

De blauwgraslanden in de Zouweboezem

*Biogeochemisch onderzoek naar de verzuringsgevoeligheid
en de effecten van inundatie met boezemwater*



De blauwgraslanden in de Zouweboezem

*Biogeochemisch onderzoek naar de verzuringsgevoeligheid
en de effecten van inundatie met boezemwater*



.....

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: De blauwgraslanden in de Zouweboezem. Biogeochemisch onderzoek naar de verzuringsgevoeligheid en de effecten van inundatie met boezemwater
Opdrachtgever: Stichting Zuid-Hollands Landschap
Rapportnummer: RP-18.196.20.1
Auteurs: Bas van de Riet (B-WARE), Tom van den Broek (RH-DHV) & Fons Smolders (B-WARE), m.m.v. Thomas Gremmen en Adam Koks.

Informatie:

Bezoekadres

B-WARE Research Centre
Radboud Universiteit Nijmegen
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen
Tel: 024-3652816
info@b-ware.eu

Postadres

B-WARE Research Centre
Radboud Universiteit Nijmegen
Postbus 6558
6503 GB Nijmegen

.....

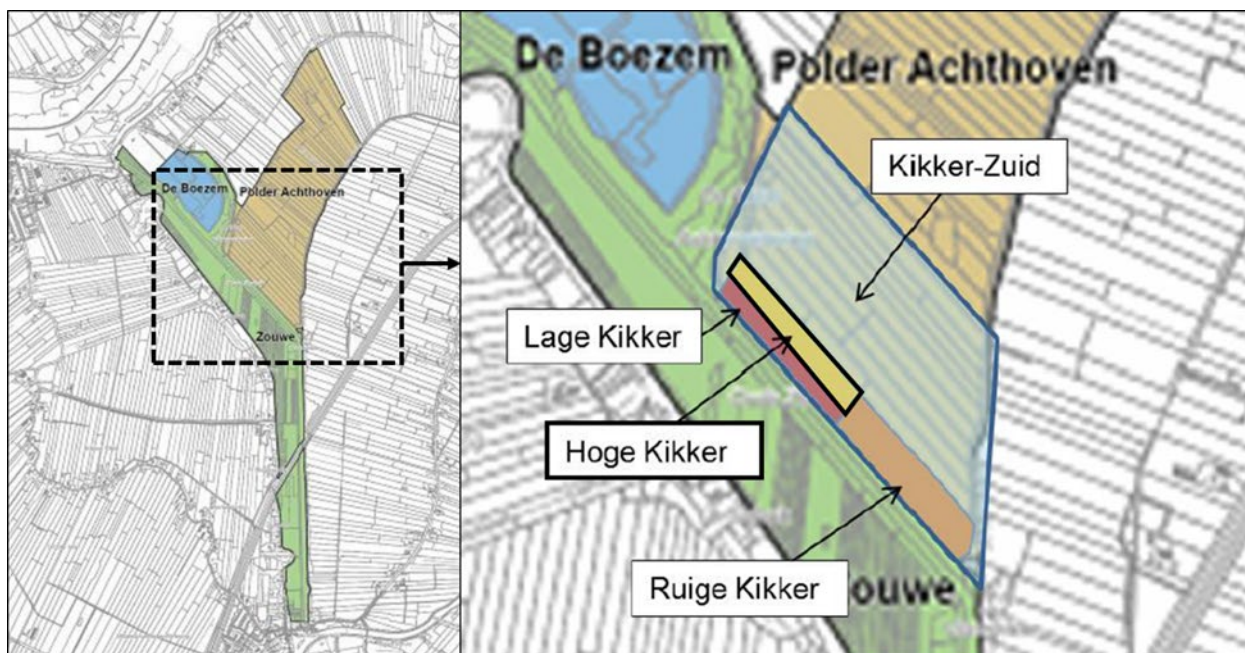
Inhoudsopgave

1. Inleiding	6
2. Aanpak en methoden.....	7
2.1 Kolomexperiment: effecten van inundatie op bodem- en waterchemie	7
2.2 Veldonderzoek: biogeochemisch onderzoek permanente kwadraten.....	9
2.3 Bewerking & chemische analyses	11
3. Resultaten en discussie	14
3.1 Kolomproef: effecten van inundatie op bodemchemie	14
3.2 Veldonderzoek: vegetatiesamenstelling en biogeochemie	19
4. Conclusies	27
5. Literatuur	30
BIJLAGE 1:.....	31
BIJLAGE 2.....	32
BIJLAGE 3.....	35
BIJLAGE 4.....	36
BIJLAGE 5.....	37

.....

1. Inleiding

In de PAS-gebiedsanalyse van N2000-gebied Zouweboezem is geconstateerd dat het blauwgrasland (habitattype H6410) in perceel de Hoge Kikker (figuur 1) gevoelig is voor verzuring als gevolg van stikstofdepositie. Dit vormt een bedreiging voor de instandhoudingsdoelstelling. Uit langjarige meetreeksen aan permanente kwadraten (PQ's) blijkt dat de Hoge Kikker met de tijd steeds verder verschaald, maar ook zijn er indicaties dat de bodem in toenemende mate verzuurd en de hoeveelheid bufferstoffen afneemt.



Figuur 1.1. Overzicht van het N2000-gebied De Zouweboezem (links). In deelgebied Achthoven ligt het onderzoeksgebied de Hoge Kikker (rechts). Bron: PAS Gebiedsanalyse Zouweboezem, Provincie Zuid-Holland.

Specifiek worden in de PAS-gebiedsanalyse ten aanzien van de Hoge Kikker twee kennisleemten geformuleerd (p.25): (1) inzicht in de buffercapaciteit van de bodem en een beoordeling of inundatie (met oppervlaktewater) een geschikte maatregel is om deze te verhogen; en (2) inzicht in de mate van ammoniakdepositie als onderdeel van de stikstofdepositie, met als doel om een beter gefundeerde inschatting te kunnen maken van de verdergaande verzuring.

Onderzoeksvragen

Het Zuid-Hollands Landschap is de terreineigenaar en verantwoordelijk voor het beheer. Zij wil weten of inundatie met oppervlaktewater een geschikte maatregel kan zijn om de buffercapaciteit te vergroten en de kwaliteit van het blauwgrasland te verbeteren. Een potentieel risico van inundatie is eutrofiëring en verruiging van de vegetatie, als gevolg van de voedselrijkdom van het oppervlaktewater. Daarnaast wil zij antwoord op de vraag of de huidige ammoniakdepositie (in de toekomst) kan leiden tot verdergaande verzuring.

2. Aanpak en methoden

Het onderzoek is opgebouwd uit twee onderdelen, te weten (1) een experimentele proef om de effecten van inundatie met oppervlaktewater te testen; en (2) een veldonderzoek in de Hoge en Lage Kikker, waarbij de biogeochemische condities en de vegetatie gedurende een winter- en zomerperiode werden gemonitord. Deze opzet leidt niet alleen tot het inzicht of er sprake is van verzuring maar tot een algehele toestandsbepaling van de abiotiek, de geschiktheid van het boezemwater voor inundatie en tot inzichten in de effecten van inundatie. Op deze manier wordt proefondervindelijk vastgesteld of inundatie een effectieve maatregel kan zijn zonder het risico dat het kwetsbare blauwgrasland negatieve effecten ondervindt.

2.1 Kolomexperiment: effecten van inundatie op bodem- en waterchemie

De effecten van inundatie werden getest door middel van een experimentele proefopzet, waarbij bodems gedurende drie maanden zijn geïnundeerd met verschillend type water, te weten boezemwater (ter plaatse verzameld) en regenwater.

Ten behoeve van de kolomproef werden op 1 maart 2019 in het veld (fig. 2.1) negen kolommen gestoken met vegetatie en de bovenste 40 cm van de bodem. In overleg met de beheerder zijn op 3 plekken (locatie 1, 2 en 3, fig. 2.2) steeds drie kolommen gestoken door een PVC buis (16 cm diameter, ca. 45 cm hoog) de bodem in te slaan; na verzamelen werden de kolommen aan de onderzijde afgedicht met een geperforeerde PVC dop. Locatie 1 betreft de Lage kikker en locatie 2 de Hoge kikker. Op beide locaties was blauwe zegge (*Carex panicea*) de dominante soort en er stond verder Pinksterbloem (*Cardamine pratensis*), Egelsboterbloem (*Ranunculus flammula*) en Knoopkruid (*Centaurea jacea*); Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*) stond in de nabijheid van de verzamellocaties. Locatie drie is afwijkend van de eerste twee plekken, omdat deze recent geplagd is en er maatregelen zijn genomen om extra oppervlaktewater aan te kunnen voeren. De vegetatie op locatie 3 werd gedomineerd door Moerasstruisgras (*Agrostis canina*) en verder was Kruipe boterbloem (*Ranunculus repens*), Pitrus (*Juncus effusus*) en Geelgroene/Dwergzegge (*Carex oederi* subsp. *oederi*) dan wel *oedocarpa*) aanwezig.

De kolomproef is uitgevoerd in de proeftuin van de Radboud Universiteit in Nijmegen. Voorafgaand aan de proef werden de kolommen gedurende 4 weken buiten opgesteld onder een afdak. Op die manier kon de bodem, die gedurende de winterperiode grotendeels waterverzadigd was geraakt met neerslag, draineren. Het porievolume in de bodem werd op die manier vergroot met het idee dat inundatie dan daadwerkelijk zal leiden dat er oppervlaktewater in de bodemporiën kan dringen.



Figuur 2.1. Impressie van de veldlocatie waar de bodemkolommen voor het experiment werden verzameld (locatie 2). Foto: Bas van de Riet, 1 maart 2019.



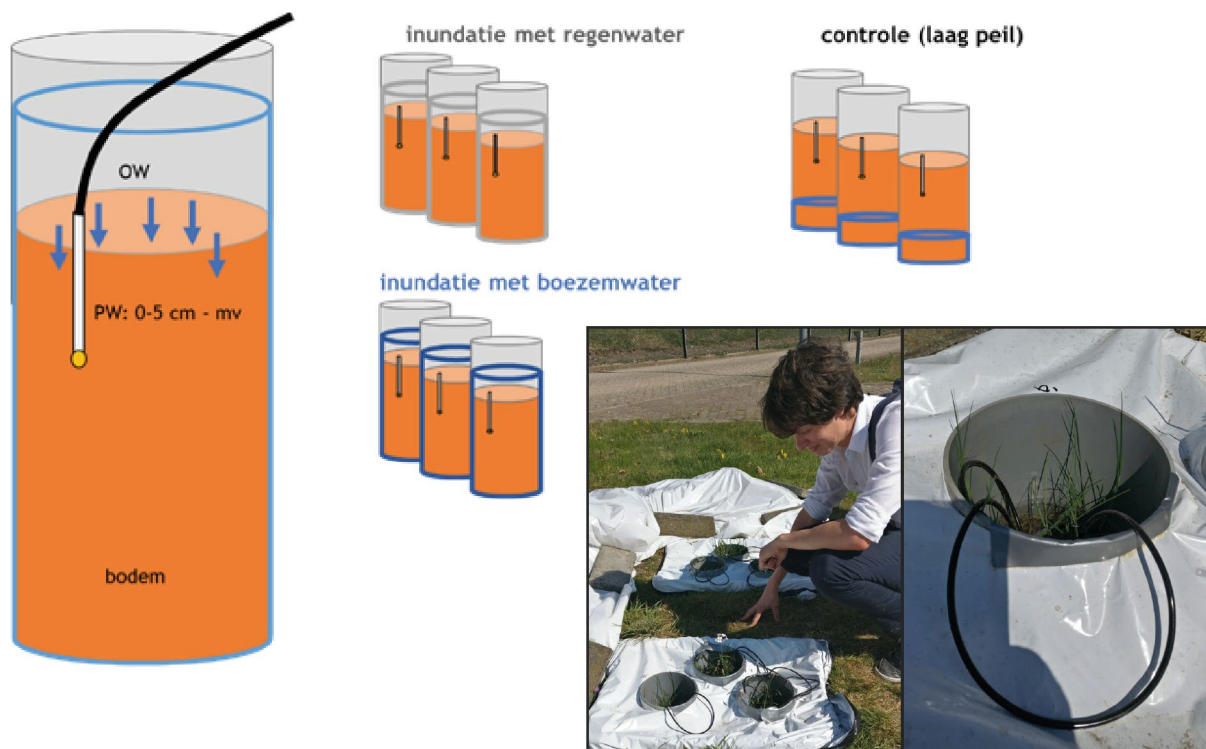
Figuur 2.2. Luchtfoto met daarop aangegeven de locaties (in paars) waar op 1 maart 2019 de bodemkolommen zijn verzameld voor de experimentele proef. De locatie waar het boezemwater is verzameld dat in het experiment is gebruikt is aangegeven met de gele driehoek. De inzet laat zien dat de locaties alle met een dunne venige kleilaag tot dikke kleilaag zijn afgedekt. De witte markeringsen zijn permanente kwadraten van het vegetatiemeetnet van de Provincie Zuid-Holland welke zijn bemonsterd voor het veldonderzoek (zie 2.2). Bron: GoogleMaps.

De kolommen werden verdeeld over drie verschillende containers (60 x 45 x 50 cm), waarbij van iedere locatie steeds één bodemkolom per container werd verdeeld (fig. 2.3). De containers zijn ingegraven om gedurende het experiment een meer constante temperatuur te kunnen houden en de bovenzijde werd afgesloten met folie om inregenen te voorkomen. De bovenzijde van de kolommen werd vrijgehouden en kon neerslag ontvangen.

De inundatie werd uitgevoerd met twee typen oppervlaktewater, een type gelijkend op regenwater en één met gebufferd water, ter plaatse verzameld uit de boezem (zie fig. 2.2 voor de locatie en bijlage 1 voor de gemiddelde chemische samenstelling). De inundatie van de kolommen werd gerealiseerd door de plastic container volledig te vullen met regenwater respectievelijk boezemwater. Een serie van 3 kolommen met een continu lage waterstand werd ingezet als controle-behandeling. Hierin werd de waterstand continu op ca. 25 cm beneden maaiveld gehouden. Na drie maanden inundatie werd de waterstand in de containers met regen- en boezemwater gelijk gezet met de waterstand in de controleserie (ca. 25 cm - mv).

Per kolom werden twee rhizon soil moisture samplers (Eijkelkamp, Giesbeek) geplaatst in de bovenste 5 cm van de bodem. Met behulp van vacuüm infuusflesjes werd regelmatig poriewater verzameld om veranderingen in de chemische samenstelling te kunnen monitoren (fig. 2.3). In de kolommen werd op vier momenten het poriewater bemonsterd. Bij aanvang van het experiment, wanneer in alle kolommen de waterstand laag is. Vervolgens tweemaal in de periode dat de kolommen geïnundeerd zijn en tot slot nog een keer nadat de waterstand weer verlaagd is. Ook het

oppervlaktewater werd bemonsterd om na te gaan hoeveel basische kationen en nutriënten hiermee worden toegevoegd.



