte van de situatie voor de droogvalperiode.

In 2013 waren de terrestrische soorten grotendeels verdwenen en had de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten zich doorgezet tot zeer hoge bedekkingen. De bedekkingen in het groeiseizoen varieerde van 70-80%. Er werden verschillende soorten aangetroffen, namelijk: gewoon kransblad (*Chara vulgaris*), gekroesd fonteinkruid (*Potamogeton crispus*), lidsteng (*Hippures vulgaris*), zittende zannichellia (*Zannichellia palustris*), gewoon sterrenkroos (*Callitriche platycarpa*), aarverderkruid (*Myriophyllum spicatum*) en stijve waterranonkel (*Ranunculus circinatus*).

FIGUUR 5.26 BEDEKKING MACROFYTEN IN DE KLEIPLAS LALLEWEER IN DE PERIODE 2011-2013. OP DE Y-AS IS DE BEDEKKING WEERGEGEVEN ALS EEN PERCENTAGE

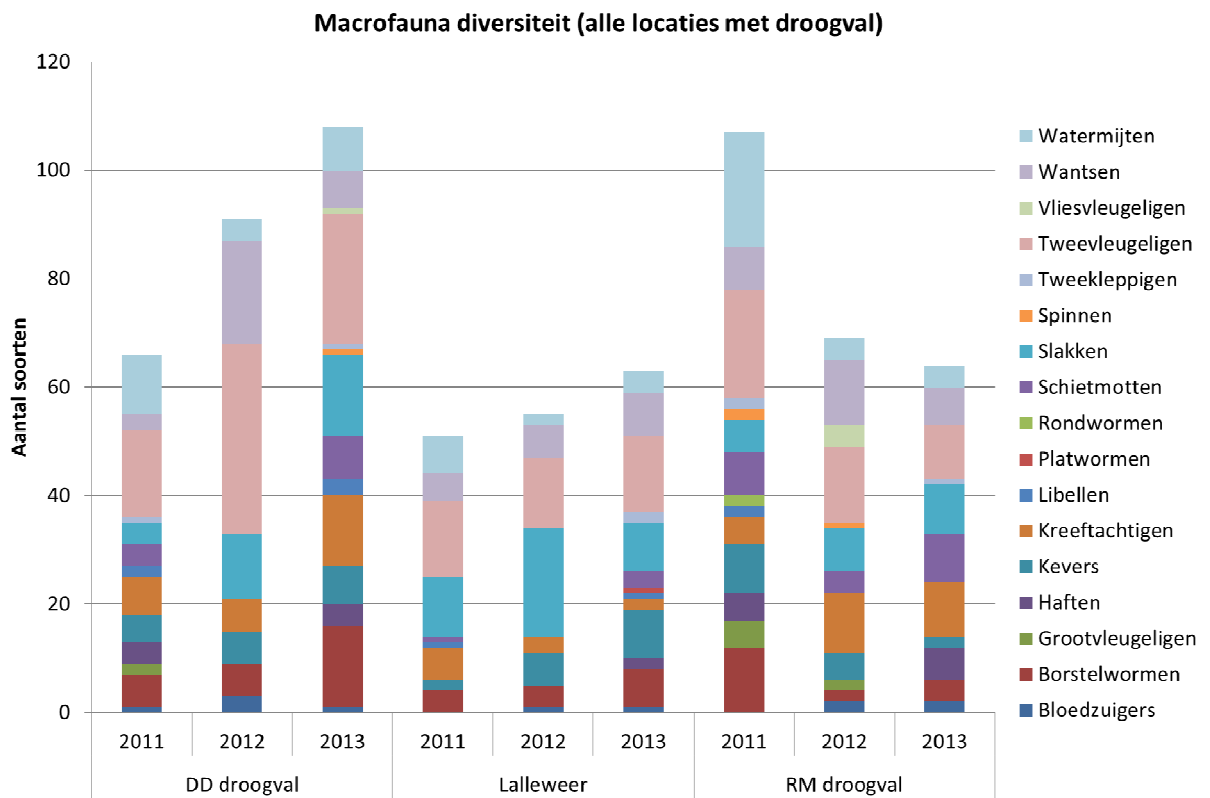


5.4 EFFECTEN OP MACROFAUNA

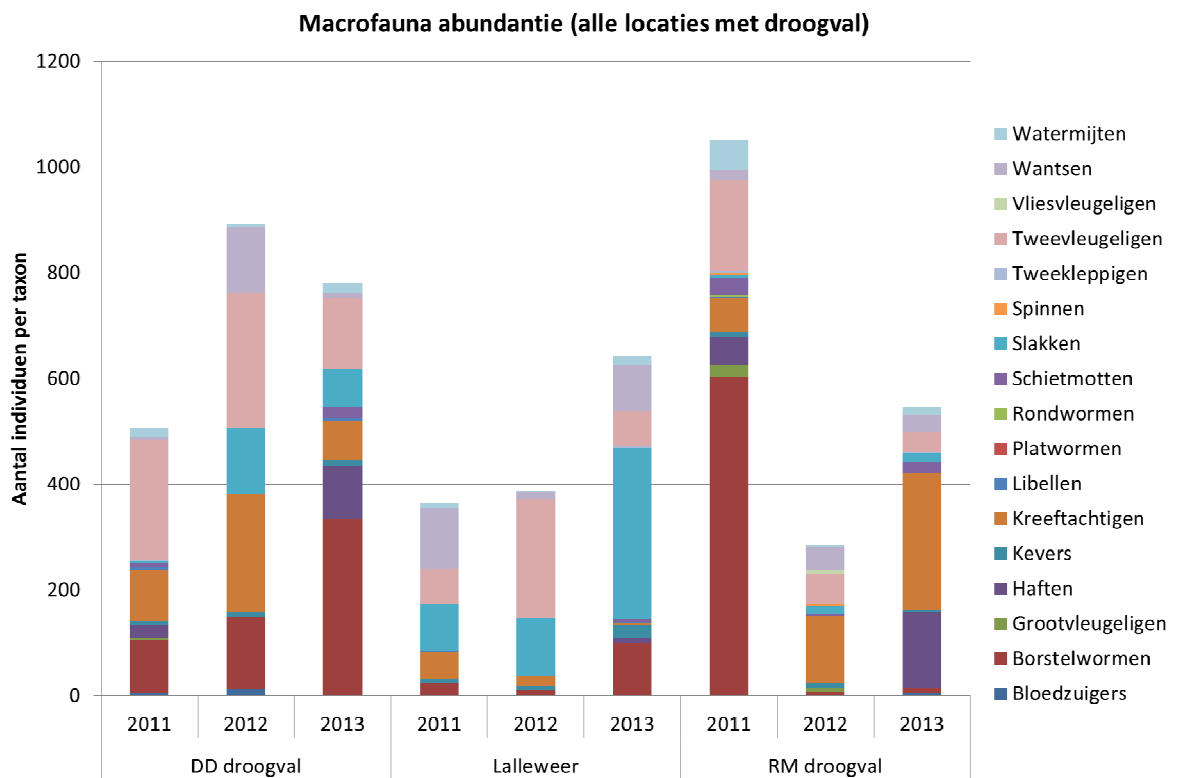
Op twee van de drie droogvallocaties nam de diversiteit (aantal taxa, soorten en hogere functionele groepen) na de droogval toe (figuur 5.27). Alleen in de Rottige Meente was sprake van een afname van de diversiteit.

Het aantal individuen (abundantie) per taxon nam na de droogvalperiode in De Deelen en Lalleweer toe, terwijl in de Rottige Meente sprake was van een afname. Hoewel onderling vergelijken van aantal individuen tussen groepen niet goed mogelijk is vanwege verschil in biomassa, overlevingsstrategie (K/R) etcetera, illustreert het wel welke groepen door de droogval beïnvloed worden. Zo bleek in de Rottige Meente de grootste afname in individuen zich voor te doen bij de borstelwormen (figuur 5.28). In De Deelen werd juist een toename van het aantal borstelwormen waargenomen, terwijl in Lalleweer vooral slakken toenamen na de droogvalperiode.

