

# Vegetatie en milieumomstandigheden van zes Noord-Nederlandse laagveengebieden die verschillen in ijzerrijkdom

met resultaten van een experiment met veenkernen  
waarin de waterstand werd gemanipuleerd



## Colofon

©2025 OBN Natuurkennis.

Onderzoeksrapport nummer 2025/OBN-2019-106-NZ

Driebergen, februari 2025

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12 en het Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur.

Deze uitgave is online gepubliceerd op [www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)

### Auteursrecht

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Foto voorzijde                      Kleine zeggenvegetatie met moeraskartelblad en waterdrieblad in de Meppelerdieplanden.

Fotograaf                              H. de Mars

### Wijze van citeren

*Wijze van citeren: Wassen, M.J., K. Mganga, J. van Dijk, H. de Mars, H. & T. van den Broek, 2023.*

***Vegetatie en milieuomstandigheden van zes Noord-Nederlandse laagveengebieden die verschillen in ijzerrijkdom met resultaten van een experiment met veenkernen waarin de waterstand werd gemanipuleerd. Onderzoeksrapport OBN-2019-106, OBN Natuurkennis, Driebergen.***

### Samenstelling

Prof. Dr. M.J. Wassen      Copernicus Instituut Universiteit Utrecht

MSc. K. Mganga              Copernicus Instituut Universiteit Utrecht

Dr. J. van Dijk                Copernicus Instituut Universiteit Utrecht

Dr. H. de Mars                Royal HaskoningDHV

Drs. T. van den Broek      Royal HaskoningDHV

### Productie

Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)

Adres                                Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen

Telefoon                            0343 – 745 250

E-mail                                obn@vbne.nl

---

## Voorwoord

Behoud maar zeker ook het herstel van biodiversiteit behoort tot de kerndoelen van de overheid. Om dit doel te realiseren ontwikkelt en verspreidt het Kennisnetwerk Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit (OBN) daarvoor toepasbare kennis over herstelmaatregelen voor Natura 2000, de aanpak van stikstof, de leefgebiedenbenadering, de ontwikkeling van nieuwe natuur én het cultuurlandschap.

Ik wens u veel leesplezier,

Teo Wams

Voorzitter van de OBN Adviescommissie

---

# Inhoud

<b>Samenvatting</b> .....	<b>5</b>
<b>Summary</b> .....	<b>9</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>14</b>
<b>2 Inzichten die de basis vormden voor het huidige onderzoek, de onderzoeksvragen en de onderzoeksopzet</b> .....	<b>16</b>
<b>3 Materiaal en methoden</b> .....	<b>19</b>
3.1 Veldwerkzaamheden .....	19
3.2 Kolomexperiment .....	19
3.3 Bemonstering en laboratoriummethoden .....	22
3.4 Data analyse en statistiek .....	24
<b>4 Resultaten</b> .....	<b>25</b>
4.1 In situ metingen, veenkenmerken en vegetatie .....	25
<b>4.2 Integratie van vegetatie, in situ metingen en veenkenmerken</b> .....	<b>33</b>
<b>4.3 Invloed waterstand op nutriënten in de veenkolommen</b> .....	<b>36</b>
<b>5 Discussie</b> .....	<b>43</b>
5.1 Waargenomen patronen en mogelijke processen .....	43
5.2 Samenvattende observaties en beheersadviezen .....	44
5.3 Gebiedspecifieke conclusies en aanbevelingen voor beheer .....	45
5.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek .....	47
<b>Literatuur</b> .....	<b>49</b>
<b>Bijlage 1. Vegetatieopnamen van de studiegebieden</b> .....	<b>51</b>

---

## Samenvatting

Vanuit zowel de verplichtingen volgend uit het Europese Natura 2000-netwerk en de realisatie van Natuurnetwerk Nederland, maar ook door maatregelen vanwege klimaatverandering, landbouwtransitie en ecosysteemdiensten zal de komende decennia op steeds grotere schaal sprake zijn van herstel van (mesotrofe) natte graslanden of de ontwikkeling daarvan op gronden die nu een andere functie hebben.

Waar voor voedselrijke (eutrofe) natte graslanden vaak volstaan kan worden met het opzetten van het grond- en/of oppervlaktewaterpeil, moet er voor succesvol herstel van matig voedselrijke (mesotrofe) natte graslanden rekening worden gehouden met de evidente relatie tussen de mate van vernatting of verdroging en de mate van beschikbaarheid of bereikbaarheid van nutriënten voor de vegetatie. Ondanks de gedetailleerde biogeochemische en hydrologische kennis die is ontwikkeld, weten we uit de praktijk dat lang niet alle natuurherstel- en vernattingsprojecten ook daadwerkelijk succesvol zijn in het terugbrengen van mesotrofe condities en de daar bij behorende plantensoorten. In dit rapport beschrijven we de samenhang tussen vegetatie, de samenstelling van het veen en het grondwater, en de waterstand van zes Noord-Nederlandse laagveengebieden en de bevindingen van een kolomexperiment met waterstandsmanipulaties. Het onderzoek is uitgevoerd in opdracht van in het kader van het OBN-project 'Kansrijkdom hoogwaardige natuur bij vernatting' door het consortium Royal HaskoningDHV en Universiteit Utrecht (Projectnummer OBN-2019-106-LZ).

Allereerst is een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd naar de sturende factoren en processen die de kansrijkdom van vernatting bepalen, als maatregel voor natuurherstel (Possen *et al.*, 2021).

Vervolgens is er veldonderzoek uitgevoerd en is een kolomexperiment gedaan, waarover we hier rapporteren. We bestudeerden zes laagveengebieden in het noorden van Nederland die geselecteerd zijn door het OBN-Deskundigen Team Laagveen- en Zeekleilandschap. Het gaat om gebieden die van bijzonder belang zijn voor natuurbehoud, vanwege de aanwezigheid van soortenrijke laagveenvegetaties die bedreigde soorten herbergen. Deze gebieden zijn gelegen in de Peizermaden, het Loonerdiep, de Leijer hooilanden, het Meppelerdiep, de Veldweg en de Stobbenribben. De reden voor deze keuze is dat de zes locaties tezamen een serie vormen van gebieden die verschillen in het gehalte aan ijzer en fosfor in de bodem, zoals is vastgesteld op basis van eerder onderzoek. Het doel van het onderzoek is om nieuwe data te verzamelen van deze gebieden, die duidelijk maken hoe de milieuomstandigheden zijn in het veld en hoe deze samenhangen met de fosfaatbeschikbaarheid voor de vegetatie mede in relatie tot de ijzer- en kalkrijkdom van het veen en wat er gebeurt in veen en water als de waterstand verandert. Er wordt dus speciale aandacht besteed aan de vegetatie en de beschikbaarheid van fosfaat in relatie tot natheid en de rijkdom aan ijzer (Fe) en calcium (Ca). In het experiment zijn met uit de veldlocaties afkomstige veenkolommen waterstandsmanipulaties gedaan. In ieder van de zes locaties werden zes veenkolommen gestoken, waarbij het waterpeil in 18 kolommen gedurende 154 dagen experimenteel werd gehouden op een hoog peil (ca. 5 cm onder het oppervlak, min of meer conform de veldsituatie zoals aangetroffen in mei 2021 ten tijde van het steken van de kolommen). In de andere 18 kolommen werden licht verlaagde waterpeilen (20-25 cm onder het oppervlak) aangehouden. Gedurende het experiment werd zes maal poriewater bemonsterd en het veen uit de

kolommen werd na afloop geanalyseerd. De resultaten van de chemische analyse van de poriewatermonsters worden niet in dit rapport gepresenteerd, omdat ze vanwege een te grote afwijking in de ionenbalans als onbetrouwbaar moeten worden beschouwd.

Uit de resultaten van de veenanalyses en in situ metingen bleek dat de zes laagveengebieden duidelijk verschillen in organische stofgehalte, alkaliniteit en rijkdom aan Ca, Fe, Al, C, N, P. De ijzerrijke venen hadden over het algemeen een hoger P-gehalte in de bodem dan de ijzerarme venen. De nutriëntenratio's die in de bovengrondse biomassa werden gemeten gaven aan dat de N:P ratio duidt op N-beperking in de ijzerrijke Peizermaden, Loonerdiep en Leijer Hooilanden en dat de vegetatie in de ijzerarme Veldweg en Stobbenribben P-gelimiteerd is. Het Meppelerdiep is N-gelimiteerd, maar zit dicht tegen co-limitatie door N en P aan. Alhoewel onze N:P ratio's in het algemeen wat dichter bij elkaar liggen dan de eerder door andere onderzoekers gemeten waardes, zijn de conclusies over N en P limitatie hetzelfde. Nadere beschouwing van de N:K en K:P verhoudingen leidt echter tot de conclusie dat de Peizermaden en de Leijer Hooilanden beschouwd moeten worden als co-gelimiteerd door K. Zowel Peizermaden als Leijer Hooilanden hebben dus zowel lage N- als lage K-concentraties in hun bovengrondse weefsel, wat erop wijst dat beide nutriënten samen de groei beperken. Een belangrijke conclusie is dat P in de ijzerrijke venen (Peizermaden en Loonerdiep) geen beperkende factor voor de groei van de vegetatie is, waarschijnlijk mede dankzij de hoge P-gehalten in de bodem.

Als in meer detail wordt gekeken naar de relatie tussen de rijkdom aan Fe, Al en Ca in de locaties en hoe dit zich verhoudt tot P-beschikbaarheid valt op dat de eerdere bevindingen van Emsens et al. (2017) en Kooijman et al. (2019) werden bevestigd: (1) P-rijkdom van de laagveengebieden was sterker gecorreleerd met Fe en Al (vooral Fe) dan met Ca; (2) Fe-rijke laagveengebieden hadden P-rijk veen. Bovendien blijkt uit het feit dat de Fe-rijke gebieden een grote voorraad P in de bodem en een hoge beschikbaarheid van  $PO_4$  hadden, dat Fe-rijke laagveengebieden grote hoeveelheden P kunnen hebben vastgelegd die beschikbaar kunnen komen bij vernatting.

Daarnaast bevestigen onze resultaten dat in circum-neutrale tot licht zure laagveengebieden, met een matige kalkrijkdom en buffercapaciteit, zoals de venen die wij bestudeerden, Ca waarschijnlijk geen significante rol speelt bij het neerslaan van P. Een belangrijk resultaat is ook dat de relaties tussen P en Fe, Al en Ca en tussen C:P of N:P en Fe, Al en Ca niet verschilden in veenkolommen die 20-25 cm werden gedraineerd in vergelijking met de kolommen die voortdurend nat werden gehouden (154 dagen), hetgeen erop wijst dat de complexen tussen Fe en Al en P vrij stabiel zijn in de tijd en niet in grote mate worden beïnvloed door redoxprocessen zolang de omstandigheden vochtig tot nat blijven. Ook werden geen grote veranderingen in de beschikbaarheid van fosfaat waargenomen bij waterstandsverandering. Dit is een geruststellende bevinding met het oog op de algemene onderzoeksvraag hoe kwetsbaar de bestudeerde laagveengebieden zijn voor eutrofiëring door veranderingen in natheid. Daartegenover staat echter dat de  $NO_x$  concentraties hoger waren in de kolommen met een verlaagde waterstand van Stobbenribben, Veldweg en Peizermaden. Kolommen afkomstig van deze locaties vertoonden ook een significant lagere pH, hetgeen illustreert

dat deze venen kwetsbaar zijn voor verzuring en een toename van de stikstofbeschikbaarheid wanneer het waterpeil daalt.

Opgemerkt dient te worden dat onze experimenten een aantal methodische beperkingen kennen die de generaliseerbaarheid beïnvloeden:

1. De verlaging van de waterstand in onze kolommen heeft minder dan een half jaar geduurd. Er kunnen lange termijn effecten optreden die wij nog niet gemeten hebben.
2. De kolommen zijn relatief klein (doorsnede 8 cm en diepte 30 cm) en de behandelingen zijn (slechts) in triplo uitgevoerd.
3. Gedurende de experimenteer periode was de temperatuur in juli en augustus niet extreem hoog (maximum dagtemperaturen vrijwel altijd < 25 °C). Alhoewel de kolommen onder een afdak aan de noordzijde van een gebouw in de schaduw geplaatst waren, kan desalniettemin niet worden uitgesloten dat de temperatuur in de kolommen niet de veldsituatie benaderde en er dus processen zijn opgetreden die niet representatief zijn voor de veldsituatie.

Op basis van de resultaten hebben wij enkele adviezen geformuleerd voor de beheerders van de laagveengebieden over factoren die kunnen bijdragen tot een succesvolle instandhouding van de soortenrijke laagveenvegetatie.

Een tijdelijke beperkte verlaging van de waterstand heeft geen onmiddellijke ingrijpende gevolgen voor de vochtigheid van de toplaag. Klaarblijkelijk is er voldoende capillair vermogen om de toplaag van het veen vochtig te houden. Vooral relevant voor door P gelimiteerde venen is de conclusie dat deze P-limitatie samenhangt met de lage ijzerrijkdom, waardoor er ook een lage Fe-P pool aanwezig is. In ons geval zijn dat Veldweg en Stobbenribben, en ook het Meppelerdiep, dat weliswaar N-gelimiteerd is, maar dicht tegen co-limitatie door N en P zit.

Voor Stobbenribben en Veldweg, twee mesotrofe laagvenen die in een regionaal infiltratie gebied liggen en die duidelijk P-gelimiteerd zijn, adviseren wij ervoor te blijven zorgen dat de nutriënten via waterplanten en bodemadsorptieprocessen worden gefilterd over de lange afstand die het oppervlaktewater moet afleggen voordat het aanvoerwater het veen bereikt. Voor het Meppelerdiep is evenmin waarschijnlijk dat hier sprake is van kwel van grondwater. Er is hier sprake van wegzijging naar de polders ten zuiden van het Meppelerdiep, hetgeen de reden is dat hier vrijwel continue water in wordt gelaten vanuit de boezem. Dit benadrukt ook hier het belang van een goede kwaliteit van het aanvoerwater. Aangezien het Meppelerdiep zowel door N en P (in co-limitatie) beperkt lijkt te worden, moet de toevoer van zowel N als P laag blijven.

Voor de Leijer Hooilanden wordt hydrologisch onderzoek aanbevolen om de mate van grondwaterkwel te bepalen. Voor het overige moet voor de Leijer Hooilanden worden afgewacht hoe de vegetatie zich zal ontwikkelen na de natuurinrichting/herstelmaatregelen die hier zijn getroffen. De buffercapaciteit van het veen is laag, wat risico op verzuring inhoudt. Aangezien dit veen N- en K-co-gelimiteerd lijkt te zijn, moet de inbreng van N door atmosferische depositie worden beperkt. Peizermeden is een intrigerend veen dat zich ten opzichte van de andere gebieden onderscheidt

door een hoge kalkrijkdom en een hoge buffercapaciteit. De N- en K-co-gelimiteerde vegetatie heeft ook een relatief laag P-gehalte, wat dit veen waarschijnlijk robuust maakt voor eutrofiëring. Het veen is natter geworden door het nabijgelegen vernattingsproject De Onlanden.

De vegetatie van het Loonediep is N-gelimiteerd. Het veen blijkt een functionerend doorstroomveen ("Durchströmungsmoor") te zijn dat nat blijft dankzij de instroom van grondwater. Het risico bestaat hier uit N-eutrofiëring van het instromende water door landbouwpraktijken in het nabijgelegen infiltratiegebied en atmosferische N-depositie.

## Summary

Both the obligations following from the European Natura 2000 network and the realisation of the Netherlands Nature Network, as well as measures due to climate change, agricultural transition and ecosystem services, will increasingly lead to the restoration of (mesotrophic) wet grasslands or their development on land that currently has a different function. Whereas for nutrient-rich (eutrophic) wet grasslands it is often sufficient to raise ground and/or surface water levels, successful restoration of moderately nutrient-rich (mesotrophic) wet grasslands needs to take into account the obvious relationship between the degree of rewetting or desiccation and the degree of nutrient availability or accessibility for vegetation. Despite the detailed biogeochemical and hydrological knowledge that has been developed, we know from practical experience that not all nature restoration and rewetting projects are actually successful in restoring mesotrophic conditions and their associated plant species.

In this report, we describe the relationship between vegetation, peat and groundwater composition, and water level of six northern Dutch fen areas and the results of a column experiment with water level manipulations. The study was commissioned by the OBN project 'Kansrijkdom hoogwaardige natuur bij vernatting' and performed by the Royal HaskoningDHV and Utrecht University consortium (Project number OBN-2019-106-LZ). First, an extensive literature study was carried out on the driving factors and processes that determine the success of rewetting as a nature restoration measure (Possen et al., 2021). This was followed by field research and a column experiment, of which we report the results here. We studied six fen areas in the northern Netherlands, selected by the OBN-Deskundigen Team Laagveen- en Zeekleilandschap. These are areas of particular importance for nature conservation due to the presence of species-rich fen vegetation that hosts many endangered species. These areas are the Peizermaden, the Loonerdiep, the Leijer Hooilanden, the Meppelerdiep, the Veldweg and the Stobbenribben. These areas were chosen because the six sites together form a series of areas that differ in soil iron and phosphorus content, as determined from previous research. The aim of the study is to collect new data from these areas that will clarify which environmental conditions prevail in the field and how they are related to phosphate availability for vegetation, partly in relation to the iron and calcium richness of the peat, and to study how peat and water respond to water level changes, with a specific focus on vegetation and phosphate availability in relation to wetness and iron (Fe) and calcium (Ca) richness. In the experiment, water level manipulations were done with peat columns taken from the field sites. Six peat columns were taken in each of the six sites. In 18 columns, water levels were maintained experimentally at a high level (about 5 cm below the surface, more or less conforming to the field situation as found in May 2021 at the time of sampling) for 154 days. Slightly lower water levels (20-25 cm below the surface) were maintained in the other 18 columns. Pore water was sampled six times during the experiment and the peat from the columns was analysed at the end of the experiment. The results of the chemical analysis of the pore water samples are not presented in this report because of a deviation of the ionic balance indicated that they should be considered as unreliable.

