

Effecten hydrologische maatregelen op bodem- en waterchemie Aaltens Goor



Eindrapportage

Opdrachtgever: Waterschap Rijn en IJssel • Projectnummer: PR 14.012 •
Rapportnummer: 2015.19 • Auteurs: MP, RL & FS • Datum: 29-7-2015

Niets uit dit rapport mag worden gereproduceerd, opnieuw vastgelegd, vermenigvuldigd of uitgegeven door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische of elektromagnetische weg of op welke andere wijze dan ook zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.

Titel rapport:

Effecten hydrologische maatregelen op bodem- en waterchemie Aaltens Goor

Opdrachtgever: Waterschap Rijn & IJssel

Auteur:

Moni Poelen, Roos Loeb & Fons Smolders

Rapportnummer: 2015.19

Informatie:

Onderzoekcentrum B-WARE B.V.

Postbus 6558

6503 GB Nijmegen

Tel: 024-3652813

r.loeb@b-ware.eu

© Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen, 2015.

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
1.1 Gebiedsbeschrijving	4
1.2 Belangrijke bodemchemische processen.....	5
1.3 Algemene referentiewaarden.....	8
1.4 Hydrologische maatregelen	8
1.5 Onderzoeksaanpak	10
2. Materiaal en methoden.....	11
2.1 Veldwerkzaamheden	11
2.2 Analysen	13
3. Resultaten	14
3.1 Stijghoogte grondwater	14
3.2 Grondwaterkwaliteit	18
3.4 Oppervlaktewaterkwaliteit.....	22
3.5 Poriewaterkwaliteit	23
3.6 Ruimtelijke interpretatie poriewater	26
3.7 Bodemkwaliteit.....	28
3.8 Ruimtelijke interpretatie bodemkwaliteit	29
4. Conclusies.....	31
5. Literatuur	32
Bijlage I: Grondwaterkwaliteit peilbuizen	33
Bijlage II: Poriewaterkwaliteit	34
Bijlage III: Bodemkwaliteit	36

1. Inleiding

Direct ten oosten van het Aaltens Goor liggen percelen, bekend als 'de percelen van Luiten', die omgevormd zullen worden naar natuur (figuur 1). Uit een eerdere studie in 2011 (Jansen et al., 2011) bleek dat deze percelen potentieel geschikt zijn voor de ontwikkeling van Dotterbloemhooilanden en Blauwgraslanden, mits de nutriëntenrijke toplaag van de bodem wordt verwijderd en de hydrologie van het gebied wordt hersteld. Waterschap Rijn en IJssel heeft samen met de bewonerswerkgroep besloten dat als eerste geprobeerd zal worden door middel van lokale maatregelen (verwijderen drainage en afsluiten sloten) basenrijke kwel tot in het maaiveld te krijgen. De nutriëntenrijke toplaag zal pas later verwijderd worden, waarbij het voorstel voor afgravingsdiepten van Jansen et al. (2011) gevolgd zal worden. Het voorstel voor afgravingsdiepten is gebaseerd op zowel de nutriëntenrijkdom als op het oorspronkelijke reliëf. Waterschap Rijn en IJssel heeft Onderzoekcentrum B-ware gevraagd om te onderzoeken of er door de lokale maatregelen voldoende basenrijke kwel tot in maaiveld komt om Blauwgrasland te kunnen realiseren.



Figuur 1: Ligging van het onderzoeksgebied aan de oostzijde van het Aaltens Goor.

1.1 Gebiedsbeschrijving

Tot halverwege de 19^e eeuw vormden het Zwarte Veen, het Aaltens Goor en het Dalesche Veld (nu: percelen Luiten) één aaneengesloten, nat, nog niet ontgonnen terrein in een laagte tussen de stuwwallen. In de tweede helft van de 19^e eeuw zijn de huidige percelen Luiten ontgonnen en is er begonnen met veenwinning in het huidige Zwarte Veen en Aaltense Goor. Deze verving is tot eind jaren '20/begin jaren '30 van de 20^e eeuw doorgegaan. De percelen Luiten bestonden sinds de

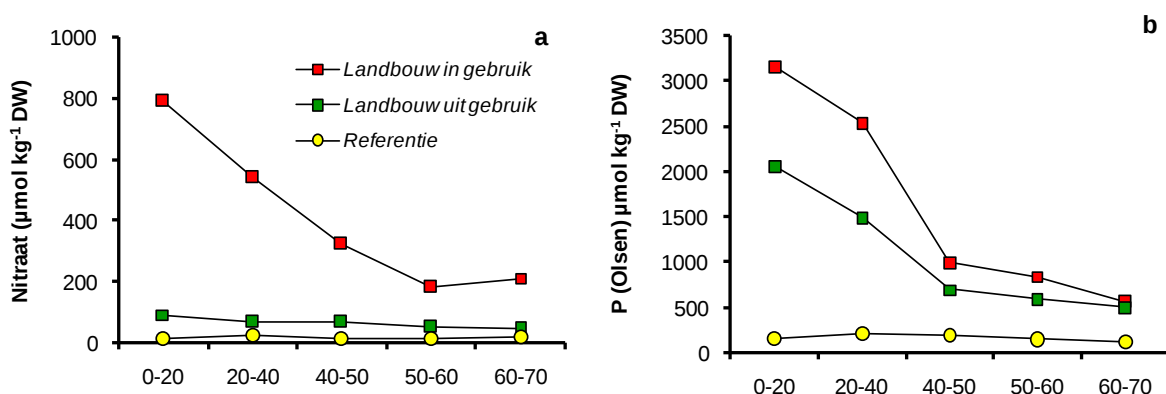
tweede helft van de 19^e eeuw uit een coulissenlandschap met kleine percelen die omsloten werden door houtwallen en die via kleine sloten werden gedraineerd. De toenmalige verkaveling leek sterk op de verkaveling die nu nog in het Aaltense Goor is terug te vinden. Langs de Boterdijk lag een aantal percelen dat dwars verkaveld was ten opzichte van de percelen in het Aaltense Goor. De ontgonnen percelen in de percelen Luiten en het Aaltense Goor werden voornamelijk als grasland (hooiland) gebruikt. De kleinschalige verkaveling in de percelen Luiten ten westen van de Boterdijk heeft lang stand gehouden: pas in het begin van de jaren '90 kregen de percelen Luiten hun huidige verkaveling. (www.watwaswaar.nl; www.ahn.nl).

Uit de ecohydrologische systeemanalyse die is opgesteld door de Unie van Bosgroepen (Jansen et al., 2011) blijkt dat aan oostrand van het plangebied basenrijke regionale kwel uittreedt uit het Oost-Nederlands Plateau, terwijl meer naar het westen sprake is van basenarme lokale kwel. De hydrologische ligging van de percelen Luiten is vrij uniek: ze liggen op de 'knik' van de overgang van het hoge Oost-Nederlands Plateau. Daarnaast duikt de hydrologische basis hier juist op in de ondergrond, waardoor het freatisch pakket slechts enkele meters diep is. Er is hierdoor sprake van een hoge kweldruk. De hydrologische laagte bestaat uit de Tertiaire afzettingen van de Formatie van Oosterhout en de Formatie van Breda: dit zijn kleien en zanden van mariene oorsprong die deels glauconiethoudend en schelpenrijk zijn. De regionale, kalkrijke en ijzerrijke, kwel treedt momenteel alleen uit de diepe sloten, die het gebied draineren (Jansen et al., 2011). Volgens een typering van Giesen&Geurts betreft het hier water van het CaSO₄-type (Jansen et al., 2011). De concentratie van sulfaat in het grondwater zou oplopen tot circa 4400 µmol/l (420 mg/l) (mededeling Waterschap Rijn en IJssel uit onderzoek Witteveen en Bos), wat extreem hoog is.

1.2 Belangrijke bodemchemische processen

Fosfaatbeschikbaarheid op voormalige landbouwgronden

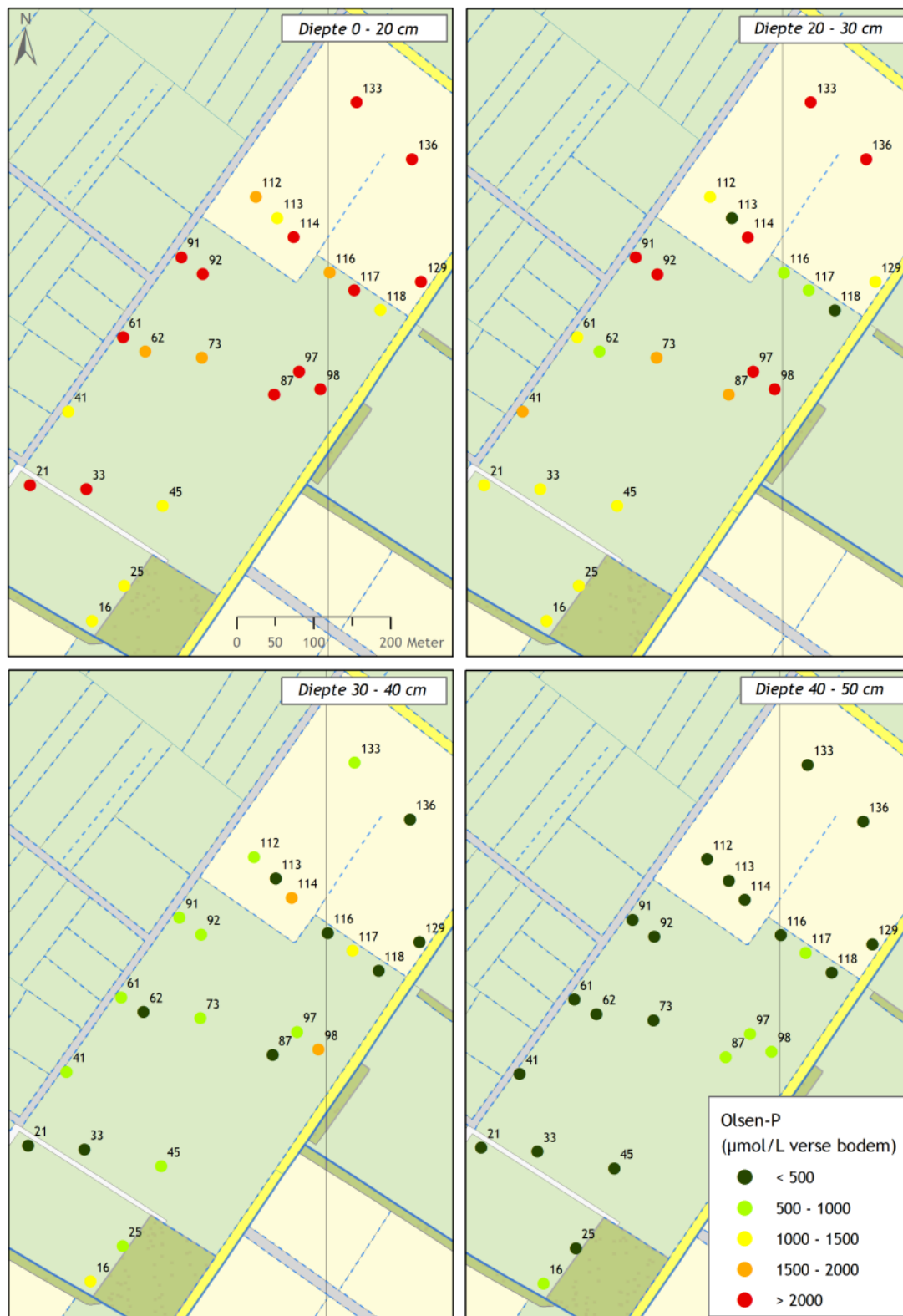
De kansen op ontwikkeling van soortenrijke natuur op voormalige landbouwgronden, wordt sterk bepaald door de beschikbaarheid van fosfor (P) in de bodem. Na beëindiging van het agrarische gebruik neemt de stikstofbeschikbaarheid op minerale bodems vaak sterk af als gevolg van nitraatuitspoeling en denitrificatie. Voor de fosfaatbeschikbaarheid gaat dit niet op (figuur 2) omdat dit in de bodem sterk wordt gebonden aan ijzer en calcium waardoor het wordt vastgelegd.



Figuur 2: Nitraat- (a) en fosfaatconcentratie (b) in de bodem op verschillende dieptes (in cm onder maaiveld). Nitraat verdwijnt uit de bodem wanneer de bodem niet meer in landbouwkundig gebruik is doordat het uitspoelt naar het grondwater of wordt gedenitrificeerd. Het sterk in de bodem gebonden (immobiele) fosfaat verdwijnt echter niet op een natuurlijke wijze uit de bodem (Lamers et al., (2005)).

In het geval dat de natuurontwikkeling gepaard gaat met vernatting is het van belang om rekening te houden met veranderende redoxcondities (Smolders *et al.*, 2006). Met name ijzer(hydr)oxiden zorgen voor de vastlegging van fosfaat in de bodem. Onder anaërobe condities wordt het ijzer gereduceerd waardoor veel extra fosfaat beschikbaar komt. Indien de bodemlaag sterk verrijkt is met fosfaat zullen snelgroeiende, (ongewenste) plantensoorten gaan domineren waardoor laagopgroeiende planten overschaduwd worden ("lichtcompetitie") en uiteindelijk een soortenarme plantengemeenschap ontwikkelt. In nattere delen zal Pitrus (*Juncus effusus*) sterk gaan domineren. Door middel van maaien en afvoeren kan de P-beschikbaarheid op voormalige landbouwgronden vaak onvoldoende worden teruggebracht om binnen een termijn van enkele tientallen jaren een P-gelimiteerde uitgangssituatie te krijgen (sommige zeer kalkrijke bodems vormen hierop een uitzondering).