FIGUUR 5.27 DIVERSITEIT MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE DIVERSITEIT OP DE DRIE ONDERZOEKSLocatIES WAAR DROOGVAL HEEFT PLAATSGEVONDEN IN DE PERIODE VAN 2011-2013



FIGUUR 5.28 ABUNDANTIE MACROFAUNA. OVERZICHT VAN DE HET VERLOOP VAN DE ABUNDANTIES OP DE DRIE ONDERZOEKSLocatIES WAAR DROOGVAL HEEFT PLAATSGEVONDEN IN DE PERIODE VAN 2011-2013

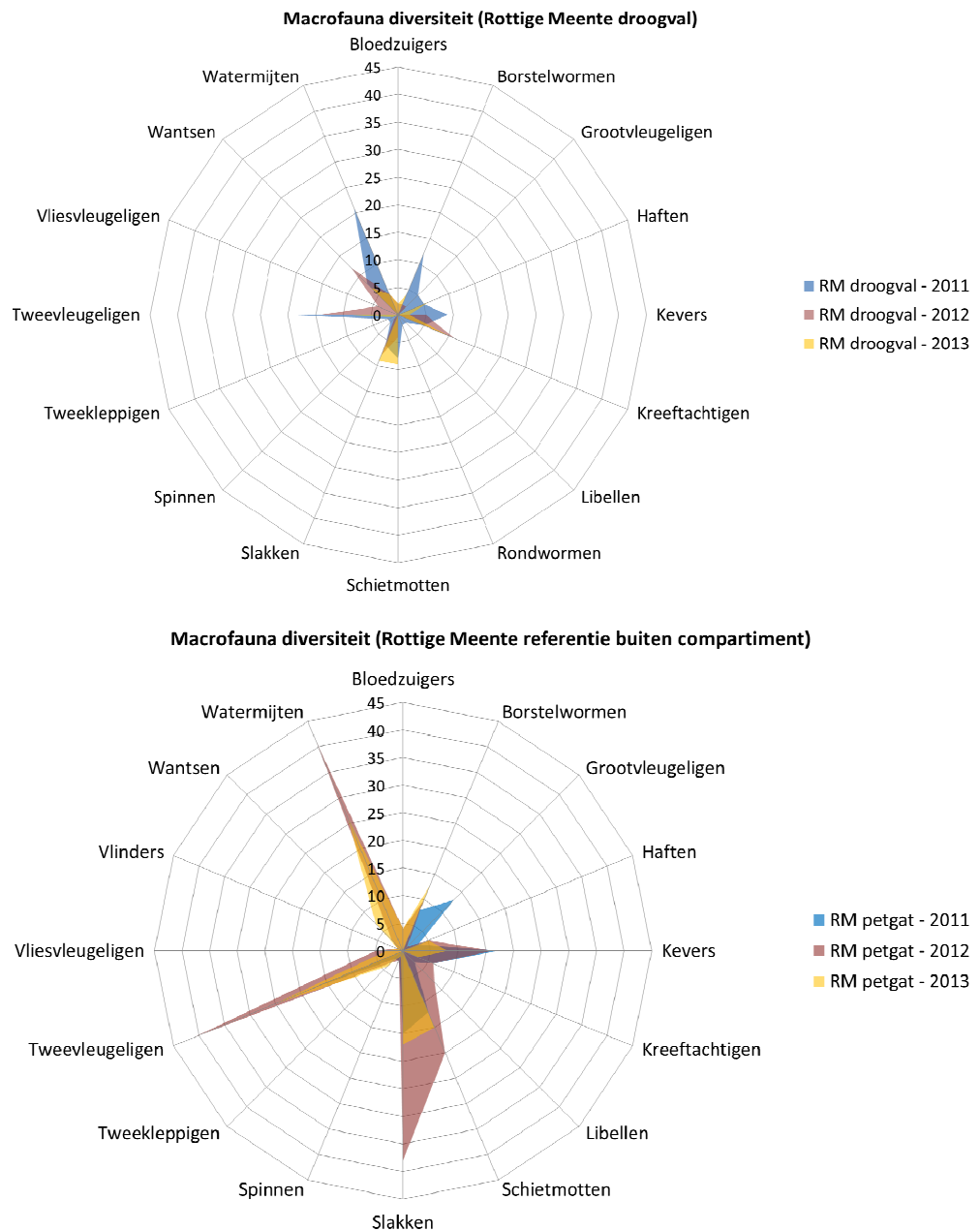


5.4.1 ROTTIGE MEENTE

DIVERSITEIT EN ABUNDANTIE

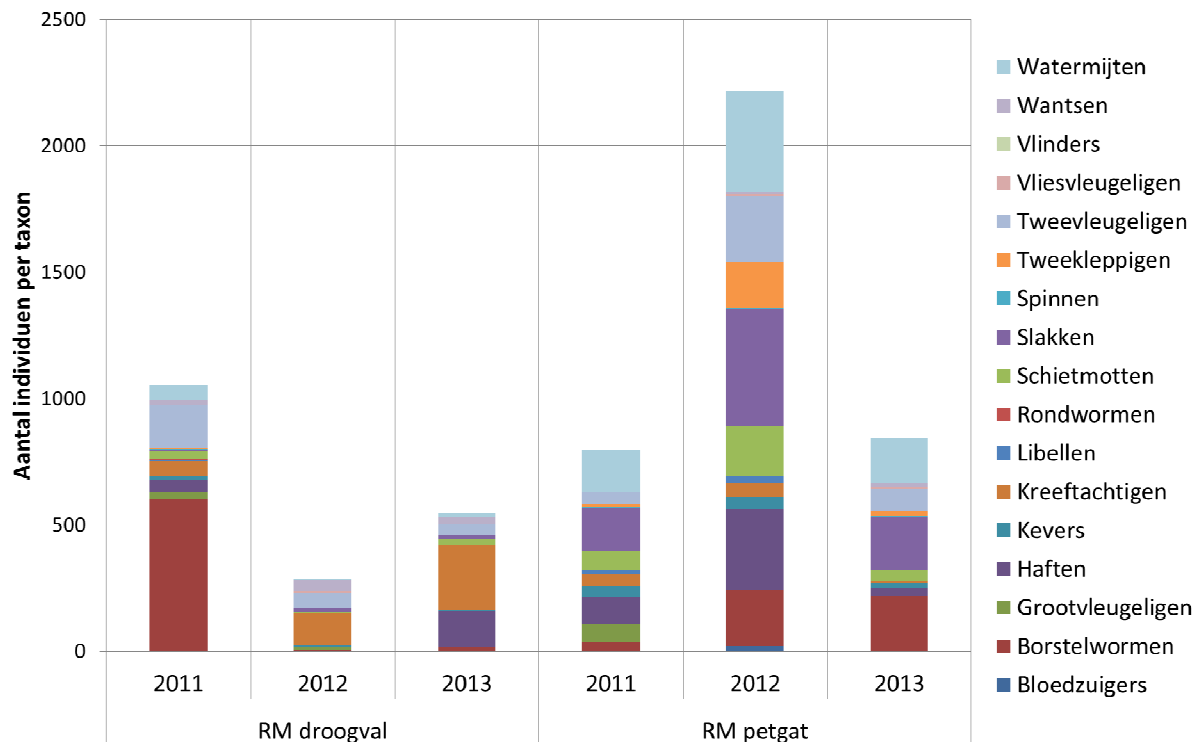
Voor de droogval was de samenstelling van de macrofaunagemeenschap in zowel het droogvalcompartiment als in de referentie buiten het compartiment vergelijkbaar (figuur 5.29). Na de droogval traden echter grote verschillen op in zowel de soortensamenstelling (figuur 5.29) als de abundantie (figuur 5.30). In het droogvalcompartiment nam in het eerste jaar na droogval het aantal taxa af. Tegelijkertijd werd in de referentie buiten het compartiment een toename van het aantal taxa waargenomen. De toename was vooral toe te schrijven aan een stijging van het aantal soorten slakken, tweevleugeligen en watermijten. In 2013, het tweede jaar na droogval, bleef de diversiteit in het droogvalcompartiment gelijk. In de referentie nam de diversiteit af en werd vergelijkbaar met het beeld van 2011.

