

Kennisnetwerk OBN

Ontwikkeling broekbossen



Ontwikkeling Broekbossen

KWR



brabant Water

© 2019 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport nr. 2019/OBN227-BE
Driebergen, 2019

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van Bij12, het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en Brabant Water.

Wijze van citeren Runhaar, J., R.C.M. Verdonschot, C. Swinkels, E.C.H.E.T. Lucassen, R. Loeb & A.J.P. Smolders, (2019). Ontwikkeling broekbossen OBN227-BE, VBNE, Driebergen.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Oplage	40 exemplaren
Samenstelling	J. Runhaar (KWR Watercycle Research Institute, thans werkzaam bij Ecogroen) R.C.M. Verdonschot (Wageningen Environmental Research) C. Swinkels (Onderzoekcentrum B-WARE) E.C.H.E.T. Lucassen (Onderzoekcentrum B-WARE) R. Loeb (Onderzoekcentrum B-WARE) A.J.P. Smolders (Onderzoekcentrum B-WARE)
Foto voorkant	Regelmatig overstroomd broekbos in de benedenloop van de Swalm (Foto: Han Runhaar)
Druk	KNNV Uitgeverij/KNNV Publishing
Productie	Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE) Adres : Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen Telefoon : 0343-745250 E-mail : info@vbne.nl

INHOUDSOPGAVE

INHOUDSOPGAVE	2
SAMENVATTING	5
SUMMARY	
1 INLEIDING	10
1.1 Projectdoelstelling	10
1.2 Projectopzet	11
1.3 Begeleiding	12
1.4 Leeswijzer	12
2 METHODE VERGELIJKEND ONDERZOEK	13
2.1 Selectie broekboslocaties	13
2.2 Beschrijving locaties	17
2.3 Bemonstering (grond)water	18
2.4 Bemonstering bodem	18
2.5 Bemonstering gewas	20
2.6 Bemonstering fauna	21
3 RESULTATEN VERGELIJKEND ONDERZOEK BODEM EN VEGETATIE	22
3.1 Inleiding	22
3.2 Vegetatiesamenstelling en -structuur	22
3.2.1 Vegetatiesamenstelling locaties	22
3.2.2 Correspondentie met standplaatscondities op basis indicatiewaarden	25
3.2.3 Kroonbedekking	26
3.2.4 Ordinatie op basis vegetatiesamenstelling (TWINSPAN)	27
3.3 Bodem en grondwater	28
3.3.1 Verschillen tussen broekbostypen	28
3.3.2 Correspondentie-analyse (DCA) vegetatiesamenstelling en abiotische factoren	32
3.4 Nutriëntengehalten in gewas	36
3.4.1 Inleiding	36
3.4.2 Verschillen in nutriëntengehaltes tussen soorten	36
3.4.3 Verschillen in nutriëntengehaltes tussen broeklocaties	40

3.5 Discussie en conclusies	42
4 RESULTATEN VERGELIJKEND ONDERZOEK FAUNA	45
4.1 Samenstelling semi-terrestrische en aquatische fauna broekbossen	45
4.1.1 Semi-terrestrische fauna	45
4.1.2 Aquatische macrofauna	45
4.2 Relatie tussen samenstelling fauna, vegetatiestructuur en vochttoestand	48
4.2.1 Milieuvariabelen	48
4.2.2 Semi-terrestrische fauna	49
4.2.3 Aquatische macrofauna	50
4.3 Discussie en conclusies	52
5 KOLOMPROEVEN VERNATTING	54
5.1 Inleiding	54
5.2 Methode	56
5.3 Resultaten	56
5.4 Conclusies	63
6 EXPERIMENT MET TOEDIENING DRINKWATERSLIB	64
6.1 Selectie onderzoekslocaties	64
6.2 Verwerking drinkwaterslib	66
6.3 Veldexperiment	67
6.4 Resultaten	70
6.5 Conclusies	80
7 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	81
7.1 Conclusies en aanbevelingen op basis uitgevoerde onderzoek	81
7.2 Beantwoording gestelde vragen	82
8 REFERENTIES	85
Bijlage 1: Beschrijving locaties	
Bijlage 2: Taxonlijst macrofauna	
Bijlage 3: Chemische bepalingen bodem en grondwater	

Voorwoord

Het doel van het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) is het ontwikkelen, verspreiden en benutten van kennis voor terreinbeheerders over natuurherstel, Natura 2000, PAS, leefgebiedenbenadering en ontwikkeling van nieuwe natuur.

In het kader van Natura 2000 worden in Europees perspectief zeldzame soorten en vegetatietypen in Nederland beschermd. Deze studie heeft zich gericht op voor beekdalen kenmerkende broekbossen, die vallen onder het habitatsubtype H91E0_C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen). Het gaat daarbij met name om door Zwarte els (*Alnus glutinosa*) gedomineerde broekbossen.

De vraag die in deze studie centraal stond is welke invloed nutriëntenbeschikbaarheid heeft op vegetatie en fauna van broekbossen en daarmee op de ontwikkelingsmogelijkheden van deze bostypen op voormalige landbouwgronden in beekdalen. De nadruk in deze studie ligt op de nutriëntenhuishouding en op de invloed die voormalig landgebruik en overstroming via de nutriëntenhuishouding hebben op de soortenrijkdom in broekbossen. Daarnaast wordt ook uitgebreid aandacht besteed aan de invloed van de vegetatiestructuur op de soortensamenstelling van de macrofauna.

Dit onderzoek bevat ook een experiment met het toedienen ijzerhoudend drinkwaterslib dat vrijkomt bij productie van drinkwater. Dit experiment had tot doel om na te gaan of toediening van dit slib ook in natte organische bodems een geschikte maatregel is om fosfaat te binden. De resultaten laten zien dat het mogelijk is de mobilisatie van fosfaat succesvol tegen te gaan door de toediening van ijzer- en kalkrijk slib. Dit onderdeel is mogelijk gemaakt door financiering en medewerking van Brabant Water.

De rest van de conclusies en aanbevelingen leest u in hoofdstuk 7.

Ik wens u veel leesplezier.

Teo Wams

Voorzitter van de OBN Adviescommissie

Samenvatting

Het OBN-project 'Ontwikkeling Broekbossen' had als doel na te gaan welke invloed waterdynamiek en nutriëntenbeschikbaarheid hebben op de vegetatie en fauna van broekbossen, en daarmee op de ontwikkelingsmogelijkheden van deze bostypen op voormalige landbouwgronden in beekdalen. Het onderzoek bestond uit een aantal onderdelen, te weten:

1. Een vergelijkend onderzoek naar bodem en vegetatie in een aantal broekboslocaties. Doel was inzicht te krijgen in de nutriëntenhuishouding binnen beekdalbroekbossen. Daarbij is niet alleen gekeken naar ongestoorde referenties maar ook naar broekbossen die zijn ontstaan op voormalige landbouwgronden en naar broekbossen die regelmatig overstromen met beekwater. Dit om een beeld te krijgen van de ontwikkelingsmogelijkheden voor goed ontwikkelde broekbossen in respectievelijk natuurontwikkelings- en waterbergingsgebieden.
2. Een vergelijkend onderzoek naar de macrofauna in een aantal van de onder 1 genoemde broekboslocaties. Doel was meer inzicht te krijgen in de invloed van vegetatiestructuur en waterhuishouding op de macrofaunasamenstelling van Nederlandse broekbossen.
3. Kolomproeven in een groot aantal landbouwgebieden om te bepalen hoeveel nutriënten vrijkomen bij vernatting op potentiële standplaatsen voor broekbossen en in welke mate deze een beperking vormen voor de ontwikkeling van broekbossen.
4. Een experiment met drinkwaterslib om na te gaan of toediening van ijzerhoudend drinkwaterslib in natte organische bodems een geschikte maatregel is om de nutriëntenbeschikbaarheid te verlagen op natte plekken waar gestreefd wordt naar de ontwikkeling van broekbossen.

In 2018 is ook een experiment met beekslib (onderdeel 5) van start gegaan. In dit onderdeel wordt in een aantal broekbossen onder gecontroleerde omstandigheden beekslib aangebracht om na te gaan wat het eutrofiërende effect is. Het onderzoek loopt door tot en met 2021. Te zijner tijd zal over dit onderdeel een zelfstandig rapport worden uitgebracht.

Vergelijkend onderzoek bodem en vegetatie

Uit het vergelijkend onderzoek komt naar voren dat de nutriëntenhuishouding en soortenrijkdom van beekbegeleidende broekbossen in belangrijke mate wordt bepaald door de P-verzadiging van de bodem. De resultaten suggereren dat er een optimum is voor de P-beschikbaarheid voor een goed ontwikkeld Elzenbroekbos. Bij een lage beschikbaarheid ontwikkelt het elzenbroek zich richting een meer door P gelimiteerd berkenbroek, gekenmerkt door lage N- en P-gehalten in het gewas en gedomineerd door soorten indicierend voor voedselarme omstandigheden. Naarmate de P-beschikbaarheid toeneemt nemen ook de N- en P-gehalten in de vegetatie toe en wordt de vegetatie gedomineerd door soorten die indicierend zijn voor voedselrijkere omstandigheden. Bij een te hoge P-beschikbaarheid kan er, waarschijnlijk mede als gevolg van de stikstofbinding door de elzen, verruiging van de ondergroei optreden. Behalve een goede hydrologie is dus ook een relatief lage beschikbaarheid van fosfor van belang om goed ontwikkelde broekbossen te kunnen ontwikkelen.

In korte vegetaties wordt ook veelvuldig gebruik gemaakt van N:P ratio's om een beeld te krijgen van de nutriëntenhuishouding en de mate van beperking door N dan wel P. Bij toepassing in broekbossen levert dit echter lastig te interpreteren resultaten vanwege onder

meer het gebrek aan goede referentiewaarden en de sterke gelaagdheid van het systeem waarbij boom- en struiklaag en ondergroei sterk verschillende ratio's laten zien.

Overstroming met beek- en rivierwater leidt tot een toename van het P-gehalte van de bodem, en daarmee tot een hogere productiviteit en soms ook verruiging van de vegetatie. Afzetting van fosfaatrijk beekslib is waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak van de verhoogde P-gehalten in de bodem. Verruiging is het sterkst in de droge delen van de broekbossen, waar bij hoge P-gehalten dominantie van brandnetel kan optreden. In natte delen die langdurig onder water staan kunnen zich ook voedselrijkere omstandigheden nog wel voor broekbossen kenmerkende soorten vestigen en handhaven.

De onderzochte locaties op voormalige landbouwgrond laten zien dat het, uitgaande van matig intensief gebruikte graslanden, en bij verwijderen van de gehele organische bovengrond, goed mogelijk is om de voedselrijkdom terug te brengen tot waarden die vergelijkbaar zijn met die in de referentielocaties.

Vergelijkend onderzoek fauna

Voor de fauna in broekbossen blijken vooral de hydrologie en de vegetatiestructuur bepalend. Een afwisseling van geïnundeerd in de winter en gedeeltelijk droogvallend in de zomer lijkt de optimale situatie voor de broekbosfauna. Zowel te nat (permanent geïnundeerd) als te droog (water hooguit kortdurende boven maaiveld) werken negatief door op de levensgemeenschappen van broekbossen en leiden tot het verdwijnen van soorten van moerassen en natte bossen. Voor de semi-terrestrische fauna is ook de vegetatiestructuur sturend. Een groot deel van de aangetroffen soorten prefereert open plekken met een kale bodem. Deze komen het meeste voor in weinig verruigde natte broekbossen.

Kolomproeven vernatting landbouwgronden

Het onderzoek laat zien dat de hoeveelheid fosfaat die wordt gemobiliseerd bij vernatting van de vegetatie sterk afhangt van de fosfaatverzadiging van de bodem. Op grond van onze analyses adviseren wij voor de ontwikkeling van broekbos op voormalige landbouwgrond te streven naar een PSD-waarde die in ieder geval lager is dan 12,5% en een Olsen-P waarde die lager is dan 500 $\mu\text{mol/l}$ bodem. In de meeste landbouwgronden ligt de fosfaatverzadiging (veel) hoger. Voor de ontwikkeling van goed ontwikkelde broekbossen zal het daarom vaak nodig zijn om maatregelen te nemen die er op gericht zijn de fosfaatverzadiging terug te dringen.

Experiment met toediening drinkwaterslib

Het experiment laat zien dat het mogelijk is de mobilisatie van fosfaat succesvol tegen te gaan door de toediening van ijzer- en kalkrijk slib dat vrijkomt bij productie van drinkwater. Voorwaarde is wel dat de bodem niet extreem fosfaatrijk is (Olsen-P \ll 3000 $\mu\text{mol/L}$). Toediening van drinkwaterslib zal daarom met name succesvol zijn bij de ontwikkeling van elzenbroekbossen op voorheen extensief gebruikte landbouwgronden en landbouwgronden waarvan de fosfaatrijke toplaag is afgegraven.

Resterende onderzoeksvragen

De meeste aan het begin van het onderzoek gestelde onderzoeksvragen kunnen op basis van het uitgevoerde onderzoek redelijk tot goed worden beantwoord. Er resteert echter een aantal nog te beantwoorden onderzoeksvragen. Het gaat dan met name om de vraag welke eisen gesteld kunnen worden aan de hoeveelheid P die met beekslib wordt aangevoerd. Deze vraag kan hopelijk worden beantwoord in het experiment met toediening van fosfaatrijk beekslib, dat in 2018 is opgestart. Een andere vraag die op basis van het vergelijkende onderzoek nog onvoldoende beantwoord kan worden is welk hydrologisch regime in termen van inundatiefrequentie, timing en duur leidt tot de gewenste diversiteit aan soorten in te ontwikkelen broekbossen. Om deze vraag goed te kunnen beantwoorden is experimenteel onderzoek nodig. De praktische uitvoerbaarheid daarvan in broekbossen is echter twijfelachtig.

Summary

The main aim of this study was a better understanding of the functioning of alluvial forests in terms of hydrology and nutrient cycling, and the influence of these factors on species composition. The study focused on the wet alluvial forests that are most characteristic for small river and brook valleys in the Netherlands: alder dominated *Carici elongatae-alnetum* forests and intermediates between *Carici elongatae-alnetum* forests and *Salicion albae* and *Betulion pubescentis* forests.

The study consisted of the following parts:

1. A comparative study in which plant species composition, soil chemistry and plant nutrient contents in alluvial forests were measured in reference sites and in sites on former agricultural land, both with and without flooding.
2. A comparative study in a subset of sites to investigate the relationships between hydrology, vegetation structure and macrofauna species composition.
3. A laboratory experiment in which soils columns from agricultural sites were inundated to determine the influence of rewetting on the release of phosphate.
4. An experiment to determine the effect of the use of iron- and calcium-rich sludge from water purification plants on the phosphate availability and species composition of wet sites in brook valleys.

Comparative study on plant species composition, soil chemistry and plant nutrient content

The study shows that both plant species composition and plant nutrient contents are strongly related to the degree of phosphate saturation (DPS) of the soil: In sites with a high phosphate saturation nutrient contents in the plants are higher and in the understory more species indicative for high nutrient availability occur. Nitrogen fixation by Alder trees probably enhances the positive effect of phosphate on plant nutrient content and productivity. There seems to be an optimum for the degree of phosphate saturation in *Carici elongatae-alnetum* forests: at very low DPS values we find alluvial vegetations intermediate between *Alnion* and *Betulion* forests, at very high DPS values we find vegetations intermediate between *Alnion* and *Salicion* forests.

The trees and shrubs have a N:P ratio that is generally considered to be indicative for limitation by phosphate, whereas undergrowth species have a N:P ratio that is generally considered to be indicative for limitation by nitrogen. The latter does not mean that undergrowth does not profit from a high phosphate availability. It leads to higher nutrient contents in the plants, both nitrogen and phosphate. It shows how important it is to consider not only the relative, but also the absolute amount of nutrients in the plants.

The sites that are regularly flooded have a higher phosphate content and a plant species composition that is more indicative for nutrient-rich conditions than non-flooded reference sites. Input of phosphate by sediment is the most likely reason for the higher phosphate content of the soil. Eutrophication effects are strongest in the drier parts of the sites, where a high nutrient availability may lead to a dominance by *Urtica dioica*. In wetter parts, that are inundated for most part of the year, eutrophication effects are less pronounced.

In former agricultural areas phosphate availability can be very high. However, in former agricultural sites where the nutrient-rich topsoil has been removed the nutrient contents of plants and soil are comparable to those in reference sites.

Comparative study on hydrology, vegetation structure and macrofauna species composition

The study shows that the highest macrofauna diversity and the highest number of indicative wetland species can be found in alluvial forests where lower parts are inundated in winter and spring and dry out in the summer only. Vegetation structure also influences the diversity of the macrofauna: biodiversity is largest in sites where undergrowth is not too dense.

Column inundation experiment

The experiment showed that in most agricultural sites rewetting leads to a phosphate mobilisation that is too high for the development of low to moderate productive ecosystems. A DPS value of less than 12,5 % or an Olsen P value of less than 500 $\mu\text{mol/l}$ is required for a successful restoration of alluvial forests on former agricultural lands.

Experiment with application of iron- and calcium-rich water purification sludge.

The experiment shows that in soils application of iron- and calcium-rich sludge can effectively counteract the mobilisation of phosphate in soils which are not extremely rich in phosphate (Olsen P far below 3000 $\mu\text{mol/l}$).

Conclusions

The results were used to assess the possibilities for the restoration of alluvial forests in water retention areas and on former agricultural lands. On most former agricultural sites removal of the nutrient-rich top soil is a prerequisite for the development of alluvial forests.

Application of iron-rich sludge can abate the mobilisation of phosphate in cases where soils are moderately phosphate rich or removal of topsoil is insufficient to reduce phosphate availability to levels required for the development of alluvial forests.

Regular flooding with surface water from rivers and brooks can, in the present situation and the present quality of water and sediment, lead to eutrophication of well developed alluvial forests. In water retention areas on former agricultural land flooding with river water can result in alluvial forests that are more eutrophic than non-flooded reference sites, but still have a high biodiversity value compared to the original situation. A prerequisite is that nutrient-rich topsoil is removed and that hydrology is optimal for alder forests, i.e. permanently wet and with upward seepage of calcium- and iron-rich groundwater.

1 Inleiding

1.1 Projectdoelstelling

Vanuit het OBN is gevraagd om een antwoord te geven op de vraag:

"Welke invloed hebben waterdynamiek en nutriëntenbeschikbaarheid op vegetatie en fauna van broekbossen en daarmee op de ontwikkelingsmogelijkheden van deze bostypen op voormalige landbouwgronden in beekdalen?"

Met daarbij als deelvragen:

1. Hoe kunnen vernattingsmaatregelen bij ontwikkeling van broekbossen in beekdalen het beste worden uitgevoerd en is het verwijderen van de voedselrijke toplaag daarbij een noodzakelijke herstelmaatregel?
2. Welke nutriënten zijn limiterend voor de groei van karakteristieke plantensoorten in broekbossen en bestaan er verschillen tussen locaties met een verschillend hydrologisch regime (bv. kwelplek versus regelmatig droogvallende plek, wel of niet overstroomd)?
3. In hoeverre stuurt de vegetatiesamenstelling van een broekbos de soortensamenstelling van de fauna?
4. Welk hydrologisch regime (in termen van inundatiefrequentie, timing en duur) leidt tot de gewenste diversiteit aan soorten (vegetatie en fauna) in te ontwikkelen broekbossen?
5. Wat zijn de effecten van overstrooming met beekwater op broekbossen, en welke eisen kunnen in verband daarmee worden gesteld aan oppervlaktewaterkwaliteit (inclusief sediment)?

Omdat binnen het beschikbare budget niet alle deelvragen even uitgebreid kunnen worden beantwoord is door het consortium van KWR, B-Ware en Alterra gekozen voor een aanpak waarbij de nadruk ligt op de nutriëntenhuishouding en op de invloed die voormalig landgebruik en overstrooming via de nutriëntenhuishouding hebben op de soortenrijkdom in broekbossen (deelvragen 1,2,5). Daarnaast wordt ook uitgebreid aandacht besteed aan de invloed van de vegetatiestructuur op de soortensamenstelling van de macrofauna (deelvraag 3). Bij dat laatste onderzoek is niet alleen gekeken naar de invloed van de vegetatiestructuur maar is ook gekeken naar de relatie met de waterhuishouding (grondwaterregime en overstrooming). Er is slechts beperkt aandacht besteed aan de invloed van inundatiedynamiek (frequentie, timing en duur) op de soortensamenstelling van broekbossen (vraag 4). Deze vraag kan alleen goed kan worden beantwoord door experimenteel onderzoek op praktijkschaal. Dat past echter niet binnen het beschikbare budget en binnen de projectopzet. Daarin is gekozen voor een vergelijkend onderzoek om de invloed van hydrologie, inrichting en landgebruik op de nutriëntenhuishouding en de soortensamenstelling van broekbossen te bepalen (Runhaar et al. 2015). Daarbij ligt de nadruk op de voor beekdalen meest kenmerkende broekbossen, te weten elzenbroekbossen.

1.2 Projectopzet

Het project 'Ontwikkeling broekbossen' bestaat uit een aantal onderdelen, die deels vanuit OBN en deels vanuit andere bronnen zijn of worden gefinancierd. In het projectplan zijn de volgende onderdelen omschreven:

1. Vergelijkend onderzoek naar bodem en gewas in een aantal broekboslocaties
2. Vergelijkend onderzoek naar macrofauna-samenstelling in een deelselectie van broekboslocaties
3. Kolomproeven
4. Experiment met toediening drinkwaterslib
5. Experiment met toediening beekslib

ad 1) Het vergelijkend onderzoek naar bodem en gewas in een aantal broekboslocaties is er op gericht om meer zicht te krijgen op de nutriëntenhuishouding binnen beekdal-broekbossen. Waar relatief veel bekend is over de eisen die broekbossen stellen aan de waterhuishouding, weten we maar weinig over de nutriëntenhuishouding (Runhaar et al. 2013). Zo is bijvoorbeeld niet bekend wat binnen broekbossen onder welke condities het meest beperkende nutriënt is (N, P of K) en wat de invloed is van stikstofbinding door de dominante soort in broekbossen, de zwarte els (*Alnus glutinosa*). Door in een groot aantal broekboslocaties onderzoek te doen naar nutriënten in bodem, grondwater en gewas proberen we een antwoord te krijgen op deze vragen. Daarbij wordt niet alleen gekeken naar ongestoorde referenties maar ook naar broekbossen die zijn ontstaan op voormalige landbouwgronden en naar broekbossen die regelmatig overstromen met beek- of rivierwater.

ad 2) Het vergelijkend onderzoek naar de macrofauna in een aantal broekboslocaties is er op gericht om meer inzicht te krijgen in de macrofaunasamenstelling van Nederlandse broekbossen en de invloed van vegetatiestructuur en waterhuishouding daar op. In een vorige studie (Runhaar et al. 2023) was geconstateerd dat over de macrofaunasamenstelling van broekbossen vrijwel niets bekend is, en met dit deel van het onderzoek proberen het kennishiaat tenminste voor een deel op te vullen.

ad 3) De kolomproeven hebben tot doel te bepalen hoeveel nutriënten vrijkomen bij permanente vernatting op potentiële standplaatsen voor broekbossen. Vaak wordt aangenomen dat vernatting van voormalige landbouwgronden volstaat voor de ontwikkeling van soortenrijke broekbossen. Dit wordt ingegeven door de gedachte dat broekbossen relatief voedselrijke (eutrofe) systemen zijn. Door experimentele vernatting van landbouwbodems hebben we onderzocht of deze gedachte al dan niet gerechtvaardigd is.

ad 4) Het experiment met ijzerhoudend drinkwaterslib heeft tot doel om na te gaan of toediening van drinkwaterslib ook in natte organische bodems een geschikte maatregel is om fosfaat te binden. De methode is eerder met succes toegepast op drogere voormalige landbouwgronden om na te gaan of hiermee de ontwikkeling van schraalgraslanden kan worden versneld. Vraag is of de methode ook geschikt is om de nutriëntenbeschikbaarheid te verlagen op natte plekken waar gestreefd wordt naar de ontwikkeling van broekbossen.

De onderdelen 1 tot en met 4 zijn inmiddels uitgevoerd en de resultaten worden in dit rapport beschreven. Onderdelen 1 en 2 (vergelijkend onderzoek broekbossen) zijn gefinancierd door OBN, voor onderdeel 3 is gebruik gemaakt van gegevens afkomstig van andere projecten van B-Ware die voor dit onderzoek zijn aangevuld met waarnemingen uit locatie de Holmers, onderdeel 4 is gefinancierd door Brabant Water.

In 2018 is het experiment met beekslib (onderdeel 5) van start gegaan. In dit onderdeel wordt in een aantal broekbossen onder gecontroleerde omstandigheden beekslib aangebracht om na te gaan wat het eutrofiërende effect is. Het onderzoek loopt door tot en

met 2021 en wordt gefinancierd door provincie Noord-Brabant en Waterschap De Dommel. Te zijner tijd zal over dit onderdeel een zelfstandig rapport worden uitgebracht.

1.3 Begeleiding

Het onderzoek is begeleid door het OBN Deskundigenteam Beekdallandschap. Het concept eindrapport is kritisch doorgenomen door een leescommissie samengesteld uit leden van het Deskundigenteam (Rob van Dongen, Fons Eijsink en Rikje van de Weert) en Mark Bartels van Brabant Water. Op basis van hun commentaar is de rapportage op een aantal punten aangepast en verduidelijkt.

1.4 Leeswijzer

In het volgende hoofdstuk zal allereerst worden ingegaan op de selectie en beschrijving van broekboslocaties die binnen de onderdelen 1 en 2 zijn bemonsterd op bodem, grondwater, gewas en fauna. In de daaropvolgende twee hoofdstukken gaan we in op de resultaten van het vergelijkende onderzoek voor respectievelijk bodem en vegetatie (hoofdstuk 3) en voor fauna (hoofdstuk 4). In de daaropvolgende hoofdstukken gaan we in op respectievelijk de uitkomsten van de kolomproeven (hoofdstuk 5) en de resultaten van het experiment met toediening van drinkwaterslib (hoofdstuk 6). Het rapport eindigt met een hoofdstuk Conclusies en aanbevelingen (hoofdstuk 7) waarin wordt aangegeven welke conclusies uit de verschillende deelonderzoeken kunnen worden getrokken, in hoeverre met de resultaten uit het onderzoek de gestelde onderzoeksvragen kunnen worden beantwoord, en welke kennislacunes resteren.

2 Methode vergelijkend onderzoek

2.1 Selectie broekboslocaties

Het doel van het vergelijkende onderzoek is om een beeld te krijgen van de aard van de nutriëntenhuishouding in goed ontwikkelde niet overstromde broekbossen en na te gaan in hoeverre regelmatig overstromde broekbossen en broekbossen die zich hebben ontwikkeld op voormalige landbouwgrond hiervan afwijken.

De studie heeft zich gericht op voor beekdalen kenmerkende broekbossen, die vallen onder het habitatsubtype H91E0_C Vochtige alluviale bossen (beekbegeleidende bossen). Het gaat daarbij met name om door Zwarte els (*Alnus glutinosa*) gedomineerde broekbossen. Een groot deel van de als referenties geselecteerde broekbossen bestaat daarom uit elzenbroekbossen. Daarnaast zijn ook een aantal rijkere broekbossen geselecteerd die kunnen worden gezien als overgangen naar zachthoutoobossen (broekbossen in benedenloop Swalm) en armere broekbossen met veel berk die kunnen worden gezien als overgang naar berkenbroekbos.

Bij de selectie van broekbossen is behalve naar referenties ook gezocht naar broekbossen op voormalige landbouwgrond en naar broekbossen op regelmatig met beek- of rivierwater overstromde plekken. Ten eerste om een beter beeld te kunnen krijgen van de mogelijkheden om broekbossen te ontwikkelen op voormalige landbouwgronden, ten tweede om te kunnen bepalen in hoeverre ontwikkeling van broekbossen is te combineren met waterberging en overstroming met beek- of rivierwater.

Bij broekbossen op voormalige landbouwgronden is zowel gezocht naar plekken waar de voedselrijke bovengrond is afgegraven, als naar plekken waar dat niet is gebeurd. Dit om een beeld te krijgen van het effect van afgraven op de nutriëntenhuishouding en de soortensamenstelling.

Bij de referentielocaties is als eis gesteld dat het gaat om goed ontwikkelde broekbossen voorkomend op plekken met voor het betreffende broekbostype optimale condities. Bij elzenbroekbossen gaat het daarbij vooral om natte, kwelgevoede condities (Runhaar et al. 2003). Bij de regelmatig overstromde locaties en de locaties op voormalige landbouwgronden is eveneens gezocht naar natte kwelgevoede locaties. Met name bij de broekbossen op voormalige landbouwgronden bleek dit niet altijd goed mogelijk en hebben we ons soms tevreden moeten stellen met suboptimale condities qua waterhuishouding (alleen in de winter plas-dras, in voorjaar droogvallend).

Voor de selectie van locaties is uitgegaan van het overzicht van mogelijke geschikte locaties uit het OBN-rapport 'Herstel Broekbossen' (Runhaar et al. 2013). Daarnaast zijn een aantal ecologen werkzaam bij waterschappen, alsmede de leden van het Deskundigenteam Beekdallandschap, gevraagd om voor dit onderzoek mogelijk relevante broekbossen aan ons door te geven. Dit resulteerde in een lijst van 54 mogelijke geschikte broekbossen. Daarvan zijn er 33 in het najaar 2016 en het vroege voorjaar van 2016 bezocht met als doel om ze op hun geschiktheid voor het onderzoek te beoordelen en geschikte onderzoekslocaties binnen de gebieden te kunnen markeren. Op basis van het veldbezoek zijn in overleg met het DT Beekdallandschap uiteindelijk 23 broekboslocaties geselecteerd en beschreven. Voor de ligging en een korte omschrijving van de locaties wordt verwezen naar Figuur 2.2 en Tabel 2.2. Voor een uitgebreidere beschrijving van bodem en vegetatie wordt verwezen naar bijlage 1.

Tabel 2.1 Indeling broekboslocaties naar voor dit onderzoek relevante eigenschappen.

Alluvial-forest sample sites arranged according to relevant site conditions. Right: periodically flooded sites. Left: sites without flooding. Top: former agricultural use, not excavated. Middle: former agricultural use, top layer excavated. Bottom: no former agricultural use.

	Zonder overstroming	Met overstroming
Landbouwgeschiedenis, zonder afgraven	De Heest	Koelbroek
Landbouwgeschiedenis, met afgraven	Holmers, Vossenbroek	Grote Molenbeek, Westelbeerse Broek*, Kromhurken retentie, Everlose Beek, Verloren Beek
Geen (recente) landbouwgeschiedenis	Kromhurken referentie, Strijper Aa elzenbroek, <i>Strijper Aa wilgenbroek</i> , Ooijen-Wanssum, Dubbroek, Lommerbroek veenmosrijk, Lommerbroek Calla, Voltherbroek, Kloppersblok	Swalmdal elzenbroek, <i>Swalmdal wilgenbroek</i> , Heuloërbroek, <i>Logtse Velden wilgenbroek</i> , Rosep

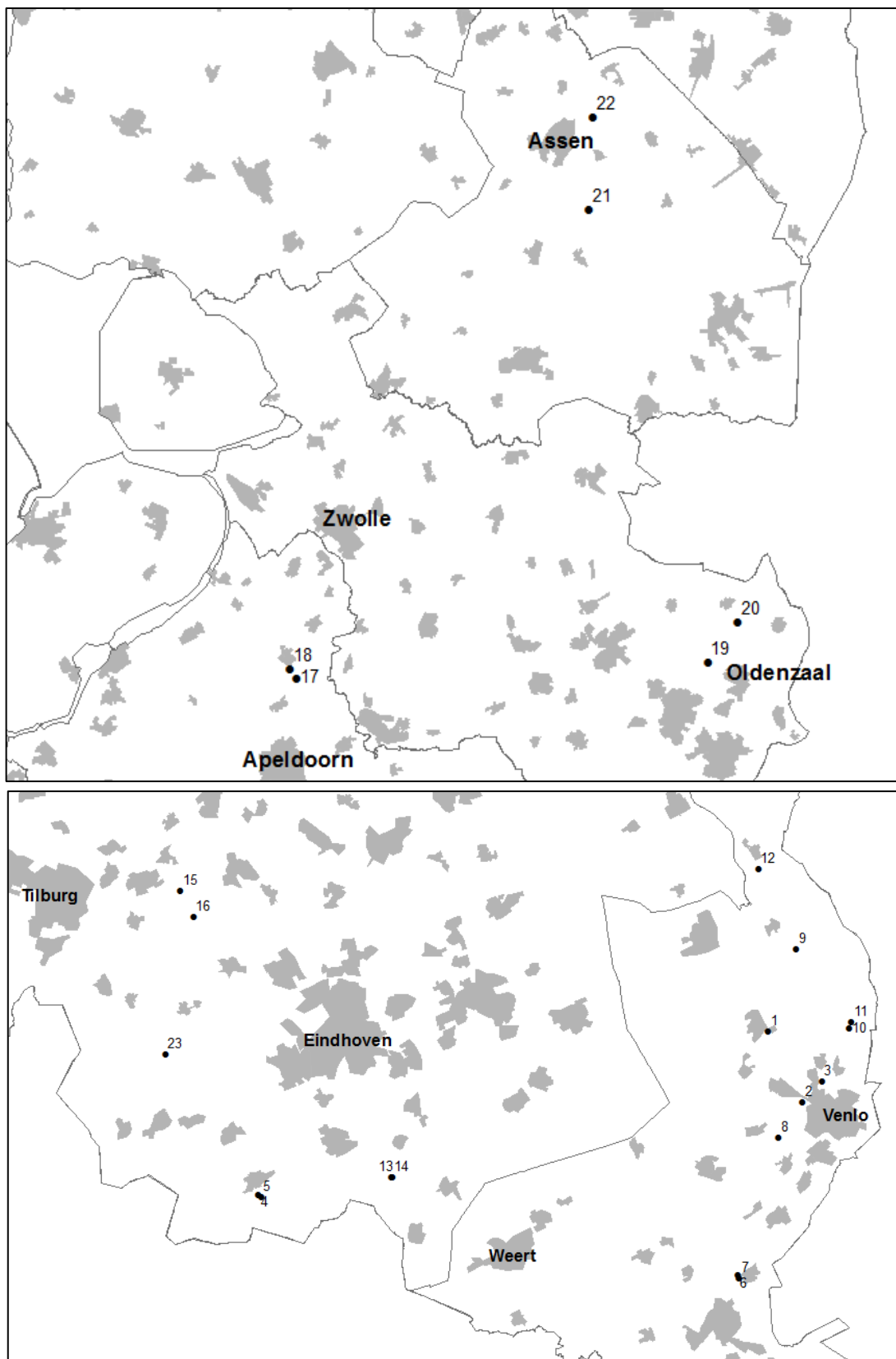
*) geen analyses bodem en vegetatie

In Tabel 2.1 zijn de onderzochte locaties geordend naar de voor dit onderzoek relevante combinaties. Het aantal broekbossen op voormalige landbouwgronden is minder dan beoogd (8 van de 23 locaties). Dat hangt er mee samen dat veel van de 'broekbossen' op voormalige landbouwgronden liggen op plekken die qua hydrologie niet geschikt zijn omdat ze te droog zijn (Figuur 2.1). De oorzaak van een achterblijvende ontwikkeling richting broekbos op deze locaties is evident en daarom zijn ze in het onderzoek niet meegenomen.



Figuur 2.1 Voorbeeld van een elzenbroekbos met een dichte ondergroei van groe brandnetel (*Urtica dioica*) aangelegd op goed ontwaterde voormalige landbouwgrond. Dergelijke locaties zijn niet meegenomen in het onderzoek omdat ze niet voldoen aan de hydrologische criteria (nat, kwelgevoed) en daarom bij voorbaat ongeschikt zijn voor de ontwikkeling van broekbossen.

Example of an alder forest plantation on well drained former agricultural land with an undergrowth of common nettle (*Urtica dioica*). These type of locations have been excluded from the study because of unsuitable hydrological conditions.



Figuur 2.2 Ligging onderzochte broekboslocaties in noordelijk deel (boven) en zuidelijk deel (onder) van Nederland.

Location of the sample sites in the northern (top) and southern (down) part of the Netherlands.

Tabel 2.2 *Overzicht onderzochte broeksboslocaties**Overview of sample sites.*

Opn	Locatie	Omschrijving
1	Grote Molenbeek	Jong elzenbroekbos in winterbed langs de Grote Molenbeek op afgegraven bodem, regelmatig overstroomd
2	Koelbroek	Elzenbroekbos op voormalige niet afgegraven akker (ca 20 jaar terug verlaten)
3	Everlose Beek	Elzenbroekstrook langs beek, regelmatig overstroomd
4	Kromhurken	Recent ontstaan elzenbroekbos in waterberging langs de Keersop, op oppervlakkig afgegraven landbouwgrond
5	Kromhurken	Kwelgevoed elzenbroekbos in beekdal van de Keersop, op plek waar beekdal niet is opgehoogd in middeleeuwen en oorspronkelijke veen bewaard is gebleven
6	Swalmdal	Elzenbroek langs meest benedenstroomse deel van de Swalm, regelmatig overstroomd
7	Swalmdal	Wilgenbroek langs benedenstroomse deel van de Swalm, wat hogerop in dal dan 6 maar waarschijnlijk nog wel regelmatig overstroomd;
8	Dubbroek	Al > 10 jaar geleden hersteld soortenrijk kwelgevoed elzenbroekbos
9	Ooijen-Wanssum	Zeggen- en veenmosrijk elzenbroek in Maasmeander
10	Lommerbroek	Veenmosrijk elzenbroek, overgangen naar berkenbroekbos
11	Lommerbroek	Recent vernat elzenbroek met veel Calla
12	Heuloërbroek	Recent vernat elzenbroek met veel Calla, incidentele overstroming door Maas
13	Strijper Aa	Goed ontwikkeld elzenbroekbos in noordelijk deel Strijper Aa (Berkenputten),
14	Strijper Aa	Wilgenstruweel in noordelijk deel Strijper Aa (Berkenputten)
15	Rosep	Elzenbroekbos langs de Rosep onder invloed van kwel vanuit hoger gelegen Belversven; door staken onderhoud in de beek vernat en nu regelmatig overstromend/meestromend
16	Logtse Velden	Wilgenstruweel in waterbergingsgebied Logtse Velden langs de Beerze
17	Vossenbroek	Nieuw ontstaan jong elzenbroek in natuurontwikkelingsgebied ten noorden van Apeldoorn op oppervlakkig afgegraven landbouwgrond
18	Verloren Beek	Broekbosje op voormalige landbouwgrond langs Verloren Beek bij Zuuk met Dotterbloem en Brandnetel. Kwelgevoed en regelmatig overstroomd doordat bij hoge afvoeren beekwater via overloop door broekbos wordt geleid.
19	Kloppersblok	Elzenbroekbos met overgang naar essenbronbos langs de Spikkersbeek in Weerselo
20	Voltherbroek	Elzenbroekbos met ondergroei van Oeverzegge in lemige beekdalvlakte ten noorden van Volthe
21	Holmers	Recent ontstaan elzenbroek op voormalige afgegraven landbouwgrond in bovenloopje Amerdiep
22	De Heest	Spontaan ontstaan elzenbroekbos in beekdal Drentse Aa bij Taarlo op niet afgegraven voormalige extensief gebruikte weidegrond.
23	Westelbeerse Broek	Jong broekbos in waterbergingsgebied langs de Beerze op afgegraven voormalige landbouwgrond.

Er zijn 9 broekbossen die als referentie kunnen worden beschouwd omdat de hydrologie voor een goed ontwikkeld broekbos optimaal is: permanent nat kwelgevoed en zonder overstroming met voedselrijk oppervlaktewater. Een uitzondering vormt de locatie Voltherbroek waar geen kwel optreedt en die vooral gekozen is vanwege het afwijkende broekbostype (Elzenbroekbos met ondergroei gedomineerd door grote zeggen). Binnen de referenties is gestreefd naar variatie in vegetatiesamenstelling en (grond)waterkwaliteit, met locatie 'Lommerbroek veenmosrijk' als meest voedselarme en zure variant en Voltherbroek als een van de meest productieve broekbossen.

De meeste broekbossen worden gedomineerd door zwarte els. Om de invloed van de els op de nutriëntenhuishouding te kunnen achterhalen zijn ook een aantal wilgenbroekbossen geselecteerd die liggen op vergelijkbare plekken als de beschreven elzenbroekbossen. Het gaat om een wilgenbroek in de Strijper Aa (referentie), en twee wilgenbroeken in respectievelijk de Logtse Velden en het Swalmdal (overstroomd).

2.2 Beschrijving locaties

Op de geselecteerde locaties zijn proefvlakken uitgezet van 10 bij 10 meter. In een aantal gevallen is hiervan afgeweken vanwege de vorm van het broekbos (bv smalle strook langs beek). Er zijn vrij grote proefvlakken gekozen om de binnen broekbossen aanwezige variatie, met zowel natte als droge delen, goed te kunnen beschrijven.

Vegetatiebeschrijving

De binnen het vlak aanwezige vegetatie is beschreven door het maken van vegetatie-opnamen volgens Braun-Blanquet. Daarbij zijn ook de bedekkingen van de verschillende vegetatielagen en de hoogte van de boomlaag aangegeven. Bij de boom- en struiklaag is ook geschat welk percentage van de betreffende laag qua bedekking wordt ingenomen door welke soorten.

Structuur

Aanvullend op de bedekking van de vegetatielagen is ook de verdeling land en water beschreven aan de hand van de volgende indeling:

- stobben en door boomvoeten gevormde eilandjes
- pollen van zeggen en andere moerasplanten
- permanent water en modder (niet of moeilijk begaanbaar)
- vaste grond (al dan niet in de winter onder water staand)

Voor elke klasse is de procentuele bedekking geschat. Bij pollen zijn alleen duidelijk polvormende soorten (*Carex elata*, *C. riparia*, *C. elongata*, *Iris pseudacorus*) meegeteld, overige soorten vallen onder 'water' of 'vaste grond', afhankelijk van het substraat waarin/waarop ze groeien.

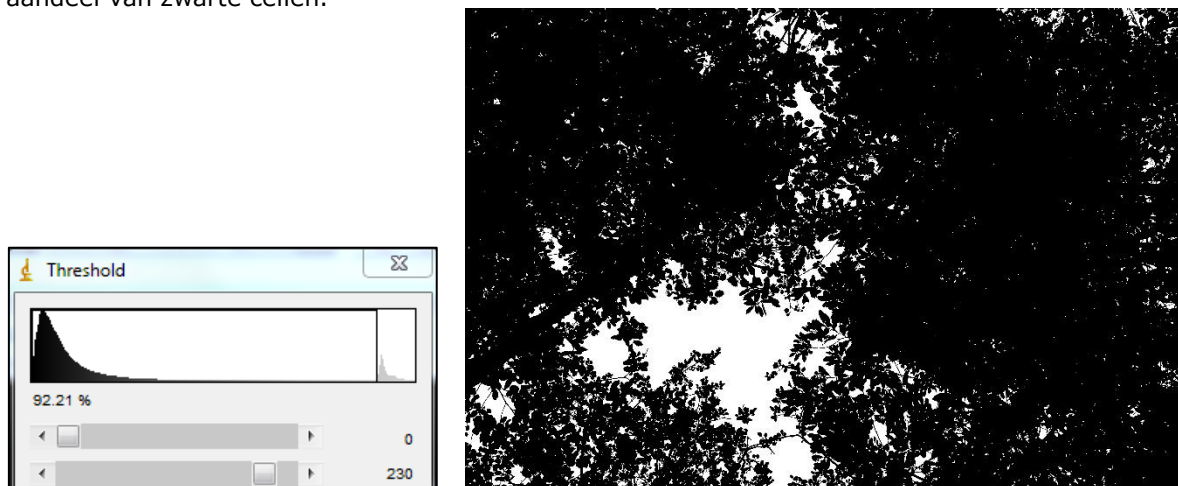
Bodembeschrijving en veld-pH

Met behulp van een humushapper is waar mogelijk, in situaties waarin vaste bodem aanwezig is, een monster gestoken van de bodem. Waar dat niet mogelijk was is gebruik gemaakt van een Edelmanboor met een lengte van 1,20 m om een beeld te krijgen van de bodemopbouw. De pH van de bodem is op verschillende dieptes bepaald met behulp van een Hanna bodem-pH-meter model HI99121.

Foto's bladerdak

In de opnamevlakken zijn op 5 plekken (1 in centrum en 4 punten halverwege centrum en hoekpunten) foto's met groot contrast (door onderbelichting) genomen van het bladerdak met groothoekinstelling (18 mm bij sensor 22.5 x 15 mm). Dit om een beeld te krijgen van de bedekking van het bladerdek. Wanneer een punt samenviel met een stam of direct onder een laaghangende tak lag is het punt verplaatst op de diagonaal. De foto's zijn bewerkt en geanalyseerd met ImageJ (Schneider et al. 2012). Daartoe zijn de beelden omgezet in 8bits

rasters met grijswaarden. Deze zijn vervolgens omgezet in zwart-wit beelden met de functie Threshold (Figuur 2-3) en vervolgens is de bladerbedekking afgeleid uit het procentuele aandeel van zwarte cellen.



Figuur 2.3 Omzetting van grijstinten in zwart-wit door de keuze van een drempel. Links van de drempel gridcellen die betrekking hebben op bladeren en takken, rechts een kleinere piek met in figuur grijs aangegeven cellen die betrekking hebben op lucht. Rechts resulterende zwart-wit beeld.

Determination of canopy closure with ImageJ.

2.3 Bemonstering (grond)water

In de zomer 2016 werd in elke plot een pvc-grondwaterbuis geplaatst met behulp van een edelmanboor. De buizen waren over de gehele lengte geperforeerd en werden geplaatst in het freatische grondwater. De functie van de buizen was om de stand van het grondwater ten opzichte van maaiveld vast te kunnen stellen in een relatief droge en een relatief natte periode. De metingen vonden plaats in de zomer 2016 en in de winter van 2016-2017. Aanvullend werd, ter bepaling van de kwaliteit van het grondwater, een ceramische cup geplaatst op de laagste filterdiepte. Het voordeel hiervan is dat grondwater anaeroob verzameld kan worden (onder vacuüm met behulp van een injectiespuit) waardoor er geen oxidatie plaatsvindt van het monster. Met name de concentratie ijzer (dit blijft onder anaerobe condities in oplossing) en fosfor kunnen hierdoor veel nauwkeuriger worden vastgesteld dan via het opboren van grondwater uit een pvc-buis. Grondwater werd verzameld in de zomer van 2016 en de winter van 2016-2017.

2.4 Bemonstering bodem

In de zomer van 2016 werd in elke plot op een tiental sub-locaties een monster van de toplaag verzameld (0-25 cm) met behulp van een veenhapper. Indien er binnen de plot duidelijk sprake was van verschillende bodemtypes (bijvoorbeeld klei of veen, droog of nat) dan werden deze apart verzameld. Per bodemtype werden de sub-monsters direct gemengd tot één representatief monster van circa 2 Liter. Dit werd overgebracht in een luchtdicht afgesloten plastic zak die gekoeld bewaard werd. Bij aankomst in het laboratorium werd in de natte bodems direct een rhizon sampler (10 cm) geplaatst voor een anaerobe bemonstering van het porievocht. Achtereenvolgens werden in het laboratorium van B-WARE de volgende analyses uitgevoerd op alle bodemmonsters:

Drooggewicht en organisch stofgehalte

Om het vochtgehalte van het verse bodemmateriaal te bepalen werd het vochtverlies gemeten door een vast volume van het bodemmateriaal per monster af te wegen in aluminium bakjes en gedurende minimaal 48 uur te drogen in een stoof bij 60°C. Vervolgens werd het bakje met bodemmateriaal opnieuw gewogen en het vochtverlies berekend. Dit alles werd in duplo uitgevoerd. De fractie organisch stof in de bodem werd berekend door het gloeiverlies te bepalen. Hiertoe werd het bodemmateriaal per monster, na het drogen, gedurende 4 uur verast in een oven bij 550°C. Na het uitgloeien van de monsters werd het bakje met bodemmateriaal weer gewogen en het gloeiverlies berekend. Het gloeiverlies komt in dit type bodems goed overeen met het gehalte aan organisch materiaal in de bodem.