The results of the peat analyses and in situ measurements showed that the six fen areas differed markedly in organic matter content, alkalinity and richness of Ca, Fe, Al, C, N, P. The iron-rich fens

generally had higher soil P content than the iron-poor fens. The N:P ratios measured in the above-ground biomass indicated N limitation in the iron-rich Peizermaden, Loonerdiep and Leijer Hooilanden and P limitation of the vegetation in the iron-poor Veldweg and Stobbenribben. Meppelerdiep is N-limited, but is close to co-limitation by N and P. Although our N:P ratios are generally somewhat more comparable between sites than the values previously measured by other researchers, the conclusions on N and P limitation are the same. However, a closer look at the N:K and K:P ratios leads to the conclusion that Peizermaden and Leijer Hooijlanden should be considered to be co-limited by K. Thus, both Peizermaden and Leijer Hooijlanden have both low N and low K concentrations in their above-ground plant biomass, indicating that both nutrients together limit growth. An important conclusion is that P in the iron-rich fens (Peizermaden and Loonerdiep) is not a limiting factor for vegetation growth, probably due in part to the high P levels in the soil.

A more detailed analysis of the relationship between the richness of Fe, Al and Ca in the sites and how this relates to P availability showed a striking similarity with the previous findings of Emsens et al. (2017) and Kooijman et al. (2019): (1) P richness of fen sites was more strongly correlated with Fe and Al (especially Fe) than with Ca; (2) Fe-rich fens had P-rich peat. Moreover, the fact that Fe-rich areas had a large stock of P in the soil and a high availability of  $\text{PO}_4$  indicates that Fe-rich fen areas may have sequestered large amounts of P that may become available upon rewetting. In addition, our results confirm that in circum-neutral to slightly acidic fens, with moderate richness in Ca and moderate buffering capacity, such as the fens we studied, Ca is unlikely to play a significant role in precipitating P. An important result is also that the relationships between P, and Fe, Al and Ca, and between C:P or N:P and Fe, Al and Ca did not differ in peat columns that were drained 20-25 cm compared to those that were kept continuously wet (154 days), indicating that the complexes between Fe, Al, and P are quite stable over time and are not significantly affected by redox processes as long as conditions remain moist to wet. In addition, no major changes in phosphate availability were observed with water level change. This is a reassuring finding in view of the general research question of how vulnerable the studied fen areas are to eutrophication due to changes in wetness. In contrast, however,  $\text{NO}_x$  concentrations were higher in the columns with reduced water levels from Stobbenribben, Veldweg and Peizermaden. Columns originating from these sites also showed significantly lower pH, illustrating that these fens are vulnerable to acidification and an increase in nitrogen availability when water levels fall.

It should be noted that our experiments have some methodological limitations that affect generalisability:

1. The lowering of water levels in our columns lasted less than six months. There may be long-term effects that we have not yet measured.
2. The columns are relatively small (8 cm diameter and 30 cm depth) and the treatments were conducted (only) in triplicate.
3. During the experimental period, temperatures in July and August were not extremely high (maximum daily temperatures almost always  $< 25^\circ\text{C}$ ). Although the columns were shaded under a canopy on the north side of a building, it can nevertheless not be ruled

out that the temperature in the columns did not approximate the field situation and thus processes that are not representative of the field situation occurred.

Based on the results, we have formulated some recommendations for fen managers about factors that can contribute to successful conservation of species-rich fen vegetation.

A short-term lowering of the water level has no immediate drastic effects on topsoil moisture. Evidently, there is sufficient capillary capacity to keep the top layer of the peat moist. Especially relevant for P-limited fens is the conclusion that this P-limitation is related to low iron richness, resulting in a low Fe-P pool present. In our case, these are Veldweg and Stobbenribben, and also Meppelerdiep, which although N-limited, is close to co-limitation by N and P.

For Stobbenribben and Veldweg, two mesotrophic fens that are located in a regional infiltration area and are clearly P-limited, we recommend continuing to ensure that nutrients are filtered through aquatic plants and soil adsorption processes over the long distance the surface water has to travel before it reaches the peat. For Meppelerdiep, groundwater seepage is also unlikely here. There is water loss to the polders south of Meppelerdiep here, which is the reason why water is almost continuously supplied here from the storage basin. This also underlines the importance of using high quality supply water here. Since Meppelerdiep appears to be limited by both N and P (in co-limitation), the inflow of both N and P should remain low.

Additional hydrological research is recommended for the Leijer Hooilanden to determine the degree of groundwater exfiltration. Otherwise, for the Leijer Hooilanden it remains to be seen how the vegetation will develop after the conservation/restoration measures taken here. The buffering capacity of the peat is low, which implies risk of acidification. Since this peat appears to be N- and K-co-limited, N input from atmospheric deposition should be limited. Peizermaden is an intriguing peatland, which distinguishes itself from the other areas by high Ca-richness and high buffering capacity. The N- and K-co-limited vegetation also has relatively low P content, which probably makes this peat robust to eutrophication. The peat has become wetter due to proximity to the De Onlanden rewetting project.

The vegetation of the Loonerdiep is N-limited. The peat appears to be a functioning throughflow peat ("Durchströmungsmoor") that remains wet thanks to groundwater inflow. The risk here consists of N-eutrophication of the inflowing water due to agricultural practices in the nearby infiltration area, and atmospheric N deposition.

## Dankwoord

De auteurs bedanken de verschillende gebiedsbeheerders voor de verkregen nuttige informatie over hun terreinen en de toestemming om hierin veldwerk uit te voeren. Voorts bedanken de auteurs het OBN-deskundigenteam Laagveen- en Zeekleilandschap voor de begeleiding, de zinvolle discussies en het gestelde vertrouwen.

## Leeswijzer

Deze rapportage is als volgt gestructureerd. In de Inleiding wordt de aanleiding voor het onderzoek toegelicht en worden de gebieden geïntroduceerd. Het daaropvolgende hoofdstuk (Hoofdstuk 2) presenteert de inzichten die de basis vormen voor het huidige onderzoek. In dit hoofdstuk wordt tevens het doel benoemd en worden de onderzoeksvragen en de onderzoeksopzet uitgelegd. Hoofdstuk 3 introduceert de experimentele opzet en de veld- en lab-methoden. Hoofdstuk 4 geeft de resultaten, waarbij eerst de in situ metingen, veenkenmerken en vegetatie stuk voor stuk worden behandeld (4.1) en daaropvolgend geïntegreerd naar de resultaten wordt gekeken (4.2). Paragraaf 4.3 behandelt de resultaten van de kolom-experimenten en de invloed die de waterstand heeft op nutriënten in de veenkolommen. In hoofdstuk 5 worden de resultaten bediscussieerd, waarbij in 5.1 waargenomen patronen worden benoemd en mogelijke processen worden bediscussieerd. In 5.2 worden samenvattende observaties en adviezen gedeeld. Tot slot worden in 5.3 gebiedspecifieke conclusies getrokken en aanbevelingen voor beheer gegeven en in 5.4 aanbevelingen voor vervolgonderzoek.

# 1 Inleiding

BIJ12 heeft op 2 juli 2020 een project toegekend aan een consortium bestaande uit Royal Haskoning DHV en Universiteit Utrecht voor de tender Kansrijkdom Vernatting (Projectnummer OBN-2019-106-LZ). BIJ12 heeft bovenstaande partijen opdracht gegeven om een literatuurstudie uit te voeren en aanvullend veldonderzoek te verrichten. Het literatuuronderzoek is in 2021 opgeleverd met het rapport: Possen, B.J.H.M., B. van der Weijden, J. van Dijk, H. de Mars, M. J. Wassen en T. van den Broek (2021). Naar vernatting ten behoeve van natuurontwikkeling en -herstel binnen Natura 2000 en Natuurnetwerk Nederland: Sturende factoren en processen die de kansrijkdom bepalen. Rapport nummer 2021/OBN247-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen. Vervolgens heeft het deskundigenteam Laagveen en Zeekleilandschap (DT) een GO gegeven voor het aanvullende veldonderzoek.

Het veldonderzoek was nog niet gearticuleerd in onze offerte maar zou bestaan uit hydrologisch onderzoek en analyse van bodem- en waterchemie en vegetatie onderzoek in ijzerarme, maar calciumrijke locaties in het laagveengebied, gecontrasteerd met ijzerrijke gebieden, waarbij zowel goed als matig tot slecht ontwikkelde voorbeelden van relevante habitattypes zouden worden betrokken. Er zouden minimaal vier gebieden worden vergeleken. In overleg met het DT is het accent van dit onderzoek echter verlegd van een veldstudie naar een voornamelijk experimenteel onderzoek met behulp van veenkolommen. Het doel van dit onderzoek is om te ontrafelen hoe de fosfaatbeschikbaarheid voor de vegetatie samenhangt met de ijzer- en kalkrijkdom van het veen en welke processen er optreden in veen en water als de waterstand verandert. In het experiment wordt dus speciale aandacht besteed aan de beschikbaarheid van fosfaat in relatie tot de waterstand en de rijkdom aan ijzer (Fe) en calcium (Ca). Met behulp van diverse metingen in het veld en regelmatige bemonstering van het poriewater van de kolommen is gepoogd de hydrochemische processen te duiden, die optreden in de betreffende laagveengebieden.

Op 14 april 2020 stelde het DT voor om voor zes gebieden kolomproeven uit te voeren en daarnaast zoveel mogelijk de in situ omstandigheden van bodem en vegetatie te meten. De zes gekozen gebieden vormen tezamen een range van ijzerarme tot ijzerrijke laagveengebieden. Deze keuze maakte het mogelijk om eerder uitgevoerd OBN-onderzoek in ijzerarme en ijzerrijke laagveengebieden van Emsens et al. (2017) en Kooijman et al. (2019) verder te verdiepen. De zes locaties bestaan uit clusters van twee gebieden met een relatief laag, gemiddeld en hoog gehalte aan ijzer en fosfor in de bodem (zoals is vastgesteld op basis van bovenstaand onderzoek):

- Twee Fe-rijke vindplaatsen in het dal van de Peizerdiep en de Drentsche Aa, respectievelijk: Peizermaden (53° 10' 19" N; 06° 30' 12" E) en Loonerdiep (53° 0' 48" N; 06° 37' 48" E).
- Twee wat minder Fe-rijke vindplaatsen in het dal van de Reest: Meppelerdiep (52° 41' 00" N; 06° 08' 51" E) en Leijer Hooilanden (52° 38' 33" N; 06° 16' 43" E).
- Twee relatief Fe-arme locaties in het laagveengebied Weerribben-Wieden: Stobbenribben (52° 47' 09" N; 05° 59' 03" E) en Veldweg (52° 41' 29" N; 06° 06' 45" E).

De onderstaande karakterisering werd verstrekt door het DT en is gebaseerd op de bovengenoemde studies.

*Tabel 1. Overzicht van locatiekenmerken op basis van eerder onderzoek van Emsens et al. (2017) en Kooijman et al. (2019).*

*Table 1. Overview of site characteristics based on earlier research by Emsens et al. (2017) and Kooijman et al. (2019).*

Locatie	Fe (mmol/l veen)	Ca (mmol/l veen)	P (mmol/l veen)	pH	Biomassa (g/m <sup>2</sup> )	N:P- verhouding vegetatie (mg/g droog gewicht)	Dominante mossoorten
Peizermaden	91	63	12	6.3	277	5.7	<i>C. cuspidata</i>
Loonerdiep	196	95	12	6.3	185	5.7	<i>C. cuspidata</i>
Leijer hooilanden	48	109	6	6.1	108	8.1	<i>C. cuspidata</i>
Meppelerdiep	59	25	8	5.8	233	12.5	<i>H. vernicosus</i>
Veldweg	8	48	2.6	5.9	333	22.2	<i>S. cossoni</i>
Stobbenribben	1	22	0.5	6.4	229	23.7	<i>S. scorpioides</i>

## 2 Inzichten die de basis vormden voor het huidige onderzoek, de onderzoeksvragen en de onderzoeksopzet

Ecologisch herstel heeft aangetoond grote mogelijkheden te bieden om landdegradatie tegen te gaan, de veerkracht van de biodiversiteit te vergroten en belangrijke ecosysteemdiensten te leveren (Wortley et al., 2013). In de laaggelegen gebieden van Nederland ligt de nadruk bij herstelprojecten vooral op het verhogen van de grondwaterstand. Veel veengebieden in Nederland zijn in het verleden gedraineerd na inpoldering om agrarisch gebruik mogelijk te maken. De negatieve effecten van de drooglegging op de karakteristieke biodiversiteit van laagveengebieden en hoogvenen en de klimaateffecten door de uitstoot van broeikasgassen uit deze drooggelegde veengebieden gaven een impuls aan vernattingsprojecten. Deze waren echter niet altijd succesvol (Lamers et al. 2002).

Op basis van een literatuuronderzoek concludeerden Possen et al. (2021) dat de sleutel voor succesvolle herstelprojecten ligt in "het kennen van het type nutriëntenlimitatie". Dit sluit goed aan bij algemene ecologische theorie waarin kennis over (groei)limiterende factoren essentieel is voor het begrijpen van het functioneren van een ecosysteem en de interacties tussen soorten. In korte vegetaties (d.w.z. graslanden en andere kruidachtige vegetaties) in gematigde streken is vaak één of meer van de essentiële macronutriënten stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K) beperkend voor de groei. Uit een veldonderzoek van 273 kruidachtige ecosystemen in Noordwest-Europa bleek dat ongeveer 40% van de locaties beperkt werd door N, 40% door P, 17% door N en P (co-limitatie, hetgeen betekent dat zowel N als P in geringe mate beschikbaar zijn en dus de groei mede beperken) en slechts 3% van de locaties door kalium (K) (Wassen et al. 2005).

De hydrologische omstandigheden kunnen bepalend zijn voor het type nutriëntenlimitatie. In het algemeen is het succes van herstel van grasland met een hoge natuurwaarde door middel van vernatting groot, als het type nutriëntenlimitatie dat relevant is voor de gewenste vegetatie in het veld kan worden gerealiseerd. Possen et al. (2021) lieten zien dat het nutriënt dat de vegetatieontwikkeling beperkt, verschilt per vegetatietype. Zo is van blauwgraslanden, een bijzonder type vochtig tot nat grasland, bekend dat ze meestal P-gelimiteerd zijn, wat goed aansluit bij het landgebruik waaronder ze zijn ontstaan. Daarbij heeft langdurig hooien en afvoeren van het maaisel het systeem verarmd met name met P. Goed ontwikkelde trilvenen met schorpioenmos zijn in het algemeen ook P-gelimiteerd, maar veenweiden en matig ontwikkelde trilvenen zijn N-gelimiteerd of kunnen co-gelimiteerd zijn door N en P. De variatie tussen locaties is echter groot en een "one size fits all" oplossing bestaat niet. Bovendien werd inzicht in de relatie tussen nutriëntenbeperking, nutriënten in plantenweefsel en biogeochemie aangemerkt als een kennislacune (Possen et al, 2021).

Als we kijken naar de gegevens van de voorgestelde studiegebieden in tabel 1 blijkt dat de plantengroei in Stobbenribben en Veldweg wordt gelimiteerd door P ( $N:P > 16$ , vgl. Olde Venterink et al. 2003). Leijer Hooilanden, Peizermaden en Loonerdiep zijn duidelijk gelimiteerd door N ( $N:P < 13,5$ ), terwijl het Meppelerdiep eveneens N-gelimiteerd is ( $N:P = 12,5$ ), maar dicht tegen N en P co-limitatie ligt ( $13,5 < \text{co-limitatie } N:P < 16$ ). De P-gehalten van het veen komen goed overeen met het type nutriëntenlimitatie op basis van de N:P-verhouding in plantenweefsel: lage P-waarden in het veen van de P-gelimiteerde Stobbenribben en Veldweg en hoge P-waarden in het veen van de N-gelimiteerde Peizermaden en Loonerdiep. De P-waarden in het veen van de Leijer Hooilanden en het Meppeler Diep liggen er tussenin.