FIGUUR 5.29 DIVERSITEIT MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE DIVERSITEIT IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT EN REFERENTIE BIJEN HET COMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE IN DE PERIODE 2011-2013



Voor wat betreft het aantal individuen per taxon viel op dat in het tweede jaar na droogval de talrijkste taxa werden gevormd door haften en kreeftachtigen (figuur 5.30). Dit gaf tevens een geheel ander beeld dan in de referentie buiten het compartiment, waar de meeste individuen werden gevonden in de taxa borstelwormen, slakken en watermijten.

FIGUUR 5.30 ABUNDANTIE MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE ABUNDANTIES IN HET DROOGVALCOMPARTIMENT EN REFERENTIE BIJEN HET COMPARTIMENT IN DE ROTTIGE MEENTE IN DE PERIODE 2011-2013



SOORTEN

In het droogvalcompartiment werd een afname van borstelwormen waargenomen. Voor de droogval betrof dit vooral het waterdraakje of waterslangetje (*Stylaria lacustris*). Deze borstelworm wordt voornamelijk in stilstaande wateren aangetroffen. Na de droogval werden geen exemplaren meer aangetroffen en in het tweede jaar slechts enkele exemplaren.

In de referentie buiten het compartiment was *Stylaria lacustris* zowel voor als na de droogval aanwezig.

Na de droogval werden in het droogvalcompartiment geen haften meer waargenomen. In het tweede jaar na droogval werden in het droogvalcompartiment twee nieuw gevestigde soorten haften aangetroffen: *Cloeon simile* en *Cloeon dipterum*. *C. dipterum* is een algemene soort van sloten, vijvers en langzaam stromende wateren. De soort leeft als nimfe tussen waterplanten en oevervegetatie. *C. simili* is minder algemeen en wordt aangetroffen in wateren met lage nutriëntgehalten.

In het droogvalcompartiment werden na de droogval dezelfde soorten kreeftachtigen, maar in hogere aantallen aangetroffen. De zoetwaterpissebed (*Asellus aquaticus*) was hierbij dominant in het droogvalcompartiment. In de referentie buiten het compartiment kwamen in 2011 en 2012 ook kreeftachtigen voor. Hier was echter de soort *Proasellus meridianus* dominant. Beide betreffen meer algemene soorten die in veel Nederlandse wateren worden aangetroffen. In 2013 werden buiten het compartiment vrijwel geen kreeftachtigen meer aangetroffen.

In het droogvalcompartiment werd na droogval een afname van het aantal schietmotten waargenomen, terwijl in de referentie buiten het compartiment juist sprake was van een toename in zowel aantallen als aantal soorten. In 2013 bleken nog steeds minder schietmotten aanwezig te zijn in het droogvalcompartiment, maar leek wel enig herstel op te treden. De soort *Phryganea grandis* werd na de droogval voor het eerst aangetroffen (1 exemplaar). In 2013 waren dit 10 exemplaren. Het betreft de grootste schietmot uit Nederland en België. De larven worden veelal aangetroffen in stilstaand en langzaam stromend water met veel watervegetatie. De larven maken kokers van rechte stukjes waterplanten.

De soorten *Agrypnia pagetana* en *Triaenodes bicolor* worden in vergelijkbare habitats aangetroffen. Deze soorten werden voor de droogval nog wel in het droogvalcompartiment aangetroffen, maar in de jaren erna niet meer.

Buiten het droogvalcompartiment werden in 2012 beduidend meer (aantallen en soorten) slakken aangetroffen dan in het droogvalcompartiment. De droogval heeft niet zo zeer een negatief effect, maar in vergelijking met de referentie buiten het compartiment ook niet positief. Buiten het droogvalcompartiment was de geelvlekslak (*Marstoniopsis scholtzi*) dominant, terwijl deze in het droogvalcompartiment niet werd aangetroffen. Deze slak wordt vooral in de oeverzone van stilstaande of zwak stromende wateren met veel plantengroei aangetroffen. De vlakke schijfhoren (*Hippeutis complanatus*) en het riempje (*Bathyomphalus contortus*) werden in het droogvalcompartiment niet aangetroffen, maar in de referentie erbuiten wel. Van deze soorten is bekend dat deze niet voorkomen in (periodiek) droogvallende wateren. Hetzelfde gold voor de minder algemene Platte pluimdrager (*Valvata cristata*) die juist wel bestand is tegen droogvallende wateren. De bronblaashorenslak (*Physa fontinalis*) is een algemene soort van plantenrijke sloten. Ook deze soort werd wel in de referentie, maar niet in het droogvalcompartiment aangetroffen.

In het droogvalcompartiment werden voor en na de droogval geen schelpen aangetroffen. Dit komt echter niet overeen met andere waarnemingen. Kort na het afpompen werden veel grote schelpdieren en tevens treksporen van schelpen aangetroffen. Mogelijk dat grotere schelpen zich voor langere tijd dieper in het sediment hebben teruggetrokken.

Na de droogval nam de meest dominante soort tweevleugelige *Endochironomus albipennis* sterk af tot slechts enkele exemplaren. In 2013 werd deze soort niet meer aangetroffen in het droogvalcompartiment, terwijl deze in de referentie buiten het compartiment nog wel voorkwam.