Olsen-P extractie

Het Olsen-P extract werd uitgevoerd ter bepaling van de hoeveelheid plantbeschikbaar fosfaat. Hiervoor werd 3 gram droog bodemmateriaal met 60 ml Olsen-extract (0,5 M NaHCO₃ bij pH 8,4) gedurende 30 minuten uitgeschud op een schudmachine bij 105 rpm. Het extract werd vervolgens geanalyseerd op een ICP_AES. Uit onderzoek op voormalige landbouwgronden is gebleken dat een Olsen-P concentratie van 300 µmol per liter bodem als een grenswaarde kan worden beschouwd waarboven een ernstige verzuuring van de vegetatie optreedt op zand- en veenbodems. Met name ijzerrijke kleibodems (>> 100 mmol Fe/l FW) binden veel fosfaat. Hierdoor kunnen voor kleibodems en andere ijzer- en/of calciumrijke bodems hogere Olsen-P grenswaarden worden gehanteerd in vergelijking met zand- of veenbodems. Over het algemeen kan op kleiige of (zeer) ijzer- en/of calciumrijke bodems een Olsen-P grenswaarde worden gehanteerd van 500 µmol/l FW of hoger. Wel zullen dan over het algemeen de wat voedselrijkere natuurdoeltypen tot ontwikkeling komen.

Bodemdestructie

Door de bodem te destrueren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bijna alle elementen in het bodemmateriaal te bepalen waaronder de concentratie totaal-P. Dit werd uitgevoerd door het bodemmateriaal na het drogen op 60 °C te vermalen. Van het bodemmateriaal werd per monster nauwkeurig 200 mg afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het bodemmateriaal werd 5 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 2 ml waterstofperoxide (H₂O₂ 30%) toegevoegd en de vaatjes werden geplaatst in een destructie-magnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd in gesloten teflon vaatjes. Na destructie werden de monsters overgegoten in 100 ml maatcilinders en aangevuld tot 100 ml door toevoeging van milli-Q water. Analyse vond plaats op de Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP-AES; Thermo Electron Corporation, IRIS Intrepid II XDL).

Waterextractie

Omdat op drogere locaties het niet mogelijk was om met rhizons porievocht te verzamelen uit de bodem, is besloten om (ter vergelijking van bodems) op alle bodems ook een waterextract uit te voeren. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml gedemineraliseerd water gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. Dit vond anaeroob plaats in stikstofgas. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons en tijdelijk opgeslagen in een koelcel.

Zoutextractie

In de zoutextracten werd eerst pH-NaCl van de bodem bepaald. Hiervoor werd 17,5 gram verse bodem met 50 ml zoutextract (0,2 M NaCl) gedurende 2 uur geschud op een schudmachine bij 105 rpm. Dit vond anaeroob plaats in stikstofgas. De extracten werden gefilterd met behulp van rhizons.

Monsteranalyse

De pH van de porievochtmonsters, water- en zoutextracten werden gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De concentraties natrium (Na⁺) en kalium (K⁺) werden vlamfotometrisch bepaald en de

concentratie ammonium (NH_4^+), nitraat (NO_3^-), fosfaat (PO_4^{3-}) en chloride (Cl^-) concentraties aan de hand van kleurreacties met autoanalyser-technieken (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>). De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), zwavel (S), fosfor (P), ijzer (Fe), mangaan (Mn) en silicium (Si) werden gemeten met behulp van een ICP-OES (zie ook <http://www.ru.nl/fnwi/gi>).

2.5 Bemonstering gewas

In de zomer van 2016 werd per plot een beschrijving van de vegetatiebedekking gemaakt en werden de dominante soorten van de boomlaag/struiklaag en kruidlaag bemonsterd. Voor de boomsoorten werd telkens naast zwarte els nog één boomsoort bemonsterd. Dit om onderscheid tussen de stikstofbindende els en overige soorten te kunnen onderzoeken. Per soort werden een flink aantal sub-monsters genomen om, net zoals bij de bodembemonstering, een goed representatief beeld te kunnen verkrijgen van de elementgehalten van de verschillende soorten binnen de onderzoeksplot. De boomlaag werd bemonsterd op een vaste hoogte van 5,5-6,5 meter met behulp van een takkenzaag. De struiklaag werd aan de bovenzijde bemonsterd. De sub-monsters werden gemengd tot één representatief monster per soort.

De monsters werden gekoeld bewaard en in het laboratorium gedroogd in een stoof (48 uur bij 70 °C). Het gedroogde materiaal werd in zijn geheel voorgemalen met behulp van een Foss Tecator Cyclotec™ 1093 sample mill (FOSS, Hillerød, Denmark). Verdere maling vond plaats met een kogelmaler (model MM301; Retsch, Haan, Germany). Het materiaal werd aangebracht in 2 ml eppendorpjes tezamen met twee roestvrije stalen balletjes (\varnothing 3.5 mm). Malen vond plaats in de kogelmaler gedurende 5 x 2 minuten bij een frequentie van 30 Hz. Van elk gemalen monster werd 200 mg in een Teflon vaatje overgebracht en gedestruerd met behulp van een ETHOS D Microwave Digestion Labstation (Milestone Inc., Sorisole, Italy) na het toevoegen van 4 ml HNO_3 (65%) en 1 ml H_2O_2 (30%). De monsters werden aangevuld met gedemineraliseerd water tot een totaal volume van 100 ml en bewaard bij 4 °C tot chemische analyse op de ICP (zie paragraaf 2.4 onderdeel monsteranalyse). Koolstof en stikstof werden geanalyseerd met behulp van een CNS elemental analyser (type NA 1500; Carlo Erba Instruments, Milan, Italy).

2.6 Bemonstering fauna

In 2016 zijn 14 broekbossen op fauna bemonsterd. De selectie van de bestudeerde locaties is gegeven in Tabel 2.3. Deze was gebaseerd op een combinatie van beschikbare locaties van de verschillende broekbostypen (voldoende replica's per type) en het bereiken van zo veel mogelijk spreiding van de locaties over het land.

Tabel 2.3 Monsterlocaties macrofauna broekbossen

Subset of alluvial forest sites where macrofauna has been sampled.

Locatie	Beek	x	y	datum	waterhabitat
Strijper Aa Berkenputten	Strijper Aa	152.927	368.141	28-6	veel water
Keersop retentie	Keersop	152.730	368.386	28-6	kleine poeltjes her en der
Kromhurken	Keersop	165.650	370.030	28-6	veel water, potten op soort dammetje
Grote Molenbeek retentie	Grote Molenbeek	202.482	384.365	30-6	veel water
Swalmdal oost A73	Swalm	199.634	360.280	30-6	veel water
Dubbroek	Springbeek	203.512	374.072	30-6	veel water, potten op soort dammetje
Heuloerbroek	Heukelomsche beek	201.523	400.141	30-6	veel water, potten op soort dammetje
Koelbroek	Everlosche beek	205.794	377.406	30-6	kleine poeltjes her en der
Ooijen-Wanssum	Oude Maasarm	205.173	392.370	30-6	veel water tussen pollen en mosbulten
Voltherbroek	Voltherbeek	259.589	489.299	13-7	veel water tussen grote zeggenpollen
Kloppersblok	Lemselerbeek	255.347	483.720	13-7	bos helemaal droog bij ophalen potten daarvoor kleine poeltjes her en der, mafa monster uit bijna drooggevalen slootje aan andere kant rijksweg
Vossenbroek	sloot	197.015	481.487	13-7	kleine poeltjes her en der
Verloren beek retentie	Verloren beek	196.057	482.703	13-7	kleine poeltjes her en der
Holmers	Amerdiepje	238.410	547.961	29-7	grote stukken drooggevalen bosbodem, grote poel

Semi-terrestrische fauna: loopkevers en wolfspinnen

Op iedere locatie zijn 10 potvallen geplaatst (potdiameter 5 cm), verdeeld over een traject met een lengte van circa 50 m. De vallen werden telkens alternerend in de lage delen (bij de waterlijn) en op de hogere delen (op walletjes/eilanden, bij stobben) in het broekbos gezet. Ieder val werd gevuld met Renner-vloeistof (mengsel van ethanol, water, azijnzuur, glycerol, scheutje afwasmiddel om oppervlaktespanning te verlagen) en afgedekt met een dekseltje tegen de regen en om te voorkomen dat amfibieën en kleine zoogdieren in de val terecht kwamen. De potvallen werden geplaatst in de periode eind juni –juli 2016. Na een week werden de vallen opgehaald, gesorteerd en de vangst geconserveerd in ethanol tot verdere verwerking. Alle vangsten zijn tot op het laagst haalbare taxonomische niveau (meestal soort) op naam gebracht. De vangsten van de afzonderlijke potten zijn bij elkaar gevoegd.

Aquatische macrofauna

Macro-evertebraten zijn tegelijkertijd met de potvalbemonstering verzameld door met een 350-ml dipper (Clarke mosquito control service & supplies, Roselle ILL) op 10 plekken monsters te nemen van water bevattende laagtes in het bos. Deze plekken vielen samen met de transecten met de potvallen. De inhoud van de afzonderlijke dip-monsters zijn samengevoegd en in het veld geconserveerd in 70% ethanol en getransporteerd naar het laboratorium. Determinatie vond plaats tot op het laagst haalbare taxonomische niveau. Voor de analyses zijn in gevallen van overlappende taxonomische niveaus, zoals determinaties binnen een groep tot op soort, genus en familie, deze samengevoegd.

3 Resultaten vergelijkend onderzoek bodem en vegetatie

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de resultaten uit het vergelijkend onderzoek naar bodem en vegetatie besproken en geanalyseerd. Daarbij is de hoofdvraag hoe de nutriënthuishouding in natuurlijke broekbossen (referenties) functioneert, en welke invloed de in dit onderzoek onderscheiden factoren (landbouwvoorgeschiedenis, afgraven en overstroomd) daarop hebben.

Om deze vraag te beantwoorden wordt in de volgende paragrafen eerst afzonderlijk ingegaan op onderzoekresultaten ten aanzien van:

- vegetatiesamenstelling en -structuur (par.3.2),
- bodem en grondwater (par. 3.3) en
- nutriëntengehaltes in het gewas (par. 3.4)

Aangegeven wordt in welke mate de in tabel 2-1 onderscheiden groepen zich onderscheiden ten aanzien van de onderzochte factoren en wat mogelijk achterliggende oorzaken zijn voor de waargenomen verbanden. Op één punt is afgeweken van de indeling in groepen uit *Tabel 2.1*. Omdat de groepen 'landbouwgeschiedenis zonder afgraven, niet overstroomd' en 'landbouwgeschiedenis zonder afgraven, overstroomd' elk bestaan uit slechts één locatie (resp. locaties De Heest en Koelbroek) zijn ze samengenomen tot één groep 'voormalige landbouwgrond'. Dat resulteert in vijf groepen zoals aangegeven in onderstaande tabel.

Tabel 3.1 Indeling in groepen zoals gebruikt in de analyse van de relatie tussen bodem en vegetatie

Code	Naam	Omschrijving
<i>Ref</i>	Referentie	al langere bestaande broekbossen met een goed ontwikkelde broekbosvegetatie, merendeels gekenmerkt door natte condities en aanwezigheid kwel
<i>OV</i>	Overstroomd	idem, incidenteel tot regelmatig overstroomd
<i>OA</i>	Overstroomd op afgegraven landbouwgrond	incidenteel tot regelmatig overstroomde broekbossen die zich recent hebben ontwikkeld op afgegraven voormalige landbouwgrond
<i>LB</i>	Voormalige landbouwgrond	broekbos dat zich recent heeft ontwikkeld op voormalige landbouwgrond
<i>LA</i>	Afgegraven voormalige landbouwgrond	broekbos dat zich recent heeft ontwikkeld op afgegraven landbouwgrond

3.2 Vegetatiesamenstelling en -structuur

3.2.1 Vegetatiesamenstelling locaties

In Tabel 3.2 wordt een overzicht gegeven van de vegetatiekundige indeling van de locaties en het voorkomen in de locaties van een aantal soorten die structuurbepalend zijn, en/of bepalend zijn voor de plantensociologische indeling en/of indicatief zijn voor relevante standplaatscondities (hydrologie, voedselrijkdom). Voor een gedetailleerdere beschrijving van de vegetatie-samenstelling wordt verwezen naar bijlage 1.

Locatie	Hoogte boomlaag (m)	Kroonsluiting (%)	Bomen/struiken					Kensoorten/diff.soorten					Hydrologie					Ruigtesoorten					Aantal soorten	Vegetatietype					
			Alnus glutinosa	Betula pubescens	Fraxinus excelsior	Salix alba	Salix cinerea	Carex elongata	Carex elata	Carex paniculata	Carex remota	Carex riparia	Sphagnum fimbriatum	Sphagnum palustre	Hottonia palustris	Equisetum fluviatile	Calla palustris	Scirpus sylvaticus	Caltha palustris	Urtica dioica	Glechoma hederacea	Poa trivialis			Agrostis stolonifera	Juncus effusus	Glyceria fluitans	Phalaris arundinacea	
<i>Referentie (ref)</i>																													
8 Dubbroek (DB)	20	92	5	1	3	.	2a	1	.	.	+	+	28	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
9 Ooijen-Wanssum (OW)	15	92	5	2b	.	.	2a	3	2b	2m	.	1	.	.	.	.	.	.	2b	.	.	.	r	.	.	34	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum
11 Lommerbroek slangewortel (LOMcal)	20	58	4	4	2m	2b	1	2m	22	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
13 Strijper Aa elzenbroek (STRaln)	15	91	5	.	.	.	r	2a	2b	.	1	.	2m	.	2a	+	2m	+	32	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum
19 Kloppersblok (KB)	30	86	5	.	2a	.	.	2a	.	1	1	.	.	.	2m	.	1	+	.	.	1	3	+	2b	+	40	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum		
5 Kromhurken referentie (KHref)	15	86	3	3	.	.	2a	2a	.	.	.	.	2m	2m	.	1	2m	.	.	.	.	.	.	2a	2a	34	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum
10 Lommerbroek veenmosrijk (LOMsph)	20	83	4	2b	.	.	.	r	.	.	1	.	2m	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	21	39Aa2e Carici elongatae caricetosum curtae
14 Strijper Aa wilgenbroek (STRsal)	8	88	2a	.	.	.	5	2a	1	.	.	.	2a	2a	2b	.	.	.	.	.	.	.	.	1	2b	19	36Aa2 Salicetum cinereae
20 Voltherbroek (VO)	30	86	5	.	.	.	r	+	.	.	1	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	23	[Alnion glutinosae] RG Carex riparia
<i>Overstroomd (OV)</i>																													
6 Swalmdal benedenloops (SWAaln)	15	85	3	.	.	3	r	.	.	r	+	3	.	.	.	.	.	1	3	1	+	.	.	.	1	39	[Alnion glutinosae/Salicion albae]
7 Swalmdal bovenloops (SWAsal)	20	85	.	.	.	3	4	.	.	.	1	4	.	.	.	.	1	.	r	1	.	.	.	.	.	38	[Salicion albae/Alnion glutinosae]
12 Heuloërbroek (HEU)	20	87	5	.	+	.	.	1	.	2b	2a	.	.	.	2a	.	.	1	.	.	.	.	.	.	+	27	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum
15 Rosep (ROS)	15	82	4	r	.	.	2a	+	3	.	1	.	.	.	.	.	.	3	.	.	.	1	.	2m	28	39Aa2 Carici elongatae-alnetum typicum	
16 Logtse Velden (LV)	6	93	.	.	.	.	5	1	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2m	.	1	2a	17	36Aa2 Salicetum cinereae
<i>Overstroomd op afgegraven landbouwgrond (OA)</i>																													
18 Verloren Beek (VBK)	25	85	5	.	+	.	+	.	.	.	.	.	.	.	2m	.	.	+	3	1	2m	2a	r	.	2m	38	[Alnion glutinosae] RG Urtica dioica
1 Grote Molenbeek (GMB)	12	96	5	.	.	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	26	-
3 Everlose Beek (EVB)	15	94	5	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	5	1	+	.	.	.	.	20	[Alnion glutinosae] RG Urtica dioica
4 Kromhurken- waterberging (KHwb)	8	91	5	.	.	.	2a	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	3	.	2b	1	4	.	.	24	-
23 Westelbeerze Broek -WBR)	15	94	3	r	.	.	3	+	.	.	r	.	.	.	.	.	.	2b	.	2a	1	2m	+	1	.	28	-
<i>Voormalige landbouwgrond (LB)</i>																													
2 Koelbroek (KB)	10	93	5	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	14	[Alnion glutinosae] RG Urtica dioica
22 De Heest (HST)	15	87	5	1	2b	2m	4	2a	26	-	
<i>Afgegraven voormalige landbouwgrond (LA)</i>																													
17 Vossenbroek (VOS)	4	78	5	.	.	.	2a	.	.	.	1	3	+	30	-	
21 Holmers (HOL)	15	66	5	2b	+	2m	r	2a	20	-	

Tabel 3.2 Overzicht vegetatiekundige indeling locaties met voorkomen van planten die bepalend zijn voor structuur (bodem/struiken), de plantensociologische indeling (kensoorten en differentiërende soorten), hydrologie (nat gebufferd, meest kwelsoorten) en eutrofiering (ruigtesoorten).

Characterisation of the alluvial forest sites. To the right the vegetation type. To the left occurrence of plant species that are characteristic for alluvial forests ('kensoorten') and species that are indicative for wet seepage conditions ('hydrologie') or nutrient-rich sites ('ruigtesoorten'). ref = reference sites, OV = flooded, OA = flooded, on excavated former agricultural sites, OA = former agricultural sites, LA = superficially excavated former agricultural sites.

Referentielocaties (ref)

De vegetatie in de referentielocaties bestaat in de meeste gevallen uit een goed ontwikkelde 'typische' vorm van het Elzenzegge-Elzenbroek (39Aa2a *Carici elongatae* - *Alnetum typicum*), waarin de voor dit vegetatietype kenmerkende elzenzegge (*Carex elongata*) en stijve zegge (*Carex elata*) talrijk voorkomen. Ook soorten die kenmerkend zijn voor permanent natte, kwelgevoede omstandigheden, zoals waterviolier (*Hottonia palustris*) en Holpijp (*Equisetum fluviatile*), komen in deze bossen talrijk voor. In locatie 11 (Lommerbroek - slangenwortel) is de elzenzegge zeer dominant. Deze broekboslocatie is recent vernat, leidend tot sterfte van een aantal volwassen elzen. Mogelijk heeft de elzenzegge van de nattere en lichtere omstandigheden geprofiteerd door zich sterk uit te breiden.

Het veenmosrijke elzenbroekbos in het Lommerbroek (locatie 10) valt onder een zuurdere vorm van het Elzenbroek (39Aa2e *Carici elongatae* - *caricetosum curtae*) en kan worden gezien als een overgang naar berkenbroekbos, en wel de vorm met zompzegge (40Aa2, *Carici curtae* - *betuletum pubescentis*). De elzenbroekbossen in het Voltherbroek (locatie 20) worden gekenmerkt door een dichte ondergroei van de breedbladige zeggensoorten moeras- en oeverzegge (*Carex acutiformis* en *C. riparia*). De vorm met moeraszegge wordt in De Vegetatie van Nederland onderscheiden als Rompgemeenschap met moeraszegge (RG *Carex acutiformis*). De vorm met oeverzegge wordt niet onderscheiden maar is hier in navolging van de Rompgemeenschap met moeraszegge onderscheiden als Rompgemeenschap met oeverzegge (RG *Carex riparia*). De locatie Voltherbroek wijkt af van de hiervoor genoemde broekbossen omdat hiervoor zover na te gaan geen sprake is van kwel.

Om een beter beeld te krijgen van de invloed van de els op de nutriëntenhuishouding is in de Strijper Aa, naast een opname van het hier over een grote oppervlakte aanwezige elzenbroek (locatie 13), ook een opname gemaakt in een struweel van grauwe wilg (*Salix cinerea*, locatie 14) dat zich lokaal in een veenput heeft ontwikkeld. Vegetatiekundig valt deze vegetatie onder de Associatie van grauwe wilg (*Salicetum cinereae*).

Overstroomde locaties (OV en OA)

De elzenbroekbossen in het Heuloërbroek (locatie 12) en langs de Rosep (locatie 15) behoren tot het Elzenzegge-Elzenbroek en onderscheiden zich qua vegetatiesamenstelling weinig van de referentiebroekbossen die tot dit type behoren. Dat hangt waarschijnlijk samen met het feit dat deze locaties slechts incidenteel overstroomd met oppervlaktewater. De twee locaties langs de Swalm (locaties 6 en 7) liggen in de benedenloop van deze beek op de overgang naar het Maasdal. Vegetatiekundig kunnen ze worden gezien als overgangen tussen wilgenvloedbossen en elzenbroekbossen, met zowel soorten kenmerkend voor broekbossen als soorten kenmerkend voor ooibossen. Waarschijnlijk worden ze in de Vegetatie van Nederland niet beschreven omdat dergelijke overgangen zeldzaam zijn. Beide locaties langs de Swalm hebben een tamelijk ruige ondergroei, met grote brandnetel (*Urtica dioica*), reuzenbalsemien (*Impatiens glandulifera*) en oeverzegge (*Carex riparia*), maar desondanks zijn ze wel soortenrijk met onder meer soorten als dotterbloem (*C. palustris*), zwarte bes (*Ribes nigrum*) en groot springzaad (*Impatiens noli-tangere*).

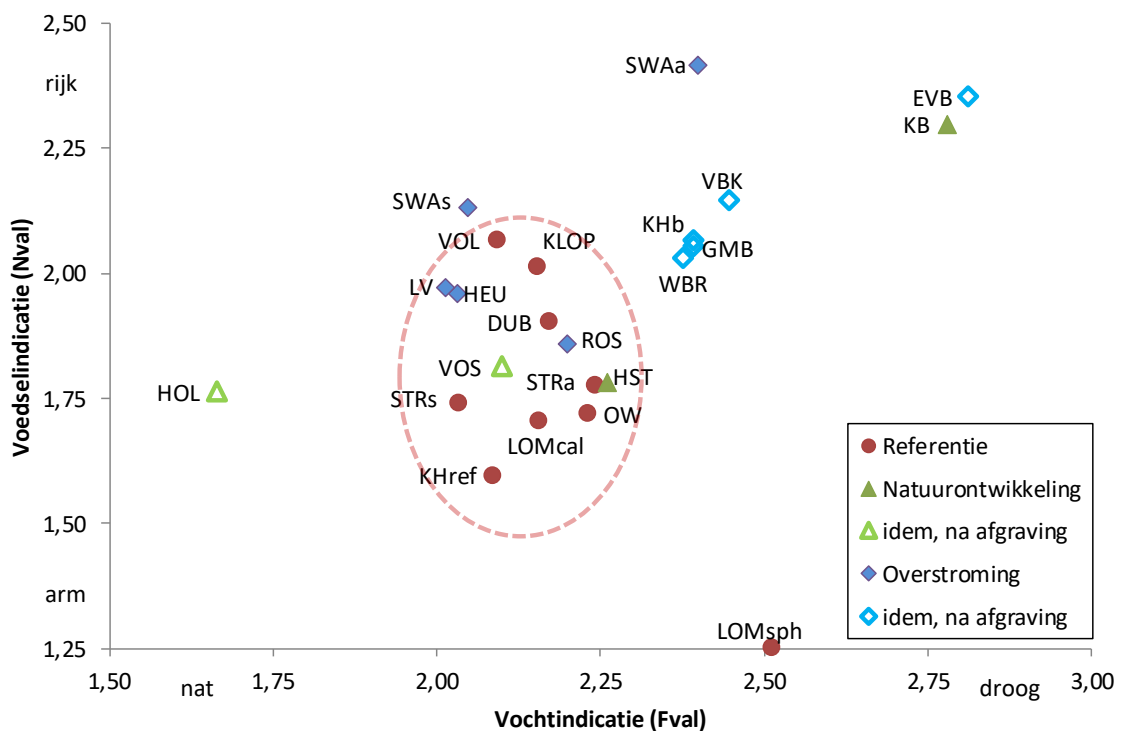
Het wilgenstruweel in de Logtse velden (locatie 16) is evenals het wilgenstruweel in de Strijper Aa vrij soortenarm, mogelijk mede vanwege de geringe lichtbeschikbaarheid als gevolg van het dichte bladerdak (kroonbedekking gemiddeld 93%).

In de elzenbroekbossen die spontaan zijn ontstaan, op ten behoeve van waterberging vergraven delen langs de beek (locaties 1, 3, 4, 18 en 23), komen weinig of geen voor elzenbroekbossen kenmerkende soorten voor. De meeste soorten die voorkomen zijn kenmerkend voor verstoorde en voedselrijke milieus. De geringe soortenrijkdom en het ontbreken van kenmerkende soorten kan voor een deel worden verklaard uit het feit dat het gaat om jonge bossen die nog weinig tijd hebben gehad zich te ontwikkelen.

Het broekbos in het Koelbroek (locatie 2) overstroomt incidenteel. Maar omdat de landbouwvoorgeschiedenis hier naar verwachting dominant is, is deze locatie samen met de andere locatie op niet afgegraven landbouwgrond samengenomen in de groep 'LB' (zie onder).

Broekbossen op voormalige landbouwgrond (LB en LA)

Het broekbos in het Koelbroek (locatie 2) is ontstaan op een verlaten maisakker die door peilopzet van de beek is vernat. De ondergroei wordt gedomineerd door grote brandnetel. Het broekbos in de Heest (locatie 22) heeft zich ontwikkeld op voormalig extensief beweide grasland, de ondergroei wordt gedomineerd door pitrus (*Juncus effusus*). Dat laatste is ook het geval in het Vossenbroek, dat weliswaar oppervlakkig is afgegraven, maar waar nog een deel van de organische toplaag bewaard is gebleven. In de Holmers (locatie 21) is de organische toplaag geheel afgegraven. Bovendien is na afgraven het waterpeil sterk opgezet, waardoor een groot deel van de opname permanent of vrijwel permanent onder water staat. Dat verklaart dat naast waterviolier (*Hottonia palustris*) en holpijp (*E. fluviatile*) ook klein blaasjeskruid (*Utricularia minor*) voorkomt.



Figuur 3.1 Indeling opnamen naar vochtindicatie en voedselrijkdomindicatie. Indeling op basis van indicatiewaarden Witte et al. 2007, gewogen naar bedekking. Referentielocaties zijn rood omcirkeld.

Alluvial forest sites arranged according to indicator values for nutrient availability (y-axis) and moisture (x-axis) according to Witte et al. (2007). Red bullets in circle: reference sites. Blue rhombus : flooded sites. Green triangle: former agricultural site. Open rhombi and triangles: superficially excavated (former agricultural) sites.

3.2.2 Correspondentie met standplaatscondities op basis indicatiewaarden

In *Figuur 3.1* wordt een beeld gegeven van de vochttoestand en de voedselrijkdom van de locaties op basis van de indicatiewaarde van de vegetatie. Daartoe is gebruik gemaakt van de indicatiewaarden die door Witte et al. (2007) zijn afgeleid uit de indeling van plantensoorten in ecologische soortengroepen (Runhaar et al., 2004). Daarbij zijn de

indicatiewaarden lineair gewogen naar de bedekking van de plantensoorten in de vegetatieopname.

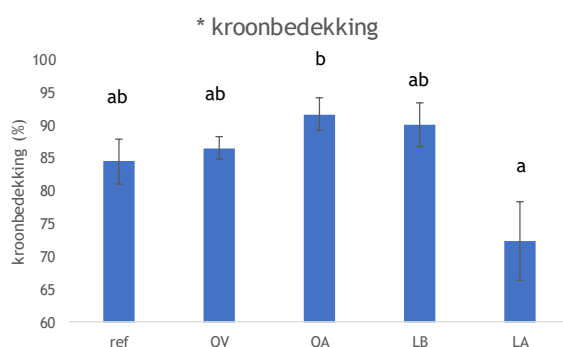
De referentielocaties liggen dicht bij elkaar qua vocht- en voedselrijkdomindicatie van de plantengroei. De vegetatie indiceert in vrijwel alle gevallen natte ($F_{val}=2$) en matig voedselrijke ($N_{val}=2$) omstandigheden. Een uitzondering vormt de zuidelijke opname in het Lommerbroek (LOMsph) ($N_{val}=1,25$) die gevoed wordt door lokaal afstromend zacht grondwater vanuit een aangrenzende zandrug, en waarvan de ondergroei wordt gedomineerd door veenmossen (gewoon, gewimperd en fraai veenmos). Dit bos vormt een overgang tussen elzenbroek- en berkenbroekbos.

De broekbossen die in het kader van natuurontwikkeling zijn aangelegd op voormalige landbouwgronden in de Heest en het Vossenbroek liggen qua voedselrijkdomindicatie in dezelfde range als de referentiebroekbossen. In het Vossenbroek is de bovengrond ondiep afgegraven. Het broekbos in de Heest heeft zich ontwikkeld vanuit een extensief beheerd grasland. Het elzenbroekbos in de Holmers ligt op een plek waar de bovengrond is afgegraven en ligt qua (grond)waterstand op de uiterste grens waar nog elzen kunnen groeien. Door opzet van peilen in 2006 en 2013 staat het broekbos nu een groot deel van het jaar onder water. Het elzenbroekbos in Koelbroek (KB) heeft zich ontwikkeld op een voormalige maisakker. De hoge voedselrijkdomindicatie en de vrijwel volledige bedekking in de ondergroei met brandnetel hangen hier dus vooral samen met het voormalige landbouwgebruik.

De broekboslocaties die incidenteel tot regelmatig overstromen hebben gemiddeld genomen een hoger voedselrijkdomindicatie. Daarbij hebben de locaties waar de plantengroei drogere condities indiceert de hoogste voedselrijkdomindicatie (Swalmdal elzenbroek, Everlose Beek, Koelbroek en Verloren Beek).

3.2.3 Kroonbedekking

Door middel van een ANOVA met een Tukey-posthoc-test ($p < 0,05$, getransformeerde gegevens) is nagegaan of er significante verschillen tussen de bostypen aanwezig waren. De resultaten zijn weergegeven in *Figuur 3.2*.



Figuur 3.2 Gemiddelde kroonbedekking in de verschillende categorieën broekbossen (ref = referentie, OV= overstroomd, OA= overstroomd afgegraven voormalige landbouwgrond, LB = voormalige landbouwgrond, niet afgegraven, LA=afgegraven voormalige landbouwgrond). Verschillen tussen de categorieën staan aangegeven met letters. De foutbalken geven de standaardfout weer.

Average canopy closure in different categories of alluvial forest sites. Explanation of categories: see table 3.2.

In de figuur is te zien dat de kroonbedekking significant hoger is in overstroomde broekbossen op afgegraven landbouwgrond, en significant lager op niet overstroomde, afgegraven voormalige landbouwgronden (LA). Dit verband wordt grotendeels veroorzaakt door een verminderde vitaliteit en een zeer lage kroonbedekking in de Holmers (66%, zie Tabel 3.2) als gevolg van vernatting. Datzelfde geldt voor de referentielocatie Lommerbroek

- slangenwortel waar als gevolg van vernatting boomsterfte heeft plaatsgevonden en de kroonbedekking niet meer dan 58% bedraagt. Wanneer deze locaties worden weggelaten neemt de variatie in kroonbedekking sterk af.

Er is een significant negatief verband tussen kroonbedekking en vochtindicatie ($R=0,35$, $p < 0,01$). Boomsterfte op de vernatte locaties Holmers en Lommerbroek – slangenwortel ligt ten grondslag aan de relatie. Worden beide locaties weggelaten uit de regressie dan is het verband met de vochtindicatie niet langer significant.

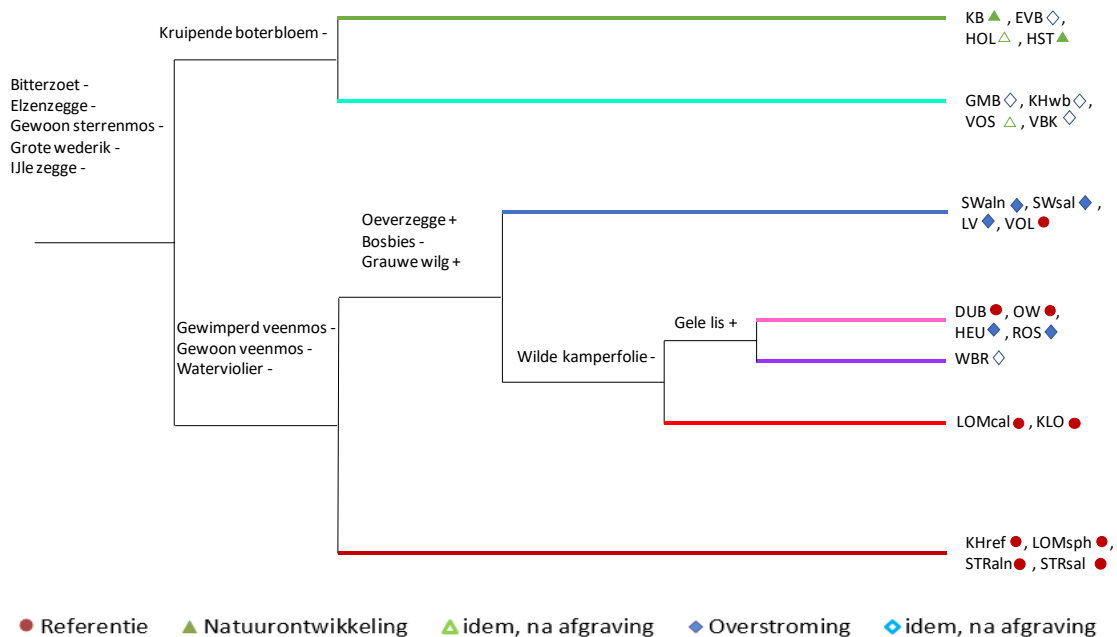
3.2.4 Ordinatie op basis vegetatiesamenstelling (TWINSPAN)

Om te onderzoeken of de door ons onderscheiden groepen ook op basis van de plantengroei te onderscheiden zijn, is een TWINSPAN-analyse uitgevoerd. Om groepen te onderscheiden op basis van de kwaliteit van de ontwikkeling als vochtige bossen, is de analyse uitgevoerd met alle kensoorten en differentiërende soorten van de verbonden, associaties en subassociaties die in de Klasse der Elzenbroekbossen vallen (Stortelder et al., 1999; p191, respectievelijk p200).

De belangrijkste splitsing in groepen vindt plaats tussen de voormalige landbouwbodems en de overige locaties, die op één uitzondering na (Westebeerse Broek) niet op voormalige landbouwgrond liggen (Figuur 3.3). In deze eerste groep ontbreken gewoon sterrenmos, bitterzoet en grote wederik (differentiërende soorten van de Klasse der Elzenbroekbossen), elzenzegge (kensoort van het Elzenzegge-Elzenbroek) en ijle zegge (differentiërende soort van het Elzenzegge-Elzenbroek), en komen ruigtesoorten als pitrus, grote brandnetel, ruw beemdgras en hondsdrif meer voor (zie Tabel 3.2). Hier ligt, kort door de bocht, de grens tussen wat vegetatiekundig een Elzenbroekbos genoemd zou kunnen worden en slecht ontwikkelde (Elzen)bossen. De geringe leeftijd en het voorkomen van soorten die nog de voormalige landbouwgeschiedenis weerspiegelen vormen waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak voor de afsplitsing van deze groep. Deze groep wordt in de Twinspan-analyse nog verder opgesplitst in een groep bossen zonder grauwe wilg en kruipende boterbloem (Koelbroek, Everlose Beek, Holmers en De Heest) en een groep met deze soorten (Grote Molenbeek, Kromhurken-waterberging, Vossenbroek en Verloren Beek). In de groep zonder grauwe wilg en kruipende boterbloem ontbreken overigens ook typische broekbossoorten als gele lis, gewoon sterrenmos en melkeppe. In deze groep met soortenarme elzenbossen zijn het met name grote brandnetel, pitrus of fioringras die de ondergroei domineren.

Bij de beter ontwikkelde broekbossen worden Kromhurken-referentie, Lommerbroek-veenmosrijk en de twee locaties bij de Strijper Aa afgesplitst op het voorkomen van Gewimperd - en Gewoon veenmos.

Van de opnames waarin deze veenmossen ontbreken, hebben de overstroomde locaties in het Swalmdal en de referentielocatie in het Voltherbroek als overeenkomst dat ze een hoge bedekking met oeverzegge hebben (tussen de 25 en 100%). Daarnaast zijn de Logtse Velden en Swalmdal-wilgenstruweel beide wilgenbroekbossen en geen elzenbroekbos.



Figuur 3.3 : Groepsindelingen gebaseerd op basis van de TWINSpan-analyse. De karakteristieke soorten staan vermeld bij elke splitsing. De plussen en minnen geven aan of een soort nog wel (+) of niet (-) aanwezig is na de splitsing.

Classification of sites based on TWINSpan-analysis. For explanation symbols: see figure 3.1.

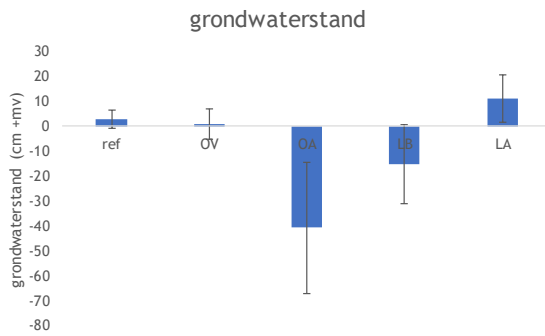
De overige locaties, op Westelbeerse Broek na, worden alle gerekend tot het Elzenzegge-Elzenbroek *typicum* (Tabel 3.2). Door TWINSpan wordt in deze opnamen nog onderscheid gemaakt tussen een groep waarin wilde kamperfoelie al dan niet voorkomt. Westelbeerse Broek vormt een buitenbeentje; waarschijnlijk als gevolg van de landbouwvoorgeschiedenis ontbreken veel differentiërende soorten en komen meer ruigtesoorten voor (zie Tabel 3.2).

3.3 Bodem en grondwater

3.3.1 Verschillen tussen broekbostypen

Door middel van een ANOVA met een Tukey-posthoc-test ($p < 0,05$, getransformeerde gegevens) is nagegaan waar er significante verschillen tussen de bostypen aanwezig waren.

Er waren grote verschillen in grondwaterstand tussen de onderzochte bossen. Deze varieerden in zomer 2016 van 120 cm beneden maaiveld bij de Everlose beek tot 20 cm boven maaiveld in het referentiebreekbos bij Kromhurken. In de winter varieerde de (grond)waterstand van 114 cm onder maaiveld bij de Everlose beek tot 26 cm boven maaiveld in de Holmers. Winter- en zomerstanden verschilden over het geheel niet veel; de mediane stand in de zomer was 2 cm onder maaiveld en in de winter 3 cm erboven. Deze standen zijn goed terug te vinden in de gemiddelden van de gemeten grondwaterstanden (Figuur 3.4), die in de referentieterrinen rond het maaiveld liggen. Hoewel de verschillen tussen de groepen niet significant zijn, blijkt duidelijk dat in een deel van de overstroomde locaties op afgegraven landbouwgrond (OA) de grondwaterstand veel verder uitzakt dan in de referentielocaties. Dit wordt met name veroorzaakt door de zeer lage grondwaterstanden in de locatie langs de Everlose Beek. Binnen de locatie op niet afgegraven voormalige landbouwgrond (LB) zorgt met name de locatie Koelbroek (LB) voor een lagere grondwaterstand.

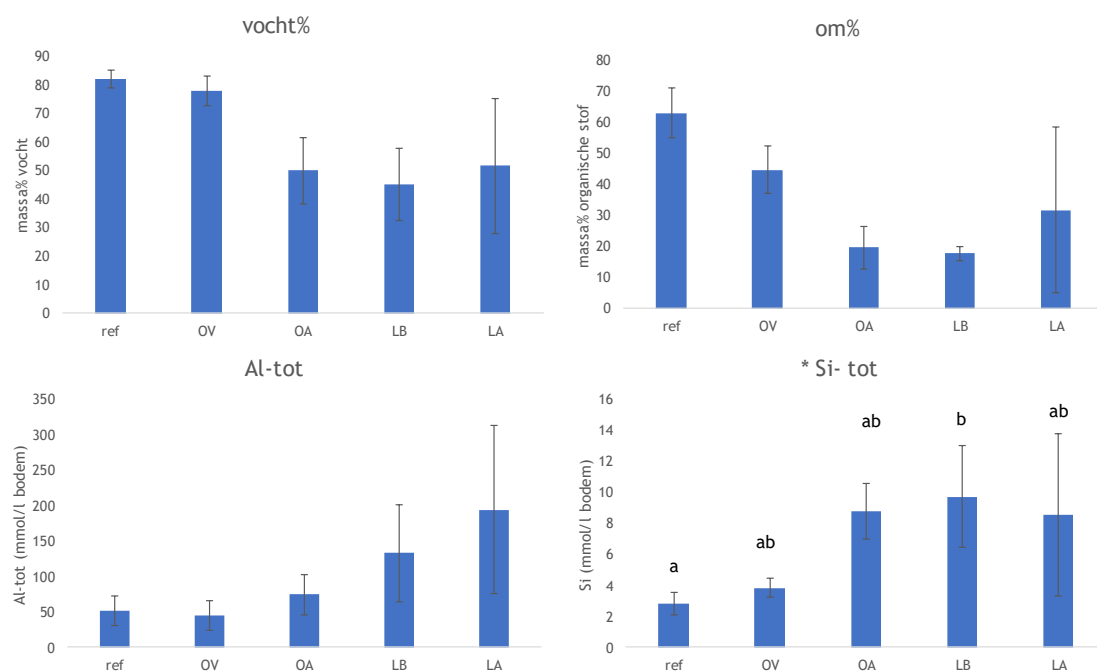


Figuur 3.4 Gemiddelde grondwaterstand in de verschillende categorieën broekbossen (ref = referentie, OV= overstromd, OA= overstromd afgegraven voormalige landbouwgrond, LB = voormalige landbouwgrond, niet afgegraven, LA=afgegraven voormalige landbouwgrond). De foutbalken geven de standaardfout weer.

Average groundwater level in different categories of alluvial forest sites. Explanation of categories: see table 3.2.

Eenzelfde patroon als voor de grondwaterstand is te vinden voor het vochtgehalte en het percentage organische stof in de toplaag van de bodem (Figuur 3.5). Het vochtgehalte en het organische stofgehalte zijn altijd sterk met elkaar gecorreleerd. In de referentiebossen lag het organisch stofpercentage rond de 56%, maar in de broekbossen op voormalige landbouwgrond (zowel afgegraven als niet afgegraven en zowel geïnundeerd als niet-geïnundeerd was dit percentage significant lager (gemiddeld 22%). Dit lagere organische stofgehalte is een logisch gevolg van het landbouwverleden; in akkers en weilanden is geen dikke organische A-horizont aanwezig. Als er wordt ontgrond, zoals in het geval van de overstromde en ontgronde broekbossen (OA), wordt vanzelfsprekend ook het organisch materiaal in de bodem deels verwijderd. Het ontstaan van een organische A-horizont wordt gestimuleerd door hoge grondwaterstanden, waarbij de afbraak van strooisel geremd wordt. De lage grondwaterstanden in de bossen die bij omvorming een laag organische stofgehalte in de toplaag hadden, zullen ervoor zorgen dat een dergelijke horizont ook niet snel zal ontstaan.

Hoewel er in het organische stofpercentage geen significant verschil werd gevonden voor de verschillende categorieën broekbossen, was dat wel het geval in de totaal concentratie silicium. Deze was het hoogst in de afgegraven bodems die overstromen en op de voormalige landbouwlocaties die niet zijn afgegraven. Dit wijst erop dat deze bodems wat mineraler (zandiger) waren. Ook in de concentratie totaal-aluminium, die meestal samenhangt met de siltfractie, was er een trend ($p=0,3$) dat -met name- de voormalige landbouwbodems een hogere totaal-aluminiumconcentratie hadden.

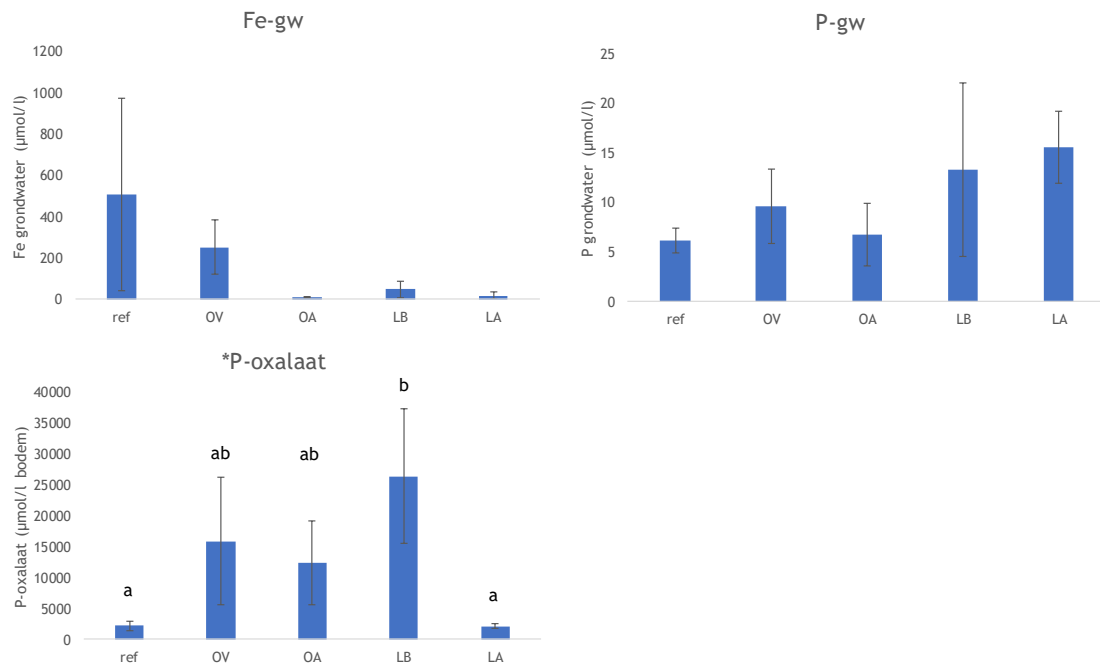


Figuur 3.5 Gemiddelde vochtpercentage, organische stofpercentage (om%), concentratie totaal-aluminium en totaal-silicium in de bodem in de verschillende categorieën broekbossen (ref = referentie, OV= overstroomd, OA= overstroomd afgegraven voormalige landbouwgrond, LB = voormalige landbouwgrond, niet afgegraven, LA=afgegraven voormalige landbouwgrond). Parameters met significante verschillen tussen de categorieën zijn gemarkeerd met een *. Verschillen tussen de categorieën staan aangegeven met letters. De foutbalken geven de standaardfout weer.

Average content of moisture (vocht%), organic-matter (om%), Al and Si in the soil of different categories of alluvial forest sites. Explanation of categories: see table 3.2.