Figuur 2.3. Schematisch overzicht van de opzet en bemonsteringsmethode van de experimentele proef met bodemkolommen. Drie kolommen werden geplaatst in een container volledig gevuld met regenwater respectievelijk boezemwater, waardoor de bodems verzadigd raakten met water (OW). Als controle-serie werden drie kolommen geplaatst in een container die gevuld met een ondiepe waterlaag (een mix van regen- en boezemwater), waardoor de bovenste 25 cm van de bodem gedraineerd bleef. Inzet: de containers werden ingegraven in de bodem en afgedekt met folie om verdamping en inregenen te beperken. Het poriewater (PW) dat chemisch geanalyseerd werd, werd met behulp van rhizons verzameld uit de wortelzone van de planten.

2.2 Veldonderzoek: biogeochemisch onderzoek permanente kwadraten

Vegetatieonderzoek permanente kwadraten

In de Zouweboezem liggen verspreid over de graslandpercelen permanente kwadraten (PQ's) die in het kader van het Vegetatiemeetnet van de Provincie Zuid-Holland soms al sinds 1976 worden opgenomen (fig. 2.4). Via het Zuid-Hollands Landschap zijn de meetnetgegevens opgevraagd. Voor het veldonderzoek zijn 4 PQ's geselecteerd die recent, in 2017 of 2018, nog zijn opgenomen en waarvan in ieder geval sinds 2010 gegevens beschikbaar zijn (fig 2.5). Het betreft allen graslandopnamen en in het veld is een definitieve keuze gemaakt op basis van de daar aangetroffen soortensamenstelling.

Uiteindelijk zijn de volgende PQ's geselecteerd om in het veldonderzoek te worden meegenomen:

PZH PQ (code)	X-coördinaat	Y-coördinaat
900147	127751	440252
900190	127770	440286
900090	127874	440184
900170	127862	440158
[900396]	128285	439677

Het betreft twee PQ's die kenmerkende soorten van blauwgrasland hebben (900147 en 900190) en twee opnamen met overgangen naar dotterbloemgrasland en/of iets drogere typen ((900170 en 900090). Van PQ 900396 is wel een vegetatieopname gemaakt, maar tijdens de bodemchemische bemonstering was het niet bereikbaar vanwege de aanwezigheid van vee.



Figuur 2.4: Locaties van de vegetatieopnamen uit het vegetatiemeetnet van Provincie Zuid-Holland. In rood en blauw de PQ's waar recent opnamen van beschikbaar zijn. Voor het veldonderzoek is een selectie gemaakt van opnamen die binnen het habitattype blauwgrasland zijn gelegen. Bron: Provincie Zuid-Holland.

Op 26 juni 2019 zijn de permanente kwadraten in het veld opgezocht met een GPS. Ter plaatse is in een vlak van 3 x 3 meter een vegetatieopname gemaakt middels de Braun-Blanquetmethode met de opnameschaal zoals aangepast door Barkman, Doing en Segal. Naast vaatplanten zijn ook de (dominante) mossoorten gedetermineerd. Binnen ieder PQ is de vegetatie bemonsterd door een vlakje van 20 x 20 cm te knippen. De vegetatiemonsters zijn vervolgens gedroogd om de bovengrondse primaire productie te bepalen. Het verzamelde plantmateriaal werd vervolgens gemalen en met behulp van een destructie en een CN-analyse werden de nutriëntenconcentraties bepaald. Dit geeft een indicatie welk element (stikstof, fosfor en/of kalium) de groei van de vegetatie limiteert.

Biogeochemisch onderzoek permanente kwadraten

De bemonstering voor het biogeochemisch onderzoek is uitgevoerd op 26 augustus en op 13 december 2019. In de zomer is eenmalig bij ieder proefvlak van de bovenste 15 cm een bodemmonster genomen voor de analyse van plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P), de hoeveelheid uitwisselbare nutriënten (o.a. ammonium, nitraat), de basenverzadiging (strontiumextractie) en

.....

totale elementenconcentraties (destructie). In ieder PQ werden keramische cups geplaatst, waarmee het poriewater uit de wortelzone (5-15 cm) werd verzameld. In de zomer bleek het in drie van de vier PQ's zeer moeilijk om voldoende poriewater te verzamelen, omdat de toplaag behoorlijk uitgedroogd was. Tijdens de winterbemonstering is de bemonstering overal, behalve in PQ900090 wel gelukt. In twee PQ's (900147 en 900190) is tevens het grondwater bemonsterd via een peilbuis met filterdiepte ca. 1,2 - 1,7 m diep.

Tot slot is het veldonderzoek iets uitgebreid door op verschillende plekken in het gebied het oppervlaktewater te bemonsteren (fig. 2.5). Daarmee is getracht om een beter inzicht te krijgen in een eventuele gradiënt langs de verlengde aanvoerweg en de fluctuaties gedurende zomer- en winterseizoen.



Figuur 2.5: Locaties van de oppervlaktewaterbemonstering (blauwe driehoekjes) en poriewaterbemonsteringen (paarse driehoekjes) in de geselecteerde PQ's uit het vegetatiemeetnet van Provincie Zuid-Holland.

2.3 Bewerking & chemische analyses

Bodem- en plantenmonsters

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door bodemmateriaal in duplo af te wegen in aluminiumbakjes. De bakjes werden precies tot aan de rand afgevuld (volume = 40,5 ml), zodat de soortelijke massa van de bodem kan worden bepaald. De bodems werden gedurende minimaal 48 uur gedroogd in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en werd het vochtverlies berekend. De fractie organisch stof in de bodem werd via het gloeiverlies bepaald. Hiertoe werd gedroogd bodemmateriaal gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en werd het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt bij benadering overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Destructie

Door de bodem en plantmateriaal te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het materiaal te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen bodemmateriaal nauwkeurig afgewogen en in teflon destructievaatjes overgebracht. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO_3 , 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H_2O_2 30%) toegevoegd, waarna de vaatjes in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega of Ethos Easy) werden geplaatst. De monsters werden vervolgens gedestruëerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werd het destruaat nauwkeurig overgebracht in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml met demiwater. Het destruaat werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Olsenextractie

Aan de hand van een Olsen-extractie kan de concentratie plantbeschikbaar fosfaat worden bepaald. Hiertoe werd aan 3 gram fijngemalen droog bodemmateriaal 60 ml 0,5 mol l^{-1} natriumbicarbonaat (NaHCO_3) toegevoegd. De pH van het extractiemedium werd op pH 8,5 gesteld met behulp van NaOH. Gedurende 30 minuten werden de monsters uitgeschud op een schudmachine (105 rpm) waarna het supernatant onder vacuüm werd verzameld met behulp van teflon poriewaterbemonsteraars. Het extract werd bewaard bij 4 °C tot verdere analyse op de ICP-OES.

Zoutextractie

Met een water- en zoutextractie kunnen de vrij in de bodem aanwezige ionen of de zoutuitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2 mol l^{-1} NaCl) of 50 ml demiwater gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met een HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analysers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

Strontiumextractie

Met een strontiumextractie kan de concentratie strontium-uitwisselbare ionen bepaald worden. Hiervoor werd vers materiaal ingewogen overeenkomstig met 5 gram droog materiaal (minerale bodems) of 2,5 gram droog materiaal (veenbodems) en met 200 ml strontiumchloride (0,2 mol l^{-1}), geschud op een schudmachine bij 105 rpm. De pH werd gemeten met HQD pH-electrode. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons. Voor analyse op de ICP-OES werd een deel van het filtraat aangezuurd met salpeterzuur (eindconcentratie 1%) en bewaard en bij 4 °C tot verdere analyse. Voor analyse op de auto-analysers werd niet-aangezuurd filtraat bewaard bij -18 °C tot verdere analyse.

C/N-analyse bodem- en plantmateriaal

Voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd een deel van het verzamelde bodem- of plantmateriaal fijngemalen in een kogelmaler. Afhankelijk van het soortelijk gewicht van het materiaal en de verwachte concentraties, werd een kleine hoeveelheid (3-40 mg) van het gemalen materiaal in een tinnen container afgewogen, waarna het in een CNS-elementenalyzer (Vario Micro Cube, Elementar) werd geanalyseerd.

Bemonstering oppervlakte-, grondwater en bodemvocht

Oppervlaktewatermonsters werden 10 cm onder het wateroppervlak verzameld en luchtdicht afgesloten in HDPE potten. Voor het bemonsteren van grondwater werd de grondwaterbuis leeggepompt waarna vers toestromend grondwater werd verzameld in luchtdicht afgesloten HDPE potten. Bodemvocht werd anaeroob verzameld met ceramische cups (Eijkelkamp Agrisearch Equipment) waaraan een vacuüm getrokken 60 ml injectiespuit werd verbonden.

De pH werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (TIC: CO₂ en HCO₃) werd bepaald met behulp van infrarood gas analyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met 0,01 mol l⁻¹ zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De extinctie (450 nm) van de oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Biotek plaatreader. De monsters voor de auto-analyzer werden bewaard bij een temperatuur van -20 °C tot aan de analyse. De monsters voor de ICP-OES werden aangezuurd voor analyse en bewaard bij 4 °C.

Elementenanalyse (ICP en auto-analysers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-OES, ICAP 6300, Thermo Fisher Scientific of, ARCOS MV, Spectro). De concentraties nitraat (NO₃⁻), ammonium (NH₄⁺) en fosfaat (PO₄³⁻) werden colorimetrisch bepaald met een Seal auto-analyser III met behulp van resp. salicylaatreagens, hydrazinesulfaat en ammoniummolybdaat/ascorbinezuur. Chloride (Cl⁻) werd colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyser III systeem met behulp van mercuritiocyanide. Natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald met een Sherwood Model 420 Flame Photometer.

3. Resultaten en discussie

3.1 Kolomproef: effecten van inundatie op bodemchemie

Theoretisch kader: bodemverzuring en buffermechanismen

In de bodem kunnen verschillende mechanismen er voor zorgen dat zuur gebufferd of geneutraliseerd kan worden. Een belangrijk buffermechanisme is de kationenuitwisseling door het bodemadsorptiecomplex. Dit complex bestaat uit kleimineralen of organische bestanddelen die aan de buitenkant negatief geladen zijn. Basische kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) kunnen daardoor aan dit complex geadsorbeerd zijn. Wanneer er zuur (H^+) in de bodem komt, bijvoorbeeld door depositie van stikstof of zwavel, dan kunnen de H^+ -ionen de kationen van het complex verdringen waardoor ze vervolgens in het poriewater terechtkomen. Omdat de H^+ -ionen dan zelf aan het complex geadsorbeerd zijn en niet meer in het bodemvocht, verandert de pH van de bodem niet. Dat wil zeggen dat er sprake is van buffering. Deze kationenuitwisseling is een relatief snel verloopend bufferproces, maar de capaciteit is beperkt: op het moment dat geen basische kationen meer kunnen worden uitgewisseld tegen het zuur, zal de pH van de bodem verder dalen (Bobbink et al., 2017).

Voor blauwgrasland kan voortschrijdende verzuring van de bodem ernstige negatieve gevolgen hebben. De pH kan flink dalen, tekorten aan basische kationen kunnen ontstaan doordat deze uitspoelen naar diepere bodemlagen en toxische metalen, vooral Al^{3+} , komen vrij. Tevens kan door daling van de pH (< 4,5) de nitrificatie steeds meer geremd raken, waardoor ammonium de dominante vorm van stikstof in de bodem wordt. Veel planten- en diersoorten, waaronder kenmerkende soorten van blauwgrasland, kunnen de combinatie van lage pH en hoge concentraties aan vrij Al^{3+} en NH_4^+ niet verdragen. Daardoor leidt verzuring bijna altijd tot een verlies van soorten (Bobbink et al., 2014).

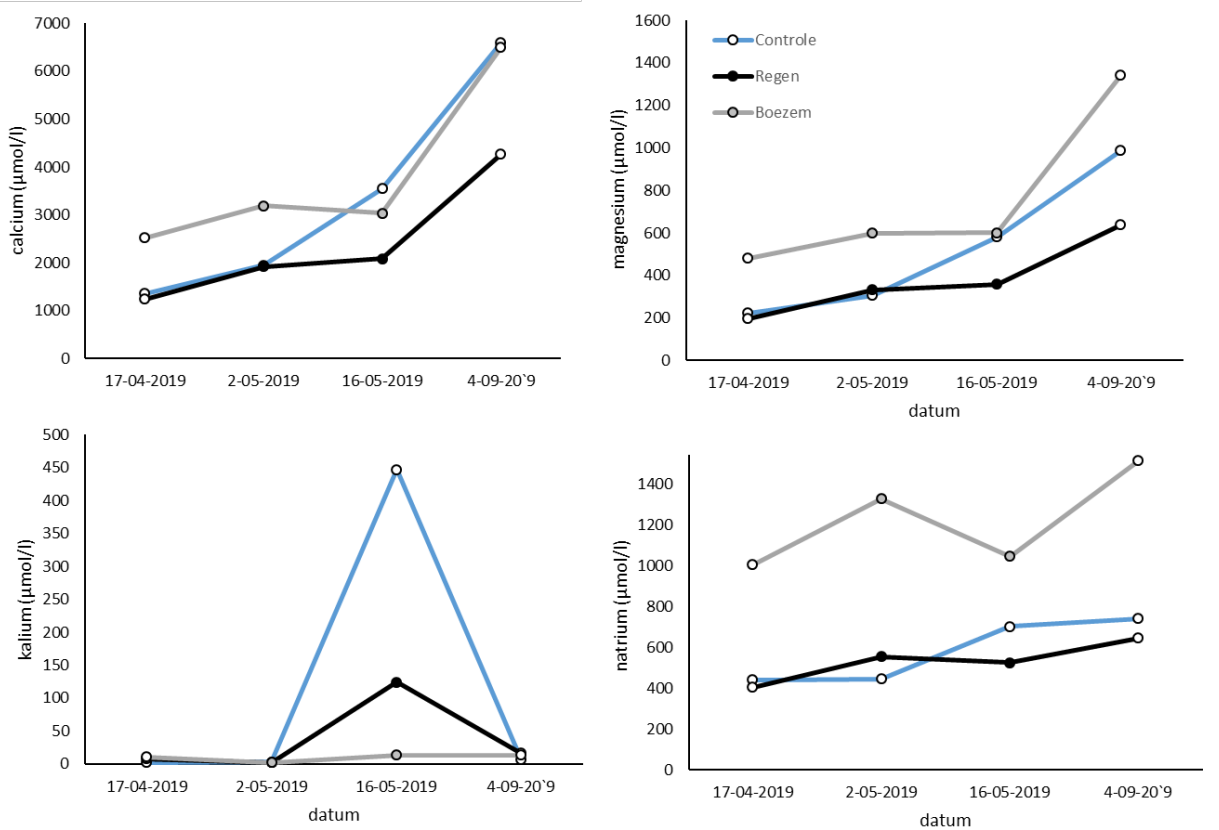
Het idee om inundatie met oppervlaktewater als maatregel te gebruiken om eventuele bodemverzuring in de blauwgraslanden van de Zouweboezem tegen te gaan is er op gebaseerd dat basische kationen via het water kunnen worden aangevoerd en zich binden aan het bodemcomplex. Op die manier kan het bodemadsorptiecomplex worden 'opgeladen' en behoudt de bodem de eigenschap om via kationenuitwisseling zuur te bufferen. Het percentage van het adsorptiecomplex dat bezet is met basische kationen kan in het laboratorium worden bepaald en wordt uitgedrukt met de term 'basenverzadiging'. Bodems waar verzuring problematisch is hebben over het algemeen een basenverzadiging van < 20-25%, matig-redelijk gebufferde bodems hebben een basenverzadiging van 25-60%, zeer goed gebufferde bodems hebben een basenverzadiging van meer dan 90 %

Effecten van inundatie op poriewaterchemie

In de experimentele proef werden bodemkolommen gedurende drie maanden volledig geïnundeerd met boezemwater of regenwater. Analyses van het boezemwater (bijlage 1) laten zien dat het water in de Zouweboezem inderdaad relatief rijk is aan calcium (2.300 $\mu\text{mol Ca/l}$) en natrium (1.500 $\mu\text{mol Na/l}$) en daarnaast ook enig magnesium en kalium bevat (524 $\mu\text{mol Mg/l}$ en 117 $\mu\text{mol K/l}$, respectievelijk). In het regenwater dat in het experiment werd gebruikt zijn de concentraties vele malen lager (92 $\mu\text{mol Ca/l}$, 100 $\mu\text{mol Na/l}$), 23 $\mu\text{mol Mg/l}$ en 21 $\mu\text{mol K/l}$). Het boezemwater is matig rijk aan fosfor (0,6 $\mu\text{mol P/l}$) en bevat een redelijke hoeveelheid stikstof (41 $\mu\text{mol NO}_3/\text{l}$ en 13,5 $\mu\text{mol NH}_4/\text{l}$).