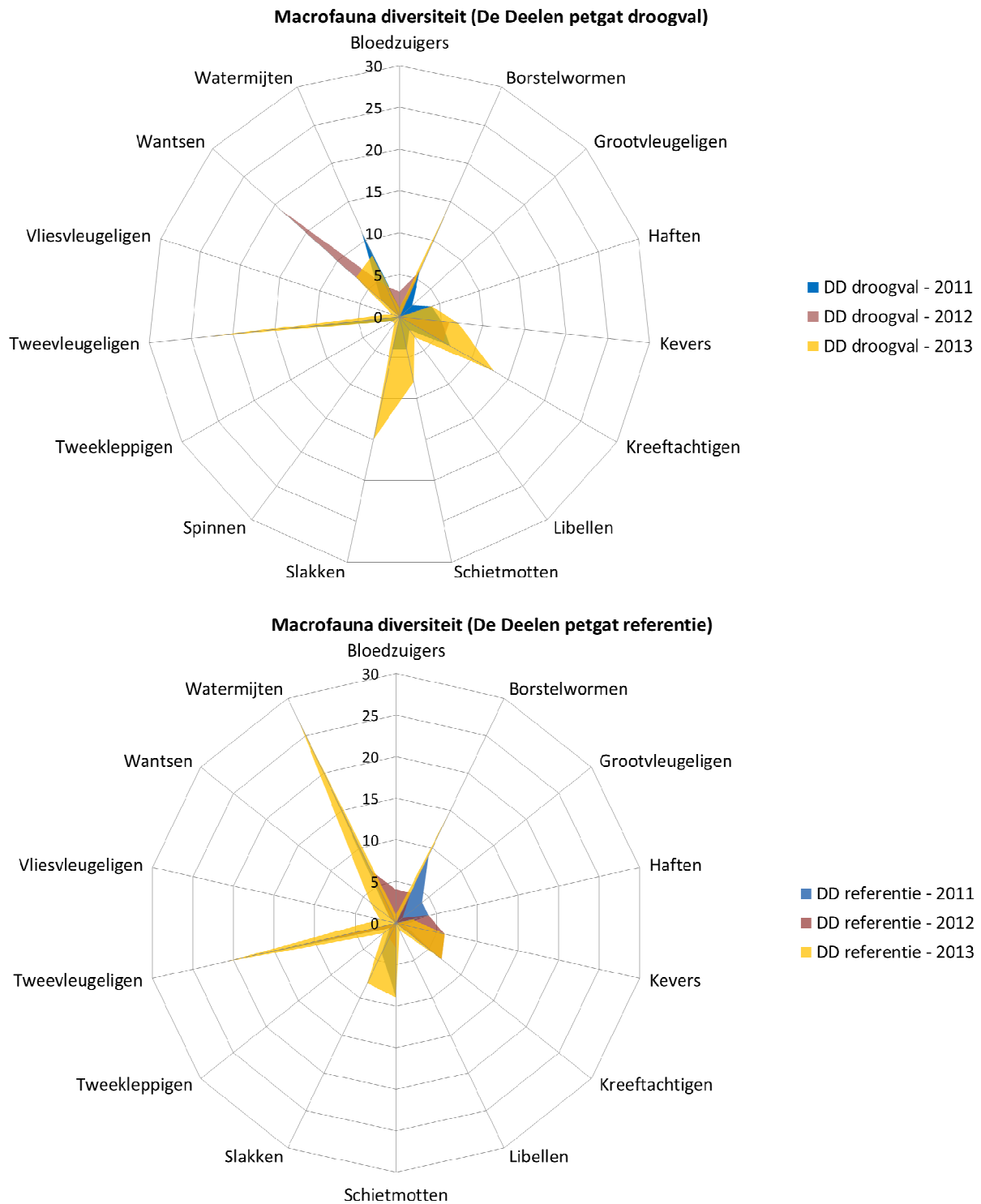
5.4.2 DE DEELLEN

DIVERSITEIT EN ABUNDANTIE

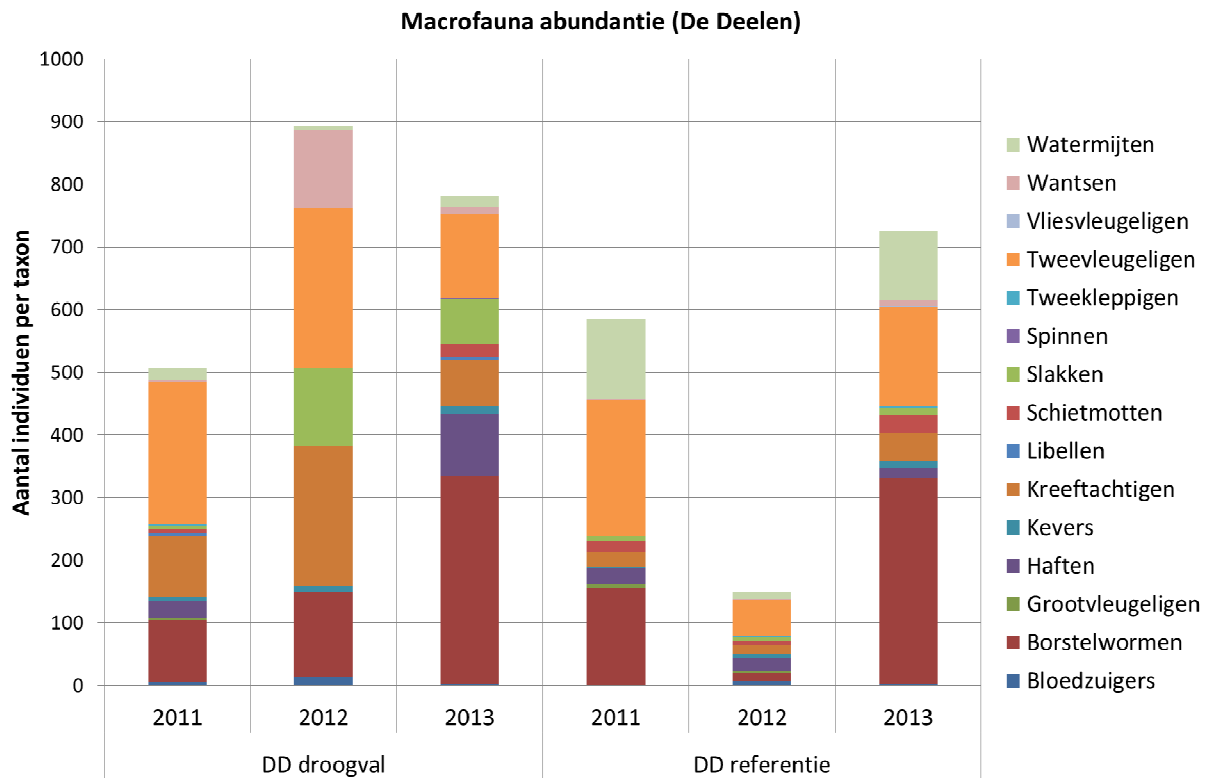
In De Deelen waren de verschillen minder groot dan in de Rottige Meente. Grofweg bleven dezelfde taxa aanwezig. Na droogval werd vooral een toename van tweevleugeligen, wantsen en slakken in het droogvalcompartiment aangetroffen (figuur 5.31). In de referentie was juist sprake van een afname van het aantal taxa. Met name slakken, steltmuggen, schietmotten en watermijten waren in het tweede jaar na droogval afgenomen.

In 2013 waren de verschillen tussen het petgat met droogval en de referentie klein. Alleen de hoeveelheden slakken en slijkvliegen waren hoger in het petgat met droogval.

FIGUUR 5.31 DIVERSITEIT MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE DIVERSITEIT IN HET PETGAT MET DROOGVAL EN DE REFERENTIE IN DE DEELLEN IN DE PERIODE 2011-2013



FIGUUR 5.32 ABUNDANTIE MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE ABUNDANTIE IN HET PETGAT MET DROOGVAL EN DE REFERENTIE IN DE DEELLEN IN DE PERIODE 2011-2013



SOORTEN

In het droogvalcompartiment nam de abundantie van de haft *Caenis robusta* in het tweede jaar na droogval toe. Voor en direct na de droogval was deze soort ook aanwezig maar in veel kleinere hoeveelheden. Verder werden er voor wat betreft diversiteit en abundantie van haften geen verschillen met de referentie gemeten.

De Amerikaanse vlokreeft (*Crangonyx pseudogracilis*) nam in het eerste jaar na de droogval sterk toe. In het tweede jaar na droogval was echter sprake van een forse afname. De zoetwaterpissebed (*Asellus aquaticus*) nam tot en met het tweede jaar na de droogval af. In de referentie was juist sprake van een stijging.

In het referentiepetgat in De Deelen werd slechts 1 soort libelle aangetroffen. In het petgat met droogval waren dit 2 soorten voor en 2 soorten na de droogval, waaronder de roodoogjuffer (*Erythromma najas*). Deze libel komt voor in verschillende soorten stilstaande en zwak stromende wateren met een uitgebreide drijvende watervegetatie. De grote roodoogjuffer deelt zijn habitat met de kleine roodoogjuffer, maar heeft een meer uitgesproken voorkeur voor planten met grote drijfbladeren, zoals gele plomp en witte waterlelie.

Na de droogval kwamen beduidend meer slakken voor in het petgat met droogval. Dit was voor een belangrijk deel toe te schrijven aan de stijging van de abundantie van de ovale poel­slak (*Radix ovata*). *R. ovata* kan het hele jaar door gevonden worden in veel verschillende typen watersystemen. De soort leeft op verschillende soorten substraat zoals planten, stenen, zand en de slibbige waterbodem. In 2013 neemt de abundantie iets af, maar zijn de hoeveelheden nog steeds veel hoger dan voor de droogval. Er bleek bovendien een belangrijk verschil met de referentie, waar de diversiteit aan slakken lager was.