Emsens et al. (2017) bemonsterden 30 laagveengebieden in een trans-Europees veldonderzoek om te bepalen hoe de voorraad van ijzer, de zogenaamde *Fe-pool* in de bodem zich verhoudt tot *pools* van P en Fe-gebonden P, en maten de P-opname van de vegetatie en de N:P-verhouding om te beoordelen waar P-limitatie optreedt. Vervolgens bepaalden zij de P-opname door *Carex rostrata* in experimentele *mesocosms* om de interactieve effecten van de Fe- en P-*pools* in de bodem (en fracties daarvan) en het waterniveau (gedraineerd of vernat) te onderzoeken. In de literatuur wordt algemeen aangenomen dat een lage beschikbaarheid van P de productie van plantenbiomassa in laagveengebieden beperkt, hetgeen een voorwaarde is voor het voortbestaan van veel bedreigde plantensoorten. Bovendien is P-limitatie gerelateerd aan het ijzergehalte (Fe) van de bodem en de Fe-P-verhouding, aangezien ijzerverbindingen bindingsplaatsen bieden voor opgelost P, waardoor de beschikbaarheid van P voor planten vermoedelijk afneemt. Uit het veldonderzoek van Emsens et al. (2017) bleek dat bodem-P *pools* positief correleren met bodem Fe *pools*. Bovendien correleerden bodem-Fe en P *pools* positief met P opname door de vegetatie en negatief met vegetatie N:P ratio's. Bedreigde veensoorten deden het vooral goed in Fe- (en dus P-) arme laagveengebieden. Uit hun *mesocosm*-experiment bleek verder dat de interacties tussen waterniveaus en P-*pools* bepalend waren voor de P-opname door planten: hoewel het vernatten van laagveengebieden leidde tot een algemene toename van de P-opname, konden planten die groeiden op gedraineerde Fe-rijke bodems met grote zuur-extraheerbare P-*pools* nog steeds grote hoeveelheden P opnemen. De Fe-P-verhouding van de bodem had geen effect op de P-opname. De bevindingen van Emsens et al. (2017) waren verrassend en kunnen belangrijke implicaties voor het beheer en herstel van bedreigde laagveengemeenschappen hebben. Zij toonden het bestaan aan van een ambiguïteit in ijzer-fosfor (Fe-P) bindende eigenschappen in laagveenbodems: grote Fe-*pools* 'vangen' mobiel P, waardoor de totale hoeveelheid mogelijk beschikbaar P voor planten eerder toeneemt dan afneemt, hetgeen een risico inhoudt als deze P dus beschikbaar komt. Het herstel van Fe-rijke laagveengebieden door vernatting kan deze P-voorraad namelijk oplossen en dus in beschikbare vorm omzetten, waardoor de relatieve beschikbaarheid van P mogelijk verhoogt, hetgeen dus niet altijd zal leiden tot gunstigere omstandigheden voor bedreigde laagveengemeenschappen (Lamers et al. 2002; Van Dijk et al. 2004, 2006). Emsens et al. (2017) concluderen derhalve dat herstel van gedraineerde laagveengebieden door vernatting de meeste kans van slagen heeft als de bodem P- en Fe-*pools* laag zijn.

Kooijman et al. (2019) ontrafelden verder de P-beschikbaarheid in mineraalrijke laagveengebieden, en testten of een hoog Fe-gehalte in de bodem zou leiden tot een lage P-beschikbaarheid voor de vegetatie. Zij selecteerden mesotrofe laagveengebieden over gradiënten in Ca en Fe in Midden-Zweden en Nederland, en brachten de samenstelling van vegetatie, poriewater en veenbodem in kaart, inclusief anorganische en organische vormen van P, Fe en Al. Stobbenribben, Veldweg en Meppelderdieplanden maakten deel uit van hun selectie. Uit de resultaten bleek dat bodem-Fe belangrijker was dan bodem-Ca, en dat de beschikbaarheid van P voor de vegetatie toenam van Fe-arme naar Fe-rijke laagveengebieden. Tegen de verwachting in speelde neerslag van ijzerfosfaten een ondergeschikte rol in Fe-rijke laagveengebieden. Fe-rijke laagveengebieden waren P-rijk om drie redenen: (1) hoge P-sorptiecapaciteit, (2) relatief zwakke sorptie aan Fe-OM-complexen en (3) grote hoeveelheden geadsorbeerd organisch P, dat waarschijnlijk bestaat uit labiel P. Hoge P-beschikbaarheid leidde echter niet tot hoge vegetatiebiomassa of lage plantendiversiteit. Fe-rijke laagveengebieden werden waarschijnlijk beperkt door andere nutriënten dan P (Kooijman et al. 2019), hetgeen eens te meer benadrukt dat het vaststellen van het type nutriënten-limitatie essentieel is. Ook zouden verhoogde P-gehalten planten kunnen beschermen tegen ijzer-toxiciteit (Kooijman et al. 2019).

Bovenstaande inzichten hebben de opzet van het huidige onderzoek mede gestuurd, waarbij zoals gezegd de oorspronkelijke focus op veldonderzoek is verschoven naar experimenteel

kolomonderzoek. Begin mei 2021 zijn in elk van de bovengenoemde zes gebieden zes veenkolommen gestoken, waarna in drie kolommen een waterstand van 5 cm beneden maaiveld is gerealiseerd en in de andere drie uit elk gebied een waterstand van ca. 25 cm beneden maaiveld is gerealiseerd. Tevens werd de veldsituatie bemonsterd (water, veen, vegetatie). De chemische samenstelling van het poriewater in de kolommen werd gedurende bijna een half jaar gevolgd en het veen werd aan het einde van het experiment geanalyseerd.

Met deze opzet is getracht de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

1. Hoe verschillen de bemonsterde laagveengebieden qua vegetatie en *in situ* water- en veencondities?
2. Welk nutriënt of welke combinatie van nutriënten beperkt de plantengroei in de bemonsterde laagveengebieden?
3. Hoe ontwikkelt de chemische samenstelling van het poriewater zich in de loop der tijd in natte en in minder natte veenkolommen?
4. Hoe verschilt de fosfaatconcentratie in het poriewater tussen natte en minder natte kolommen?
5. Wat is het verband tussen het totale P-gehalte in het veen en het Fe-, Al- en Ca-gehalte van het veen?
6. Welk advies kan worden gegeven over factoren die bepalend zijn voor succesvolle instandhouding van de gewenste vegetatie? Hoe kunnen deze factoren worden beïnvloed door middel van beheersmaatregelen?

Onderzoeksvraag 3 en 4 zijn niet beantwoord, omdat de analyses van het poriewater vanwege een te grote afwijking in de ionenbalans als onbetrouwbaar moesten worden beschouwd.

## 3 Materiaal en methoden

### 3.1 Veldwerkzaamheden

In het vroege voorjaar van 2021 (4 en 5 mei) werden op elke locatie zes willekeurige veenmonsters genomen binnen een zone van 10 bij 10 meter. In totaal zijn dus 6\*6 (=36) monsters genomen. De bodemmonsters zijn genomen van ongeveer 1 tot 38 cm onder het maaiveld met behulp van een PVC-buis van 33 cm lang en met een diameter van 8 cm. Bovengrondse planten, strooisellaag en de top van het veen werden verwijderd (ca. 5 cm werd verwijderd). Dit gebeurde in het veld voordat de kolommen werden gesloten. Het doel van het verwijderen van de toplaag was hergroei van vegetatie in de kolommen te voorkomen en de veenkolommen te standaardiseren voordat met het experiment werd begonnen. Aangezien de locaties verschilden in dikte van de moslaag en er onduidelijke grenzen tussen levend mos en veen bestaan, kan hierdoor enige ruis zijn ontstaan. In het Meppelerdiep zou zelfs de veenlaag geheel verwijderd kunnen zijn, aangezien deze ondiep is.

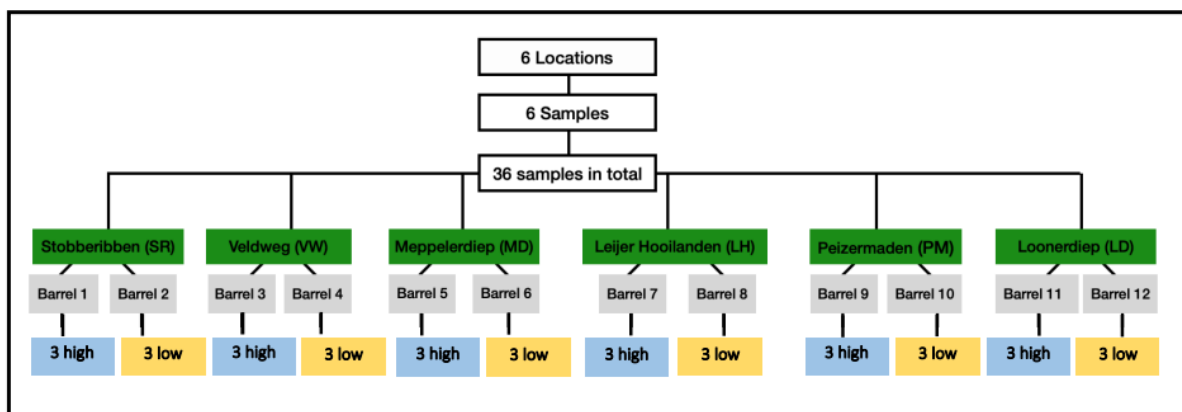
De bodem van de PVC-kolom werd afgesloten met een deksel (evenals de bovenkant, maar de bovenkant alleen tijdens het vervoer naar Utrecht). Het vochtgehalte van de veenkolom kwam zo dicht mogelijk overeen met wat in het veld werd waargenomen. Indien nodig werd, voordat de kolom werd afgesloten voor transport, water uit het boorgat toegevoegd. pH en EC van het water werden gemeten in het boorgat. Daarnaast werden pH en EC op 3 extra plaatsen in het water aan het maaiveld gemeten en werd het waterpeil in cm onder maaiveld gemeten. Tenslotte is een mengmonster genomen bestaande uit veen dat op 5 cm onder het oppervlak is bemonsterd naast elke plek waar een kolom werd gestoken. Elk gemengd veenmonster bestaat dus uit 6 deelmonsters. De deelmonsters werden gesneden met een broodmes en hadden een volume van ongeveer 40 cm<sup>3</sup>. Volume en gewicht van de deelmonsters werden niet gemeten alvorens te mengen.

Op 31 mei en 1 juni 2021 werden de locaties opnieuw bezocht om vegetatieopnamen (in 2\*2 m proefvlakken, Braun-Blanquet schaal) te maken op 3 willekeurig gekozen plekken op elke locatie. Bovengrondse levende vegetatie aan vaatplanten werd in ieder proefvlak in 20\*20 of 30\*30 subplots geogst door de vegetatie dicht bij het oppervlak te knippen en strooisel en dood plantmateriaal te verwijderen. Het oppervlak van de knipplek varieerde afhankelijk van de op het oog waarneembare bovengrondse biomassa (bij schaarse vegetatie werd gekozen voor 30\*30 cm i.p.v. 20\*20 cm). De monsters werden verzameld in papieren zakken. In alle opnamevlakken werden waterpeil, pH, EC, temperatuur en alkaliniteit in het veld gemeten.

### 3.2 Kolomexperiment

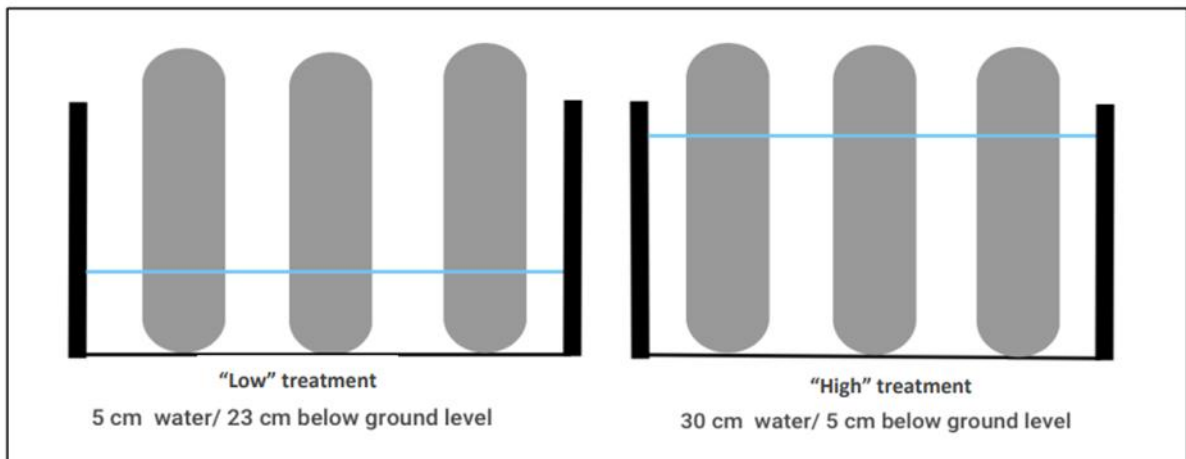
Het experiment werd binnen 24-48 uur na monsternamen opgezet in Utrecht. Eerst werden de bodemdeksels van de kolommen geperforeerd om voldoende uitwisseling van water te garanderen. Vervolgens werden alle kolommen in vaten geplaatst. Om te voorkomen dat monsters van

verschillende locaties elkaar beïnvloeden, werden monsters van verschillende locaties in aparte vaten geplaatst (3 per vat). Vervolgens werden de vaten gevuld met leidingwater uit Utrecht. Dit kraanwater heeft een EC van 338  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , pH = 6.6, alkaliniteit = 120 mg/l. Via het geperforeerde bodemdeksel, werd dus gepoogd opwaartse druk van grondwater na te bootsen met kraanwater. Bij de helft van de vaten (n=18) werd het waterniveau in de kolom op ca. 5 cm onder het veenoppervlak gehouden. Dit betekent dat drie van de zes monsters van één locatie in hetzelfde vat met ongeveer 30 cm kraanwater werden geplaatst, om natte omstandigheden na te bootsen. Het oorspronkelijke idee van het experiment was dat deze behandeling vernatting zou simuleren. Het is echter belangrijk op te merken dat als gevolg van de natte weersomstandigheden tijdens de bemonsteringsperiode de geogste kolommen allemaal al erg nat waren. Dit betekent dat de experimentele behandeling van 5 cm onder het veenoppervlak in feite de veldomstandigheden tijdens de bemonstering nabootst, terwijl de andere helft van de vaten, waar het waterpeil in de kolom op 25 cm onder het veenoppervlak werd gehouden, met de bedoeling niet-vernatte omstandigheden na te bootsen, in feite verlaagde omstandigheden ten opzichte van de veldsituatie simuleerde. In het vervolg van deze rapportage worden deze behandelingen respectievelijk "hoog" en "laag" genoemd of "nat" en "verlaagd" genoemd, verwijzend naar de waterstand ten opzichte van maaiveld. De hoge waterstand kan derhalve ook als een controle gezien worden, omdat deze de veldsituatie benadert zoals aangetroffen in mei 2021 (zie Resultaten). De proefopstelling is weergegeven in Figuur 1 en 2. Om de buitentemperatuur en natuurlijke lichtomstandigheden zoveel mogelijk te benaderen, werden de kolommen buiten in de Botanische Tuin van de Universiteit Utrecht geplaatst, wel onder een afdak, om infiltratie van regenwater te voorkomen (Figuur 3).



Figuur 1. Schematisch overzicht van de proefopstelling.

Figure 1. Schematic outline of the setup of the experiment.



*Figuur 2. Schematische opstelling van het kolomexperiment. Het water in de vaten is leidingwater en werd zo nodig aangevuld om de waterstand te handhaven. Het water in de vaten werd verversd op 10 september 2021.*

*Figure 2. Schematic depiction of the setup of the column experiment. The water in the containers is tap water, and was replenished to maintain the water levels. The water in the containers was refreshed on September 10, 2021.*



*Figuur 3. Vaten met veenkolommen, met rhizons en spuitjes voor de bemonstering van poriewater.*

*Figure 3. Containers with peat columns, with rhizons and syringes for sampling pore water.*

### 3.3 Bemonstering en laboratoriummethoden

In elke kolom werden verticaal (0-10 cm diepte) rhizon samplers geplaatst. Deze bleven op hun plek gedurende het gehele experiment. De eerste ronde poriewatermonsters van de kolommen werd 48 tot 72 uur nadat de kolommen uit het veld waren gehaald, verzameld (t=0; 6 & 7 mei 2021). Het poriewater werd bemonsterd door spuiten aan te sluiten op de rhizons en deze onder vacuüm te zetten. pH, EC<sub>25</sub> en alkaliniteit werden direct na monsternamen bepaald. De monsters werden gefiltreerd over een nylon filter van 0.45 µm en in drie delen verdeeld: (1) een 15mL Greiner buis gevuld met 8 ml monster aangezuurd door toevoeging van 80µl HNO<sub>3</sub> (68%) voor ICP-OES-analyses; (2) een 6ml buis werd tot net onder de rand gevuld en werd binnen 12 uur ingevroren voor latere bepaling van fosfaat met een colorimetrische meting; (3) een IC flacon werd voor  $\frac{3}{4}$  gevuld met ca. 1,5 ml monster.

Deelmonster (1) werd doorgemeten met ICP-OES voor bepaling van concentraties Al, Na, Ca, Mg, K, Fe, P, micronutriënten en zware metalen. Deelmonster (2): werd geanalyseerd op een Discrete Analyzer (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) en PO<sub>4</sub> met een Phosphomolybdenum Blue Methode (Houba et al 1995). Deelmonster (3) werd gebruikt om de sulfide- en chlorideconcentraties te bepalen met behulp van IC analyse.