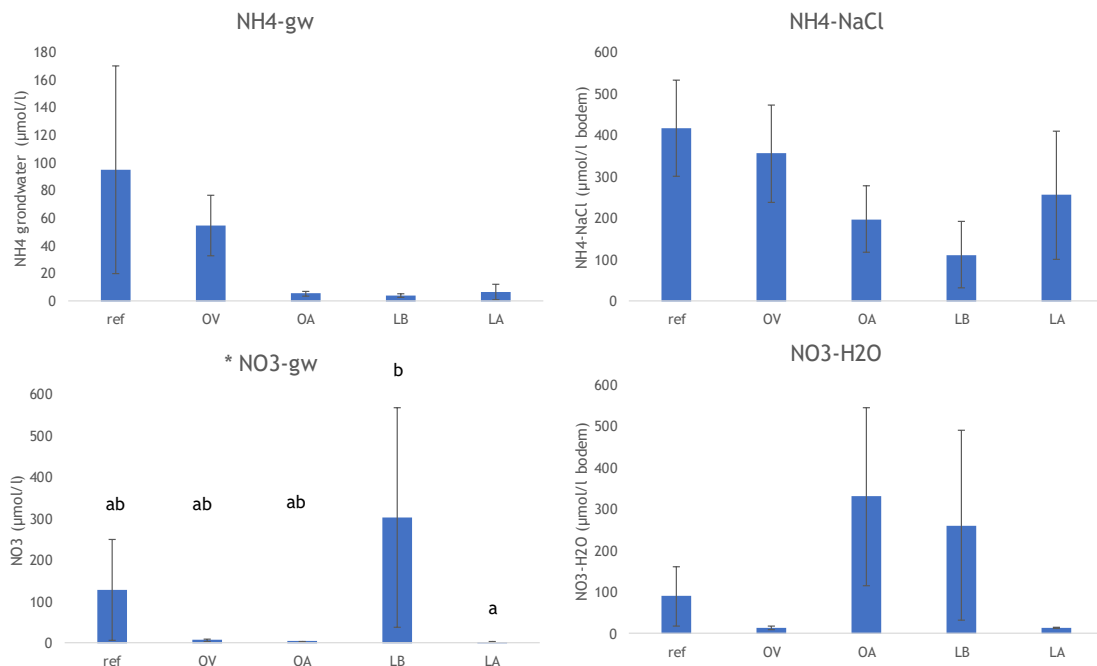
De hoogste ijzerconcentraties in het grondwater werden gevonden in het referentiegebied Lommerbroek met slangenwortel (>4000 $\mu\text{mol/l}$), en op de inundatielocaties Swalm (wilgenbroek) (700 $\mu\text{mol/l}$), Heuloërbroek en Logtse velden (beide circa 250 $\mu\text{mol/l}$). Op de voormalige landbouwgronden werden slechts lage concentraties ijzer in het grondwater gemeten. Hoge ijzerconcentraties in het grondwater indiceren een lage redoxpotentiaal in het grondwater, waarbij ijzer als ijzer(II) in oplossing komt. Onder deze omstandigheden is er vaak ook veel fosfor in het grondwater aanwezig, omdat er bij de reductie van ijzer(III)oxiden ook fosfor wordt vrijgemaakt. Hoewel de gebieden met een hoge concentratie ijzer in het grondwater inderdaad ook vrij hoge fosforconcentraties in het grondwater hadden (8 $\mu\text{mol/l}$ in het Lommerbroek met Slangenwortel; 23 $\mu\text{mol/l}$ in het Heuloërbroek), werden de hoogste fosforconcentraties in het grondwater aangetroffen onder de voormalige landbouwgronden (Figuur 3.6, LB en LA).

In de toplaag van de bodem zijn er duidelijke verschillen te zien tussen de verschillende categorieën bossen in de concentratie oxalaat-extraheerbaar P. Deze geeft, net als de sterk hieraan in dit onderzoek gecorreleerde P-verzadiging, een indruk van de mate waarin P voor de plantengroei beschikbaar is. De P-oxalaat-concentratie was laag in referentiegebieden en in afgegraven landbouwgronden en ongeveer 10x zo hoog in voormalige landbouwgebieden die niet waren afgegraven. Op overstroomde locaties (OV en OA) was de concentratie gemiddeld hoger dan op de referentielocaties, maar de verschillen tussen de locaties waren groot. De concentraties Olsen-P, ook een maat voor de P-beschikbaarheid, gaven een minder coherent beeld dan de concentraties oxalaat-extraheerbaar P.



Figuur 3.6. Gemiddelde concentratie ijzer en P in het grondwater en oxalaat-extraheerbaar P in de bodem in de verschillende categorieën broekbossen (ref = referentie, OV= overstroomd, OA= overstroomd afgegraven voormalige landbouwgrond, LB = voormalige landbouwgrond, niet afgegraven, LA=afgegraven voormalige landbouwgrond). Parameters met significante verschillen tussen de categorieën zijn gemarkeerd met een *. Verschillen tussen de categorieën staan aangegeven met letters. De foutbalken geven de standaardfout weer.
Average content of Fe, P and oxalate extractable P in the soil of different categories of alluvial forest sites. Explanation of categories: see table 3.2.

Ammonium in het grondwater (Figuur 3.7) is net als de ijzerconcentratie sterk gerelateerd aan de grondwaterstand (zie *Figuur 3.4*). Door de hoge grondwaterstand en de lage redoxpotentiaal is in de natte referentiebroekbossen en overstroomde broekbossen ammonium doorgaans het dominante stikstofion. In gebieden met een lage grondwaterstand, zoals de onderzochte bossen met inundatie die afgegraven zijn en de bossen op niet-afgegraven voormalige landbouwgrond, is dit nitraat. Bij de bossen op voormalige landbouwgrond die niet is afgegraven, kan er ook nog sprake zijn van hoge nitraatconcentraties door de voormalige bemesting. De nitraatconcentratie in het grondwater was mogelijk hierdoor hoger dan op de afgegraven voormalige-landbouwlocaties.



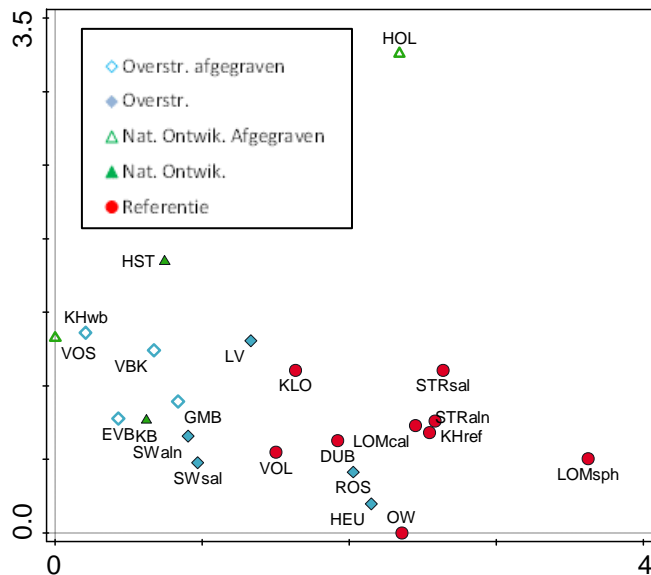
Figuur 3.7 Gemiddelde concentratie ammonium in het grondwater, ammonium in de bodem (NaCl-extractie), nitraat in het grondwater en nitraat in de bodem (H2O-extractie) in de verschillende categorieën broekbossen (ref = referentie, OV= overstroomd, OA= overstroomd afgegraven voormalige landbouwgrond, LB = voormalige landbouwgrond, niet afgegraven, LA=afgegraven voormalige landbouwgrond). Parameters met significante verschillen tussen de categorieën zijn gemarkeerd met een *. Verschillen tussen de categorieën staan aangegeven met letters. De foutbalken geven de standaardfout weer.

Average content of ammonium and nitrate in groundwater (gw) and in soil (extraction with NaCl solution) in different categories of alluvial forest sites. Explanation of categories: see table 3.2.

3.3.2 Correspondentie-analyse (DCA) vegetatiesamenstelling en abiotische factoren

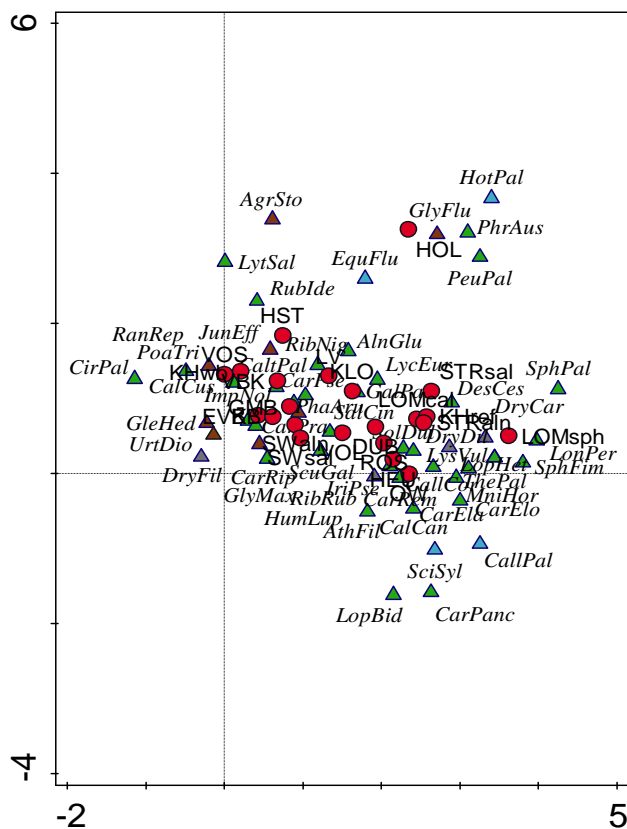
Een correspondentie-analyse met Canoco (Figuur 3.8) laat een vergelijkbaar beeld zien als de TWINSPAN-analyse met de ken- en differentiërende soorten van Elzenbroekbossen (par. 3.2.4). Op de eerste as van de DCA liggen de referentiebossen vooral aan de rechterzijde, en broekbossen op voormalige landbouwgronden vooral aan de linkerzijde van het diagram. De overstroomde broekbossen nemen een tussenpositie in. De meest frequent overstroomde locaties (Logtse Velden, en beide locaties in Swalmdal) liggen tussen de referentielocaties en de voormalige landbouwgronden in. De locaties Rosep en Heuloërbroek nemen op de 1^e as een vergelijkbare positie in als de referentiebroekbossen. De locatie Rosep overstroomde voorafgaande aan het veldwerk nog slechts een beperkt aantal jaren, en het Heuloërbroek overstroomt slechts indidenteel (zei bijlage 1).

De variatie op de 2^e as lijkt vooral bepaald te worden door de sterk afwijkende locatie Holmers die veel natter is dan de overige locaties (zie Figuur 3.1 en bijlage 1).



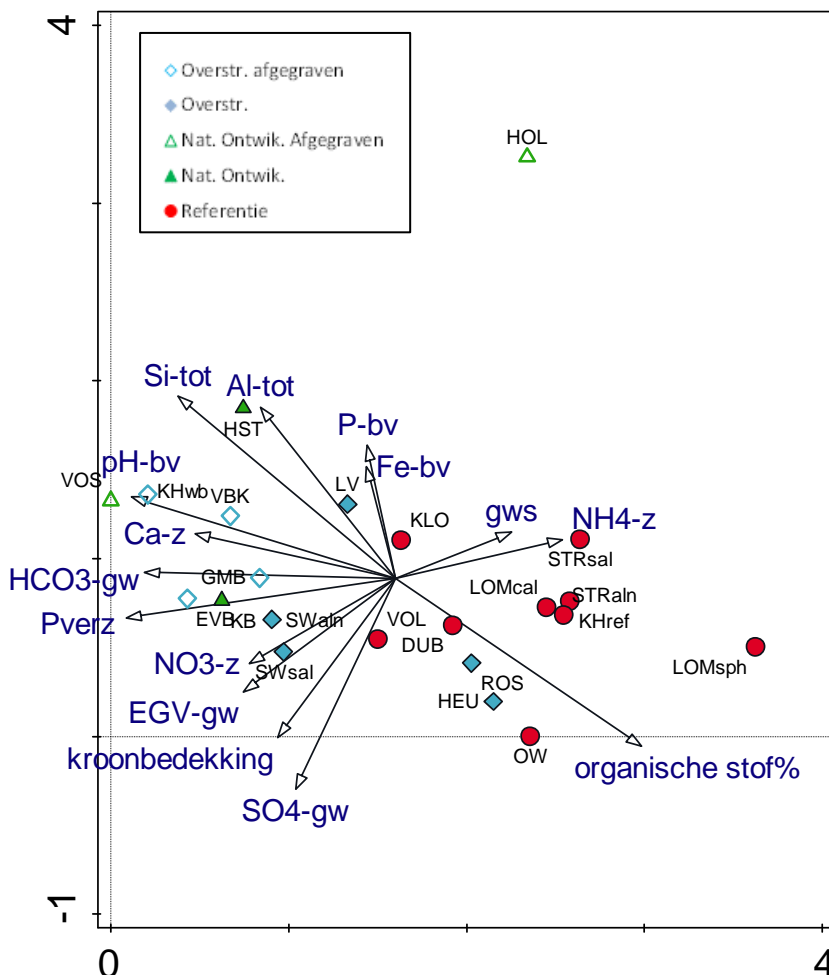
Figuur 3.8: 1^e en 2^e as van DCA van aanwezige vegetatie inclusief mossen. Verklaarde variatie: 1^e as 11%, 2^e as 10%.

Ordination of alluvial forest sites based on the species composition of the vegetation using DCA. Explained variance first (horizontal) axis 11% and of second (vertical) axis 10%.



Figuur 3.9: DCA met daarin weergegeven onderzoekslocaties (rode cirkels) de ken- en differentiërende soorten van klasse, verbond en (sub)associaties (groen), overige belangrijke kenmerkende soorten (grijs), indicatoren voor grondwaterinvloed (blauw) en eutrofiëringsindicatoren (bruin). Position of individual plant in the ordination diagram of figure 3.8. Red circles: position of reference sites. Green triangles: differentiating species for *Carici elongatae-alnetum* vegetations. Blue triangles: species indicative for groundwater influence. Purple: species indicative for high nutrient availability. Grey triangles: other species.

In **Figuur 3.9** is op de twee DCA-assen ook het voorkomen van een aantal voor broekbossen kenmerkende soorten geplot. Ruigte-indicatoren, zoals grote brandnetel, hondsdrif, ruw beemdgras en pitrus, zijn aan de linkerzijde van het diagram geclusterd, waar zich met name de natuurontwikkelings-locaties bevinden. Soorten die duiden op grondwaterinvloed, zoals bosbies, slangenwortel, holpijp en waterviolier bevinden zich vooral aan de rechterzijde van het diagram.



Figuur 3.10 DCA van Figuur 3.8 met daarin de belangrijkste verklarende abiotische parameters weergegeven.

Explanatory variables plotted in the ordination diagram of figure 3.8.

In Figuur 3.10 staat een selectie van de belangrijkste verklarende abiotische parameters geplot in de DCA van Figuur 3.8. Parameters die sterk met elkaar correleerden (slechts 1% van de 97 parameters met een $R^2 \geq 0,64$), zijn niet in de DCA weergegeven. Wat er wel correleerde waren het Elektrisch Geleidingsvermogen en de concentraties calcium en magnesium, en in mindere mate ook de concentraties van 'vervuilingsparameters' chloride en sulfaat in het poriewater. Natrium en chloride waren, zoals gebruikelijk, onderling sterk gecorreleerd, en een sterke correlatie tussen ammonium, ijzer en fosfor in het poriewater gaf aan dat concentraties van deze ionen afhankelijk zijn van de redoxpotentiaal van de bodem. In het grondwater waren dezelfde patronen zichtbaar als in het ondiepe poriewater, alleen was hier sulfaat duidelijker gecorreleerd met het Elektrisch Geleidings-Vermogen en hing de fosforconcentratie in het grondwater niet samen met de ijzerconcentratie. Veel van de concentraties van elementen die in het grondwater gemeten werden, waren sterk gecorreleerd met concentraties van dezelfde elementen in het poriewater.

Totaalconcentraties van elementen die een belangrijk aandeel vormen in de bodemmatrix van de minerale bodem, zoals silicium en aluminium, waren in sterkere of iets mindere mate negatief gecorreleerd met het organische stofgehalte (venige bodem). De kaliumconcentratie in de bodem hing het sterkst samen met de magnesium- en natriumconcentratie, die op zijn beurt weer sterk gecorreleerd was met de calciumconcentratie. De concentratie Olsen-P, een maat voor de beschikbaarheid van fosfaat voor de vegetatie, hing eveneens positief samen met de totaalconcentraties calcium en natrium in de bodem. Onafhankelijk hiervan waren de totaalconcentraties ijzer en mangaan, elementen die in broekbossen vooral via het grondwater worden aangevoerd. Deze elementen correleerden sterk met elkaar en ook met de amorfe, oxalaat-extraheerbare, fractie van deze elementen. De fosfaatverzadiging hing sterk samen met de concentratie oxalaat-extraheerbaar fosfor en niet met de oxalaat-extraheerbare concentraties ijzer, aluminium en mangaan, die op hun beurt wel samenhangen met de grondwaterstand.

Uit Figuur 3.10 blijkt dat de belangrijkste verklaring van de eerste as wordt gevormd door hoe mineraal of weinig de bodem is (organische stofgehalte, totaalconcentraties Si en Al). In dezelfde richting speelt ook een pH- en bufferingsgradiënt. Deze gradiënt wordt sterk bepaald door het zure Lommerbroek met veenmos (pH-bv 5,2, pH-gw 4,6; HCO_3^- -gw 23 $\mu\text{mol/l}$), dat aan de rechterzijde van het diagram is geplaatst.

De P-verzadiging, een maat voor de fosfaatbeschikbaarheid, hangt ook heel duidelijk samen met de eerste as. Deze is laag in de referentiegebieden en hoog in de niet-afgegraven voormalige landbouwterreinen en in een aantal inundatiegebieden op voormalige landbouwgrond. De P-verzadiging lijkt ook het voorkomen van ruigtesoorten te stimuleren: grote brandnetel, hondsdraf en ruw beemdgras hadden een significant positieve respons op een hogere P-verzadiging (GLM met getransformeerde gegevens, $p < 0,05$, aantal opnames met betreffende soorten echter beperkt). Alleen grote brandnetel vertoonde daarnaast een positieve respons op de nitraatconcentratie (NO_3^- -NaCl), waardoor een toename van grote brandnetel ook verklaard kan worden door een hogere nitraatbeschikbaarheid, en niet alleen door een hogere fosfaatbeschikbaarheid. Deze positieve respons op nitraat gaat samen met een negatieve respons op de ammoniumconcentratie (NH_4^+ -NaCl) in de bodem, hetgeen wijst op een relatie met het grondwaterregime en de redoxpotentiaal: In natte gereduceerde bodems vormt ammonium het dominante anion, in droge geoxideerde bodems is dat nitraat.

Het EGV, de sulfaatconcentratie van het grondwater, de kroonbedekking en de ijzer- en fosforconcentraties in het bodemvocht hingen sterk samen met de tweede as. Deze as kan niet duidelijk worden verklaard uit verschillen in voorgeschiedenis en overstroming.

3.4 Nutriëntengehalten in gewas

3.4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden resultaten van de gewasanalyses gepresenteerd, waarbij wordt ingegaan op de verschillen in gehalten in N, P en K van het gewas en op de verhouding tussen deze nutriënten. Bij de beschouwing van de verhoudingen tussen gehalten aan nutriënten wordt gerefereerd naar de empirische grenswaarden van Olde Venterink e.a. (2003). Op grond van bemestingsproeven heeft Olde Venterink e.a. (2003) vastgesteld dat er (1) sprake is van N limitatie bij een N:P ratio $< 14,5$ en een N:K ratio $> 2,1$; (2) dat er sprake is van P of N+P limitatie (co-limitatie van P) wanneer de N:P ratio $> 14,5$ en de K:P ratio $> 3,4$ en (3) dat er sprake is van K of K+N limitatie (co-limitatie van K) wanneer de N:K ratio $> 2,1$ en de K:P ratio $< 3,4$.

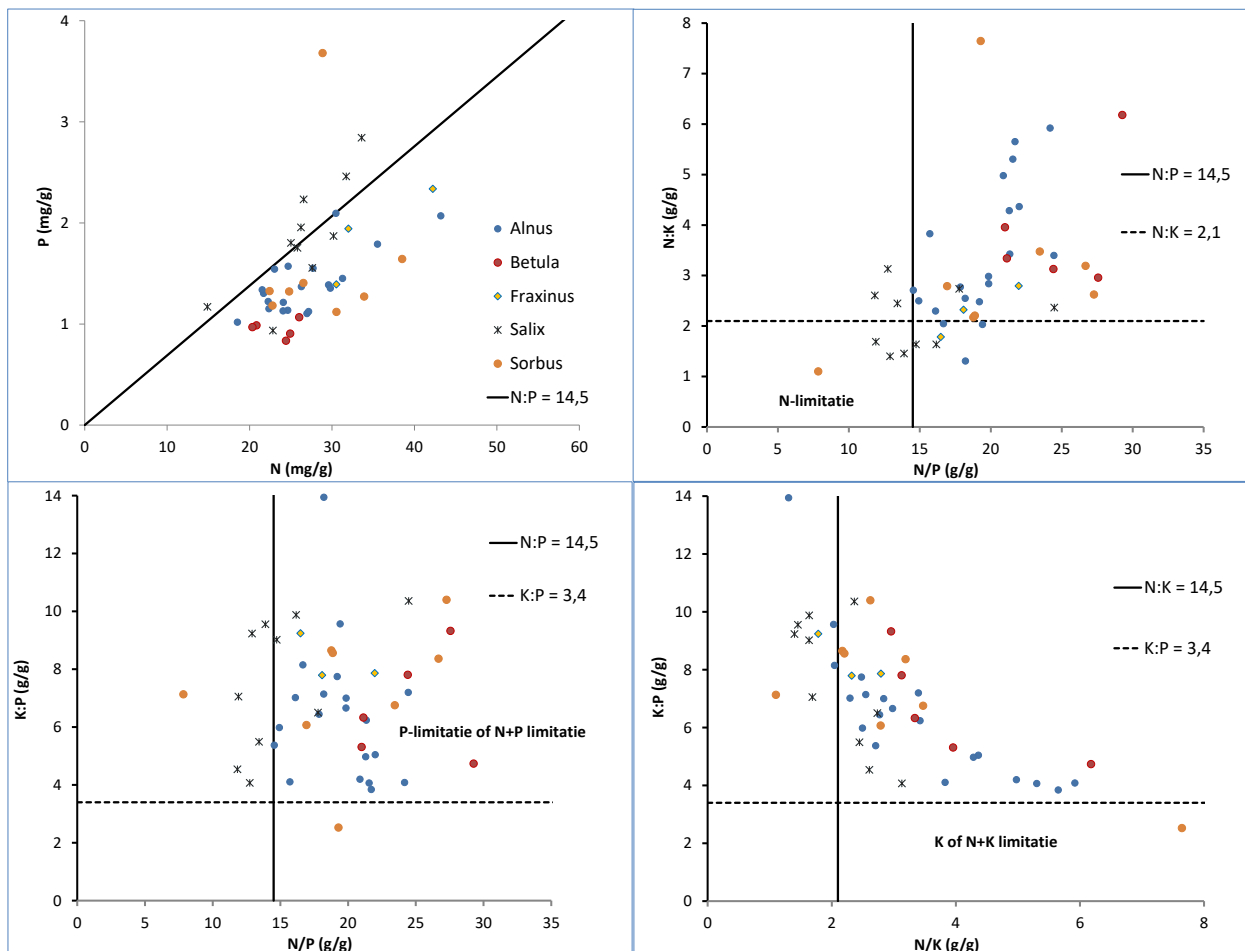
Er is veel discussie over de betekenis van N:P ratio's in gewasmonsters wat betreft de mate waarin er sprake is van N- of P-limitatie. Zo concluderen Güsewell e.a. (2003) op grond van een bemestingsproef dat op basis van de N:P ratios van vegetatie's alleen met zekerheid kan worden aangenomen dat deze gelimiteerd zijn door stikstof bij een N:P ratio < 10 en dat ze gelimiteerd zijn door P bij een N: P ratio > 20 . Een van de belangrijkste kritiekpunten op het gebruik van nutriënten ratio's is dat de nutriënten ratio's niet persé bepaald hoeven te worden door een gebrek aan het limiterende element. Er kan ook sprake zijn van accumulatie van het element dat in overvloed aanwezig is (Wassen e.a. 1995). Het blijft daarom belangrijk om de beperkingen die verbonden zijn aan het gebruik van de nutriëntenratio's als indicator voor nutriëntlimitatie in het achterhoofd te houden.

Doordat bij de bepaling van nutriëntengehalten onderscheid is gemaakt tussen de dominante/meest kenmerkend plantensoorten en boomsoorten is het mogelijk om niet alleen te kijken naar verschillen tussen locaties, maar ook naar verschillen tussen boomlaag en ondergroei en tussen plantensoorten onderling.

3.4.2 Verschillen in nutriëntengehaltes tussen soorten

In *Figuur 3.11* worden voor de bladeren voor de vijf meest aangetroffen boomsoorten de nutriëntengehalten (fosfor (P) en stikstof (N)) alsmede de nutriëntenratio's tegen elkaar uitgezet.

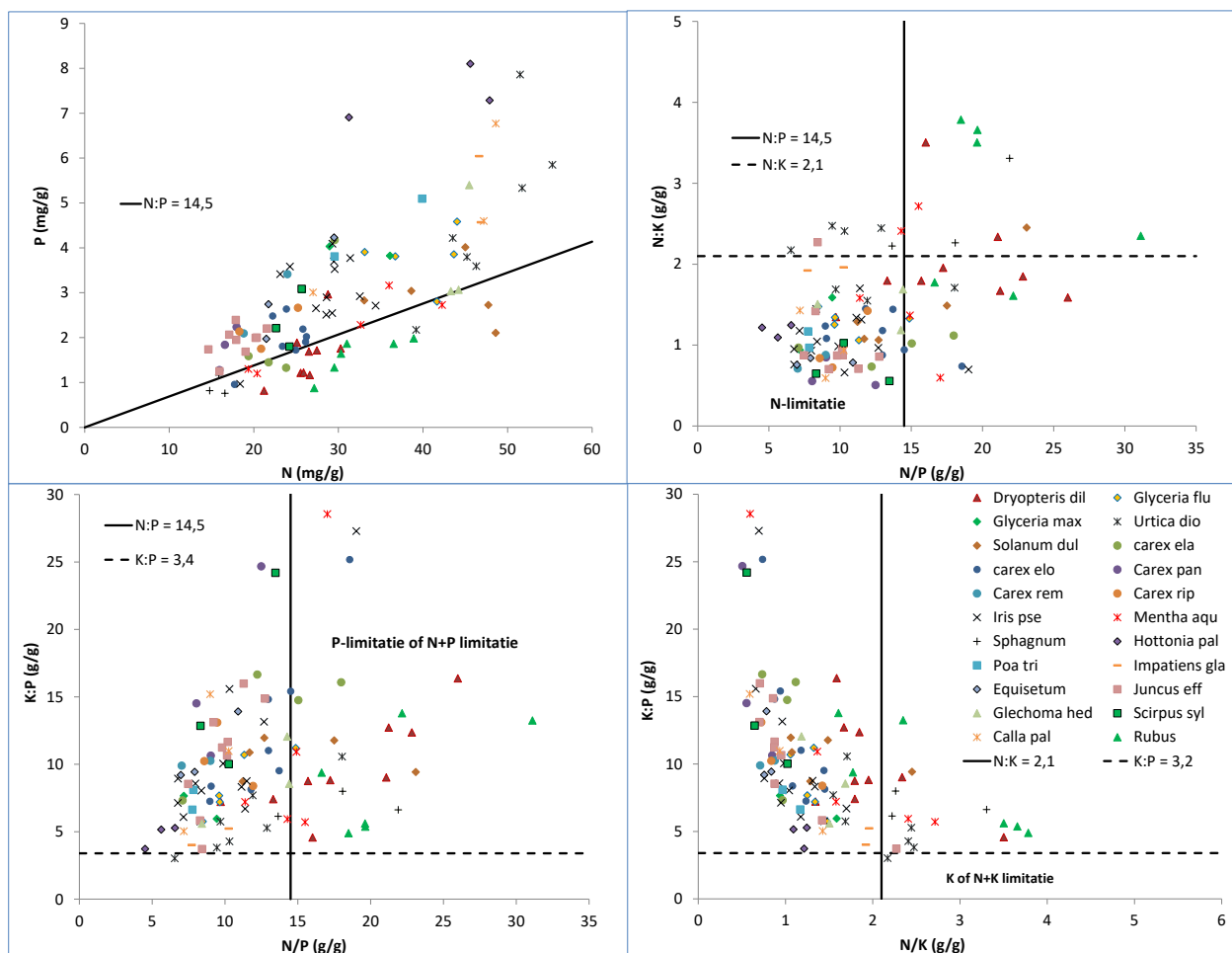
Uitgaande van de indeling van Olde Venterink (2003) lijken de meeste boomsoorten co-gelimiteerd te zijn door P. Alleen voor de wilg is er voor een aantal locaties sprake van N-limitatie. Vanwege het stikstofbindende vermogen van elzen (*Alnus*) zou er verwacht kunnen worden dat de bladeren van elzen relatief hogere stikstofgehalten hebben dan andere boomsoorten die niet in staat zijn om stikstof te binden. De resultaten laten zien dat dit niet het geval is. De meeste boomsoorten laten dezelfde variatie in N-gehalte zien als de els. Een uitzondering hierop vormen wilg (*Salix*) en berk (*Betula*). Voor berk valt op dat de bladeren steeds gekenmerkt worden door zowel lage N als lage P-gehalten. Dit suggereert dat deze vooral op voedselarmere bodems groeien. Wilg wordt gekenmerkt door eenzelfde variatie in N-gehalten maar heeft veel hogere P-gehalten, en hierdoor lagere N:P ratio's, dan de overige boomsoorten. De wilg komt vaak voor op de meer voedselrijke (P-rijke) en natte locaties.



Figuur 3.11 Nutriëntgehalten en nutriëntenratio's gemeten in de bladeren van de meest voorkomende boomsoorten. De stippellijnen geven tezamen de grenswaarden waarboven sprake is van (co-) limitatie door P ($N:P$ ratio > 14,5 en de $K:P$ ratio > 3,4) volgens Olde Venterink (2003).

Nutrient contents and nutrient ratio's measured in tree and shrub species most frequently occurring in the alluvial forest sites. Lines give threshold values for P-limitation ($N:P > 14,5$) and potassium limitation ($K:P > 3,4$) according to Olde Venterink (2003).

Opvallend is dat de $N:P$ ratio's van bomen en struiken op vrijwel alle locaties systematisch hoger liggen dan die in de ondergroei. Waar bij de houtige gewassen de $N:P$ ratio vrijwel altijd boven de waarde van 14,5 ligt (gemiddeld 19,6), ligt die in de ondergroei overwegend beneden de 14,5 (gemiddeld 11,9). Bij de el's is deze hoge $N:P$ ratio verklaarbaar doordat deze soort stikstof bindt. Dit geldt echter niet voor de overige boom- en struiksoorten. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn dat $N:P$ ratio's in houtige gewassen in het algemeen afwijken van die in grassen en kruiden. Dat wordt echter niet ondersteund door gegevens uit de literatuur. Op basis van een review door Güsewell (2004) wijken $N:P$ ratio's in bladeren van houtige gewassen gemiddeld genomen niet af van die in grassen en kruiden.



Figuur 3.12 Nutriëntgehalten en nutriëntenratio's gemeten in meest voorkomende ondergroei-soorten

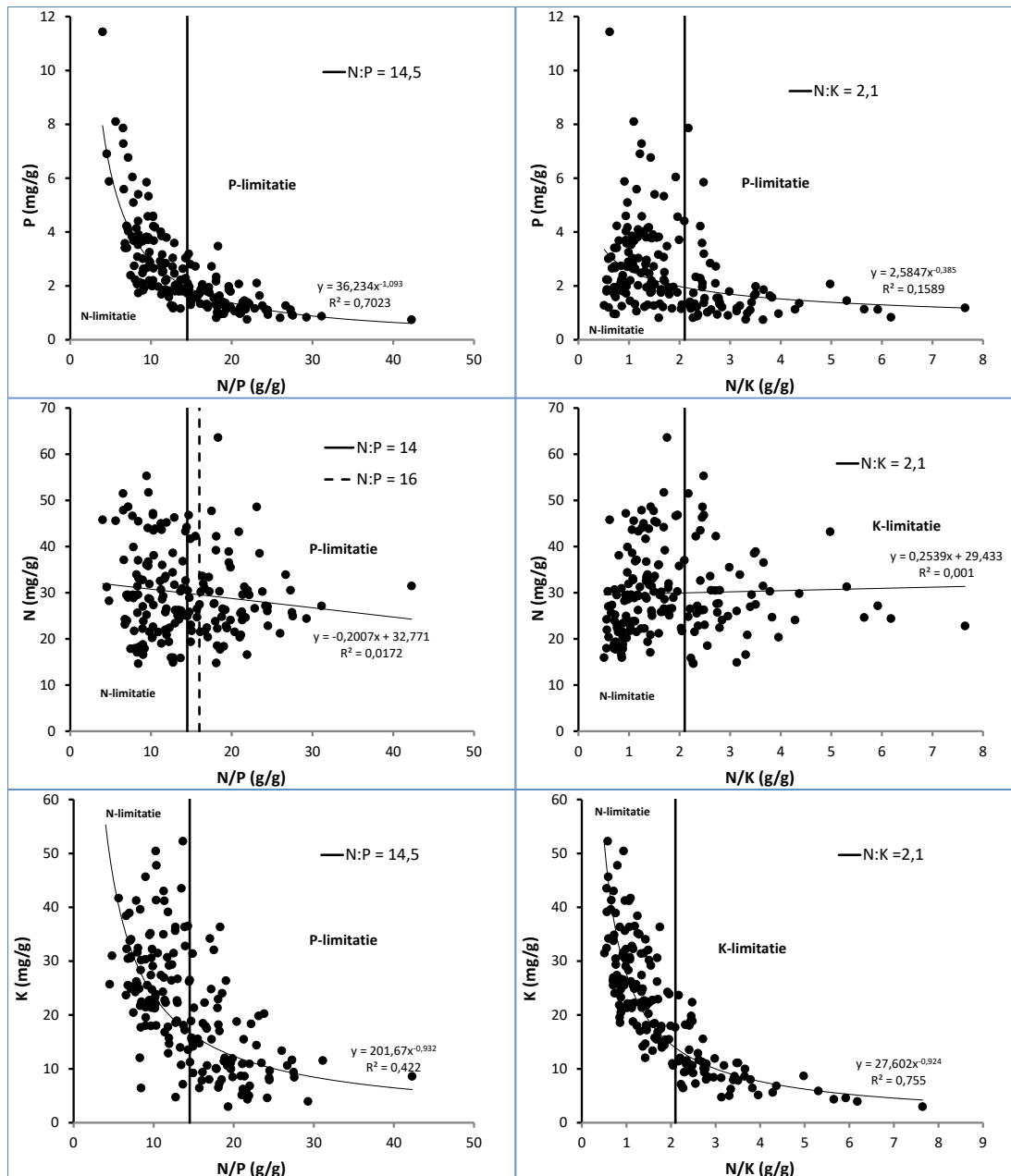
Nutrient contents and nutrient ratio's measured in undergrowth species most frequently occurring in the alluvial forest sites.

Als we kijken naar de overige soorten (kruiden en grassen in de ondergroei), dan zien we dat de biomassa van de meeste soorten veel rijker is aan P in vergelijking met de bladeren van de bomen (Figuur 3.12). De resultaten indiceren dat er voor de meeste plantenmonsters sprake is van stikstoflimitatie.

Verder is er sprake van een grote variatie in N:P, N:K, en K:P ratio's tussen de verschillende monsters. De nutriënten ratio's in planten worden door vele factoren bepaald waaronder de variatie in (relatieve) beschikbaarheid tussen verschillende locaties, leeftijd van de planten alsook de intrinsieke verschillen tussen soorten (Güsewell S., 2004). Verschillende soorten kunnen bij eenzelfde aanbod aan nutriënten verschillende nutriëntenratio's ontwikkelen. Het voert te ver om de verschillen tussen de soorten in detail te bespreken maar we pikken er een paar opvallende zaken uit. Overigens vallen de gemeten N/P ratio's voor de verschillende soorten goed binnen de ranges die voor de individuele soorten werden gevonden door Güsewell & Koerselman (2002).

Opvallend is dat de soorten brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*) en braam (*Rubus fruticosus*) worden gekenmerkt door relatief hoge N:P ratio's, waarbij de ratio's vooral worden bepaald door lagere P-concentraties en niet door hoge N-concentraties. Deze soorten zijn op grond van de indeling van Olde Venterink e.a. P-(co)-gelimiteerd. Veenmos (*Sphagnum*) wordt gekenmerkt door zowel lage N als P-concentraties en een relatief hoge N:P ratio die ook duidt op P-(co)limitatie. Soorten als grote brandnetel (*U. dioica*) en waterviolier (*H. palustris*) werden gekenmerkt door zowel hoge N als hoge P-gehalten met

een relatief lage N:P ratio. Pitrus (*J. effusus*) wordt gekenmerkt door relatief lage stikstofgehalten en lage N:P ratio's.



Figuur 3.13 Nutriëntgehalten en nutriëntenratio's gemeten in de plantenmonsters die werden verzameld in dit OBN-onderzoek.

Nutrient contents and nutrient ratio's measured in undergrowth species occurring in the alluvial forest sites.

In *Figuur 3.11* en *Figuur 3.12* zien we dat er een correlatie is tussen de N- en de P-concentratie van de planten. Dit komt o.a. omdat locaties die rijker zijn aan fosfor vaak ook rijker zijn aan stikstof (Güsewell, 2004). Daarnaast kan een verhoogde beschikbaarheid van fosfor indirect ook leiden tot een verhoogde beschikbaarheid van stikstof. Bijvoorbeeld doordat de verhoogde fosforbeschikbaarheid de binding van atmosferisch stikstof door stikstoffixerende bacteriën en de afbraak van organisch materiaal stimuleert (Güsewell, 2004). Verder hebben soort specifieke eigenschappen, zoals de verhouding tussen nutriëntenrijk weefsel en steunweefsel, een effect op de concentratie van zowel N als P maar niet op de verhouding (Güsewell & Koerselman, 2002). Het feit dat het N en het P-gehalte van de planten gecorreleerd zijn, betekent dan ook niet dat de N:P ratio van de soorten niet verschilt. Overeenkomstig de bevindingen van Güsewell (2004), blijkt de N:P ratio van de door ons verzamelde plantenmonsters bepaald te worden door het P-gehalte en niet door het

N-gehalte van de planten (Figuur 3.13, verklaarde variantie respectievelijk 70% en 2%). Hetzelfde blijkt op te gaan voor N:K ratio van de planten. Hier wordt de ratio bepaald door het kaliumgehalte van de planten (Figuur 3.13, verklaarde variantie 76%).

3.4.3 Verschillen in nutriëntengehaltes tussen broeklocaties

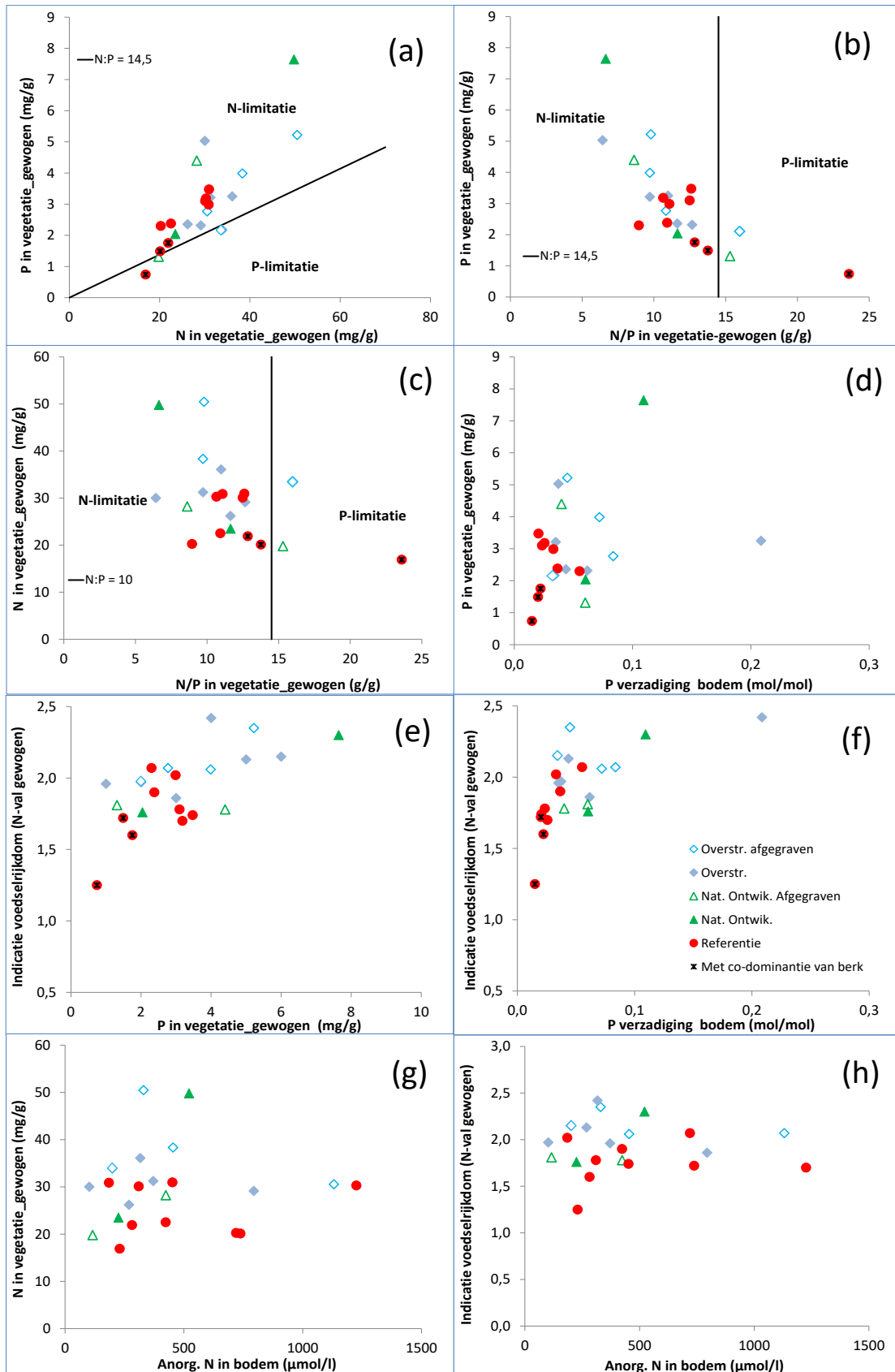
Om een indruk te krijgen van de aard van de nutriëntenbeperking voor de vegetatie, en dan met name de ondergroei, is er ook gekeken naar de gemiddelde nutriëntengehaltes en N:P ratio's van de geanalyseerde plantensoorten per locatie (**Figuur 3.14**). Er is hierbij gebruik gemaakt van een gewogen gemiddelde, waarbij is uitgegaan van de bedekking van de plantensoorten zoals afgeleid uit de abundantie/bedekkingsklasse volgens Braun-Blanquet. Bij de bepaling van de ratio's per locatie is alleen de ondergroei meegenomen en zijn de boomsoorten buiten beschouwing gelaten. De locaties zijn opgedeeld in de verschillende categorieën zoals eerder besproken.

We zien dat de P- en N-gehalten van de vegetatie met elkaar gecorreleerd zijn. Dit laat zien dat naarmate een locatie rijker is aan fosfor ook de beschikbaarheid van stikstof hoger is of dat de planten in ieder geval meer stikstof opnemen (deelfiguur a). Naarmate het P-gehalte van de vegetatie toeneemt, neemt de N:P ratio af. Voor stikstof is er sprake van eenzelfde trend. De N:P ratio is dus juist lager bij hogere N-gehalten. Het is duidelijk dat op de voedselrijkere locaties de vegetaties meer N en P bevatten, maar vergelijking van (b) en (c) laat zien dat bij een afnemende N:P ratio de P-gehalten van de vegetatie relatief veel sterker stijgen dan de N-gehalten.

We zien in deelfiguur (d) dat de P-rijkdom van de vegetatie samenhangt met de fosfaatverzadiging (P-concentratie in oxalaat extract gedeeld door de som van de Al- en Fe-concentratie van het oxalaat extract). Hetzelfde geldt voor de voedselrijkdom-indicatie (f). De concentratie anorganisch stikstof in de bodems (een goede maat voor de N beschikbaarheid) laat geen correlatie zien met de voedselrijkdom-indicatie en ook niet met het gewogen N gehalte van de ondergroei. De voedselrijkdom van het systeem wordt dus, in ieder geval voor een belangrijk deel, verklaard door de P-beschikbaarheid in de bodems en door de hiermee gepaard gaande toename van de beschikbaarheid en opname door de vegetatie van fosfor (en stikstof).

De referentiebroekbossen hebben gemiddeld wat lagere N- en P-gehalten dan de overige broekbossen (**Figuur 3.14**, deelfiguur a). Echter ook binnen de referentiebroekbossen bestaan er grote verschillen in voedselrijkdom. We hebben al eerder gememoreerd dat de wat zuurdere types met een codominantie van berk het meest voedselarm zijn.

Voor de overige categorieën zijn er een aantal locaties die duidelijk gekenmerkt wordt door voedselrijkere omstandigheden. In vergelijking met de referentielocaties hebben de overstromde locaties op afgegraven landbouwgrond die zijn aangelegd ten behoeve van waterberging (Grote Molenbeek, Everlose Beek en Kromhurken-waterberging) hogere gehalten aan P en N en een grotere voedselrijkdomindicatie. Dit kan samenhangen met de het feit dat bij afgegraven meestal niet altijd de volledige P rijke toplaag wordt verwijderd. Daarnaast overstromen de locaties aan de Everlose Beek en de Grote Molenbeek regelmatig, waarbij, zoals aan de bodemopbouw af te lezen, ook relatief veel slibafzetting optreedt. Binnen de overstromde locaties zonder recente landbouwvoorgeschiedenis zijn er grote verschillen in voedselrijkdom. Een deel van de broekboslocaties heeft duidelijk hogere N en P-gehalten in de vegetatie en een hogere voedselrijkdomindicatie dan de referenties (Verloren Beek, Swalmdal-alnus, Swalmdal-salix). Een deel (Heuloërbroek, Rosep en Logtse Velden) heeft waarden die niet of nauwelijks afwijken van de referentielocaties. Deze verschillen hangen mogelijk samen met verschillen in overstromingsfrequentie en mate van slibafzetting. Zo overstroomt het Heuloërbroek slechts incidenteel met Maaswater en zijn er geen sporen die wijzen op slibafzetting, terwijl er bij de Verloren Beek juist sprake van goed waarneembare slibafzetting is.



Figuur 3.14 Gemiddelde nutriëntengehaltes en nutriëntenratio's voor de verschillende categorieën broekbossen. Met symbolen is de categorie aangegeven waartoe het broekbos behoort. Average nutrient contents and nutrient ratio's in alluvial forest sites. Blue rhombus : flooded sites. Green triangle: former agricultural site. Open rhombi and triangles: superficially excavated (former agricultural) sites.

Binnen de twee broekbossen die zijn ontstaan op niet overstroomde landbouwgrond bestaan er grote verschillen in voedselrijkdom afhankelijk van de landbouwvoorgeschiedenis en de diepte van afgraving. De locatie op een niet afgegraven voormalige maisakker (Koelbroek) scoort zeer hoog waar het gaat om voedselrijkdomindicatie en nutriëntengehaltes in vegetatie en bodem. In het broekbos op de niet afgegraven voormalige extensief gebruikt weiland (De Heest) wijken deze waarden niet af van die in de referentielocaties.