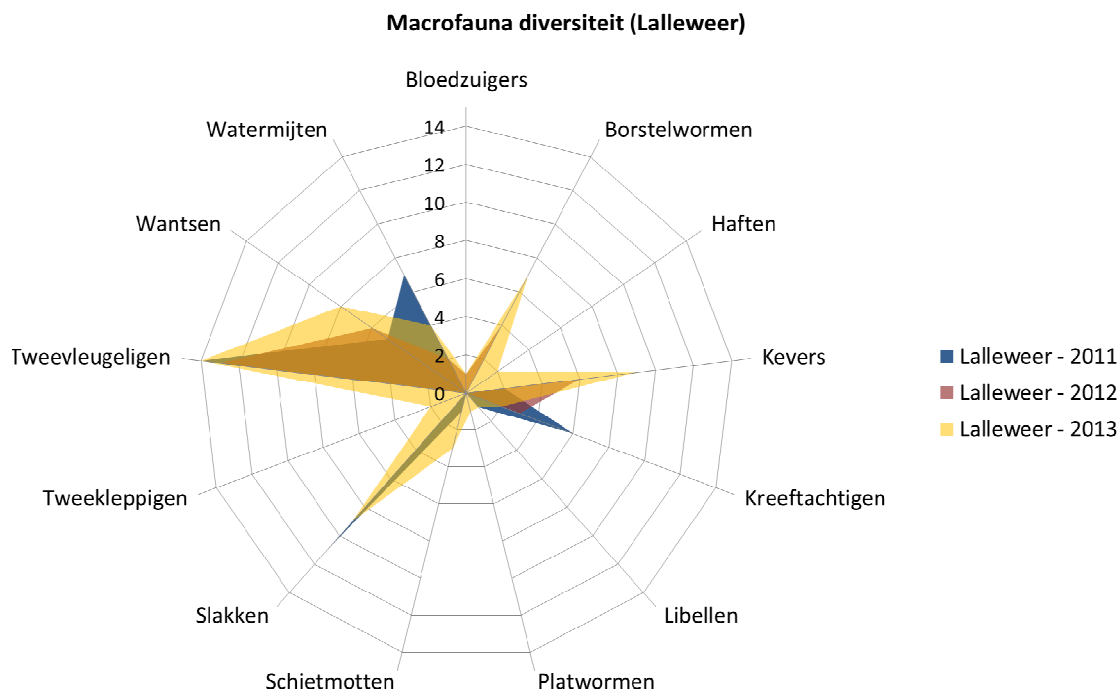
In het droogvalcompartiment werden voor en na de droogval geen schelpen aangetroffen. Dit komt echter niet overeen met andere waarnemingen. Kort na het afpompen werden veel grote schelpdieren en tevens treksporen van schelpen aangetroffen. Mogelijk dat grotere schelpen zich voor langere tijd dieper in het sediment hebben teruggetrokken.

5.4.3 LALLEWEER

DIVERSITEIT EN ABUNDANTIE

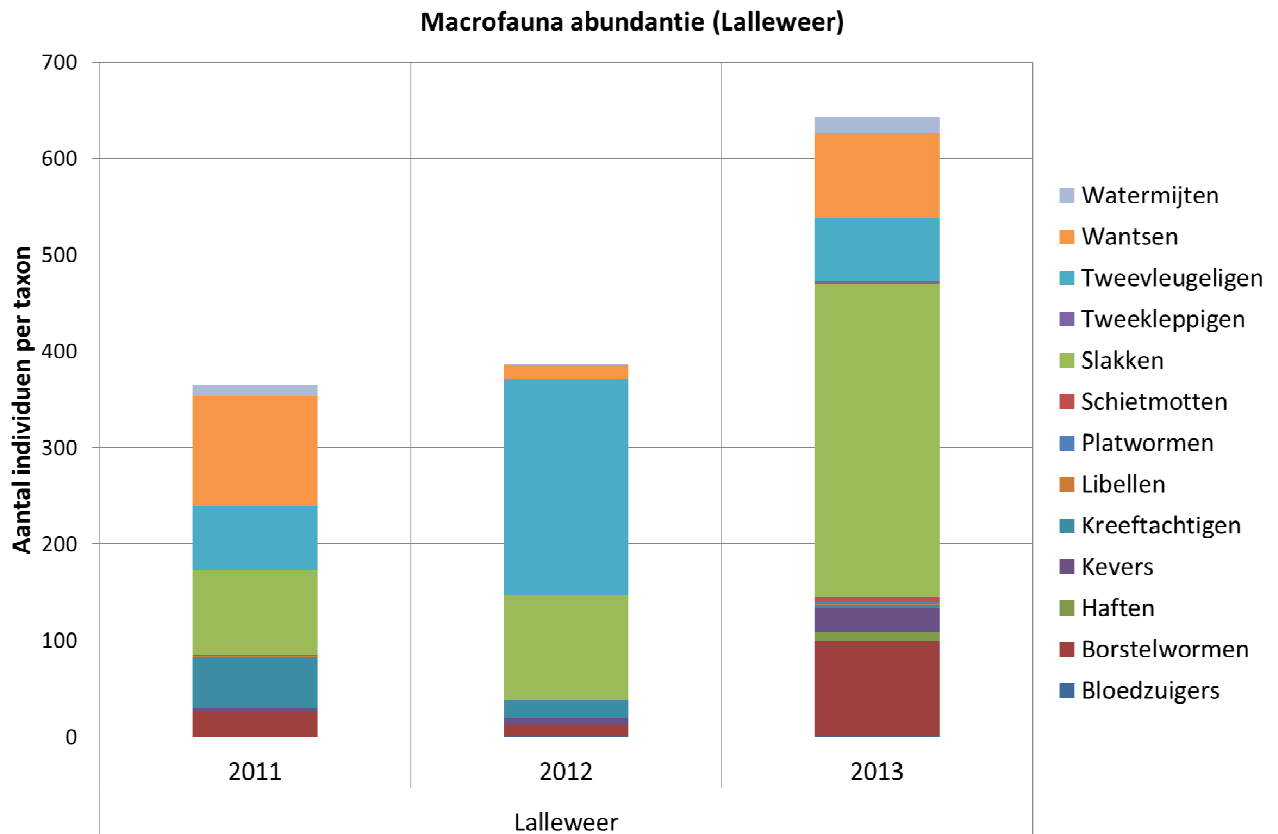
De diversiteit nam in Lalleweer licht toe in zowel het eerste als tweede jaar na de de droogval (figuur 5.33). In het eerste jaar na de droogval werd een forse toename van het aantal tweevleugeligen waargenomen en een kleine toename van het aantal individuen per soorten en het aantal soorten slakken. In het tweede jaar na de droogval waren een aantal soorten slakken sterk toegenomen. Het aantal individuen per soort en aantal soorten borstelwormen bleef in Lalleweer voor en na de droogval ongeveer gelijk (figuur 5.34). Opvallend was dat voor de droogval nog steltmuggen werden aangetroffen, maar in de jaren na de droogval geheel niet meer. In 2013 bleken er meer klassen (als taxonomische eenheid) aanwezig te zijn dan voor de droogval. Het ging hierbij om bloedzuigers, haften, platwormen en tweekleppigen.

FIGUUR 5.33 DIVERSITEIT MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE DIVERSITEIT IN DE KLEIPLAS LALLEWEER IN DE PERIODE 2011-2013



FIGUUR 5.34

ABUNDANTIE MACROFAUNA. OVERZICHT VAN HET VERLOOP VAN DE ABUNDANTIE IN DE KLEIPLAS LALLEWEER IN DE PERIODE 2011-2013



SOORTEN

Na de droogvalperiode nam het aantal kevers in Lalleweer toe. In 2013 was de diksprietwaterroofkever (*Noterus clavicornis*) nieuw gevestigd en tevens het talrijkst. Deze soort wordt vaak aangetroffen in plantenrijke wateren. Zowel adulten als larven houden zich op tussen vegetatie of afgestorven plantenresten.

De droogval leidde in Lalleweer tot een sterke afname van de kreeftachtigen waaronder de zoetwaterpissebed (*Assellus aquaticus*) en de tiggervlokreeft (*Gammarus tigrinus*). Beide komen algemeen voor in zowel stilstaande als stromende wateren en zowel in plantenrijke als plantenarme wateren.

Voor de droogval werd in Lalleweer één libellensoort aangetroffen, de gewone oeverlibel (*Orthetrum cancellatum*). De soort komt voor in zowel plantenrijke als wat plantenarmere watersystemen. Na de droogval werd deze soort niet meer aangetroffen.