De bemonsteringen en chemische analyses van poriewater werden herhaald op 17 mei (t=1), 31 mei (t=2), 19 juli (t=3), 23 augustus (t=4), 18 oktober (t=5) (figuur 4). In de bemonsteringsronde van 23 augustus en 18 oktober zijn ook het leidingwater en het water in de vaten bemonsterd en geanalyseerd.

Op verzoek van het DT is afgezien van het presenteren van de analyses van de poriewater-monsters, omdat deze vanwege een te grote afwijking in de ionenbalans als onbetrouwbaar moeten worden beschouwd.

De gemengde bodemmonsters genomen op 4 en 5 mei 2021 werden geanalyseerd op drooggewicht, % totaal C en % totaal N op een Carlo-Erba elemental analyser, organisch stofgehalte (SOM) via verlies bij verbranding (LOI), voor planten beschikbaar fosfor volgens de methode van Olsen (Olsen et al. 1954) en plant-beschikbaar ammonium en nitraat (met behulp van 1M KCl-extractie) via een colorimetrische methode (Digital Image Colorimetry werd gebruikt voor NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N en Vanadium chloride (TON-V) methode voor NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N met een GalleryTM Plus Discrete Analyzer). De C:N-verhouding werd berekend als de verhouding tussen % totale C en % totale N. % Organische Koolstof in de bodem (% SOC) werd berekend als 50% van SOM op basis de aanname dat OM voor 50% uit C bestaat.

Na beëindiging van het experiment op 18 oktober 2021 werden de veenkernen opgeslagen in vacuüm plastic zakken en bewaard bij 4 °C tot januari 2022. Van deze kernen werd op twee manieren het gloeiverlies bepaald m.b.v. LOI<sub>450</sub> en LOI<sub>550</sub>. Totaal Aluminium, Calcium, IJzer, Fosforen Kalium en

metalen en sporenelementen werden bepaald na aqua regia extractie en uitgevoerd met behulp van ICP - OES (Inductively Coupled Plasma optical emission spectrometry) gekoppeld aan massaspectrometrie (MS). Analyse van  $\text{NH}_4$  werd colorimetrisch gedaan met de hand (phenol-hypochlorite methode) en  $\text{NO}_x$  en  $\text{PO}_4$  werden gemeten met Gallery™ Discrete Analyzer (Thermo Scientific™) na extractie met 1M KCl.

Voor de berekening van de LOI (Sequential Loss on Ignition) werd de methode gevolgd waarbij rekening wordt gehouden met het massaverlies bij 105 °C (drooggewicht) en de residuen na ontsteking. In het kort verliep het proces als volgt: (1) bodemmonsters werden gedurende ongeveer 24 uur bij 105°C gedroogd. Het massaverlies bij verhitting tot 105°C ( $\text{LOI}_{105}$ ) werd berekend als  $\text{LOI}_{105} = 100(\text{WS} - \text{DW}_{105}) / \text{WS}$ , waarbij WS het gewicht is van het aan de lucht gedroogde monster en  $\text{DW}_{105}$  het drooggewicht van het bij 105°C verhitte monster, (2) Vervolgens werd het monster gedurende 4 uur bij 450°C verbrand.  $\text{LOI}_{450}$  werd berekend als  $\text{LOI}_{450} = 100(\text{DW}_{105} - \text{DW}_{450}) / \text{WS}$ , waarbij  $\text{LOI}_{450}$  het percentage verlies bij verhitten tot 450°C is en  $\text{DW}_{450}$  het gewicht van het monster na verhitting bij 450°C. (3) Het monster werd vervolgens gedurende 2 uur bij 550°C verhit;  $\text{LOI}_{550}$  werd berekend als  $\text{LOI}_{550} = 100(\text{DW}_{450} - \text{DW}_{550}) / \text{WS}$ , waarbij  $\text{LOI}_{550}$  het percentage van het gloeiverlies bij 550°C is en  $\text{DW}_{550}$  het gewicht van het monster na verhitting bij 550°C. Het resterende monster, na verhitting bij 550°C, is het residu ( $\text{LOI}_{\text{res}}$ ). %OM werd berekend als de som van het gewichtsverlies bij  $\text{LOI}_{450}$  en  $\text{LOI}_{550}$ .

Bij veen-onderzoek worden analyseresultaten vaak uitgedrukt op volume basis (mg stof / liter veen). Dit is voor veenecosystemen een ecologisch relevantere maat dan op gewichtsbasis, omdat veen vaak zeer los gestructureerd is, een hoog watergehalte heeft en dus een laag drooggewicht. Om de beschikbaarheid van voor planten essentiële voedingsstoffen in te schatten is de volume eenheid ook geschikter, omdat planten via hun wortels een bepaald bodemvolume exploreren en niet een bepaald gewicht. Daarbij wordt de bulk density gebruikt (bulkdichtheid of volumegewicht in kg drooggewicht/liter). Deze wordt als volgt berekend: (versgewicht veen in kolom in kg) \* drooggewichtgehalte veen als % van versgewicht ) / volume kolom. Omdat er bij het steken van de kolommen compactie is opgetreden, die vooral significant kan zijn in de los gestructureerde trilvenen, is afgezien van het gebruik van bulk density en worden concentraties uitsluitend uitgedrukt op basis van gewichtseenheid (mg/kg of mg/100g).

Vegetatiemonsters werden gedroogd, gewogen, gemalen en verwerkt. Drooggewicht werd bepaald door 72 uur drogen op 48°C en uitgedrukt als g drooggewicht/m<sup>2</sup>. C-, N-, P- en K-concentraties werden bepaald volgens Wassen et al. (2021). Om relatieve nutriëntenlimitatie te bepalen, gebruikten we de kritische waarden zoals gedefinieerd door Olde Venterink et al. (2003) op basis van N:P-, N:K- en K:P-verhoudingen in bovengrondse biomassa. N- en P-gelimiteerde locaties werden onderscheiden op basis van N:P-verhoudingen. N:P-verhoudingen  $\leq 13,5$  wijzen op N-limitatie (ten opzichte van P), terwijl verhoudingen  $> 16$  wijzen op P-limitatie (ten opzichte van N); wij definieerden waarden tussen 13,5 en 16 als co-limitatie door N en P. Om relatieve K-limitatie te onderscheiden,

gebruikten wij de kritische N:K-verhouding van 2,1 (waarden >2,1 wijzen op K-limitatie ten opzichte van N) en de K:P-verhouding van 3,4 (waarden >3,4 wijzen op P-limitatie ten opzichte van K).

### **3.4 Data analyse en statistiek**

Statistische analyses werden uitgevoerd met behulp van de software STATISTICA 10.0 (StatSoft, Tulsa, OK, VS). Tweeweg-ANOVA werd gebruikt om te testen op significante verschillen tussen de onderzoeklocaties en behandelingen (lage en hoge waterstanden). Een Tukey's post hoc-test werd gebruikt om significante verschillen tussen behandelingen te testen, waarbij p-waarden  $\leq 0,05$  als significant werden beschouwd. Alle weergegeven resultaten zijn rekenkundige gemiddelden ( $\pm$  standaardfout, SE).

Stofmassa's worden in dit rapport uitgedrukt in kilogram of daarvan afgeleide eenheden (gram, milligram). Volumes worden uitgedrukt in liter.

## 4 Resultaten

### 4.1 In situ metingen, veenkaracteristieken en vegetatie

In Tabel 2, 3 en 4 presenteren we de resultaten van de veldbemonsteringen en vegetatieopnamen die in mei 2021 zijn uitgevoerd (4, 5 en 31 mei en 1 juni 2021). Samen met de bodemchemische analyses die na afloop van het experiment op de veenkolommen zijn uitgevoerd (oktober 2021, gepresenteerd in Tabel 4) en met de bovengrondse biomassa en nutriëntenconcentratie in bovengrondse biomassa (Tabel 5) levert dit veel informatie op over de toestand van de onderzochte laagveengebieden. We zullen eerst de belangrijkste resultaten uit deze gegevens afzonderlijk bespreken en vervolgens deze informatie samenvoegen in een poging te komen tot een gesynthetiseerde karakterisering van de onderzochte venen.

Peizermeden en Meppelerdiep hebben een hoger gehalte aan mineraal materiaal dan de andere venen, waardoor het organische stofgehalte slechts 39% is (tabel 2). In beide gebieden is sprake van overstromingen in het verleden. In het Meppelerdiep viel tevens op dat de veenlaag erg dun was (max 10 cm) en dat daaronder kleiig zand aanwezig was. In het Meppelerdiep was het veen niet veraard. In de overige venen is het organische stofgehalte tussen de 66% en 92%. Het Loonerdiep heeft met een organisch stofgehalte van 66% dus ook een relatief laag organische stofgehalte. Visuele en orale veldwaarnemingen toonden matig veraard veen aan met enige zandbijmenging. De monsterlocatie ligt aan de dalrand, waar beekoverstroming in het verleden kan worden uitgesloten (mond. med. Remco Versluijs, Stichting Bargerveen), zodat hier waarschijnlijk sprake is ingespoeld zand uit de hoger gelegen beekdalflank. De mate van veraarding laat zien dat hier wisselende waterstanden optreden. Het veen van de Leijer Hooilanden is eveneens matig veraard, duidend op wisselende waterstanden. Veldweg en Stobbenribben bevatten een zuiver niet veraard veensubstraat met zichtbare mos-, zegge en rietresten die niet zijn vergaan. Deze trilvenen zijn waarschijnlijk vrijwel altijd nat. De C:N-verhoudingen zijn het hoogst in Stobbenribben (42.0) wat wijst op een N-mesotroof veen, de C:N-verhoudingen van Veldweg zijn ook vrij hoog (29,3), de andere locaties hebben vrij lage C:N-verhoudingen wat wijst op een relatief N-eutrofer veen. In Aanvullende Tabel 2 zijn de gloeiverlies fracties van de natte en verlaagde kolommen aan het eind van het experiment weergegeven. Er zijn geen significante verschillen in gloeiverlies tussen de natte en verlaagde kolommen per locatie, waaruit blijkt dat het veen tijdens de experimenteerperiode geen organische stof heeft verloren.

Tabel 2. Selectie an veenkenarakteristieken van de verschillende studiegebieden. Percentage koolstof (%C), percentage stikstof (%N), koolstof:stikstof verhouding (C:N ratio), gloeiverlies (loss on ignition, LOI) bij 2 verschillende temperaturen (450 en 550 °C), percentage organische stof (%OM), en percentage organisch koolstof in de bodem (%SOC).

Table 2. Selection of peat characteristics of the study sites. Percentage carbon (%C), percentage nitrogen (%N), carbon:nitrogen ratio (C:N ratio), loss on ignition (LOI) at 2 different temperatures (450 en 550 °C), percentage organic matter (%OM), and percentage soil organic carbon (%SOC).

Gebieds- code	Gebiedsnaam	% C	%N	C:N ratio	Loss on ignition (LOI)		% OM	% SOC
					LOI <sub>450</sub>	LOI <sub>550</sub>		
<b>PM</b>	<b>Peizermaden</b>	17.67	1.40	12.58	38.06	0.70	38.76	19.38
<b>LD</b>	<b>Loonerdiep</b>	29.13	1.92	15.13	65.62	0.40	66.02	33.01
<b>LH</b>	<b>Leijer Hooilanden</b>	35.15	2.01	17.49	78.52	0.41	78.93	39.47
<b>MD</b>	<b>Meppelerdiep</b>	18.79	1.38	13.66	38.04	0.88	38.92	19.46
<b>VW</b>	<b>Veldweg</b>	42.80	1.46	29.32	90.87	0.51	91.38	45.69
<b>SR</b>	<b>Stobbenribben</b>	41.17	0.98	42.01	91.53	0.24	91.77	45.89

Aanvullende Tabel 2. Gloeiverlies (LOI) karakteristieken van de veenkolommen na afloop van het kolomexperiment (oktober 2021).

Additional table 2. Loss on Ignition (LOI) characteristics of the peat columns at the end of the experiment (October 2021)

Gebieds -code	Gebiedsnaam	Waterstand	Gloeiverlies (LOI)		
			LOI <sub>450</sub>	LOI <sub>550</sub>	%OM
<b>PM</b>	<b>Peizermaden</b>	Hoog (5 cm -mv)	36.2 ±0.8d	0.8 ±0.05a	36.9 ±0.8d
		Laag (23 cm -mv)	43.5 ±2.5d	0.7 ±0.02a	44.2 ±2.5d
<b>LD</b>	<b>Loonerdiep</b>	Hoog (5 cm -mv)	66.3 ±4.5c	0.4 ±0.03b	66.7 ±4.7c
		Laag (23 cm -mv)	67.3 ±2.9c	0.3 ±0.02b	67.6 ±2.9c
<b>LH</b>	<b>Leijer Hooilanden</b>	Hoog (5 cm -mv)	78.7 ±1.2bc	0.6 ±0.08a	79.3 ±1.2bc
		Laag (23 cm -mv)	76.2 ±2.9bc	0.6 ±0.06a	76.7 ±2.8bc
<b>MD</b>	<b>Meppelerdiep</b>	Hoog (5 cm -mv)	41.1 ±1.7d	0.9 ±0.03a	42.0 ±1.7d
		Laag (23 cm -mv)	41.3 ±0.9d	0.9 ±0.03a	42.3 ±0.8d
<b>VW</b>	<b>Veldweg</b>	Hoog (5 cm -mv)	87.7 ±1.6ab	0.7 ±0.06a	88.4 ±1.7a
		Laag (23 cm -mv)	87.2 ±2.3ab	0.6 ±0.04a	87.8 ±2.3a
<b>SR</b>	<b>Stobbenribben</b>	Hoog (5 cm -mv)	92.8 ±0.5a	0.4 ±0.14b	93.2 ±0.4a
		Laag (23 cm -mv)	91.9 ±0.7a	0.7 ±0.23a	92.7 ±0.7a

Gegeven waarden zijn gemiddelden ±SE (n=3). Gemiddelden met verschillende letters verschillen significant van elkaar op basis van een Tukey b posthoc test (p≤0.05).

Het in situ gemeten veenwater van Peizermaden vertoont de hoogste EC en alkaliniteit, die significant verschilt van de overige locaties (tabel 3). De pH vertoont duidelijk significante trends waarbij de venen als volgt kunnen worden gerangschikt: Veldweg en Stobbenribben > Peizermaden, Loonerdiep, Leijer Hooilanden > Meppelerdiep. Het Meppelerdiep heeft zuur water (pH = 5.88) en de Veldweg en Stobbenribben hebben zwak alkalisch water. Het water van de Peizermaden onderscheidt zich van de rest door de extreem hoge alkaliniteit.

Tabel 3. Veldwaarnemingen, water in ondiepe boorgaten (0-5 cm – maaiveld).

Table 3. Field measurements on water in shallow boreholes (0-5 cm below surface)

Gebieds -code	Gebiedsnaam	EC ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Tempera- tuur EC sonde ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Tempera- tuur pH sonde ( $^{\circ}\text{C}$ )	Alkaliniteit ( $\text{mg L}^{-1}$ )
PM	Peizermaden	799.33 $\pm 224.83\text{a}$	24.40 $\pm 1.74\text{bc}$	6.88 $\pm 0.13\text{b}$	23.73 $\pm 1.56\text{bc}$	513.33 $\pm 146.07\text{a}$
LD	Loonerdiep	342.57 $\pm 52.00\text{b}$	26.39 $\pm 1.40\text{ab}$	6.48 $\pm 0.09\text{bc}$	26.07 $\pm 1.36\text{ab}$	184.29 $\pm 28.41\text{b}$
LH	Leijer Hooilanden	123.95 $\pm 16.24\text{b}$	22.03 $\pm 1.41\text{c}$	6.03 $\pm 0.15\text{cd}$	21.70 $\pm 1.32\text{c}$	66.67 $\pm 10.80\text{b}$
MD	Meppelerdiep	189.17 $\pm 26.09\text{b}$	24.42 $\pm 1.02\text{bc}$	5.88 $\pm 0.03\text{d}$	24.38 $\pm 0.88\text{bc}$	93.33 $\pm 10.33\text{b}$
VW	Veldweg	256.67 $\pm 4.52\text{b}$	29.38 $\pm 0.80\text{a}$	7.37 $\pm 0.07\text{a}$	28.97 $\pm 1.11\text{a}$	115.00 $\pm 2.74\text{b}$
SR	Stobbenribben	356.67 $\pm 37.60\text{b}$	20.80 $\pm 0.96\text{c}$	7.41 $\pm 0.24\text{a}$	20.88 $\pm 0.93\text{c}$	151.67 $\pm 10.68\text{b}$

Waarden zijn gemiddelden  $\pm\text{SE}$  (n=3). Gemiddelden met een verschillende lettercode binnen een kolom verschilden significant van volgens Tukey's b posthoc test met  $p < 0.05$ .

Bemonsteringsperiode: 31 mei-1 juni 2021. De linker temperatuurkolom geeft de temperatuur zoals gemeten met de EC sonde, de rechter temperatuurkolom gemeten met de pH sonde.