Van de beide broekbossen op afgegraven landbouwgrond scoort het Vossenbroek hoog wat betreft nutriëntengehaltes en voedselrijkdomindicatie van de vegetatie. Dit hangt waarschijnlijk samen met het feit dat de organische toplaag slechts gedeeltelijk is afgegraven. In de Holmers is de gehele organische toplaag verwijderd, en deze locatie is qua voedselrijkdomindicatie en nutriëntengehaltes in de vegetatie en bodem vergelijkbaar met de armste referentielocaties.

3.5 Discussie en conclusies

Nutriëntenbeperking in broekbossen

We kunnen concluderen dat de voedselrijkdom van de vegetatie in belangrijke mate wordt bepaald door de P-verzadiging van de bodem. Dit wordt slechts ten dele weerspiegeld in N:P ratio's van de plantengroei, die alleen in de boomlaag wijst op limitatie door P.

De hoge N:P ratio in bladeren van de elzen kan worden verklaard uit het feit dat elzen stikstof kunnen binden met behulp van de bacterie *Frankia alni* die in symbiose leeft met houtige gewassen in de stikstofknolletjes (actinorhiza) op de wortels. *Frankia* kan met behulp van het enzym nitrogenase stikstof uit de lucht binden waarvan de plant kan profiteren, terwijl de benodigde energie door de plant wordt geleverd in de vorm van suikers. Overigens komt de bacterie ook vrij levend in de bodem voor.

De mate waarin elzen stikstof binden blijkt sterk te worden bepaald door de beschikbaarheid van N en P (Ekblad A. & Huss-Daxell, 1995). De fixatie van atmosferische stikstof neemt af wanneer de beschikbaarheid van N in de bodem toeneemt. Het interessante is dat dit vooral gebeurt wanneer er sprake is van P-limitatie, dat wil zeggen wanneer de P-beschikbaarheid laag is. Bij een hoge P-beschikbaarheid blijft de bijdrage van N-fixatie relatief hoog ook als de N-beschikbaarheid in de bodem toeneemt. De N-fixatie door elzen is echter het hoogste bij een lage N-beschikbaarheid en een hoge P-beschikbaarheid. Overigens wordt de N-fixatie vooral bepaald door de groei van stikstofknolletjes en niet door de activiteit van de bacteriën.

Dit betekent dat elzen vooral een competitief voordeel hebben op locaties waar de P-beschikbaarheid relatief hoog is en waar de N-beschikbaarheid laag is. Dit geldt bijvoorbeeld in de vestigingsfase op jonge bodems die altijd sterk stikstof gelimiteerd zijn. Ook op locaties waar anaeroob grondwater wordt aangevoerd dat rijk is aan ijzer en fosfor zal vaak sprake zijn van N-limitatie. N-limitatie wordt nog bevorderd omdat basische kationen de binding van ammonium aan het bodemadsorptiecomplex verminderen (Lucassen et al., 2006). Met het vermogen om stikstofgas te binden hebben elzen dus een competitief voordeel op kwellocaties.

Op de meeste van onze locaties was er uitgaande van de lage N:P ratio's in de ondergroei sprake van N-limitatie. Olde Venterink e.a. (2003), vonden al dat er alleen sprake is van P(co)limitatie in laag productieve vegetaties. De relatieve groeisnelheid van soorten is meestal negatief gecorreleerd met de N:P ratio (en dus positief gecorreleerd met het P gehalte) van de planten (Güsewell, 2004). Dit komt omdat voor de synthese van eiwitten veel P rijk ribosomaal RNA en DNA nodig is. De vegetaties in de broekbossen zijn productief

en soorten bestaan uit relatief snelle groeiers die worden gekenmerkt door een relatief lage N:P ratio. Voor de onderzochte locaties werden de laagste nutriëntengehalten, en tevens ook de laagste N:P ratio's, gemeten voor de drie referentielocaties waar ook sprake was van een co-dominantie van berk en waar tevens ook veenmos voorkwam in de ondergroei. Het gaat hierbij om de referentielocatie bij Kromhurken, de veenmosrijke locatie bij het Lommerbroek en de locatie Ooijen Wanssum.

De resultaten suggereren dat er een optimum is voor de P-beschikbaarheid voor een goed ontwikkeld Elzenbroekbos. Van een lage beschikbaarheid is er meestal sprake wanneer de aanvoer van grondwater beperkt is. Meestal komt er dan een zuurder en tevens meer P gelimiteerd berkenbroek tot ontwikkeling. Bij een te hoge beschikbaarheid kan er als gevolg van de sterke 'relatieve' N limitatie verzuuring op treden. Dit komt omdat de stikstofbeschikbaarheid in broekbossen nooit echt laag is, mede als gevolg van de stikstofbinding door elzen en mogelijk ook atmosferische depositie en aanvoer van N via verrijkt grondwater. Zo kan juist vanwege het feit dat de ondergroei stikstofgelimiteerd is de binding van stikstof door de elzen leiden tot een sterkere groei van de soorten in de ondergroei. Op de locatie Koelbroek had de vegetatie de hoogste stikstof- en de hoogste fosforgehalten maar tevens de laagste N:P ratio (sterkste stikstoflimitatie). Op deze locatie werd de ondergroei volledig gedomineerd door grote brandnetel. In onderzochte voedselrijke Nederlandse broekbossen verliest de N:P ratio van de ondergroei aan betekenis. In wezen is de fosfaatbeschikbaarheid van de bodem en het hiermee samenhangende fosforgehalte van de vegetatie sturend voor de vegetatieontwikkeling. Behalve een goede hydrologie is dus ook een relatief lage beschikbaarheid van fosfor van belang om een goed ontwikkeld broekbos te kunnen ontwikkelen.

Effecten van overstroming

Gemiddeld genomen zijn de overstroomde broekboslocaties voedselrijker dan de referentiebroekbossen en is de bedekking van ruigtesoorten als brandnetel en rietgras hoger. In vergelijking met de niet overstroomde referentie-locaties en de broekbossen op afgegraven landbouwgebieden liggen de P_{ox} -gehalten op overstroomde locaties bijna 10 zo hoog (Figuur 3.6).

Binnen de overstroomde broekbossen bestaan echter grote verschillen in voedselrijkdom. Zeer hoge P_{ox} -gehalten, respectievelijk 32 en 57 mMol/l, worden gevonden in de locaties Everlose Beek (EB) en de benedenstroomse elzenbroek-locatie in het Swalmdal (SW-aln). Beide locaties overstromen regelmatig, en in de Everlose Beek bestaat waarschijnlijk een groot deel van de bodem uit recent afgezet beekslib (zie bijlage 1). In de overige locaties ligt het P_{ox} -gehalte lager (< 10 mMol P_{ox} /l), waarbij er geen duidelijke relatie lijkt te zijn tussen het P-gehalte van de bodem en de overstromingsfrequentie. Zo is in het slechts incidenteel overstroomde Heuloëbroek het P_{ox} -gehalte met 6,6 mMol P_{ox} /l hoger dan in de frequent overstroomde Logtse Velden (3,4 mMol P_{ox} /l) (Bijlage 3, tabel B2-3). Dat hangt waarschijnlijk samen met de grote variatie in slibafzetting. Uit onderzoek in regelmatig overstroomde beekdalen (Runhaar et al. 2004, Sival et al. 2010) komt afzetting van P-rijk beekslib naar voren als belangrijkste oorzaak voor de relatief hoge P-gehalten in beekdaloverstromingsvlaktes. Het onderzoek door Sival et al. laat zien dat de aanvoer van fosfor met slib binnen de overstroomde delen varieert tussen de 0,1 en 50 kg P/ha, afhankelijk van onder meer de afstand van de beekloop en de hoeveelheid sediment in het overstromingswater. Omdat overstromingsfrequentie en slibafzetting niet zijn gemeten is niet vast te stellen in welke mate ze van invloed zijn op de nutriëntengehalten in bodem en gewas.

Verruiging is het sterkst in de delen van de broekbossen die niet langdurig onder water staan. In de nattere delen komen ook in meer verruigde broekbossen vaak nog wel voor broekbossen kenmerkende ondergroei-soorten voor, zoals elzenzegge (*Carex elongata*), ijle zegge (*Carex remota*) en dotterbloem (*Caltha palustris*) (zie Tabel 3.2). Daarin lijken de overstroomde broekbossen enigszins op getijden-ooibossen. Daarin kunnen vochtminnende

soorten als Dotterbloem zich bij het wegvallen van de getijdeninvloed alleen handhaven op lage plekken die langdurig onder water staan (Wolf et al. 2001).

In hoeverre de overstromingsdynamiek (frequentie, timing en duur) van invloed is op de vegetatiesamenstelling in broekbossen valt op basis van de door ons verzamelde gegevens niet aan te geven. In de eerste plaats zijn er voor de onderzochte locaties nauwelijks of geen meetdata beschikbaar die gebruikt kunnen worden om de overstromingsdynamiek te kwantificeren. In de tweede plaats spelen andere factoren (voedselrijkdom, leeftijd, voorgeschiedenis) een te dominante rol om onderscheid te kunnen maken tussen effecten van overstromingsdynamiek en effecten van andere, al dan niet aan overstroming gerelateerde, factoren. De invloed van de overstromingsdynamiek kan daarom alleen goed worden onderzocht in experimenten op praktijkschaal waarbij de overstromingsdynamiek varieert binnen overigens gelijkblijvende omstandigheden (Runhaar et al. 2015).

Als voorbeeld kan het pilotonderzoek Harderbos dienen (Pilotprogramma Waterberging-Natuur, 2008). Daarbij is een jong kleibos in compartimenten verdeeld die zijn geïnundeerd in verschillende perioden van het jaar (winter en voorjaar) en met een verschillende duur (7 en 21 dagen). Een soortgelijk onderzoek zou kunnen worden uitgevoerd in broekbossen. Daarbij moet echter wel worden bedacht dat uitvoeren van dergelijke experimenten veel lastiger is in broekbossen dan in jonge kleibossen. Dit vanwege geringere omvang en beperktere toegankelijkheid van broekbossen.

Broekbosontwikkeling op voormalige landbouwgronden

De potenties voor broekbosontwikkeling op voormalige landbouwgronden worden vooral bepaald door de voedselrijkdom en de hydrologie. De onderzochte locaties laten zien dat het, uitgaande van matig intensief gebruikte graslanden, en bij verwijderen van de gehele organische bovengrond, goed mogelijk is om de voedselrijkdom terug te brengen tot waarden die vergelijkbaar zijn met de referentie. In de praktijk lijkt vooral de hydrologie een belangrijk knelpunt: het koste veel moeite om boslocaties te vinden op voormalige landbouwgronden die qua hydrologie (nat, kwelgevoed) voldoen aan de voorwaarden voor beekdalbroekbossen.

4 Resultaten vergelijkend onderzoek fauna

4.1 Samenstelling semi-terrestrische en aquatische fauna broekbossen

4.1.1 Semi-terrestrische fauna

In tabel 4.1 is aangegeven welke loopkevers en wolfspinnen in de potvaltransecten op onderzochte locaties zijn aangetroffen. Er waren grote verschillen in soortenrijkdom en abundantie tussen de locaties. Het meest soortenrijk waren het Kloppersblok, de Holmers en het Voltherbroek. Hier werden ook de grootste aantallen individuen aangetroffen. Dit waren ook de locaties waar bijzondere, stenotope of anderszins indicatieve soorten werden gevonden. In de Holmers werden *Blethisa multipunctata* en *Agonum versutum* aangetroffen, soorten die indicatief zijn voor voedselarme moerasvegetaties bij stilstaand of langzaam stromend water. Ter verduidelijking moet hierbij opgemerkt worden dat er geen volledig aan broekbossen gebonden loopkeversoorten voorkomen in Nederland; de soorten hebben een bredere habitatpreferentie, vaak een combinatie van moerassen en natte bossen (Turin, 2000, Runhaar et al. 2013). In het Kloppersblok kwam een indicatieve soort van goed ontwikkelde beek- of rivierbegeleidende bossen voor: *Platynus livens*. Daarnaast werd op deze locatie en in het Voltherbroek *Agonum piceum* gevonden, een soort van mesotrofe moerassituaties die waarschijnlijk gevoelig is voor eutrofiëring. In het Dubbroek werd tenslotte *Bembidion doris* aangetroffen, een soort van relatief voedselarme moerasvegetaties. Drie van de vier locaties met indicatorsoorten zijn aangeduid als referentiesystemen. Opvallend was dat in de andere drie referentiesystemen (Kromhurken, Strijper Aa Berkenputten en Ooijen-Wanssum) weinig en alleen soorten met een relatief brede habitatvoorkeur gevangen zijn. De natuurontwikkelingsgebieden op voormalige landbouwgronden waren relatief arm aan soorten en individuen, met als uitzondering de opvallend rijke locatie in de Holmers. Overstroming met beek- of rivierwater liet een wisselend beeld zien, met zeer arme (waterberging Keersop) tot rijkere locaties (Verloren beek). Hier werden geen indicatieve soorten aangetroffen. Wolfspinnen werden weinig gevonden, in totaal slechts 4 soorten. De meest algemene soort was *Piratula hygrophila*.

4.1.2 Aquatische macrofauna

In **Tabel 4.1** Tabel 4.2 zijn de vangsten met de dipper weergegeven op (sub)familieniveau. De volledige taxonlijst is te vinden in Bijlage 3. Op alle locaties was open water aanwezig, al varieerde het type oppervlaktewater sterk van locatie tot locatie. Op sommige plekken waren alleen kleine ondiepe water bevattende laagtes aanwezig, terwijl in andere bossen meer permanente grotere wateren te vinden waren.

Muggen (Culicidae) waren dominant aanwezig in de monsters. In totaal werden vier soorten aangetroffen: *Aedes cinereus*, *Culex pipiens*, *Culiseta annulata* en *Ochlerotatus punctor*. Daarnaast bevatten de wateren veel vedermuggen (Chironomidae), met name Tanypodinae. Hierbinnen zijn vooral *Xenopelopia* sp. veel aangetroffen en in het Voltherbroek *Telmatopelopia nemorum*. Dit zijn soorten van vaak temporaire wateren in moerassen en broekbossen. Een andere dominante groep was de waterpissebedden (Asellidae). Zowel *Asellus aquaticus* als *Proasellus coxalis* en *P. meridianus* werden gevonden. Een andere kreeftachtige, de oorspronkelijk uit Noord-Amerika afkomstige *Crangonyx pseudogracilis*, werd in vrijwel alle gevallen gevonden in de broekbossen met overstroming door beek- of rivierwater.

Tabel 4.1 Loopkevers en wolfspinnen verzameld op de onderzoekslocaties. De abundantie is de som van de vangsten in de tien potvallen. Locatie-afkortingen: HEU: Heuloërbroek, KLO: Kloppersblok, VOL: Voltherbroek, DUB: Dubbroek, KHref: Kromhurken, STRaln: Strijper Aa (Berkenputten), OW: Ooijen-Wanssum, HOL: Holmers, KB: Koelbroek, GMB: Grote Molenbeek retentie, SWsal: Swalmdal oost A73, VBK: Verloren beek retentie, KHwb: Keersop waterberging, VOS: Vossenbroek. Carabid beetles and wolf spiders collected at the study sites. Abundance is the sum of the catches in the ten pitfall traps. Site abbreviations: see above.

Locatie	HEU	KLO	VOL	DUB	KHref	STRaln	OW	HOL	KB	GMB	SWsal	VBK	KHwb	VOS
Referentie		x	x	x	x	x	x							
Natuurontwikkeling								x	x	x			x	x
Overstroming beekwater	x									x	x	x	x	
Loopkevers														
<i>Agonum emarginatum</i>		29						2				1		
<i>Agonum fuliginosum</i>	3		4					6						1
<i>Agonum piceum</i>		3	3											
<i>Agonum versutum</i>								1						
<i>Agonum viduum</i>		3						9		1		1		
<i>Blethisa multipunctata</i>								2						
<i>Bembidion articulatum</i>			1											
<i>Bembidion dentellum</i>		1												
<i>Bembidion doris</i>				1										
<i>Carabus granulatus</i>		3			4	4		5	1					1
<i>Chlaenius nigricornis</i>								2						
<i>Clivina fossor</i>									1					
<i>Dyschirius globosus</i>			2											
<i>Elaphrus cupreus</i>		1	1	3				16		2	1	4		
<i>Limodromus assimilis</i>								4				6		
<i>Loricera pilicornis</i>		7			1			2		4		12		
<i>Nebria brevicollis</i>					1									
<i>Oxypselaphus obscurus</i>		1	13									1		
<i>Paranchus albipes</i>										1				
<i>Patrobus atrorufus</i>												1		
<i>Platynus livens</i>		8												
<i>Pterostichus anthracinus</i>		16						3						
<i>Pterostichus diligens</i>			4											1
<i>Pterostichus melanarius</i>													1	1
<i>Pterostichus minor</i>	11	12	21	1	5	2	1	6		2	4	5		1
<i>Pterostichus nigrita/rhaeticus*</i>		1	1	1	5	5		63			3	6		2
<i>Pterostichus strenuus</i>		1	2											
<i>Pterostichus niger</i>									1					
Wolfspinnen														
<i>Pardosa pullata</i>														1
<i>Piratula hygrophila</i>		25	2		27	7	4	7	2	1	3	8	9	1
<i>Pirata latitans</i>						2					1		5	2
<i>Pirata piraticus</i>						1		4						

*Zowel *P. nigrita* als *P. rhaeticus* zijn aangetroffen, maar aangezien een deel van de individuen intermediaire kenmerken had, zijn beide soorten samengevoegd.

Tabel 4.2 Macrofauna verzameld op de onderzoekslocaties, geaggregeerd tot (sub)familieniveau. De abundantie is de som van tien dip-monsters. Locatie-afkortingen: zie Tabel 4-1. Macroinvertebrates collected at the study sites, taxonomically aggregated to the (sub)family level. Site abbreviations: see Table 4.1.

Locatie	HIEU	KLO	VOL	DUB	KHref	STRain	OW	HOL	KB	GMB	SWSal	VBK	KHwb	VOS
Referentie		x	x	x	x	x	x							
Natuurontwikkeling								x	x	x			x	x
Overstroming beek/rivier	x									x	x	x	x	
Open water	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x			
Tijdelijke poeltjes									x			x	x	x
Sphaeriidae (Bivalvia)			1	10		37				221		29		205
Planorbidae (Gastropoda)	8	13		71				1						
Physidae (Gastropoda)	1	67												
Lymnaeidae (Gastropoda)	1	1	1			1					1	2		
Valvatidae (Gastropoda)				1										
Asellidae (Isopoda)	99	97	14	8	20	23	6	26		70	5	2		19
Gammaridae (Amphipoda)													1	
Crangonyctidae (Amphipoda)	33									1	9			1
Hydrometridae (Heteroptera)				1										
Hydrophilinae (Coleoptera)		1	1	1										
Dytiscinae (Coleoptera)										1				
Scirtidae (Coleoptera)			1								1			
Hydroporinae (Coleoptera)		1	1	3			1			1	1			
Culicidae (Diptera)	1	4	5		22		7		13		2		22	
Ceratopogonidae (Diptera)						1								
Dixidae (Diptera)						1								
Chironomini (Diptera)	1	4	2		7			7	1	7				
Orthoclaadiinae (Diptera)		4										3	1	1
Tanypodinae (Diptera)		25	16	2	2	10		2	6		1			1
Chaoboridae (Diptera)				1										
Psychodidae (Diptera)			1						1			5		4
Ptychopteridae (Diptera)				1										
Syrphidae (Diptera)												10	1	
Sciomyzidae (Diptera)				1										
Naididae (Oligochaeta)				6							2			
Lumbriculidae (Oligochaeta)	19	1		2				4		2				
Tubificidae (Oligochaeta)	1			5		7		1		25	2	1		
Enchytraeidae (Oligochaeta)							1		13			10		
Hygrobatidae (Aranea)		1												
Hydryphantidae (Aranea)				2		1								
Planariidae (Tricladida)		19												

Tweekleppigen waren op sommige locaties in grote aantallen aanwezig, het ging hier om erwtenmossels (*Pisidium* sp.). Tenslotte waren zoetwaterborstelwormen (Oligochaeta) talrijk aanwezig. Typische moerasbewoners werden verder nog binnen bijvoorbeeld de watermijten (Hydryphantidae *Euthyas truncata*, *Hydryphantes ruber*) en slakken (*Aplexa hypnorum*, *Galba truncatula*) gevonden.

4.2 Relatie tussen samenstelling fauna, vegetatiestructuur en vochttoestand

4.2.1 Milieuvariabelen

Voor de semi-terrestrische fauna zijn voedselrijkdom, vochttoestand, mate van beschaduwing en substraatsamenstelling sturende parameters (Runhaar et al., 2013). Deze parameters zijn meegenomen in de analyses (Tabel 4.3). De vochttoestand (F) en de voedselrijkdom (N) op de locaties zijn afgeleid op basis van de indicatiewaarde van de aanwezige vegetatie gewogen naar de bedekking van de plantensoorten in de vegetatieopname (F_{gew}, N_{gew}; zie paragraaf 3.1). Hier is voor gekozen omdat dit een proxy vormt voor de toestand over een langere periode, wat beter correspondeert met de levenscyclus van de ongewervelden dan een eenmalige meting. De hoeveelheid licht op de bosbodem is afgeleid van de mate van kroonsluiting (zie paragraaf 2.2 voor methode). De structuur is onderverdeeld in twee schalen/categorieën; de vegetatiestructuur op microschaal en de structuur van het bos op mesoschaal. De eerste categorie omvat de hoeveelheid onbegroeide bodem met strooisel, de mosbedekking en de bedekking met kruiden, de tweede categorie reliëfvormende structuren in de vorm van het aandeel open water, de aanwezigheid van polvormende vegetatie en de aanwezigheid van boomstobben. Pollen en stobben zijn belangrijk voor de semi-terrestrische fauna, omdat ze als refugium (eilanden) kunnen dienen tijdens inundatie.

De aquatische fauna wordt gestuurd door hydrologisch regime (mate van permanentie), voedselrijkdom, zuurgraad en vegetatiestructuur (Runhaar et al., 2013). Broekbossen staan gewoonlijk in het winterhalfjaar onder water. In het begin van de zomer, het moment waarop we de bemonstering hebben uitgevoerd, zijn alleen restwateren over. Juist deze wateren kunnen als refugium dienen voor soorten die permanent water nodig hebben en zijn daarom bruikbaar om de aquatische levensgemeenschappen in beeld te brengen. Om deze variabele te kwantificeren wordt de milieuvariabele aandeel open water op de locatie gebruikt in combinatie met de vochtindicatie van de vegetatie (F_{gew}). Voedselrijkdom van het systeem wordt ook van de vegetatie afgeleid, net zoals voor de semi-terrestrische fauna. Zuurgraad is een andere sleutelfactor voor de macrofauna, deze is afgeleid van het oppervlaktewater of de toplaag van de bodem in het veld (zie paragraaf 2.2). Daarnaast is de mate van kroonsluiting meegenomen, omdat de hoeveelheid licht een belangrijke invloed heeft op de productiviteit van het water (algen, waterplanten) en daarmee doorwerkt op het aquatische voedselweb. Tenslotte is de watervegetatie, welke als structuurvormer optreedt in de restwateren, opgenomen in de analyses, waarbij onderscheid is gemaakt tussen submerse vegetatie (bijvoorbeeld Waterviolier, Sterrenkroos), drijvende vegetatie (in dit geval kroos), emerse vegetatie (Gele lis, Grote egelskop, Slangenwortel etc.). De bedekkingspercentages zijn afgeleid van de bedekking van de watergebonden soorten in de vegetatieopnamen.

Een aantal locatiekarakteristieken is niet in de analyse meegenomen, maar direct aangegeven in de ordinatiediagrammen. Het gaat om de status van de locatie: natuurontwikkeling, referentie, oorspronkelijk maar gedegradeerd en of de locatie periodiek wordt overstroomd met beekwater of in het geval van het Heuloërbroek met rivierwater vanuit de Maas.

Tabel 4-3 Parameters gebruikt in de multivariate analyses semi-terrestrische fauna (SEMITER) en de aquatische macrofauna (AQUA).

Environmental parameters used in the multivariate analyses of the semi-terrestrial invertebrate dataset (SEMITER) and the aquatic macroinvertebrates (AQUA).

Parameter categorie	Gebruikte variabele in analyses	Analyse
Voedselrijkdom	Ngew	SEMITER, AQUA
Zuurgraad	pH	AQUA
Vochttoestand	Fgew	SEMITER, AQUA
Licht	kroonsluiting (%)	SEMITER, AQUA
Structuur (microhabitat)	kruidlaag (%)	SEMITER
	moslaag (%)	SEMITER
	onbegroeid (%)	SEMITER
	Drijvende vegetatie (kroos) (%)	AQUA
	Submerse vegetatie (%)	AQUA
	Emerse vegetatie (%)	AQUA
Structuur (mesohabitat, reliëf)	Stobben (%)	SEMITER
	Pollen (%), o.a. zeggen en gele lis	SEMITER
	Water op/boven maaiveld (%)	SEMITER, AQUA

4.2.2 Semi-terrestrische fauna

De semi-terrestrische dataset is met behulp van een Detrended Correspondence Analysis (DCA) geanalyseerd (Figuur 4.1A). Soorten zijn log-getransformeerd ($\log_2(x+1)$) en soorten die weinig zijn aangetroffen hebben een lagere waardering in de analyse gekregen (*downweighting of rare species*) waarbij een serie milieuvariabelen achteraf in het diagram geprojecteerd is als supplementaire variabelen.

Het grootste gedeelte van de variatie in soortensamenstelling wordt verklaard langs de eerste twee ordinarie-assen. De eerste en tevens meest verklarende ordinarie-as correspondeert met een vocht- en voedselrijkdomgradiënt; met meer open water en een relatief hogere voedselrijkdom aan de linkerzijde van het diagram en de relatief drogere meer mosgedomineerde bossen aan de rechterzijde van het diagram. De tweede ordinarie-as correleert met de vegetatiestructuur; met een toenemende vegetatiebedekking aan de bovenzijde van het diagram. In de locatiekarakteristieken is geen duidelijk patroon waar te nemen, zowel aan de linker als rechterzijde van het diagram komen de verschillende typen locaties voor.

Wanneer het aantal taxa dat indicierend is voor moerassen oevers of natte beek- en rivierbossen (er zijn immers geen soorten volledig aan broekbossen gebonden, ze komen in een combinatie van natte habitattypen voor) wordt geteld op basis van Desender et al. (2008) voor de loopkevers en Roberts (1998) voor de wolfspinnen, blijkt dit niet significant te verschillen tussen de bestaande locaties en de broekbosontwikkelingsprojecten op voormalige landbouwgronden (Mann-Whitney U test, $P > 0.05$) en voor wel of niet periodiek overstroomde locaties met beek- en rivierwater (Mann-Whitney U test, $P > 0.05$; Tabel 4.4). Soorten indicatief voor voedselarme omstandigheden (*Blethisa multipunctata*, *Agonum versutum*) en kale bodem (*Paranichus albipes*) kwamen te weinig voor in de dataset om dezelfde manier te analyseren.

Tabel 4-4 Aantal indicatieve taxa per locatie voor moerassen/oevers/natte bossen naar Desender et al. 2008 en Roberts 1998.

Number of indicator taxa per site for the habitat preference-categories (Desender et al. 2008 Carabidae, x Lycosidae) marshlands/swamps/banks.

Locatie	Type locatie			Aantal indicatoren
	Oorspronkelijk	Landbouw-oorsprong	Overstroming	
VOL	x			1
KLO	x			6
STRaln	x			1
Khref	x			0
DUB	x			1
OW	x			0
HOL		x		7
KB		x		0
VOS		x		0
KHwb		x	x	0
GMB		x	x	2
HEU	x		x	0
VBK	x		x	3
SWsal	x		x	0

4.2.3 Aquatische macrofauna

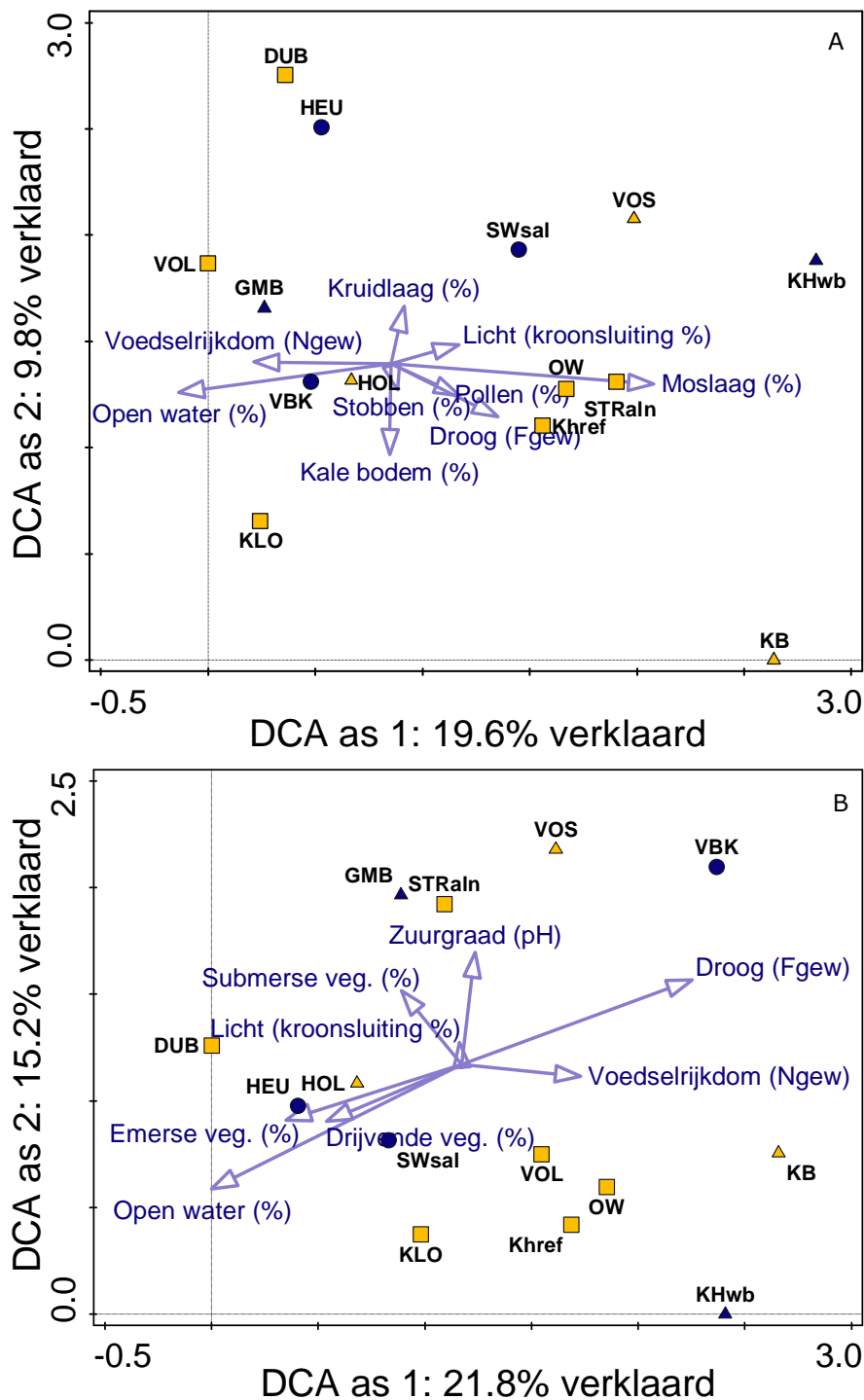
De aquatische dataset is ook met behulp van een Detrended Correspondence Analysis (DCA) geanalyseerd met hierin de milieuvariabelen als supplementaire variabelen (Figuur 4.1B). De families zijn log-getransformeerd ($\log_2(x+1)$) en taxa die weinig zijn aangetroffen hebben een lagere waardering in de analyse gekregen (*downweighting of rare species*).

Het grootste gedeelte van de variatie in soortensamenstelling wordt verklaard langs de eerste twee ordinatie-assen. De verklaarde variatie ligt hoger dan voor de semi-terrestrische dataset. De eerste en tevens meest verklarende ordinatie-as correspondeert met een vocht- en voedselrijkdomgradiënt; met meer open water en emerse/drijvende waterplanten aan de linkerkant van het diagram en de drogere voedselrijkere situaties aan de rechterkant van het diagram. De tweede ordinatie-as correleert vooral met de zuurgraad; met een toenemende pH richting de bovenzijde van het diagram. In de locatiekarakteristieken is geen duidelijk patroon waar te nemen.

In tabel 4.5 is het aantal taxa geteld dat als indicatief kan worden beschouwd voor een voor wateren in broekbossen relevante parameter. Hiervoor zijn de milieu- en habitatpreferenties van macrofauna gebruikt voor zuurgraad, saprobie (organische belasting), trofie, droogval en moeras-karakter (Verberk et al. 2012). Een taxon is als indicatief beschouwd als het aantal punten dat aan een categorie binnen de parameter is toegekend groter of gelijk is aan vijf. Bijvoorbeeld de parameter zuurgraad heeft als categorieën zuur, zwak zuur, neutraal en basisch, waarover in totaal tien punten verdeeld zijn naar de milieupreferentie van de soort. Vallen nu vijf of meer punten in de categorieën zuur en zwak zuur, dan wordt deze soort hier als indicator voor zure omstandigheden beschouwd. Naast (zwak) zure omstandigheden zijn de gebruikte indicaties een habitatpreferentie voor moerassen, oligosaprobe omstandigheden, oligo- tot mesotrofe omstandigheden en voorkomend in droogvallende wateren.

Het aantal indicatoren dat op de onderzoekslocaties is aangetroffen bleek gering, met uitzondering van soorten indicatief voor zure wateren (Tabel 4.5). Tussen de bestaande locaties en de broekbosontwikkelingsprojecten op voormalige landbouwgronden bleek een significant verschil te zijn in het aantal indicatoren voor zure omstandigheden en droogval (Mann-Whitney U tests, $P < 0.05$). Voor beide parameters was het aantal indicatoren op de

referentielocaties hoger. Voor overstroming met beek- en rivierwater gold dat het aantal oligosaprobe indicatoren significant hoger lag in de niet-overstroomde broekbossen (Mann-Whitney U tests, $P < 0.05$).



Figuur 4.1 DCA ordinatiediagram (as 1 en 2) broekboslocaties op basis van de samenstelling van de semi-terrestrische fauna (A) en aquatische macrofauna (B). Symbolen geven locaties weer: driehoek: natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond, vierkant: oorspronkelijk, referentie, rondje: oorspronkelijk, gedegradereerd. Locaties die periodiek overstroomd worden met beek- of rivierwater zijn aangegeven in blauw. Milieuvariabelen zijn als supplementaire variabelen in de diagrammen geprojecteerd en beïnvloeden de ligging van de monsterpunten niet. DCA ordination diagram (ordination-axis 1 and axis 2) of alder forest sites based on their semi-terrestrial fauna (A) and aquatic macroinvertebrates (B). Symbols indicate sites: triangle: restoration project on former arable land, square: reference site, circle: degraded site. Sites which are periodically flooded by stream or river water are indicated in blue. Environmental variables are projected in the diagrams as supplementary variables and as such do not influence the position of the sites.

Tabel 4-5 Aantal indicatieve taxa per locatie voor de milieu/habitatpreferentie-categorieën zwak zuur tot zuur (zuurgraad), droogvallend (permanentie), moeras (watertype), oligosaprobe omstandigheden (saprobie) en oligo- tot mesotrofe omstandigheden (trofie) naar Verberk et al. (2012). Indicatief was gedefinieerd als ≥ 5 punten scorend in de desbetreffende categorieën.

Number of indicator taxa per site for the environmental or habitat preference-categories (Verberk et al., 2012) weakly acid to acid waters (acidity), drought tolerant (intermittence), marsh/swamp (water type), oligosaprobic conditions (saprobity/organic load) and oligo- to mesotrophic conditions (trophic state). Indicators were defined as scoring ≥ 5 points in the abovementioned categories.

Locatie	Type locatie			Aantal indicatieve taxa per locatie per milieu/habitatpreferentie-categorie				
	Oorspronkelijk	Landbouw-oorsprong	Overstroming	Zwak zuur /zuur	Droogvallend	Moeras	Oligosaprob	Oligo- tot mesotroof
VOL	x			4	1	3	0	0
KLO	x			7	2	2	1	1
STRal n	x			3	2	0	1	1
Khref	x			3	3	4	2	1
DUB	x			7	2	3	1	1
OW	x			2	1	2	1	0
HOL		x		1	0	0	0	0
KB		x		2	1	2	1	1
VOS		x		1	0	0	1	1
KHwb		x	x	1	0	1	0	0
GMB		x	x	1	0	0	0	0
HEU	x		x	2	1	1	0	0
VBK	x		x	0	0	0	0	0
SWsal	x		x	4	1	2	1	1

4.3 Discussie en conclusies

Hydrologische regime

De hydrologische cyclus van inundatie en droogval is een belangrijke sturende factor voor de samenstelling van de levensgemeenschappen in de onderzochte broekbossen, zowel voor de semi-terrestrische fauna als de aquatische macrofauna. Vooral de aquatische macrofauna laat zien dat droogval van het water een belangrijke sturende factor was voor de samenstelling van de levensgemeenschap, juist de oorspronkelijke (referentie) situaties bevatten relatief veel droogval-indicatoren binnen hun levensgemeenschappen. Soorten die droogval indiceren hebben allerlei aanpassingen aan het verlies van oppervlaktewater, vaak is hun levenscyclus gesynchroniseerd met het verschijnen en verdwijnen van oppervlaktewater en/of hebben ze stadia die bestand zijn tegen uitdroging (Williams 1987). Een belangrijk voordeel van deze strategie is dat ze zo predatoren kunnen ontwijken, zoals vissen. Het lijkt er dus op dat een periode van (gedeeltelijke) droogval belangrijk is om de levensgemeenschap van broekbossen te faciliteren. Echter kan op basis van de preferenties

kan niet worden afgeleid of het systeem volledig droog moet vallen of slechts gedeeltelijk en wat droogval op een locatie precies inhoudt (Verberk et al. 2012). Bij het toedelen van de preferenties wordt namelijk geen onderscheid gemaakt tussen een nog vochtige bodem (water op of net onder maaiveld of een stofdroge bodem).

Van de semi-terrestrische fauna is wel bekend dat veel van de als indicatief aangeduide soorten vooral gebonden zijn aan de aanwezigheid van nat-droog overgangen (Turin, 2000); oftewel des te langer de oeverlijn des te meer habitat er beschikbaar is voor deze soorten. Deze soorten profiteren van het zich terugtrekkende water, waarbij ze bijvoorbeeld foerageren in de drooggevallen delen. Echter, wanneer er helemaal geen water meer aanwezig is verdwijnt het habitat voor deze soorten en wordt het broekbos een ongeschikt leefgebied. Deze soorten profiteren dus van het zich terugtrekkende water in de zomer, maar zijn voor hun voortbestaan afhankelijk van de permanente aanwezigheid van natte plekken in het broekbos.

Op basis van het voorgaande lijkt een afwisseling van geïnundeerd in de winter en gedeeltelijk droogvallend in de zomer de optimale situatie voor de broekbosfauna. Zowel te nat (permanent geïnundeerd) als te droog (grondwater te ver weggezakt, geen natte plekken meer) werken negatief door op de levensgemeenschappen van broekbossen en leiden tot het verdwijnen van soorten van moerassen en natte bossen.

Vegetatiestructuur

Specifiek voor de semi-terrestrische fauna was de vegetatiestructuur sturend. Het gaat hierbij niet zozeer om de samenstelling maar om de openheid van de vegetatie. Broekbossen met een dichte kruidlaag verschiden van situaties waar veel open grond/strooisel aanwezig was. De semi-terrestrische fauna lijkt negatief beïnvloed te worden door een dichte kruidlaag (verruiging). Een groot deel van de aangetroffen soorten prefereert open plekken met een kale bodem (Turin, 2000; Muilwijk, 2015). Hierbij is er overigens ook een relatie met het hydrologisch regime; te lang droge omstandigheden leidt tot verruiging, wat weer negatief doorwerkt op de semi-terrestrische fauna, die juist open plekken met kale bodem prefereren.

Overige factoren

Voor de aquatische macrofauna bleek ook de zuurgraad van invloed op de samenstelling van de levensgemeenschap. Aan de milieu- en habitatpreferenties was af te leiden dat de oorspronkelijke systemen meer soorten die relatief zuurdere milieus prefereerden bevatte in vergelijking met de broekbossen op voormalige landbouwgrond.

Kansen voor ontwikkelingen op landbouwgrond

De Holmers laat zien dat het mogelijk is een voor typische semi-terrestrische broekbossoorten geschikt habitat te ontwikkelen op voormalige landbouwgronden in beekdalen. Het is wel de vraag of dit systeem een op een te vergelijken is met de andere (voedselrijkere) broekbossen op landbouwgrond. Door oppervlakkige afgraving en stuwing van het water heeft zich in dit gebied een kwelgevoed moeras met bijzondere natuurwaarde ontwikkeld dat veel kenmerken heeft van een doorstroommoeras zoals die in de historische situatie veel meer aanwezig geweest moeten zijn in beekdalen (Verdonschot et al. 2017).

5 Kolomproeven vernetting

5.1 Inleiding

De ontwikkeling van nieuwe broekbossen gaat vaak gepaard met de vernetting van voorheen droge (terrestrische) bodems. Deze vernetting kan plaatsvinden door inundatie maar is meestal het gevolg van hogere grondwaterstanden als gevolg van hydrologische maatregelen (verminderen drainage, door dempen drainage sloten, etc.).

Met name wanneer voedselrijke voormalige landbouwbodems worden vernet kan er een sterke eutrofiëring optreden als gevolg van de mobilisatie van voedingsstoffen onder invloed van veranderde redoxcondities.

Onder normale (gedraineerde) omstandigheden is in de toplaag van landbouwbodems vrijwel altijd zuurstof aanwezig. Dit zorgt ervoor dat de afbraak van het reactieve organische materiaal goed verloopt. Dit komt omdat de afbraak van organisch materiaal in wezen een redoxreactie is. Bij een redoxreactie vindt uitwisseling van elektronen plaats tussen een reductor die deze afstaat en een oxidator die ze opneemt. Organisch materiaal functioneert als reductor (elektronendonor), daarom is voor de afbraak van organisch materiaal met name de beschikbaarheid van zogenaamde elektronenacceptoren van belang (Smolders e.a. 2006). Zuurstof (O_2) is een zeer sterke oxidator en zal daarom, indien het aanwezig is, vrijwel altijd als preferente elektronenacceptor optreden.

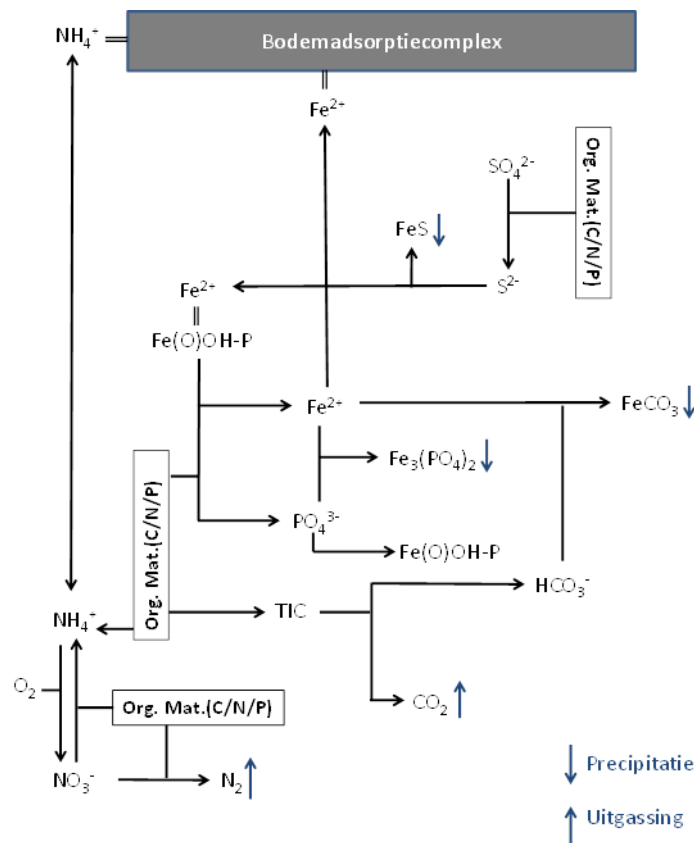
In 2016 en 2018 werden 59 bodems uit het laagveen- en het zeekleigebied voor 12 weken geïnundeerd bij 18 °C in het donker. Het ging hierbij om bodems die in landbouwkundig gebruik waren. In figuur 5.2 wordt voor een aantal ionen het verloop van de concentraties in het poriewater gegeven na inundatie.

Na inundatie kan er weinig/geen zuurstof meer doordringen in de bodems. Het nog aanwezige zuurstof wordt verbruikt door de micro-organismen die zuurstof gebruiken als elektronenacceptor voor de afbraak van reactief organisch materiaal, waarna de bodems anaeroob worden. Wanneer er geen zuurstof meer aanwezig is, wordt de afbraak van reactief organisch materiaal overgenomen door micro-organismen die in plaats van zuurstof een andere stof als alternatieve elektronenacceptor kunnen gebruiken. In eerste instantie is dit nitraat omdat dit energetisch de meest gunstige elektronenacceptor is. We zien dan ook dat de nitraatconcentraties in het poriewater snel afnemen na inundatie. Voor de meeste bodems is het nitraat na twee weken inundatie al verdwenen.

Nadat bijna alle nitraat is omgezet treedt driewaardig ijzer op als alternatieve elektronenacceptor waarbij ijzer(III)(hydr)oxiden worden gereduceerd. Bij dit proces van ijzerreductie wordt driewaardig ijzer omgezet in tweewaardig ijzer (Fe^{2+}). Dit tweewaardige ijzer is veel beter oplosbaar dan het driewaardige ijzer waardoor de ijzerconcentraties in het poriewater stijgen. Na langdurige inundatie kan er ook sulfaat worden gereduceerd tot sulfide. Sulfide bindt aan tweewaardig ijzer waardoor de ijzerconcentraties in het poriewater weer kunnen afnemen. We zien inderdaad dat de ijzerconcentraties in het poriewater stijgen na inundatie. Er is echter geen hele duidelijke afname van de sulfaatconcentratie. We kunnen dus concluderen dat in de geïnundeerde landbouwbodems ijzerreductie het belangrijke proces is dat zorgt voor de afbraak van organisch materiaal. In de beginfase is ook nitraat belangrijk. Sulfaat wordt mogelijk belangrijker op de langere termijn. Dit zal dan echter alleen het geval zijn wanneer er sprake is van een belasting van het systeem met sulfaat via het oppervlaktewater of grondwater en in geval er sprake is van relatief ijzerarme bodems.

Bij de anaerobe oxidatie van organische verbindingen komt ook koolstof, stikstof en fosfor vrij in de vorm van respectievelijk anorganische koolstof (koolstofdioxide en bicarbonaat), ammonium en fosfor. Er komt ook fosfor vrij door de reductie van ijzer(III)(hydr)oxiden. Fosfor bindt namelijk goed aan ijzer(III)(hydr)oxiden en wanneer deze worden gereduceerd tot tweewaardig ijzer komt er fosfaat vrij. In hoeverre er ammonium, tweewaardig ijzer en fosfaat ophoopt in het poriewater van de geïnundeerde onderwaterbodems hangt ook weer af van de mate waarin er (re-)adsorptie plaatsvindt van deze ionen in de bodem (Figuur 5.1). Wanneer de bodem erg rijk is aan ijzer(III)(hydr)oxiden kan adsorptie van fosfaat aan nog niet gereduceerde ijzer(III)(hydr)oxiden er bijvoorbeeld voor zorgen dat de toename van P in het poriewater beperkt blijft (Lucassen e.a., 2015). Daarnaast kan fosfor ook wordt geadsorbeerd aan aluminium(hydr)oxides, die niet gevoelig zijn voor redoxprocessen. Ammonium accumuleert in de anaerobe bodems omdat het niet kan worden geoxideerd tot nitraat bij afwezigheid van zuurstof. TIC accumuleert omdat koolstofdioxide veel minder gemakkelijk uitgast naar de atmosfeer uit waterverzadigde bodems waarin het oplost in het poriewater.