Het aantal en de diversiteit van slakken nam in Lalleweer sterk toe na de droogval. Met name de vijverpluimdrager (*Valvata piscinalis*) nam sterk in aantal toe (van 2 voor de droogval, naar 229 in 2013). Het was opvallend dat zich na de droogval nieuwe soorten vestigden, die grotendeels afwezig waren in 2013. Hierbij maakten deze soorten plaats voor andere slakken. De Witte schijfhorenslak (*Gyraulus albus*) en de vijverpluimdrager (*V. piscinalis*) lijken te profiteren van de droogval en/of plantenontwikkeling. Deze soorten zijn beide zeer algemeen voorkomend en stellen weinig eisen aan hun omgeving. Beide worden zowel tussen en op watervegetatie aangetroffen als op kaal bodemsubstraat.

De tweevleugeligen namen fors toe in het jaar na de droogval. Het ging hier echter vooral om één soort namelijk *Psectrocladius. gr sordidellus/limbatellus*. Dit is een dansmug die met name wordt aangetroffen in zoet eutroof en groter stilstaand water op zowel bodemsubstraat als vegetatie. In het tweede jaar na droogval waren er netto meer soorten aanwezig, maar minder in abundantie.

De belangrijkste reden hiervoor is het verdwijnen van de hiervoor genoemde soorten. Een duidelijke verklaring voor deze verschuivingen kan niet worden gegeven.

Het aantal soorten wantsen was in het tweede jaar na droogval verdubbeld. Opvallend was dat de soorten van voor de droogval in het tweede jaar na droogval verdwenen en niet meer werden aangetroffen. Er was dus sprake van een hogere soortenrijkdom met verschuiving van soorten. De duikerwantsen *Sigara falleni* en *Sigara iactans* waren reeds voor de droogval aanwezig en namen tot en met 2013 in aantal toe.

6

CONCLUSIES

In het project ‘Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel’ werden de technische uitvoerbaarheid en de effecten op waterkwaliteit onderzocht. Het onderzoeksproject werd gestuurd vanuit onderzoeksvragen. Na afloop van de eerste onderzoeksfase konden verschillende vragen beantwoord worden. Echter, de effecten op wat langere termijn waren onbekend. In de literatuur werd beschreven dat bepaalde effecten pas vanaf het tweede jaar na droogval optreden. Dit was met name van toepassing op de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Om de effecten van tijdelijke droogval beter inzichtelijk te krijgen werd in 2013 vervolgonderzoek uitgevoerd.

De onderzoeksvragen die aan het begin van de tweede onderzoeksfase werden gesteld waren:

1. Ecologie en waterkwaliteit:
 - A. *Wat is het effect van tijdelijke droogval op de fysisch-chemische en biologische waterkwaliteit?*
 - B. *Hoe moet de maatregel tijdelijke droogval worden uitgevoerd in termen van duur en periode?*

Voor de vervolgmonitoring 2013 werden meer specifiek de volgende vragen gesteld:

- Zijn de waargenomen effecten van tijdelijke droogval in het tweede jaar na de droogvalperiode nog aanwezig?
- Vindt er in De Deelen alsnog ontwikkeling van ondergedoken waterplanten plaats?

Na één jaar langer monitoren kunnen de volgende conclusies worden getrokken, die tevens de beantwoording van de onderzoeksvragen vormen:

Tijdelijke droogval kan een zeer positief effect hebben op de biologische en fysisch-chemische waterkwaliteit. Droogval heeft in sommige wateren nauwelijks of zelfs een negatief effect. De onderzoekslocaties in de Rottige Meente en De Deelen betroffen beide petgaten in een laagveengebied. De verschillen in effecten zijn echter zeer groot. In de Rottige Meente waren de positieve effecten onder meer het kiemen van kranswieren en vastlegging van fosfaat. Daar tegenover groeiden in De Deelen helemaal geen ondergedoken waterplanten en kwam er zelfs extra fosfaat vrij. Deze onderzoekslocaties verschilden al sterk bij aanvang. De fosforconcentratie van het oppervlaktewater in de Rottige Meente was ongeveer vijf keer lager dan de concentratie in De Deelen. Hierdoor kon een kleine verbetering in het doorzicht al leiden tot de vestiging van soorten, zonder dat er gelijk dominantie van algen optrad. Een groot verschil zat eveneens in het sediment. Het fosforgehalte van de waterbodem was in beide petgaten ongeveer gelijk, maar de waterbodem in de Rottige Meente bevatte ongeveer twee keer zoveel ijzer (Westendorp (red.), 2012), waardoor fosfaat beter vastgelegd kon worden.

De droogval leidde in beide gebieden tot uitspoeling van sulfaat uit de oevers. Het verschil in sulfaatconcentratie dat hierdoor ontstond met de situatie voorafgaand aan de droogval, was in De Deelen meer dan vier keer zo groot als in de Rottige Meente. Hierdoor kon er in De Deelen weer extra fosfaat vanuit de waterbodem in het oppervlaktewater terecht komen na reductie van sulfaat, terwijl er in de Rottige Meente juist netto fosfaat werd vastgelegd.

Het uitblijven van vegetatie-ontwikkeling in De Deelen zorgde ook voor een minder positief fysisch-chemisch effect. In de Rottige Meente en zeker ook in Lalleweer zorgde de aanwezigheid van vegetatie voor minder golfslag en een betere vastlegging van deeltjes, waardoor het water ook na het eerste jaar helder bleef. In De Deelen was uitbreiding van oeverplanten ongunstig door de overwegend steile oevers. In de Rottige Meente vond uitbreiding vooral plaats waar de oever van de legakker wat was uitgezakt en oeverplanten eenvoudig de drooggevallen waterbodem konden bereiken.

In de kleiplas bij Lalleweer zorgden de flauwe oevers voor een uitbreiding van enkele meters van de oeverzone. De oeverplanten hebben ook via zuurstofverlies in hun wortels een positief effect op het in stand houden van de vastlegging van fosfaat die direct na de droogval optreedt.

FYTOPLANKTON

Tijdelijke droogval heeft verschillende duidelijke effecten op het fytoplankton. De hoeveelheid of abundantie van het fytoplankton is in het jaar na de droogval (2012) aanmerkelijk lager dan daarvoor. In het tweede jaar na droogval vindt enige verhoging plaats, maar gemiddeld genomen is het biovolume op alle locaties lager dan voor de droogval.

De soortensamenstelling van het fytoplankton veranderde sterk na de droogval. In het tweede jaar na de droogval trad enig herstel op, maar bestonden nog grote en kleine verschillen met de referentiewateren. Het aantal soorten sieraalgen in de laagveenwateren was het grootst in het tweede jaar na droogval. Na de droogval namen vooral de soorten toe die gevoelig zijn voor begrazing of goed bestand zijn tegen een hoge lichtinstraling. In de Rottige Meente was bovendien sprake van een toename van soorten die aangepast zijn aan een lage(re) nutriëntenbeschikbaarheid.

Tijdelijke droogval leidt tot een afname en soms zeer sterke afname van het aandeel potentieel toxische blauwalgen. In het tweede jaar na droogval namen de hoeveelheden iets toe, maar was er nog steeds sprake van (veel) lagere concentraties ten opzichte van de periode voor de droogval.

MACROFAUNA

Op twee van de drie droogvallocaties nam het aantal taxa (soorten en hogere functionele groepen) na de droogval toe. Alleen in de Rottige Meente was sprake van een afname van de diversiteit.

Na de droogvalperiode nam het aantal individuen (abundantie per taxon) in De Deelen en Lalleweer toe, terwijl in de Rottige Meente sprake was van een afname. Zo bleek in de Rottige Meente de grootste afname zich voor te doen bij de borstelwormen. In De Deelen werd juist een toename van het aantal borstelwormen waargenomen. In Lalleweer namen vooral slakken toe. De tijdelijke droogval is duidelijk van invloed op macrofauna. De effecten spelen zowel op hoger taxonomisch niveau (klassen) als op soortniveau. Het lijkt er sterk op dat in de

plas Lalleweer twee jaar na de droogval nog steeds een successie optreedt in de macrofauna levensgemeenschappen. Bepaalde soorten lijken te profiteren van een toegenomen plantenrijkdom of gebrek aan predatie (door vissen).