Tijdens het experiment is regelmatig het poriewater verzameld om veranderingen in de chemische samenstelling te monitoren. Duidelijk is dat inundatie met boezemwater leidt tot hogere concentraties calcium, magnesium en natrium in het poriewater in vergelijking met de bodems die geïnundeerd zijn met regenwater (fig. 3.1). Op het moment dat deze kationen vanuit het boezemwater worden uitgewisseld met het bodemadsorptiecomplex kan dit dus helpen bij het verhogen van de basenverzadiging.

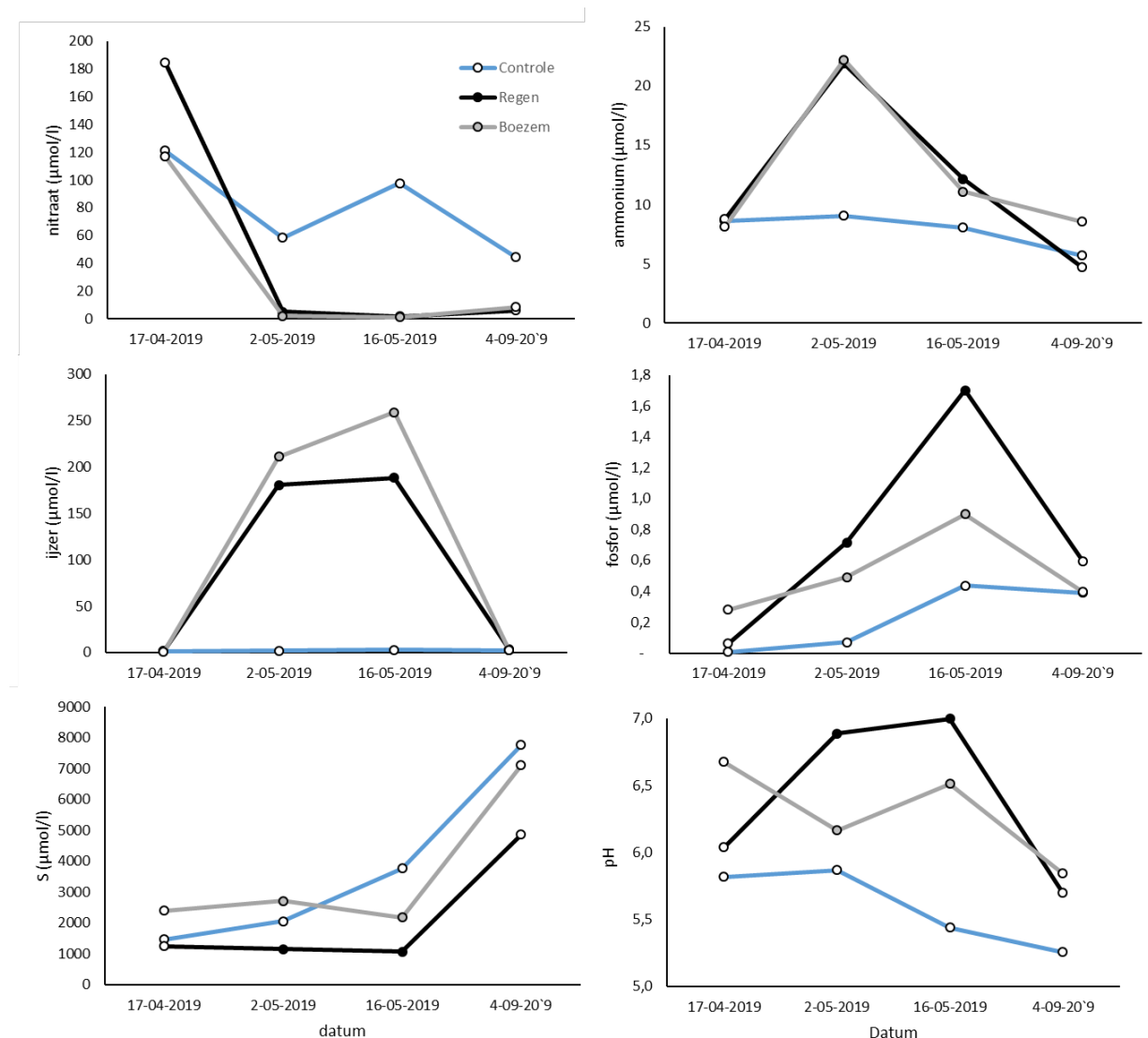
De controleserie, welke permanent gedraineerd was, laat tevens vergelijkbaar hogere concentraties calcium en magnesium zien in het poriewater. Deze toename wordt echter niet veroorzaakt door een aanvoer van extra basische kationen in het bodem-ecosysteem, maar kan waarschijnlijk verklaard worden door de afname in pH (fig. 3.2) en uitwisseling van calcium en magnesium van het bodemadsorptiecomplex. Een dergelijke pH-daling in de bodems van de controleserie is inherent aan ontwatering en een gevolg van oxidatieprocessen waarbij H^+ wordt geproduceerd. Het heeft derhalve niets te maken met verzuring door de externe bronnen, zoals atmosferische depositie van stikstof of zwavel.



Figuur 3.1: Gemiddelde concentratie calcium, magnesium, kalium en natrium in het poriewater (0-5 cm) in de bodemkolommen gedurende de looptijd van het experiment. Open bolletjes = gedraineerd, gesloten bolletjes = geïnundeerd.

Inundatie van bodems leidt verder ook tot een cascade aan reductieprocessen, waarbij andere elementen dan zuurstof fungeren als elektronenacceptor. In afwezigheid van zuurstof zullen achtereenvolgens nitraat (NO_3^-), mangaan (Mn^{4+}), ijzer (Fe^{3+}), sulfaat (SO_4^{2-}) en koolstofdioxide (CO_2) als alternatieve oxidatoren optreden. Hierbij worden ze omgezet tot respectievelijk stikstofgas (N_2), stikstofoxide (N_2O) of ammonium (NH_4^+), mangaan (Mn^{2+}), ijzer (Fe^{2+}), sulfide (S_2^-) en methaan (CH_4). Bij deze anaerobe processen wordt bicarbonaat geproduceerd, dat tijdens inundatie tot 2000 $\mu mol HCO_3^-/l$ (zie bijlage x) oploopt. Tegelijk neemt de pH toe. Deze verandering in redoxreacties

komt als eerste tot uiting in het snel verdwijnen van nitraat bij inundatie (regen- en boezemwater: < 1- 10 $\mu\text{mol NO}_3/\text{l}$), terwijl onder de permanent ontwaterde condities de nitraatconcentratie veel hoger is (gemiddeld 60-100 $\mu\text{mol NO}_3/\text{l}$). Tegelijk vindt in het poriewater accumulatie van ammonium plaats (tot 22 $\mu\text{mol NH}_4/\text{l}$), omdat nitrificatie -de omzetting van ammonium naar nitraat door aërobie micro-organismen- geremd wordt door de lage beschikbaarheid van zuurstof tijdens inundatie. Nadat de geïnundeerde kolommen weer werden gedraineerd nemen de ammoniumconcentraties weer af (fig. 3.2).



Figuur 3.2: Gemiddelde concentratie nitraat, ammonium, ijzer, fosfor en zwavel en de gemiddelde pH in het poriewater (0-5 cm) in de bodemkolommen gedurende de looptijd van het experiment. Open bolletjes = gedraineerd, gesloten bolletjes = geïnundeerd.

Als gevolg van inundatie nemen vervolgens ook de concentraties gereduceerd ijzer toe (gemiddeld tot 200 en 250 $\mu\text{mol Fe/l}$ in de regenwater-, respectievelijk de boezemwater-behandeling; fig. 3.2). Tegelijk met de reductie van ijzer wordt fosfor gemobiliseerd, doordat fosfor dat onder aerobe condities aan ijzer(hydr)oxiden is gebonden voor een deel in oplossing gaat. De concentraties in het poriewater blijven echter laag tot gemiddeld maximaal 0,8 tot 1,7 $\mu\text{mol P/l}$. Mogelijk dat in de behandeling met boezemwater -dat rijker aan calcium is dan het regenwater- een deel van het fosfor opnieuw wordt gebonden aan Ca^{2+} -ionen, waardoor het deels neerslaat en niet meer in oplossing is.

.....

De zwavelconcentraties stijgen in alle drie de behandelingen gedurende het experiment. Wel is duidelijk de invloed van het boezemwater, dat relatief veel zwavel bevat (1.500 $\mu\text{mol S/l}$; in de vorm van sulfaat), op het poriewater te zien. De toenames in zwavel worden echter gemeten op het moment dat de bodems gedraineerd zijn. Drainage na inundatie leidt tot een stijging van de zwavelconcentratie met enkele millimolen. In de controleserie die permanent ontwaterd beginnen de concentraties van het begin af aan te stijgen (fig. 3.2). Deze stijging wordt veroorzaakt door oxidatie van pyriet (FeS_x), waarbij naast sulfaat (SO_4^{2-} ; gemeten als S) ook zuur wordt geproduceerd (H^+ protonen). Vandaar dat de pH onder invloed van ontwatering eveneens afneemt (fig. 3.2).

Bodemchemie: effecten op de basenverzadiging en risico op eutrofiëring

De bodems in de kolommen die zijn gestoken, zijn veenbodems die zijn afgedekt met een dunne of dikkere kleilaag (fig. 2.2). Op locatie 1 bestond de eerste 5 cm uit kleiig veen, met daaronder 45 cm veen met enige inmenging van klei. Locatie 2 had een iets dikkere kleilaag (10 cm) en daaronder zat in ieder geval tot 50 cm - mv een (sterk) kleiige veenbodem, al dan niet met houtresten. Locatie 3 is duidelijk afwijkend door een 25 cm dik kleidek met daarin veel minder organisch materiaal dan op locatie 1 en 2. In deze klei werden ijzervlekken ('mottles') gevonden en in de diepere lagen werd een laag kleiig veen aangetroffen (35-45 cm - mv). Deze verschillen tussen de locaties worden goed weergegeven in het organisch stof percentage, dat varieert tussen 22 en 40 % (tabel 3.1).

De nutriëntenconcentraties in de bodem (tabel 3.1, controleseries) liggen in lijn van de verwachting van referentiegebieden met goed ontwikkelde blauwgraslandvegetatie. De hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor is met 140 - 230 $\mu\text{mol Olsen-P}$ per liter verse bodem laag in de controleserie. Ook de totale hoeveelheid fosfor past goed binnen de range voor goed ontwikkelde blauwgraslanden (controleserie: 5,2 - 7,4 mmol/liter verse bodem).

De hoeveelheid plantbeschikbaar stikstof is relatief laag op locatie 1 en 2 (8-24 $\mu\text{mol NO}_3$ en 80 - 158 $\mu\text{mol NH}_4$ /liter verse bodem (controleserie). Het is opvallend dat locatie 3, welke recent is afgeplagd, een relatief hoge nitraatconcentraties heeft. Dit kan komen doordat de zware kleibodem droger is (een lager vochtgehalte heeft) en daardoor een sterkere mineralisatie heeft of wellicht is dit nitraatuitspoeling na voormalig (extensief) landbouwkundig gebruik. Dergelijke stikstofconcentraties (ammonium + nitraat) vormen echter veelal geen probleem voor de natuurkwaliteit, omdat onder de condities in het veld veelal stikstofverliezen optreden in de vorm van denitrificatie, waarbij nitraat wordt omgezet naar gasvormig N_2 .

De bodems zijn (matig) rijk aan ijzer (17 - 344 mmol Fe-tot/liter verse bodem) en rijk aan calcium (99-130 mmol Ca-tot/liter vers). De uitwisselbare hoeveelheid calcium is zeer hoog (30.000 - 40.000 $\mu\text{mol Ca-z}$ /liter en dat zorgt ervoor dat de indicatieve basenverzadiging (op basis van zoutextractie) zeer hoog is (>97%). Dat wil zeggen dat de bodems goed in staat zijn om zuur te bufferen en eventuele zure depositie gedurende langere tijd geneutraliseerd kan worden.

Het belangrijkste doel van het experiment was om na te gaan of inundatie van enkele maanden blijvende (positieve of negatieve) effecten zou kunnen hebben op de standplaats van de soorten kenmerkend voor blauwgrasland. Met betrekking tot het aanrijken van de bodem met basische kationen, is calcium dominant. De toevoeging van Ca^{2+} -ionen via het boezemwater (2.300 $\mu\text{mol Ca/l}$), die ook in het poriewater tot uitdrukking komt (verhoging tot ~3.000 $\mu\text{mol Ca/l}$) leidt echter niet tot een duidelijke toename van calcium in de bodem (tabel 3.1 en bijlage 2). Het is echter niet verrassend er dat geen verschillen te zien zijn tussen de verschillende behandelingen (niet geïnundeerd versus met regen- of boezemwater geïnundeerd), omdat de bodem al nagenoeg verzadigd is met basische kationen (BV-z 97-100%) en rijk aan calcium (uitwisselbare fractie 28.000 - 40.000 $\mu\text{mol Ca-z}$ /liter bodem, totaalconcentratie 100-135 mmol Ca-tot/liter). Deze basenverzadiging is voldoende voor instandhouding van het habitatype blauwgrasland in de Zouweboezem.