We zien uit bovenstaande dat vernatting van bodems leidt tot de mobilisatie van fosfor. Hiermee neemt de fosfaatbeschikbaarheid voor planten toe. In hoofdstuk 34 hebben we gezien dat de fosfaatbeschikbaarheid ook van invloed is op de vegetatiesamenstelling van broekbossen.



Figuur 5.1. Schematisch overzicht van belangrijke biogeochemische processen die optreden in vernatte landbouwbodems (uit Lucassen e.a. 2015).

Overview of biogeochemical processes in rewetted former agricultural fields.

5.2 Methode

Voor de kolomproeven zijn van landbouwpercelen die potentieel in aanmerking komen voor (tijdelijke) inundatie (vernatting), bodems uit de toplaag (bovenste 20 cm) verzameld. Van elke bodem werd een glazen kolom (diameter 14,5 cm, hoogte circa 40 cm) voor 10 cm gevuld met goed gemengde bodem. Vervolgens werd er voorzichtig 20 cm demi water op de kolommen gegoten.

De kolommen werden in een donkere klimaatkamer geplaatst bij 18°C. In elke kolom werd één rhizon (5 cm) verticaal in de bodem geplaatst om het bodemvocht te kunnen bemonsteren. Eén dag na het toevoegen van het water werden een vacuüm getrokken glazen flesje (30 ml) aan de rhizon gehangen om het bodemvocht te bemonsteren (nulmeting; T=0). Hierna vonden er nog bemonsteringen plaats na twee, zes en twaalf weken (respectievelijk T=2, T=6 en T=12).

Het poriewater werd geanalyseerd zoals elders beschreven. Daarnaast werden nog verschillende bodemanalyses uitgevoerd aan submonster van de in het veld verzamelde bodems. Daarnaast werden aanvullend op de analyses bij B-WARE een aantal parameters bepaald (P-AE, P-AL en Pw) die vaak als indicator voor de P-rijkdom van landbouwbodems worden gebruikt t.b.v. het landbouwkundige gebruik van deze bodems. Deze analyses werden uitgevoerd bij Eurofins.

In 2016 werden er 29 monsters verzameld in de provincie Utrecht en in 2018, 30 monsters in de provincie Noord-Holland. Het ging hierbij om bodems die werden onderzocht ten behoeve van een mogelijke vernatting ten behoeve van het weidevogelbeheer. Daarnaast werden in 2018 27 bodems verzameld van landbouwgronden in de randzones van de Deurnse Peel (Leegveld) met het oog op de beoogde inrichting van de gronden als bufferzone.

Ter aanvulling werden in het gebied De Holmers een aantal bodems bemonsterd in (a) een deelgebied waar natuurontwikkeling plaatsvindt na afgraven van de toplaag, (b) een deelgebied waar natuurontwikkeling plaatsvindt zonder dat er is afgegraven en (c) een aantal bodems uit percelen die nog in landbouwkundig gebruik zijn.

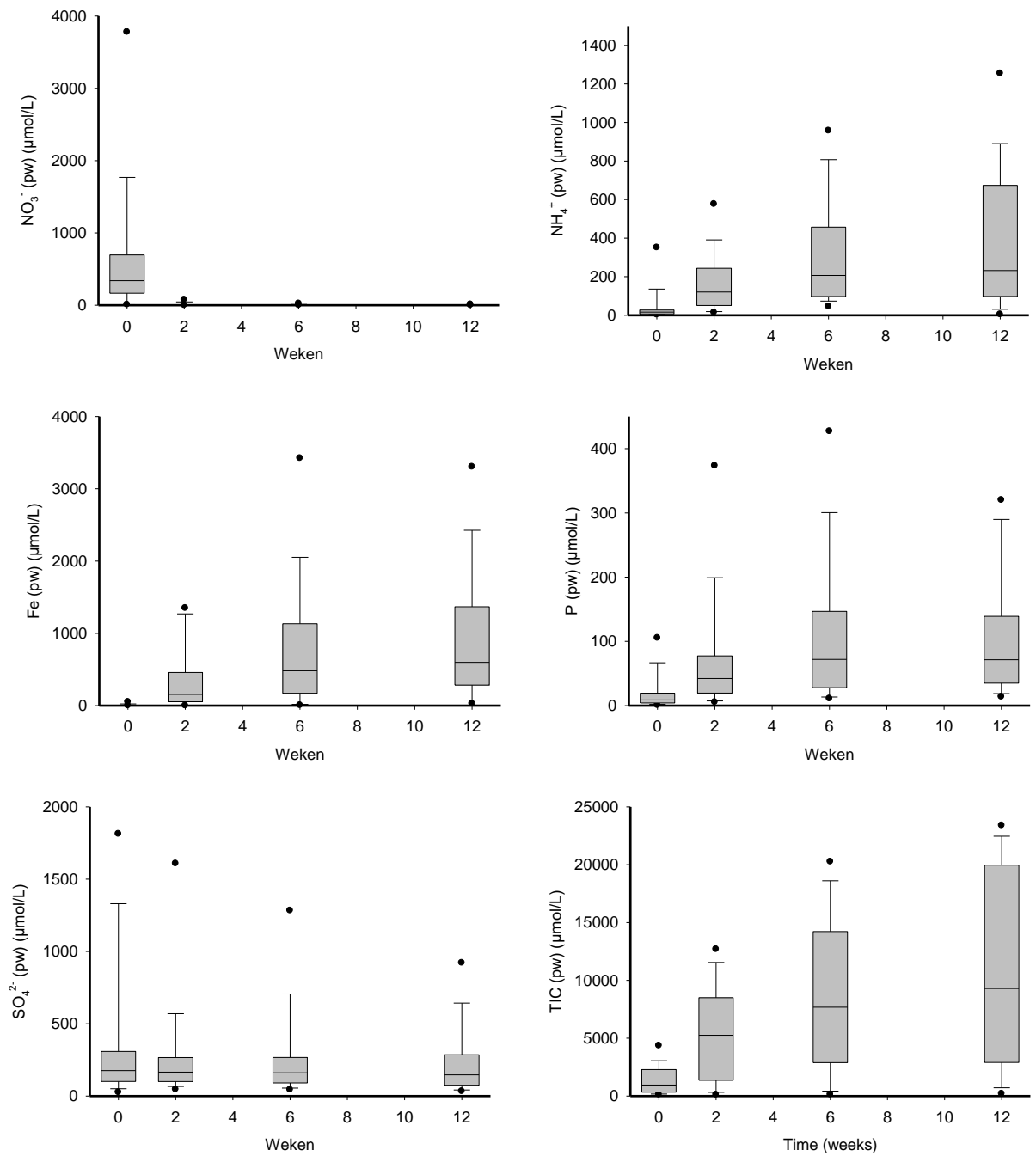
5.3 Resultaten

De fosfaatconcentraties in het poriewater na 12 weken inundatie laten een zeer grote spreiding zien tussen de verschillende bodems (*Figuur 5.2*). Uiteraard zou het wenselijk zijn om de P-mobilisatie na vernatting te kunnen inschatten aan de hand van parameters die gemeten worden in de nog niet vernatte bodems. Er zijn verschillende parameters die worden gebruikt als indicatie voor de fosfaatbeschikbaarheid onder droge omstandigheden. Voor in totaal 108 bodems hebben we gegevens over de fosfaatbeschikbaarheid van het poriewater na 12 weken inundatie onder labcondities (donker en bij 18 °C). Voor dezelfde bodems hebben we, voor vernatting, ook een aantal parameters bepaald die worden gebruikt als indicator voor de fosfaatbeschikbaarheid onder droge omstandigheden.

We zien dat een aantal parameters een zeer slechte indicator zijn voor de mate waarin er P-mobilisatie plaatsvindt na vernatting (*Figuur 5.3*). Voor totaal-P geldt dat sommige bodems al bij relatief lage totaal-P concentraties een hoge P-mobilisatie laten zien, terwijl voor andere bodems geldt dat bij hoge totaal-P concentraties de P-mobilisatie toch laag kan blijven. Het maakt hierbij niet uit of de totaal-P-concentratie per liter bodemvolume of per kg bodem wordt berekend. Voor zowel de P-oxalaatconcentratie (P gebonden aan amorfe ijzer- en aluminium(hydroxiden) als voor totaal-P concentratie geldt wel dat de mobilisatie laag is wanneer de concentraties lager zijn dan 5 mmol/l bodem.

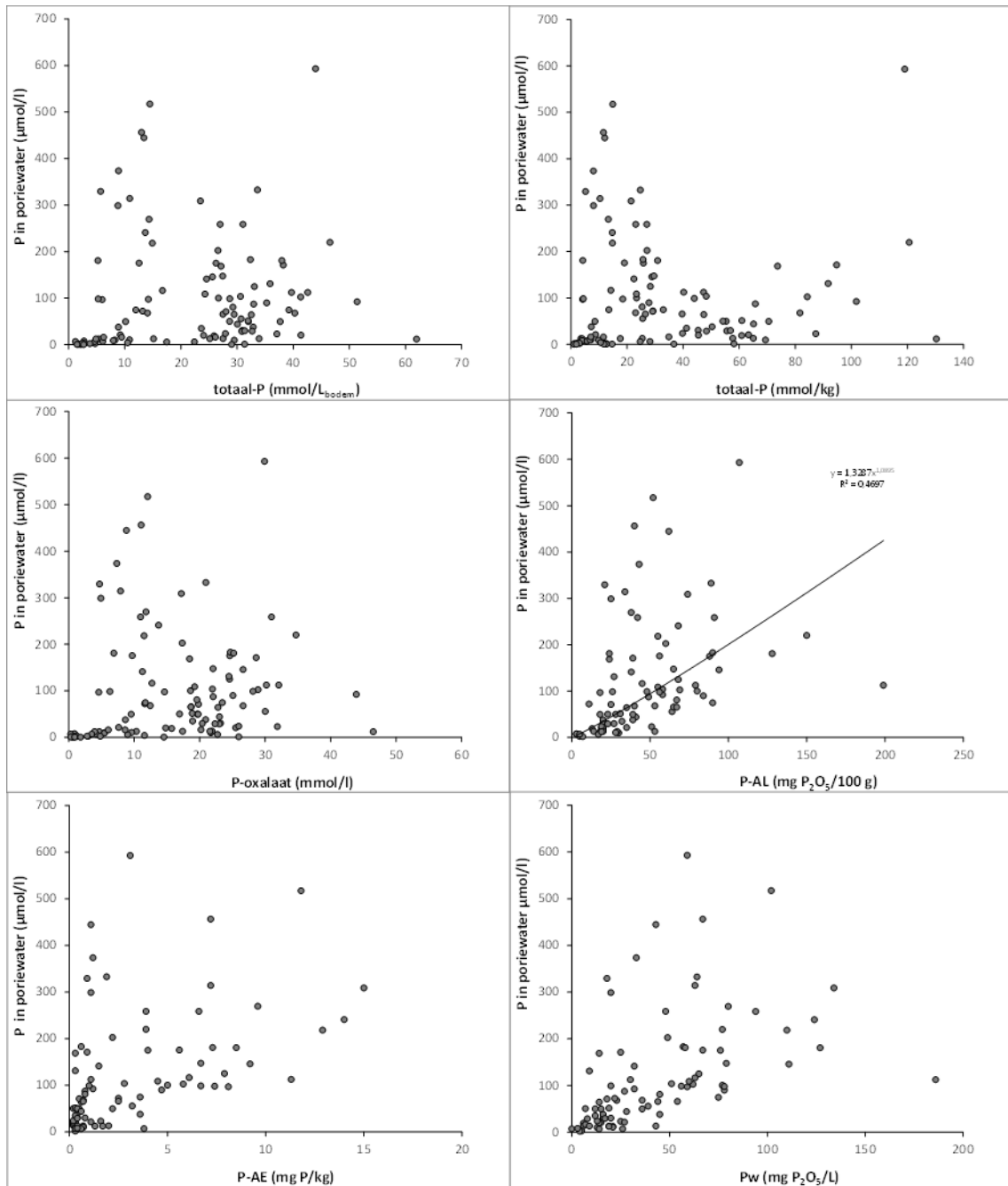
Voor parameters die veel in de landbouw worden gebruikt (P-AE, P-AL en P_w) geldt dat er wel een trend is die indiceert dat de P-mobilisatie toeneemt bij een hogere waarde, maar ook bij relatief lage waarden kan er al een forse mobilisatie optreden na vernatting. Voor deze parameters geldt dus dat bij hoge waarden er zeker mobilisatie optreedt maar niet dat er bij lage concentraties gegarandeerd geen mobilisatie zal optreden.

De fosfaatverzadingsindex (PSD) van de bodem, de bezetting van de amorfe aluminium- en ijzer(hydr)oxides met fosfor, laat zien dat de P-mobilisatie onder een PSD-waarde van 12,5 % altijd laag is (Figuur 5.5). De waarde van 12,5 % is de helft van de waarde van 25% waarboven wordt aangenomen dat de bodem fosfaatverzadigd is. Overigens zien we dat de fosfaatmobilisatie toeneemt naarmate de fosfaatverzadiging verder oploopt en dat deze bij een waarde van 40 % of hoger steeds erg hoog is. Olsen-P waarden worden ook vaak gebruikt om de fosfaatbeschikbaarheid op droge landbouwbodems te meten. We zien dat de fosfaatmobilisatie laag is voor bodems waarvoor de Olsen-P concentratie lager is dan 1000 $\mu\text{mol/kg}$ of lager dan 500 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Bij waarden lager dan 2500 $\mu\text{mol/kg}$ of lager dan 2000 $\mu\text{mol/l}$ bodem kan de mobilisatie hoog of laag zijn. Bij hogere Olsen-P waarden is er vrijwel altijd sprake van een forse mobilisatie van P na vernatting. Overigens hadden alle referentielocaties die in het kader van het broekbosonderzoek werden bemonsterd een PSD-waarde die lager was dan 12,5% en een Olsen-P concentratie die lager was 500 $\mu\text{mol/l}$ bodem).



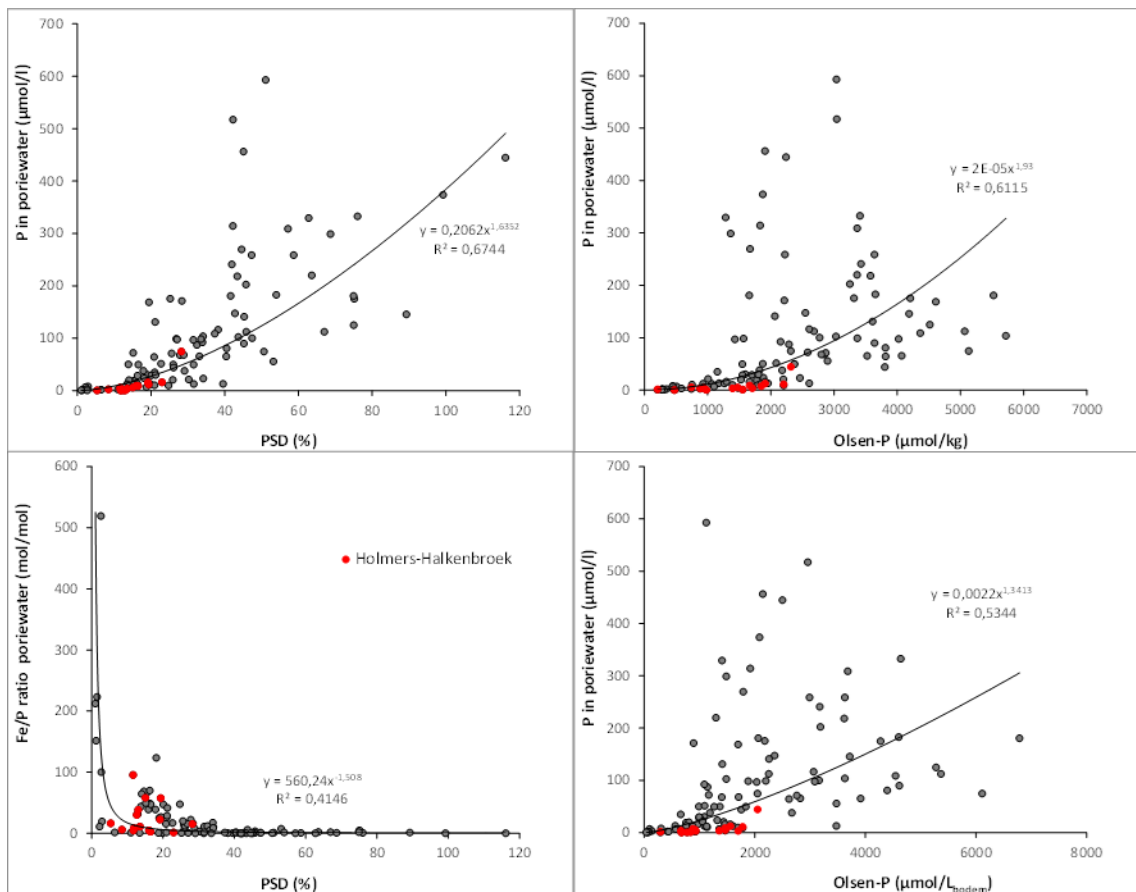
Figuur 5.2 Boxplots die het verloop laten zien van een aantal parameters in het poriewater voor 59 bodems uit het laagveen- en zeekleigebied ten gevolge van experimentele inundatie gedurende twaalf weken (18 °C). De zwarte punten onder en boven de boxen tonen respectievelijk de 5% en 95% waarde.

Boxplots showing trends in chemical variables in the pore water of 59 soil samples from peat and clay soils inundated for 12 weeks.



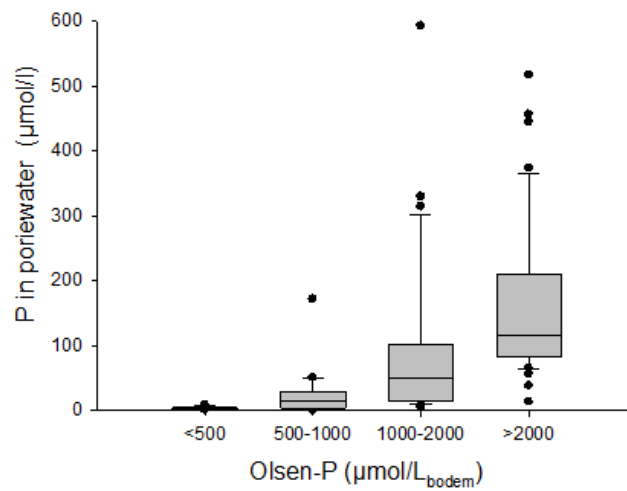
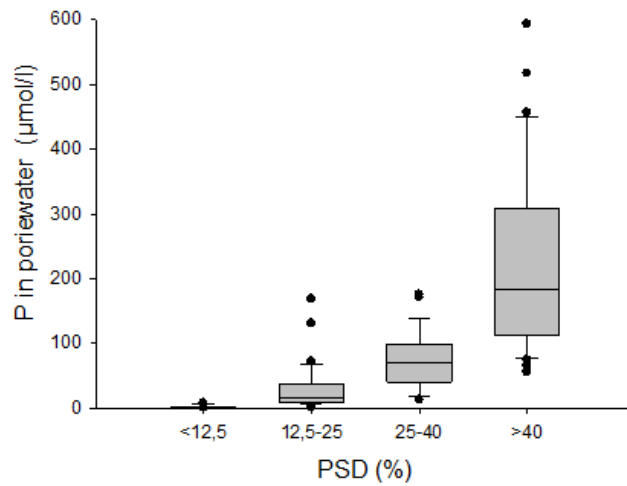
Figuur 5.3 P in poriewater van terrestrische bodems na 12 weken vernatting onder labcondities (bij 18 °C), uitgezet tegen verschillende parameters die de P-rijkdom van bodems indiceren.

Relation with phosphorus content in pore water with soil parameters that are commonly used as indicators for the P-availability.

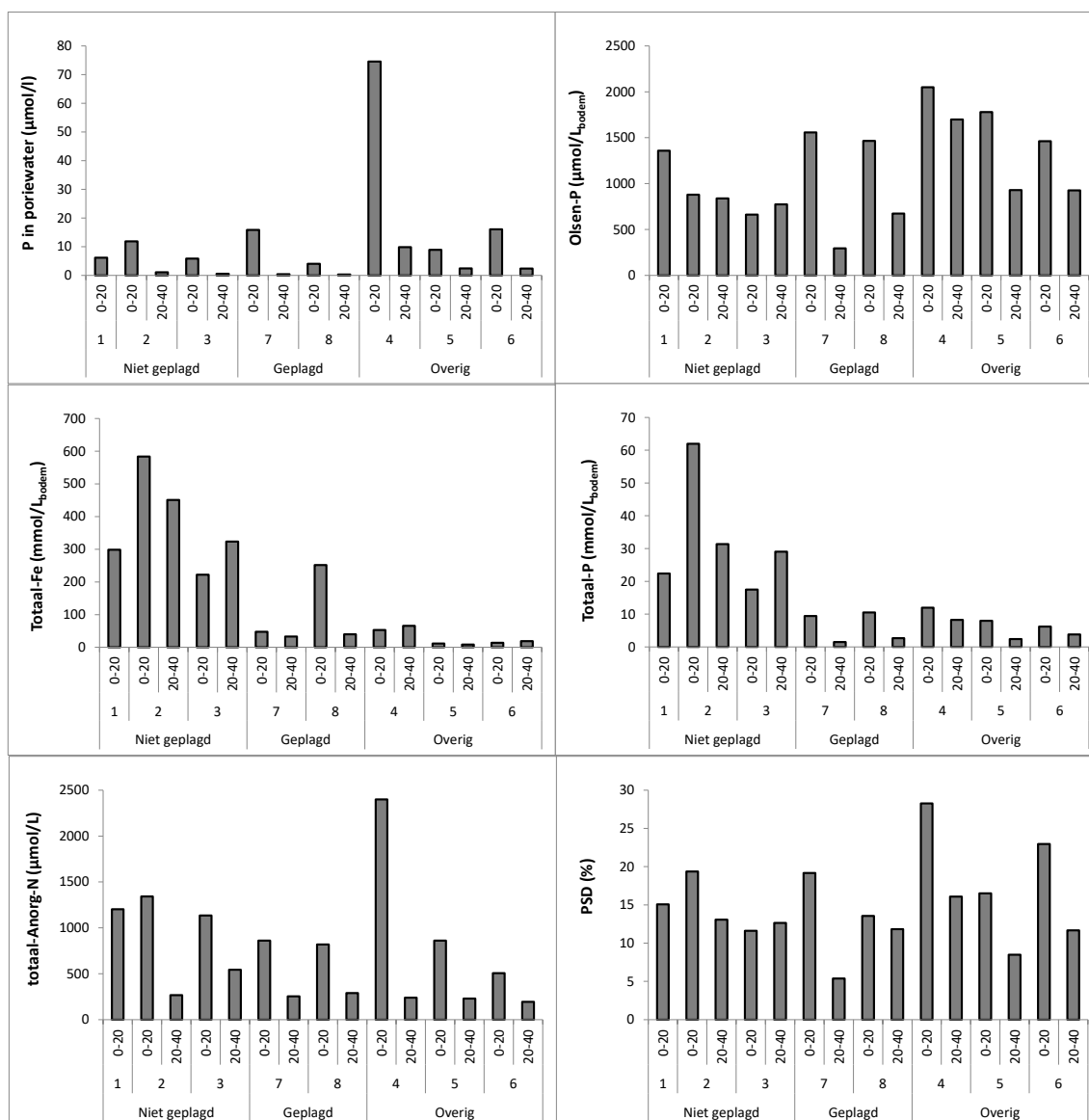


Figuur 5.4 P (boven) en Fe:P ratio (beneden) in poriewater van terrestrische bodems na 12 weken vernatting onder labcondities (18 °C), uitgezet tegen de PSD (fosfaatverzadigingsgraad) en de Olsen-P concentratie (per kilogram droge bodem en per liter bodemvolume). Met rode punten zijn de monster uit De Holmers weergegeven.
P-content (above) and Fe:P ratio (below) in pore water of soil cores after 12 weeks of inundation plotted against Phosphate Saturation Degree (left) and Olsen-P (right). Red dots: soils samples of the Holmers study site.

In het onderzoek zijn ter aanvulling op de in kader van andere projecten verzamelde monsters, ook monsters genomen in het gebied De Holmers. De resultaten worden apart toegelicht in Figuur 5.6. We zien dat voor de niet geplagde locatie de totaal-P en de totaal-ijzerconcentraties van de bodems veel hoger zijn. De PSD-waardes liggen overwegend net boven de 12,5 % en er is ook sprake van een, zei het beperkte, mobilisatie van fosfaat na vernatting. Voor het geplagde gebied valt op dat de bovenste 20 cm duidelijk veel rijker aan P zijn (totaal-P, Olsen-P, PSD, P-mobilisatie na vernatting (P in poriewater) dan de bodems die hieronder liggen. Op deze locaties hadden dus P armere condities kunnen worden gecreëerd wanneer er meer van de toplaag zou zijn verwijderd. De overige locaties zijn niet afgegraven locaties in het gebied waarop geen natuurontwikkeling plaatsvindt.



Figuur 5.5 Boxplots voor P in poriewater na 12 weken vernatten voor vier verschillende klassen voor de PSD (boven) en de Olsen-P concentratie per liter bodemvolume (onder). - Boxplots showing the P-content in pore water of soil cores after 12 weeks of inundation for respectively 4 PSD classes (above) and 4 Olsen-P classes (below).

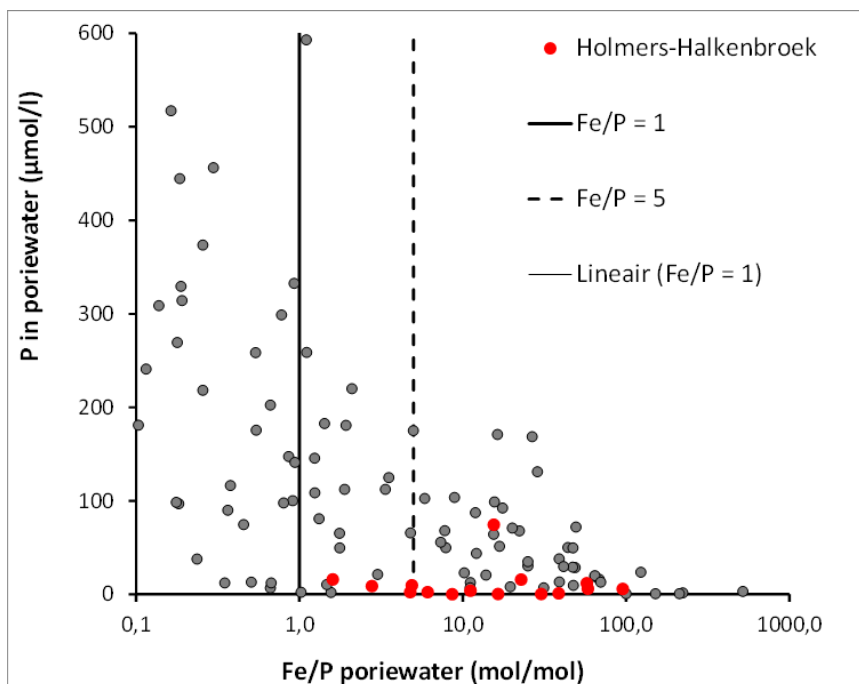


Figuur 5.6 Staafdiagrammen voor een aantal eigenschappen van bodems van verschillende diepten uit de Holmers. Het gaat hierbij om locaties waar natuurontwikkeling plaatsvindt op niet geplagde en geplagde delen en voor overige locaties waar geen natuurontwikkeling wordt beoogd. P in poriewater staat voor de poriewaterconcentratie na 12 weken inundatie in het lab. 0-20, 2–40 etc. staat voor de diepte in cm onder maaiveld waarop de bodems zijn verzameld

Bar chart showing values of soil variables in the Holmers study area for different soil depths and different treatments. Niet geplagd: nature development without sod-cutting. Geplagd: nature development without sod-cutting. Overige: no nature development.

Hoge fosfaatconcentraties in het poriewater kunnen ook leiden tot eutrofiering van het bovenstaande water. De fosfaatnalevering (via diffusie) uit sedimenten wordt sterk bepaald door de ijzer/fosfor (Fe/P) ratio van het poriewater (Smolders e.a., 2013). Dit komt omdat in het oxidatieve toplaagje tussen water en sediment het opgeloste gereduceerde ijzer weer kan worden geoxideerd waardoor fosfaat wordt gebonden aan de ijzer(hydr)oxides en/of ijzer en fosfaat gezamenlijk neerslaan als FePO_4 in de toplaag. Als gevolg hiervan wordt de nalevering van P naar de waterlaag beperkt zolang de Fe/P ratio in het bodemvocht voldoende hoog is ($\gg 1$) en zolang de waterlaag voldoende zuurstofhoudend is. In *Figuur 5.7* is voor de vernatte bodems de fosforconcentratie van het poriewater uitgezet tegen de

Fe/P ratio van het poriewater. De P-nalevering zal hoger zijn naarmate de Fe/P ratio lager is en de P-concentratie van het sediment poriewater hoger is. Onder een bepaalde Fe/P verhouding zal deze vrijwel geen invloed meer hebben omdat het ijzer dan in verhouding nog maar weinig P kan binden op de overgang naar de aerobe waterlaag. Smolders e.a. (2001) vonden een toename van de nalevering van P naar de waterlaag bij een Fe/P-ratio lager dan 5. De nalevering van P naar de waterlaag blijkt echter zeer sterk toe te nemen wanneer de Fe/P-ratio in het bodemvocht lager wordt dan 1 (Smolders e.a., 2001; Geurts e.a. 2010). Naarmate de punten in Figuur 5.6 meer linksboven in de grafiek liggen neemt de nalevering naar de waterlaag toe. We zien dat de Fe:P ratio van het poriewater sterk afneemt naarmate de PSD toeneemt (figuur 5.4). Bodems waarin het poriewater wordt gekenmerkt door een combinatie van een zeer lage Fe:P ratio ($<<1$) en een (zeer) hoge P-concentratie zullen zich naar verwachting gedragen als zeer voedselrijke onderwaterbodems en veel P naleveren naar het bovenstaande water.



Figuur 5.7 Fosforconcentratie van het poriewater uitgezet tegen de Fe/P ratio van het poriewater

P-content of pore water plotted against Fe/P ratio of the pore water.

5.4 Conclusies

De meeste landbouwbodems worden gekenmerkt door (zeer) hoge PSD-waardes en Olsen-P concentraties. Hierdoor wordt er na inundatie veel fosfaat gemobiliseerd waardoor er een eutrofe vegetatie tot ontwikkeling zal komen, Op grond van onze analyses adviseren wij voor de ontwikkeling van broekbos op voormalige landbouwgrond om te streven naar een PSD-waarde die in ieder geval lager is dan 12,5% of eventueel een Olsen-P waarde die lager is dan 500 $\mu\text{mol/l}$ bodem. Bij PSD-waarden tussen de 12,5 en 25 % kan een relatief eutrofe ontwikkeling worden verwacht. Nog hogere PSD-waarden zijn ongewenst.

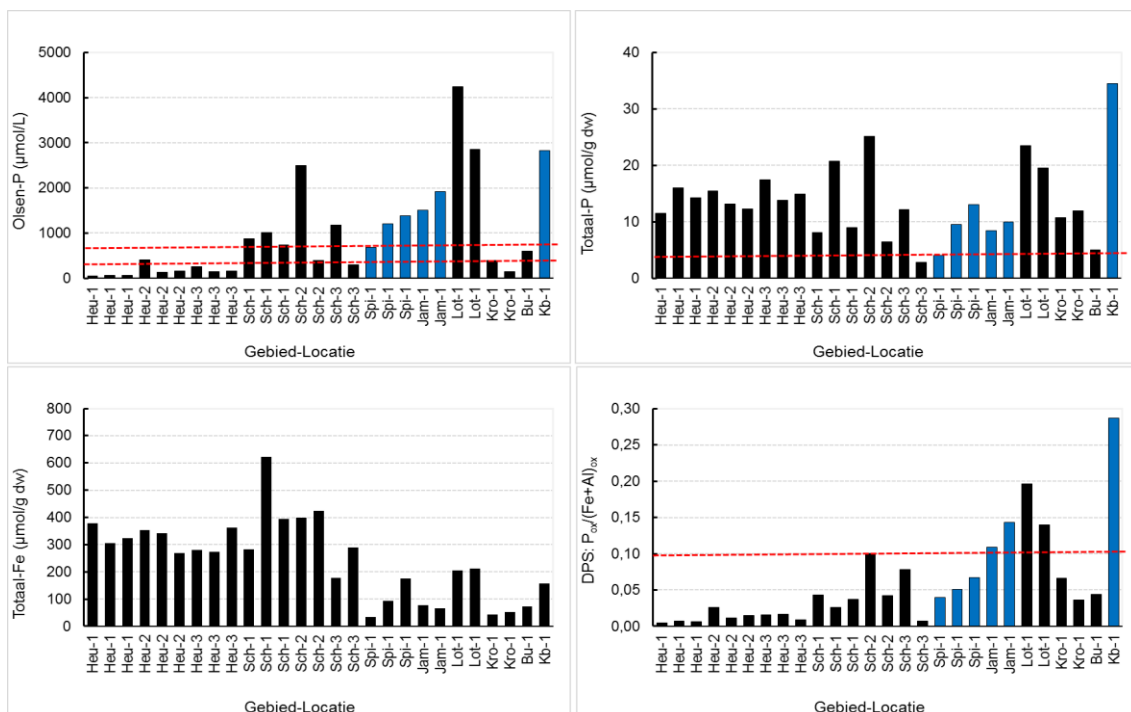
Deze informatie is relevant nog vaak wordt uitgegaan van de veronderstelling dat vernatting van voedselrijke landbouwgronden voldoende is voor de ontwikkeling van broekbos, en het niet nodig is de P-beschikbaarheid te verminderen door afgraven, uitmijnen of het toedienen van ijzer.

6 Experiment met toediening drinkwaterslib

6.1 Selectie onderzoekslocaties

In januari 2016 zijn een achttal voormalige landbouwgronden grenzend aan elzenbroekbos bemonsterd. Deze lagen bij de natuurgebieden: het Heuloërbroek, (Bergen), het Schilbroek, (Groesbeek), de Spikweien in het Lommerbroek (Lomm), het Jammerdal (Venlo), Maasuiteraard (Lottum), Kromhurken (Bergeijk), Boulderbroek (Budel) en Koelbroek (Boekend). Het betrof allen vernatte voormalige landbouwgronden grenzend aan broekbos waar zich reeds Zwarte els op had ontwikkeld, of waar de ontwikkeling hiervan werd verwacht door de terreinbeheerder. Met een edelmanboor werden bodemonsters genomen van de bodem-toplaag (0-20 cm). In een aantal van de gebieden was de fosfaatrijke bodem toplaag deels afgegraven.

De bodemonsters werden geanalyseerd op een aantal indicatieve parameters waaronder de DPS (Degree of Phosphate Saturation), de concentratie Olsen-P (plantenbeschikbaar fosfaat) en de concentratie totaal-P en totaal-Fe (voor methode zie paragraaf 2.4). Op basis van deze bodemanalyses zijn uiteindelijk drie gebieden geselecteerd die het meest geschikt leken om experimenten mee uit te voeren om het effect van ijzerslib op broekbosontwikkeling op voormalige landbouwgronden te kunnen onderzoeken. Voorwaarde voor selectie was dat de DPS en/of de concentratie Olsen-P voldoende hoog moest zijn om met behulp van drinkwaterslib verlaagd te kunnen worden tot waarden kenmerkend voor soortenrijkere natuur (Chardon et al., 2009; Smolders et al., 2008). Daarnaast was het van belang dat de grondwaterstanden relatief hoog zijn.



Figuur 6.1: Concentratie Olsen-P, Totaal-P, Totaal-Fe en de DPS van potentiële onderzoekslocaties. Afkortingen: Heu= Heuloërbroek; Sch= Schilbroek; Spi= Spikweien; Jam= Jammerdal; Lot= Maasuiteraard Lottum; Kro= Kromhurken; Bu= Boulderbroek; Kb= Koelbroek.

Olsen-P, P-total, Fe-total and DPS of potential experimental sites investigated.

Een overzicht van de chemische bodemdata in het voorjaar van 2016 is gegeven in figuur 6.1. De gebieden die het meest aan de criteria voldeden waren: a) een voormalig deels afgegraven landbouwgrond in deelgebied de Spikweien gelegen in het Lommerbroek (Lomm) dat op moment van bemonstering nog onbegroeid was; b) een voormalig deels afgegraven landbouwgrond in het Jammerdal (Bovenste en Onderste Molen (Venlo) dat op moment van bemonstering nog onbegroeid was en waar zichtbaar kwel uitteedt in het maaiveld; c) een voormalig niet afgegraven landbouwgrond direct langs de Everlose beek in het Koelbroek (Staatsbosbeheer). In de laatstgenoemde locatie is het waterpeil de afgelopen jaren toegenomen door de aanwezigheid van een bever benedenstrooms van het perceel. Hierdoor is het gebied te nat geworden voor de landbouw en is spontaan Elzenbroekbos gaan ontwikkelen. Eind 2016 is de Everlose beek omgeleid en is het waterpeil weer iets gedaald. Deze drie gebieden hadden een voor natuurontwikkeling te hoge Olsen-P waarde en waren daarnaast relatief nat. Een indruk van de drie gebieden wordt gegeven in figuur 6.2.



Figuur 6.2: Locaties die uiteindelijk geselecteerd zijn om experimenten met ijzerslib uit te voeren: De Spikweien in het Lommerbroek (a); Jammerdal (b); Koelbroek (c).

Impression of selected experimental sites. De Spikweien in het Lommerbroek (a); Jammerdal (b); Koelbroek (c).

6.2 Verwerking drinkwaterslib

Bij Brabant Water waren een tiental drinkwaterslibben beschikbaar variërend in chemische samenstelling waaronder de concentratie Ca, Fe en P. Aangezien Elzenbroekbossen gevoed worden door Ca en Fe houdend grondwater is, op basis van de chemische analyses van Brabant water en nieuwe analyses uitgevoerd door B-WARE, gekozen voor het ijzer -en kalkrijke spoelwater van waterproductiebedrijf Luijkgestel dat bovendien arm is aan P. In mei 2016 werd dit per tankwagen naar het kassencomplex van de Radboud Universiteit Nijmegen (RU) gebracht en overgebracht in 600 L vaten. Het werd ingedikt op een vijftal droogtebedden (2x2x0,5 m) die gegraven waren op het terrein van het kassencomplex van de RU. Hierover was een laken gespannen en na aanbrenge van het ijzerkalkwater kon het grootste deel van de vaste fractie gescheiden worden van het water. Een afkapping en verdamping verzorgden het aanvullend indikken van het slib tot steekvast materiaal. Dit steekvaste materiaal werd verzameld in afgedekte 600L voorraadvaten en continue gemengd (figuur 6.3). Nadat het voorraadvat was afgevuuld werd een monster genomen voor bepaling van het vochtgehalte en de daadwerkelijke samenstelling van het te gebruiken materiaal. Het homogene materiaal werd over handzame 40L vaatjes verdeeld die in een transporter op locatie konden worden aangebracht.

De gemeten chemische samenstelling van het gebruikte slib uit Luijkgestel staat vermeld in tabel 6.1. Het gebufferde slib was zoals verwacht rijk aan calcium en ijzer en heeft, desondanks de absolute hoge P-waarden (vergelijkbaar met een maisakker), hierdoor een gunstige Fe:P ratio van 22,3. De DPS (Degree of Phosphate Saturation) is 0,01 waardoor het materiaal geschikt is om toe te dienen aan P-rijke bodems met als doel de DPS te verlagen tot waarden kenmerkend voor natuurontwikkeling (<0,1) volgens Chardon (2009). Het slib was tevens rijk aan NH_4^+ -z.



Figuur 6.3: Verwerking van het ijzerkalkwater tot steekvast drinkwaterslib dat is toegepast in de veldexperimenten.

Treatment of iron- and calcium-rich sludge of a drinking water treatment plant in order to make a solid sludge that can be applied in the field experiments.

Tabel 6.1: Chemische samenstelling van het waterijzer uit Luijkgestel. Tot-x= totale concentraties bepaald aan de hand van een destructie in salpeterzuur; X-ox zijn concentraties bepaald aan de hand van een oxalaatextractie; X-z zijn concentraties bepaald aan de hand van een zoutextractie met NaCl.

Chemical composition of resulting sludge from the Luijkgestel water treatment plant. Tot-x= total concentration after destruction with nitric acid. X-ox= concentrations measured after oxalate extraction, X-z concentrations measured after extraction with a NaCl solution.

mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW
tot-Al	tot-As	tot-B	tot-Ca	tot-Cd	tot-Co	tot-Cr	tot-Cu	tot-Fe	tot-Hg	tot-K	tot-Mg	tot-Mn
27,2	0,6	31,4	7546,6	0,0	0,1	3,3	0,0	1174,8	0,0	0,0	56,8	24,6
mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mmol/kg DW	mol:mol	%	%
tot-Mo	tot-Na	tot-Ni	tot-P	tot-Pb	tot-S	tot-Si	tot-Sr	tot-Zn	Fe:P		N	C
0,0	0,0	0,1	52,8	0,0	15,1	31,9	0,8	0,2	22,3		0,03	10,48
mmol/kg dw	mmol/kg dw	mmol/kg dw	mmol/kg dw	mmol/L	mmol/L	mmol/L	mmol/L					
Al-ox	Fe-ox	Mn-ox	P-ox	Al-ox	Fe-ox	Mn-ox	P-ox	DPS				
4,47	249,36	2,17	2,50	0,8	42,7	0,4	0,4	0,010				
	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$	$\mu\text{mol/kg dw}$
pH-z	Al-z	Ca-z	Fe-z	K-z	Mg-z	Mn-z	P-z	S-z	Si-z	Zn-z	NO ₃ -z	NH ₄ -z
7,65	50,9	58301	5,4	727	1137	50,4	4,1	4133,3	1905,4	2,2	80	149

6.3 Veldexperiment

In april 2016 werden in elk van de drie deelgebieden zes plots van 2x2 meter uitgerasterd. Om een goede nul-situatie van de bodemchemie vast te leggen werden in elke plot een twaalfstal sub-monsters genomen van de bodem toplaag (0-20 cm) en onderliggende bodemlaag (20-40cm). Deze werden gemengd zodat per plot en per diepte één representatief monster kon worden geanalyseerd. Op basis van de DPS van de bodem toplaag en de DPS van het drinkwaterslib afkomstig van een drinkwatervoorziening uit Luijkgestel, zijn per gebied ijzerdoseringen per 4 m² bepaald waarbij de DPS op een diepte van 0-20 cm verlaagd werd tot 0,1 én ruim onder deze waarde (dubbele dosering). De mengverhoudingen zijn gegeven in tabel 6.2.

Tabel 6.2: Chemische samenstelling van de bodem (0-20 cm en 20-40 cm) in de zes uitgerasterde plots per proeflocatie (uitgangssituatie), en de hoeveelheid steekvast drinkwaterslib uit Luijkgestel (vaste stoff fractie 0.10; D.P.S. 0,01 zie tabel 6.1) dat door de bodem toplaag is gemengd plot (4 m²).

Initial chemical composition of the soil on a depth of 0-20 and of 20-40 cm in the six plots per experimental site. To the right the amount of drinking-water treatment sludge that has been applied to the plots in case a low ('laag') or high ('hoog') dosage, expressed in cm and litre per 2x2 m plot.

Landbouwbodem												Ijzerkalkslib (4 m ²)			
Locatie	Diepte (cm)	fractie DW	% Vocht	% Org stof	kg fw/L	kg dw/L	µmol/L Olsen-P	mmol/kg dw Al-ox	mmol/kg dw Fe-ox	mmol/kg dw Mn-ox	mmol/kg dw P-ox	DPS	cm	Liter	
Spikweien	0-20	0,65	35,6	9,9	1,45	0,93	534	31	28	0,5	2,4	0,04	dosering laag	1	40
Spikweien	0-20	0,63	36,7	10,4	1,50	0,96	532	43	39	0,3	3,7	0,05	dosering hoog	2	80
Spikweien	0-20	0,63	36,2	9,1	1,44	0,93	467	44	52	0,2	3,5	0,04			
Spikweien	0-20	0,62	39,0	10,7	1,46	0,88	741	40	52	0,3	4,2	0,05			
Spikweien	0-20	0,69	30,9	6,5	1,72	1,17	790	40	33	0,2	3,8	0,05			
Spikweien	0-20	0,61	39,5	10,8	1,47	0,90	665	44	49	0,1	3,5	0,04			
Spikweien	20-40	0,78	22,4	5,3	1,62	1,23	212	22	15	0,4	0,9	0,03			
Spikweien	20-40	0,73	27,3	7,6	1,60	1,18	300	42	27	0,3	2,2	0,03			
Spikweien	20-40	0,76	23,6	5,3	1,65	1,25	228	27	24	0,2	1,1	0,02			
Spikweien	20-40	0,83	16,7	1,6	1,58	1,34	282	9	12	0,1	1,0	0,04			
Spikweien	20-40	0,78	22,6	4,2	1,75	1,33	299	25	18	0,2	1,2	0,03			
Spikweien	20-40	0,80	20,1	2,7	1,79	1,42	347	21	24	0,1	1,2	0,03			
Jammerdal	0-20	0,76	24,5	3,1	1,81	1,36	959	13	35	0,7	8,7	0,18	dosering laag	2	80
Jammerdal	0-20	0,77	23,5	4,2	1,91	1,46	1759	19	58	1,3	15,2	0,20	dosering hoog	4	160
Jammerdal	0-20	0,77	23,6	3,2	1,91	1,45	1431	15	40	0,9	12,3	0,22			
Jammerdal	0-20	0,79	20,7	2,5	2,00	1,58	1293	15	35	0,5	8,0	0,16			
Jammerdal	0-20	0,75	24,6	4,2	1,89	1,43	1940	46	89	1,8	23,7	0,18			
Jammerdal	0-20	0,84	15,9	0,6	2,13	1,80	641	10	24	0,2	2,9	0,09			
Jammerdal	20-40	0,86	14,2	0,6	1,90	1,64	570	8	10	0,2	2,1	0,11			
Jammerdal	20-40	0,84	15,5	0,8	1,92	1,61	531	16	28	0,3	3,1	0,07			
Jammerdal	20-40	0,83	16,7	0,6	1,99	1,66	425	6	7	0,2	1,2	0,10			
Jammerdal	20-40	0,72	26,1	3,0	1,76	1,32	312	14	17	0,5	1,8	0,06			
Jammerdal	20-40	0,85	14,8	0,7	2,03	1,73	821	12	26	0,3	4,3	0,11			
Jammerdal	20-40	0,73	26,2	6,2	1,75	1,31	2143	26	76	1,7	27,7	0,27			
Koelbroek	0-20	0,71	29,8	5,3	1,69	1,18	3598	29	80	4,2	32,8	0,30	dosering laag	3	120
Koelbroek	0-20	0,74	25,9	4,3	1,86	1,39	3850	33	91	4,3	37,5	0,30	dosering hoog	6	240
Koelbroek	0-20	0,71	28,7	4,7	1,58	1,12	3016	27	70	3,9	29,0	0,30			
Koelbroek	0-20	0,73	27,2	4,6	1,73	1,25	3667	29	86	4,5	33,2	0,29			
Koelbroek	0-20	0,72	27,5	4,6	1,80	1,29	3344	29	78	4,1	34,2	0,32			
Koelbroek	0-20	0,74	26,3	4,5	1,88	1,36	3717	35	97	4,8	37,5	0,28			
Koelbroek	20-40	0,77	22,6	3,8	1,72	1,35	4319	54	162	5,1	41,6	0,19			
Koelbroek	20-40	0,78	21,7	3,5	1,76	1,40	3999	38	116	5,9	44,7	0,29			
Koelbroek	20-40	0,80	20,4	2,0	1,71	1,35	4157	32	87	4,2	37,5	0,32			
Koelbroek	20-40	0,80	20,5	3,4	1,82	1,43	3894	35	120	5,4	40,9	0,26			
Koelbroek	20-40	0,79	20,6	3,3	1,79	1,45	4022	63	118	4,3	41,4	0,23			
Koelbroek	20-40	0,81	19,5	3,3	1,82	1,48	4409	39	103	4,7	44,2	0,31			

In juli 2016 zijn houten frames op de vooraf gemarkeerde plots geplaatst. Alle vegetatie werd hierna verwijderd. In de Spikweien bestond de vegetatie met name uit kiemlingen van Pitrus, in het Koelbroek uit Grote brandnetel, en in het Jammerdal uit een rijke kruiden vegetatie. Hierna werd het steekvaste drinkwaterslib over de plots verdeeld en grondig door de bodem toplaag (0-20cm) gespuit tot een homogeen mengsel. Op elke locatie werd een ondiepe grondwaterbuis gezet. Een indruk van de (aanleg van de) experimentele plots wordt gegeven in figuur 6.4.