6.1 EFFECTEN PER LOCATIE

ROTTIGE MEENTE

In de Rottige Meente werd het water door droogval helderder, met minder algenbloei en minder fosfaat in het oppervlaktewater. Deels hangt de helderheid daarnaast waarschijnlijk samen met een verminderde opwerveling van deeltjes door een verminderde golfslag in het compartiment. Tijdens de droogvalperiode konden helofyten zoals riet en kleine lisdodde kiemen op de drooggevallen bodem. Deze soorten hielden deels ook stand nadat het waterniveau weer was gestegen. In het voorjaar na de droogval kiemden er ook krans- en glansalgen. Deze waren ook in 2013 abundant aanwezig. Hierin ligt een groot verschil met het referentiecompartiment dat niet droogviel. Ook hier werd het water helder door verminderde golfslag, maar dit leidde meteen tot dominantie van smalle waterpest, waarop in het tweede jaar na droogval ook veel flab ontstond. Krans- en glansalgen ontbraken in dit niet-drooggevallen compartiment. Op de oevers leidde de droogval tot tijdelijke verzuring.

In het poriewater van het sediment van het droogvalcompartiment waren de fosforconcentraties wat lager dan in de controlesituaties, terwijl de ijzerconcentratie in het poriewater ongeveer gelijk bleef. Hierdoor trad er na de droogval waarschijnlijk minder nalevering van fosfaat naar het oppervlaktewater op (Poelen et al., 2012; Geurts et al., 2008).

De droogval heeft in de Rottige Meente een positief effect gehad op de fosfaatvastlegging, de helderheid en de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten en helofyten.

DE DEELLEN

In De Deellen had de droogval een groot effect op chemische processen in de oevers. Door oxidatie van (ijzer)sulfiden verzuurden de oevers sterk en kwam er veel sulfaat vrij. Dit leidde na afloop van de droogvalperiode tot een zeer sterke verhoging van de sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater. In het eerste jaar na droogval was het drooggevallen petgat veel helderder dan daarvoor. Er ontstond hierdoor zelfs een deel van het jaar bodemzicht. Dit kwam door een flinke afname in algengroei. Droogval leidde niet tot het kiemen van aquatische soorten. Wel kiemden er wat helofyten in de plas, zoals kleine lisdodde. Deze planten konden zich na afloop van de droogval niet handhaven. Ondanks het verbeterde doorzicht in het jaar na de droogval, ontwikkelden zich geen ondergedoken waterplanten. Exclosures (afgeschermdere proefvakken) wezen uit dat dit niet aan vraat door bijvoorbeeld vogels lag (Westendorp (red.), 2012). Aan het eind van het seizoen werd veel draadalg op de bodem van de plas aangetroffen, wat op sommige plaatsen mogelijk kieming van vegetatie heeft bemoeilijkt.

In het tweede jaar na de droogval nam het doorzicht af en de algengroei weer toe (Bijkerk et al., 2013). Tegelijk namen ook de fosfaatconcentraties in het oppervlaktewater toe tot waarden ver boven die in het referentiepetgat. De sulfaatconcentratie in het oppervlaktewater, die in 2012 sterk verhoogd was door uitspoeling uit de oevers, nam weer af tot de oorspronkelijke concentratie. Mogelijk heeft deze verhoogde sulfaatconcentratie geleid tot meer sulfaatreductie in de bodem, waardoor de sulfaatconcentratie in het water is afgenomen.

LALLEWEER

In de plas bij Lalleweer leidde de droogval tot een veel beter doorzicht en tot een betere vastlegging van fosfaat in het sediment. Tijdens de droogvalperiode werden gereduceerd ijzer en ijzersulfiden geoxideerd, waardoor veel sulfaat vrijkwam. Twee jaar na de droogval hebben de sulfaatconcentraties weer de waarde van voor de droogval. Dit betekent hier niet dat al het vrijgekomen sulfaat weer gereduceerd is. Aan de hogere ijzer- en lagere fosforconcentraties in het bodemvocht is te zien dat de redoxpotential twee jaar na de droogval nog steeds verhoogd is. De afname van de sulfaatconcentratie is waarschijnlijk grotendeels te verklaren door een verdunningseffect. De plas heeft zich langzaam gevuld met regenwater. Aan het eind van de meetperiode van 2013 was het waterniveau nog steeds lager dan voorafgaand aan de droogval. De zomer van 2013 was dan ook zeer droog.

Tijdens de droogval zijn er veel helofyten gekiemd. De flauwe oevers van de plas maakten de uitbreiding (ook klonaal) van helofyten goed mogelijk. Naast helofyten kiemde ook massaal goudzuring die eenzelfde effect had op het water als de andere helofyten. De helofyten zorgden na de droogval voor een verminderde golfslag, waardoor het water in het ondiepe deel van de plas tussen de helofyten zeer helder werd. Daarnaast brengen sommige soorten helofyten met hun wortels zuurstof in de bodem, waardoor fosfaat beter aan ijzer wordt vastgelegd. Mogelijk verklaart dit zuurstofverlies uit de wortels waarom de redoxpotential twee jaar na droogval nog steeds hoger was dan voor de droogval. De droogval zorgde ook direct voor een beter doorzicht, doordat kleideeltjes sterker aan elkaar bleven hangen en minder snel opwervelden. Door het goede doorzicht konden zich opeens ook veel aquatische plantensoorten vestigen, die voor de droogval nagenoeg ontbraken. Het verbeterde lichtklimaat en de verminderde golfslag zorgden in de van nature eutrofe plas echter ook voor een geschikt milieu voor ontwikkeling van flab. Hierdoor was in een deel van het jaar een aanzienlijk deel van de plas door flab bedekt. In de toekomst zal moeten blijken of de waterplanten en de flab naast elkaar zullen blijven bestaan of dat een van beide zal gaan domineren.

6.2 AANBEVELINGEN

1. Tijdelijke droogval kan voor watersystemen worden ingezet als een maatregel om de waterkwaliteit te verbeteren. De effectiviteit van de maatregel kan tot op zekere hoogte vooraf worden ingeschat. Aanbevolen wordt om de maatregel mee te nemen in de herstel- en verbeteropgaves van (water)beheerders in zowel stedelijk als landelijk gebied.
2. Tijdelijke droogval is van grote invloed op fytoplankton en macrofauna. In deze studie lag het zwaartepunt op biogeochemie en ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Aanbevolen wordt om de effecten op macrofauna en fytoplankton nog meer inzichtelijk te krijgen.
3. Aanbevolen wordt om de onderzoekslocaties ook in de toekomst te blijven volgen. Dit kan minimaal worden ingestoken door de vegetatieontwikkeling en enkele waterkwaliteitsparameters te meten.

7

LITERATUUR

ATKB, 2011. Afvissen 4 wateren voor project "Droogval". J. Kampen.
Rapportnummer 20110550/rap001

Geurts J.J.M., A.J.P. Smolders, A.M. Banach, J.P.M.V. De Graaf, J.G.M. Roelofs & L.P.M. Lamers, 2010.

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.

Poelen M., L.J.L Van den Berg, A.J.P Smolders, N. Jaarsma en L.P.M. Lamers (2011).

WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) - Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT). Tussenrapportage 2011. Onderzoekcentrum B-ware, Nijmegen

Westendorp P.J., R. Loeb, E. Lucassen, G. Roskam, M. Tannhauser, F. Ebbens & F. Smolders, 2012a. Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel. Hoofdrapport. Stowa-rapport 2012-38 Stowa, Amersfoort.

Westendorp P.J., R. Loeb, E. Lucassen, G. Roskam, M. Tannhauser, F. Ebbens & F. Smolders, 2012b. Tijdelijke droogval als waterkwaliteitsmaatregel. Achtergrondrapport. Stowa-rapport 2012-38 Stowa, Amersfoort.