Om de ontwikkeling van waardevolle vegetaties van voorheen voedselarme condities mogelijk te maken is het verwijderen van de P-rijke toplaag daarom meestal onontkoombaar. Hierbij is het belangrijk om vast te stellen tot hoe diep ontgrond moet worden om een voldoende P-arme uitgangssituatie te creëren voor de gewenste vegetatietypen. Onderzoekcentrum B-Ware heeft daarom als bijdrage aan het onderzoek ten behoeve van de waterberging en natuurontwikkeling van het Aaltens Goor (Jansen *et al.*, 2011) de concentraties totaal-P en plantbeschikbaar P (P-Olsen) op verschillende dieptes in de percelen Luiten bepaald (figuur 3). Uit deze analyse bleek dat er circa 30 tot 40 (tot 50) cm moet worden afgegraven om een uitgangssituatie te creëren die geschikt is voor de ontwikkeling van Dotterbloemhooiland of Blauwgrasland. Ook bleek dat de totaalconcentraties van ijzer en calcium in de bodem niet extreem hoog waren, maar net wel afdoende voor de ontwikkeling van Blauwgrasland of Dotterbloemhooiland. Alleen ter hoogte van monsterpunt 45 (liggend tussen monsterpunten 4 en 5 van het onderliggende onderzoek) werden extreem hoge calciumconcentraties gemeten, tot wel 370 mmol/l bodem tot 40 cm diepte (Loeb & Bobbink, 2012). Op grond van dit onderzoek en van de morfologie van de percelen is een kaart vastgesteld met gewenste afgravingsdiepten (Jansen *et al.*, 2011). Van deze afgravingsdiepten is uitgegaan bij het vaststellen van de monsterdiepten in dit onderzoek.



Figuur 3. Ruimtelijke verdeling van de concentratie Olsen-P (plantbeschikbaar fosfaat) op verschillende diepten.

1.3 Algemene referentiewaarden

Welke natte natuurdoeltypen zich kunnen ontwikkelen is, naast van voedselrijkdom, pH en mate van buffering van de bodem, onder andere afhankelijk van het verloop van de grondwaterstanden stijghoogte van het grondwater en de chemische kwaliteit van het grondwater. In tabel 1 staan voor een groot aantal natuurdoeltypen de randvoorwaarden aangegeven betreffende grondwaterstanden, bodem-pH en fosfaatbeschikbaarheid.

Tabel 1. Gemiddelde pH en fosfaatconcentraties in de bodem van enkel natte natuurdoeltypen (optimumranges) en een weergave van de gemiddelde hoogste (GHG) en gemiddeld laagste (GLG) grondwaterstand. Bronnen: Ertsen et al. (2005); Bobbink et al. (2007), B-WARE BV (niet gepubliceerde data) & De Becker et al. (2004). Onder zeer ijzerrijke omstandigheden kunnen bij een optimale ontwikkeling ook hogere fosforconcentraties voorkomen (aangegeven tussen haakjes). In bossen gelden de genoemde waarden niet voor de humus-/strooisellaag en dient de uitgangssituatie veelal lager te zijn.

Natuurbeheertype	Specificatie	GHG (cm)	GLG (cm)	pH-H ₂ O	Olsen-P (µmol/l)	totaal-P (mmol/l)
Hoogveen		10 + mv	5 -mv	3,5-5	100-300	0.5-2.5
Vochtige heide		10+ tot 20- mv	20- tot 50- mv	3,5-5	100-500	0.5-2.5
Schraalgrasland	Nat heischraal grasland	0 tot 40- mv	40- tot 120 -mv	4,5-6	150-400	1-3
	Kleine zeggenmoeras (Verbond van Zwarte zegge)	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	4,5-6,5	100-500	1-6
	Blauwgrasland	0 tot 25- mv	40- tot 80- mv	5-6,5	200-500	2-10 (tot 20)
Vochtig hooiland	Dotterbloemhooiland/	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
	Veldruisschraalland					
Bloemrijk grasland		20 tot >100 -mv	-	4,5-7	800-1200 (tot 1500)	10-15
Moeras	Grote zeggenmoeras	20+ tot 0 mv	10+ tot 50- mv	5-7	300-800 (tot 1200)	8-20 (tot 50)
	Rietmoeras	20+ tot 0 mv	11+ tot 40- mv	>5	-	-
Hoog- en laagveenbos	Berkenbroekbos	10+ tot 0 mv	40- tot 80- mv	<5	200-600	1-5
	Elzenbroekbos	20+ tot 20- mv	40- tot 80- mv	5-6,5	300-800 (tot 1200)	5-20 (tot 50)

In het inrichtingsplan wordt Dotterbloemhooiland ook als mogelijk doeltype gezien, omdat er aan de oostzijde van de Boterdijk nog Dotterbloemen groeien en er kwelindicatoren zoals Bosbies in de sloten voorkomen (waarneming Unie van Bosgroepen; Jansen et al., 2011). Voor de ontwikkeling van Dotterbloemhooilanden en Blauwgraslanden is basenrijke kwel tot in het maaiveld nodig, met wintergrondwaterstanden die niet dieper uitzakken dan circa 20-25 cm onder maaiveld. In de zomer moet de bodem ook vochtig blijven, maar is een grondwaterstand van circa 40 tot maximaal 80 cm onder maaiveld geschikt.

1.4 Hydrologische maatregelen

De hydrologische maatregelen die hier onderzocht zijn, betreffen het afsluiten van de sloot parallel aan de Boterdijk (zie figuur 4) en het afsluiten van een duiker, gelegen aan de oostzijde van de percelen Luiten en het onderzoeksgebied. Tevens worden de drainagebuizen vanuit de percelen Luiten richting de betreffende sloot afgedicht. Om het waterpeil te kunnen reguleren is er in de sloot een pomp geïnstalleerd aan de zuidzijde van de afsluiting. De maatregelen zijn in april 2014 uitgevoerd.



Figuur 4: Hydrologische maatregelen aan de oostzijde van de percelen Luiten, uitgevoerd in april 2014.

1.5 Onderzoeksaanpak

Door het herstellen van de basen- en ijzerrijke kwel tot in het toekomstige maaiveld kan de basenrijkdom en ijzerrijkdom hersteld worden. Het hier beschreven onderzoek moet uitwijzen of dit door de genomen maatregelen afdoende gebeurt. Hiertoe wordt poriewater (ondiep grondwater) en bodemmateriaal bemonsterd voorafgaand aan de hydrologische ingrepen en één jaar later.

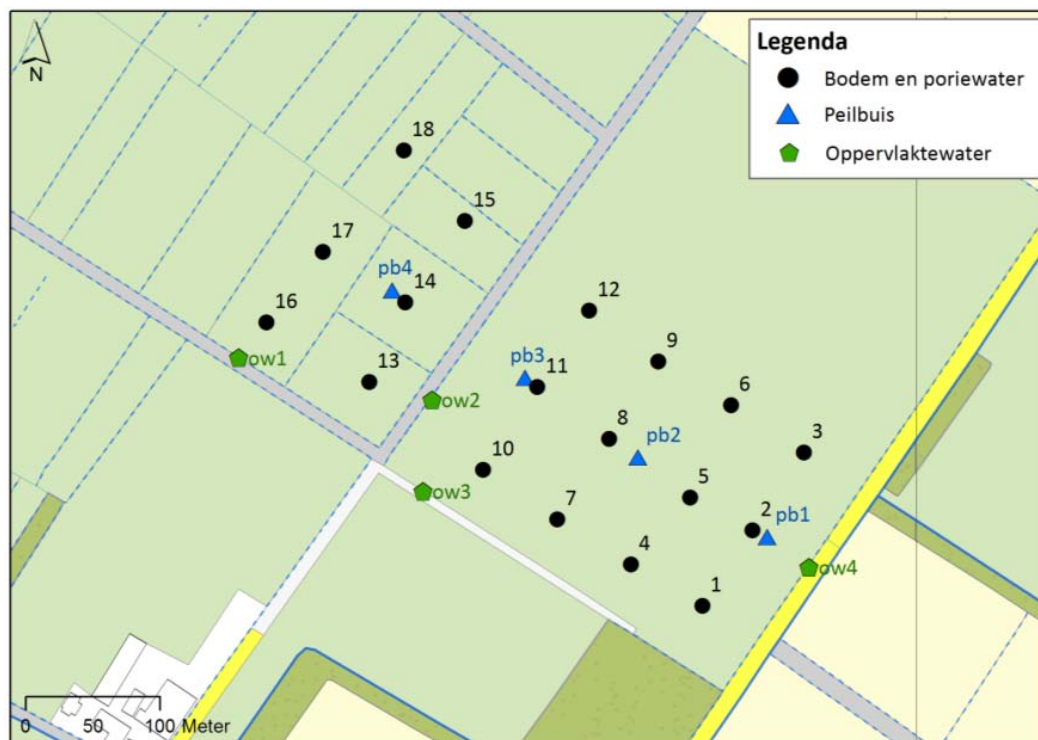
Met behulp van keramische cups, waarmee onder vacuüm poriewater wordt bemonsterd (lysimeters ofwel poriewaterbemonsteraars), die op 20 en 80 cm diepte onder het toekomstige maaiveld worden geplaatst, wordt inzichtelijk gemaakt wat de kwaliteit is van het poriewater dieper en ondieper in de bodem. In totaal zijn er zes raaien van drie poriewaterbemonsteraars geplaatst, die zowel in maart 2014 (nulmeting) als maart 2015 (na werkzaamheden) zijn bemonsterd. Als er basen- en ijzerrijke kwel optreedt door de hydrologische ingrepen, zal dit te zien zijn aan onder meer de concentraties calcium en ijzer in het poriewater. Door op twee dieptes te meten kan ook kwel die niet geheel tot in het maaiveld doordringt, maar die wel tot iets grotere diepte hersteld is, gedetecteerd worden. De kwaliteit van het poriewater is echter een momentopname. De kwaliteit van de bodem kent minder fluctuaties, maar aan de andere kant zal het langer duren voordat hydrologische maatregelen resulteren in herstel van de basenverzadiging en ijzerrijkdom van de bodem. Om eventuele veranderingen in de bodemmatrix, zoals de basenverzadiging van het adsorptiecomplex of veranderingen in de pH te detecteren, is daarom ook de bodem op dezelfde dieptes en dezelfde tijdstippen bemonsterd.

Voor de ontwikkeling van Blauwgrasland of Dotterbloemhooiland is ook het verloop van de grondwaterstand over het jaar van belang. De grondwaterstand moet in de winter voldoende hoog zijn en mag in de zomer niet verder terugzakken. Het monitoren van de grondwaterstanden is daarom belangrijk, ook om te zien in hoeverre de hydrologie verandert door de genomen maatregelen. Met behulp van een raai van peilbuizen parallel aan de grondwaterstroming wordt in kaart gebracht of er door de lokale maatregelen peilveranderingen zijn opgetreden en of het grondwaterregime geschikt is voor het ontwikkelen van Blauwgrasland of Dotterbloemhooiland.

2. Materiaal en methoden

2.1 Veldwerkzaamheden

Begin maart in 2014 en begin maart 2015 zijn monsters verzameld op 18 locaties in het Aaltens Goor en aangelegen 'percelen Luiten' (figuur 5). Per locatie is steeds op twee diepten een bodemonmonster en een poriewatermonster verzameld. De diepten variëren per locatie (tabel 2) in verband met de toekomstige ontgravingsdiepte op de locaties. Elke locatie werd vastgelegd met een GPS en er werd een beknopte profielbeschrijving gemaakt (alleen in het eerste jaar). De bodemonmonsters werden na het verzamelen luchtdicht bewaard en bij terugkomst op het lab bewaard bij 4°C in het donker. De poriewatermonsters werden verzameld met behulp van een poriewaterbemonsteraar. Door deze te verbinden met een vacuüm spuit werd het freatische grondwater bemonsterd (figuur 5). Op vier locaties is in 2014 aanvullend een oppervlaktewatermonster genomen. De monsters werden binnen een etmaal getransporteerd naar het lab en opgeslagen bij 4°C in het donker. Tevens zijn er vier grondwaterbuizen geplaatst, met een diep en een ondiep filter in een raai parallel aan de grondwaterstroming.



Figuur 5: De ligging van alle bemonsterde locaties binnen dit onderzoek

Waterschap Rijn en IJssel heeft vanaf 23 juni 2014 de stijghoogtes van het grondwater in de diepe en ondiepe filters elke twee weken opgenomen. Op 20 mei, 16 oktober, 10 december 2014, 18 februari en 9 juni 2015 werden door Waterschap Rijn en IJssel grondwatermonsters uit de peilbuizen genomen voor chemische analyse. Onderzoekcentrum B-ware heeft grondwatermonsters verzameld op 9 juni 2015. Voor de resultaten van de grondwaterkwaliteit van deze datum is voor de elementen HCO_3 , P, NH_4 , NO_3 en SO_4 gebruik gemaakt van data van onderzoekcentrum B-Ware. De overige data zijn afkomstig van Waterschap Rijn en IJssel.

Tabel 1: Ligging monsterlocaties en de diepten ten opzichte van huidig maaiveld van de bodem- en poriewatermonsters.