Tabel 3.1. Resultaten bodemchemische analyses (per liter verse bodem) van locatie 1, 2 en 3 (fig. 2.2). Deze zijn na afloop van het kolomexperiment bepaald aan de toplaag (0-10 cm) van de bodems die drie maanden geïnundeerd zijn geweest met regen- of boezemwater, en de controleserie die niet geïnundeerd is geweest. OS= organisch stof percentage, BV-z = basenverzadiging, -z = op basis van zoutextractie, P-Olsen = plantbeschikbaar fosfor op basis van Olsenextractie, -tot = totaalconcentratie op basis van destructie, DW = droge bodem

Eenheid	locatie 1			Locatie 2			Locatie 3			
	regen	boezem	controle	regen	boezem	controle	regen	boezem	controle	
vochtgehalte	%	72,4	73,1	72,4	68,5	68,6	67,4	50,5	51,7	48,3
massavolume	kg DW /liter ver	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,6	0,6	0,7
Organisch stof	%	44,5	46,6	45,0	47,1	48,7	43,2	23,3	19,5	22,4
pH-z		5,3	5,6	5,4	4,8	5,3	4,9	5,0	5,0	4,9
H ⁺	/ kg DW	66,4	34,2	55,2	174,4	63,4	124,7	69,8	76,3	85,2
BV-z	%	96,5	96,8	97,2	97,4	97,4	96,6	99,3	99,7	99,4
Basische Kationen	µeq/liter vers	63.572	65.252	70.205	74.689	82.605	78.977	89.881	99.940	93.935
NO ₃ -	µmol/liter vers	7,9	5,9	8,4	15,0	5,0	23,9	38,5	132,1	132,4
NH ₄ ⁺	µmol/liter vers	115	91	81	62	44	157	241	123	121
Al-z	µmol/liter vers	14,7	58,6	11,8	24,3	32,5	36,9	36,9	19,7	35,5
Ca-z	µmol/liter vers	28.053	28.493	30.831	33.497	36.714	35.560	38.531	42.424	40.073
Fe-z	µmol/liter vers	3,0	2,7	2,8	3,2	10,1	3,8	3,1	1,5	2,1
K-z	µmol/liter vers	109	129	104	52	87	98	89	115	91
Mg-z	µmol/liter vers	3.679	4.069	4.219	3.822	4.545	3.879	6.365	7.488	6.849
Mn-z	µmol/liter vers	1.048	955	950	877	999	1.229	116	30	125
P-z	µmol/liter vers	1,1	1,6	1,6	1,1	1,0	1,0	0,7	0,4	0,6
S-z	µmol/liter vers	2.550	2.741	3.989	7.711	9.306	10.437	725	1.102	943
Si-z	µmol/liter vers	120	95	81	110	88	166	145	215	148
Zn-z	µmol/liter vers	1,8	0,5	1,1	3,4	2,0	5,9	0,9	0,8	1,8
P-Olsen	µmol/liter vers	120	117	141	195	141	156	254	184	230
Al-tot	mmol/liter vers	221	197	296	231	239	274	696	694	738
Ca-tot	mmol/liter vers	86,9	86,1	98,6	105,1	113,7	108,5	135,7	165,7	129,8
Cl-tot	mmol/liter vers	2,0	5,4	19,7	2,8	15,2	7,7	2,8	4,3	2,9
Fe-tot	mmol/liter vers	125	108	127	143	149	170	297	249	344
K-tot	mmol/liter vers	11,0	10,0	18,0	11,5	11,4	14,7	32,6	32,5	31,9
Mg-tot	mmol/liter vers	53,6	48,9	64,3	46,0	47,5	55,8	132,1	136,0	154,0
Mn-tot	mmol/liter vers	4,5	4,3	5,0	4,6	5,1	5,0	7,7	5,5	7,3
Na-tot	mmol/liter vers	0,6	1,6	0,4	0,1	2,5	0,7	0,3	1,1	0,4
P-tot	mmol/liter vers	4,8	4,2	5,2	5,1	5,3	5,3	7,6	7,4	7,4
S-tot	mmol/liter vers	173	155	174	181	163	215	59	78	52
Si-tot	mmol/liter vers	3,4	2,4	3,3	2,7	2,8	3,4	7,0	10,1	12,5
Zn-tot	mmol/liter vers	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7

Een potentieel negatief effect van inundatie kan zijn dat de beschikbaarheid van voedingsstoffen toeneemt (P, N, S). De over het algemeen laag-productieve blauwgraslandvegetaties zullen als gevolg van eutrofiëring qua soortensamenstelling veranderen: snel groeiende soorten zullen zich vestigen en/of dominant worden en kenmerkende blauwgraslandsoorten kunnen daardoor verdwijnen. Eutrofiëring door inundatie met boezemwater kan op twee manieren plaats vinden: (1) door een aanvoer van extra nutriënten via het water en (2) door zogenoemde 'interne eutrofiëring', waarbij de beschikbaarheid van nutriënten vergroot wordt als gevolg van de inundatie. Beide risico's lijken op basis van dit experiment beperkt. De fosforconcentraties in de bodem zijn laag (120-200 µmol Olsen-P/liter) en de fosforconcentratie in het boezemwater (gemiddeld 1,3 µmol P/l) leidt dan ook niet tot een significante toename van de fosforbeschikbaarheid (tabel 3.1). De beperkte hoeveelheid fosfor die tijdens inundatie mobiliseert (0,8 - 1,7 µmol P/l in poriewater; fig. 3.1), wordt nadat de toplaag van de bodem weer is droog gevallen opnieuw vastgelegd. Het boezemwater bevat daarnaast ook ammonium en nitraat (gemiddeld 13,5 µmol NH₄/l en 40 µmol NO₃/l). Dit zal deels denitrificeren (omzetting naar gasvormig stikstof) en op die manier uit het systeem verdwijnen. Na droogval zal het resterende ammonium worden omgezet naar nitraat (nitrificatie). Hierdoor kan tijdelijk inundatie leiden tot een netto verlies van stikstof en dit is gunstig. Er wordt via het boezemwater wel sulfaat aangevoerd. Als gevolg van sulfaatreductie zal een deel hiervan als sulfide kunnen binden aan ijzer waardoor de beschikbaarheid van P kan toenemen. We hebben echter gezien dat het effect van inundatie op de P mobilisatie beperkt is. We zien wel dat de verhouding tussen totaal ijzer en totaal-zwavel relatief ongunstig is op de meer organische locaties 1 en 2. Deze bodems zijn gevoelig

.....
voor langdurige inundatie met sulfaatrijkwater. Tevens zijn ze gevoelig voor verdroging omdat ze meer pyriet (gereduceerd zwavel) bevatten waardoor ze sterker kunnen verzuren bij langdurige verdroging.

3.2 Veldonderzoek: vegetatiesamenstelling en biogeochemie

Op 26 juni 2019 zijn er vijf vegetatieopnamen gemaakt op locaties die onderdeel vormen van het provinciale vaste meetnet vegetatie (tabel 3.2). Twee hiervan (PZH-code 900147 en 900170) liggen in de Lage Kikker, twee (900090 en 900190) in de Hoge Kikker en één (900396) in de Ruige Kikker.

De opnamen 900190 en 900147 kunnen worden gerekend tot het Junco-Molinion (verbond van biezeknoppen en pijpenstrootje). Op basis van de aanwezigheid van blauwe zegge (*Carex panicea*) en spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*) hebben deze opnamen zeker kenmerken van de associatie *Cirsium dissecti*-Molinietum (blauwgrasland). Het soortenspectrum van met name opname 900190 wijst echter ook op (een overgang naar) RG *Agrostis canina* [Junco-Molinion]. In beide opnamen komt verder veenpluis (*Eriophorum angustifolium*) vrij veel voor. De overige opnamen kunnen worden gerekend tot het *Calthion palustris* (dotterbloem-verbond) met overgangen naar zowel soorten van iets drogere condities, zoals Knoopkruid (*Centaurea jacea*), Scherpe boterbloem (*Ranunculus acris*) en Veldzuring (*Rumex acetosa*), als overgangen naar Parvocaricetea (Klasse der kleine zeggen). Deze opnamen kenmerken zich met soorten als gewone dotterbloem (*Caltha palustris*), moerasrolklaver (*Lotus pedunculatus*), echte koekoeksbloem (*Silene flos-cuculi*) en tweerijige zegge (*Carex disticha*). De twee 'blauwgrasland-opnamen' liggen van de vijf opnamen duidelijk het laagst, hetgeen resulteert in een langdurig nattere standplaats.

Om na te gaan of in het afgelopen decennium de standplaatscondities zijn veranderd is op basis van de indicatiegetallen een analyse gedaan. Van deze locaties zijn uit het vegetatiemeetnet (provincie Zuid-Holland) de opnamen uit 2010 of 2011, 2014 of 2015 en 2017 of 2018 verzameld en, evenals die uit 2019, omgezet naar numerieke abundantie. Per locatie per opnamejaar zijn aan de soorten de Ellenberg-waarden¹ voor de standplaatsfactoren voedselrijkdom, zuurgraad en vocht gekoppeld (voor zover beschikbaar). Vervolgens is per locatie, per jaar de gemiddelde Ellenberg-waarde voor een standplaatsfactor uitgerekend door de beschikbare Ellenberg-waarden te sommeren en vervolgens te delen door het aantal soorten waarvoor een Ellenberg-waarde beschikbaar is. Door een vergelijking te maken van de waarden door de tijd heen, kan inzicht worden verkregen in een mogelijke verandering van (een) standplaatsfactor(en).

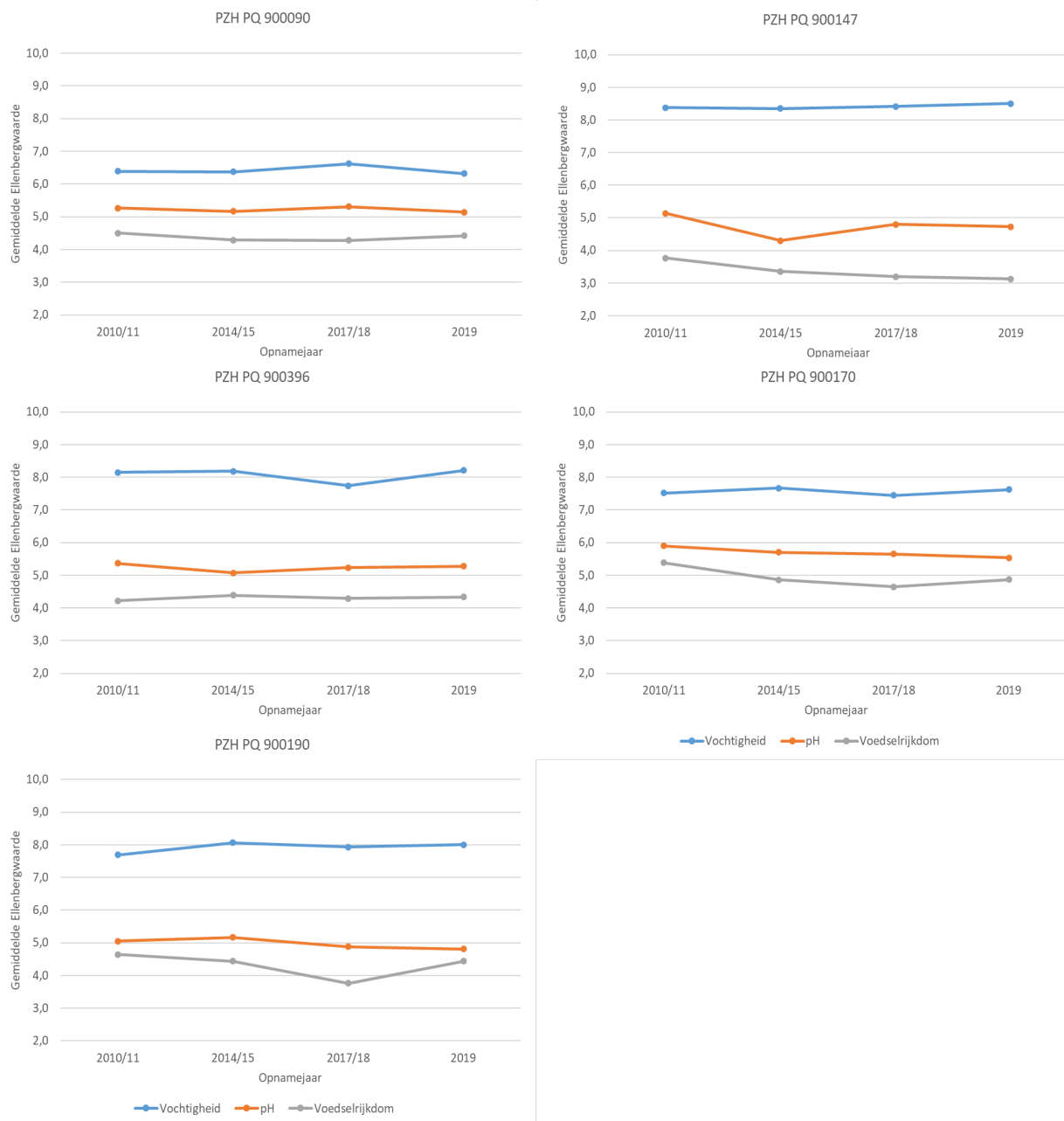
De Ellenberg-waarden voor de drie standplaatsfactoren door de tijd heen staan weergegeven in fig. 3.3. Duidelijk wordt dat er over een periode van een kleine tien jaar, op geen van de locaties een wezenlijke verandering in een standplaatsfactor kan worden geconstateerd. Op basis van de vegetatie kunnen de locaties worden gekenmerkt als vochtig tot nat, met uitzondering van die van locatie 900090 (droog/vochtig tot vochtig). De bodems zijn matig zuur en voedselarm tot matig voedselrijk (die op 900147 is eerder voedselarm).

Eenzelfde analyse is gedaan voor de deelgebieden Lage Kikker en Hoge Kikker, waarbij de opnamen zijn samen genomen. In figuur 3.4 staat het verloop van de Ellenberg-waarden voor de drie standplaatsfactoren door de tijd heen. Hierin is te zien dat de permanente kwadraten in de Lage Kikker duidelijk natter zijn (vochtig tot nat) dan de plots in de Hoge Kikker (vochtig). De standplaatsfactoren zuurgraad en voedselrijkdom laten niet veel verschil zien tussen beide deelgebieden. Ook blijkt dat in het verloop van de tijd in geen van de deelgebieden een wezenlijke verandering in een standplaatsfactor kan worden geconstateerd.