In augustus 2016 werden in nabijgelegen elzenbroekbossen zaden verzameld en deze werden op de desbetreffende locatie aan de helft van de plots aangebracht. Op mei 2017 werden in alle plots zes individuen van Slangenwortel (afkomstig uit het Lommerbroek) en vier individuen van bloeiende Dotterbloem (afkomstig uit tuincentra) gepoot.



Figuur 6.4: Plots in de Spikweien (a+b), het Jammerdal (c+d) en het Koelbroek (e+f) direct na toediening (foto's links) en na een paar dagen (foto's rechts). De foto in het Koelbroek (rechts) is genomen na 6 maanden.

Experimental plots in Spikweien (a+b), Jammerdal (c+d) en Koelbroek (e+f) sites, directly after application of sludge (left), after a few days (b,d) and after 6 months (f).

6.3.1. Bodemchemie

In maart 2017, zes maanden na toedienen van het drinkwaterslib, werden in de plots bodemmonsters van de bodem toplaag (0-10 cm) genomen met een guts. In elke plot werden zestien steken genomen die in een emmer werden overgebracht en gemengd. De gemengde bodem werd overgebracht plastic zakken die luchtdicht werden afgesloten. In het laboratorium werd porievocht verzameld met behulp van rhizons. Verder werd de bodem gedroogd, verast en gedestruueerd en werden een Olsen-P extractie, zoutextractie en een oxalaatextractie uitgevoerd.

6.3.2. Effect van inundatie op met drinkwaterslib verrijkte bodems

Het effect van inundatie op de bodem in de veldproeven werd getest door in 750 ml polyethyleenpotten 400 gram verse bodem in te wegen en dit te inunderen met 200 ml gedemineraliseerd water. Op $t=0$, 2, 4, 6 en 8 weken werd met behulp van rhizons porievocht verzameld voor chemische analyse.

6.3.3. Vegetatieontwikkeling

Op 31 mei 2018 is de vegetatie geïnventariseerd. Het aantal individuen van dotterbloem en slangenwortel werd bepaald alsmede de bedekking van alle soorten bomen, mossen, fungi en kruiden (door Emiel Brouwer) volgens Braun-Blanquet (aangepast door Doing & Segal). Ook werd de hoogte van de vegetatie bepaald. Hierna werd de vegetatie vanaf 5 cm boven maaiveld gemaaid waarna de verse biomassa werd gewogen in het laboratorium.

6.3.4. Grondwaterstand

Bij alle veldbezoeken werd de stand van het lokale grondwater ten opzichte van het maaiveld opgemeten.

6.4 Resultaten

6.4.1. Grondwaterstanden

Gedurende de periode van twee jaar stond het grondwater in het Jammerdal permanent in het maaiveld. In de Spikweien (Lommerboek) stond het grondwater enkel in het voorjaar gedurende korte periode in het maaiveld. In het Koelbroek stond het grondwater permanent beneden maaiveld met de hoogste grondwaterstanden in het voorjaar (5 tot 9 cm beneden maaiveld).

	Spikweien	Jammerdal	Koelbroek
1-apr-16	-9	1	-10
6-jul-16	1	1	-38
10-jan-17	0	1	-9
16-feb-17	-10	1	-27
2-mei-17	-12	1	-31
28-jul-17	-36	1	-50
14-apr-18	1	1	-5
31-mei-18	-47	1	-53
gemiddeld	-14	1	-28
st. dev.	18	0	19

Tabel 6.3: De grondwaterstanden (ten opzichte van maaiveld) in Lomm, Jammerdal en Koelbroek op enkele tijdstippen in de periode april 2016 – mei 2018.

Groundwater levels (cm below soil surface) measured in the experimental sites in the period April 2016 – May 2018.

6.4.2. Bodemsamenstelling

Door de toediening van ijzer in het drinkwaterslib nam de DPS in de bodem toplaag, zoals beoogd, trapsgewijs af met toenemende dosering van drinkwaterslib. In de Spikweien (Lommerboek) was de DPS door het ontgronden al beneden de voor natuurontwikkeling beoogde waarde van 0,1. In het Jammerdal en in het Koelbroek daalde de DPS-waarde in de laagste behandeling met drinkwaterslib tot net beneden de 0,1 (figuur 6.6).

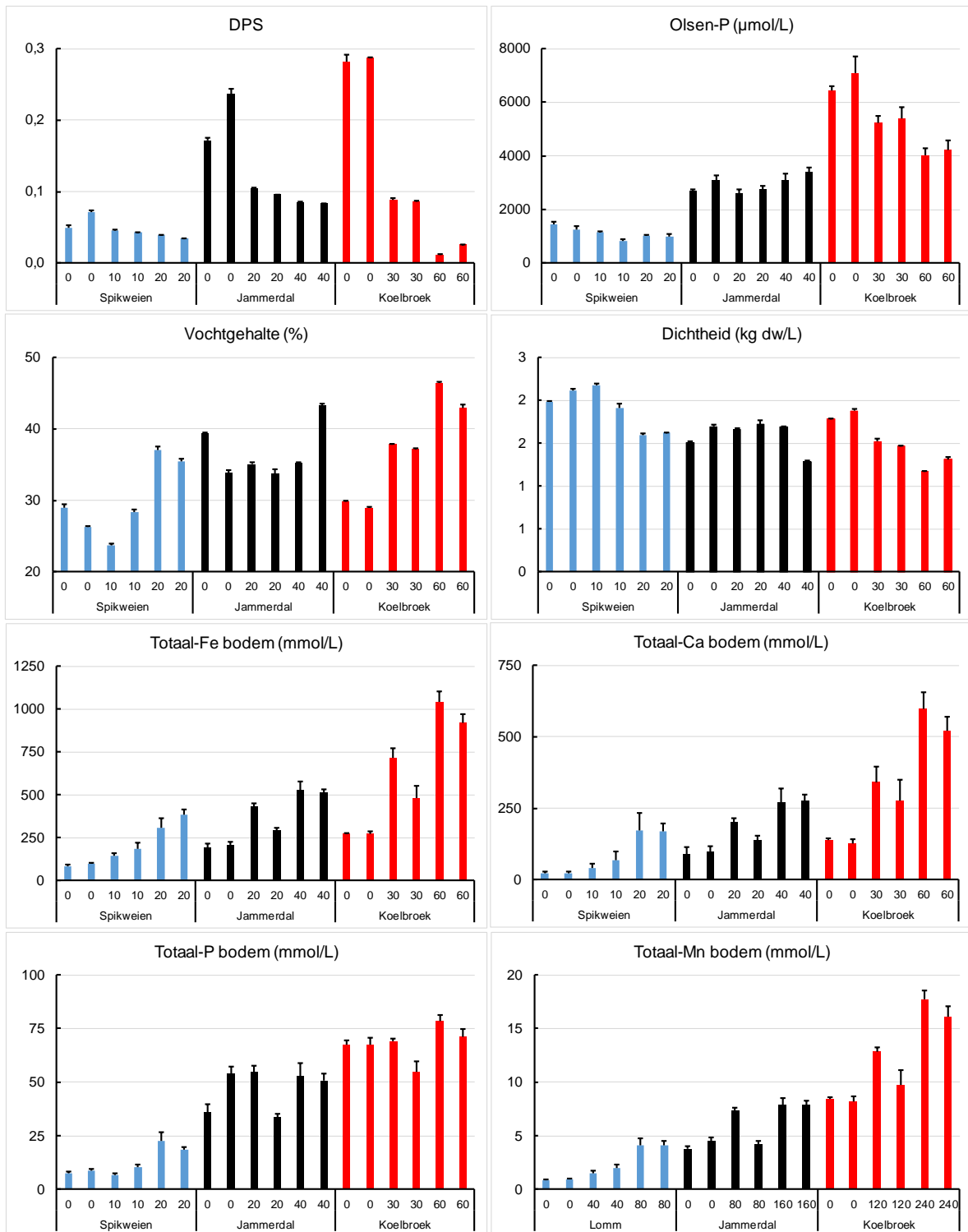
Toedienen van drinkwaterslib had ook een verlagend effect op de concentratie Olsen-P in de bodem van de Spikweien en het Koelbroek. In het Jammerdal, met een permanent hoog waterpeil, had ijzerslib geen effect op de concentratie Olsen-P (figuur 6.6).

Door het toedienen van drinkwaterslib nam het vochtgehalte van de bodem toe en de bodemdichtheid af op met name locaties met een wisselend waterpeil. Dit waren de Spikweien in het Lommerboek (het waterpeil varieerde van 0 tot 10 cm beneden maaiveld) en het Koelbroek (het waterpeil varieerde van 9 tot 38 cm beneden maaiveld). In het Jammerdal (waterpeil plas-dras) had het ijzerslib een minder eenduidig effect op het vochtgehalte en de bodemdichtheid. In alle drie gebieden namen de concentratie calcium, ijzer en mangaan toe met toenemende dosering van drinkwaterslib. In locatie Spikweien, die een relatief P-arme bodem had, was ook een toename in de concentratie fosfor zichtbaar (figuur 6.6). Deze elementen zijn ook in sterke mate aanwezig in het drinkwaterslib (tabel 6.1). Er werden geen noemenswaardige verschillen gemeten in de concentratie van andere elementen.

6.4.3. Bodemvochtchemie

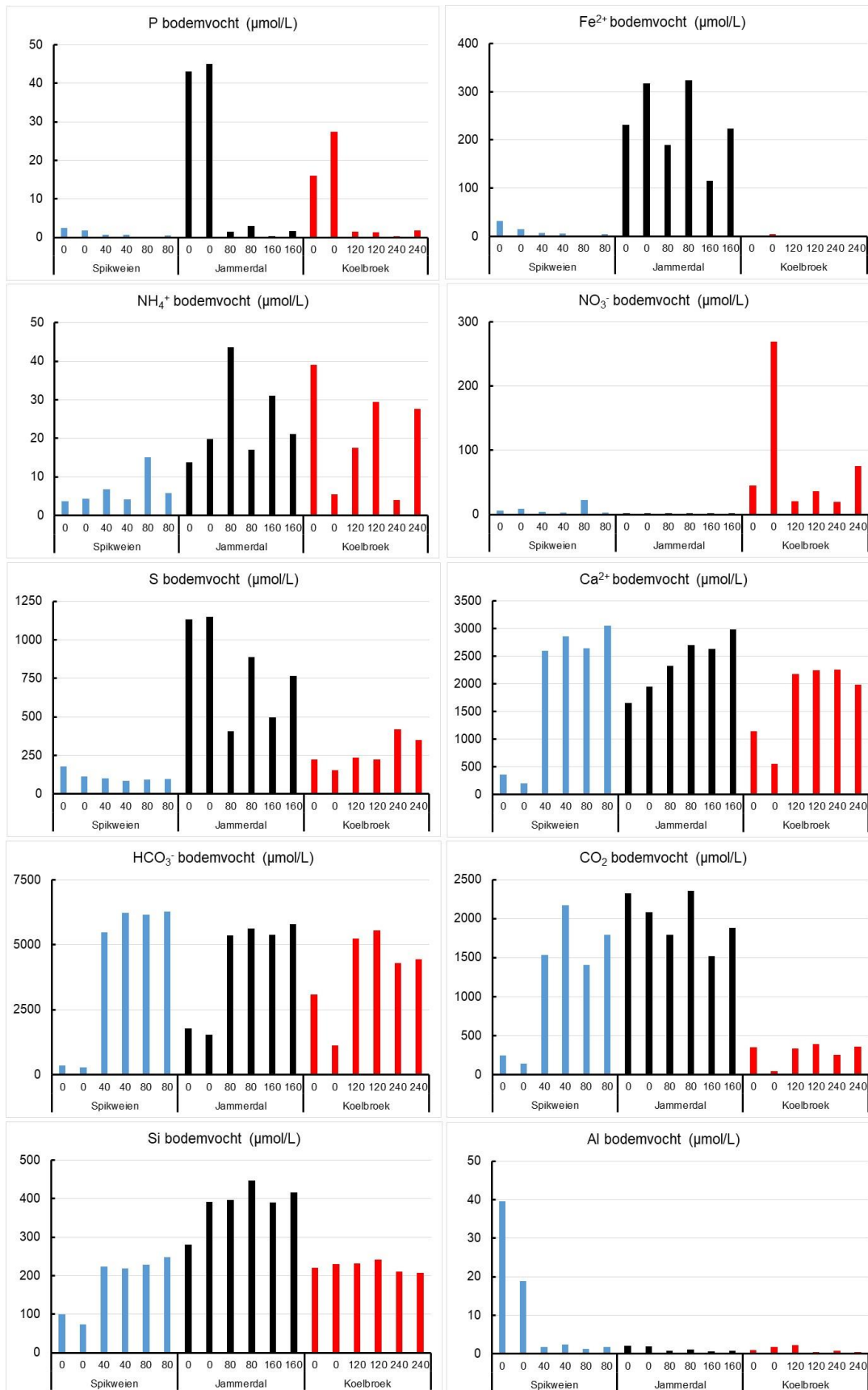
In het Jammerdal nam de concentratie gereduceerd ijzer in het bodemvocht ten gevolge van de additie van drinkwaterslib toe. Dit was niet het geval in de met drinkwaterslib behandelde plots in de Spikweien (Lommerboek) en in het Koelbroek. Het Jammerdal was de enige locatie met een permanent plas-dras waterpeil waar op het moment van bemonstering natte gereduceerde condities aanwezig waren. Onder natte condities worden ijzer(hydr)oxiden gereduceerd tot opgelost tweewaardig ijzer. Omdat calcium niet gevoelig is voor redox condities was op alle locaties wel duidelijk een verhoging in het calciumgehalte van het porievocht meetbaar in de met drinkwaterslib behandelde plots.

Fosfaat bindt sterk aan ijzer(hydr)oxiden en aan calcium. Op alle locaties nam door het toedienen van drinkwaterslib de concentratie fosfor in het porievocht daarom sterk af ten opzichte van de controle situatie. Toedienen van drinkwaterslib leidde in alle drie onderzochte gebieden tot een sterke toename van de concentratie Ca^{2+} , CO_2 en HCO_3^- in het porievocht. In het Jammerdal, waar permanent natte condities heersten, kan ook de anaerobe afbraak van organisch stof met behulp van geoxideerd ijzer hieraan hebben bijgedragen. De metingen laten echter geen duidelijke toename in de stikstofbeschikbaarheid zien. In de kalkarme licht zure bodem in de Spikweien leidde toediening van drinkwaterslib tot een verlaging van de aluminiumbeschikbaarheid in het bodemvocht door de vorming van aluminium(hydr)oxiden onder invloed van een verhoogde pH (figuur 6.7).



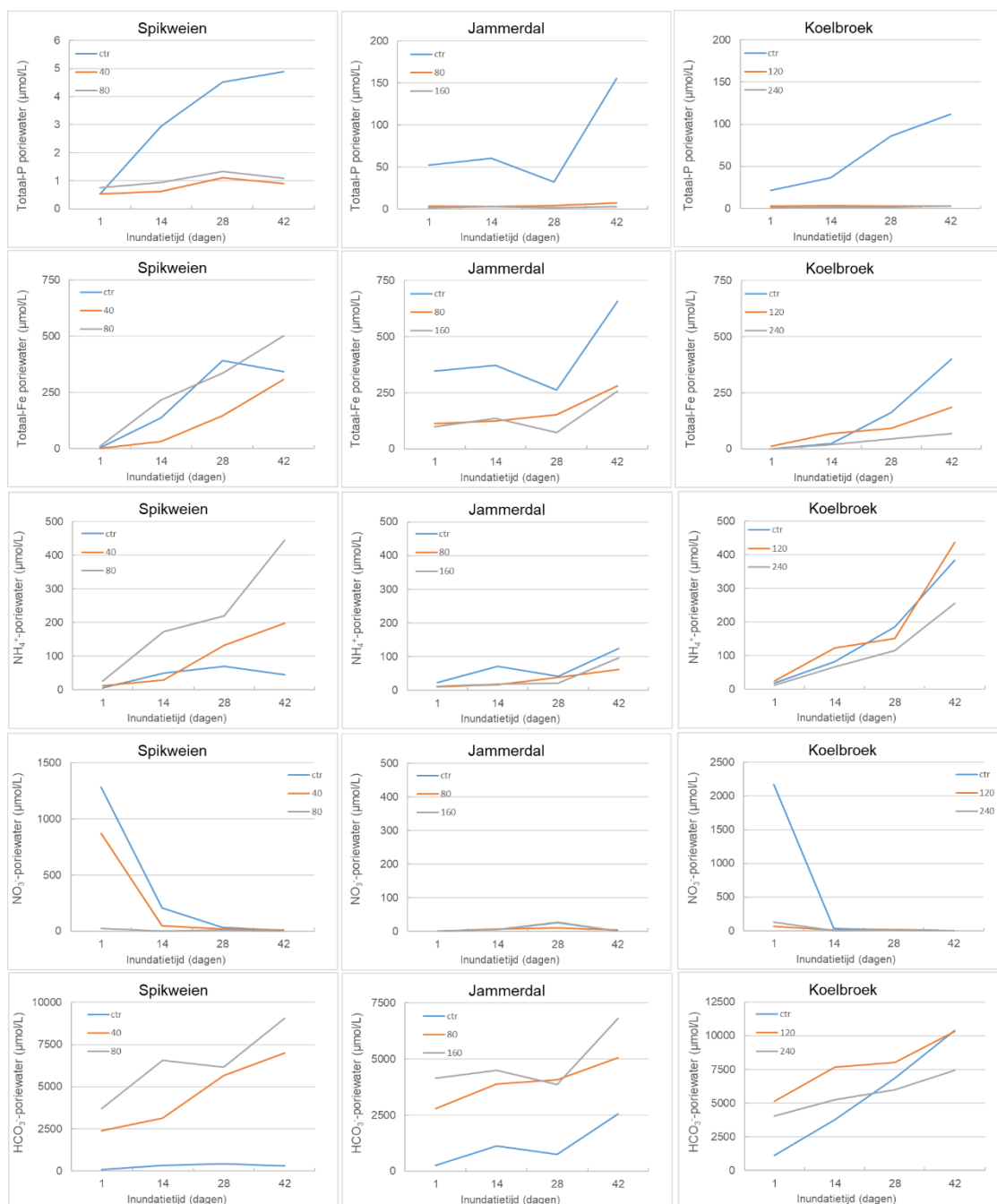
Figuur 6.6 Vochtgehalte (%), bodemdichtheid (Kg DW/L) en totale concentratie aan elementen (mmol/L) in de toplaag van de bodem (0-10 cm) in een situatie met (twee doseringen) en zonder toediening van ijzerslib. De hoeveelheid slib die in de experimenten is toegediend staat per gebied vermeld op de X-as (liter steekvast slib per 4 m²).

Moisture content (%), soil density (kg dry weight/L) and total concentrations (mmol/L) in the topsoil (0-10 cm) of the plots with and without application of drinking water treatment sludge. The amount of sludge applied in the experiments is indicated on the X-axis (litre per 4 m²).



Figuur 6.7: Chemische samenstelling van het porievocht in de bodem toplaag in een situatie met (twee doseringen) en zonder toediening van ijzerslib. Elementen waar ijzerslib geen effect op had worden niet getoond. De hoeveelheid slib die in de experimenten is toegediend staat per gebied vermeld op de X-as (liter steekvast slib per 4 m²).

Chemical composition of the topsoil (0-10 cm) of the plots with and without application of drinking water treatment sludge. The amount of sludge applied in the experiments is indicated on the X-axis (litre per 4 m²).



Figuur 6.8: Effecten van zes weken vernatting van bodems uit de plots behandeld met drie doseringen drinkwaterslib (controle, laag en hoog).

Effect of inundation during a 6-week period on the amount of nutrients and iron in the pore water of the plots without (ctr) and with a low or high dosage of sludge applied.

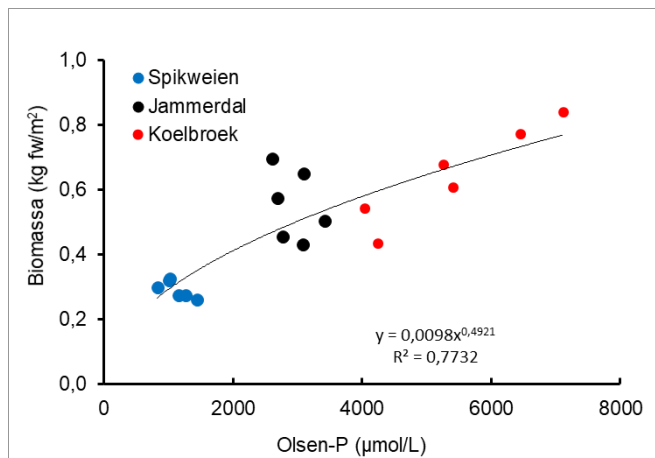
6.4.4. Effect van inundatie

Het effect van inundatie van de met drinkwaterslib behandelde bodem uit de plots, nagebootst onder laboratoriumcondities, wordt gegeven in figuur 6.8. Hieruit blijkt dat door vernatten anaerobe afbraakprocessen gaan optreden in de bodems. Bij de afbraak van organisch materiaal worden in plaats van zuurstof alternatieve elektronenacceptoren gebruikt, waaronder nitraat, driewaardig ijzer, sulfaat en kooldioxide. Bij dit proces wordt bicarbonaat gevormd en komen nutriënten vrij onder vorming van stikstofgas, gereduceerd ijzer, sulfide en/of methaan. Ook geoxideerd ijzer afkomstig van ijzer-fosfaatcomplexen kan worden gereduceerd waarbij het fosfaat gemobiliseerd wordt. Door deze processen neemt de

concentratie nitraat na vernatten direct af, terwijl de concentratie gereduceerd ijzer toeneemt. Doordat het ijzer afkomstig uit het drinkwaterslib ook dienst kan doen als alternatieve elektronacceptor neemt de anaerobe decompositie toe zoals blijkt uit de relatief sterker toegenomen concentratie gereduceerd ijzer, bicarbonaat en ammonium. Door vernatting in het Jammerdal en het Koelbroek neemt door reductie van ijzer-fosfaatcomplexen de fosfaatconcentratie toe tot boven de 100 µM. Door het toedienen van een overmaat aan geoxideerd ijzer in het drinkwaterslib blijft de concentratie fosfaat in het bodemvocht laag gedurende minimaal 6 weken.

6.4.5. Ontwikkeling vegetatie, mossen en fungi

De bovengrondse biomassa was het laagst in het Jammerdal en het hoogst in het Koelbroek. De biomassa correleerde het beste met de concentratie Olsen-P in de bodem. In het Koelbroek, met de hoogste concentratie Olsen-P, leidde toedienen van drinkwaterslib tot een lineaire afname van de concentratie Olsen-P en bovengrondse biomassa (figuur 6.9).



Figuur 6.9: Verband concentratie Olsen-P en bovengrondse biomassa van de vegetatie in de plots.

Relation between Olsen-P concentration in the soil and biomass of vegetation in the plots.

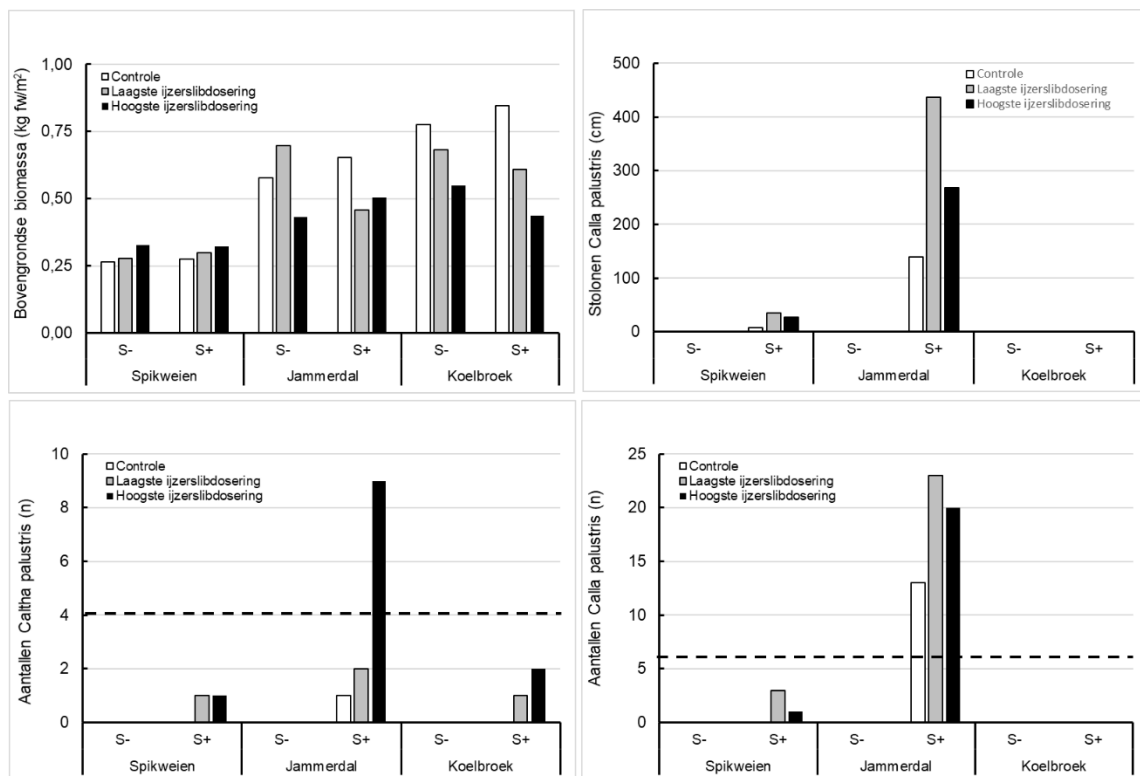
De samenstelling en bedekkingen van bomen, mossen, fungi en kruiden in mei 2018, twee jaar na inzet van het experiment, is gegeven in tabel 6.4. De bovengrondse biomassa en de ontwikkeling van aangebrachte doelsoorten (slangwortel en dotterbloem) zijn gegeven in figuur 6.10. Indrukken van de plots in mei 2018 zijn als fotomateriaal gegeven in figuur 6.11.

Uit tabel 6.4 en figuur 6.8 blijkt dat in het Jammerdal, waar het grondwater permanent in het maaiveld treedt, de vegetatie zich het beste ontwikkelde met betrekking tot soorten kenmerkend voor elzenbroekbossen. De bedekking en de bovengrondse biomassa van de vegetatie nam enigszins af met toenemende dosering van drinkwaterslib. De plot met de laagste ijzerdosering, zonder toediening van maaisel, had echter een relatief hoge biomassa. Dit kwam mogelijk door de lokaal nattere condities met hogere fosfaatbeschikbaarheid waardoor ook meer ontwikkeling van klein kroos plaatsvond. De hoogste dosering drinkwaterslib, in combinatie met aanbrengen van maaisel, leverde de fraaiste vegetatie op na twee jaar (figuur 6.10). De bedekkingen van pitrus en ruw beemdgras namen af met toenemende dosering drinkwaterslib. De bedekking van hoge cyperzegge, ijle zegge en lidrus namen duidelijk toe met toenemende dosering. De hoge cyperzegge en de ijle zegge hebben waarschijnlijk kunnen ontwikkelen uit het aangebrachte maaisel. De doelsoorten slangenwortel en dotterbloem ontwikkelden zich het best in de permanent natte plots van het Jammerdal. Slangenwortel produceerde in het najaar 2017 veel biomassa in de vorm van stolonen, en het aantal individuen nam hierna sterk toe. Dit was met name het geval in beide met drinkwaterslib behandelde plots. Dotterbloem kon zich handhaven maar bleek enkel te zijn gekiemd en uitgebreid in de plot met de hoogste dosering aan drinkwaterslib. Beiden plantensoorten hebben zaden gevormd in 2018.

In de Spikweien, waar de concentratie Olsen-P al laag was en het grondwater slechts korte periode in het maaiveld trad, nam de bedekking en de bovengrondse biomassa van de vegetatie niet af met toenemende dosering van drinkwaterslib. Wel was de bedekking van

het dominerende pitrus en veldrus lager op de met drinkwaterslib behandelde plots. In het najaar 2017 produceerde slangenwortel biomassa in de vorm van stolonen (factor tien lager dan in het Jammerdal) maar dit leidde in 2018 niet tot een netto toename van het aantal individuen. Dotterbloem was ook nog aanwezig maar afgenomen in aantal. De individuen van dotterbloem en slangenwortel waren relatief klein. Gewoon veenmos ontwikkelde zich goed in alle plots waar maaisel was aangebracht. In de met drinkwaterslib behandelde plots waar geen maaisel was aangebracht geldt dit voor parapluutjesmos.

In het Koelbroek, waar de concentratie Olsen-P zeer hoog was en het grondwater nooit in het maaiveld trad, bleef de totale bedekking van de vegetatie onveranderd hoog na toediening van drinkwaterslib. Ruw beemdgras domineerde in alle plots. Echter, de bovengrondse biomassa en de bedekking grote brandnetel namen af met toenemende dosering van drinkwaterslib. In het najaar 2017 produceerde slangenwortel geen stolonen en in 2018 werd de soort niet meer teruggevonden. Dotterbloem was nog aanwezig maar was afgenomen in aantal.



Figuur 6.10: Kenmerken van de vegetatie in de plots waaronder bovengrondse biomassa (mei 2018), lengte van stolonen van slangenwortel (juli 2017) en aantallen slangenwortel en dotterbloem (mei 2018). De stippellijnen geven de aantallen gepote individuen.
 Above-ground biomass (upper left), total length of stolons of *Calla palustris* (water arum, upper right), number of plants of *Calla palustris* (marsh marigold, lower right) and number of plants of *Calla palustris* (lower left) in plots where a small number of these species were planted (S+) at the beginning of the experiment. Dotted lines give the initial number of plants.

Tabel 6.4: Samenstelling en bedekking van bomen, mossen, fungi en kruiden in mei 2018 (twee jaar na start) in de plots (4 m²) behandeld met steekvast drinkwaterslib (0, 40, 80, 120, 160 of 240 L). Opnamen (door Emiel Brouwer) volgens Braun-Blanquet aangepast door Doing & Segal. (R = rare, + = hier en daar 1 = veel, 2m = zeer veel (alles <5% bedekking). 2a = 5-12,5%, 2b = 12,5-25%, 3 = 25-50%, 4 = 50-75%, 5 = 75-100%). M=- zonder aanbrengen van maaisel en planten; M+= met aanbrengen van maaisel en planten; t= typische broekbossoort. In zwart worden soorten aangegeven waarvan de bedekking af- of toeneemt met toenemende dosering drinkwaterslib.

Species composition of the plots two years after application of drinking water treatment sludge. Cover and abundance of species is indicated in a Braun-Blanquet scale adopted by Doing & Segal: R = rare, + = some, 1 = many, 2m = very abundant (for plant species with <5% cover); 2a = 5-12,5%, 2b = 12,5-25%, 3 = 25-50%, 4 = 50-75% and 5 = 75-100% cover (for other plant species).

Tabel nummer	1	2	5	3	6	4	12	7	10	8	11	9	13	14	15	16	18	17	
Bedekking totaal (%)	80	80	80	80	90	80	80	85	75	75	70	75	95	95	95	95	95	95	
Bedekking boomlaag (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	60	70	60	70	70	
	Spikwelen 1: 0/M-	Spikwelen 2: 0/M+	Spikwelen 5: 40/M-	Spikwelen 3: 40/M+	Spikwelen 6: 80/M-	Spikwelen 4: 80/M+	Jammerdal 6: 0/M-	Jammerdal 1: 0/M+	Jammerdal 4: 80/M-	Jammerdal 2: 80/M+	Jammerdal 5: 160/M-	Jammerdal 3: 160/M+	Koelbroek 1: 0/M-	Koelbroek 2: 0/M+	Koelbroek 3: 120/M-	Koelbroek 4: 120/M+	Koelbroek 6: 240/M-	Koelbroek 5: 240/M+	
Bomen																			
Alnus glutinosa													4	4	4	4	4	4	
Alnus glutinosa	jl	r	+	+	+	+	2a		r	r	r	r						Zwarte els	
Alnus glutinosa	zl												+				+	Zwarte els	
Salix cinerea														+				Grauwe en Rossige wilg	
Salix cinerea	jl	1	2a	+	+	+	+											Grauwe en Rossige wilg	
Salix cinerea	zl							r	r	r								Grauwe en Rossige wilg	
Salix alba													2a					Schietwilg	
Salix alba	jl		r	r	r	r	r											Schietwilg	
Betula species	jl	2m	r	2a	+	2a	1											Berk (G)	
Prunus avium	jl		r															Zoete kers	
Pinus sylvestris	jl			r		r	r											Grove den	
Sorbus aucuparia	jl					r												Wilde lijsterbes	
Acer species	zl								r									Esdoorn (G)	
Quercus robur	zl														r			Zomereik	
Prunus avium	zl																r	Zoete kers	
Mossen																			
Atrichum undulatum		r																	Groot rimpelmos
Bryum bicolor		2a	2a	2m	2m	2m													Grofkorrelknikmos
Ceratodon purpureus		2a	2a	+	2a	+													Gewoon purpersteeltje
Riccardia incurvata		1	1																Hol moerasvorkje
Brachythecium rutabulum					1	1	2a	2m	+	1	+	+	2a	2a	2a	2a	2b	2a	Gewoon dikkopmos
Dicranum scoparium			r		+														Gewoon gaffeltandmos
Hypnum jutlandicum			+																Heideklauwtjesmos
Physcomitrium pyriforme			1				2a		1	2m	1	1						+	Gewoon knikkertjesmos
Sphagnum palustre			2m		2a		2a												Gewoon veenmos
Marchantia polymorpha			+	3	1	4	2m			+	+	+							Parapluitjesmos
Polytrichum commune					r														Gewoon haarmos
Barbula convoluta					2m	2m	1	2a										r	Gewoon smaragdsteeltje
Bryum argenteum						+													Zilvermos
Funaria hygrometrica					2m	1				1		+							Gewoon krulmos
Calliergonella cuspidata							2a	4		2m	r								Gewoon puntmos
Cratoneuron filicinum									r										Gewoon diknerfmos
Eurhynchium praelongum															+	+	1		Fijn laddermos
Fungi																			
Mycena acicula																		r	Oranje dwergmycena
Mycena speirea																		r	Kleine breedplaatmycena
Calyptella capula s.l.													r						Calyptella capula s.l.
Rutstroemia conformata													r	r	r	r			Elzestromakelkje
Laccaria tortilis				r															Gekroesde popzwam

Tabel 6.4: vervolg

Tabel nummer	1	2	5	3	6	4	12	7	10	8	11	9	13	14	15	16	18	17	Typische broeksoort		
Bedekking totaal (%)	80	80	80	80	90	80	80	85	75	75	70	75	95	95	95	95	95	95			
Bedekking boomlaag (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70	60	70	60	70	70			
Kruiden																					
Carex ovalis		+				r														Hazenzegge	
Epilobium ciliatum		r	r		r	+	+	1	+	r	+	r								Beklierde basterdwederik	
Epilobium parviflorum		+	+	+	+	+	+	+	+	1	r	+	r				r	r		Viltige basterdwederik	
Glyceria fluitans		r	+																	Mannagras	
Juncus acutiflorus		1	1	+	+	+	+													Veldrus	
Juncus articulatus		r	r	+	1	2m		2a		+	+									Zomprus	
Juncus bufonius		+																		Greppelrus	
Juncus effusus		3	4	2b	3	2b	3	1	2b	r	2a	r								Pitrus	
Lotus pedunculatus		+	+	r	r	+	r					r	+							Moerasrolklaver	
Lychnis flos-cuculi		r		r	r															Echte koekeksbloem	
Lythrum salicaria		r		r	r	r		r						r	r				+	Grote kattenstaart	
Ranunculus repens		1	2m	2a	2a	2m	+	1		+										Kruipende boterbloem	
Isolepis setacea		r						r												Borstelbies	
Senecio jacobaea		r				r														Jakobskruiskruid s.l.	
Taraxacum species		+	r		r															Paardenbloem (G)	
Carex pseudocyperus	t		r			+				+	2a									Hoge cyperzegge	
Iris pseudacorus	t		+			+		r			r									Gele lis	
Juncus bulbosus		r				r	+													Knolrus	
Calla palustris	t				r	+		+		+	+									Slangenwortel	
Carex remota	t				+	+				2a	3									IJle zegge	
Cirsium arvense				r	r															Akkerdistel	
Poa annua				r	r	+	+					+								Straatgras	
Poa trivialis					+	+		2b	2a	1	1	2a	1	4	5	5	5	5	5	Ruw beemdgras	
Vulpia myuros				r	r	+														Gewoon langbaardgras	
Caltha palustris	t				r	r	r	r	r	r	+										Dotterbloem
Achillea millefolium						r														Gewoon duizendblad	
Agrostis stolonifera						r		+	+											Fioringras	
Calamagrostis epigejos						r														Duinriet	
Carex oederi s. oedocarpa						+														Geelgroene zegge	
Lysimachia vulgaris	t					+		+	r	+							r			Grote wederik	
Rumex crispus				r		r														Krulzuring	
Urtica dioica						r								2b	2a	2a	1	+	+	Grote brandnetel	
Cirsium palustre				r				r		r										Kale jonker	
Equisetum arvense				r																Heermoes	
Eupatorium cannabinum				r						+	r	+								Koninginnenkruid	
Stellaria uliginosa				r																Moerasmuur	
Juncus conglomeratus						r		2a	1	1	r	+	+							Biezenknoppen	
Angelica sylvestris	t							+												Gewone engelwortel	
Cardamine pratensis	t							r	r	r	r	+								Pinksterbloem	
Equisetum palustre	t							1	+	2a	r	2a	+							Lidrus	
Holcus lanatus								1	+	2m										+	Gestreepte witbol
Hypericum tetrapterum								r		r										Gevleugeld hertshooi	
Lemna minor								+	4	+	1	2m								Klein kroos	
Mentha aquatica	t							r	+	+	+									Watermunt	
Phragmites australis								2a	+	r	+	+								Riet	
Solanum dulcamara								+												Bitterzoet	
Sparganium erectum								2a	2a	+	r									Grote en Blonde egelskop	
Typha angustifolia								r		+	+	+								Kleine lisdodde	
Lycopus europaeus										+	+	+								Wolfspoot	
Persicaria hydropiper										+	r	+	r							Waterpeper	
Rumex obtusifolius											r									Ridderzuring	
Scirpus sylvaticus	t							3			1	3	+							Bosbies	
Calystegia sepium								r	r	r	r	r								Haagwinde	
Ranunculus sceleratus										+		r								Blaartrekkende boterbloem	
Alisma plantago-aquatica										r										Grote waterweegbree	
Carex acutiformis	t										r									Moeraszegge	
Alopecurus geniculatus								+												Geknikte vossenstaart	
Cardamine pratensis	jl	t											+	+	2m					2m	Pinksterbloem
Galium aparine													1	+	+		+			r	Kleefkruid
Galeopsis tetrahit																				r	Gewone hennepnetel
Humulus lupulus	zl																			r	Hop
Rubus fruticosus ag.																				r	Gewone braam
Rumex species																				r	Zuring (G)



Figuur 6.11: De ontwikkeling van de vegetatie in de plots. De foto meest linksonder (met naam van de locatie) geeft telkens de controle situatie weer terwijl de overige foto's impressies van de behandelingen met drinkwaterslib zijn.

Vegetation development in the plots two years after the start of the experiment. To the left controls, to the right plots where sludge is applied.

6.5 Conclusies

- Bodemanalyses in het veldexperiment tonen dat door toedienen van drinkwaterslib de concentratie Ca^{2+} , CO_2 en HCO_3^- in het bodemvocht toeneemt terwijl de concentratie fosfaat in het bodemvocht sterk afneemt. In zwak gebufferde zwak zure bodems, zoals in de Spikweien, neemt ook de concentratie aluminium in het bodemvocht af.
- De inundatieproef in het laboratorium toont dat door toedienen van drinkwaterslib er geen sterk verhoogde mobilisatie van fosfaat optreedt in het bodemvocht gedurende tenminste de eerste zes weken. Het fosfaat komt vrij door reductie van ijzer-fosfaatcomplexen onder anaerobe condities.
- De veldexperimenten tonen dat door het toedienen van drinkwaterslib de bovengrondse biomassa van relatief snelgroeende woekerende soorten wordt geremd waaronder pitrus en veldrus (Spikweien in het Lommerbroek), brandnetel (Koelbroek) en pitrus en ruw beemdgras (Jammerdal). Hierdoor is er meer ruimte en licht voor ontwikkeling van andere plantensoorten. Toedienen van maaisel en introductie van planten kan leiden tot een verdere toename in de diversiteit van de doelvegetatie.
- De veldexperimenten indiceren dat drinkwaterslib enkel een noemenswaardig verlagend effect heeft op de bedekking indien de bodem niet extreem fosfaatrijk is (Olsen-P \ll 3000 $\mu\text{mol/L}$). In het Koelbroek (Olsen-P $>$ 6000 $\mu\text{mol/L}$) trad geen afname in totale bedekking van woekerende plantensoorten op door toediening van drinkwaterslib.
- In de met drinkwaterslib behandelde plots in de Spikweien (Lommerbroek), waar het grondwater slechts beperkt in het maaiveld treedt, ging de afname in bovengrondse biomassa gepaard met een toename in de bedekking van parapluutjesmos of, in geval van maaisel toedienen, met een toename in gewoon veenmos
- Enkel in het geval van de juiste hydrologische condities waarbij het grondwater langdurig in het maaiveld treedt, zoals in het Jammerdal, kunnen plantensoorten kenmerkend voor elzenbroekbossen ontwikkelen en uitbreiden waaronder zeggensoorten, slangenwortel en dotterbloem.
- Drinkwaterslib zal met name succesvol zijn in ontwikkeling van elzenbroekbossen op voormalige niet te rijke landbouwbodems die door peilopzet in de omgeving en/of ontgronden voldoende vernat zijn. Ontgronden draagt ook bij aan het verlagen van de concentratie plantenbeschikbaar fosfaat en daarmee de kans op succes tot verder verschromen van de vegetatie met drinkwaterslib.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Conclusies en aanbevelingen op basis uitgevoerde onderzoek

Nutriëntenbeperking in broekbossen

- Het fosfaatgehalte en de fosfaatverzadiging van de bodem lijken in de onderzochte broekbossen het meest bepalend te zijn voor de productiviteit en het gehalte aan nutriënten in de vegetatie.
- De N:P verhouding in de bladeren van de boomsoorten is in de meeste broekbossen relatief hoog (gemiddeld ca 20) en wijst op fosforlimitatie. De N:P verhoudingen in de ondergroei liggen gemiddeld genomen veel lager (ca 12) en wijzen op stikstoflimitatie.
- De relatief hoge N:P ratio in de els zou verklaard kunnen worden uit het feit dat els in staat is stikstof te binden. Waarom ook in de andere boomsoorten de N:P ratio's gemiddeld hoger liggen dan in de ondergroei is echter niet duidelijk.
- De lage N:P ratio's in de ondergroei lijken op eerste gezicht strijdig met de voorgaande conclusie dat productiviteit en het gehalte aan nutriënten in de vegetatie worden bepaald door de fosfaatverzadiging van de bodem. Bij interpretatie van nutriëntengehalten in het gewas is het echter belangrijk dat niet alleen wordt gekeken naar de verhoudingen tussen nutriënten in het gewas, maar ook naar de productiviteit en de absolute gehalten aan nutriënten in het gewas, waarbij fosfor sturend is.
- De lage N:P ratio's in de ondergroei geven aan dat groei op korte termijn (binnen een groeiseizoen) wordt beperkt door de beschikbaarheid van stikstof. Dat wil echter niet zeggen dat de ondergroei niet profiteert van de grotere voedselbeschikbaarheid en productiviteit van fosfaatrijke standplaatsen. Juist het feit dat er sprake is van stikstoflimitatie bij een hoge beschikbaarheid van fosfor, leidt ertoe dat de ondergroei sterk reageert op de input van stikstof als gevolg van atmosferische depositie en stikstofbinding door de Elzen. Die leidt ertoe dat niet alleen de productiviteit toeneemt maar ook de absolute stikstofgehalten in de bladeren hoger zijn dan op voedselarme fosfaatarme standplaatsen.
- De resultaten wijzen erop dat er een optimum is voor de P-beschikbaarheid in goed ontwikkelde elzenbroekbossen, waarbij lage P-beschikbaarheid leidt tot de ontwikkeling naar veenmosrijk berkenbroek, en hoge P-beschikbaarheid (met als gevolg een sterke N-limitatie) leidt tot een ruige en soortenarme ondergroei.

Mogelijkheden voor ontwikkeling op voormalige landbouwgronden

- Het is niet gelukt om goed ontwikkelde broekbossen te vinden op voormalige landbouwgronden. Dat wordt echter vooral bepaald door de geringe leeftijd van de meeste broekbossen op voormalige landbouwgrond én door het feit dat veel beoogde broekbossen liggen op plekken die te droog zijn voor goed ontwikkelde alluviale broekbossen.
- Waar de hydrologische omstandigheden wél geschikt zijn voor alluviale broekbossen (nat, kwelgevoed) lijkt het goed mogelijk om soortenrijke broekbossen te ontwikkelen. Voorwaarde is dan echter wel dat vooraf de fosfaatrijke bovengrond wordt verwijderd. In de meeste agrarisch gebruikte weilanden en akkers is de fosfaatbeschikbaarheid te groot om op redelijke termijn goed ontwikkelde broekbossen te kunnen ontwikkelen.
- Waar na afgraving de fosfaatverzadiging nog steeds te groot is voor optimale ontwikkeling, of waar afgraving ongewenst is in verband met drainerende werking op

de omgeving, kan toediening van ijzerkalkslib afkomstig uit spoelwater van drinkwaterwaterzuiveringen gebruikt worden om de fosfaatbeschikbaarheid te verlagen. Hierdoor neemt de open ruimte toe en daarmee de mogelijkheid voor ontwikkeling van doelsoorten. Dat kan echter alleen in situaties waarin de fosfaatverzadiging niet té ver boven de optimale waarde voor broekbosontwikkeling ligt. Ontwikkeling tot elzenbroek, met ontwikkeling van doelsoorten op de met drinkwaterslib teweeggebrachte open plekken, zal m.n. succesvol zijn als er soorten aanwezig zijn (voormalig landbouwgrond aangrenzend aan goed ontwikkeld elzenboek) of geïntroduceerd worden via maaisel.