Locatie	X	Y	Toekomstige afgraving (cm)	Ondiepe lysimeter	Diepe lysimeter	Ondiepe bodem	Diepe bodem
1	234841	440711	51	70	130	70-80	130-140
2	234878	440768	34	55	115	55-65	115-125
3	234917	440826	45	65	125	65-75	125-135
4	234788	440742	35	55	115	55-65	115-125
5	234832	440792	20	40	100	40-50	100-110
6	234863	440861	36	55	115	55-65	115-125
7	234733	440776	33	55	115	55-65	115-125
8	234772	440836	26	45	105	45-55	105-115
9	234809	440893	19	40	100	40-50	100-110
10	234678	440813	28	50	110	50-60	110-120
11	234718	440875	26	45	105	45-55	105-115
12	234757	440931	23	45	105	45-55	105-115
13	234593	440878	16	35	95	35-45	95-105
14	234620	440937	18	40	100	40-50	100-110
15	234664	440998	22	40	100	40-50	100-110
16	234517	440923	27	45	105	45-55	105-115
17	234559	440975	0	20	80	20-30	80-90
18	234619	441050	0	20	80	20-30	80-90
pb1	234889	440763	(50 en 150 cm beneden maaiveld)				
pb2	234793	440822					
pb3	234709	440881					
pb4	234610	440947					



Figuur 3: Poriewaterbemonstering in het veld.

2.2 Analysen

Water

In de poriewater- en oppervlaktewatermonsters is het volgende gemeten:

- pH
- Alkaliniteit (zuurbufferend vermogen)
- Totaal opgelost anorganisch koolstof
- EGV
- Concentraties van geselecteerde ionen en elementen in oplossing

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂-elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type PHM 82). De alkaliniteit werd bepaald middels een titratie met verdund zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (kooldioxide + bicarbonaat + carbonaat) werd bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). De EGV werd bepaald met een HACH EGV probe verbonden met een HQD-meter. Na deze eerste analyses werden submonsters opgeslagen bij 4°C totdat de verdere analyses op ICP en Auto-analyzer plaatsvonden.

Bodem

Vochtpercentage, organische stofgehalte en bulk density:

Om het vochtgehalte en de bulk density te bepalen werden aluminium cups gevuld met vers bodemmateriaal en gewogen. Dit materiaal werd 48 uur gedroogd bij een temperatuur van 60 °C waarna het wederom werd gewogen. De gedroogde bodems werden vervolgens 4 uur verast bij een temperatuur van 550°C voor de bepaling van het gloeiverlies. Na verassen werden de bodems opnieuw gewogen. Het gewichtsverlies na verassen ('loss on ignition') is een maat voor het organisch stofgehalte van de bodem. Alle bepalingen werden in tweevoud uitgevoerd. Bulk density werd bepaald als het gewicht droge bodem/volume van de veldverse bodem.

Zoutextractie:

Deze extractie bestaat uit een extractie met natriumchloride (0,2 M NaCl) waarbij de ionen gemeten worden die door natrium (kationen) van het bodemadsorbtiecomplex worden verdrongen. Deze parameters geven een maat voor de buffering van de bodem. Verder kunnen aan de hand van het zoutextract ook de plantbeschikbare ammonium- en nitraatconcentraties van de bodem worden bepaald. Voor deze extractie werd aan 17,5 gram verse bodem 50 ml milli Q water (0.2 M NaCl) toegevoegd. Gedurende 120 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (100 r.p.m.) waarna de pH werd gemeten. Het supernatant werd onder vacuüm verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars en bewaard bij 4°C.

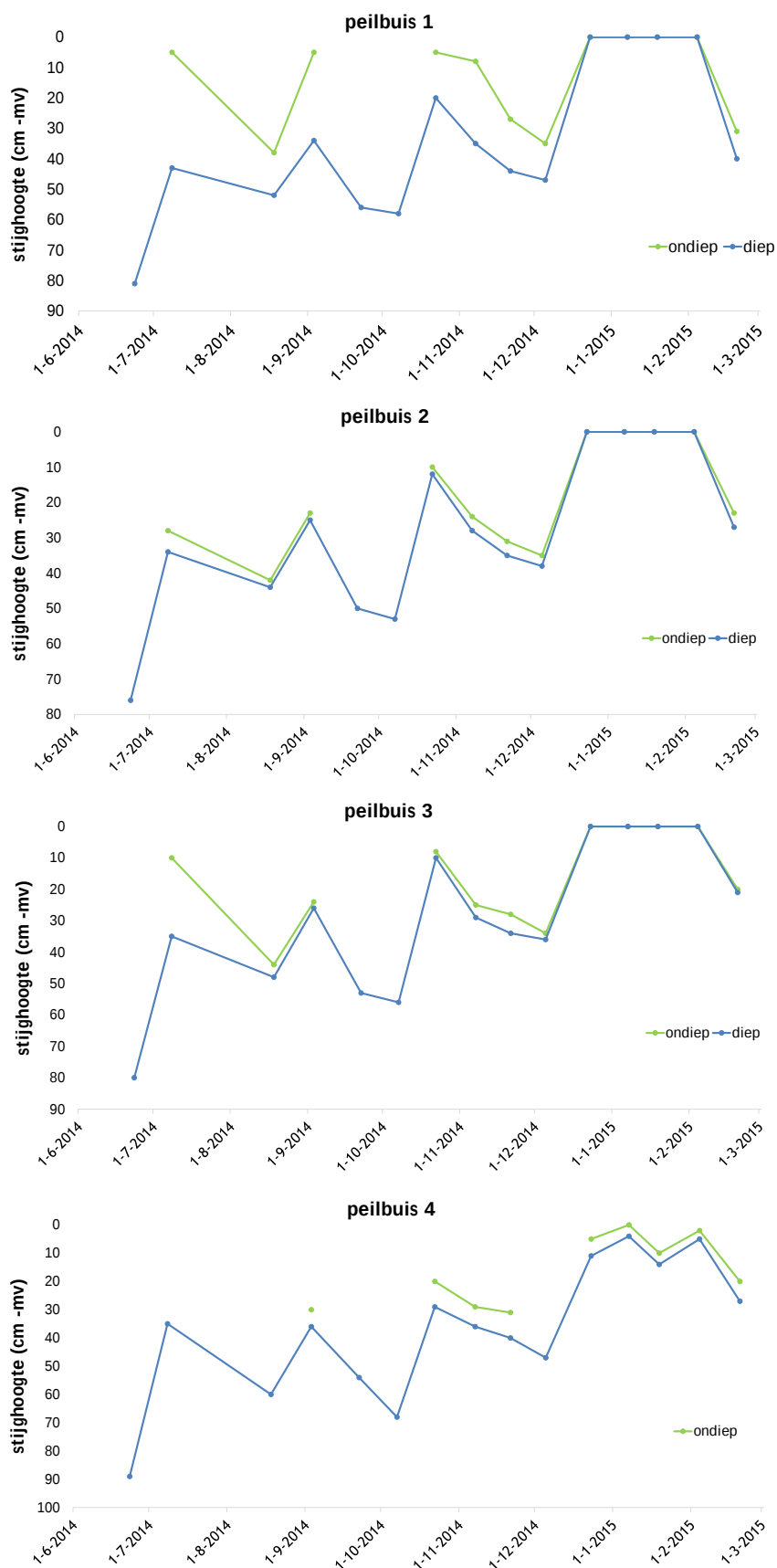
3. Resultaten

3.1 Stijghoogte grondwater

De stijghoogtes in de peilbuizen vertoonden een redelijke fluctuatie: het peil zakte in juni 2014 uit tot maximaal 89 centimeter onder maaiveld (peilbuis 4) en kwam van december 2014 tot februari 2015 bijna (peilbuis 4) of waarschijnlijk boven maaiveld (peilbuizen 1, 2 en 3) (figuur 6). Hoe hoog de stijghoogte in die periode precies was is niet meetbaar doordat de buizen zijn afgezaagd op deze hoogte.

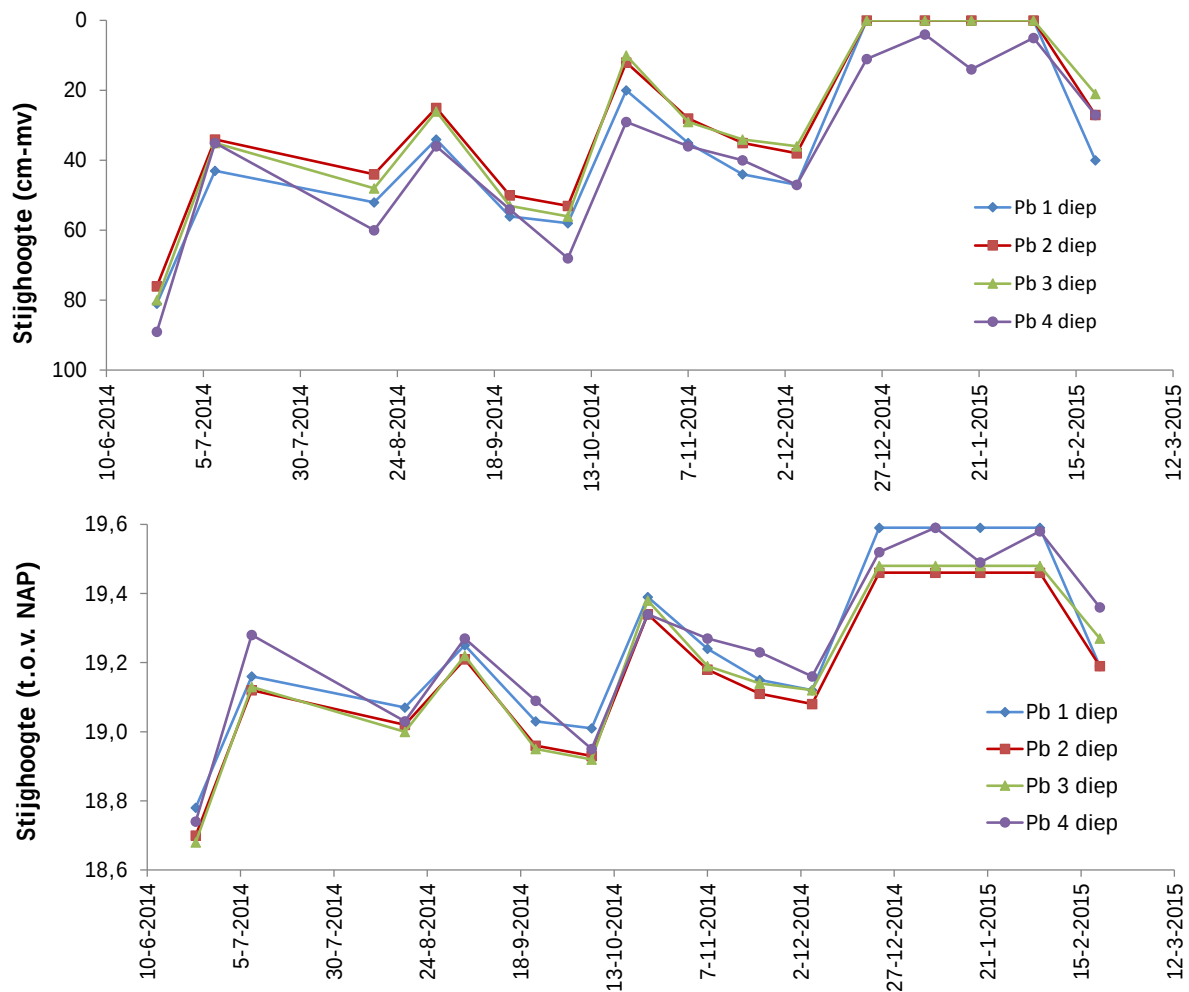
Omdat er geen slechtdoorlatende laag tussen de filters aanwezig is, wordt geen verschil in stijghoogte tussen de filters verwacht. De stijghoogtes zijn in de twee filters van peilbuisnummers 2, 3 en 4 inderdaad hetzelfde, maar opvallend is dat in peilbuis 1 het peil van de ondiepe en de diepe buis behoorlijk van elkaar verschillen; op de meeste tijdstippen is er een minimaal verschil van 20 centimeter gemeten. De verschillen tussen de ondiepe en de diepe buis wijzen op wegzijging op deze locatie. Dat is echter verrassend, omdat er juist de verwachting is dat in de hoek nabij peilbuis 1 het meeste kwel optreedt. Mogelijk is hier nog drainage aanwezig in het veld, waardoor er lokaal wegzijging optreedt en stijghoogteverschillen ontstaan.

Voor de ontwikkeling Blauwgrasland of Dotterbloemhooiland is de grondwaterstand en -fluctuatie van groot belang. De grondwaterstand mag in de zomer niet verder uitzakken dan ca 80 centimeter beneden maaiveld en zou in de winter +20 tot -25 cm beneden maaiveld moet zijn. Bij peilbuizen 1, 2 en 3, waar deze doeltypen gerealiseerd zouden moeten worden, varieerde de grondwaterstanden binnen de meetperiode tussen 0 en 80 cm onder maaiveld, en ten opzichte van het toekomstige maaiveld slechts circa 40 cm onder maaiveld. Deze standen zijn gunstig voor de realisatiemogelijkheden van deze doeltypen.



Figuur 6. Stijghoogten, weergegeven per peilbuis (van boven naar onder (peilbuis 1 t/m 4), van zowel de diepe (blauwe lijn) als de ondiepe buis (groene lijn).

In figuur 7 zijn de grondwaterstanden gegeven in centimeter beneden maaiveld (boven) en ten opzichte van NAP (beneden). De stijghoogte was ten opzichte van maaiveld het hoogste in peilbuis 2 en 3. Ten opzichte van NAP was de stijghoogte in peilbuis 1 en 4 het hoogst. Dit indiceert dat het grondwater van de rand van het onderzoeksgebied (peilbuis 1 en 4) naar het midden stroomt (peilbuis 1 en 3). Op grotere schaal gezien is de stroomrichting van het grondwater echter van zuidoost naar noordwest (Jansen et al., 2011).