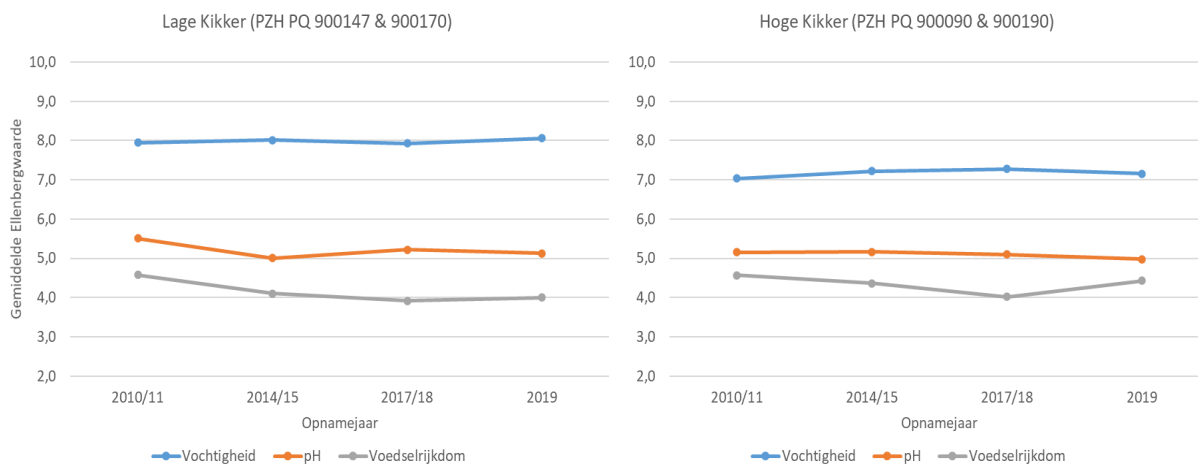
¹ Ellenberg-waarden zijn getallen om de ecologische voorkeur (standplaatsfactoren) van wilde vaatplanten te kwantificeren en deze zo te kunnen vergelijken met andere soorten. Van alle vaatplanten is voor verschillende abiotische factoren een indicatiegetal vastgesteld op een schaal die loopt van 1 tot 9.

Tabel 3.2. Vegetatieopnamen gemaakt op de locaties van de permanente kwadraten van het vegetatiemetnet van Provincie Zuid-Holland (PZH-PQ). In blauw gearceerd soorten kenmerkend voor het vegetatietype blauwgrasland; in geel kenmerkende soorten van dotterbloemgrasland. Braun-Blanquetcodes: r = 1-2 exx.; + = 3-5 exx; 1 = 5-20 exx.; 2m = 20-100 exemplaren met lage bedekking; 2a = 5-12.5% bedekking; 2b = 12.5 - 25% bedekking, 3 = 25-50% bedekking; 4 = 50 - 75% bedekking; 5 = 75-100% bedekking. * = kensoort blauwgrasland, # = kensoort dotterverbond.

PZH PQ (code)	900147	900190	900090	900170	900396
X-coördinaat	127751	127770	127874	127862	128285
Y-coördinaat	440252	440286	440184	440158	439677
dag	26	26	26	26	26
maand	6	6	6	6	6
jaar	2019	2019	2019	2019	2019
kruidlaag (bedekking %)	100	100	100	100	100
moslaag (bedekking %)	25	40	50	30	30
<i>Carex panicea</i> *	2b	3			
<i>Cirsium dissectum</i> *	+	1			
<i>Eriophorum angustifolium</i>	2m	2a			
<i>Myosotis laxa</i> s. <i>cespitosa</i>		+			
<i>Alnus glutinosa</i>		+			
<i>Calligon cordifolium</i>	2m				
<i>Carex oederi</i>	2m				
<i>Carex riparia</i>	+				
<i>Hydrocotyle vulgaris</i>	1				
<i>Iris pseudacorus</i>		+			
<i>Lysimachia vulgaris</i>		+			
<i>Mentha arvensis</i>		+			
<i>Menyanthes trifoliata</i>	+				
<i>Menyanthes trifoliata</i>		+			
<i>Agrostis canina</i>	2m	2m	2a	2m	3
<i>Carex acuta</i> x <i>nigra</i>	2b	2a	1		
<i>Eleocharis palustris</i>	2m	1			+
<i>Lythrum salicaria</i>	+	+		+	
<i>Juncus articulatus</i>	2a				1
<i>Caltha palustris</i> #		+		+	+
<i>Lotus pedunculatus</i> #		+	2m		+
<i>Silene flos-cuculi</i> #			+	1	+
<i>Carex disticha</i> #				2m	1
<i>Rhynchospora squarrosa</i>	2m	3	1		
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	2m	2a		
<i>Carex vesicaria</i>	2m				2m
<i>Centaurea jacea</i>	+	3			
<i>Glyceria fluitans</i>	+				2b
<i>Ranunculus acris</i>	+	2a	+		
<i>Rumex acetosa</i>		1	1		+
<i>Equisetum palustre</i>		1	2a		
<i>Juncus effusus</i>	+				2m
<i>Mentha aquatica</i>	+				
<i>Cardamine pratensis</i>	1		1		1
<i>Poa trivialis</i>	1		2a		2a
<i>Cynosurus cristatus</i>			2a		
<i>Festuca pratensis</i>			2a		
<i>Festuca rubra</i>			2a		
<i>Agrostis capillaris</i>			2a		
<i>Deschampsia cespitosa</i>					2m
<i>Pedicularis palustris</i>	+				2a
<i>Angelica sylvestris</i>				+	
<i>Myosotis scorpioides</i>				1	+
<i>Lysimachia nummularia</i>		+	+		
<i>Phalaris arundinacea</i>					1
<i>Agrostis stolonifera</i>					1
<i>Alopecurus pratensis</i>		+	1		
<i>Equisetum fluviatile</i>			+		+
<i>Glechoma hederacea</i>				+	
<i>Kindbergia praelonga</i>				2m	
<i>Leucanthemum vulgare</i>		+			
<i>Luzula multiflora</i>		+			
<i>Persicaria amphibia</i>				+	
<i>Prunella vulgaris</i>		+			
<i>Symphytum officinale</i>				2a	
<i>Thalictrum flavum</i>				+	
<i>Trifolium pratense</i>		+			
<i>Trifolium repens</i>		+			
<i>Valeriana officinalis</i>			2a		
<i>Vicia cracca</i>		+			
<i>Ranunculus flammula</i>	1	2a	+	1	2b
<i>Calligonella cuspidata</i>	2a	3	1	2a	3
<i>Holcus lanatus</i>	1	2m	2m	2a	2b
<i>Juncus conglomeratus</i>	2m	2a	2m	1	
<i>Carex acuta</i>	2b	2b		4	2m
<i>Galium palustre</i>	+	1		1	1
<i>Anthoxanthum odoratum</i>		1	2m	1	2a
<i>Cirsium palustre</i>		+	+	2a	+
<i>Plantago lanceolata</i>		+	2a	+	+
<i>Ranunculus repens</i>		+	+	1	3



Figuur 3.3: Gemiddelde Ellenberg-waarden voor de drie standplaatsfactoren voedselrijkdom, zuurgraad en vocht per locatie over de periode 2010/2011 - 2019 op basis van gegevens uit het vegetatiemeet van Provincie Zuid-Holland.



Figuur 3.4: Gemiddelde Ellenberg-waarden voor de drie standplaatsfactoren voedselrijkdom, zuurgraad en vocht voor de deelgebieden Lage Kikker en Hoge Kikker over de periode 2010/2011 - 2019 op basis van gegevens uit het vegetatiemeet van Provincie Zuid-Holland.

Na afloop van de vegetatieopnamen zijn monsters van de bovengrondse biomassa genomen. Chemische analyse van deze plantbiomassa kan indicatief zijn voor welk nutriënt de primaire productie van de vegetatie gelimiteerd wordt (meestal N of P). Blauwgraslanden worden meestal gekenmerkt door fosforlimitatie. De N:P ratio indiceert een limitatie door fosfor in PQ 900190 en PQ900170 (N:P >16) en in PQ900147 een limitatie door stikstof (N:P < 12) (Koerselman & Meuleman, 1996; Olde-Venerink et al., 2003). Het hogere P gehalte en de lage N:P ratio van locatie PQ900147 kan worden veroorzaakt, doordat deze locatie relatief nat is. Hierdoor is de gemiddelde P beschikbaarheid als gevolg van reductieprocessen mogelijk hoger waardoor de vegetatie meer P kan opnemen. Ook de biomassaproductie is op deze locatie hoger dan op de locatie PQ900190.

Tabel 3.3: Analyse van plantchemie. De concentratie C, N, P en K, de ratio's tussen de verschillende elementen en de biomassaproductie werd bepaald aan een vegetatiemonster (20 x 20 cm).

Locatie	C %	N %	P %	K %	N/P ratio	N/K ratio	P/K ratio	K/P ratio	biomassa g DW/m ²
PQ 900147	41,71	1,19	0,14	0,79	8,66	1,50	0,17	5,78	870,75
PQ 900190	44,28	1,39	0,08	0,61	16,55	2,27	0,14	7,29	549,25
PQ 900170	45,44	1,23	0,07	0,30	17,34	4,06	0,23	4,27	648,75
PQ 900090	43,48	1,33	0,10	0,62	13,69	2,15	0,16	6,36	841,75
PQ 900396	44,40	0,96	0,07	0,33	13,12	2,89	0,22	4,53	506,25

Biogeochemisch onderzoek

In augustus 2019 zijn de bodems eenmalig bemonsterd in het kader van het veldonderzoek. De bodemchemische analyses (tabel 3.4) komen goed overeen met de verschillen en overeenkomsten die worden geconstateerd in de vegetatieopnamen. De 'blauwgraslandopnamen' (PQ 900147 en PQ 900190) hebben een relatief hoog organisch stofgehalte (30-35%) en bodemvochtgehalte (58-68%) en een relatief lage concentratie plantbeschikbaar fosfor (560 - 670 µmol Olsen-P/l) en totaal-fosfor (10,7 - 12,5 mmol P-tot/l). Daarbij moet worden opgemerkt dat deze locaties wat fosfaatrijker zijn dan de plekken die in het kader van het kolomexperiment zijn bemonsterd (tab. 3.1) en binnen de percelen dus sprake is van enige variatie. De andere twee opnamen (PQ 900090 en PQ 900170) hebben duidelijk een grotere fosforbeschikbaarheid (980 - 1.150 µmol Olsen-P/l, respectievelijk 15,3 - 17,1 mmol P-tot/l) en de bodem is ook duidelijk kleiiger (organisch stofgehalte 20%, respectievelijk 5 %). Opvallend is dat op de blauwgraslandlocaties de bodem relatief rijk is aan plantbeschikbaar stikstof (nitraat + ammonium = 310 tot 370 µmol N/liter), met name de hoeveelheid uitwisselbaar ammonium in PQ 900147 is behoorlijk hoog (238 µmol NH₄/liter). Het is goed mogelijk dat dit wordt veroorzaakt door mineralisatie van organisch stof gedurende de zomerdroogte. Hierbij wordt ammonium vrijgemaakt dat vervolgens wordt omgezet naar nitraat (nitrificatie).

Verder zijn de bodems (vrij) rijk aan calcium (77-105 mmol Ca-tot/l) en ijzer (135 - 396 mmol Fe-tot/l). De basenverzadiging is hoog (BV-sr en BV-z beide >90%), wat in lijn is met de eerder gevonden waarden in het kolomexperiment (sectie 3.1). In alle bemonsterde permanente kwadraten is de bodem rijk genoeg aan basische kationen om via kationenuitwisseling verzuring te neutraliseren.

Tabel 3.4. Analyseresultaten van de bodem (0-10 cm) op de locaties van de permanente kwadraten van het vegetatiemeetnet van Provincie Zuid-Holland. -z = zoutextractie, -sr = strontiumextractie en -tot = destructie (N.B. in PQ 900396 kon de bodem niet bemonsterd worden).

Code PZH-PQ		900147	900190	900090	900170
Vocht	%	68,3	58,6	35,2	58,3
Massavolume	kg/l	0,4	0,5	0,6	0,5
Organisch stof	%	35,6	30,7	20,2	4,7
pH-z		5,1	5,5	4,7	5,0
Olsen-P	µmol/l	564,4	679,1	976,4	1143,7
P-tot	mmol/l	10,7	12,5	15,3	17,1
OP/tP	mol/mol	0,05	0,05	0,06	0,07
P-z	mmol/l	0,8	0,5	1,1	2,2
BV-z	%	97,7	98,1	98,4	99,6
BV-sr	%	97,2	93,7	91,7	96,9
NO ₃ -z	µmol/l	135,8	216,6	74,0	188,0
NH ₄ -z	µmol/l	237,8	93,2	83,6	57,2
NO ₃ + NH ₄	µmol/l	373,6	309,7	157,6	245,2
Al-tot	mmol/l	343,0	469,0	1023,9	727,9
Ca-tot	mmol/l	104,7	88,0	77,1	92,2
Fe-tot	mmol/l	135,4	187,4	396,1	215,2
K-tot	mmol/l	11,9	15,0	45,6	34,9
Mg-tot	mmol/l	50,2	65,0	145,4	102,3
Mn-tot	mmol/l	9,1	4,7	9,6	13,2
Na-tot	mmol/l	2,5	1,4	2,5	7,3
S-tot	mmol/l	64,4	54,0	18,3	31,3
Si-tot	mmol/l	6,1	7,4	9,2	7,8
Zn-tot	mmol/l	0,6	0,8	1,1	0,9

.....

De dynamiek in de waterhuishouding speelt een belangrijke rol in het blauwgrasland in de Lage en Hoge Kikker. Gedurende de zomer kon de grondwaterstand uitzakken tot 40 cm - mv of dieper en in de winter stond het water tegen maaiveld of daarboven. Een dergelijke fluctuatie past in de range voor blauwgraslanden (GHG 0-25 cm - mv; GLG 40-80 cm - mv). Op het moment van de winterbemonstering was ter plaatse van de PQ's sprake van ca. 10 cm stagnerend water op het perceel. De blauwgrasland-opnamen (PQ 900147 en 900190) laten dan ook duidelijke verschillen zien in waterchemie tussen de zomer- en winter.

Opvallend is dat in de zomerperiode de pH van het poriewater in de wortelzone (10-15 cm - mv) veel lager is dan in de winter (PQ900147, pH = 4.5 versus pH 6,2; tabel 3.5). Evenals in het kolomexperiment is dit een interne verzuring die het gevolg is van ontwatering en daarmee samenhangende oxidatieprocessen in de bodem, met name de oxidatie van gereduceerd zwavel (pyriet). Naast H⁺-ionen wordt onder de zuurstofrijke condities sulfaat geproduceerd, waardoor de concentratie verschilt tussen 5.400 µmol S/l in de zomer en 383 µmol S/l in de winter (SO₄ wordt gemeten als zwavel (S)). In PQ900190 is de verdroging in de zomer waarschijnlijk nog groter, waardoor er nog meer sulfaat en zuur vrijkomt bij de oxidatie. Vanwege de droge omstandigheden kon er geen poriewater worden verzameld en kon dit dus niet worden gemeten. De concentratie opgelost Ca²⁺ neemt toe door uitwisseling met H⁺ dat zich bindt aan het bodemadsorptiecomplex en door oplossen van CaCO₃. De concentratie bicarbonaat (HCO₃) in het poriewater is gedurende de zomer zeer laag, doordat het reageert met de aanwezige H⁺ tot water (H₂O) en koolzuurgas (CO₂). De hoeveelheid ammonium in het poriewater is in de zomer hoger dan in de winter als gevolg van mineralisatie (47 versus 29 µmol NH₄/l). De nitraatconcentraties zijn zowel in de zomer als in de winter laag (3,7 versus 1,1 NO₃ µmol/l), mogelijk omdat de vegetatie gedurende het groeiseizoen nitraat gemakkelijk opneemt en/of omdat de nitrificatie in de zomer geremd wordt door de relatief lage pH.