De vegetatie van de onderzochte gebieden kan als volgt worden gekarakteriseerd:

#### Peizermaden

Kleine zeggenvegetatie gedomineerd door *Carex nigra*, *C. rostrata*, maar ook grote zeggen zoals *Carex elata* en *C. disticha* komen voor, hoogopgaande grassen zoals *Calamagrostis canescens* en hoge kruiden zoals *Filipendula ulmaria*. PM 3 is meer een hooiland vegetatie met een redelijk hoge abundantie van *Festuca rubra*.

#### Loonerdiep

Kleine zeggenvegetatie gedomineerd door *Carex rostrata*, *C. nigra*, *C. echinata*, *Equisetum fluviatile* en *E. palustre*. Bevat ook graslandsoorten zoals *Anthoxantum odoratum*, *Cynosurus cristatus* en *Ranunculus acris*, soorten van voedsel- en basenrijkere laagvenen (*Caltha palustris*, *Dactylorhiza majalis*) en soorten van regenwatergevoede laagvenen (*Eriophorum angustifolium*). De moslaag is gedomineerd door *Calliergonella cuspidata*.

### *Leijer Hooilanden*

Nat grasland gedomineerd door *Alopecurus geniculatus*, *Poa trivialis*, *Ranunculus repens*, *Glyceria declinate* en *Phalaris arundinacea* met een moslaag van *Calliergonella cuspidata*.

### *Meppelerdiep*

Kleine zeggenvegetatie gedomineerd door *Carex panicea*, *C. rostrata*, *C. nigra*, *C. disticha*, *Equisetum fluviatile* en *Calamagrostis stricta*, rijk aan kruiden zoals *Pedicularis palustris*, *Potentilla palustris* en *Ranunculus flammula*. Moslaag gedomineerd door *Calliergonella cuspidata*, *Calliergon cordifolium* en de zeldzame en bedreigde soort *Hamatocaulis vernicosus*.

### *Veldweg en Stobbenribben*

Trilvenen, rijk aan kleine zeggesoorten als *Carex acuta*, *C. oederi*, *C. diandra* en *C. lasiocarpa* met een goed ontwikkelde moslaag van *Campylium stellatum* en in Stobbenribben *Scorpidium scorpioides* en in Veldweg *S. cossonii*. Overvloedige aanwezigheid van kruiden zoals *Pedicularis palustris*, *Menyanthes trifoliata* en *Potentilla palustris*.

De volledige vegetatiesamenstelling, inclusief de geschatte abundantie per soort is weergegeven in Bijlage 1

**Noot:** Zoals eerder vermeld, waren bij het steken van de kolommen op 4/5 mei alle gebieden zeer nat. Bovendien waren tijdens het veldwerk op 31 mei/1 juni 2021 alle gebieden nog steeds zeer nat (zie Tabel 4) met grondwaterpeilen aan de oppervlakte (Meppelerdiep, Looner Diep, Peizermaden) of zelfs ondiepe inundatie (Stobbenribben, Veldweg, Leijer Hooilanden). De implicaties hiervan voor de interpretatie van het experiment zijn al in de Methode sectie aangegeven.

Tabel 4 bevat de waarden van een aantal chemische bodemvariabelen na afloop van het kolomexperiment. De eerste opvallende constatering is dat de waarden in de veenkolommen die 5 maanden volledig nat werden gehouden voor de meeste variabelen slechts marginaal verschillen van de verlaagde kolommen (Tabel 4; op de verschillen tussen de natte en de verlaagde kolommen wordt later ingegaan zie 4.3 en 4.4).

Tabel 4. Selectie van bodemchemische variabelen van de veenkolommen gemeten op het einde van het experiment (totaal gehaltes, uitgedrukt mg kg<sup>-1</sup> droog veen).

Tabel 4. Selection of soil chemical variables of the peat columns, measured at the end of the experiment (total content, values are expressed in mg kg<sup>-1</sup> dry peat)

Gebiedsnaam	Waterstand	Aluminium (mg kg <sup>-1</sup> )	Calcium (mg kg <sup>-1</sup> )	IJzer (mg kg <sup>-1</sup> )	Kalium (mg kg <sup>-1</sup> )	Fosfor (mg kg <sup>-1</sup> )
<b>Peizermaden</b>	Hoog	30588±556b	14190±599a	35579±2509 a	6558±111a	2536±82a
	Laag	24419±1895 b	13299±764a	29228±3202 a	5545±244a	2112±158a
<b>Loonerdiep</b>	Hoog	4571±851c	20849±3354a	26405±3103 a	1889±312b	928±96b
	Laag	4491±1065c	19141±204a	26536±5071 a	1835±306b	1037±212b
<b>Leijer Hooilanden</b>	Hoog	6111±544c	16082±1797a	18336±2661 b	795±79bc	1257±112b
	Laag	5338±460c	15042±2909a	13367±1437 b	857±231bc	1056±133b
<b>Meppelerdiep</b>	Hoog	42943±5512 a	7481±726b	25262±2956 b	6973±893a	1593±147b
	Laag	41327±2802 a	7361±570b	22424±1440 b	6796±439a	1330±101b
<b>Veldweg</b>	Hoog	3218±792c	13472±679a	3357±751c	957±179bc	532±13c
	Laag	4624±1349c	14785±2280a	3957±588c	1303±166b	642±75c
<b>Stobbenribben</b>	Hoog	834±187d	14629±1112a	964±169d	533±21c	347±41c
	Laag	1002±250d	8642±242b	1167±324d	623±104c	357±72c

Ook is het belangrijk om te constateren dat uit Tabel 4 blijkt dat Peizermaden en Loonerdiep Fe-rijk zijn, Leijer Hooilanden en Meppelerdiep matig Fe-rijk, en Veldweg en Stobbenribben Fe-arm (Stobbenribben bevat het minste Fe). Dit patroon komt vrijwel geheel overeen met het P-gehalte van het veen: P-rijk veen in Peizermaden, matig P-rijk in Loonerdiep, Leijer Hooilanden en Meppelerdiep en P-arm veen in Veldweg en Stobbenribben. Het Meppelerdiep heeft een aanzienlijk lager Ca-gehalte dan de andere gebieden en het Loonerdiep is het meest kalkrijk. Het kaliumgehalte is het hoogst in het Meppelerdiep en de Peizermaden en het laagst in de Stobbenribben. Het aluminiumgehalte is het hoogst in het Meppelerdiep, gevolgd door Peizermaden en is weer het laagst in Stobbenribben (Tabel 4).

**Noot:** Opmerkelijk genoeg lagen de P-waarden van het veen zoals bepaald met de Olsen methode allemaal onder de detectiegrens (< 0.05 mg P/g droog veen; niet weergegeven).

De bovengrondse levende biomassa is het hoogst in Peizermaden (312 g dw/m<sup>2</sup>), gevolgd door het Meppelerdiep (237 g dw/m<sup>2</sup>) (Tabel 5). De andere venen hebben een lagere biomassa, variërend van 102 g dw/m<sup>2</sup> in Leijer Hooilanden tot 172 g dw/m<sup>2</sup> in Veldweg. De C-gehalten van de biomassa zijn allen gelijk in de zes gebieden. De N-concentraties in de vegetatie verschillen niet veel, behalve de significant hogere waarden in Leijer Hooilanden (32 mg N/g dw) vergeleken met 17-20 mg N/g dw in de andere gebieden. De P-concentraties in de vegetatie verschillen wel aanzienlijk tussen gebieden, waarbij de hoogste waarden wederom werden gevonden in Leijer Hooilanden (6,4 mg P/g dw), tussenliggende waarden in Peizermaden en Looner Diep (respectievelijk 2,7 en 3,8 mg P/g dw) en de laagste waarden in Meppelerdiep, Veldweg en Stobbenribben (1-1,5 mg P/g dw). De K-concentraties in de vegetatie zijn laag in Peizermaden, Leijer Hooilanden en Meppelerdiep (5,5-9,6 mg K/g dw) en aanzienlijk hoger in Loonerdiep, Veldweg en Stobbenribben (15,8-18,5 mg K/g dw).

De C:N-ratios in de bovengrondse biomassa volgden logischerwijs de N-concentraties, aangezien de C-concentraties in alle gebieden vrijwel gelijk waren. De C:N-ratios zijn aanzienlijk lager in Leijer Hooilanden dan in de andere gebieden. De N:P-ratios waren het laagst in het Loonerdiep en Leijer Hooilanden, gemiddeld in Peizermaden en Meppelerdiep, en het hoogst in Veldweg en Stobbenribben. De N:K-waarden waren opmerkelijk hoog in Leijer Hooilanden en de K:P-waarden waren hier opmerkelijk laag.

Het product van geogste droge biomassa en de nutriëntenconcentratie geeft een indicatie van de totale voorraad nutriënten die door de bovengrondse plantenbiomassa is opgenomen vanaf het begin van het groeiseizoen tot 1 juni. Uit deze cijfers blijkt dat de P-voorraad in Veldweg en Stobbenribben significant lager is dan in de andere gebieden; dat de N-voorraad in deze twee gebieden, maar ook in Loonerdiep, significant lager is dan in de andere gebieden en dat de K-voorraad in Leijer Hooilanden significant lager is dan in alle andere gebieden.

Uit de nutriëntenratio's kunnen interessante conclusies worden getrokken. N:P-ratios wijzen op N-limitatie in Peizermaden, Loonerdiep en Leijer Hooilanden en P-limitatie in Veldweg en Stobbenribben. Het Meppelerdiep is N-gelimiteerd, maar zit dicht bij co-limitatie door N en P. Alhoewel onze N:P ratio's (Tabel 5) in het algemeen wat dichter bij elkaar liggen dan de eerder door andere onderzoekers gemeten waardes (Tabel 1), zijn de conclusies over N en P limitatie hetzelfde.

Nadere beschouwing van de N:K en K:P verhoudingen leidt echter tot de conclusie dat Peizermaden en Leijer Hooilanden beschouwd moeten worden als co-gelimiteerd door K ( $N:K > 2.1$  en  $K:P < 3.4$ ). Zowel Peizermaden als Leijer Hooilanden hebben dus zowel lage N- als lage K-concentraties in hun bovengrondse weefsel, wat erop wijst dat beide nutriënten samen de groei beperken.

Tabel 5. Bovengrondse biomassa aan levende vaatplanten, concentraties C, N, P en K, nutriënten-ratio's en nutriënten-opslag in biomassa.

Tabel 5. Aboveground biomass of living vascular plants, concentrations C, N, P and K, nutrient ratios and nutrient content of the biomass.

Gebiedscode	Aantal monsters (n)	Biomassa g m <sup>-2</sup>	C mg g <sup>-1</sup>	N mg g <sup>-1</sup>	P mg g <sup>-1</sup>	K mg g <sup>-1</sup>	C:N	N:P	N:K	K:P	P opslag mg m <sup>-2</sup>	N opslag mg m <sup>-2</sup>	K opslag mg m <sup>-2</sup>
PM	2 of 3	312±63a	428±0.6a	20±0.3b	2.7±0.1bc	8.5±0.4b	21±0.3a	7.2±0.1a	2.3±0.1b	3.2±0.1bc	818±123a	4895±365a	2599±432a
LD	3	114±13c	401±5.1a	20±0.3b	3.8±0.2b	16.5±0.9a	19±0.3ab	5.6±0.4b	1.3±0.1b	4.4±0.1b	429±60a	2340±228b	1877±227a
LH	3	102±34c	426±3.4a	32±0.6a	6.4±0.5a	5.5±0.5b	13±0.3b	5.0±0.4b	5.9±0.5a	0.9±0.1c	619±168a	3177±1013ab	517±121b
MD	3	237±21b	425±1.5a	18±0.4b	1.5±0.1c	9.6±1.1b	23±0.4a	12.0±0.7a	2.0±0.3b	6.2±0.5b	368±49a	4349±419a	2311±461a
VW	3	172±16c	434±2.3a	15±0.9b	1.0±0.1c	15.8±1.5a	29±1.8a	16.4±1.3a	1.0±0.1b	16.8±0.7a	163±26c	2620±287b	2683±298a
SR	3	133±10c	433±3.1a	17±0.1b	1.1±0.1c	18.5±0.7a	26±0.1a	16.3±0.8a	0.9±0.1b	17.7±0.9a	140±13c	2263±175b	2446±112a

Waarden zijn de gemiddelden ±SE (n=3). Gemiddelden binnen een kolom met verschillende letters verschillen significant van elkaar volgens Tukey's b posthoc test met  $P < 0.05$ .

PM – Peizermaden, LD – Loonerdiep, LH - Leijer Hooilanden, MD – Meppelerdiep, VW- Veldweg, SR - Stobbenribben

## 4.2 Integratie van vegetatie, in situ metingen en veenkaracteristieken

In de onderstaande paragraaf karakteriseren wij de laagveengebieden op basis van de bovengenoemde informatie, aangevuld met informatie van lokale beheerders in een poging om onderzoeksvraag 1 en 2 te beantwoorden.

**Onderzoeksvraag 1: Hoe verschillen de bemonsterde laagveengebieden qua soortensamenstelling en in-situ water- en veencondities?**

**Onderzoeksvraag 2: Welk nutriënt of welke combinatie van nutriënten limiteert de plantengroei in de bemonsterde laagveengebieden?**

**Peizermaden:** Dit veen ligt dicht bij de laaglandbeek Peizer Diep en is beïnvloed door sedimentatie door vroegere overstromingen. De bodem is relatief rijk aan kalk en heeft een hoge alkaliniteit en EC. De vegetatie wordt co-gelimiteerd door N en K. Het gaat om een kleine zeggevegetatie die gedomineerd wordt door *Carex nigra*, *C. rostrata*, maar er komen ook grotere zeggen zoals *C. elata* en *C. disticha*, hoogopgaand gras *Calamagrostis canescens* en forse kruiden voor, zoals *Filipendula ulmaria*. Het nabijgelegen gebied De Onlanden is ongeveer vijf jaar geleden omgevormd tot een waterbergingsgebied, waardoor het waterpeil in het veen is gestegen. Het veen wordt al tientallen jaren 's zomers gemaaid in augustus/september en het maaisel wordt afgevoerd (Reinink mond. med.). De plaatselijke beheerder Warner Reinink heeft ook veel kwel-indicerende plantensoorten in het gebied waargenomen en gaat er op grond van deze waarnemingen vanuit dat er opwellend grondwater tot in het veen moet zijn..

**Loonerdiep:** Met grondwater gevoed *intermediate* veen (dit is een in de internationale literatuur gebruikelijke kwalificatie waar geen goede Nederlandse vertaling voor is, deze is gebaseerd op intermediaire EC, alkaliniteit en pH). Dit veen kan ook gekenschetst worden als Durchströmungsmoor, hetgeen indiceert dat er grondwater min of meer lateraal doorheen stroomt. Het veen is gelegen aan de dalrand van het Looner Diep, één van de takken van de Drentse Aa. Het gebied is gelegen buiten het bereik van overstromingen. Het gaat om een kleine zeggevegetatie die gedomineerd wordt door *Carex rostrata*, *C. nigra*, *C. echinata*, *Equisetum fluviatile* en *E. palustre*. Tevens komen graslandsoorten voor, zoals *Anthoxantum odoratum*, *Cynosurus cristatus* en *Ranunculus acris*, alsmede soorten van voedsel- en basenrijkere rijkere venen (*Caltha palustris*, *Dactylorhiza majalis*) en soorten van door regenwater gedomineerde laagvenen (*Eriophorum angustifolium*). De moslaag wordt gedomineerd door *Calliergonella cuspidata*. Het organische stofgehalte van het veen is relatief hoog en het veen is matig veraard, waarschijnlijk als gevolg van wisselende waterstanden. Evenals de Peizermaden zijn de gronden Fe-rijk, maar ze bevatten toch lagere P-gehalten dan de laatstgenoemde locatie. De groei van de vegetatie wordt beperkt door N.

**Leijer Hooilanden:** Laagveen langs de Reest en onderdeel van een regionaal vernattingsproject. Dit gebied heeft samen met het Meppelerdiep de duidelijkste kenmerken van weinig gebufferde relatief zure laagvenen (lage EC, pH en alkaliniteit). Het gaat om een natte graslandvegetatie die gedomineerd wordt door *Alopecurus geniculatus*, *Poa trivialis*, *Ranunculus repens*, *Glyceria declinata* en *Phalaris arundinacea* met een moslaag van *Calliergonella cuspidata*. Het hoge gehalte aan organische stof wijst op de afwezigheid van overstromingen en de matige veraarding, duidt op wisselende waterstanden. Het Fe-gehalte en het P-gehalte van het veen zijn gemiddeld. De vegetatie wordt co-gelimiteerd door N en K. De lage K-voorraad in de vegetatie wijst op K-uitputting, die mogelijk wordt veroorzaakt door K-uitspoeling als gevolg van langdurige infiltratie van regenwater.