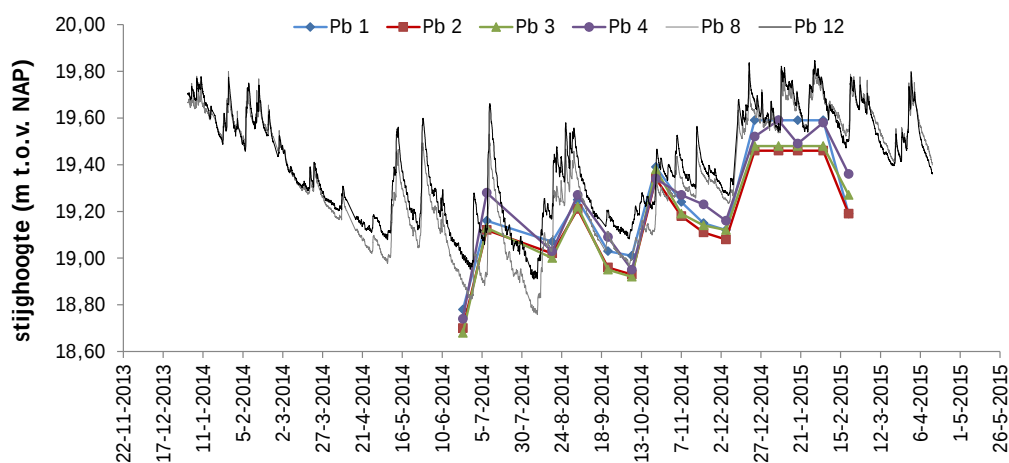
Figuur 7. Stijghoogte van alle diepe peilbuizen ten opzichte van maaiveld (boven) en ten opzichte van N.A.P. (beneden).

De metingen van de stijghoogte zijn pas in juni gestart, nadat de maatregelen zijn genomen. Hierdoor kan het effect van de maatregelen op de grondwaterstand niet worden bepaald. Wel is er een eenmalige meting uit augustus 2014 bekend (Jansen et al., 2011). Deze verschilt niet veel van de gemeten standen in augustus 2014. Jaarlijkse verschillen in seizoenen zijn echter zo groot dat op grond hiervan geen conclusie getrokken kan worden. In de nabije omgeving van het Aaltens Goor staan 2 peilbuizen (peilbuis 12 en peilbuis 8, zie figuur 8 en 9: bron: Waterschap Rijn en IJssel), die niet beïnvloed zijn door de hydrologische maatregelen. De standen in deze peilbuizen vertonen eenzelfde patroon als in de percelen Luiten. De grondwaterstand in buizen was (ten opzichte van NAP) niet lager dan in de peilbuizen in de percelen Luiten na de hydrologische maatregelen. Hieruit kan dus ook niet afgeleid worden of er vernatting is opgetreden door de maatregelen.

Uit de grondwaterstanden van peilbuizen 12 en 8 blijkt dat tijdens de bemonstering in maart 2014 de grondwaterstand ongeveer 19,35 m boven NAP was en in maart 2015 ongeveer 19,60 m boven NAP; een grondwaterstandsverschil van ongeveer 25 cm. Het vroege voorjaar van 2015 was dus veel natter dan het jaar ervoor. Bij de interpretatie van de analysesgegevens moet dus ook rekening gehouden worden met dat de bemonstering onder nattere omstandigheden (los van de effecten van de hydrologische maatregelen) heeft plaatsgevonden.



Figuur 8. Ligging van peilbuizen 8 (PB8) en 12 (PB12) ten opzichte van de peilbuizen in het onderzoeksgebied.

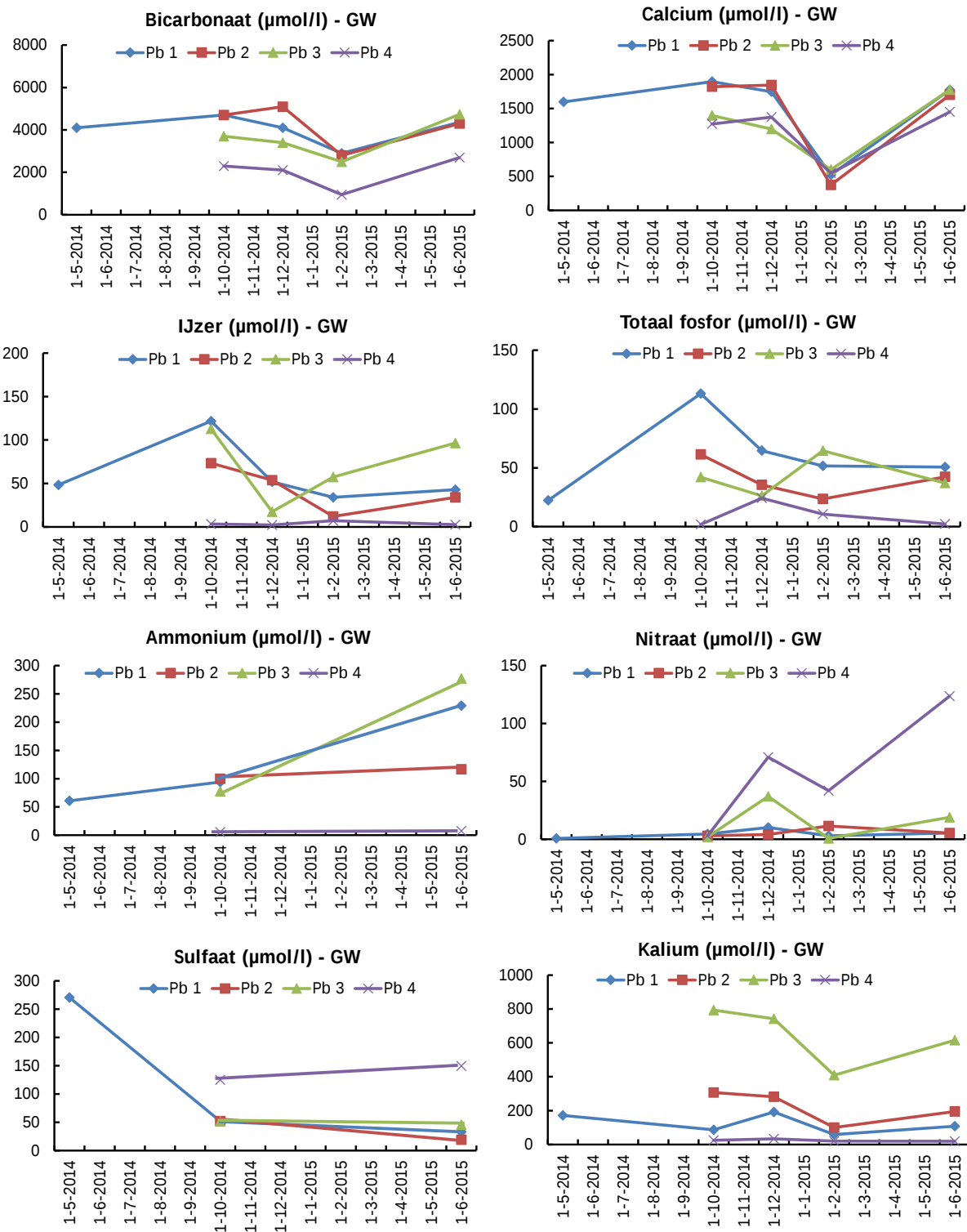


Figuur 9. Stijghoogte van het grondwater in peilbuizen 8 (Pb8) en 12 (Pb12) buiten het onderzoeksgebied, en in peilbuizen 1 t/m 4 in de percelen Luiten.

3.2 Grondwaterkwaliteit

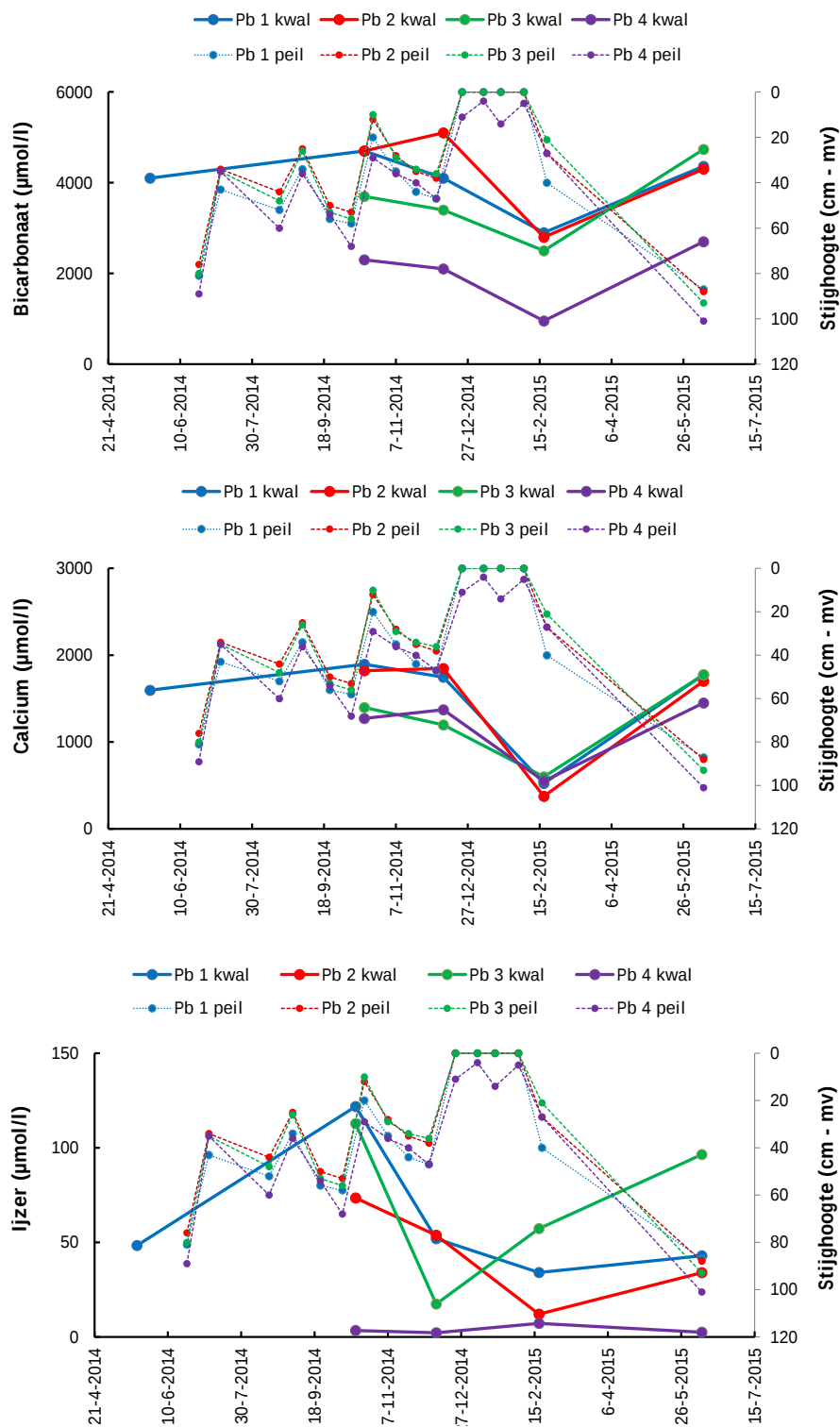
Het water in peilbuis 4 week sterk af van de andere peilbuizen: het bevatte minder ijzer, fosfor en bicarbonaat, en in de winter meer nitraat dan de andere peilbuizen (figuur 10 en bijlage I). Dit duidt op een minder grote invloed van (regionaal) grondwater. Daarnaast duiden de hogere concentratie nitraat, de lage ammoniumconcentratie en lage concentraties ijzer en fosfor op een (in een deel van het jaar) meer geoxideerde toestand van het freatische water.

In de drie peilbuizen in de percelen van Luiten was het grondwater redelijk hard en gebufferd. Het grondwater van alle peilbuizen is gebufferd (figuur 3); de concentratie bicarbonaat was maximaal 5098 $\mu\text{mol/l}$ (311 mg/l, peilbuis 2); de concentratie calcium was maximaal 1846 $\mu\text{mol/l}$ (74 mg/l, peilbuis 1 en 2). De concentratie ijzer was in peilbuizen 1 en 3 in oktober vrij hoog; tegelijk steeg ook de fosforconcentratie tot circa 113 $\mu\text{mol/l}$ (3,5 mg/l). Het grondwater bevatte gemiddeld niet veel sulfaat (maximaal 270 $\mu\text{mol/l}$; / 26 mg/l). Daarnaast was de concentratie ammonium niet erg hoog (al zijn de concentraties in juni '15 in peilbuis 1 en 3 behoorlijk gestegen), evenals de nitraatconcentratie (behalve in peilbuis 4 in juni; 123 $\mu\text{mol/l}$ / 7,6 mg/l). De kwaliteit van het grondwater verschilt per peilbuis. Zo is duidelijk te zien dat peilbuis 4 (paarse lijn) minder bicarbonaat, ijzer, totaal P en ammonium (slechts 1 meting) bevatte. De nitraatconcentratie was juist iets hoger. Het grondwater in peilbuis 1 en 2 was het sterkst gebufferd (bicarbonaat en calcium), in peilbuis 3 iets minder en in peilbuis 4 het minst. Behalve dat het een hogere buffering had, bevatte het grondwater van peilbuis 1 en 2 ook meer fosfor en ammonium dan het grondwater op locatie 4. De sulfaatconcentratie was vergelijkbaar in alle buizen. De concentratie kalium in het grondwater verschilde sterk: in peilbuis 3 werd een hoge concentratie van 793 $\mu\text{mol/l}$ gemeten (31 mg/l), terwijl het grondwater in peilbuis 4 slechts 33 $\mu\text{mol/l}$ kalium bevatte (1,3 mg/l).