Effecten van overstroming

- Overstroomde broekbossen zijn gemiddeld genomen voedselrijker dan niet overstroomde broekbossen en in de ondergroei komen meer ruigtesoorten voor.
- De mate van eutrofiering verschilt sterk tussen de locaties en lijkt vooral samen te hangen met de frequentie van overstroming en de mate van afzetting van slib. Waarschijnlijk is het vooral de aanvoer van fosfor met beekslib die zorgt voor de toename van de productiviteit.
- Meer duidelijkheid over de eutrofiërende werking van beekslib en over kritische waarden voor aanvoer van nutriënten met slib kan hopelijk worden verkregen uit het experiment met de toediening van beekslib dat eind 2018 zal worden ingezet
- Gezien de eutrofiërende werking van overstroming dient terughoudend te worden omgegaan met de inzet van bestaande goed ontwikkelde broekbossen voor waterberging of de inlaat van oppervlaktewater als anti-verdrogingsmaatregel.
- Bij ontwikkeling van nieuwe broekbossen in waterbergingsgebieden zijn er wel mogelijkheden voor wat ruigere vormen van broekbos, mits er sprake is van natte kwelgevoede omstandigheden. Op plekken die slechts incidenteel onder water staan leidt overstroming vaak tot verruiging met brandnetel. Op natte plekken die alleen in de zomer kortstondig droogvallen is verruiging minder en kunnen zich ook in beperkte mate voor broekbossen kenmerkende soorten vestigen.

Bepalende factoren voor soortensamenstelling macrofauna

- Aanwezigheid van droogvallende locaties en een voldoende open vegetatiestructuur lijken bepalende factoren voor de samenstelling van de fauna.
- Aanwezigheid van droogvallend locaties is vooral van belang voor de aquatische fauna. Een afwisseling van geïndeerd in de winter en gedeeltelijk droogvallend in de zomer lijkt de optimale situatie voor de broekbosfauna. Zowel te nat (permanent geïndeerd) als te droog (water permanent of vrijwel permanent onder maaiveld) werken negatief door op de levensgemeenschappen van broekbossen en leiden tot het verdwijnen van voor moerassen en natte bossen kenmerkende soorten.
- De semi-terrestrische fauna lijkt negatief te worden beïnvloed door een dichte kruidlaag. Een groot deel van de aangetroffen soorten preferereert open plekken met een kale bodem. Indirect bestaat hier ook een relatie met de hydrologie, omdat aanwezigheid van natte droogvallende plekken bevorderlijk is voor een meer open vegetatiestructuur.

7.2 Beantwoording gestelde vragen

Bij de uitvraag voor het onderzoek zijn door het OBN een aantal vragen gesteld waarop het uitgevoerde onderzoek idealiter antwoord zou dienen te geven. In het volgende wordt aangegeven in hoeverre het gelukt is om de vragen te beantwoorden.

1. *Hoe kunnen vernattingsmaatregelen bij ontwikkeling van broekbossen in beekdalen het beste worden uitgevoerd en is het verwijderen van de voedselrijke toplaag daarbij een noodzakelijke herstelmaatregel?*
 - In een eerder onderzoek (Runhaar et al. 2013) is al veel aandacht besteed aan de hydrologische voorwaarden voor goed ontwikkelde broekbossen en de

mogelijkheden om de geschikte hydrologische condities te herstellen of ontwikkelen. Daaruit komt naar voren dat natte kwelgevoede condities een belangrijke voorwaarde vormen voor de ontwikkeling van soortenrijke broekbossen.

- Bij ontwikkeling van broekbossen op voormalige landbouwgrond is verwijderen van de voedselrijke toplaag vrijwel altijd een voorwaarde voor de ontwikkeling van goed ontwikkeld broekbossen. Afgraven van de bovengrond kan bovendien bijdragen aan het ontstaan van de gewenste hydrologische condities. Daarbij dient er uiteraard wel op te worden gelet dat verlaging van het maaiveld niet leidt tot ongewenste drainage van aangrenzend natte natuur.
2. *Welke nutriënten zijn limiterend voor de groei van karakteristieke plantensoorten in broekbossen en bestaan er verschillen tussen locaties met een verschillend hydrologisch regime (bv. kwelplek versus regelmatig droogvallende plek, wel of niet overstroomd)?*
- Zowel uit het veldonderzoek als uit de veldexperimenten met toediening drinkwaterslib blijkt dat de fosfaatverzadiging van de bodem het meest bepalend is voor de productiviteit van de vegetatie en de aanwezigheid van voor broekbossen kenmerkende plantensoorten.
 - De in de ondergroei aanwezige soorten worden in hun groei beperkt door stikstof. Maar omdat de (Nederlandse) broekbossen stikstofrijk zijn (o.a. door N-fixatie door elzen) en het stikstofaanbod ook weer samenhangt met de fosfaatverzadiging van de bodem is ook voor de ondergroei de fosfaatverzadiging van de bodem de meest bepalende factor.
 - Regelmatig overstroomde broekbossen hebben gemiddeld genomen een hogere fosfaatverzadiging en een ruigere vegetatie dan niet overstroomde broekbossen. Dit lijkt vooral samen te hangen met de aanvoer van fosfor met beekslib.
 - In hoeverre grondwaterregime en kwel van invloed zijn op de nutriëntenhuishouding is niet onderzocht omdat het onderzoek zich heeft gericht op broekbossen die worden gekenmerkt door optimale hydrologische omstandigheden (nat, kwelgevoed).
 - Met experimenteel onderzoek kan worden nagegaan welke veranderingen in de nutriëntenhuishouding te verwachten zijn in drogere en/of regenwatergevoede condities. De relevantie van dergelijk onderzoek is echter beperkt omdat bij niet optimale hydrologische omstandigheden ook los van de nutriëntenhuishouding de mogelijkheden voor broekbosontwikkeling gering zijn.
3. *In hoeverre stuurt de vegetatiesamenstelling van een broekbos de soortensamenstelling van de fauna?*
- Voor de onderzochte terrestrische fauna is vooral de openheid van de vegetatie een belangrijke factor. De openheid van de vegetatie hangt op haar beurt weer samen met de voedselrijkdom (fosfaatverzadiging) en de natheid van de locatie.
4. *Welk hydrologisch regime (in termen van inundatiefrequentie, timing en duur) leidt tot de gewenste diversiteit aan soorten (vegetatie en fauna) in te ontwikkelen broekbossen?*
- In de eerdere studie door Runhaar et al. (2013) is aangegeven dat de aanwezigheid van ondiepe droogvallend wateren een belangrijk kenmerk is van goed ontwikkeld broekbossen. Deze studie bevestigt het belang van droogvallende natte delen voor een aquatische macrofauna die broekbossen onderscheidt van andere bossen.
 - Op basis van het nu uitgevoerde vergelijkende onderzoek is het niet mogelijk aan te geven wat de optimale inundatiedynamiek is. Om te bepalen welke combinaties van inundatiefrequentie, timing en duur leiden tot de hoogste diversiteit aan soorten kan het beste gebruik worden gemaakt van experimenteel onderzoek, waarbij het inundatieregime wordt gevarieerd onder overigens gelijkblijvende omstandigheden.

5. *Wat zijn de effecten van overstroming met beekwater op broekbossen, en welke eisen kunnen in verband daarmee worden gesteld aan oppervlaktewaterkwaliteit (inclusief sediment)?*
- Regelmatig overstroomde broekbossen hebben gemiddeld genomen een hogere fosfaatverzadiging en een ruigere vegetatie dan niet overstroomde broekbossen. Dit lijkt vooral samen te hangen met de aanvoer van fosfor met beekslib.
 - Omdat fosfaataanvoer naar verwachting vooral plaatsvindt middels beekslib is het meest logische om eisen te stellen aan de hoeveelheid fosfor die jaarlijks met beekslib mag worden aangevoerd.
 - Het lopende experiment met aanbrengen van beekslib in broekbossen kan hopelijk een antwoord geven op de vraag wat de kritische waarden zijn voor aanvoer van fosfor met beekslib.

8 Referenties

- Chardon, W.J. 2009. Mogelijkheden voor immobiliseren van bodemfosfaat in het kader van natuurontwikkeling. Rapport 1870. Wageningen. Alterra.
- Ekblad A. & Huss-Daxell K. (1995). Nitrogen fixation by *Alnus incana* and nitrogen transfer from *A. incana* to *Pinus sylvestris* influenced by macronutrients and ectomycorrhizal. *New Phytologist* 131, 453-459.
- Güsewell S., Koerselman, W. & Verhoeven J.T.A. (2003) Biomass N:P ratios as indicators of nutrient limitations for plant population in wetlands. *Ecological Applications*, 13: 372–384.
- Güsewell S. & Koerselman (2002). Variation in nitrogen and phosphorus concentrations of wetland plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 5: 37–61
- Güsewell S. (2004). N : P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytologist* 164: 243–266 .
- Lucassen E.C.H.E.T., Smolders A.J.P., Boedeltje G., Van den Munckhof P.J.J. & J.G.M. Roelofs, 2006. Groundwater input affecting plant distribution by controlling ammonium and iron availability. *Journal of Vegetation Science* 17: 425-434.
- Olde Venterink H., Wassen M.J., Verkroost A.W.M. & Ruiter de P.C. de (2013) Species richness-productivity patterns differs between N-, P- and K-limited wetlands. *Ecology*, 84: 2191–2199.
- Pilotprogramma Waterberging-Natuur, 2008b. Onderzoek aan waterberging en natuur in een jong kleibos. Achtergrondrapport Harderbos. S. Stuijtzand (red), R. van Ek (red), H. van Manen, P. Hommel, R. de Waal, J. van der Pol, J. Daling, T. Pelsma, E. Belien, A. Olsthoorn, U. SassKlaassen, J. den Ouden, M. Kuijper, S. van Rooij, S. Stuijtzand. RWS Waterdienst rapport nr. 2007.015, Alterra rapport nr. 1630, ISBN 978-90-369-1420-8.
- Rodrigues-Barrueco C., Miguel C & Subramaniam P. (1984). Seasonal fluctuations of the mineral concentration of alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) from the field. *Plant and Soil* 78, 201-208.
- Runhaar, J., W. van Landuijt, C.L.G. Groen, E.J. Weeda en F. Verloove, 2004. Herziening van de indeling in ecologische soortengroepen voor Nederland en Vlaanderen. *Gorteria* 30(1): 12-26.
- Runhaar, J. & P.C. Jansen, 2004. Overstroming en vegetatie. Vergelijkend onderzoek in 5 beekdalallocaties. Rapport 1079. Alterra, Wageningen.
- Runhaar, J., Lucassen, E.C.H.E.T., Smolders, A.J.P., Verdonschot, R.C.M. & P.W.F.M. Hommel, 2013. Herstel Broekbossen. OBN-rapport OBN169-BE. Bosschap, Driebergen.
- Runhaar, J. Smolders, A.J.P., Verdonschot, R.C.M. en M. de Haan, 2015. Plan van aanpak OBN-2015-71-BE, Ontwikkeling Broekbossen. KWR, Nieuwegein.
- Schneider, C.A., Rasband, W.S. & K.W. Eliceiri, 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* 9(7):671-675.
- Sival, F.P., Ten Beest, H., Engelbertink, R., 2010. Sedimentatie en nutriëntenaanvoer in kleine rivier- en beekdalgraslanden. Rapport 1064, Alterra, Wageningen.

Smolders, A.J.P., Lucassen, E.C.H.E.T., Van der Aalst, M., Lamers, L.P.M. & J.G.M. Roelofs (2008) Decreasing the abundance of *Juncus effusus* on former agricultural lands with noncalcareous sandy soils: possible effects of liming and soil removal. *Restoration Ecology* 16 (2): 240-248.

Wassen, M. J., Olde Venterink H. G. M. & De Swart E. O. A. M. (1995). Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 6:5-16.

Witte, J.P.M. & J. Runhaar, 2007. Indicator values of the Dutch flora. Electronic Appendix to Witte et al. (2007).

Witte, J.P.M., R. Wójcik, P.J.J.F. Torfs, M.W.H. de Haan & S. Hennekens, 2007. Bayesian classification of vegetation types with Gaussian mixture density fitting to indicator values. *Journal of Vegetation Science*, 18: 605-612.

Wolf, R.J.A.M., A.H.F. Stortelder, R.W. de Waal, K.W. van Dort, S.M. Hennekens, P.W.F.M. Hommel, J.H.J. Schaminée & J.G. Vrieling, 2001. Ooibossen. Boscosecosystemen van Nederland Deel 2. *Natuurhistorische Bibliotheek* 68. KNNV-Uitgeverij, Utrecht.

Bijlage 1 Beschrijving locaties

In deze bijlage worden de locaties kort beschreven. Informatie wordt gegeven over:

- Ligging
- Hydrologie (kwel, overstroming) en voorgeschiedenis (landbouw, afgraving)
- Bodem
- pH zoals gemeten in het veld
- Vegetatiestructuur
- Vegetatiesamenstelling

Opn	Locatie
1	Grote Molenbeek
2	Koelbroek
3	Everlose Beek
4	Kromhurken waterberging
5	Kromhurken referentie
6	Swalmdal benedenstrooms elzenbroek
7	Swalmdal bovenstrooms wilgenbroek
8	Dubbroek
9	Ooijen-Wanssum
10	Lommerbroek Sphagnum
11	Lommerbroek Calla
12	Heuloërbroek
13	Strijper Aa elzenbroek
14	Strijper Aa wilgenbroek
15	Rosep
16	Logtse Velden
17	Vossenbroek
18	Verloren Beek
19	Kloppersblok
20	Voltherbroek
21	Holmers
22	De Heest
23	Westelbeerse Broek

1 Grote Molenbeek



Waterbergingsbroekbos in afgegraven strook langs Grote Molenbeek. Vrij sterke grondwateraanvoer gezien roest aan maaiveld in lagere delen en afstroming roestig water richting de beek, zie foto.

Bodemopbouw	
0-7 cm	zwarte zeer sterk humeuze leem
> 7 cm	zwak lemig geelgrijs fijn zand, met rond aanwezige houtresten/wortelresten oranje-rode vlekken (roest?)

pH-veld			
landdeel		in water/plas-drasdeel	
diepte	pH	diepte	pH
2 cm	6,9	2 cm	6,5
20 cm	6,8	20 cm	6,5
40 cm	6,9	35 cm	7,1
water boorgat	6,7		
water op maaiveld	6,8		



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/20
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 100
Bedekking struiklaag (%)	: 3
Bedekking kruidlaag (%)	: 50
Bedekking moslaag (%)	: 7
Bedekking strooisellaag (%)	: 50
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 12

<i>Aegopodium podagraria</i>	r	Zevenblad
<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2a	Gewoon dikkopmos
<i>Cardamine flexuosa</i>	2b	Bosveldkers
<i>Cardamine pratensis</i>	1	Pinksterbloem
<i>Carex elongata</i>	+	Elzenzegge
<i>Carex pseudocyperus</i>	+	Hoge cyperzegge
<i>Dryopteris dilatata</i>	2a	Brede stekelvaren
<i>Equisetum arvense</i>	+	Heermoes
<i>Galium palustre</i>	1	Moeraswalstro
<i>Glechoma hederacea</i>	1	Hondsdrif
<i>Humulus lupulus</i>	r	Hop
<i>Iris pseudacorus</i>	+	Gele lis
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lythrum salicaria</i>	1	Grote kattenstaart
<i>Myosotis scorpioides</i> s.l.	+	Moerasvergeet-mij-nietje s.l.
<i>Poa trivialis</i>	2b	Ruw beemdgras
<i>Ranunculus repens</i>	+	Kruipende boterbloem
<i>Ribes rubrum</i>	+	Aalbes
<i>Rubus sec. Rubus</i>	r	Zwarte braam
<i>Salix alba</i>	+	Schietwilg
<i>Salix cinerea</i>	+	Grauwe en Rossige wilg
<i>Sambucus nigra</i>	+	Gewone vlier
<i>Solanum dulcamara</i>	1	Bitterzoet
<i>Sparganium erectum</i>	r	Grote en Blonde egelskop
<i>Urtica dioica</i>	2a	Grote brandnetel

2 Koelbroek, voormalige akker



Spontaan ontstaan elzenbroekbos op ca 20 jaar geleden verlaten maisakker. Incidenteel vindt overstroming plaats vanuit de Everlose Beek.

Bodemopbouw	
0-37 cm	sterk humeus lemig donker kastanjebruin/ zwartbruin zand met wat grind
37-40 cm	grijszwarte leem
40-110 cm	leem, grijze matrix met roestvlekken
110-120 cm	grof zand met roestvlekken

pH-veld	
4 cm	6,6
20 cm	6,0
40 cm	6,0



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/06/20
X-coördinaat : 205.783000
Y-coördinaat : 377.423000
Bloknummer : 52-56-31-74
Lengte proefvlak (m) : 10.00
Breedte proefvlak (m) : 10.00
Opp. proefvlak (m²) : 100.00
Bedekking totaal (%) : 100
Bedekking boomlaag (%) : 95
Bedekking struiklaag (%) : 40
Bedekking kruidlaag (%) : 90
Bedekking moslaag (%) : 50
Hoogte (hoge) boomlaag (m) : 12
Hoogte lage boomlaag (m) : 10
Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm): 160

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Brachythecium rutabulum</i>	3	Gewoon dikkopmos
<i>Cardamine flexuosa</i>	1	Bosveldkers
<i>Dryopteris carthusiana</i>	+	Smalle stekelevaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	+	Brede stekelevaren
<i>Dryopteris filix-mas</i>	+	Mannetjesvaren
<i>Fraxinus excelsior</i>	3	Gewone es
<i>Galium aparine</i>	1	Kleefkruid
<i>Geum urbanum</i>	+	Geel nagelkruid
<i>Glechoma hederacea</i>	1	Hondsdrif
<i>Kindbergia praelonga</i>	2b	Fijn laddermos
<i>Poa trivialis</i>	2m	Ruw beemdgras
<i>Sambucus nigra</i>	r	Gewone vlier
<i>Urtica dioica</i>	5	Grote brandnetel

3 Everlose Beek



Regelmatig overstroomde Elzenbroek langs Everlose beek. De beek heeft hier een beperkte ruimte om te meanderen in een dalvormige laagte van ca. 25 m breed die meer dan 10 jaar geleden is afgegraven bij herinrichting van de beekloop. De bodem bestaat uit vosbruine vermoedelijk roestige klei, mogelijk voor een deel of geheel afgezet na vergraving van de beekloop.

Bodemopbouw

0-5 cm	bruin iets humeuze zandige klei met roestbrokjes
5-90 cm	roodbruin sterk roestige zandige klei
90-110 cm	grijze klei
110-120 cm	overgang naar grof zand met grint

pH-veld

2 cm	4.5
20 cm	5.4
95 cm	6.1
oeverslib	7.1
beekwater	7.1



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/20
Lengte proefvlak (m)	: 15.00
Breedte proefvlak (m)	: 4.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 60.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 85
Bedekking struiklaag (%)	: 8
Bedekking kruidlaag (%)	: 85
Bedekking moslaag (%)	: 3
Bedekking strooisellaag (%)	: 10
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15
Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm)	: 100

Aegopodium podagraria	r	Zevenblad
Alnus glutinosa	5	Zwarte els
Brachythecium rutabulum	2m	Gewoon dikkopmos
Cardamine pratensis	1	Pinksterbloem
Circaea lutetiana	1	Groot heksenkruid
Galium aparine	+	Kleefkruid
Glechoma hederacea	1	Hondsdrif
Poa trivialis	+	Ruw beemdgras
Rubus sec. Rubus	2a	Zwarte braam
Sambucus nigra	2a	Gewone vlier
Urtica dioica	5	Grote brandnetel

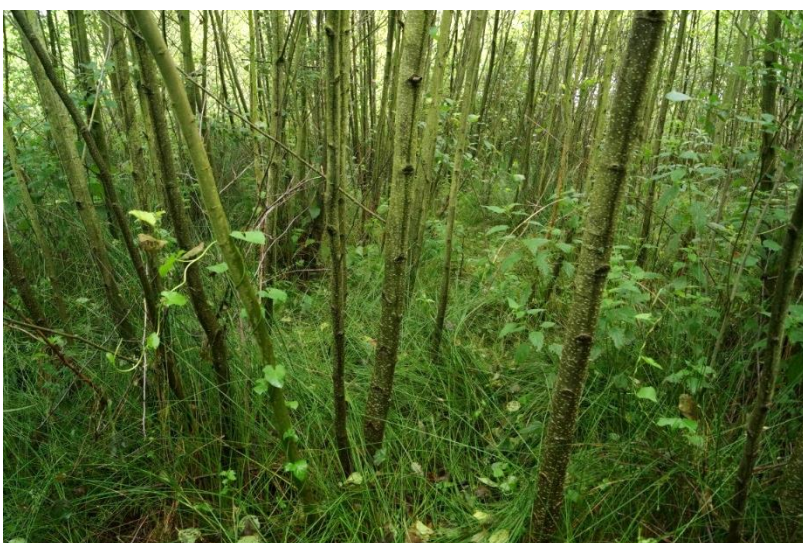
4 Kromhurken waterberging



In retentiegebied aan westzijde Keersop op afgegraven bodem. Maaiveldhoogte (29,7 m +NAP) vergelijkbaar met die in referentielocatie (locatie 5) maar door gebrek aan stijghoogtegegevens is niet na te gaan of hier kwel optreedt.

Bodemopbouw	
0-5 cm	sterk humeus kleilig matig grof zand
> 5 cm	grof zand met grind (f. van Sterksel)

pH veld	
3 cm	5,6
gw in boorgat	5,9



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/06/21
X-coördinaat : 152.725000
Y-coördinaat : 368.404000
Bloknummer : 57-23-23-74
Lengte proefvlak (m) : 15.00
Breedte proefvlak (m) : 7.00
Opp. proefvlak (m²) : 105.00
Bedekking totaal (%) : 100
Bedekking boomlaag (%) : 90
Bedekking struiklaag (%) : 15
Bedekking kruidlaag (%) : 95
Bedekking moslaag (%) : 3
Bedekking strooisellaag (%) : 5
Hoogte (hoge) boomlaag (m) : 15
Hoogte lage boomlaag (m) : 8
Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm): 100

<i>Agrostis stolonifera</i>	1	Fioringras
<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Angelica sylvestris</i>	+	Gewone engelwortel
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Cardamine flexuosa</i>	2m	Bosveldkers
<i>Cerastium fontanum s. vulgare</i>	r	Gewone hoornbloem
<i>Cirsium palustre</i>	+	Kale jonker
<i>Convolvulus sepium</i>	1	Haagwinde
<i>Epilobium tetragonum</i>	1	Kantige basterdwederik s.l.
<i>Eupatorium cannabinum</i>	+	Koninginnenkruid
<i>Galium aparine</i>	1	Kleefkruid
<i>Holcus lanatus</i>	2a	Gestreepte witbol
<i>Juncus effusus</i>	4	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	1	Fijn laddermos
<i>Lycopus europaeus</i>	1	Wolfspoot
<i>Lythrum salicaria</i>	1	Grote kattenstaart
<i>Poa trivialis</i>	2b	Ruw beemdgras
<i>Ranunculus repens</i>	2a	Kruipende boterbloem
<i>Rubus idaeus</i>	r	Framboos
<i>Rumex obtusifolius</i>	+	Ridderzuring
<i>Salix cinerea</i>	2a	Grauwe en Rossige wilg
<i>Scrophularia nodosa</i>	+	Knopig helmkruid
<i>Trifolium repens</i>	r	Witte klaver
<i>Urtica dioica</i>	3	Grote brandnetel

5 Kromhurken referentie



In gedeelte beekdal Keersop dat niet is bezand (rest van beekdal is in middeleeuwen met ca 1 m opgehoogd¹) en waarin oorspronkelijke veenlaag nog aanwezig is. Broekbos bestaat uit ruggen met onvergraven veen en daartussen deels verlande veenputten. Peilbuisgegevens ontbreken. Gezien de lage ligging en soortensamenstelling is kwel zeer waarschijnlijk. Ook veldrushoiland in oostelijker gelegen natuurontwikkelingsgebiedje wijst op kwel.

Bodemopbouw (niet verveend deel met veenmos)	
0-15 cm	onvervaard veenmosveen
15-100 cm	zeggenvveen en ongerijpt iets kleiig broekveen
> 100 cm	matig grof zand met houtresten en grind (Sterksel)



pH veld	
2 cm	4,3 in niet verveend deel
110 cm	5,4 in niet verveend deel
boorgatwater	5,6 in niet verveend deel
opp water	6,2

Vegetatie

¹ Maas, G.J., J. Runhaar, P.C. Jansen, G.H.P. Dirkx & J.G. Vrieling, 1999. Kavelruilproject Bergeijk-Keersop. Een verkennende bodemkundige en hydrologische studie. Rapport 579. Staring Centrum, Wageningen.

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/06/21
 X-coördinaat : 152.957000
 Y-coördinaat : 368.183000
 Bloknummer : 57-23-23-91
 Lengte proefvlak (m) : 20.00
 Breedte proefvlak (m) : 5.00
 Opp. proefvlak (m²) : 100.00
 Bedekking totaal (%) : 100
 Bedekking boomlaag (%) : 70
 Bedekking struiklaag (%) : 5
 Bedekking kruidlaag (%) : 50
 Bedekking moslaag (%) : 30
 Bedekking strooisellaag (%) : 20
 Hoogte (hoge) boomlaag (m) : 15
 Hoogte lage boomlaag (m) : 8
 Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm): 100

<i>Alnus glutinosa</i>	3	Zwarte els
<i>Athyrium filix-femina</i>	r	Wijfjesvaren
<i>Betula pubescens</i>	3	Zachte berk
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2a	Gewoon dikkopmos
<i>Calla palustris</i>	2m	Slangenwortel
<i>Calliergon cordifolium</i>	2m	Hartbladig puntmos
<i>Carex elongata</i>	2a	Elzenzegge
<i>Dicranum scoparium</i>	1	Gewoon gaffeltandmos
<i>Dryopteris dilatata</i>	+	Brede stekelvaren
<i>Epipactis helleborine</i>	r	Brede wespenorchis
<i>Equisetum fluviatile</i>	1	Holpijp
<i>Galium palustre</i>	+	Moeraswalstro
<i>Glyceria fluitans</i>	2a	Mannagras
<i>Iris pseudacorus</i>	r	Gele lis
<i>Juncus acutiflorus</i>	+	Veldrus
<i>Juncus effusus</i>	2a	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lemna minor</i>	2m	Klein kroos
<i>Lycopus europaeus</i>	2m	Wolfspoot
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Molinia caerulea</i>	+	Pijpenstrootje
<i>Peucedanum palustre</i>	2m	Melkeppe
<i>Phragmites australis</i>	1	Riet
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	1	Glanzend platmos
<i>Quercus robur</i>	+	Zomereik
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Salix cinerea</i>	2a	Grauwe en Rossige wilg
<i>Solanum dulcamara</i>	1	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	r	Wilde lijsterbes
<i>Sparganium erectum</i>	2a	Grote en Blonde egelskop
<i>Sphagnum fallax</i>	3	Fraai veenmos
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	2m	Gewimperd veenmos
<i>Sphagnum palustre</i>	2m	Gewoon veenmos

6 Swalmdal benedenstrooms



Broekboslocatie ligt benedenstrooms van A73 aan noordoever Swalm. Locatie overstroomt regelmatig. Overstromingsfrequentie is niet te bepalen doordat waterstanden Swalm alleen bij de grens worden gemeten. Zal door stuwing in elk geval bij hoge waterstanden in de Maas overstroomen: Maaiveld (ca. 17 m +NAP) ligt tussen grenswaarden voor 'verhoogde waterstand' (16.10) en 'hoogwater' (18.20) in stroomafwaarts gelegen meetpunt nabij monding Swalm in de de Maas. Roest in waterplassen wijst op (sterke) kwel.

Bodem (op vaste deel rond elzen)	
0-60 cm	broekveen, iets kleiig
60-120 cm	klei
ca. 120 cm	overgang naar grof zand met houtresten

pH veld	
4 cm	6,4
40 cm	6,7
80 cm	6,7
boorgatwater	6,8
opp.water	7,1



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/23
X-coördinaat	: 199.478000
Y-coördinaat	: 360.510000
Bloknummer	: 58-34-55-45
Lengte proefvlak (m)	: 12.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 120.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 85
Bedekking struiklaag (%)	: 7
Bedekking kruidlaag (%)	: 75
Bedekking moslaag (%)	: 5
Bedekking strooisellaag (%)	: 25
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15
Gem. hoogte (hoge) kruidl (cm)	: 100

<i>Alnus glutinosa</i>	3	Zwarte els
<i>Angelica sylvestris</i>	1	Gewone engelwortel
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Caltha palustris</i>	1	Dotterbloem
<i>Cardamine pratensis</i>	2m	Pinksterbloem
<i>Carex paniculata</i>	r	Pluimzegge
<i>Carex remota</i>	+	IJle zegge
<i>Carex riparia</i>	3	Oeverzegge
<i>Circaea lutetiana</i>	+	Groot heksenkruid
<i>Dryopteris dilatata</i>	+	Brede stekelvaren
<i>Filipendula ulmaria</i>	+	Moerasspirea
<i>Fraxinus excelsior-jl</i>	r	Gewone es
<i>Galium aparine</i>	+	Kleefkruid
<i>Galium palustre</i>	+	Moeraswalstro
<i>Glechoma hederacea</i>	1	Hondsdrif
<i>Glyceria maxima</i>	1	Liesgras
<i>Heracleum mantegazzianum</i>	r	Reuzenberenklauw
<i>Impatiens glandulifera</i>	1	Reuzenbalsemien
<i>Iris pseudacorus</i>	2a	Gele lis
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Mentha aquatica</i>	1	Watermunt
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Myosotis scorpioides s.l.</i>	+	Moerasvergeet-mij-nietje s.l.
<i>Phalaris arundinacea</i>	1	Rietgras
<i>Poa trivialis</i>	+	Ruw beemdgras
<i>Quercus robur</i>	r	Zomereik
<i>Rhamnus frangula</i>	r	Sporkehout
<i>Ribes nigrum</i>	+	Zwarte bes
<i>Ribes rubrum</i>	+	Aalbes
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Rumex obtusifolius</i>	+	Ridderzuring
<i>Salix alba</i>	3	Schietwilg
<i>Salix cinerea</i>	r	Grauwe en Rossige wilg
<i>Scrophularia umbrosa</i>	r	Gevleugeld helmkruid
<i>Solanum dulcamara</i>	+	Bitterzoet
<i>Sparganium erectum</i>	+	Grote en Blonde egelskop
<i>Urtica dioica</i>	3	Grote brandnetel
<i>Valeriana officinalis</i>	+	Echte valeriaan
<i>Viburnum opulus</i>	r	Gelderse roos

7 Swalmdal bovenstrooms



Ten zuiden van de Swalm, bovenstrooms van de A73. Zal door hogere ligging (maaiveld ca. 17,6 m +NAP) waarschijnlijk wat minder frequent overstroomd dan vorige locatie (6). Roest in natte lage delen wijst op kwel. In een hoger gelegen peilbuis aan de overzijde van de Swalm (B58D1914, maaiveld op 19 m) liggen in periode 2002-2004 freatische grondwaterstand en stijghoogte op 4 m diepte vrijwel permanent boven 18,0 m +NAP. Dat betekent dat in elk geval aan de noordzijde van de beek de stijghoogte voldoende is voor kwel naar beekdal. Iets meer stroomwaarts ligt begreppeld (bron)bos waarin goudveil voorkomt.

Bodem	
0-20 cm	kleilig zeggen-rietveen
20-110 cm	groen-grijze zandige klei
110-120	kleilig zand

pH-veld	
2 cm	6,3
20 cm	6,4
40 cm	6,9
water boorgat	6,7



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/23
X-coördinaat	: 199.670000
Y-coördinaat	: 360.267000
Bloknummer	: 58-34-55-62
Lengte proefvlak (m)	: 20.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 200.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 60
Bedekking struiklaag (%)	: 30
Bedekking kruidlaag (%)	: 75
Bedekking moslaag (%)	: 5
Bedekking strooisellaag (%)	: 25
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 20

<i>Angelica sylvestris</i>	+	Gewone engelwortel
<i>Athyrium filix-femina</i>	r	Wijfjesvaren
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis canescens</i>	1	Hennegras
<i>Calliergon cordifolium</i>	2m	Hartbladig puntmos
<i>Caltha palustris</i>	r	Dotterbloem
<i>Cardamine pratensis</i>	2m	Pinksterbloem
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Carex riparia</i>	4	Oeverzegge
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	2m	Lippenmos
<i>Circaea lutetiana</i>	+	Groot heksenkruid
<i>Dryopteris dilatata</i>	r	Brede stekelvaren
<i>Equisetum fluviatile</i>	1	Holpijp
<i>Filipendula ulmaria</i>	r	Moerasspirea
<i>Galium aparine</i>	1	Kleefkruid
<i>Galium palustre</i>	2m	Moeraswalstro
<i>Glyceria maxima</i>	1	Liesgras
<i>Homalia trichomanoides</i>	2m	Spatelmos
<i>Impatiens glandulifera</i>	1	Reuzenbalsemien
<i>Impatiens noli-tangere</i>	1	Groot springzaad
<i>Iris pseudacorus</i>	1	Gele lis
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lophocolea bidentata</i>	2m	Gewoon kantmos
<i>Lycopus europaeus</i>	+	Wolfspoot
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Lythrum salicaria</i>	+	Grote kattenstaart
<i>Mentha aquatica</i>	1	Watermunt
<i>Myosotis scorpioides</i> s.l.	2m	Moerasvergeet-mij-nietje s.l.
<i>Plagiothecium nemorale</i>	1	Groot platmos
<i>Quercus robur</i> -zl	r	Zomereik
<i>Rhizomnium punctatum</i>	2m	Gewoon viltsterrenmos
<i>Rumex obtusifolius</i>	+	Ridderzuring
<i>Salix alba</i>	3	Schietwilg
<i>Salix cinerea</i>	4	Grauwe en Rossige wilg
<i>Scutellaria galericulata</i>	1	Blauw glidkruid
<i>Solanum dulcamara</i>	+	Bitterzoet
<i>Symphytum officinale</i>	r	Gewone smeewortel
<i>Urtica dioica</i>	1	Grote brandnetel

8 Dubbroek



Kwelgevoed broekbos in oude Maasmeander. In jaren 90 door te sterke vernatting aangetast maar sindsdien door verlagen waterpeilen tot beneden de stijghoogte van het grondwater weer hersteld naar kwelgevoede situatie².

Bodem	
0-3 cm	strooisel (blad+dood hout)
3-23 cm	kleilig broekveen
23-30 cm	bruin lemig zand, humushoudend
> 30 cm	fijnzandige leem/sterk lemig fijn zand, grijsgroen

pH veld	
2 cm	6,7
20 cm	6,8
40 cm	7,1



² Lucassen, E.C.H.E.T & J.G.M. Roelofs, 2005. Vernatting met beleid: Lessen uit het recente verleden. Speciale uitgave herstellennatuur in Limburg. Natuurhistorisch Maandblad 94: 211-215.

Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/23
X-coördinaat	: 203.471000
Y-coördinaat	: 373.973000
Bloknummer	: 58-15-24-49
Lengte proefvlak (m)	: 12.50
Breedte proefvlak (m)	: 12.50
Opp. proefvlak (m ²)	: 156.25
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 95
Bedekking struiklaag (%)	: 15
Bedekking kruidlaag (%)	: 80
Bedekking moslaag (%)	: 2
Bedekking strooisellaag (%)	: 20
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 20

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Angelica sylvestris</i>	1	Gewone engelwortel
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis canescens</i>	1	Hennegras
<i>Caltha palustris</i>	+	Dotterbloem
<i>Cardamine pratensis</i>	2m	Pinksterbloem
<i>Carex elata</i>	3	Stijve zegge
<i>Carex elongata</i>	1	Elzenzegge
<i>Carex remota</i>	2a	IJle zegge
<i>Dryopteris carthusiana</i>	1	Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	1	Brede stekelvaren
<i>Equisetum fluviatile</i>	1	Holpijp
<i>Fraxinus excelsior-jl</i>	r	Gewone es
<i>Galium palustre</i>	1	Moeraswalstro
<i>Iris pseudacorus</i>	3	Gele lis
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lycopus europaeus</i>	1	Wolfspoot
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Peucedanum palustre</i>	1	Melkeppe
<i>Ribes rubrum</i>	1	Aalbes
<i>Rubus idaeus</i>	+	Framboos
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Scutellaria galericulata</i>	1	Blauw glidkruid
<i>Solanum dulcamara</i>	+	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	1	Wilde lijsterbes
<i>Urtica dioica</i>	+	Grote brandnetel
<i>Viburnum opulus</i>	+	Gelderse roos

9 Ooijen-Wansum



Broekbos ligt in oude Maasmeander. In nabijgelegen buis B52E1810 zijn tussen 1993-1998 de waterstanden gemeten op twee dieptes. De stijghoogte ligt op 3,5 m -mv gemiddeld bijna 2 cm hoger dan in ondiepe filter. Omdat niet bekend is hoe dik de aangetroffen kleilaag is, is niet aan te geven of hier kwel vanuit onderliggende watervoerende pakket te verwachten is. Wel is lokale kwel te verwachten vanuit de diect aanliggende hoger gelegen zandgronden. De gereduceerde ondergrond wijst op permanent hoge waterstanden. Overstroomt sporadisch bij extreem hoogwater met Maaswater (1926, 1993 en 1995).

Bodem	
0-10 cm	water
10-30 cm	strooisel overgaand in broekveen
30-50 cm	kleilig zeggenvveen/venige klei
> 50 cm	grijze gereduceerde klei, met houtresten

pH veld	
10 cm	6,5
40 cm	6,4
100 cm	6,3
opp.water	6,1



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/27
X-coördinaat	: 205.173000
Y-coördinaat	: 392.370000
Bloknummer	: 52-26-31-13
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 95
Bedekking struiklaag (%)	: 15
Bedekking kruidlaag (%)	: 85
Bedekking moslaag (%)	: 5
Bedekking strooisellaag (%)	: 10
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Athyrium filix-femina</i>	1	Wijfjesvaren
<i>Betula pubescens</i>	2b	Zachte berk
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis canescens</i>	1	Hennegras
<i>Calliergonella cuspidata</i>	2m	Gewoon puntmos
<i>Carex elata</i>	3	Stijve zegge
<i>Carex elongata</i>	2a	Elzenzegge
<i>Carex paniculata</i>	2b	Pluimzegge
<i>Carex pseudocyperus</i>	r	Hoge cyperzegge
<i>Carex remota</i>	2m	IJle zegge
<i>Dryopteris dilatata</i>	+	Brede stekelvaren
<i>Galium palustre</i>	+	Moeraswalstro
<i>Hypnum cupressiforme</i> + <i>H. andoi</i>	1	Gewoon klauwtjesmos (G)
<i>Iris pseudacorus</i>	1	Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	r	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lophocolea bidentata</i>	2m	Gewoon kantmos
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Mentha aquatica</i>	2m	Watermunt
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Peucedanum palustre</i>	r	Melkeppe
<i>Phragmites australis</i>	2m	Riet
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	1	Glanzend platmos
<i>Quercus robur</i>	r	Zomereik
<i>Ribes rubrum</i>	1	Aalbes
<i>Rubus sec. Rubus</i>	1	Zwarte braam
<i>Salix cinerea</i>	2a	Grauwe en Rossige wilg
<i>Scirpus sylvaticus</i>	2b	Bosbies
<i>Solanum dulcamara</i>	+	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	1	Wilde lijsterbes
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	1	Gewimperd veenmos
<i>Sphagnum squarrosum</i>	1	Haakveenmos
<i>Thuidium tamariscinum</i>	2m	Gewoon thujamos

10 Lommerbroek Sphagnum



Het Lommerbroek bevindt zich in een laat-pleistocene Maasmeander op een klei- en leemrijke ondergrond. In het zuidelijke deel heeft zich veenmosveen kunnen ontwikkelen onder invloed van (lokale) kwel vanuit aangrenzende Maasterras³.

Bodem	
0-10 cm	levend en recent afgestorven veenmos
10-20 cm	iets veraard kleilig (?) veen
20-100 cm	kleilig zeggenvveen/veenmosveen
100-120 cm	donkerzwart kleilig venig zand met grind (gyttja?)

pH veld	
20 cm	4,0
30 cm	4,8
40 cm	5,1
110 cm	4,6



³ Lucassen, E.C.H.E.T., Peters, C.J.H., Smolders, A.J.P. & J.G.M. Roelofs (2002) Herstelmaatregelen in het Lommerbroek: een eco-hydrologische analyse. Universiteit Nijmegen in opdracht van Stichting het Limburgs Landschap, 42 pp.

Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/06/27
X-coördinaat : 210.424000
Y-coördinaat : 384.633000
Bloknummer : 52-47-11-46
Lengte proefvlak (m) : 10.00
Breedte proefvlak (m) : 10.00
Opp. proefvlak (m²) : 100.00
Bedekking totaal (%) : 100
Bedekking boomlaag (%) : 70
Bedekking struiklaag (%) : 30
Bedekking kruidlaag (%) : 45
Bedekking moslaag (%) : 70
Bedekking strooisellaag (%) : 25
Hoogte (hoge) boomlaag (m) : 20

<i>Alnus glutinosa</i>	4	Zwarte els
<i>Betula pubescens</i>	2b	Zachte berk
<i>Campylopus flexuosus</i>	2m	Boskronkelsteeltje
<i>Carex elongata</i>	r	Elzenzegge
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Deschampsia flexuosa</i>	+	Bochtige smele
<i>Dryopteris carthusiana</i>	1	Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	3	Brede stekelvaren
<i>Hypnum cupressiforme</i> + <i>H. andoi</i>	2m	Gewoon klauwtjesmos (G)
<i>Leucobryum glaucum</i>	2m	Kussentjesmos
<i>Lonicera periclymenum</i>	2a	Wilde kamperfoelie
<i>Mnium hornum</i>	2a	Gewoon sterrenmos
<i>Molinia caerulea</i>	1	Pijpenstrootje
<i>Pinus sylvestris</i> -jl	+	Grove den
<i>Quercus rubra</i> -jl	r	Amerikaanse eik
<i>Rhamnus frangula</i>	1	Sporkehout
<i>Rubus sec.</i> <i>Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Sorbus aucuparia</i>	2b	Wilde lijsterbes
<i>Sphagnum fallax</i>	2a	Fraai veenmos
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	2m	Gewimperd veenmos
<i>Sphagnum palustre</i>	4	Gewoon veenmos

11 Lommerbroek Calla



Locatie ligt in het noordelijke deel van het Lommerbroek waar ten opzichte van het zuidelijke deel (zie locatie 10 Lommerbroek – Sphagnum) sprake is van meer basisch grondwater. Waarschijnlijk als gevolg van vernatting in het recente verleden is een deel van de elzen afgestorven en zijn er open plekken ontstaan waarin veel Calla voorkomt. Er zijn geen meetpunten voor grondwaterstand aanwezig.

Bodem	
3 à 4 dm	water
> 4 dm	iets kleiig veen met bovenin dunne kleilaag

pH veld	
water	5,8



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/27
X-coördinaat	: 210.400000
Y-coördinaat	: 385.172000
Bloknummer	: 52-37-51-41
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 50
Bedekking struiklaag (%)	: 30
Bedekking kruidlaag (%)	: 90
Bedekking moslaag (%)	: 3
Bedekking strooisellaag (%)	: 10
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 20

<i>Alnus glutinosa</i>	4	Zwarte els
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis canescens</i>	+	Hennegras
<i>Calla palustris</i>	2b	Slangenwortel
<i>Carex elongata</i>	4	Elzenzegge
<i>Dicranum scoparium</i>	1	Gewoon gaffeltandmos
<i>Dryopteris carthusiana</i>	r	Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	1	Brede stekelvaren
<i>Equisetum fluviatile</i>	2m	Holpijp
<i>Galium palustre</i>	+	Moeraswalstro
<i>Glyceria fluitans</i>	2m	Mannagrass
<i>Iris pseudacorus</i>	+	Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	1	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lemna minor</i>	2m	Klein kroos
<i>Lonicera periclymenum</i>	2m	Wilde kamperfoelie
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Peucedanum palustre-zl</i>	r	Melkeppe
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	2m	Glanzend platmos
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Solanum dulcamara</i>	r	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	+	Wilde lijsterbes

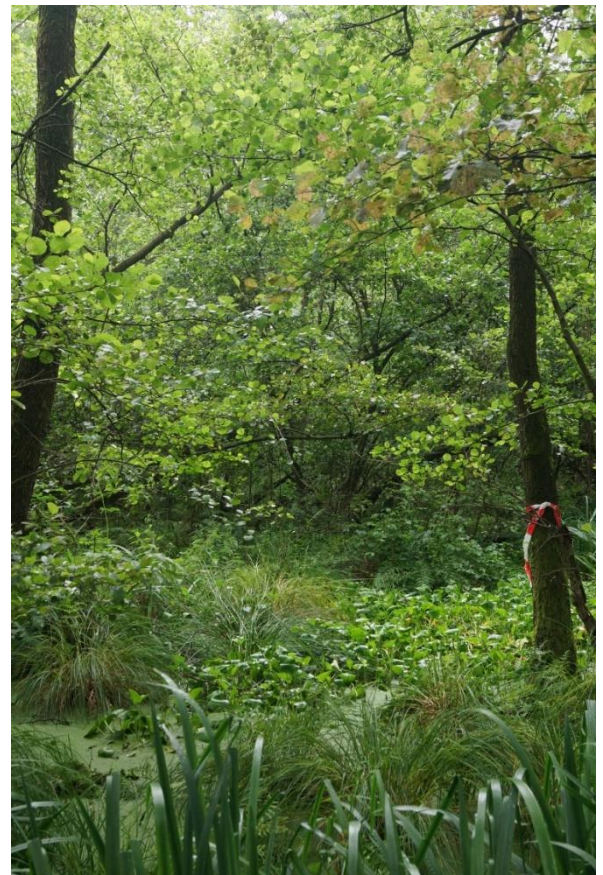
12 Heuloërbroek



Het Heuloërbroek ligt in een oude Maasmeander aan de voet van het aangrenzende Maasterras, in een strook met met veenputten en -ruggen. Hoogte van de veenruggen is ca. 12,5 m +NAP. In nabijgelegen buis B46G0109 is in periode 1994-2007 een stijghoogte op ca 2 m diepte gemeten die gemiddeld een decimeter hoger ligt dan in ondiepe buis. Sindsdien is door verondiepen van de nabijgelegen Heukelomsche Beek de kweldruk naar verwachting toegenomen. Overstroomt incidenteel met Maaswater.

Bodem	
0-40 cm	water
40-120 cm	strooisel en houtresten naar onderen overgaand in veen
120-125 cm	klei
> 125 cm	matig fijn zand, gereduceerd (grijs) met wat oranje vlekken

pH veld	
120 cm	5,4
water	6,1



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/27
X-coördinaat	: 210.400000
Y-coördinaat	: 385.100000
Bloknummer	: 52-37-51-41
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 80
Bedekking struiklaag (%)	: 20
Bedekking kruidlaag (%)	: 70
Bedekking moslaag (%)	: 5
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 20

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Athyrium filix-femina</i>	+	Wijfjesvaren
<i>Calamagrostis canescens</i>	+	Hennegras
<i>Calla palustris</i>	2a	Slangenwortel
<i>Carex elongata</i>	1	Elzenzegge
<i>Carex paniculata</i>	2b	Pluimzegge
<i>Carex remota</i>	2a	IJle zegge
<i>Dryopteris carthusiana</i>	+	Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	1	Brede stekelvaren
<i>Fraxinus excelsior</i>	+	Gewone es
<i>Galium palustre</i>	1	Moeraswalstro
<i>Iris pseudacorus</i>	2a	Gele lis
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lemna minor</i>	2a	Klein kroos
<i>Lemna minuta</i>	3	Dwergkroos
<i>Lophocolea bidentata</i>	1	Gewoon kantmos
<i>Lycopus europaeus</i>	1	Wolfspoot
<i>Mentha aquatica</i>	2a	Watermunt
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Phalaris arundinacea</i>	+	Rietgras
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	2m	Glanzend platmos
<i>Rhizomnium punctatum</i>	1	Gewoon viltsterrenmos
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Scutellaria galericulata</i>	1	Blauw glidkruid
<i>Solanum dulcamara</i>	+	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	+	Wilde lijsterbes
<i>Urtica dioica</i>	1	Grote brandnetel

13 Strijper Aa Elzenbroek



Ligt in het beekdal van de Strijper Aa. Aan de zuidzijde van broekbos ligt meetpunt uit Beleidsmeetnet verdroging. Op basis van meetgegevens (stijghoogte en grondwaterkwaliteit) gaat om door basenrijk, niet vervuild grondwater gevoed broekbos⁴.