**Meppelerdiep:** Rivierbegeleidend *intermediate* veen gelegen nabij het Meppelerdiep, een in de 20e eeuw gekanaliseerde en bedijkte laaglandbeek die deel uitmaakt van de Reest. Het gaat om een zeer gevarieerd gebied, met delen waar een kleine zeggevegetatie domineert, rijk aan *Carex panicea*, *C. rostrata*, *C. nigra*, *C. disticha*, *Equisetum fluviatile* en *Calamagrostis stricta*, en die ook rijk is aan kruiden zoals *Pedicularis palustris*, *Potentilla palustris* en *Ranunculus flammula*. De moslaag wordt gedomineerd door *Calliergonella cuspidata*, *Calliergon cordifolium* en de zeldzame en bedreigde soort *Hamatocaulis vernicosus*. Het veen is beïnvloed door sedimentatie als gevolg van vroegere overstromingen (resultierend in een relatief laag gehalte aan organische stof en aanwezigheid van klei), heeft een gemiddelde alkaliniteit maar een lage pH, wat wijst op een relatief lage buffercapaciteit. Het veen van het Meppelerdiep is het rijkst aan Al van alle in dit onderzoek onderzochte laagvenen en is vrij rijk aan Fe en P. De aluminium-rijkdom wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de aanwezigheid van klei. De vegetatie wordt gelimiteerd door N, maar zit dicht tegen N- en P-co-limitatie aan. Volgens de beheerder Rosalie Martens zit er geen kwel, vanwege diepe landbouwpolders tussen de Meppelerdieplanden en het Drents plateau, deze vangen de meeste kwel af. Wanneer er gemaaid wordt, laten ze altijd eerst het water aflopen, na het maaien zetten ze direct het boezemwater er weer op. Om in het begin even wat bij te zetten, zetten ze altijd even een klep open vanaf het Meppelerdiep, totdat de greppels weer vol zijn, daarna moet het boezemwater van de Wieden en de Weerribben de Meppelerdieplanden op peil houden. Volgens Martens zijn er van oudsher zeker overstromingen geweest vanaf het Meppelerdiep, maar dit gebeurt al lang niet meer. Voor 1986 was er al een kade die dit water tegen hield. Het gebied wordt minimaal 1 keer per jaar gemaaid en afgevoerd, af en toe lukt dit een tweede keer. In 1986 is het beheer overgegaan van SBB naar Natuurmonumenten.

**Veldweg & Stobberribben:** Gelegen in het laagveengebied de Wieden en Weerribben, één van de belangrijkste laagveengebieden van Nederland dat in de oorspronkelijke situatie opwellend grondwater ontving afkomstig van het Drentse Plateau, maar sinds de inpoldering van de nabijgelegen Noordoostpolder is de invloed van kwelwater vervangen door die van oppervlaktewater en infiltrerend regenwater. Het gaat om trilvenen, rijk aan kleine zeggen zoals *Carex acuta*, *C. oederi*, *C. diandra* en *C. lasiocarpa* met een goed ontwikkelde moslaag van *Campylium stellatum* en in Stobberribben *Scorpidium scorpioides* en in Veldweg *S. cossonii*. Verder is er een overvloedige aanwezigheid van kruiden zoals *Pedicularis palustris*, *Menyanthes trifoliata* en *Potentilla palustris*.

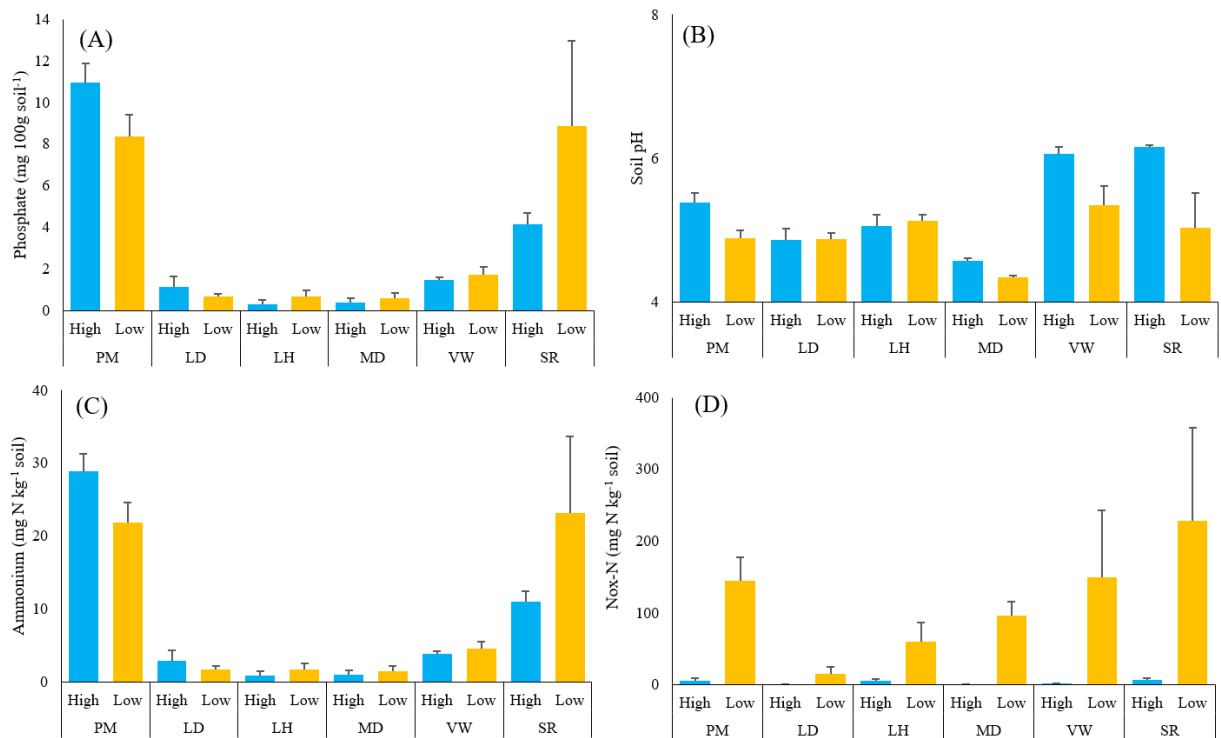
Het gaat om pure veengronden met een zeer hoog organisch stof gehalte. Er is bijna geen sediment in de bodems aanwezig. Beide gebieden hebben een gemiddelde alkaliniteit en een licht basische pH, wat wijst op gebufferde omstandigheden. De toevoer van oppervlaktewater leidt tot een relatief hoog EC. Het veen van Stobbenribben is het armst aan Fe, Al en P van alle bemonsterde gebieden. De vegetatie van beide venen is P-beperkt.

De Veldweg en Stobbenribben worden al zeer lange tijd jaarlijks minimaal 1 keer gemaaid en afgevoerd, af en toe lukt dit bij de Veldweg een tweede keer. Dit gebeurt in de zomer, maar misschien is er in het verleden ook nog wel riet geoogst, dus in de winter gemaaid (voor 2000 en waarschijnlijk nog veel eerder (mededeling Rosalie Martens)).

**Algemeen:** Er is een relatie/gradiënt zichtbaar over de gebieden heen tussen pH, buffercapaciteit en EC enerzijds en vegetatie anderzijds. De Stobbenribben en Veldweg vertonen een goed gebufferd watertype op maaiveld en de vegetatiesamenstelling duidt op een basenrijk veentype. Vervolgens is in de Meppelerdieplanden een regenwaterindicatie aanwezig en de vegetatie hier indiceert een overgang van basenrijke veenvegetatie naar basenrijke hooilandvegetatie. De Peizermeden is een uitbijter qua buffering (sterk gebufferd) en hier is een basenrijke hooilandvegetatie aanwezig, maar daarin ontbreken de karakteristieke veensoorten. Het Loonerdiep is een matig gebufferd hooiland met een *Calthion* vegetatie, waarin basenrijkdom-indicerende moerassoorten ontbreken. Tot slot heeft de Leijer Hooilanden regenwater in het profiel en is het slecht gebufferd. Qua vegetatie is dit veen lastig te duiden, omdat het nog in ontwikkeling is.

## 4.3 Invloed waterstand op nutriënten in de veenkolommen

Figuur 4 toont de  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_x$  concentraties van het veen en de bodem pH na afloop van het experiment. De *standard errors* zijn groot, waardoor er geen vergaande conclusies aan deze figuur kunnen worden verbonden. Wel is duidelijk dat het veen van de verlaagde kolommen hogere  $\text{NO}_x$  concentraties heeft dan de natte kolommen, wat suggereert dat er in de verlaagde kolommen nitraat wordt gevormd. Opmerkelijk is dat het veen van Peizermeden de hoogste  $\text{PO}_4$  en  $\text{NH}_4$  gehalten heeft na afronding van het experiment en dat voor dit gebied het verschil tussen verlaagde en niet-gedraineerde kolommen gering is. Dit veen is klaarblijkelijk zowel in natte als in de minder natte (verlaagde) omstandigheden het rijkst aan  $\text{PO}_4$  en  $\text{NH}_4$  van alle bestudeerde venen. De  $\text{PO}_4$  en  $\text{NH}_4$  gehalten van de verlaagde kolommen uit de Stobbenribben zijn duidelijk hoger dan in de natte kolommen. Hier komt klaarblijkelijk  $\text{PO}_4$  en  $\text{NH}_4$  vrij bij verlaging van de waterstand. Peizermeden, Veldweg en Stobbenribben vertonen een lagere pH in de verlaagde kolommen, hetgeen illustreert dat deze venen kwetsbaar zijn voor verzuring wanneer de waterstand daalt (Figuur 4).

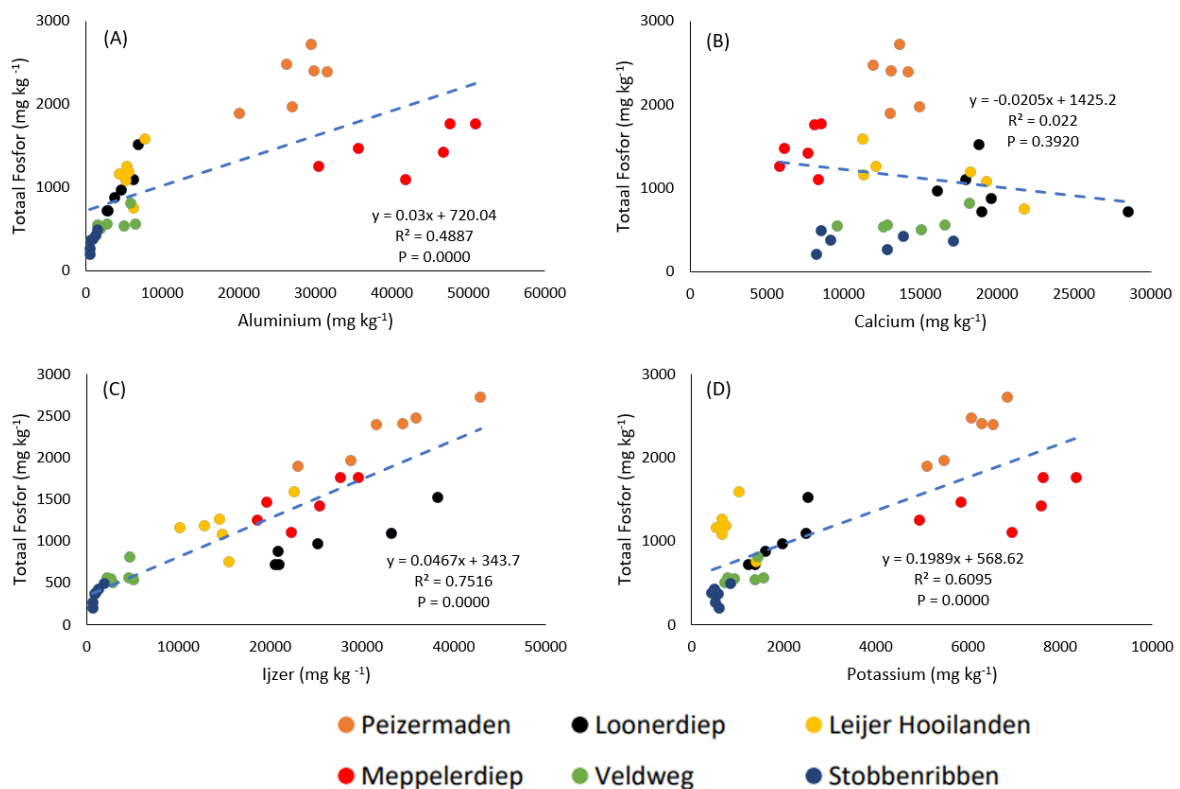


Figuur 4: (A) Fosfaat ( $\text{mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$ ), (B) bodem pH, (C) Ammonium ( $\text{mg L}^{-1}$ ), (D)  $\text{NO}_x\text{-N}$  ( $\text{mg N L}^{-1}$ ) in de bodemkolommen van de verschillende gebieden bij hoge (5 cm – mv) en lage (23 cm -mv) waterstanden, gemeten aan het eind van het experiment (na 154 dagen). Concentraties uitgedrukt op gewichtsbasis ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  veen); PM = Peizermeden, LD = Loonerdiep, LH= Leijer Hooilanden, MD= Meppelerdiep, VW= Veldweg, SR= Stobbenribben.

Figure 4. (A) Phosphate ( $\text{mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$ ), (B) soil pH, (c) Ammonium ( $\text{mg L}^{-1}$ ), (D)  $\text{NO}_x\text{-N}$  ( $\text{mg N L}^{-1}$ ) in soil columns from different areas at high (5 cm below surface) and low (23 cm below surface) water levels, measured at the end of the experiment (after 154 days). Concentrations are mass based ( $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$  peat); PM = Peizermeden, LD = Loonerdiep, LH= Leijer Hooilanden, MD= Meppelerdiep, VW= Veldweg, SR= Stobbenribben.

**Onderzoeksvraag 5: Hoe zijn de totale P-gehalten in het veen gerelateerd aan het Fe-, Al- en Ca-gehalte van het veen?**

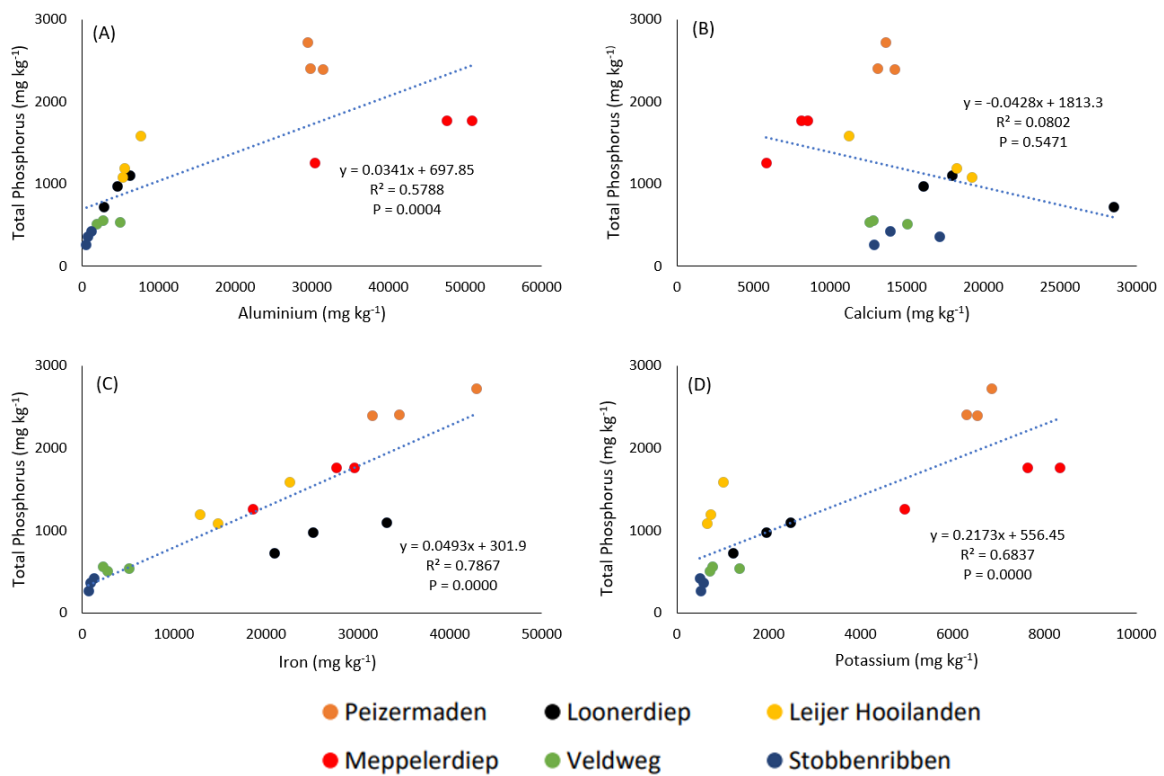
Om deze vraag te beantwoorden zijn grafieken gemaakt van de concentraties in het veen van Fe, Al en Ca versus P totaal, C:P en N:P verhouding (Figuur 5A, B). Totaal P in de bodem is significant en positief gecorreleerd ( $p < 0,05$ ) met Al en Fe, maar niet met Ca. De correlatie met Fe is het sterkst ( $R^2 = 0,75$ , Figuur 5A, paneel C). Bodem C:P en bodem N:P zijn significant negatief gecorreleerd ( $p < 0,05$ ) met log Fe en log Al, maar niet met log Ca (Figuur 5B). Ook hier zijn de correlaties met Fe het sterkst (bodem C:P  $R^2 = 0,62$ , bodem N:P  $R^2 = 0,82$ ).