Figuur 10. Concentraties van verschillende ionen in het grondwater.

In figuur 11 is de kwaliteit van het grondwater (bicarbonaat, calcium en ijzer) weergegeven, samen met de stijghoogten van de diepe filters. Opvallend is dat aan het eind van de natste periode (januari tot half februari 2015) de concentraties van de meeste ionen het laagst was (in figuur x aangegeven voor bicarbonaat en calcium). Dit duidt erop dat het water dat toen in het maaiveld kwam, niet zozeer kwelwater was, maar deels regenwater, dat de ionen uit de kwel verdunde. In de drogere periodes daarvoor en daarna waren de concentraties veel hoger (tot een factor 4 voor calcium en een factor 2 voor bicarbonaat). Er zijn geen metingen verricht tijdens de natte periode zelf, dus het is niet bekend of tijdens deze periode de concentraties nog lager waren. Voor ijzer is dit effect minder duidelijk, omdat de ijzerconcentratie in het freatische water ook afhangt van de anaërobie: in oktober 2014 waren deze concentraties het hoogst: dit was een meting op een moment met een hoge grondwaterstand, dat juist vooraf was gegaan door een wat drogere periode, waarin er mogelijk kwel tot in de wortelzone kon komen en niet werd weggedrukt door een regenwaterlens.



Figuur 11. De concentratie bicarbonaat (boven) en calcium (midden) en ijzer (onder) in het grondwater, weergegeven samen met de stijghoogten van de diepe peilbuizen (stippellijnen).

3.4 Oppervlaktewaterkwaliteit

In maart 2014 (dus voorafgaand aan de maatregelen) is op vier locaties oppervlaktewater verzameld (figuur 5, tabel 3). De resultaten laten een duidelijk verschil zien tussen locatie 1 enerzijds en locatie 2, 3 en 4 anderzijds. Op deze laatste locaties werd zeer hard water aangetroffen met een alkaliniteit boven 7 meq/l (bicarbonaatconcentraties boven 7000 $\mu\text{mol/l}$). Opvallend in deze sloten was de hoge chlorideconcentratie. Deze was veel hoger dan in het grondwater. Dit duidt op bijmenging van antropogeen beïnvloed water. De nutriëntenconcentraties in sloot 2 en 4 waren echter laag. In sloot 3 werd een hoge ijzerconcentratie gemeten. Hoewel het meten van ijzer in aeroob oppervlaktewater lastig is, duidt dit er op dat er in deze sloot veel ijzerrijke kwel uittrad. Het water in sloot 1, die niet naast de percelen Luiten ligt, maar aangrenzend aan het bestaande reservaat, was weliswaar hard (bijna 3 meq/l), maar niet zo hard als in de sloten die aan de percelen Luiten grensden. Het water had een lagere chlorideconcentratie en juist hogere fosfaatconcentratie.

Tabel 3: Gemeten elementen in het oppervlaktewater, verzameld in voorafgaand aan de maatregelen

Locatie	Jaar	pH	Alkaliniteit	Ca	Fe	K	P	S	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Cl
			meq/l	$\mu\text{mol/l}$								
1	2014	7,0	2,8	1160	34	316	7,9	81	6	11	3,71	260
2	2014	7,5	7,7	3451	17	94	1,0	348	1	7	0,36	843
3	2014	7,2	8,0	3518	123	93	4,0	336	1	5	0,46	897
4	2014	7,4	7,1	3273	37	320	1,8	711	7	13	0,33	834

3.5 Poriewaterkwaliteit

De diepe poriewatermonsters zijn genomen in de bodemzone die gedurende het jaar altijd verzadigd is geweest met grondwater. Dit betekent dat het diep bemonsterde poriewater freatisch grondwater is, dat (ongeveer) dezelfde kwaliteit heeft als het water in de diepe filters van de peilbuis. Alleen op locaties 17 en 18 (diepe monsters op 80-90 cm) was het in juni 2014 niet zeker of de bodem waterverzadigd was, aangezien het grondwater in peilbuis 4 wegzakte tot bijna 90 cm beneden maaiveld. De ondiepe poriewatermonsters zijn verzameld op 20-70 cm beneden huidig maaiveld en daardoor verschilt het dus per of de bodem op die diepte het gehele jaar waterverzadigd was. De ondiep bemonsterde zone op locaties 1 en 3 is gedurende het jaar bijna altijd waterverzadigd geweest; alleen in juni '14 zakte de grondwaterspiegel verder weg. Op locatie 2, 4, 6, 7 en 10 was dit eind september/begin oktober ook het geval. De overige ondiepe bemonsterde zones lagen het grootste deel van het jaar boven de grondwaterspiegel, waarbij de ondiep bemonsterde zones van locatie 17 en 18 het kortst in contact zijn geweest met het grondwater. Van de waterstanden in omliggende peilbuizen (figuur x) kan afgeleid worden dat op de momenten van bemonstering, begin maart 2014 en 2015, zowel alle diepe als alle ondiepe poriewatermonsters onder de grondwaterspiegel zijn genomen.

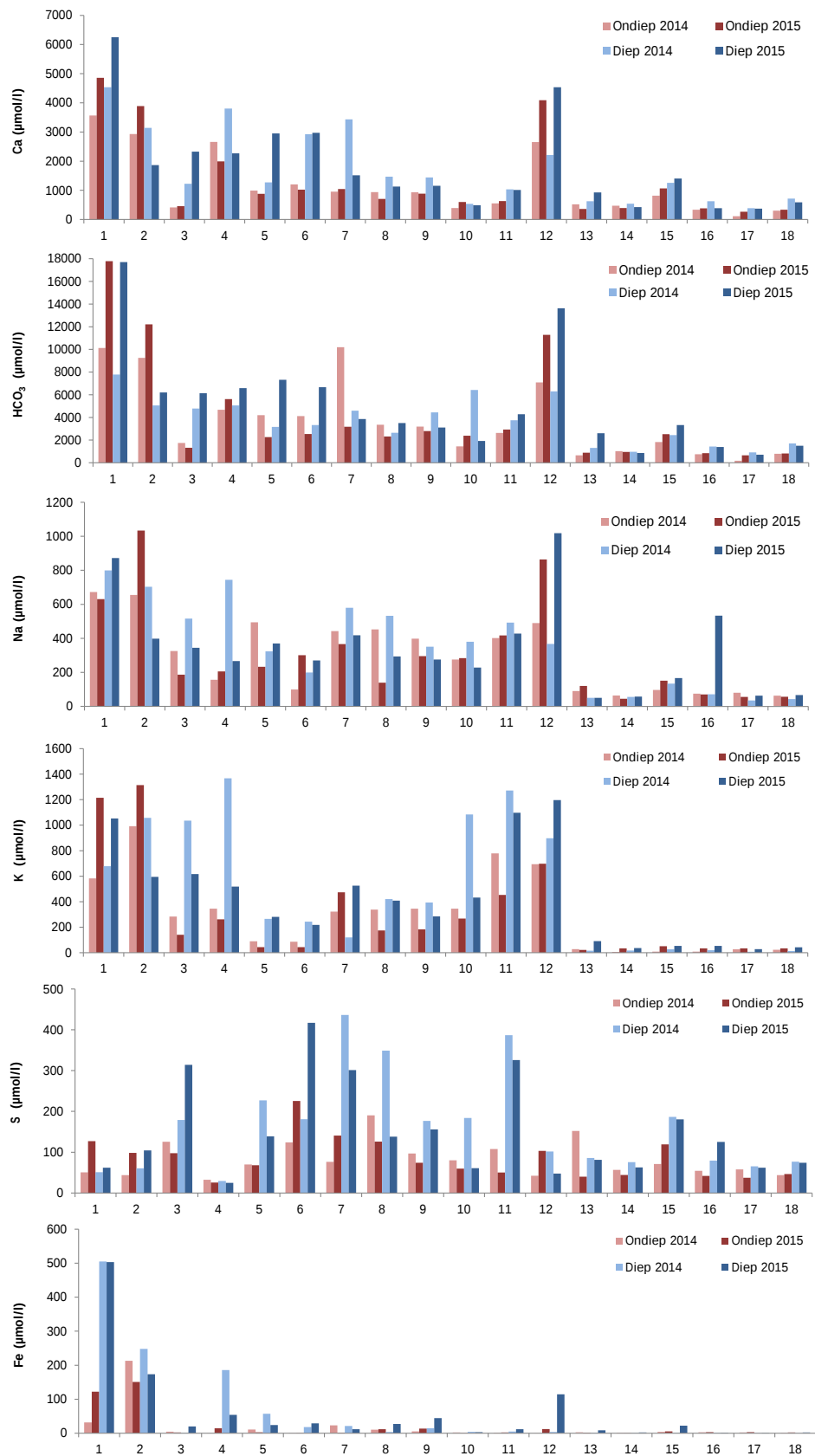
In figuur 9 is opgenomen hoeveel calcium en bicarbonaat (beide een indicator voor de mate van kwel) er in maart 2014 en maart 2015 in het poriewater aanwezig was, zowel ondiep als dieper in de bodem. Op locatie 1 en 12 waren de concentraties calcium en bicarbonaat in 2015 veel hoger dan in 2014. Op sommige locaties (bijvoorbeeld 7) waren de concentraties echter lager. Er was dus geen consequente toename over het gehele gebied, waarbij opgemerkt moet worden dat dit metingen van slechts 2 tijdstippen zijn. Voor calcium geldt dat op ongeveer de helft van de locaties de concentratie is toegenomen, bij de andere helft van de locaties was de concentratie afgenomen. Dit geldt ook voor de ondiepe metingen van bicarbonaat. Bij de diepe metingen was op iets meer dan de helft van de locaties de concentratie toegenomen. Wat verder opvalt is de lagere buffering van het poriewater op locatie 13 t/m 18 (gelegen binnen het reservaat). Dit komt overeen met de aanname dat hier geen regionale kwel tot in maaiveld komt.

Met name op locaties 1 en 12 was het poriewater zeer rijk aan calcium en bicarbonaat (calcium > 4000 $\mu\text{mol/l}$; > 160 mg/l).

De concentraties kalium waren in het poriewater op de percelen Luiten extreem hoog, met concentraties tot bijna 1400 $\mu\text{mol/l}$ (55 mg/l), in tegenstelling tot de concentraties in de meetpunten in het reservaat. Met name op locaties 3, 4, 10, 11 en 12 waren de concentraties dieper in de bodem duidelijk hoger dan ondiep in de bodem. Dit is een aanwijzing dat het meer voor de hand ligt dat kalium met het grondwater wordt aangevoerd dan dat dit uitspoeling van kaliumrijke mest zou zijn. De concentratie kalium in het poriewater is op locatie 1 t/m 12 vele malen hoger dan op locatie 13 t/m 18 (15 $\mu\text{mol/l}$; 0,59 mg/l). Op de meeste meetlocaties was de kaliumconcentratie in maart 2015 lager dan in maart 2014, maar er werden nog steeds hoge concentraties gemeten. Mogelijk is dit het gevolg van de veel hogere waterstanden in maart 2015, waarbij er mogelijk een regenwaterlens is ontstaan. De hoge kaliumconcentraties zijn mogelijk afkomstig van de mariene klei (Formatie van Breda en/of Formatie van Oosterhout) die ondiep in de ondergrond voorkomt. Calcium uit het calciumrijke grondwater kan tijdens contact met deze afzettingen uitwisselen tegen kalium, en in mindere mate ook tegen magnesium, wat eveneens de lage verhouding tussen calcium en kalium en calcium en magnesium en de hoge verhouding van natrium ten opzichte van chloride in het grondwater verklaart. De vrij lage chloride- en sulfaatconcentraties wijzen erop dat er geen oud marien grondwater opkwelt, maar dat de hoge

kaliumconcentraties het gevolg moeten zijn van uitwisseling van kationen aan het adsorptiecomplex.