Bodem	
0-30 cm	water
30-100	iets kleilig veen, merendeels riet/zeggenveen
> 100	niet lemig fijn zand

pH veld	
100 cm	5
110 cm	5,3
water	6,3



⁴ Han Runhaar, Annemieke van Doorn, Hank Vermulst en Boy Possen, 2017. Toestandsrapportage Verdroging Noord-Brabant over de periode 2012- 2017. Rapport 2017.065, KWR, Nieuwegein.

Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/28
X-coördinaat	: 165.753000
Y-coördinaat	: 370.068000
Bloknummer	: 57-16-51-70
Lengte proefvlak (m)	: 15.00
Breedte proefvlak (m)	: 15.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 225.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 100
Bedekking struiklaag (%)	: 15
Bedekking kruidlaag (%)	: 70
Bedekking moslaag (%)	: 5
Bedekking strooisellaag (%)	: 25
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis canescens</i>	1	Hennegras
<i>Calliergon cordifolium</i>	1	Hartbladig puntmos
<i>Cardamine pratensis</i>	r	Pinksterbloem
<i>Carex elata</i>	2b	Stijve zegge
<i>Carex elongata</i>	2a	Elzenzegge
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Deschampsia cespitosa</i>	2a	Ruwe smele
<i>Dryopteris carthusiana</i>	r	Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	2a	Brede stekelvaren
<i>Galium palustre</i>	1	Moeraswalstro
<i>Glyceria fluitans</i>	2m	Mannagrass
<i>Hottonia palustris</i>	2a	Waterviolier
<i>Hypnum cupressiforme</i> + <i>H. andoi</i>	1	Gewoon klauwtjesmos (G)
<i>Iris pseudacorus</i>	2b	Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	+	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lophocolea heterophylla</i>	1	Gedrongen kantmos
<i>Lycopus europaeus</i>	1	Wolfspoot
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Mnium hornum</i>	2a	Gewoon sterrenmos
<i>Peucedanum palustre</i>	1	Melkeppe
<i>Phalaris arundinacea</i>	+	Rietgras
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	2m	Glanzend platmos
<i>Rhamnus frangula</i>	+	Sporkehout
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Salix cinerea</i>	r	Grauwe en Rossige wilg
<i>Solanum dulcamara</i>	r	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	+	Wilde lijsterbes
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	2m	Gewimperd veenmos
<i>Thelypteris palustris</i>	1	Moerasvaren

14 Strijper Aa Wilgenbroek



Ligt iets zuidelijk van eveneens bemonsterde elzenlocatie (locatie 13). Gaat om wilgenstruweel op drijvende kragge in verlande veenput.

Bodem	aan rand veenput met wilgenstruweel
0-20 cm	veenmosveen
20-40 cm	veraard/kleilig veen
40-100 cm	zeggenveen
100-120 cm	iets lemig zand met grind en houresten

pH veld	
zandondergrond	6,1
water	5,8

Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/06/28
X-coördinaat : 245.700000
Y-coördinaat : 595.000000
Bloknummer : 07-16-51-70
Lengte proefvlak (m) : 20.00
Breedte proefvlak (m) : 10.00
Opp. proefvlak (m²) : 200.00
Bedecking totaal (%) : 100
Bedecking boomlaag (%) : 100
Bedecking struiklaag (%) : 20
Bedecking kruidlaag (%) : 40
Bedecking moslaag (%) : 20
Bedecking strooisellaag (%) : 45
Hoogte (hoge) boomlaag (m) : 8

<i>Alnus glutinosa</i>	2a Zwarte els
<i>Carex elata</i>	1 Stijve zegge
<i>Carex elongata</i>	2a Elzenzegge
<i>Deschampsia cespitosa</i>	1 Ruwe smele
<i>Dryopteris carthusiana</i>	1 Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	1 Brede stekelvaren
<i>Eurhynchium striatum</i>	1 Geplooid snavelmos
<i>Glyceria fluitans</i>	2b Mannagras
<i>Hottonia palustris</i>	2b Waterviolier
<i>Iris pseudacorus</i>	1 Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	1 Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m Fijn laddermos
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1 Grote wederik
<i>Mnium hornum</i>	2m Gewoon sterrenmos
<i>Phragmites australis</i>	1 Riet
<i>Salix cinerea</i>	5 Grauwe en Rossige wilg
<i>Solanum dulcamara</i>	2a Bitterzoet
<i>Sphagnum fimbriatum</i>	2a Gewimperd veenmos
<i>Sphagnum palustre</i>	2a Gewoon veenmos

15 Rosep



In dal van de Rosep, op laagelegen plek die wordt gevoed door kwel vanuit Belversven waarvan waterpeil ca meer dan een halve meter hoger ligt dan maaiveld in broekbos. In jaren voorafgaande aan veldwerk door verondieping en staken schoning sterk vernat en regelmatig overstromend, onder meer tijdens veldwerk.

Bodem	ca. 0.5 m venige klei, zand op 60 cm? Door hoogwater niet te bemonsteren
-------	--



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/06/28
X-coördinaat	: 145.097000
Y-coördinaat	: 398.021000
Bloknummer	: 51-12-21-10
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 60
Bedekking struiklaag (%)	: 15
Bedekking kruidlaag (%)	: 95
Bedekking moslaag (%)	: 3
Bedekking strooisellaag (%)	: 5
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15

<i>Alnus glutinosa</i>	4	Zwarte els
<i>Athyrium filix-femina</i>	r	Wijfjesvaren
<i>Betula pubescens</i>	r	Zachte berk
<i>Calamagrostis canescens</i>	2m	Hennegras
<i>Carex elata</i>	3	Stijve zegge
<i>Carex elongata</i>	+	Elzenzegge
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Deschampsia cespitosa</i>	1	Ruwe smele
<i>Dryopteris carthusiana</i>	r	Smalle stekelvaren
<i>Dryopteris dilatata</i>	+	Brede stekelvaren
<i>Filipendula ulmaria</i>	+	Moerasspirea
<i>Iris pseudacorus</i>	2b	Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	1	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lycopus europaeus</i>	+	Wolfspoot
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Lythrum salicaria</i>	1	Grote kattenstaart
<i>Mentha aquatica</i>	1	Watermunt
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Molinia caerulea</i>	+	Pijpenstrootje
<i>Phalaris arundinacea</i>	2m	Rietgras
<i>Plagiothecium denticulatum</i>	2m	Glanzend platmos
<i>Ribes rubrum</i>	1	Aalbes
<i>Rubus sec. Rubus</i>	2a	Zwarte braam
<i>Salix cinerea</i>	2a	Grauwe en Rossige wilg
<i>Scirpus sylvaticus</i>	3	Bosbies
<i>Solanum dulcamara</i>	1	Bitterzoet
<i>Urtica dioica</i>	+	Grote brandnetel

16 Logtse Velden wilgenbroek



Wilgenstruweel in retentiegebied Logtse Velden, regelmatig (gemiddeld enkele tientallen dagen per jaar) overstroomd met Beerzewater. Op basis van modelresultaten RHDV tbv Systeemherstel Beerzedal (2014, niet gepubliceerd) is in merendeel Logtse Velden sprake van infiltratie, met uitzondering van gebiedje direct westelijk van locatie 16 waar tot 1 mm kwel per dag wordt voorspeld. In 100 m noordelijker buis B51A0474 is tussen 1995 en 2000 de stijghoogte op ca 2 m diepte gemiddeld bijna een dm lager dan in het ondiepe filter.

Bodem	
0-5 cm	strooisel
5-20 cm	kleilig broekveen
20-50 cm	klei, gereduceerd
> 50 cm	matig fijn zand

pH veld	
2 cm	6,1
18 cm	6
22 cm	5,9
40 cm	6,7
opp.water	6,6



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/07/18
X-coördinaat : 146.440000
Y-coördinaat : 395.440000
Bloknummer : 51-12-52-44
Lengte proefvlak (m) : 10.00
Breedte proefvlak (m) : 10.00
Opp. proefvlak (m²) : 100.00
Bedekking totaal (%) : 100
Bedekking boomlaag (%) : 100
Bedekking kruidlaag (%) : 50
Bedekking strooisellaag (%) : 50
Hoogte lage boomlaag (m) : 6

Agrostis stolonifera	2m	Fioringras
Carex acuta	+	Scherpe zegge
Carex elongata	1	Elzenzegge
Carex pseudocyperus	r	Hoge cyperzegge
Carex remota	+	IJle zegge
Galium palustre	1	Moeraswalstro
Glyceria fluitans	1	Mannagras
Iris pseudacorus	+	Gele lis
Lysimachia nummularia	3	Penningkruid
Lysimachia vulgaris	2m	Grote wederik
Lythrum salicaria	+	Grote kattenstaart
Mentha aquatica	1	Watermunt
Myosotis scorpioides s.l.	1	Moerasvergeet-mij-nietje s.l.
Oenanthe aquatica	1	Watertorkruid
Phalaris arundinacea	2a	Rietgras
Salix cinerea	5	Grauwe en Rossige wilg
Solanum dulcamara	1	Bitterzoet

17 Vossenbroek



Locatie ligt in natuurontwikkelingsgebied waar in winter 2010-2011 voedselrijke toplaag (bovenste 2 à 3 dm) is afgegraven, op plek waar nog enkele decimeters veen resteert. In meer westelijke laagte is gehele veenlaag afgegraven en ontwikkelt zich schraalgrasland. In winter 2015-2016 zijn de aanwezige watergangen verondiept. Vóór die tijd lagen de freatische grondwaterstanden in de de twee Dino-meetpunten noordelijk en zuidelijk van de locatie (B27D0421 en B27D0423, tussen 1997 en 2013 bemeten) enkele centimeters hoger dan de stijghoogte, wijzend op infiltratie. Opervlakkige waterafvoer via ondiepe sloot/greppels in laagte wijst er op dat nu in elk geval in de lage delen in kwel optreedt.

Bodem	
0-7 cm	strooisel en wortelresten
7-20 cm	iets veraard kleilig zggen/rietveen met houtresten
20-32 cm	venige klei
32-45 cm	humeuze zandige klei
45-80 cm	lemig fijn zand met grindjes
80-120 cm	matig fijn zand met grind

pH veld	
4 cm	6,8
20 cm	7,1
40 cm	6,9



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/07/04
X-coördinaat : 197.001000
Y-coördinaat : 481.440000
Bloknummer : 27-44-43-04
Lengte proefvlak (m) : 10.00
Breedte proefvlak (m) : 10.00
Opp. proefvlak (m²) : 100.00
Bedekking totaal (%) : 100
Bedekking struiklaag (%) : 100
Bedekking kruidlaag (%) : 95
Bedekking moslaag (%) : 10
Hoogte (hoge) struiklaag (m) : 4.5

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2a	Gewoon dikkopmos
<i>Calliergonella cuspidata</i>	2m	Gewoon puntmos
<i>Carex disticha</i>	+	Tweerijige zegge
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Carex rostrata</i>	+	Snavelzegge
<i>Cirsium arvense</i>	+	Akkerdistel
<i>Cirsium palustre</i>	1	Kale jonker
<i>Drepanocladus aduncus</i>	1	Moerassikkelmos
<i>Equisetum arvense</i>	1	Heermoes
<i>Eupatorium cannabinum</i>	2a	Koninginnenkruid
<i>Holcus lanatus</i>	r	Gestreepte witbol
<i>Iris pseudacorus</i>	+	Gele lis
<i>Juncus acutiflorus</i>	+	Veldrus
<i>Juncus articulatus</i>	2b	Zomprus
<i>Juncus conglomeratus</i>	+	Biezenknoppen
<i>Juncus effusus</i>	3	Pitrus
<i>Lotus pedunculatus</i>	+	Moerasrolklaver
<i>Lythrum salicaria</i>	1	Grote kattenstaart
<i>Mentha aquatica</i>	3	Watermunt
<i>Oxyrrhynchium speciosum</i>	2m	Moerassnavelmos
<i>Pellia endiviifolia</i>	1	Gekroesd plakkaatmos
<i>Phalaris arundinacea</i>	+	Rietgras
<i>Phragmites australis</i>	r	Riet
<i>Ranunculus repens</i>	1	Kruipende boterbloem
<i>Rumex obtusifolius</i>	r	Ridderzuring
<i>Salix cinerea</i>	2a	Grauwe en Rossige wilg
<i>Sparganium erectum</i>	r	Grote en Blonde egelskop
<i>Stachys palustris</i>	r	Moerasandoorn
<i>Typha latifolia</i>	r	Grote lisdodde

18 Verloren Beek



In broekbosje ten zuiden van de Verloren Beek dat zich einde vorige eeuw heeft ontwikkeld in hier door waterschap aangelegd retentiegebied. Onderzochte locatie ligt op plek waar bij hoog water water uit de beek via drempel in beek kan afstromen naar zuidelijker gelegen retentiegebied (zie foto onder, instroomgeul broekbos). Door meer dan 1 m lagere ligging tov beekpeil en een zandige bodem is er naar verwachting kwel; ook vegetatiesamenstelling en roestafzetting in natte lage delen wijzen in die richting. Er zijn echter geen peilbuizen die dit kunnen bevestigen.

Bodem	
0-9 cm	sterk humeuze klei/slib
9-11 cm	grof zand, ijzerrijk
11-16 cm	zeer grof zand met grind
16-50 cm	humeuze zandige klei met hout- en wortelresten
50-65 cm	sterk lemig fijn zand
65-120 cm	lemig matig fijn zand met grind

pH veld	
3 cm	7
20 cm	6,1
40 cm	6,1



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/07/04
X-coördinaat	: 197.000000
Y-coördinaat	: 481.400000
Bloknummer	: 27-44-43-04
Lengte proefvlak (m)	: 12.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 120.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 95
Bedekking struiklaag (%)	: 15
Bedekking kruidlaag (%)	: 100
Bedekking moslaag (%)	: 2
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 25

<i>Agrostis stolonifera</i>	2a	Fioringras
<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Angelica sylvestris</i>	+	Gewone engelwortel
<i>Athyrium filix-femina</i>	1	Wijfjesvaren
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calliergonella cuspidata</i>	1	Gewoon puntmos
<i>Caltha palustris</i>	+	Dotterbloem
<i>Cardamine pratensis</i>	1	Pinksterbloem
<i>Chiloscyphus polyanthos</i>	1	Lippenmos
<i>Convolvulus sepium</i>	+	Haagwinde
<i>Equisetum arvense</i>	1	Heermoes
<i>Equisetum fluviatile</i>	2m	Holpijp
<i>Filipendula ulmaria</i>	2a	Moerasspirea
<i>Fraxinus excelsior</i>	+	Gewone es
<i>Galium aparine</i>	1	Kleefkruid
<i>Galium palustre</i>	1	Moeraswalstro
<i>Geum urbanum</i>	+	Geel nagelkruid
<i>Glechoma hederacea</i>	1	Hondsdrif
<i>Glyceria maxima</i>	+	Liesgras
<i>Humulus lupulus</i>	+	Hop
<i>Juncus effusus</i>	r	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lycopus europaeus</i>	1	Wolfspoot
<i>Lysimachia nummularia</i>	1	Penningkruid
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Lythrum salicaria</i>	1	Grote kattenstaart
<i>Mentha aquatica</i>	2a	Watermunt
<i>Phalaris arundinacea</i>	2m	Rietgras
<i>Poa trivialis</i>	2m	Ruw beemdgras
<i>Prunus padus</i>	r	Vogelkers
<i>Ranunculus repens</i>	r	Kruipende boterbloem
<i>Rubus sec. Rubus</i>	2b	Zwarte braam
<i>Salix cinerea</i>	+	Grauwe en Rossige wilg
<i>Sambucus nigra</i>	r	Gewone vlier
<i>Scutellaria galericulata</i>	1	Blauw glidkruid
<i>Urtica dioica</i>	3	Grote brandnetel
<i>Valeriana officinalis</i>	2a	Echte valeriaan
<i>Viburnum opulus</i>	r	Gelderse roos

19 Kloppersblok



Ligt in laagte (glaciaal erosiediedal) in dekzandgebied met ondergrond bestaande uit fluvioglaciaal leem. Op basis van ecohydrologische systeemanalyse in 2002 stond ondanks diep peil van aangrenzende Spijkersbeek laagte onder invloed van kwel met baserijk water⁵. met een ondergrond Na verondipen van de beek is kwel naar verwachting toegenomen. Broekbos wordt gedraineerd door ondiep geultje dat tijdens veldwerk en eerder verkennend bezoek eind april 2016 afwaterde op de beek.

Bodem	
0-16 cm	veraard (?) kleilig veen/prut
16-18 cm	matig fijn zand
18-25 cm	humeus kleilig zand
25-50 cm	matig fijn zand met houtresten en grindjes

pH veld	
3 cm	6,7
20 cm	6,8
40 cm	7,2
opp.water	6,8



⁵ Runhaar, J., P.C. Jansen, H. Timmermans, F.P. Sival en W.C. Knol, 2003. Historische waterhuishouding en historisch grondgebruik in het waterschap Regge en Dinkel. Rapport 801. Alterra, Wageningen, bijlage 8.

Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/07/04
X-coördinaat	: 255.365000
Y-coördinaat	: 483.708000
Bloknummer	: 28-48-21-37
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 95
Bedekking struiklaag (%)	: 20
Bedekking kruidlaag (%)	: 80
Bedekking moslaag (%)	: 2
Bedekking strooisellaag (%)	: 20
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 30

<i>Agrostis stolonifera</i>	3	Fioringras
<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Calliergonella cuspidata</i>	2m	Gewoon puntmos
<i>Caltha palustris</i>	+	Dotterbloem
<i>Carex elongata</i>	2a	Elzenzegge
<i>Carex paniculata</i>	1	Pluimzegge
<i>Carex pseudocyperus</i>	1	Hoge cyperzegge
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Corylus avellana</i>	+	Hazelaar
<i>Deschampsia cespitosa</i>	2a	Ruwe smele
<i>Dryopteris dilatata</i>	1	Brede stekelvaren
<i>Equisetum fluviatile</i>	2m	Holpijp
<i>Filipendula ulmaria</i>	+	Moerasspirea
<i>Fraxinus excelsior</i>	2a	Gewone es
<i>Galium aparine</i>	r	Kleefkruid
<i>Galium palustre</i>	2m	Moeraswalstro
<i>Glyceria fluitans</i>	2b	Mannagrass
<i>Hedera helix</i>	+	Klimop
<i>Impatiens noli-tangere</i>	1	Groot springzaad
<i>Iris pseudacorus</i>	1	Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	+	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Leptodictyum riparium</i>	2m	Beekmos
<i>Lonicera periclymenum</i>	+	Wilde kamperfoelie
<i>Lysimachia vulgaris</i>	+	Grote wederik
<i>Lythrum salicaria</i>	r	Grote kattenstaart
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Pellia species</i>	+	Plakkaatmos (G)
<i>Phalaris arundinacea</i>	+	Rietgrass
<i>Poa trivialis</i>	1	Ruw beemdgrass
<i>Ranunculus repens</i>	1	Kruipende boterbloem
<i>Ribes nigrum</i>	2a	Zwarte bes
<i>Ribes rubrum</i>	1	Aalbes
<i>Rubus idaeus</i>	+	Framboos
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Scirpus sylvaticus</i>	1	Bosbies
<i>Scutellaria galericulata</i>	r	Blauw glidkruid
<i>Solanum dulcamara</i>	1	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	r	Wilde lijsterbes
<i>Sparganium erectum</i>	1	Grote en Blonde egelskop

20 Voltherbroek



Ten zuiden van Kanaal Almelo Nordholm in relatief laaggelegen en nat gedeelte van Voltherbroek. In iets westelijker en dichterbij de Laarweg gelegen buis B28F0374 werd in periode 1994-2004 op ruim een meter onder maaiveld een stijghoogte gemeten die gemiddeld 2 cm lager lag dan in het ondiepe filter. Dit wijst op infiltratie. Ook de lage pH van de ondergrond en diepte van de geoxideerde zone met roestvlekken wijst er op dat in elk geval tot voor kort infiltratie plaats vond.

Bodem	
-5 tot 0 cm	water
0-5 cm	strooisel/veen, iets lemig
5-15 cm	humeuze leem
15-45	sterk roestige brokkelige leem
> 45 cm	gereduceerde leem met roestvlekken

pH veld	
water	6,5
2 cm	5,3 verlopend van 6 naar 5.3
15 cm	4,9
20 cm	4,3
40 cm	4,4



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/07/04
X-coördinaat	: 259.606000
Y-coördinaat	: 489.311000
Bloknummer	: 28-38-15-63
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 95
Bedekking struiklaag (%)	: 3
Bedekking kruidlaag (%)	: 100
Bedekking moslaag (%)	: 2
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 30

<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Calamagrostis canescens</i>	2a	Hennegras
<i>Carex elongata</i>	+	Elzenzegge
<i>Carex remota</i>	1	IJle zegge
<i>Carex riparia</i>	5	Oeverzegge
<i>Dryopteris dilatata</i>	1	Brede stekelvaren
<i>Glyceria maxima</i>	2a	Liesgras
<i>Humulus lupulus</i>	1	Hop
<i>Iris pseudacorus</i>	1	Gele lis
<i>Juncus effusus</i>	+	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lysimachia vulgaris</i>	r	Grote wederik
<i>Mentha aquatica</i>	+	Watermunt
<i>Mnium hornum</i>	2m	Gewoon sterrenmos
<i>Poa trivialis</i>	+	Ruw beemdgras
<i>Rubus idaeus</i>	r	Framboos
<i>Rubus sec. Rubus</i>	+	Zwarte braam
<i>Rumex conglomeratus</i>	r	Kluwenzuring
<i>Salix cinerea</i>	r	Grauwe en Rossige wilg
<i>Solanum dulcamara</i>	1	Bitterzoet
<i>Sorbus aucuparia</i>	r	Wilde lijsterbes
<i>Sparganium erectum</i>	+	Grote en Blonde egelskop

21 Holmers



Monsterpunt ligt in broekbos dat is ontstaan nadat in 2000 de in het beekdal aanwezige veenlaag tot op de minerale ondergrond was afgeraven. Door verondiepen en en dempen van waterlopen heeft zich in de daaropvolgende jaren een permanent kwelgevoed doorstroommoeras ontwikkeld⁶. In begin 2013 zijn door opzetten van een benedenstrooms gelegen stuw de peilen verder verhoogd. Peil ligt nu op maximum waarbij elzen nog kunnen voorkomen, gezien slechte groei van bomen op laagst gelegen plekken (buiten proefvlak).

Bodem	
0-5 cm	deel verteerd strooisel, hout en wortelresten
5-40 cm	lemig zand/fijnzandige leem
> 40 cm	fijn zand

pH veld	
3 cm	6,9
20 cm	7,0
40 cm	7,3



⁶ Verdonschot, P. F.M., Runhaar, J., Hendriks, D.M.D & R.C.M. Verdonschot, 2017. Integraal natuurherstel in beekdalen. Ontwikkeling van diffuse afvoersystemen, gedempte afvoerdynamiek en beekprofielherstel. OBN rapport 2017/215-BE, VBNE Driebergen.

Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag) : 2016/07/05
X-coördinaat : 259.600000
Y-coördinaat : 489.300000
Bloknummer : 28-38-15-63
Lengte proefvlak (m) : 15.00
Breedte proefvlak (m) : 10.00
Opp. proefvlak (m²) : 150.00
Bedekking totaal (%) : 95
Bedekking boomlaag (%) : 75
Bedekking struiklaag (%) : 40
Bedekking kruidlaag (%) : 30
Hoogte (hoge) boomlaag (m) : 15

Agrostis stolonifera	2m	Fioringras
Alisma plantago-aquatica	+	Grote waterweegbree
Alnus glutinosa	5	Zwarte els
Callitriche obtusangula	2m	Stomphoekig sterrenkroos
Equisetum arvense	r	Heermoes
Equisetum fluviatile	+	Holpijp
Galium palustre	r	Moeraswalstro
Glyceria fluitans	2a	Mannagras
Hottonia palustris	2b	Waterviolier
Juncus effusus	r	Pitrus
Lemna minor	1	Klein kroos
Lycopus europaeus	r	Wolfspoot
Lythrum salicaria	+	Grote kattenstaart
Mentha aquatica	2m	Watermunt
Myosotis species	+	Vergeet-mij-nietje (G)
Phragmites australis	1	Riet
Ranunculus flammula	1	Egelboterbloem
Salix aurita x cinerea	2b	Geoorde x Grauwe wilg
Utricularia minor	2m	Klein blaasjeskruid
Veronica scutellata	1	Schildereprijs

22 De Heest



Gaat om een broekbos dat zich rond deze eeuwwisseling spontaan heeft ontwikkeld uit voormalig (extensief gebruikt) weiland. In 80 m noordelijker gelegen Dino-meetpunt B12D1942 ligt de stijghoogte op ca. 2 m diepte in de periode 2012-2017 gemiddeld 10 cm boven het waterpeil gemeten in het ondiepe filter, hetgeen wijst op kwelomstandigheden.

Bodem	
0-25 cm	lemig veraard veen/sterk humeuze venige leem
25-40 cm	iets humeus matig fijn zand
40-70 cm	matig fijn geelbruin zand
> 70 cm	fijn lemig zand, gereduceerd met roestvlekken



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/07/05
X-coördinaat	: 239.103000
Y-coördinaat	: 561.263000
Bloknummer	: 12-34-45-12
Lengte proefvlak (m)	: 10.00
Breedte proefvlak (m)	: 10.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 100.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 90
Bedekking struiklaag (%)	: 20
Bedekking kruidlaag (%)	: 100
Bedekking moslaag (%)	: 60
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15

<i>Agrostis stolonifera</i>	2m	Fioringras
<i>Ajuga reptans</i>	1	Kruipend zenegroen
<i>Alnus glutinosa</i>	5	Zwarte els
<i>Athyrium filix-femina</i>	r	Wijfjesvaren
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2b	Gewoon dikkopmos
<i>Calliergonella cuspidata</i>	3	Gewoon puntmos
<i>Cardamine species</i>	+	Veldkers (G)
<i>Carex echinata</i>	r	Sterzegge
<i>Carex nigra</i>	+	Zwarte zegge
<i>Carex pseudocyperus</i>	r	Hoge cyperzegge
<i>Crataegus monogyna</i>	+	Eenstijlige meidoorn
<i>Dryopteris dilatata</i>	+	Brede stekelvaren
<i>Equisetum fluviatile</i>	1	Holpijp
<i>Equisetum palustre</i>	+	Lidrus
<i>Galium palustre</i>	+	Moeraswalstro
<i>Glyceria fluitans</i>	2a	Mannagras
<i>Holcus lanatus</i>	2a	Gestreepte witbol
<i>Juncus effusus</i>	4	Pitrus
<i>Kindbergia praelonga</i>	2m	Fijn laddermos
<i>Lythrum salicaria</i>	+	Grote kattenstaart
<i>Mentha aquatica</i>	2a	Watermunt
<i>Poa trivialis</i>	2b	Ruw beemdgras
<i>Prunus padus</i>	r	Vogelkers
<i>Rubus idaeus</i>	2a	Framboos
<i>Rubus sec. Rubus</i>	2b	Zwarte braam
<i>Valeriana officinalis</i>	r	Echte valeriaan

23 Westelbeerse Broek



De locatie ligt in het Westelbeerse Broek in een ca 10 jaar geleden op voormalige landbouwgrond (weiland) aangelegd waterbergingsgebied. Het ligt aan de rand van een geul waar bij hoog water via een drempel beekwater instroomt. Afgaande op het bodemprofiel (met een een bovengrond van sterk humeus kleiig zand) is de bovengrond op de locatie van het broekbos slechts oppervlakkig afgegraven.

Bodem	
0-15 cm	sterk humeus kleiig zand
15-30 cm	leemarm matig fijn zand
30-36 cm	kleilaag, humeus
36-45 cm	matig fijn leemarm zand met grindjes
> 45 cm	lemig matig fijn zand, grijs met roestvlekken

pH veld	
2 cm	5.6
20 cm	6.2
80 cm	6.9



Vegetatie

Datum (jaar/maand/dag)	: 2016/07/18
X-coördinaat	: 143.702000
Y-coördinaat	: 381.962000
Bloknummer	: 51-41-44-79
Lengte proefvlak (m)	: 8.00
Breedte proefvlak (m)	: 8.00
Opp. proefvlak (m ²)	: 64.00
Bedekking totaal (%)	: 100
Bedekking boomlaag (%)	: 100
Bedekking struiklaag (%)	: 40
Bedekking kruidlaag (%)	: 50
Hoogte (hoge) boomlaag (m)	: 15

<i>Agrostis stolonifera</i>	+	Fioringras
<i>Alnus glutinosa</i>	3	Zwarte els
<i>Betula pubescens</i>	r	Zachte berk
<i>Brachythecium rutabulum</i>	2m	Gewoon dikkopmos
<i>Carex disticha</i>	2b	Tweerijige zegge
<i>Carex elongata</i>	+	Elzenzegge
<i>Carex remota</i>	r	IJle zegge
<i>Cirsium arvense</i>	r	Akkerdistel
<i>Dactylis glomerata</i>	r	Kropaar
<i>Deschampsia cespitosa</i>	r	Ruwe smele
<i>Epipactis helleborine</i>	r	Brede wespenorchis
<i>Equisetum arvense</i>	+	Heermoes
<i>Galium palustre</i>	1	Moeraswalstro
<i>Glechoma hederacea</i>	1	Hondsdrif
<i>Juncus acutiflorus</i>	+	Veldrus
<i>Juncus effusus</i>	1	Pitrus
<i>Lycopus europaeus</i>	r	Wolfspoot
<i>Lysimachia vulgaris</i>	1	Grote wederik
<i>Lythrum salicaria</i>	+	Grote kattenstaart
<i>Phragmites australis</i>	1	Riet
<i>Poa trivialis</i>	2m	Ruw beemdgras
<i>Ranunculus repens</i>	r	Kruipende boterbloem
<i>Rumex obtusifolius</i>	r	Ridderzuring
<i>Salix caprea</i>	3	Boswilg
<i>Salix cinerea</i>	3	Gauwe en Rossige wilg
<i>Scirpus sylvaticus</i>	2b	Bosbies
<i>Solanum dulcamara</i>	r	Bitterzoet
<i>Urtica dioica</i>	2a	Grote brandnetel

Hydroporinae (larve)		1												
<i>Hydroporus angustatus</i>	1						1		1					1
<i>Hydrochara caraboides</i> (larve)							1							
<i>Hyphydrus ovatus</i> (larve)							2							
<i>Aedes cinereus</i>					1									
<i>Culex pipiens</i>					2	1								
<i>Culiseta</i> sp.					2	7								2
<i>Culiseta annulata</i>	5	4			7	5		1		22				
<i>Ochlerotatus</i> sp.					3									
<i>Ochlerotatus punctor</i>					7				7					
Ceratopogonidae				1										
<i>Dixella amphibia</i>				1										
<i>Chaoborus</i> sp.							1							
<i>Chironomus</i> sp.		4	7			1		1					7	
<i>Polypedilum</i> sp.	2				7									
<i>Psectrotanypus varius</i>			2											
<i>Telmatopelopia nemorum</i>	16													
<i>Xenopelopia</i> sp		25		10	2	6	2							1
<i>Corynoneura scutellata</i> agg.		4												
<i>Paraphaenocladus</i> sp.												1		
<i>Chaetocladus</i> sp.										1				
<i>Chaetocladus</i> gr. <i>piger</i>												2		
Psychodidae (juv)	1					1				4	5			
<i>Ptychoptera</i> sp.							1							
Syrphidae										1		10		
<i>Tetanocera</i> sp.							1							

<i>Dero digitata</i>							6							2
<i>Lumbriculus variegatus</i>		1	4				2	19					2	
Tubificidae			1	7				1				1	25	2
<i>Quistadrilus multisetosus</i>							5							
Enchytraeidae						13			1			10		
<i>Atractides</i> sp.		1												
<i>Euthyas truncata</i>				1										
<i>Hydryphantes ruber</i>							2							
Planaria		19												

Bijlage 3 Chemische bepalingen bodem en grondwater

Tabel B2-1 Concentraties in het poriewater in $\mu\text{mol/l}$; alkaliniteit (alk) in $\mu\text{eq/l}$.

code	pH	Alk	EGV	HCO ₃	CO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
GMB	6,72	3515	980	3220	1468	0	5	0,4	1031	372	1361	0	3912	81	1158	2	2,4	3280	111	0,4
EVB	6,74	2053	667	2144	940	51	15	0,7	1784	156	2583	0	1955	60	480	27	2,7	1202	133	0,8
KB	6,38	2866	411	2922	2928	187	2	0,8	643	172	543	0	1689	1	238	7	1,5	395	107	2,4
LOMsph	5,15	380	193	164	2785	24	4	0,3	389	31	497	9	400	3	264	9	0,6	535	220	4,6
LOMcal	6,38	5355	452	4565	4554	3	337	6,3	579	75	658	5	1520	1083	297	48	67,9	46	534	3,2
HEU	5,71	495	413	284	1326	13	4	0,0	1221	324	1495	0	846	21	299	18	1,1	1047	154	5,1
DUB	7,21	2968	619	2740	414	5	6	0,3	702	53	1002	1	2608	2	441	16	0,9	1669	100	1,4
OW	6,16	1734	527	1571	2595	531	2	0,4	641	119	822	0	2083	0	400	3	1,3	1274	122	1,2
KLO	7,01	4380	548	4256	1009	1	28	0,3	1421	34	1580	0	1828	70	239	4	6,2	34	432	1,7
VOS	7,41	4406	593	4319	404	0	18	0,2	589	101	526	0	2472	18	468	8	2,9	967	189	0,1
VBK	6,52	1107	183	840	617	1	8	0,1	396	446	379	2	233	54	75	5	2,6	243	168	0,8
VOL	6,34	3063	319	2338	2575	1	29	0,2	670	34	623	7	962	370	180	7	20,4	359	542	1,3
SWaln	6,87	4016	418	3825	1235	13	10	1,5	768	105	698	1	1548	3	315	1	2,0	369	284	0,3
SWsal	6,70	6016	527	5518	2653	6	345	0,8	1032	49	1204	7	1099	1875	216	31	51,0	34	690	1,0
KHwb	6,40	884	254	544	527	826	6	0,7	266	785	501	13	527	3	113	1	0,7	137	59	0,7
KHref	5,70	567	457	362	1735	665	5	1,0	903	472	1004	2	1043	1	516	5	0,6	1319	163	8,1
HST	6,79	4241	370	4082	1599	1	44	2,7	395	8	279	11	1452	856	222	25	29,5	24	227	0,5
HOL	6,82	2722	262	2604	956	0	21	0,6	268	18	229	1	1092	263	137	4	35,0	9	418	0,7
STRaln	6,14	868	313	557	968	3	38	0,2	650	33	1433	1	760	187	159	7	2,4	542	394	0,5
STRsal	6,37	1066	313	992	1018	2	35	0,3	773	26	1334	1	857	170	181	8	5,0	524	377	0,4

ROS	6,01	2063	112	859	2032	0	108	0,8	295	50	263	2	180	91	83	2	2,3	63	229	0,4
LV	6,10	4795	527	4311	8309	0	34	1,6	1055	15	825	11	2331	229	369	9	10,3	143	985	0,3

Tabel B2-2. Concentraties in het grondwater in $\mu\text{mol/l}$; alkaliniteit (alk) in $\mu\text{eq/l}$.

code	pH	Alk	EGV	HCO ₃	CO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
GMB	7	26770	729	2357	802	5	2	0,7	732	422	871	1	2540	23	668	9	2,1	2221	137	3,8
EVb	7	8060	507	2985	789	3	10	10,6	1190	161	1170	2	1499	4	362	12	14,5	668	160	1,9
KB	7	9499	438	2588	1566	567	3	16,4	642	181	318	9	1638	10	212	12	22,1	544	133	4,3
LOMsph	5	235	97	24	1512	3	61	1,9	276	54	338	85	122	41	71	14	2,7	119	216	2,6
LOMcal	6	5207	438	3942	4402	28	692	4,6	587	48	3114	15	1146	4231	222	28	7,7	81	667	0,0
HEU	7	1660	395	1553	938	5	81	18,9	1210	351	1534	5	763	267	239	15	23,8	491	511	0,0
DUB	7	3060	732	3443	513	16	6	0,8	810	75	1202	1	2997	23	481	43	1,9	1706	158	10,6
OW	7	2763	755	2073	1467	1096	1	1,0	793	118	1038	1	2964	1	468	9	1,8	1771	149	4,0
KLO	8	4938	565	4227	227	2	27	4,3	1427	67	1535	2	1859	1	287	8	6,8	85	402	0,2
VOS	8	5126	648	4355	210	2	12	16,3	716	110	658	8	2602	1	466	18	19,2	994	205	0,1
VBK	7	1658	193	871	406	3	8	0,3	298	522	426	2	286	13	137	3	1,1	212	178	0,5
VOL	7	4727	593	3765	970	5	9	3,6	941	104	866	4	2184	29	619	18	8,4	843	545	10,4
SWaln	7	4157	450	3122	1408	2	4	1,5	754	97	734	1	1677	12	339	9	4,1	420	294	0,3
SWsal	6	4832	818	3224	3136	6	121	0,5	1092	119	1258	10	3383	732	617	60	4,4	2189	642	1,1
KHwb	7	3377	404	2091	1214	6	2	7,2	554	1029	741	10	1046	4	265	4	9,4	376	170	3,0
KHref	6	2139	630	1124	1358	2	3	9,2	1148	499	1332	1	1668	1	795	5	11,7	1938	205	3,6
HST	7	4701	361	3179	757	39	6	0,7	530	35	442	9	1576	88	260	15	4,5	229	299	4,7
HOL	7	3257	317	3109	348	5	2	3,2	468	48	415	1	1290	38	282	13	11,9	73	499	1,0
STRaln	6	872	315	389	1263	6	30	0,8	586	47	1414	3	861	136	179	8	4,4	504	418	1,4
STRsal	6	1176	322	637	1233	2	28	2,5	517	40	1162	1	1003	114	197	13	10,6	537	400	0,9
ROS	6	2349	277	1475	1488	8	55	2,7	502	56	447	12	921	4	290	8	5,3	295	291	1,6
LV	6	4655	539	3390	4113	15	12	2,3	1162	54	1107	44	2665	256	431	18	10,7	232	1053	7,8

Tabel B2-3. Gemiddelde van de grondwaterstand op de twee meetmomenten (gws, in cm +mv), vochtpercentage (vocht), organische stofpercentage (OM), bodemdichtheid (dichth, in kg/l bodem), en de concentraties Olsen-P, en oxalaatextraheerbaar aluminium (Al-ox), ijzer (Fe-ox), mangaan (Mn-ox) en P (P-ox) in µmol/l bodem, en de fosfaatverzadiging (Pverz) berekend als (P-ox)/(Al-ox + Fe-ox)).

code	gws	vocht	OM	dichth	Olsen-P	Al-ox	Fe-ox	Mn-ox	P-ox	Pverz
GMB	-2,5	72	32	0,3	366	10381	33147	547	3171	0,07
EVB	-117	34	9	0,7	58	40152	669334	16449	32545	0,04
KB	-31	32	15	0,9	299	59417	276579	5676	37348	0,11
LOMsph	-10	90	91	0,1	182	6652	226768	343	3506	0,01
LOMcal	14	84	58	0,2	9	26214	4049	772	794	0,03
HEU	15	87	52	0,1	138	22586	161653	1299	6495	0,04
DUB	1	81	60	0,2	337	13840	116353	1307	4814	0,04
OW	6	88	80	0,1	10	13612	17165	2099	661	0,02
KLO	0,5	62	28	0,5	320	9954	42677	823	1765	0,03
VOS	1,5	75	58	0,3	76	16394	24346	625	2481	0,06
VBK	-9	67	31	0,4	261	20159	186150	3055	7123	0,03
VOL	-17,5	74	29	0,3	412	94849	19052	1155	6354	0,06
SWaln	5	82	55	0,2	814	19035	251863	1445	56786	0,21
SWsal	-17,5	79	42	0,2	588	14711	88308	955	4531	0,04
KHwb	-35	27	7	1,1	6224	50808	24866	1627	6461	0,08
KHref	17,5	92	88	0,1	434	3439	14225	209	397	0,02
HST	0,5	58	20	0,5	59	31221	224068	1168	15453	0,06
HOL	20,5	28	5	1,2	884	13253	29401	177	1710	0,04
STRaln	11	87	81	0,1	227	14608	22681	126	878	0,02
STRsal	2,5	83	53	0,2	27	9659	28753	112	788	0,02
ROS	0,5	85	59	0,2	17	83250	51089	422	8308	0,06
LV		58	17	0,6	551	49103	42467	349	3431	0,04

Tabel B2-4. Totaalconcentraties in de bovengrond verkregen door middel van destructie, in mmol/l bodem.

code	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn
GMB	151	22	145	8	37	2	12,5	2	6	0,4
EVB	57	13	24	8	13	0	1,6	4	11	0,0
KB	202	17	96	10	52	1	4,2	12	13	0,4
LOMsph	23	37	22	1	5	0	2,9	13	2	0,2
LOMcal	52	9	41	3	17	1	0,9	2	2	0,1
HEU	15	30	480	0	2	3	16,0	27	4	0,5
DUB	19	32	25	2	6	0	3,1	8	3	0,1
OW	8	4	4	0	1	0	0,3	1	2	0,0
KLO	195	85	532	16	32	5	23,5	311	8	7,1
VOS	75	71	22	1	8	1	4,0	21	3	0,0
VBK	73	31	231	6	8	3	13,0	27	6	0,1
VOL	107	42	40	4	9	1	6,1	23	3	0,4
SWaln	16	20	37	1	3	0	5,0	22	3	0,3
SWsal	121	20	73	3	8	0	4,6	13	4	0,2
KHwb	17	176	30	23	48	1	18,4	94	12	1,6
KHref	34	52	232	2	7	2	62,4	17	2	1,2
HST	65	19	28	4	11	0	1,7	2	6	0,1
HOL	313	61	203	16	44	2	18,7	59	14	0,6
STRaln	14	10	38	1	1	0	3,0	4	2	0,1
STRsal	13	2	4	0	2	0	0,2	0	2	0,0
ROS	13	2	3	1	2	0	0,3	0	2	0,0
LV	58	15	19	4	5	1	4,9	6	6	0,3

Tabel B2-5. pH en uitwisselbare concentraties in het NaCl-extract van de bovengrond in $\mu\text{mol/l}$ bodem.

code	pH	Al	Ca	Fe	K	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO ₃	NH ₄
GMB	5,74	15	17691	15	874	3505	113	5	1503	260	3	10	398
EVB	6,00	3	21743	1	1273	4452	1	1	381	342	0	429	8
KB	5,50	15	27652	4	1944	5641	3	19	68	203	3	290	32
LOMsph	3,85	554	6062	1353	266	2051	502	5	104	267	121	3	218
LOMcal	5,95	64	10105	16595	131	1202	225	2	262	1658	4	3	1209
HEU	5,69	14	11053	3152	1377	2200	271	1	546	1115	7	2	366
DUB	5,73	13	20821	734	154	2030	190	1	799	252	4	2	416
OW	5,89	3	17231	1	480	2488	24	1	1151	159	4	449	74
KLO	5,81	10	27128	5	109	2461	36	1	877	434	2	35	143
VOS	6,28	4	21048	2	413	2535	49	1	581	183	0	7	102
VBK	5,18	16	13547	350	2419	1642	673	0	1848	476	14	3	194
VOL	5,26	42	17071	14	549	2781	194	0	97	406	4	4	675
SWaln	5,82	13	20730	3269	811	3233	280	4	594	778	12	0	309
SWsal	5,09	91	15318	2188	505	1811	279	2	1831	554	18	18	257
KHwb	5,04	84	11722	5	2957	1742	92	2	165	221	33	392	191
KHref	5,34	87	12986	46	994	4156	55	3	1310	495	13	2	274
HST	5,08	19	14796	34	16	1291	245	0	58	250	2	6	192
HOL	5,95	7	21587	15	236	1849	40	1	21	395	0	2	412
STRaln	4,81	62	13288	33	32	1562	36	0	481	488	14	1	301
STRsal	3,85	210	9012	2419	246	1186	41	3	194	533	86	4	447
ROS	4,62	221	6019	3171	143	1012	146	0	140	397	19	0	783
LV	4,56	105	18412	147	690	3941	140	1	248	583	11	2	69

Tabel B2-6. pH en concentraties in het H₂O-extract van de bovengrond in µmol/l bodem.

code	pH	Al	Ca	Fe	Mg	Mn	P	S	Si	Zn	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl
GMB	6,20	47	1786	22	504	9	9	2005	327	0,9	56	121	4	783	418	382
EVB	6,86	6	676	1	169	0	2	499	374	0,3	323	3	1	666	257	105
KB	6,56	28	655	11	178	0	75	99	261	0,6	490	11	62	108	356	43
LOMsph	4,71	152	251	44	114	20	131	166	289	6,7	12	157	119	493	112	471
LOMcal	6,20	24	596	400	117	15	108	967	1360	3,3	17	746	45	751	312	369
HEU	6,62	20	464	242	146	13	78	575	1843	1,2	6	199	10	1681	555	1157
DUB	6,37	9	1295	43	183	12	58	1237	343	0,8	8	182	34	767	84	696
OW	6,34	11	1467	2	308	1	65	1323	182	1,2	664	70	57	797	272	601
KLO	6,50	8	1619	8	217	3	2	1281	476	0,8	42	5	2	1325	45	1090
VOS	6,83	9	1185	4	186	2	1	516	205	0,3	14	36	1	1111	92	1089
VBK	5,93	11	761	14	154	48	0	1692	518	0,4	5	111	0	1057	1220	700
VOL	6,13	14	289	11	65	3	0	229	461	0,5	45	140	0	589	123	367
SWaln	6,56	92	1353	172	306	17	29	916	973	1,8	7	152	7	1231	213	521
SWsal	5,31	21	1694	6	335	29	2	2297	633	4,6	11	79	1	1379	222	569
KHwb	5,32	89	619	17	149	6	7	268	371	3,6	940	114	2	497	1030	521
KHref	6,05	103	765	6	373	2	0	1315	580	0,8	7	207	0	1137	645	729
HST	5,76	16	326	5	48	9	1	118	397	0,5	33	65	0	765	32	522
HOL	6,81	35	386	6	50	1	2	39	536	0,4	13	75	1	344	37	321
STRaln	5,36	32	723	14	138	2	1	635	587	2,0	9	172	0	755	49	702
STRsal	4,48	72	453	92	101	2	6	311	659	4,0	5	189	3	863	109	915
ROS	5,33	27	155	4	56	1	1	440	538	0,6	11	352	1	648	63	480
LV	5,44	52	605	12	155	3	5	424	765	2,6	33	11	3	1883	107	1508

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

- is een onafhankelijk en innovatief platform waarin beheer, beleid en wetenschap op het gebied van natuurherstel en -beheer samenwerken;
- ontwikkelt en verspreidt kennis met als doel het structureel herstel en beheer van natuurkwaliteit.

**Kennisnetwerk OBN wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door
het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en BIJ12**

Vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE)

Princenhof Park 7
3972 NG Driebergen
0343-745250

drs. W.A. (Wim) Wiersinga
Adviseur Plein van de kennis/
Programmaleider Kennisnetwerk OBN
0343-745255 / 06-38825303
w.wiersinga@vbne.nl

M. (Mark) Brunsveld MSc
Programma-medewerker Kennisnetwerk OBN
0343-745256 / 06-31978590
m.brunsveld@vbne.nl