In nattere periodes in het najaar en de winter zorgt reductie van sulfaat er voor dat de sulfaatconcentratie weer afneemt. Hierbij wordt zuur geconsumeerd en komt anorganisch koolstof vrij als bicarbonaat. Hierdoor wordt de bodem gebufferd. We zien dat in PQ900147 door deze processen het sulfaat weer nagenoeg verdwenen is, maar dat op de locatie PQ900190, die in de zomer sterker verdroogde, de sulfaatconcentratie nog steeds hoog is. Ook de pH en de bicarbonaatconcentratie zijn hier nog steeds lager dan op de locatie PQ900147.

Verder zien we tussen beide PQ's een grote variatie in de chemische kwaliteit van het grondwater, gemeten op 1.2-1,7 m - mv (tabel 3.5). Bij PQ 900190 is het grondwater veel rijker aan nutriënten dan bij PQ 900147. Dat is vooral te zien in ammonium (tot 406 µmol NH₄/l), zwavel (tot 2.600 µmol S/l) en fosforconcentraties (tot 22 µmol P/l). Zonder uitgebreide beschrijving van de bodem tot op grotere diepte is echter moeilijk aan te geven waar dergelijke verschillen door ontstaan. Mogelijk weerspiegelt het lokale verschillen in bodemopbouw (afwisseling van veen met kleilagen) en daarmee lokale grondwaterstromen vanuit de boezem. Op de drogere locatie PQ900190 kan er ook sprake zijn van een sterke oxidatie van de onderliggende veenbodem, waarbij de nutriënten kunnen vrijkomen. We zien geen aanwijzing dat het grondwater zorgt voor een aanvoer van nutriënten in de wortelzone van de blauwgraslandvegetatie, ook niet in de winterperiode als de waterstand hoog.

In de winterperiode staat een redelijk oppervlak van de blauwgraslandvegetatie in zowel de Hoge als de Lage Kikker onder een waterlaag van 5-10 cm. Dit is neerslag dat stagneert in de lagere delen van de percelen. In beide PQ's is dit water bemonsterd en de analyses laten zien dat het water dat stagneert nog redelijk rijk is aan onder meer calcium (450 tot ruim 1.200 µmol Ca²⁺/l), bicarbonaat (360-570 µmol HCO₃/l) en zwavel (140 - 1170 µmol S/l), wat er op duidt dat uitwisseling vanuit de bodem plaatsvindt (tabel 3.5). Het stagnerende water lijkt chemisch gezien op een mix van regenwater en poriewater. Het zal niet leiden tot significante verzuring van het wortelmilieu. Dat

.....

betekent niet dat stagnerend water geen negatieve impact kan hebben op de blauwgraslandvegetatie. Mogelijk ondervindt een soort als Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*) negatieve effecten wanneer de inundatie langdurig is, door anaërobie in de wortelzone ofwel door accumulatie van ammonium (Lucassen et al., 2003).

Tabel 3.5. Analyseresultaten van poriewater, grondwater (filterdiepte ca. 1.2-1.7 m) en oppervlaktewater dat in de winter stagneert op het perceel op de locaties van de blauwgrasland-opnamen PZH-PQ 900147 en 900190. De bemonstering is uitgevoerd in de zomer en in de winter. Door de droogte kon in de zomer in PQ 900190

Locatie	PZH-PQ 900147					PZH-PQ 900190				
	Poriewater		Grondwater		OW stagnerend	Poriewater		Grondwater		OW stagnerend
	26-aug-19 zomer	13-dec-19 winter	26-aug-19 zomer	13-dec-19 winter	13-dec-19 winter	26-aug-19 zomer	13-dec-19 winter	26-aug-19 zomer	13-dec-19 winter	13-dec-19 winter
pH	4,51	6,16	6,40	6,43	6,10		5,65	6,52	6,71	6,21
alkaliniteit meq/l	0,18		5,26	5,12	0,73			4,65	5,86	0,51
EGV $\mu\text{S}/\text{cm}$	1157	402	505	511	146		1599	879	805	350
TIC $\mu\text{mol}/\text{l}$	822	4636	10224	6996	1644		3599	7344	8014	907
CO ₂ $\mu\text{mol}/\text{l}$	812	2888	5024	3293	1078		3040	3110	2574	543
HCO ₃ $\mu\text{mol}/\text{l}$	11	1748	5201	3704	567		560	4234	5440	363
H ⁺ $\mu\text{mol}/\text{l}$	31,26	0,69	0,40	0,37	0,79		2,25	0,30	0,20	0,62
NO ₃ $\mu\text{mol}/\text{l}$	3,70	1,11	4,99	1,13	0,44		1,32	29,56	0,67	0,95
NH ₄ $\mu\text{mol}/\text{l}$	47,26	28,91	5,95	10,60	1,44		39,11	231,13	406,33	2,70
PO ₄ $\mu\text{mol}/\text{l}$	0,69	0,71	0,61	2,04	0,01		0,52	1,66	15,64	0,08
Al $\mu\text{mol}/\text{l}$	32,21	38,10	4,43	10,55	5,91		39,37	5,18	8,38	4,13
Ca $\mu\text{mol}/\text{l}$	4439	1531	2347	1980	455		5904	3965	3005	1223
Cl $\mu\text{mol}/\text{l}$	1734	788	440	367	290		590	324	238	178
Fe $\mu\text{mol}/\text{l}$	472,6	518,3	4,1	14,8	3,8		1938,0	23,4	9,6	2,6
K $\mu\text{mol}/\text{l}$	61,7	9,9	12,0	24,6	3,6		41,4	35,9	35,5	4,3
Mg $\mu\text{mol}/\text{l}$	492	229	284	319	82		1047	580	529	233
Mn $\mu\text{mol}/\text{l}$	285,44	126,73	46,76	41,81	4,67		323,44	83,20	39,45	1,37
Na $\mu\text{mol}/\text{l}$	1448	784	415	409	251		782	450	434	197
P $\mu\text{mol}/\text{l}$	3,64	2,69	1,02	4,69	0,60		4,17	4,06	22,48	0,15
S $\mu\text{mol}/\text{l}$	5462	383	63	54	142		8364	2606	1269	1172
Si $\mu\text{mol}/\text{l}$	187,2	128,0	248,2	242,1	39,9		281,0	275,6	252,7	91,2
Zn $\mu\text{mol}/\text{l}$	22,56	0,25	2,83	0,09	0,04		2,27	3,58	0,11	0,09

helaas geen poriewatermonster verzameld worden.

4. CONCLUSIES

In de PAS-gebiedsanalyse van de Zouweboezem werd aangegeven dat de blauwgraslandpercelen in de Hoge en Lage Kikker mogelijk in kwaliteit achteruitgaan als gevolg van bodemverzuring door atmosferische depositie van stikstof. Inundatie met basenrijk oppervlaktewater werd gesuggereerd als één van de maatregelen om verdergaande aantasting van de blauwgraslandvegetatie door verzuring tegen te gaan. Daarbij werd tevens aanbevolen dat dit een potentiële maatregel betreft die verder onderzocht zou moeten worden.

In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van een experimentele proef met bodemkolommen, welke werden geïnundeerd met boezem- en regenwater. Daarnaast is een veldonderzoek uitgevoerd in een beperkt aantal permanente kwadraten van het provinciaal vegetatiemeetnet van de Provincie Zuid-Holland.

Op basis van beide onderzoeken zijn de volgende conclusies te trekken met betrekking tot de mogelijke effecten van inundatie met boezemwater op de blauwgraslandvegetatie:

1. Inundatie van de bodemkolommen met boezemwater leidt tot een duidelijke verhoging van de Ca^{2+} -concentratie in het poriewater. Deze calciumionen worden aangevoerd via het boezemwater dat relatief veel basische kationen (met name Ca^{2+}) bevat. Dit betekent dat het op die manier inderdaad mogelijk is om het bodemadsorptiecomplex op te laden met extra basische kationen en zodoende de buffercapaciteit van de bodem te verhogen. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat in de gebruikte proefopzet de bodemkolommen volledig zijn ondergedompeld tijdens inundatie (voor een maximaal effect); onder veldcondities zal de indringing van het inundatiewater afhangen van de mate waarin de bodem reeds verzadigd is met regenwater.
2. Het risico op eutrofiëring van de graslanden als gevolg van inundatie met boezemwater is beperkt. De nutriëntenconcentraties (fosfor, nitraat en ammonium) in het boezemwater zijn laag in vergelijking met de voorraad in de bodem. Dit wordt ondersteund door extra metingen in zomer en winter, die zijn uitgevoerd in verschillende watergangen via welke de graslanden geïnundeerd zouden kunnen worden (bijlage 4). Wel kan de sulfaatconcentratie met name in het voorjaar hoog zijn (bijlage 1). Deze hoge sulfaatconcentratie worden veroorzaakt door uitspoeling van sulfaat uit oxiderend veen elders en een extra aanvoer van sulfaat in de graslanden is ongunstig met het oog op verzuring als gevolg van pyrietoxidatie (zie tevens punt 7).
3. Drie maanden lange inundatie met boezemwater leidt echter niet (of zeer beperkt) tot structurele verhoging van de basenverzadiging in de bodem. Dat wordt echter veroorzaakt doordat de bodem al rijk is aan calcium: het aandeel basische kationen dat via boezemwater aan de bodem wordt toegevoegd is daardoor relatief gezien klein. De gemeten verschillen tussen de behandelingen zijn gering en ecologisch niet relevant.
4. In tegenstelling tot de verwachtingen blijkt dus dat de buffercapaciteit van de bodem voldoende hoog is voor instandhouding van de blauwgraslandvegetaties in de Hoge en Lage kikker. Uit metingen in zowel het kolomexperiment, als het veldonderzoek blijkt dat de basenverzadiging zeer hoog is (BV-sr >90% en BV-zout > 96%). Dat wil zeggen dat voldoende basische kationen zijn gebonden aan het bodemadsorptiecomplex om verzuring effectief te kunnen bufferen via kationenuitwisseling.
5. De gemiddelde Ellenberg-waarden die zijn berekend op basis van gegevens uit het vegetatiemeet van Provincie Zuid-Holland laten geen duidelijke veranderingen zien in

voedselrijkdom, zuurgraad en vocht in de afgelopen 10 jaar in de Hoge en Lage Kikker en ook niet in de afzonderlijke permanente kwadraten. De vegetatie laat over deze periode niet of nauwelijks veranderingen zien in samenstelling of abundantie.

6. De bodemchemische metingen laten zien dat in de blauwgrasland-PQ's in het veld de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor (Olsen-P) en totaal-fosfor (P-tot) vergelijkbaar is met waarden gemeten in (redelijk) goed ontwikkelde blauwgraslandvegetaties in referentiegebieden. De stikstofconcentraties in de bodem (uitwisselbaar ammonium en/of nitraat) zijn soms echter relatief hoog (>300 $\mu\text{mol N/liter bodem}$). Waarschijnlijk wordt dit veroorzaakt door mineralisatie van organisch stof als gevolg van de (diepe) drooglegging. Door een verhoging van de waterstand kan deze mineralisatie worden geremd.
7. De verzuring van de bodem in de zomermaanden wordt veroorzaakt door de oxidatie van pyriet. Hierbij wordt veel zuur (zwavelzuur) gevormd. In het najaar en de winter zorgt de reductie van sulfaat echter weer voor een buffering van het systeem. De verzuring als gevolg van pyrietoxidatie is veel sterker dan de verzuring die het gevolg zou kunnen zijn van ammoniumoxidatie. Deze laatste wordt in voldoende mate gebufferd door de hoge basenverzadiging van de bodem. Ook is de buffering als gevolg van sulfaatreductie veel sterker dan de buffering die het gevolg zou kunnen zijn van de aanvoer van kationen via het oppervlaktewater.
8. Vanwege de zwavelrijkdom van de bodem zijn de hydrologische condities sterk bepalend voor de toestand van de bodem. De verzuring die in de zomer optreedt, kan worden beperkt door er voor te zorgen dat het dan natter blijft. Het is waarschijnlijk gunstig wanneer in het voorjaar de grondwaterstanden veel langer hoog blijven en de grondwaterstand gedurende het seizoen langzaam uitzakt. Wellicht dat een subtiele beregening in extreem droge zomermaanden soelaas zou kunnen bieden.

Aanbevelingen ten aanzien van beheer en vervolgonderzoek:

1. De beheerder heeft aangegeven dat de percelen last hebben van sterke verdroging in de zomer (met name 2018, maar ook in 2019). Verdroging is naast verzuring en eutrofiëring een van de hoofdoorzaken van aantasting van blauwgraslandvegetaties. Om dit goed te kunnen vaststellen adviseren we om in de Lage en Hoge kikker een aantal grondwaterbuizen te plaatsen. Door regelmatig de waterstand te meten (dit kan handmatig of geautomatiseerd met zogenoemde divers) kunnen jaarlijkse fluctuaties in beeld worden gebracht. Op basis daarvan kan worden bepaald welke maatregelen nodig zijn voor verbetering van de kwaliteit en kan tevens gemonitord worden wat het effect is van de ingrepen in de waterhuishouding.
2. De vegetatie in de Hoge en Lage Kikker ondervindt zeer waarschijnlijk negatieve effecten van verdroging. Maatregelen die worden genomen om te zorgen voor het langzamer uitzakken van de grondwaterstand dan wel een actieve verhoging van de waterstand gedurende perioden van droogte, zullen niet alleen tegen de directe effecten van verdroging werken, maar tevens positief bijdragen aan het tegen gaan van verzuring die wordt veroorzaakt door pyrietoxidatie. Uit analyse van het oppervlaktewater blijkt dat het risico op eutrofiëring van de graslandvegetaties beperkt is indien boezemwater wordt gebruikt voor inundatie. Als alternatief zou gedurende extreme droogte (zoals 2018 en 2019) kunnen worden overwogen om (experimenteel) te beregenen. We adviseren voorafgaand aan de uitvoering van een dergelijke maatregelen de fluctuaties in

oppervlaktewaterkwaliteit gedurende het jaar in beeld te hebben (o.a. stikstof, fosfor, maar ook sulfaat). Mogelijk dat het waterschap langjarige meetreeksen heeft of anders zou bijvoorbeeld maandelijks bemonsterd kunnen worden. In dit onderzoek is het oppervlaktewater slechts op drie momenten bemonsterd (voorjaar, zomer en winter). Ook is het zinvol om in het veld de poriewaterkwaliteit in de percelen op een aantal locaties te volgen.

3. De blauwgraslandvegetatie in de Hoge en Lage Kikker is beperkt tot de laagste delen in de percelen, terwijl zich op de hogere -maar nog steeds vochtige- delen lokaal dotterverbond heeft ontwikkeld. Deze hoogteverschillen worden waarschijnlijk veroorzaakt door verschillen in de dikte van de kleilaag, mogelijk versterkt door verschillen in bodemdaling/zetting van de veenlagen (inversie). Omdat de frequentie en duur van eventuele inundatie sterk bepaald worden door het reliëf dienen dergelijke vernattingsmaatregelen goed doordacht te worden (AHN-kaarten in bijlage 5). Voor verbetering en instandhouding van de kwaliteit van de blauwgraslandvegetatie is het belangrijk om langdurige, diepe inundatie te voorkomen.