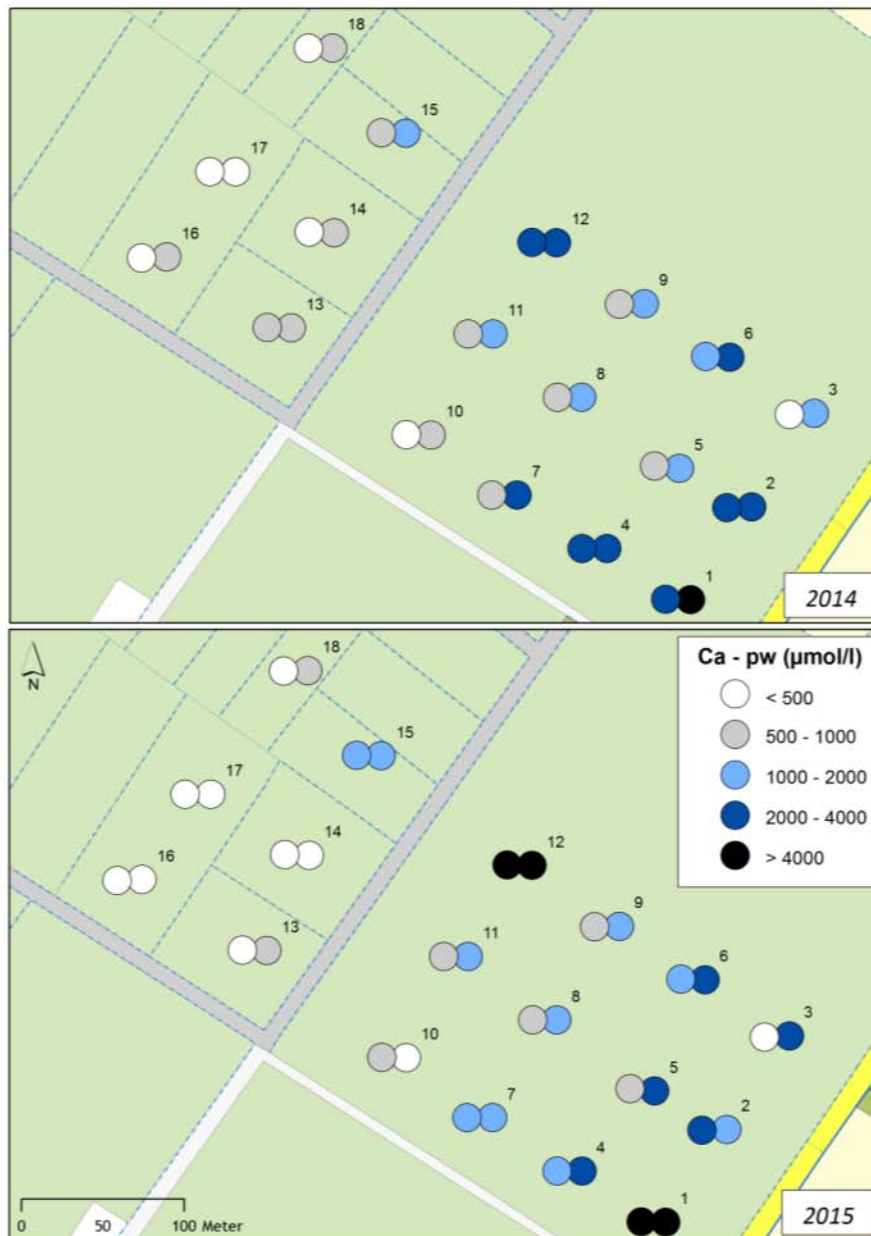
De sulfaatconcentraties van het poriewater waren met name op locaties 3, 5, 7, 8 en 11 wat hoger de dieper bemonsterde zone van de bodem dan in de andere op de andere locaties (figuur 10). Locaties 1, 2, 4 en 12 waren de meest ijzerrijke locaties, met concentraties tot wel 500 $\mu\text{mol/l}$ (28 mg/l) op locatie 1 (figuur 10). Het grondwater van peilbuis 1, gelegen in de buurt van locaties , 2 en 4 had eveneens de hoogste ijzerconcentratie. Op de overige locaties was het poriewater vrij arm aan ijzer.



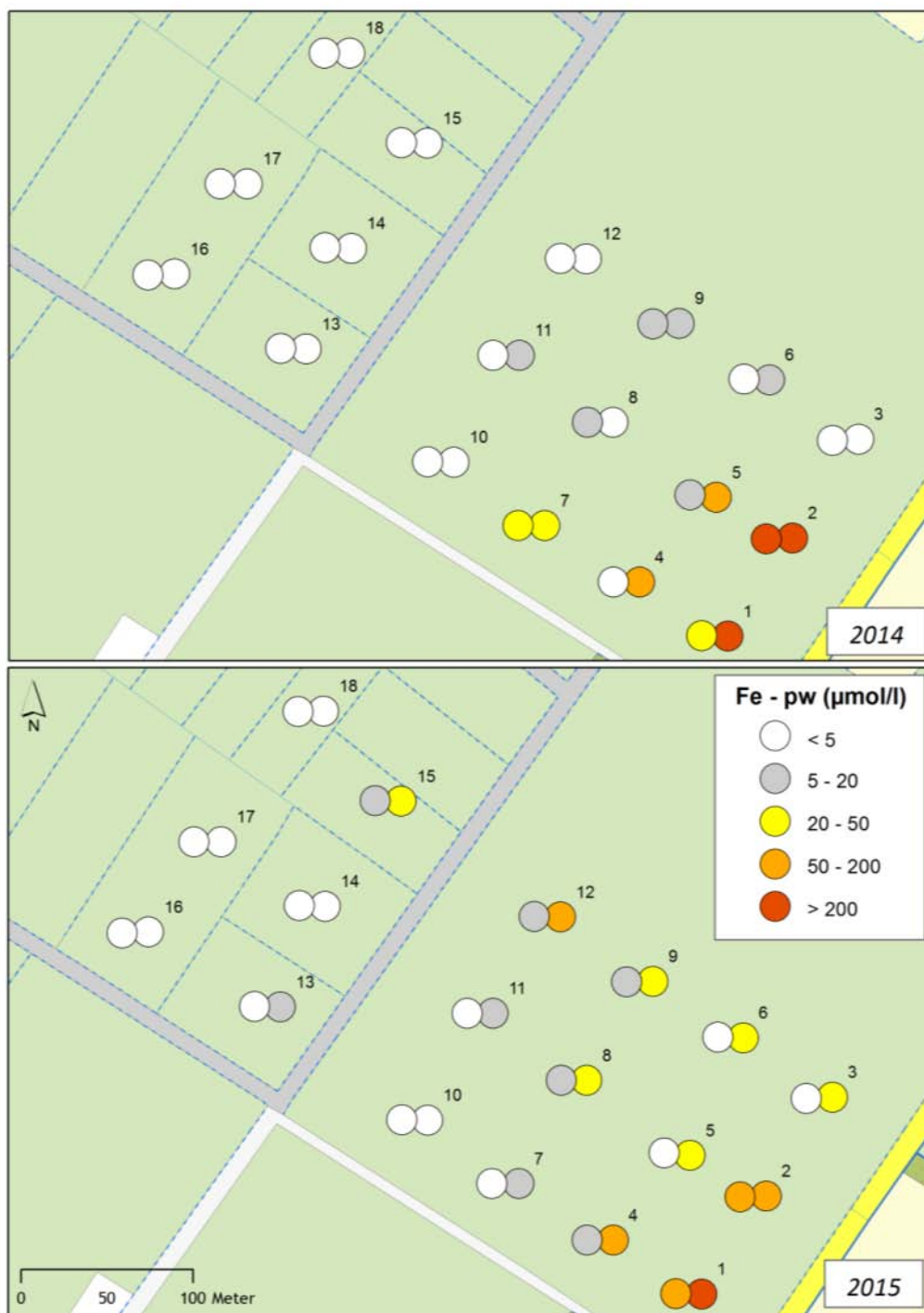
Figuur 12. De concentraties calcium, bicarbonaat, natrium, kalium, zwavel (sulfaat) en ijzer in het poriewater. De lichtgekleurde balken zijn de metingen van 2014, de donkere balken zijn de metingen van 2015. In bijlage II zijn de analyseresultaten opgenomen.

3.6 Ruimtelijke interpretatie poriewater

De hoogste calciumwaarden werden aangetroffen aan de zuidzijde van het onderzoeksgebied, rondom locatie 1, en op locatie 12 (figuur 13). Het poriewater was op die locaties extreem rijk aan calcium, met waarden hoger dan 2000 of dan 4000 μmol (donkerblauwe en zwarte stippen). Het diepe poriewater bevatte meestal meer calcium dan het ondiepe poriewater. Er was geen consequent verschil tussen 2014 en 2015. Voor de ijzerconcentratie (figuur 14) gold ongeveer hetzelfde. Er zijn erg hoge ijzerconcentraties aangetroffen op locatie 1 en 2, maar ook de concentraties op locatie 4, 5 en 12 zijn hoog. Ook hier is geen structureel verschil gemeten tussen de twee jaren.



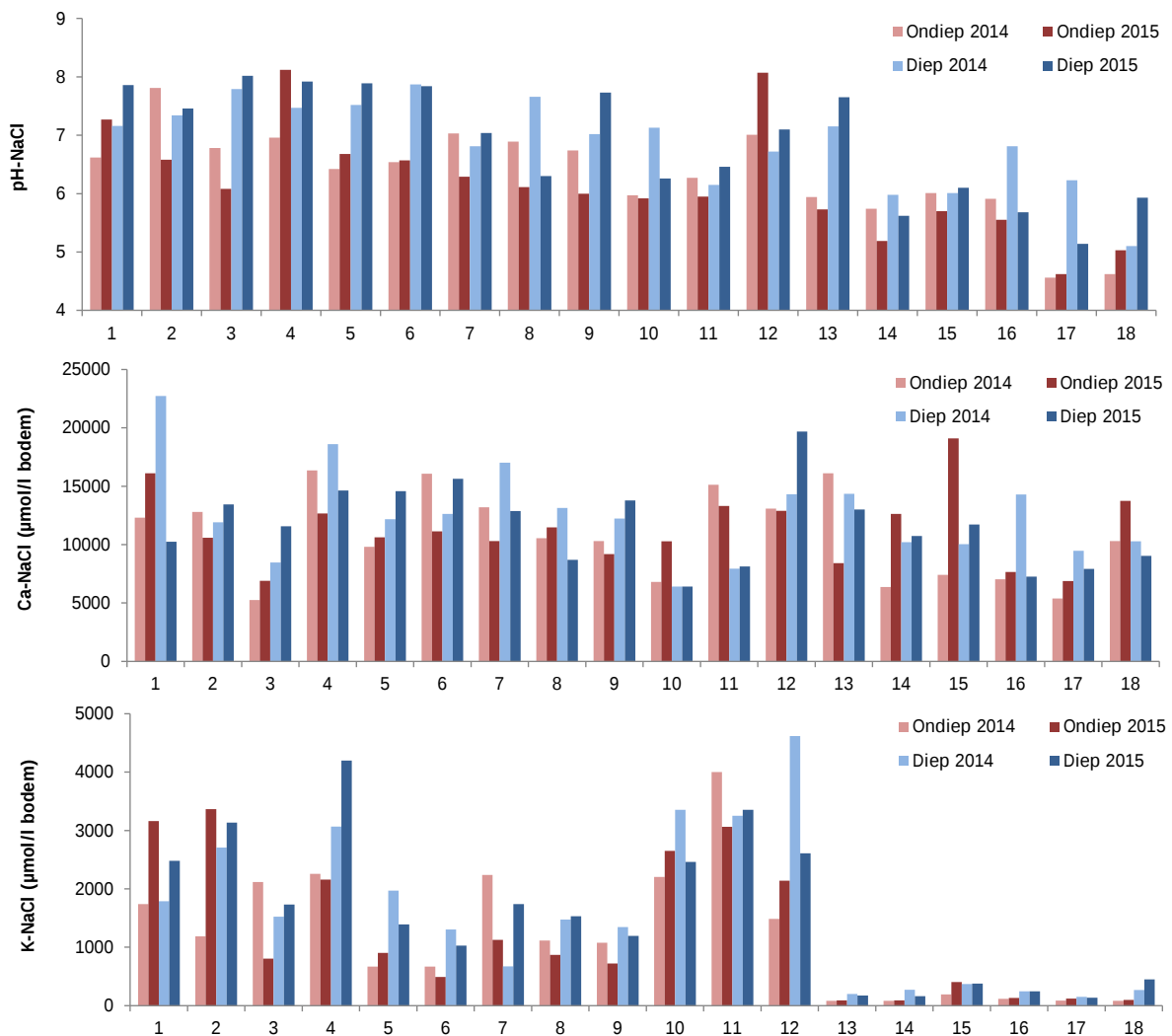
Figuur 13. Ruimtelijke weergave van de concentraties calcium in het poriewater, waarbij de linkerstippen steeds de ondiepe en de rechter stippen de diepe poriewaterbemonsteraar weergeven. Boven 2014, onder 2015.



Figuur 14. Ruimtelijke weergave van de concentraties calcium in het poriewater, waarbij de linkerstippen steeds de ondiepe en de rechter stippen de diepe poriewaterbemonsteraar weergeven. Boven 2014, onder 2015.