Figuur 5A. Correlatie tussen totaal fosfor en (A) aluminium, (B) calcium, (C) ijzer, (D) kalium in bodemkolommen. Relatie tussen totaal P in de bodem was significant ( $p < 0.05$ ) gecorreleerd met aluminium, ijzer en kalium, maar niet met calcium.

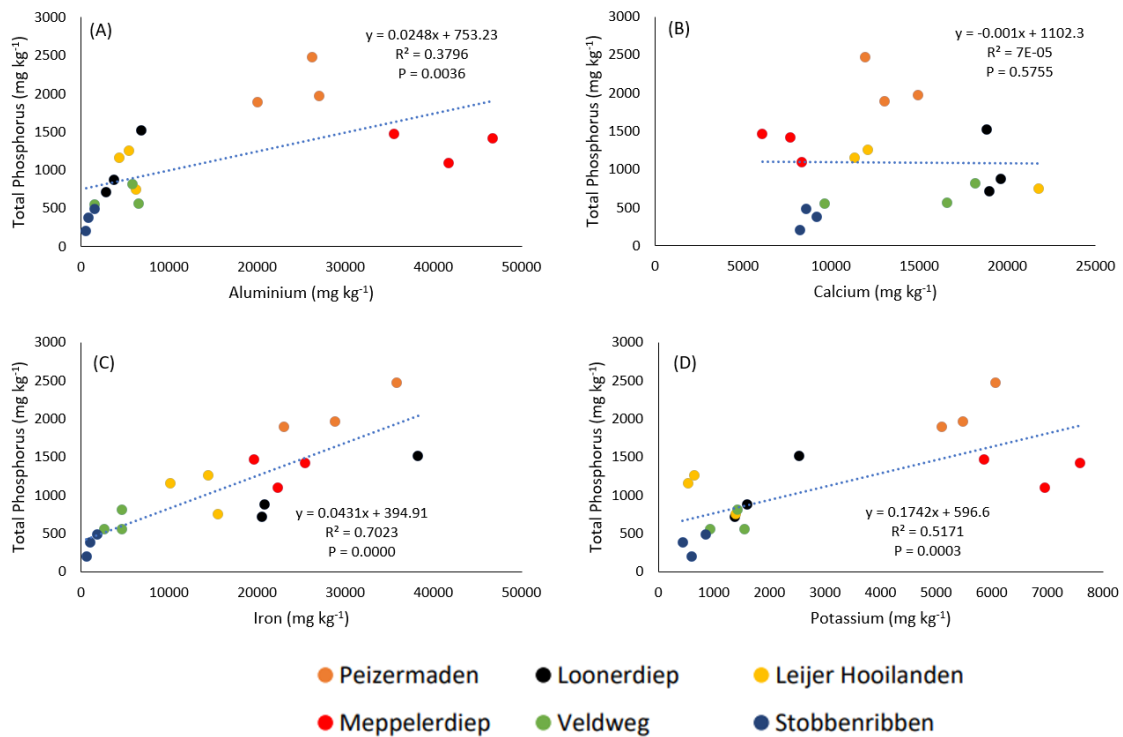
Figure 5A. Correlations between total phosphorus and (A) aluminum, (B) calcium, (C) iron, and (D) potassium in soil columns. The relation between total soil P was significantly ( $p < 0.05$ ) correlated with aluminum, iron and potassium, but not with calcium.

Om de correlaties tussen P en andere chemische variabelen verder te onderzoeken hebben we natte en verlaagde kolommen apart geanalyseerd en daarbij vonden we dat zowel in natte als in verlaagde kolommen dezelfde patronen voorkomen met vergelijkbare sterke correlaties tussen Fe, Al en totaal P, C:P en N:P, respectievelijk (Aanvullend Figuur 2A, B, C, D).



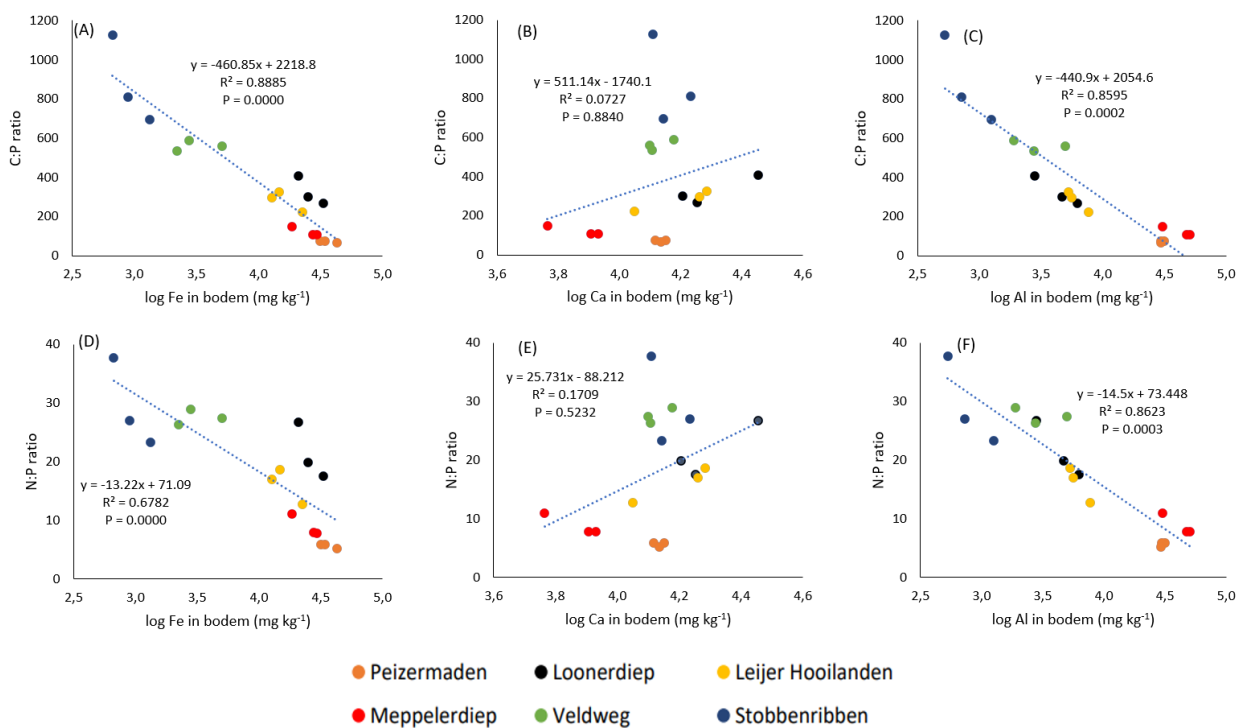
Aanvullend figuur 2A. Correlaties tussen totaal fosfor en (A) aluminium, (B) calcium, (C) ijzer, (D) kalium in bodemkolommen met hoge waterstand (5 cm – maaiveld). Totaal P in de bodem was significant ( $p < 0.05$ ) gecorreleerd met aluminium, ijzer en kalium, maar niet met calcium.

Additional figure 2A. Correlations between total phosphorus and (A) aluminum, (B) calcium, (C) iron, and (D) potassium, in soil columns with high water levels (5 cm below surface). Total soil P was significantly ( $p < 0.05$ ) correlated with aluminum, iron and potassium, but not with calcium.



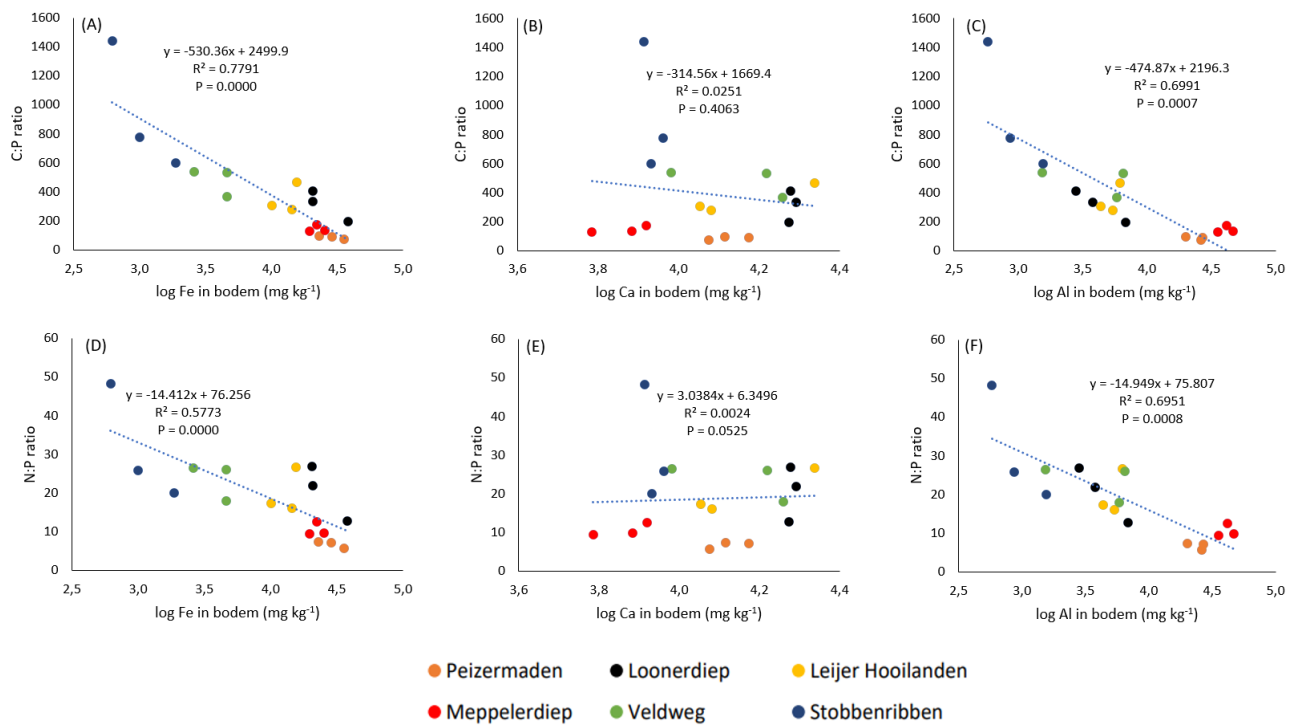
Aanvullend figuur 2B. Correlaties tussen totaal fosfor en (A) aluminium, (B) calcium, (C) ijzer en (D) kalium in bodemkolommen met een lage waterstand (23 cm – maaiveld). Totaal P in de bodem was significant ( $p < 0.05$ ) gecorreleerd met aluminium, ijzer en kalium, maar niet met calcium

Additional figure 2B. Correlations between total phosphorus and (A) aluminum, (B) calcium, (C) iron, and (D) potassium, in soil columns with a low water level (23 cm below surface). Total soil P was significantly ( $p < 0.05$ ) correlated with aluminum, iron, and potassium, but not with calcium.



Aanvullend figuur 2C. Correlaties tussen bodem C:P en N:P ratio's en ijzer (A en D), calcium (B en E) en aluminium (C en F) bij hoge waterstand (5 cm – maaiveld). Log Fe, log Ca en log Al zijn gebaseerd op de concentraties totaal Fe, Ca en Al in mg kg<sup>-1</sup> in de bovenste 30 cm van de bodem. Voor beide ratio's was de correlatie significant ( $p < 0.05$ ) voor ijzer en aluminium, maar niet voor calcium.

Additional figure 2C. Correlations between soil C:P and N:P ratios, and iron (A and D), calcium (B and E) and aluminum (C and F) bij high water level (5cm below surface). Log Fe, log Ca and log Al are based on the concentrations of total Fe, Ca, and Al in mg kg<sup>-1</sup> in the upper 30 cm of the soil. Both ratios were significantly correlated ( $p < 0.05$ ) with iron and aluminum, but not with potassium.



Aanvullend figuur 2D. Correlaties tussen bodem C:P en N:P ratio's en ijzer (A en D), calcium (B en E) en aluminium (C en F) bij lage waterstand (23 cm -maaiveld). Log Fe, log Ca en log Al zijn gebaseerd op de concentraties totaal Fe, Ca en Al in mg kg<sup>-1</sup> in de bovenste 30 cm van de bodem. Voor beide ratio's was de correlatie significant ( $p < 0.05$ ) voor ijzer en aluminium, maar niet voor calcium.

Additional figuer 2D. Correlations between soil C:P and N:P ratios, and iron (A and D), calcium (B and E) and aluminum (C and F) at low water levels (23 cm below surface). Log Fe, log Ca and log Al are based on concentrations of total Fe, Ca and Al in mg kg<sup>-1</sup> in the upper 30 cm of the soil. Both ratios were significantly ( $p < 0.05$ ) correlated with iron and aluminum, but not with calcium.

Duidelijk is dat het veen van Veldweg en Stobbenribben het laagste totale P- en Fe-gehalte heeft (Tabel 4; Figuur 5A). Dit is in overeenstemming met de P-beperving op basis van de vegetatieanalyse: de Fe-arme venen van Veldweg en Stobbenribben zijn klaarblijkelijk P-bepervt door de lage Fe-concentratie in de bodem, onafhankelijk van de hoeveelheid Ca in het veen.

Bovengenoemde resultaten zijn vergelijkbaar met die van Kooijman et al. (2019) die ook de beschikbaarheid van P uitzochten in laagveengebieden met verschillende gehalten aan Fe en Ca (in Nederland en Zweden).

In het algemeen werd aangenomen dat Fe-rijke laagveengebieden een lage P-beschikbaarheid hebben (Walker en Syers, 1976). In onze studie hadden de Peizermaden, Looner Diep en Meppeler Diep, met de hoogste Fe- en Al-gehalten, echter ook de laagste bodem C:P en bodem N:P, hetgeen een hoge relatieve P-beschikbaarheid suggereert. Op basis van deze verhoudingen mogen we stellen dat onze resultaten de recente inzichten van Emsens et al. (2017) en Kooijman et al. (2019) ondersteunen. Deze auteurs weerleggen in hun onderzoek de op Walker & Syers (1976) gebaseerde

visie dat ijzerrijkdom fosfaatlimitatie bewerkstelligd. De beschikbaarheid van P in de bodem van Fe-rijke laagveengebieden kan dus behoorlijk hoger zijn dan in Fe-arme laagvenen.

## 5 Discussie

### 5.1 Waargenomen patronen en mogelijke processen

Allereerst moet worden beseft dat het oorspronkelijke doel van het experiment werd bemoeilijkt door de zeer natte omstandigheden tijdens de veldbemonstering. Het oorspronkelijke idee van het kolomexperiment was het experimenteel manipuleren van de grondwaterstanden, in die zin dat veenkolommen uit laagveengebieden die verschilden in de mate van ontwatering, tot aan het maaiveld zouden worden vernat om zo vernattings-herstelprojecten na te bootsen. Tijdens de bemonstering waren alle laagveengebieden echter zeer nat met grondwaterpeilen tot aan de oppervlakte op 4/5 mei en 31 mei/1 juni 2021 (Meppelerdiep, Looner Diep, Peizermaden) of zelfs ondiepe inundatie (Stobbenribben, Veldweg, Leijer Hooilanden). Dit betekent dat om verschillen in grondwaterstand te verkrijgen in het experiment voor alle locaties de aanvankelijk natte voorjaarssituatie moest worden verlaagd om kolommen met een grondwaterstand van ca. 25 cm onder maaiveld te kunnen realiseren. Dit houdt in dat de experimentele behandeling van 5 cm onder het veenoppervlak in feite de veldomstandigheden tijdens de bemonstering nabootst, terwijl de andere helft van de vaten, waar het waterpeil op ca. 25 cm onder het veenoppervlak in de kolom werd gehouden, in feite verlaagde omstandigheden ten opzichte van de veldsituatie betroffen. De hoge waterstand kan ook als een controle gezien worden, omdat deze de veldsituatie benadert zoals aangetroffen in mei 2021. Men moet zich ook realiseren dat onze kolommen geen vegetatie bevatten, dus vrijgekomen nutriënten werden niet door de vegetatie opgenomen. Dit impliceert dat de ontwikkeling van de concentraties in het veen kan worden beschouwd als een netto afgifte.

Als we inzoomen op de relatie tussen de rijkdom aan Fe, Al en Ca in de locaties en hoe dit samenhangt met P-beschikbaarheid is het meest opvallende resultaat dat de eerdere bevindingen van Emsens et al. (2017) en Kooijman et al. (2019) werden bevestigd: (1) P-rijkdom van de laagveengebieden was sterker gecorreleerd met Fe en Al (vooral Fe) dan met Ca; (2) Fe-rijke laagveengebieden hadden P-rijk veen. Omdat de opname van P in de vegetatie laag is in de Fe-arme gebieden Stobbenribben en Veldweg (zowel P-concentratie als totale opname van P (biomassa\*concentratie) laat dit ook duidelijk zien dat de P-beschikbaarheid, dus de beschikbare fractie van de totale P-pool, laag is in de Fe-arme gebieden. Daarentegen zijn in de Fe-rijke gebieden Peizermaden en Loonerdiep zowel de concentraties van P in de vegetatie als de totale opname van P in de vegetatie hoog. Dit patroon contrasteert met de klassieke opvatting dat Fe-P-binding P-mobilisatie belemmert en de P-beschikbaarheid voor de vegetatie verlaagt (Walker en Syers 1976, Zak et al. 2010 in Emsens et al. 2017, Van der Grift et al. 2016; 2018). Verder toont de vondst van Fe-rijke laagveengebieden, met hoge P-pools en hoge P--beschikbaarheid aan dat Fe-rijke laagvenen grote hoeveelheden P kunnen hebben vastgelegd die vroeg of laat beschikbaar kunnen komen.