Wiertsema en partners, 2012. Monitoringswerkzaamheden, geotechnisch grond- en laboratorium-onderzoek project Watermozaïek. Rapportnummer VN-53476-1

BIJLAGE I

TABEL 1.1 RESULTATEN VEGETATIEOPNAMEN VOLGENS TANSLEY (WETTERSKIP FRYSLAN)

	DD droogval			DD referentie			RM droogval			RM referentie			RM WF locatie		
	1785			1786			1784			1787			0149		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
bedekking drijfbladplanten	1	1	0	1	1	1	1	1	5	1	5	10	30	40	20
bedekking emers	1	1	1	1	1	1	1	1	10	1	0	1	1	1	1
bedekking draadalgen	1	5		0	0		0	0	30	0	40	25	1	1	
bedekking kroos	1	1	1	0	1	1	0	0	2	0	0		1	1	
bedekking submers	0	0	0	0	0	0	1	75	50	30	99	50	1	5	2
bedekking totaal	1	5	1	1	1	1	1	75	85	30	99	60	30	40	22
Submers															
Ceratophyllum demersum															1
Chara virgata								7	9						
Elodea nuttallii								3	3	5	9	9	2	2	4
Lemna trisulca													1		
Nitella flexilis								7	3						2
Potamogeton compressus													1		
Potamogeton lucens							2	3		2					
Potamogeton mucronatus															
Potamogeton obtusifolius										4			2	2	3
Drijvend															
Callitriche sp.				2											
Glyceria fluitans			1		2			1							
Hydrocharis morsus-ranae	1			2	2	2	2	2		2			3	2	2
Lemna gibba		1			1										
Lemna minor	1	2	1		2	2					1		3		
Nuphar lutea								1		3	3	3	5	5	5
Nymphaea alba													2		2
Persicaria amphibia		1	2	2	2	2	1								
Potamogeton natans								2	3						
Riccia fluitans			1			2									
Spirodela polyrhiza	1												1		
Emers															
Alisma plantago-aquatica	1			1			1	1	2				1		
Butomus umbellatus								1							
Carex acuta		2													
Carex paniculata	3	3	3	2	3	2	1	2	1				2	2	
Carex pseudocyperus	1		1	2	2		2		1		2	2	1		2
Carex riparia						1	1		1						
Eleocharis palustris				1	2	2			1						
Iris pseudacorus	2	2	2	1	2	2	2	2	1		1	1	2		3
Juncus subnodulosus							2		2						
Lysimachia thyriflora	1	1		2	2	1	1	1					2	1	2
Phragmites australis		1	3		2		3	2	3	1	2		2	3	2

Rorippa amphibia	1	1	2	1	2	2	1							1		
Rorippa microphylla	1													1		
Rumex hydrolapathum	3	2	2	1	2	2	1		1			1	3	1	2	
Solanum dulcamara	2	2	2	2	3	2	2	2	2			1	3	2	2	
Sparganium emersum								1	2							
Sparganium erectum														1	2	
Thelypteris palustris														5	7	5
Typha angustifolia								2	3				3	3	2	
Typha latifolia		1		2	2	2		1	3				2		2	
Oever																
Agrostis stolonifera	1	3	2			2					3					
Angelica sylvestris	1	1	2		1							1	2			
Bidens cernua			3	3	1											
Bidens frondosa	2		2		1		2	1	1		1		1			
Calamagrostis canascens		3			5			2			2					
Convolvulus sepium	2		2			2	1		2				2		2	
Carex disticha									2							
Carex nigra							1		1							
Epilobium hirsutum			3	1		2	1						2	1	2	
Epilobium sp	1			1												
Eupatorium cannabinum	1	3	2	2		2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	
Galium palustre	1		1	1	1	2	1							1		
Hydrocotyle vulgare					1		1	1								
Juncus acutifloris								2								
Juncus articulatus					2											
Juncus bufonius	1				1		1									
Juncus conglomeratus							2	2	2			1				
Juncus effusus	3	2	2	2	3	2		1	2			1				
Lotus pedunculatus				1	2	2										
Lycopus europaeus	2	2	2	2	3	2	1						3			
Lysimachia vulgaris	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	
Lythrum portula				2												
Lythrum salicaria	1		2	1	1	2	2	1	1	1	2	1		1	2	
Mentha aquatica							2	1					2	3		
Molinia caerulea							2									
Myosotis scorpioides	2	2	1	2	2	2	1						2		2	
Persicaria hydropiper	3		3	3	1	3										
Peucedanum palustre	2	2	2	2		2	1	1	2	1		1	3	3	3	
Phalaris arundinacea	1	1	3		3	3										
Ranunculus flammula	1															
Ranunculus sceleratus	1			2												
Rumex maritimus				2												
Scutellaria galericulata	2	2	2	2	2	2	1	2	1				2	2	2	
Stachys palustris	1	2	2	1		2		2			2		2		2	
Stellaria uliginosa	1															
Thalictrum flavum	1															

TABEL 1.2 RESULTATEN VEGETATIEOPNAMEN VOLGENS TANSLEY (WATERSCHAP HUNZE&AA'S)

Vegetatieopnames 2011-2013 Lalleweer (Waterschap Hunze & Aa's)						
soort	emers		open water		emers	
	17-6-2011	17-6-2011	3-7-2012	3-7-2012	25-6-2013	25-6-2013
<i>Agrostis stolonifera</i>				2		
<i>Alisma plantago-aqu.</i>			1		2	2
<i>Callitriche</i>	3		1	2		3
<i>Cardamine pratensis</i>	1					
<i>Carex pseudocyperus</i>				1		
<i>Carex riparia</i>				1	2	
<i>Chara sp</i>					2	2
<i>Cirsium arvense</i>	1					
<i>Convolvulus sepium</i>	3		1	1	4	
<i>draadalgen submers</i>				2		
<i>Eleocharis palustris</i>					3	
<i>Epilobium hirsutum</i>	2		2	2	2	
<i>Equisetum arvense</i>	1					
<i>Galium aparine</i>	2					
<i>Glyceria maxima</i>	8		1	2	9	2
<i>Juncus articulatus</i>				2	2	
<i>Juncus compressus</i>				2		
<i>Juncus effusus</i>	1			2		2
<i>Lemna minor</i>	3		2	2		2
<i>Lycopus europeus</i>	2		2	2		
<i>Myriophyllum spicatum</i>					2	3
<i>Oenanthe aquatica</i>				1		
<i>Phalaris arundinacea</i>				2	4	2
<i>Phragmites australis</i>	7		9	3	8	
<i>Potamogeton crispus</i>						4
<i>Potamogeton trichoid.</i>				2		
<i>Ranunculus circinatus</i>						2
<i>Ranunculus sceleratus</i>	2			2	2	
<i>Rorippa amphibia</i>				1		
<i>Rorippa palustris</i>			1			
<i>Rumex maritimus</i>				5		3
<i>Rumex palustris</i>				2		
<i>Schoenoplectus lacustris</i>						2
<i>Scutellaria galericulata</i>						2
<i>Stachys palustris</i>	1					
<i>Typha angustifolia</i>	1			2		
<i>Typha latifolia</i>				2	2	2
<i>Urtica dioica</i>	1		2	2		
<i>Zannichellia palustris</i>						9
<i>doorzicht Secchi</i>	-	-	-	70 cm	bz	bz
<i>trajectlengte</i>	30 m	10 m	30 m	40 m	100 m	100 m
<i>gemiddelde breedte</i>	2 m	2 m	2 m	2 m	3 m	
<i>bedekking flab</i>	0%	0%	0%	1%	10%	1%
<i>bedekking kroos</i>	1%	0%	0,10%	0%	1%	0%
<i>bedekking submers</i>	1%	0%	40%	20%	80%	80%
<i>bedekking drijfblad</i>	0%	0%	0,10%	0,10%	0%	0%
<i>bedekking emers</i>	90%	0%	100%	30%	80%	1%
<i>aantal soorten</i>	16	0	10	24	14	16

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

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