3.7 Bodemkwaliteit

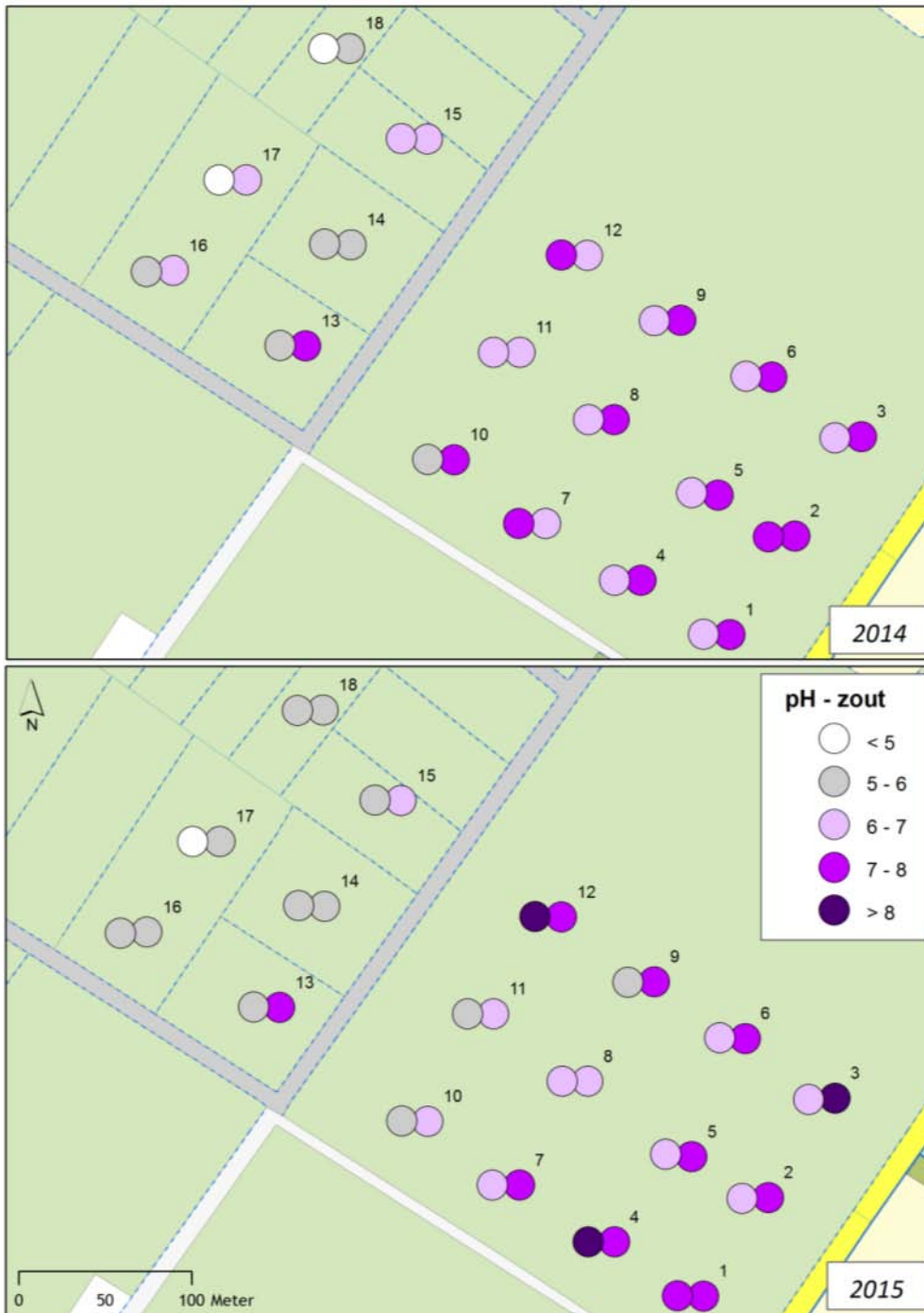
De pH van de bodem was in de percelen Luiten erg hoog (pH-NaCl tussen 6 en 8, overeenkomen met een pH-H₂O van 7 en hoger), waaruit blijkt dat de omstandigheden in het gebied behoorlijk basisch zijn (figuur 15 en bijlage III). De pH in het zoutextract was in 2015 op sommige locaties hoger dan in 2014 (locatie 1 met circa een halve eenheid), maar op andere locaties juist lager, of ondiep in het profiel lager en dieper juist hoger. Veel van de locaties hadden een hoge calciumconcentratie (> 10000 $\mu\text{mol/l}$ bodem), wat een hoge basenverzadiging indiceert; op de andere locaties was de bodem redelijk gebufferd (calciumconcentratie 5000- 10000 $\mu\text{mol/l}$). Ook de concentratie calcium in het zoutextract was niet consequent toegenomen in 2015 ten opzichte van 2014. De kaliumconcentraties in het zoutextract kwamen goed overeen met de concentraties die in het poriewater werden gemeten. Ook hier werden in de percelen Luiten extreem hoge waarden gemeten. Er was geen duidelijk verschil in kaliumconcentratie tussen de jaren. De afname die met name op locatie 2, 3, 4, 5 en 10 in het poriewater werd geconstateerd, was niet terug te zien in de concentratie uitwisselbaar kalium in de bodem.



Figuur 15. De pH, calcium- en kaliumconcentratie (NaCl-extractie) in de bodem. De lichtgekleurde balken zijn de metingen van 2014, de donkere balken zijn de metingen van 2015.

3.8 Ruimtelijke interpretatie bodemkwaliteit

Er was een duidelijk verschil in bodem-pH tussen de percelen Luiten (oostzijde, locatie 1-12)) en de percelen in het Aaltens Goor (westzijde, 13-18) (figuur 15 en 16). De pH van de bodem leek in 2015 iets te zijn gestegen ten opzichte van 2014, al was dat op sommige locaties juist niet het geval. De concentratie zoutextraheerbaar calcium in de bodem (, figuur 12) is hoog. Overeenkomstig de pH werden de hoogste concentratie zoutextraheerbaar calcium in de percelen Luiten gevonden, met name in het zuidoosten en bij locatie 12.



Figuur 16. Ruimtelijke weergave van de concentraties calcium in het poriewater, waarbij de linkerstippen de ondiepe en de rechter stippen de diepe poriewaterbemonsteraar weergeven. Boven 2014, onder 2015.



Figuur 17. een ruimtelijke weergave van de concentraties calcium in het poriewater, waarbij de linkerstippen steeds de ondiepe en de rechtse stippen de diepe poriewaterbemonsteraar vertegenwoordigen. Boven 2014, onder 2015.

4. Conclusies

Door gebrek aan gegevens over de stijghoogte van het grondwater voorafgaand aan de hydrologische maatregelen kan geen conclusie worden getrokken over de effectiviteit van deze maatregelen voor het intensiveren van de kwelstroom tot in het toekomstig maaiveld van de percelen Luiten. Er zijn geen duidelijke veranderingen opgetreden in poriewaterkwaliteit en zoutextraheerbare bodemparameters na de hydrologische maatregelen in april 2014; het betreft hier echter eenmalige metingen na iets minder dan een jaar na de ingreep op twee momenten met een groot verschil in waterstand. Wel is duidelijk dat het oppervlaktewater dat voorafgaand aan de maatregelen opkwelde in de sloten rondom de percelen Luiten hard (sterk gebufferd) en ijzerrijk is. Indien ditzelfde grondwater tot in het maaiveld van de percelen kan komen, liggen er grote potenties voor de ontwikkeling van Dotterbloemhooiland/Blauwgrasland. Als het maaiveld wordt afgegraven tot de diepte dat de fosfaatconcentratie afdoende laag is, zijn de buffering (pH en calciumconcentratie) van de bodem en de grondwaterstand momenteel hoog genoeg voor het realiseren van Dotterbloemhooiland en Blauwgrasland; De hoge ijzerconcentratie en sterke buffering op locaties 1 (2) en 12 geeft aan dat Dotterbloemhooiland waarschijnlijk hier het best kan worden gerealiseerd. Deze hoge buffering komt overeen met de hoge totaal-calciumconcentraties die in eerder onderzoek aan de oppervlakte gemeten werden op de toenmalige meest zuidoostelijke gelegen meetlocatie (ongeveer tussen monsterpunten 4 en 5) (Loeb & Bobbink, 2012) en met de hoge pH die met pH-papiertjes in monsterpunten tussen 1,2, 4 en 5 al hoog in het profiel werd gemeten (Jansen et al., 2011). Uit die profielmeting bleek niet alleen dat de pH hoog in het profiel hoger was dan in de omliggende omgeving, maar ook dat deze op grotere diepte nog hoger was, wat indiceert dat er hier buffering door omhoogkomend grondwater wordt geleverd.

Het grondwater bevat lage concentraties sulfaat en hoge concentraties bicarbonaat en kan daarom als CaHCO_3 -type omschreven worden en niet als CaSO_4 -type, zoals eerder werd aangenomen. Het water heeft een bijzondere samenstelling met zeer hoge concentraties kalium en vrij hoge magnesiumconcentraties. Ook zijn de natriumconcentraties ten opzichte van de chlorideconcentraties hoog. Deze samenstelling van het water kan mogelijk verklaard worden door de aanwezigheid van tertiaire mariene afzettingen ondiep in de ondergrond, van waaruit kalium, natrium en magnesium uitwisselen tegen calcium uit het grondwater.

Tijdens de periode dat de grondwaterkwaliteit gemeten werd, werden sterke fluctuaties gemeten in onder meer de calcium- en bicarbonaatconcentraties. Deze hingen samen met een periode met zeer hoge grondwaterstanden, waarin waarschijnlijk een regenwaterlens ontstond. De concentraties calcium en bicarbonaat die net na deze natte periode in het grondwater werden gemeten, waren in absolute zin echter nog steeds vrij hoog, maar wel een stuk lager dan in perioden dat er wel water op kon kwellen. Deze regenwaterlens verhinderde dat in deze natte periode kwelwater tot in de wortelzone van het perceel doordrong. Om het ontstaan van een regenwaterlens tegen te gaan, zou het perceel ondiep begreppeld kunnen worden om regenwater af te voeren.

5. Literatuur

Bobbink, R., M. Hart, M. van Kempen, F. Smolders & J. Roelofs (2007). Grondwaterkwaliteit bij vernatting van verdroogde natte natuurparels in Noord-Brabant. B-ware, Nijmegen.

De Becker, P. (2004). Onderzoek naar de abiotische standplaatsvereisten van verschillende beekbegeleidende *Alno/Padion* en *Alnion incanae*/gemeenschappen. Rapport Instituut voor Natuurbehoud, Brussel.

Ertsen, D., P. de Louw & J. Buma (2005). OGOR Natuur in Noord-Brabant. Hydrologische randvoorwaarden voor Brabantse natuurdoeltypen. Provincie Noord-Brabant, Den Bosch.

Jansen, A., Klimkowska, A. & F. Eysink, 2011. *Waterberging en natuurherstel in het Aaltense Goor en omgeving*. Coöperatie Unie van Bosgroepen, december 2011.

Loeb, R. & R. Bobbink, 2012. *Bodemchemisch onderzoek Aaltense Goor*. Rapportnummer: 2011.56, Onderzoekcentrum B-Ware, Nijmegen.

Smolders, A., E. Lucassen, H. Tomassen, L. Lamers & J. Roelofs (2006). De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 3(4): 5-11.

Bijlage I: Grondwaterkwaliteit peilbuizen

Tabel 4. Grondwaterkwaliteit diepe filters peilbuizen op verschillende data. Concentraties in $\mu\text{mol/l}$.

Locatie	Datum	HCO ₃	Ca	K	Fe	P	SO ₄	NH ₄	NO ₃
Pb 1	20-5-2014	4099	1597	171	48	22,3	271	61	1
Pb 1	16-10-2014	4698	1896	87	122	113,0	52	94	5
Pb 1	10-12-2014	4099	1747	192	52	64,6			10
Pb 1	18-2-2015	2899	524	59	34	51,7			3
Pb 1	9-6-2015	4362	1775	108	43	50,6	33	229	5
Pb 2	20-5-2014								
Pb 2	16-10-2014	4698	1821	307	73	61,3	52	100	3
Pb 2	10-12-2014	5098	1846	281	54	35,5			4
Pb 2	18-2-2015	2799	374	100	12	23,6			11
Pb 2	9-6-2015	4300	1700	195	34	42,3	19	117	5
Pb 3	20-5-2014								
Pb 3	16-10-2014	3699	1397	793	113	42,0	52	78	2
Pb 3	10-12-2014	3399	1198	742	17	26,2			37
Pb 3	18-2-2015	2499	599	409	57	64,6			1
Pb 3	9-6-2015	4733	1775	615	96	37,1	46	277	19
Pb 4	20-5-2014								
Pb 4	16-10-2014	2299	1272	25	3	1,9	125	6	3
Pb 4	10-12-2014	2099	1372	33	2	24,2			71
Pb 4	18-2-2015	950	549	20	7	10,7			42
Pb 4	9-6-2015	2698	1450	19	3	2,2	149	8	124

Bijlage II: Poriewaterkwaliteit

Tabel 5. Poriewaterkwaliteit maart 2014. Concentraties in $\mu\text{mol/l}$.

Locatie	Diepte	Jaar	pH	Alkali-niteit	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	S	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Cl
				meq/l	$\mu\text{mol/l}$										
1	70-80	2014	7,1	11,5	3565	32	583	701	672	6,4	51	3	42	1,65	47
2	55-65	2014	6,9	10,7	2932	213	993	723	655	30,6	44	4	119	4,36	48
3	65-75	2014	6,4	2,1	413	5	284	239	325	6,0	126	3	13	4,39	44
4	55-65	2014	7,1	8,3	2662	0	345	431	157	1,2	32	1	19	0,68	26
5	40-50	2014	6,5	3,6	989	11	90	475	494	3,9	70	2	23	1,29	61
6	55-65	2014	6,4	3,5	1206	1	86	453	99	1,4	124	1	11	0,56	37
7	55-65	2014	7,7	3,9	957	23	323	315	442	8,3	77	3	48	3,05	44
8	45-55	2014	7,4	2,1	937	11	338	401	452	11,4	190	8	10	2,43	105
9	40-50	2014	6,8	3,9	936	6	346	486	398	5,2	97	9	24	1,07	80
10	50-60	2014	6,8	1,8	395	3	345	221	275	2,4	80	5	20	0,72	23
11	45-55	2014	6,7	3,1	551	2	779	289	402	3,5	108	3	67	1,80	68
12	45-55	2014	7,2	8,1	2657	0	695	387	490	1,0	42	6	46	0,93	48
13	35-45	2014	7,0	n.a.	519	3	28	62	90	1,6	152	10	18	0,80	80
14	40-50	2014	6,3	1,2	473	1	6	44	64	1,5	57	29	15	0,87	50
15	40-50	2014	6,1	2,0	819	4	9	95	97	1,4	71	2	10	0,40	47
16	45-55	2014	6,3	1,0	334	3	8	45	75	2,2	55	12	13	0,59	49
17	20-30	2014	6,9	n.a.	110	2	26	35	80	2,4	58	11	17	0,59	69
18	20-30	2014	6,7	2,6	302	1	23	75	63	3,7	44	17	17	0,60	43
1	130-140	2014	7,0	17,5	4536	505	679	641	799	2,1	51	3	4166	0,35	518
2	115-125	2014	6,9	11,9	3141	248	1057	834	703	23,0	61	1	189	2,15	71
3	125-135	2014	7,2	5,6	1227	1	1036	498	516	3,3	179	2	27	1,83	53
4	115-125	2014	7,1	12,5	3805	186	1368	567	744	27,7	30	3	1341	3,94	98
5	100-110	2014	6,4	4,1	1275	57	265	540	323	14,9	227	2	34	4,99	113
6	115-125	2014	7,2	8,1	2927	18	244	613	199	2,5	181	2	24	0,73	39
7	115-125	2014	6,9	7,7	3433	21	120	347	579	4,5	436	7	27	1,40	457
8	105-115	2014	6,6	4,3	1469	4	420	411	533	2,4	349	3	19	0,77	85
9	100-110	2014	6,6	4,7	1440	14	394	479	351	1,9	177	1	26	0,89	81
10	110-120	2014	6,9	3,1	534	4	1085	274	380	3,4	184	1	27	1,82	78
11	105-115	2014	6,6	4,1	1036	5	1271	363	493	3,4	387	4	32	1,70	129
12	105-115	2014	7,0	6,9	2208	4	898	287	367	0,9	102	0	17	0,90	38
13	95-105	2014	6,3	1,7	628	2	16	78	50	1,0	86	1	11	0,48	45
14	100-110	2014	6,4	1,3	543	2	17	76	56	0,8	75	68	10	0,67	45
15	100-110	2014	6,4	2,9	1257	2	27	146	134	3,7	186	2	15	1,82	95
16	105-115	2014	6,4	2,2	624	2	20	117	72	1,8	79	2	16	1,27	49
17	80-90	2014	6,1	1,8	388	1	8	78	35	0,8	65	9	5	0,60	27
18	80-90	2014	6,2	3,1	717	1	13	106	43	1,2	77	2	6	0,80	33

Tabel 6. Poriewaterkwaliteit maart 2015. Concentraties in $\mu\text{mol/l}$.