5. Literatuur

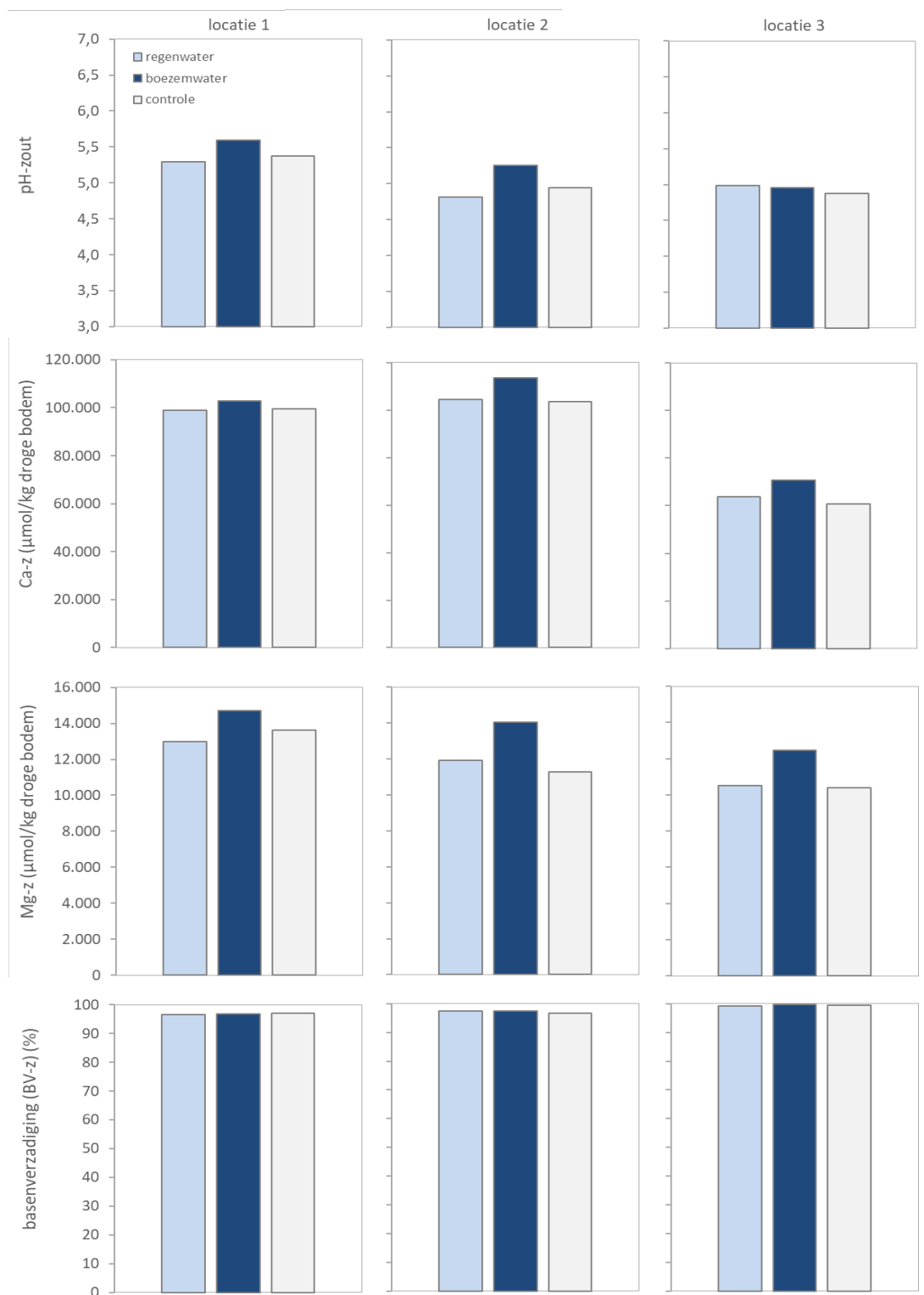
- Beije, H.M., A.J.M. Jansen, Q.L. Slings & N.A.C. Smits (z.j.). Herstelstrategie H6410: Blauwgraslanden.
- Grootjans, A.P., P.C. Schipper & H.J. van der Windt 1986. Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. II: Cirsio-Molinietum stands. *Oecologia Plantarum* 7: 3-14.
- Provincie Zuid-Holland (2017). PAS Gebiedsanalyse Zouweboezem. PAS periode 2015-2021. [Werkdocument PAS-analyse. Herstelmaatregelen voor Zouweboezem, dd. 15 december 2017.](#)
- Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda 1996. De Vegetatie van Nederland deel 3. Graslanden, zomen en droge heiden. Opulus press, Uppsala/Leiden.
- Smolders A., L. Lamers, E. Lucassen & J. Roelofs (2006). Internal eutrophication: how it works and what to do about it - a review. *Chemistry and Ecology* 22, pag. 93-111.
- Van den Broek, T & A. Smolders (2018). Herfst- en winterinundatie als herstelmaatregel in blauwgraslanden Schraallanden langs de Meije PAS-maatregel voor H6140 in Natura 2000-gebied Nieuwkoopse Plassen & De Haeck. Rapport i.o.v. Provincie Zuid-Holland.
- Vermaat, J.E.; Harmsen, J.; Hellman, F.A.; Geest, H. van der; Klein, J.J.M. de; Konsten, S.; Smolders, A.J.P.; Verhoeven, J.T.A.; Mes, R.G.; Ouboter, M. (2013) Sulfaatbronnen in het Hollandse veenlandschap. *Landschap : tijdschrift voor landschapsecologie en milieukunde* 30 (1).

BIJLAGE 1:

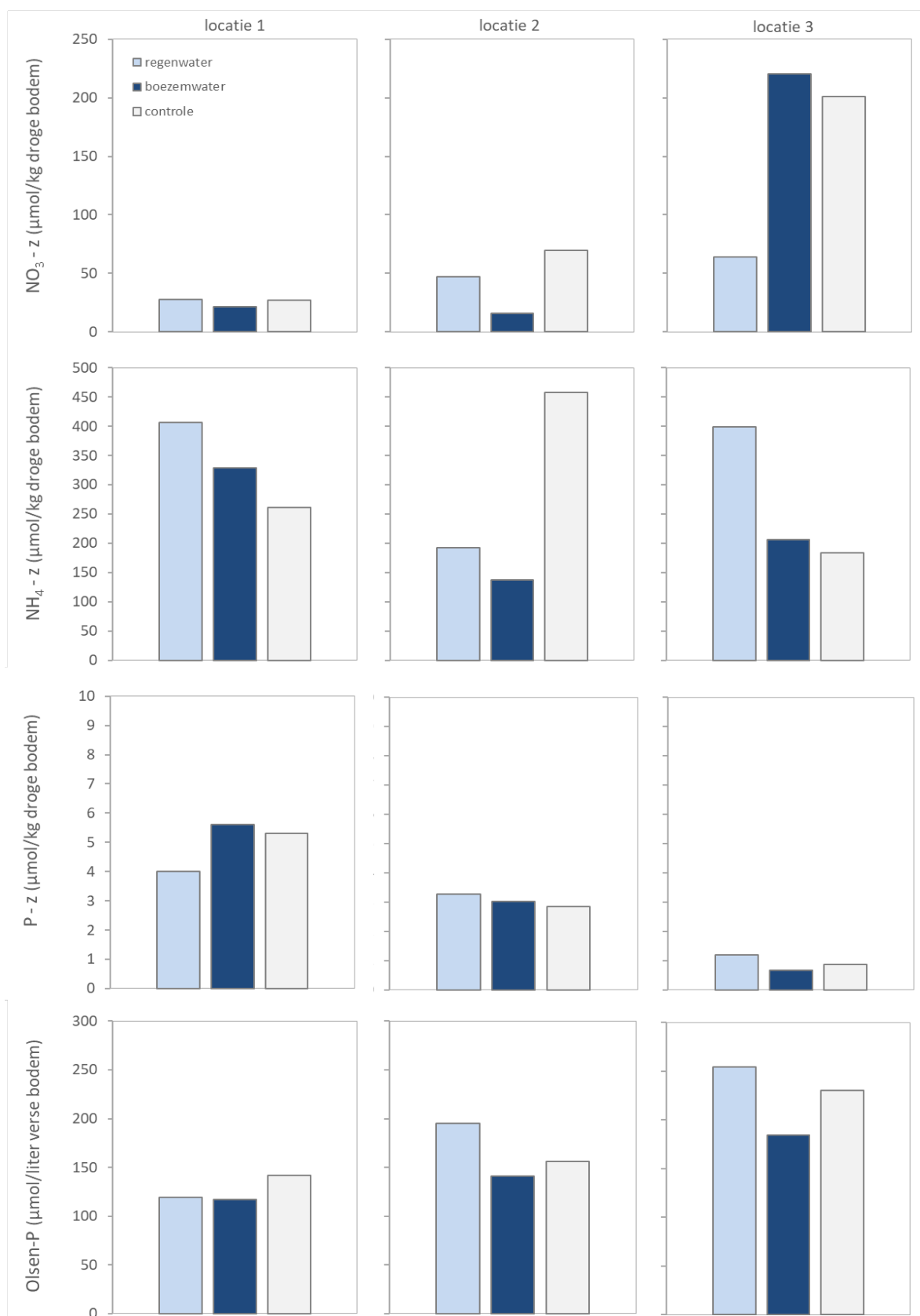
Gemiddelde chemische kwaliteit van het voor het kolomexperiment gebruikte water (n=5). De watermonsters zijn genomen tijdens het experiment uit de plastic container waarin de kolommen waren geplaatst. Het boezemwater is voor aanvang van het experiment (maart 2019) verzameld in de Zouweboezem (fig. 2.2), het regenwater is afkomstig van het kassencomplex van de Radboud Universiteit te Nijmegen.

	eenheid	boezemwater (n=5)		regenwater (n=5)	
		gemiddelde	SE	gemiddelde	SE
pH	-	7,7	0,3	5,7	0,1
Alk	meq/l	2,3	0,1	0,1	0,0
TIC	µmol/l	2208,2	82,7	127,1	24,2
CO ₂	µmol/l	188,3	73,5	100,6	18,1
H ⁺	µmol/l	0,0	0,0	2,4	1,0
NO ₃	µmol/l	40,7	11,2	85,6	9,6
NH ₄	µmol/l	13,5	6,0	11,1	2,4
PO ₄	µmol/l	0,6	0,1	0,5	0,4
HCO ₃	µmol/l	2019,9	74,3	26,5	9,4
Al	µmol/l	5,5	2,6	1,0	0,3
Ca	µmol/l	2317,8	58,6	92,7	19,7
Cl	µmol/l	1843,4	70,3	112,2	14,5
Fe	µmol/l	0,2	0,1	0,0	0,0
K	µmol/l	124,0	9,3	21,3	7,9
Mg	µmol/l	524,2	17,6	22,5	2,3
Mn	µmol/l	1,6	1,0	1,4	0,5
Na	µmol/l	1510,0	68,0	101,0	12,5
P	µmol/l	1,3	0,2	1,1	0,5
S	µmol/l	1540,9	28,0	65,9	16,2
Si	µmol/l	29,5	1,2	8,6	1,0
Zn	µmol/l	0,3	0,1	4,9	3,5

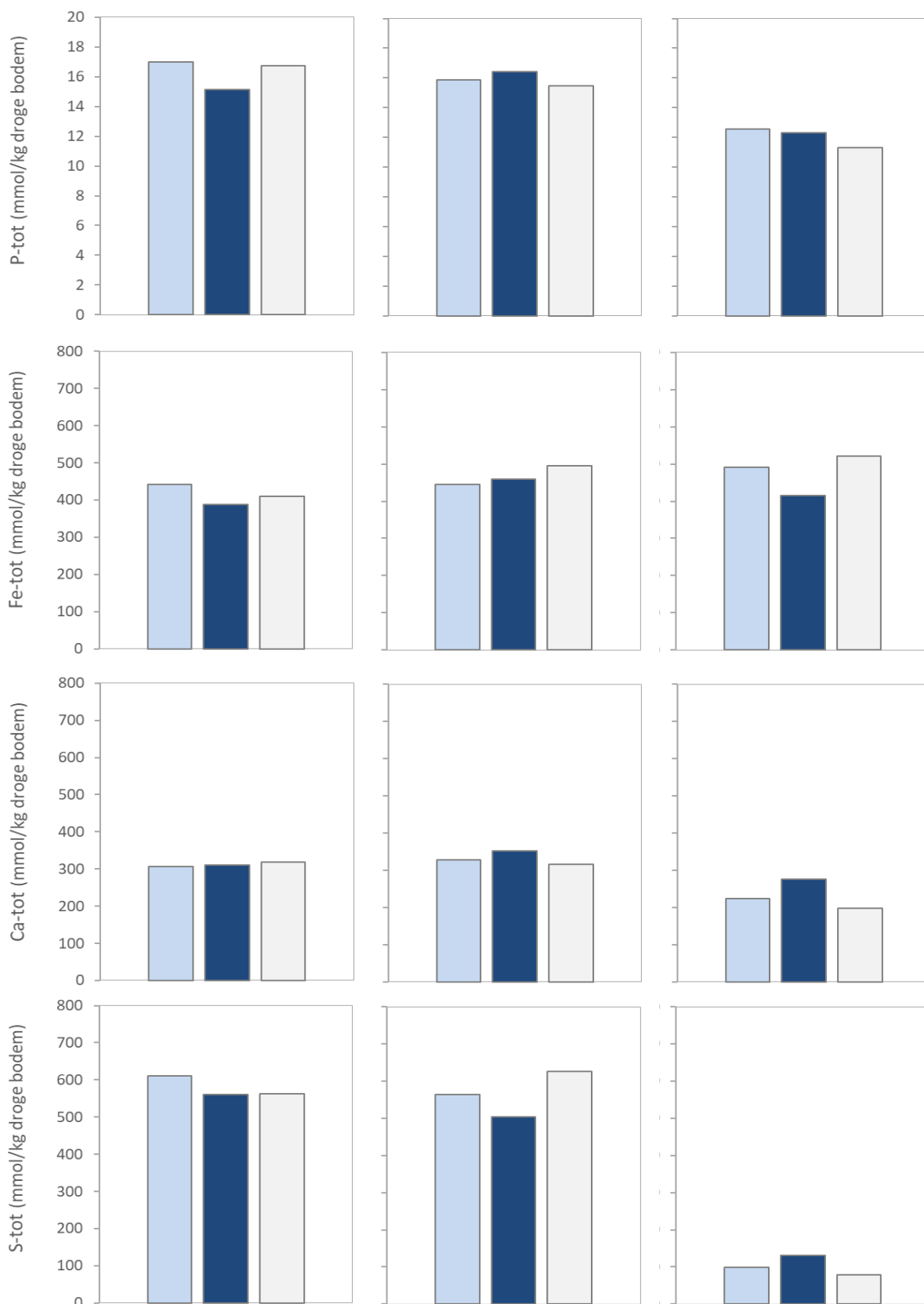
BIJLAGE 2



Resultaten bodemchemische analyse na afloop van het kolomexperiment: pH gemeten in de zoutextractie, uitwisselbaar calcium (Ca-z) en magnesium (Mg-z) en de basenverzadiging (BV-z). Binnen ieder paneel zijn steeds afzonderlijk de drie bodemkolommen weergegeven (n=1) die verzameld zijn op één locatie. De kleuren indiceren de behandeling die de bodem heeft gehad, te weten inundatie met regenwater, boezemwater of continu gedraineerd.