Locatie	Diepte	Jaar	pH		Alkali-niteit meq/l	Ca	Fe	K	Mg	Na	P	S	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Cl
			μmol/l													
1	70-80	2015	7,2	13,2	4858	122	1215	955	631	48,6	127	4	217	3,27	292	
2	55-65	2015	7,0	12,4	3890	151	1314	1146	1034	35,3	98	16	437	5,15	125	
3	65-75	2015	6,6	2,0	456	2	140	209	187	2,3	98	6	16	1,07	77	
4	55-65	2015	7,2	5,5	1993	15	261	315	205	2,8	26	9	61	0,35	68	
5	40-50	2015	6,7	3,3	879	3	44	332	233	5,3	68	24	23	1,71	74	
6	55-65	2015	6,8	3,8	1023	1	44	375	301	3,7	226	52	15	1,86	146	
7	55-65	2015	6,8	3,7	1042	2	473	379	367	1,8	141	6	20	0,53	340	
8	45-55	2015	6,5	2,7	708	12	175	350	139	3,7	126	1	16	1,17	149	
9	40-50	2015	6,6	2,7	883	14	183	322	296	2,9	74	7	45	0,59	231	
10	50-60	2015	6,7	2,7	601	1	268	358	283	3,7	60	14	20	1,05	100	
11	45-55	2015	6,6	2,4	634	3	453	300	417	3,8	50	10	41	0,66	115	
12	45-55	2015	7,3	11,6	4089	12	698	836	863	6,4	103	8	106	1,53	204	
13	35-45	2015	6,3	1,9	364	2	22	46	120	1,5	40	7	12	0,73	229	
14	40-50	2015	6,4	1,6	391	1	34	72	45	2,4	44	3	9	1,18	135	
15	40-50	2015	6,4	2,6	1065	6	51	154	151	2,0	119	5	13	0,65	193	
16	45-55	2015	6,5	1,2	382	3	34	85	70	2,4	42	6	12	0,95	218	
17	20-30	2015	6,2	0,9	267	3	34	76	56	2,4	37	4	11	0,84	206	
18	20-30	2015	6,3	1,3	334	3	34	91	57	5,5	47	6	13	2,50	125	
1	130-140	2015	7,0	17,7	6250	503	1052	1027	872	9,5	62	4	2232	1,10	685	
2	115-125	2015	6,9	6,9	1868	173	594	630	398	31,0	104	5	139	7,33	110	
3	125-135	2015	7,0	6,6	2326	20	617	486	345	1,6	314	1	20	0,53	40	
4	115-125	2015	7,1	6,6	2267	54	519	367	267	2,2	25	4	51	0,14	75	
5	100-110	2015	7,0	8,3	2949	24	281	487	370	1,2	139	3	34	0,15	124	
6	115-125	2015	6,9	7,7	2974	29	218	596	270	1,5	417	3	16	0,27	55	
7	115-125	2015	6,5	4,7	1514	12	526	444	418	1,7	301	5	23	0,40	410	
8	105-115	2015	6,3	3,8	1129	28	408	386	293	4,0	138	2	33	1,67	310	
9	100-110	2015	6,4	3,4	1159	45	285	392	276	2,2	156	2	27	0,47	397	
10	110-120	2015	6,6	2,2	488	3	432	237	228	2,3	61	4	18	1,07	78	
11	105-115	2015	6,5	4,6	1013	12	1097	401	428	2,3	326	4	46	0,48	188	
12	105-115	2015	7,0	13,7	4536	114	1197	795	1018	3,4	48	3	978	0,15	416	
13	95-105	2015	6,6	3,4	926	9	91	264	51	1,1	81	1	9	0,43	161	
14	100-110	2015	6,5	1,7	425	3	36	89	58	1,7	63	33	8	0,49	149	
15	100-110	2015	6,5	3,3	1403	23	53	245	166	1,4	180	3	15	0,26	239	
16	105-115	2015	6,4	1,7	390	2	53	291	534	4,0	125	8	15	3,24	622	
17	80-90	2015	6,4	1,2	371	2	27	89	63	1,1	62	195	11	0,30	169	
18	80-90	2015	6,2	1,9	592	2	42	112	67	1,3	74	4	10	0,19	177	

Bijlage III: Bodemkwaliteit

Tabel 7. Poriewaterkwaliteit maart 2015. Concentraties in $\mu\text{mol/l}$ bodem.

Locatie	Diepte	Jaar	Vocht- gehalte	Bulk density	Org. stof	pH zout	Al	Ca	K	Mg	S	NO ₃	NH ₄
			%	kg/l	%	$\mu\text{mol/l}$ bodem							
1	70-80	2014	31,0	0,8	5,8	6,6	16	12306	1738	875	306	8	1145
2	55-65	2014	16,3	1,3	1,8	7,8	43	12795	1187	1818	285	18	146
3	65-75	2014	16,7	1,5	0,7	6,8	44	5255	2116	1840	86	12	36
4	55-65	2014	16,9	1,4	2,1	7,0	112	16365	2257	1597	301	41	190
5	40-50	2014	17,9	1,5	1,6	6,4	40	9811	670	3153	134	48	75
6	55-65	2014	22,3	1,4	2,3	6,5	22	16070	669	4639	177	13	91
7	55-65	2014	19,0	1,5	2,0	7,0	28	13193	2238	3216	242	20	111
8	45-55	2014	16,0	1,6	1,3	6,9	71	10544	1113	2446	125	29	88
9	40-50	2014	16,3	1,5	1,5	6,7	54	10303	1077	3245	149	72	28
10	50-60	2014	16,1	1,6	1,8	6,0	59	6807	2202	3285	94	82	120
11	45-55	2014	22,2	1,2	5,8	6,3	59	15129	4001	5260	232	65	245
12	45-55	2014	16,2	1,5	1,2	7,0	15	13083	1486	1112	159	66	30
13	35-45	2014	22,9	1,4	4,1	5,9	162	16103	83	436	211	45	97
14	40-50	2014	13,9	1,6	0,9	5,7	57	6367	83	92	70	32	32
15	40-50	2014	15,2	1,6	1,1	6,0	26	7418	192	456	100	10	26
16	45-55	2014	17,1	1,6	0,5	5,9	32	7029	116	318	76	25	159
17	20-30	2014	19,4	1,4	2,9	4,6	600	5385	86	215	86	73	64
18	20-30	2014	16,9	1,3	2,4	4,6	171	10304	80	637	106	55	108
1	130-140	2014	51,1	0,6	15,3	7,2	18	22727	1788	1679	713	12	5922
2	115-125	2014	24,2	1,4	1,4	7,3	27	11906	2706	1488	236	3	475
3	125-135	2014	20,8	1,3	0,8	7,8	89	8465	1524	1367	160	8	32
4	115-125	2014	27,8	1,2	3,1	7,5	16	18615	3068	1510	219	3	265
5	100-110	2014	22,9	1,4	1,2	7,5	12	12175	1971	2143	222	11	107
6	115-125	2014	22,5	1,4	1,5	7,9	20	12627	1304	1328	273	6	78
7	115-125	2014	22,2	1,4	1,5	6,8	13	17010	673	956	445	8	99
8	105-115	2014	21,3	1,5	1,4	7,7	25	13141	1473	1165	289	10	51
9	100-110	2014	20,9	1,5	1,1	7,0	31	12227	1345	1817	312	5	56
10	110-120	2014	22,1	1,4	1,0	7,1	30	6414	3354	2384	165	4	48
11	105-115	2014	18,9	1,6	0,9	6,2	32	7940	3251	1823	241	8	80
12	105-115	2014	23,9	1,4	1,7	6,7	15	14306	4616	1018	322	4	284
13	95-105	2014	20,4	1,5	1,1	7,2	12	14351	198	2202	194	7	80
14	100-110	2014	15,8	1,7	0,6	6,0	22	10206	270	899	129	136	36
15	100-110	2014	22,3	1,5	0,8	6,0	39	10040	369	947	170	10	66
16	105-115	2014	19,2	1,5	0,9	6,8	129	14299	243	1693	174	18	95
17	80-90	2014	19,6	1,5	1,1	6,2	62	9464	151	985	108	36	21
18	80-90	2014	20,0	1,5	1,1	5,1	29	10277	268	830	119	5	27

Tabel 8. Poriewaterkwaliteit maart 2015. Concentraties in $\mu\text{mol/l}$ bodem.

Locatie	Diepte	Jaar	Vocht- gehalte	Bulk density	Org. stof	pH zout	Al	Ca	K	Mg	S	NO ₃	NH ₄
			%	kg/l	%	$\mu\text{mol/l bodem}$							
1	70-80	2015	23,5	1,2	3,0	7,3	29	16113	3162	1481	509	15	620
2	55-65	2015	21,3	1,3	2,7	6,6	38	10588	3365	2381	226	23	306
3	65-75	2015	18,1	1,4	0,6	6,1	146	6901	803	3272	116	17	32
4	55-65	2015	18,2	1,4	1,4	8,1	57	12672	2158	1111	200	8	131
5	40-50	2015	17,5	1,3	1,2	6,7	10	10617	901	2699	207	48	135
6	55-65	2015	19,3	1,5	1,2	6,6	29	11139	491	2800	226	40	85
7	55-65	2015	19,4	1,5	10,1	6,3	62	10310	1125	2626	202	21	67
8	45-55	2015	19,7	1,4	2,0	6,1	36	11478	868	2882	186	28	50
9	40-50	2015	16,6	1,5	1,0	6,0	77	9188	722	2143	141	38	95
10	50-60	2015	18,2	1,4	2,1	5,9	53	10294	2651	3772	205	59	124
11	45-55	2015	23,3	1,2	5,0	6,0	17	13308	3061	3543	237	140	217
12	45-55	2015	17,4	1,4	1,3	8,1	150	12893	2139	1286	284	99	113
13	35-45	2015	16,8	1,5	0,9	5,7	16	8408	88	82	114	16	27
14	40-50	2015	17,8	1,6	1,4	5,2	241	12625	89	140	168	23	65
15	40-50	2015	19,0	1,4	2,8	5,7	59	19101	404	1117	257	20	33
16	45-55	2015	18,1	1,5	0,7	5,6	77	7663	132	630	110	8	27
17	20-30	2015	20,9	1,5	2,2	4,6	487	6881	119	261	100	46	57
18	20-30	2015	20,6	1,3	3,4	5,0	114	13751	97	1049	186	119	90
1	130-140	2015	26,1	1,1	1,4	7,9	165	10238	2482	1040	336	7	283
2	115-125	2015	25,1	1,1	1,9	7,5	42	13449	3134	2041	271	5	196
3	125-135	2015	19,6	1,6	0,9	8,0	65	11566	1733	2202	249	11	49
4	115-125	2015	21,6	1,4	1,5	7,9	16	14628	4198	1174	298	7	250
5	100-110	2015	24,0	1,3	1,3	7,9	10	14573	1392	1502	321	14	139
6	115-125	2015	21,7	1,4	1,6	7,8	92	15639	1028	2347	433	14	86
7	115-125	2015	23,6	1,3	1,3	7,0	12	12886	1737	2267	279	10	86
8	105-115	2015	22,8	1,5	1,0	6,3	31	8690	1529	1553	221	8	72
9	100-110	2015	23,4	1,3	1,2	7,7	49	13779	1192	2151	250	6	80
10	110-120	2015	19,4	1,5	0,9	6,3	156	6402	2463	1689	208	27	106
11	105-115	2015	21,8	1,4	1,1	6,5	117	8125	3354	1750	233	10	123
12	105-115	2015	37,7	0,9	8,2	7,1	27	19679	2607	2276	551	7	2537
13	95-105	2015	21,9	1,3	1,0	7,7	72	13003	174	1279	199	7	61
14	100-110	2015	20,0	1,5	0,8	5,6	27	10740	161	270	148	6	40
15	100-110	2015	24,1	1,2	1,5	6,1	8	11727	377	946	233	8	87
16	105-115	2015	20,7	1,2	0,7	5,7	10	7258	244	973	108	5	93
17	80-90	2015	20,7	1,4	1,0	5,1	50	7915	135	410	116	61	34
18	80-90	2015	19,3	1,5	0,9	5,9	42	9033	451	710	163	32	35

B
ware

www.b-ware.eu