Resultaten bodemchemische analyse na afloop van het kolomexperiment: nitraat (NO₃-z), uitwisselbaar ammonium (NH₄-z) en labiele fractie fosfor (P-z) in de zoutextractie en de Olsen-P concentratie per liter verse bodem als maat voor de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfor. Binnen ieder paneel zijn steeds afzonderlijk de drie bodemkolommen weergegeven (n=1) die verzameld zijn op één locatie. De kleuren indiceren de behandeling die de bodem heeft gehad, te weten inundatie met regenwater, boezemwater of continu gedraineerd.



Resultaten bodemchemische analyse uitgevoerd na afloop van het kolomexperiment: de totaalconcentratie fosfor (P-tot), ijzer (Fe-tot), calcium (Ca-tot) en zwavel (S-tot). Binnen ieder paneel zijn steeds afzonderlijk de drie bodemkolommen weergegeven (n=1) die verzameld zijn op één locatie. De kleuren indiceren de behandeling die de bodem heeft gehad, te weten inundatie met regenwater, boezemwater of continu gedraineerd.

BIJLAGE 3

Analyseresultaten poriewater, grondwater en oppervlaktewaterchemie in zomer en winter. Door de droogte in de zomer was het moeilijk om in de PQ's voldoende poriewater te verzamelen voor analyse. Zie fig. 2.5 voor locaties van de monsterpunten. g.g. = geen gegevens.

Locatie	PZH-PQ 900147				PZH-PQ 900190				PZH-PQ 900090				PZH-PQ 900170		groeiplaats Cirsium, bij 900147	
	Poriewater		Grondwater		Poriewater		Grondwater		Poriewater		Grondwater		Poriewater		Poriewater	
Datum	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19
	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
pH	4,51	6,16	6,40	6,43	6,10	6,10	5,65	6,71	6,21	6,21	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	5,75
alkaliniteit	0,18	g.g.	5,26	5,12	0,73	0,73	g.g.	5,86	0,51	0,51	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.
EGV	1157	402	505	511	146	146	1599	879	350	350	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.
TIC	822	4636	10224	6996	1644	1644	3599	8014	907	907	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	626
CO ₂	812	2888	5024	3293	1078	1078	3040	2574	543	543	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	507
HCO ₃	11	1748	5201	3704	567	567	560	5440	363	363	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	118
H ⁺	31,26	0,69	0,40	0,37	0,79	0,79	2,25	0,20	0,62	0,62	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	1,78
NO ₃	3,70	1,11	4,99	1,13	0,44	0,44	1,32	0,67	0,95	0,95	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	0,90
NH ₄	47,26	28,91	5,95	10,60	1,44	1,44	39,11	406,33	2,70	2,70	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	43,73
PO ₄	0,69	0,71	0,61	2,04	0,01	0,01	0,52	15,64	0,08	0,08	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	2,78
Al	32,71	38,10	4,43	10,55	5,91	5,91	39,37	8,38	4,13	4,13	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	17,38
Ca	4439	1531	2347	1980	455	455	5904	3005	1223	1223	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	1247
Cl	1734	788	440	367	290	290	590	324	178	178	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	644
Fe	472,6	518,3	4,1	14,8	3,8	3,8	1938,0	23,4	2,6	2,6	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	12,7
K	61,7	9,9	12,0	24,6	3,6	3,6	41,4	35,5	4,3	4,3	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	15,6
Mg	492	229	284	319	82	82	1047	529	233	233	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	306
Mn	285,44	126,73	46,76	41,81	4,67	4,67	323,44	39,45	1,37	1,37	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	81,43
Na	1448	784	415	409	251	251	782	434	197	197	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	549
P	3,64	2,69	1,02	4,69	0,60	0,60	4,17	22,48	0,15	0,15	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	1,46
S	5462	383	63	54	142	142	8364	1269	1172	1172	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	1424
SI	187,2	128,0	248,2	242,1	39,9	39,9	281,0	232,7	91,2	91,2	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	228,8
Zn	22,56	0,25	2,83	0,09	0,04	0,04	2,27	0,11	0,09	0,09	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	g.g.	0,66

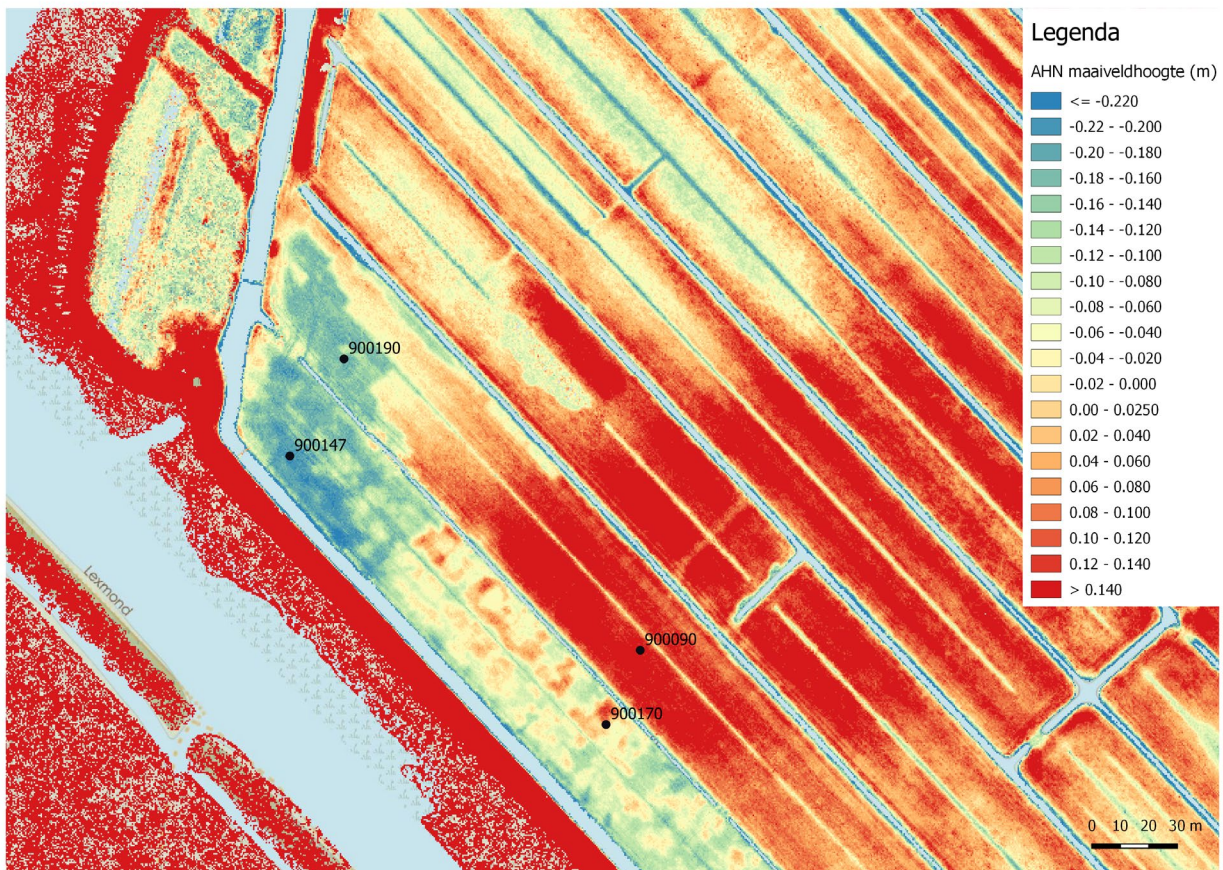
BIJLAGE 4

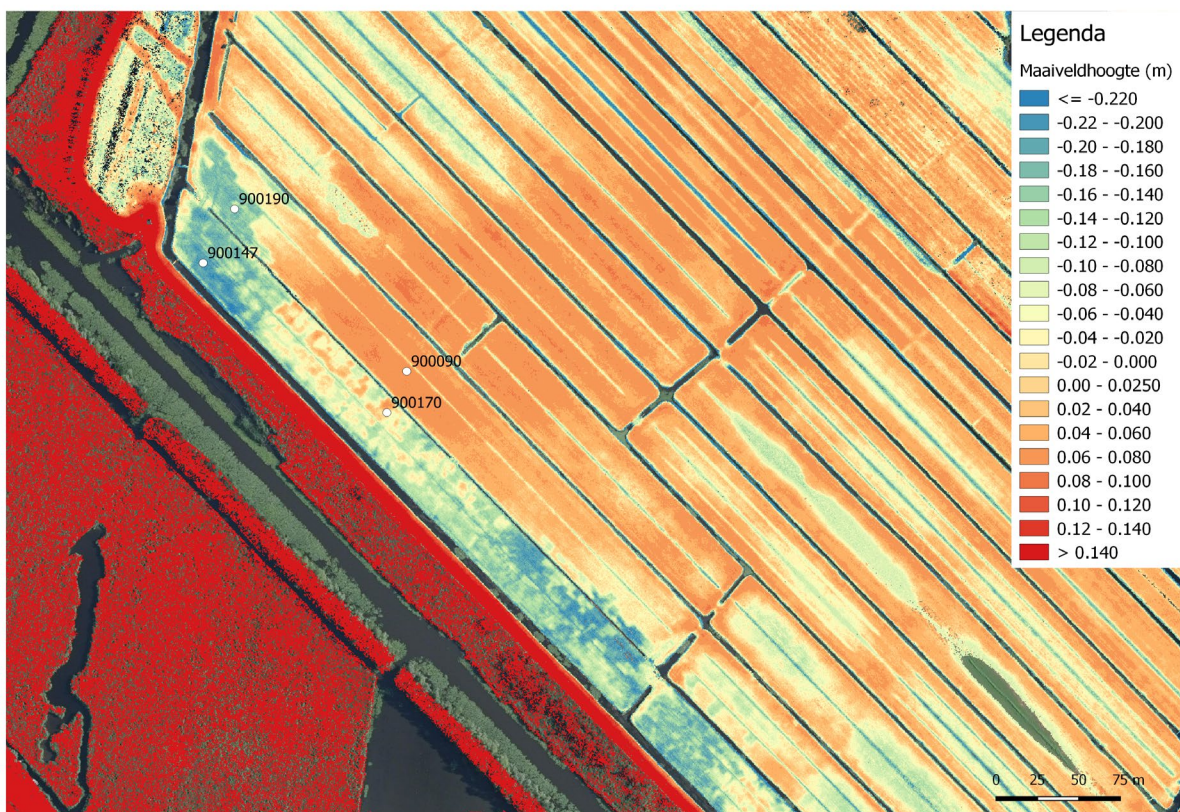
Analyseresultaten oppervlaktewaterchemie in zomer en winter. Gedurende de winterperiode zijn een aantal extra punten bemonsterd dan in de zomer. Zie fig. 2.5 voor locaties van de monsterpunten.

Deelgebied	Locatie	boezem		boezem		blauwgrasland		blauwgrasland		natuurontwikkeling		natuurontwikkeling		natuurontwikkeling	
		inlaat boezemwater	inlaat boezemwater	sloot kade langs boezem	sloot kade langs boezem	sloot tussen 1° en 2° kavel	sloot tussen 2° en 3° kavel	aanvoersloot langs plagstuk	aanvoersloot langs plagstuk	diverssloot plagstuk	diverssloot plagstuk	plagstuk inundatie	plagstuk inundatie	plagstuk inundatie	plagstuk inundatie
Datum	Datum	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19	26-aug-19	13-dec-19
eenheid	eenheid	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter	zomer	winter
pH		7,36	7,64	7,49	7,63	7,12	6,91	7,39	6,98	6,96	6,56	6,99	6,86	6,99	6,86
alkaliniteit	meq/l	3,26	2,83	1,72	3,79	2,62	3,41	2,46	0,88	1,89	0,65	1,25	0,44	1,25	0,44
turb.	NTU	5,20		24,80		9,00				9,90		13,20		13,20	
EGV	µS/cm	550	562	418	502	552	470	375	309	455	304	429	275	429	275
TIC	µmol/l	3307	2808	1743	3707	2993	3956	2522	881	2338	774	1370	412	1370	412
CO ₂	µmol/l	318	147	127	200	466	901	226	176	493	311	271	103	271	103
HCO ₃	µmol/l	2989	2661	1616	3506	2527	3055	2296	705	1845	463	1099	310	1099	310
H ⁺	µmol/l	0,04	0,02	0,03	0,02	0,08	0,12	0,04	0,10	0,11	0,28	0,10	0,14	0,10	0,14
NO ₃	µmol/l	1,76	3,00	0,83	2,94	0,30	0,45	2,67	4,36	2,16	5,40	0,85	1,42	0,85	1,42
NH ₄	µmol/l	3,62	2,49	12,38	2,56	3,26	2,74	8,38	3,77	16,74	5,14	8,72	5,39	8,72	5,39
PO ₄	µmol/l	2,79	0,44	3,53	0,44	0,45	1,43	0,42	0,13	3,32	0,24	1,36	0,21	1,36	0,21
Al	µmol/l	0,82	2,41	8,42	1,90	1,31	3,18	6,12	22,45	2,95	36,59	8,32	40,48	8,32	40,48
Ca	µmol/l	1528	1534	1032	1561	1900	1464	1197	984	1383	972	1318	878	1318	878
Cl	µmol	1760	1274	1884	1033	1374	938	564	299	1152	217	1090	206	1090	206
Fe	µmol/l	0,0	2,3	36,1	8,3	14,7	52,0	24,4	21,4	39,0	26,0	44,4	16,3	44,4	16,3
K	µmol/l	83,6	90,6	13,4	38,1	2,0	12,0	17,0	22,6	18,8	24,5	14,8	29,4	14,8	29,4
Mg	µmol/l	313	363	281	273	268	258	232	220	269	219	256	197	256	197
Mn	µmol/l	4,67	1,74	6,62	3,82	22,99	40,01	8,45	4,06	6,02	3,94	2,44	1,36	2,44	1,36
Na	µmol/l	1388	1183	1288	982	1154	918	678	324	852	240	773	204	773	204
P	µmol/l	4,16	1,27	9,23	1,61	0,60	7,20	1,66	0,98	6,77	0,83	2,22	0,63	2,22	0,63
S	µmol/l	305	628	287	121	854	192	329	772	682	868	876	840	876	840
Si	µmol/l	54,4	74,7	54,1	59,6	84,7	168,3	49,6	69,5	48,3	86,1	35,3	81,8	35,3	81,8
Zn	µmol/l	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,08	0,01	0,05	0,00	0,06	0,00	0,07	0,00	0,07

BIJLAGE 5

Luchtfoto en kaartbeeld van het Algemeen Hoogtebestand Nederland. Bron QGIS, PDOK en AHN.





B ware

**BIOGEOCHEMICAL WATER-
MANAGEMENT & APPLIED RESEARCH
ON ECOSYSTEMS**

Toernooiveld 1 • 6525 ED NIJMEGEN
Tel.: 024-3652816 • E-mail: info@b-ware.eu

www.b-ware.eu