Onze resultaten bevestigen ook dat in bijna neutrale tot licht zure laagveengebieden met een matige Ca rijkdom en een beperkt bufferend vermogen zoals de venen die in deze studie onderzocht zijn, Ca waarschijnlijk geen significante rol speelt bij het neerslaan van P. Het is belangrijk om te constateren

dat de relaties tussen P en Fe, Al en Ca en tussen C:P of N:P en Fe, Al en Ca niet verschilden in veenkolommen die c. 25 cm werden gedraineerd in vergelijking met de kolommen die voortdurend nat werden gehouden (154 dagen), wat erop wijst dat de complexen tussen Fe en Al en P vrij stabiel zijn in de tijd en niet in grote mate worden beïnvloed door redoxprocessen zolang de omstandigheden vochtig tot nat blijven.

Een aanvullende verklaring voor de hogere P-beschikbaarheid in Fe-rijke laagveengebieden zou verband kunnen houden met de lage sorptie van P die wordt toegeschreven aan de vorming van Fe-organische stof-complexen (Fe-OM). Een hoog gehalte aan organische stof in laagveengebieden blijkt een remmende werking te hebben op vaste fase neerslag (Inskeep & Silvertooth, 1988) en verzwakt het vermogen van P om zich stevig te binden in Fe-OM complexen, waar P op monodentate wijze is gebonden, d.w.z. slechts één fosfaatzuurstofatoom is gebonden aan één aangrenzende Fe-oppervlakte bindingsplaats, in tegenstelling tot twee bindingsplaatsen (Kim et al. (2011) in Kooijman et al. 2019). Dus in venen, die per definitie rijk zijn aan organische stof, zou dit mechanisme ervoor kunnen zorgen dat de binding van P door Fe daar extra zwak is.

## 5.2 Samenvattende observaties en beheersadviezen

We zullen nu observaties samenvatten en factoren benoemen die bepalend zijn voor succesvolle instandhouding van de gewenste vegetatie. Tevens zullen we indien mogelijk aangeven in hoeverre deze factoren beïnvloed kunnen worden door waterstand of door beheersmaatregelen gestuurd kunnen worden.

***Onderzoeksvraag 6: Welk advies kan worden gegeven over factoren die bepalend zijn voor succesvolle instandhouding van de gewenste vegetatie? Hoe kunnen deze factoren worden beïnvloed door middel van beheersmaatregelen?***

Al met al geven de resultaten van ons experiment aan dat lichte drainage van natte laagveengebieden voor een periode van 5 maanden niet leidt tot het vrijkomen van een enorme 'PO<sub>4</sub> bom'. Dit is een geruststellende bevinding in het licht van de algemene onderzoeksvraag van ons onderzoek, namelijk hoe kwetsbaar de bestudeerde laagveengebieden zijn voor P-eutrofiëring door veranderingen in natheid. Daarbij dient opgemerkt te worden dat de verlaging van de waterstand in onze kolommen minder dan een half jaar heeft geduurd. Tegenover de observatie dat de P mobilisatie beperkt was, staat echter dat de NO<sub>x</sub> concentraties hoger waren in de kolommen met een verlaagde waterstand en de pH in de meeste verlaagde kolommen lager was (Peizermaden, Meppelerdiep, Veldweg en Stobbenribben). Meer mineraal stikstof bij een verlaagde waterstand lijkt vooral voor te komen in de Stobbenribben, Veldweg en Peizermaden. Deze locaties vertoonden ook een significant lagere pH in de verlaagde kolommen, hetgeen illustreert dat deze venen kwetsbaar zijn voor verzuring en nitrificatie wanneer het waterpeil daalt.

Omdat er binnen onze experimenteerperiode geen merkbare verandering plaatsvond in de veenstructuur en de fosfaat-concentratie in het veen niet drastisch toeneemt, lijken opslag in en binding aan organische stof van P intact gebleven in de verlaagde kolommen. Een tijdelijke beperkte verlaging van de waterstand heeft dus waarschijnlijk geen onmiddellijke ingrijpende gevolgen, voor de P-beperkte venen Stobbenribben en Veldweg. Een verlaging van de waterstand om bijvoorbeeld te kunnen maaien of ander beheer uit te voeren en daarmee insporing en veencompactie te beperken, behoort dus tot de mogelijkheden in P-gelimiteerde venen, zoals nu al in een aantal van onze gebieden, waar dat waterbeheer-technisch mogelijk is, wordt geïmplementeerd. Aangezien we wel verzuring en vermindering van de alkaliniteit hebben waargenomen in onze verlaagde kolommen mogen we niet aannemen dat de door ons onderzochte systemen voldoende gebufferd zijn tegen een keer een droog voorjaar. Klaarblijkelijk is er wel voldoende capillair vermogen om de toplaag van het veen vochtig te houden, maar de veen-hydrochemie wordt wel beïnvloed door zuur- en redoxprocessen.

Een andere observatie is dat de gebieden dermate verschillen dat er geen eenduidig voor alle locaties geldend advies kan worden gegeven, behalve dat de venen om diverse risico's uit te sluiten nat gehouden dienen te worden en het maai- en afvoer-beheer gericht op het voorkómen van eutrofiëring door de onvermijdelijke aanvoer van met name stikstof via atmosferische depositie, uiteraard gecontinueerd dient te worden.

Afwegingen over waterstand en eventuele vernatting moeten op maat worden ontworpen, zoals Possen et al. (2021) en vele andere auteurs al eerder concludeerden. Het is echter duidelijk uit onze resultaten dat de processen die betrokken zijn bij Fe-P-binding leiden tot de conclusie dat de klassieke opvatting van een grote P-bindende capaciteit in Fe-rijke venen en daarmee het induceren van P-limitatie genuanceerd moet worden. Eerder lijkt het tegendeel waar, zoals reeds aangetoond door Emsens et al. (2017) en Kooijman et al. (2019). De kalkrijkdom van het veen en de buffercapaciteit was laag tot matig in de onderzochte laagveengebieden, met uitzondering van Peizermaden, dat als kalkrijk kan worden geclassificeerd maar niet P-gelimiteerd is. Dit impliceert dat in dit soort gebieden (matig-rijk aan kalk), calcium geen grote rol speelt bij het reguleren van de P-beschikbaarheid.

### **5.3 Gebiedspecifieke conclusies en aanbevelingen voor beheer**

**Peizermaden:** Dit N-gelimiteerde veen met een overwegend minerale bodem is gelegen in een recent gecreëerd waterbergingsgebied De Onlanden, waarvan het mogelijk profiteert, met eventuele vestiging van moerassoorten. Deze hydrologisch rooskleurige situatie is gunstig. De overwegend minerale bodem belemmert de mogelijkheden voor de ontwikkeling van mesotrofe laagveensoorten.

**Loonerdiep:** Grondwater gevoed N-gelimiteerd veen aan de dalrand van het Looner Diep. De hydrologische situatie van het Loonerdiep is verder goed. Het lijkt een functionerend "Durchströmungsmoor" te zijn, dat hnat blijft dankzij de instroom van grondwater. Wel bestaat het

risico van N-eutrofiëring uit het instromende grondwater door landbouwpraktijken in het nabijgelegen infiltratiegebied en atmosferische N-depositie.

**Leijer Hooilanden:** De N-limitatie en de lage  $\text{NH}_4$  en  $\text{PO}_4$  concentratie in het veen in zowel de verlaagde als de natte kolommen wijzen erop dat dit veen naar verwachting niet zal eutrofiëren, mits het waterpeil dicht bij de oppervlakte blijft, hetgeen te verwachten valt gezien de recente regionale en lokale herstelmaatregelen. De ontwikkeling tot een meer biodivers nat grasland met veensoorten is echter op korte termijn niet te verwachten, aangezien de buffercapaciteit zeer laag is en het onduidelijk is of de kwel van het grondwater is hersteld. Voor Leijer Hooilanden wordt hydrologisch onderzoek aanbevolen om de mate van grondwaterkwel te bepalen. De buffercapaciteit van het veen is laag, waardoor het risico op verdere verzuring aanwezig is. Aangezien dit veen N- en K-co-gelimiteerd is, vormt de input van N door atmosferische depositie een risico.

**Meppelerdiep:** N- en P-co-gelimiteerd veen gelegen tussen een drukke provinciale weg (N-emissies) en de Drentse Hoofdvaart (Meppeler Diep). Het is minder gebufferd dan de Veldweg en Stobbenribben en ligt in een infiltratiegebied met geen of zeer weinig opwellend grondwater. De aanwezigheid van de zeer zeldzame en ernstig bedreigde soort *Hamatocaulis vernicosus* maant tot voorzichtigheid, waarbij wel vermeld dient te worden dat deze soort de afgelopen 20 jaar sterk is uitgebreid in het gebied (mond. med. C. Cusell). De geringe buffercapaciteit maakt dit veen kwetsbaar voor verzuring als de regenwateroverheersing toeneemt. Een duidelijke daling van de pH in de verlaagde kolommen na afloop van het experiment onderstreept deze kwetsbaarheid. In perioden van droogte kan water worden aangevoerd vanuit de boezem, via een sloot die het boezemwater over enkele honderden meters transporteert en die het mogelijk in zekere mate filtert. Voor het Meppelerdiep lijkt het huidige waterbeheer en de inschatting van de beheerder te suggereren dat het veen waterbeheer-technisch goed beheert kan worden. Aangezien het Meppelerdiep door N- en P-ge(co-)limiteerd lijkt te worden, moet zowel de toevoer van N als die van P laag blijven.

**Veldweg:** De veenlaag is hier ondiep, en de kragge ligt op diverse plekken min of meer vast op de ondergrond en is derhalve minder drijvend dan in de Stobbenribben. Het veen is goed gebufferd via aangevoerd oppervlaktewater, en ligt in een regionaal infiltratiegebied met afwezigheid van opwellend grondwater. De veenbodem heeft een zeer laag P-gehalte. Het gaat om een soortenrijke (tril-)veenvegetatie met bedreigde soorten en een moslaag die gedomineerd wordt door *Campylium stellatum* en *Scorpidium cossonii*. Het veen wordt gevoed door regenwater en oppervlaktewater uit de Kerkgracht, dat het veen bereikt via een lange aanvoerweg van sloten en greppels. Dit is noodzakelijk omdat de waterkwaliteit in de Kerkgracht niet altijd optimaal is, doordat een poldergemaal hier veel voedselrijk kwelwater op loost.. Uit de experimenten blijkt dat het veen minder kwetsbaar is voor verzuring en eutrofiëring dan de Stobbenribben.

**Stobbenribben:** Trilveen met intact zuiver organisch veen, waar vrijwel geen sediment in zit en een hoge pH heeft. Het veen wordt jaarlijks gemaaid, tijdens maaien wordt het tijdelijk gedraineerd. Het

ligt in een regionaal infiltratiegebied met afwezigheid van opwellend grondwater (mond. med. Geert Kooijman), waarschijnlijk is de infiltratie hier sterker dan in de Veldweg (mond. med. Casper Cusell). Er staat hier een soortenrijke trilveenvegetatie met bedreigde soorten en een goed ontwikkelde moslaag die gedomineerd wordt door *Campylium stellatum* en *Scorpidium scorpiodes*. In aangrenzende petgaten met trilveen komt ook *Scorpidium cossonii*. voor. Het veen wordt gevoed door regenwater en oppervlaktewater dat wordt aangevoerd vanuit de Achtersloot en via een slotenstelsel en laterale stroming door het veen in het onderzochte trilveen terechtkomt (mond. med. Geert Kooijman). Uit de resultaten van het experiment blijkt dat het veen kwetsbaar is voor verzuring en eutrofiëring wanneer het waterpeil daalt. Dit risico is echter klein, vanwege de drijvende mat en de filtering van aanvoerwater. De situatie zal naar verwachting dit trilveen bufferen tegen uitdroging en eutrofiëring in droogteperiodes.

Voor de Stobbenribben en Veldweg, die duidelijk P-gelimiteerd zijn, bestaan uit puur veen, liggen in een regionaal infiltratiegebied en die oppervlaktewater ontvangen via irrigatiesloten, adviseren wij een monitoringsprogramma op te zetten. Zo'n programma zou zich moeten richten op de potentiële filtering van nutriënten door waterplanten en adsorptieprocessen aan onderwaterbodem en veen door de lange afstand die het oppervlaktewater moet afleggen voordat dit water het betreffende veen bereikt. Dit kan door regelmatig oppervlaktewater te bemonsteren en dit op macro-ionen en nutriënten te analyseren. Speciale aandacht zal uit moeten gaan naar diverse fosfaatfracties, hetgeen specifieke bemonsterings- en analysetechnieken vraagt die arbeidsintensief zijn. Defosfatering van het inlaatwater zou kunnen worden overwogen, indien de monitoringresultaten te hoge fosfaatconcentraties laten zien. Defosfatering is overigens niet alleen voor de hier onderzochte zeer goed ontwikkelde trilvenen (met reeds langere aanvoerwegen) van belang, maar vooral voor kansrijke plekken die zich in deze richting zouden kunnen gaan ontwikkelen.

#### **5.4 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek**

Wij hebben ons onthouden ons van al te veel speculaties over de biogeochemische processen die in de onderzochte gebieden plaatsvinden. Hoewel het experiment en het veldonderzoek ons een redelijk inzicht hebben verschaft in de ecohydrologische en hydrochemische omstandigheden van de gebieden en de kenmerken van veen onder natte en licht verlaagde omstandigheden in het 154 dagen durende kolomexperiment, zijn de verzamelde data onvoldoende om harde conclusies te trekken over hydrochemische processen op de lange termijn. Een dergelijk kolomexperiment zou idealiter langer moeten worden voortgezet en de monsternamen, -behandeling en -analyse van het poriewater behoeft meer zorgvuldigheid om het risico op artefacten te verkleinen. Het is binnen het beperkte budget niet mogelijk om gedetailleerd procesonderzoek te doen naar veenomzetting, decompositie, mineralisatie en hydrochemische reacties die de beschikbaarheid van voedingsstoffen bepalen.

Wel trekken we de volgende lessen uit dit onderzoek. De verschuiving van voornamelijk veldonderzoek naar vnl. kolom onderzoek is niet zo'n gelukkige keuze geweest. Het kolom

experiment heeft onevenredig veel tijd gekost. In het bijzonder de periodieke poriewater bemonsteringen hebben veel tijd gekost terwijl de informatie die daaruit gehaald werd beperkt is gebleken. Vanwege twijfels over de betrouwbaarheid van analyseresultaten door een niet kloppende ionenbalans is de poriewater data uiteindelijk ook niet gebruikt. De veldwaarnemingen waren daarentegen wel een zeer bruikbare bron van informatie. De combinatie van veldwaarnemingen (water, vegetatie) en lab analyses aan vegetatie en veen was waardevol. De lab analyse van de veenmonsters (veldmonsters en analyse aan het veen na afloop van het experiment) gaf ook additionele inzichten. We raden aan om als er gekozen wordt voor een kolomexperiment de poriewaterbemonstering terug te brengen in frequentie en de analyse van het veen voorafgaand en na afloop te handhaven. Verder raden we aan om ook redox-metingen te verrichten in veld en kolommen. Deze geven samen met de pH inzicht in de condities waarbij bepaalde processen aannemelijk zijn. Onze ervaring leert dat redox-metingen in het veld in tienvoud moeten worden gedaan om een representatief beeld te krijgen van de redox toestand (De Mars en Wassen 1999). Suggesties voor verbetering zijn verder: (1) Steek grotere kolommen (grotere diameter), werk met een zaag om de kolommen zo ongestoord mogelijk uit te zagen; (2) Voeg bij een kolomexperiment een behandeling toe: kolommen met en kolommen zonder vegetatie; (3) Gebruik standaard water om de vaten mee te vullen. Ons inziens voldeed kraanwater uit Utrecht. Ververs het water in de tonnen/vaten niet.

## Literatuur

De Mars, H. & Wassen, M.J.. (1999). Redox potentials in relation to water levels in different mire types in the Netherlands and Poland. *Plant Ecology* 140: 41-51.

Emsens, W.J., Aggenbach, C.J.S., Smolders, A.J.P., Zak, D., van Diggelen, R. (2017). Restoration of endangered fen communities: the ambiguity of iron–phosphorus binding and phosphorus limitation. *Journal of Applied Ecology* 54:1755–1764. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12915>

Houba, V.J.G., van der Lee, J.J., Novozamsky, I. (1995). Soil analysis procedures; other procedures (soil and plant analysis, part 5B). Agricultural University of Wageningen, The Netherlands.

Inskeep, W.P. & Silvertooth J.C. (1988). Inhibition of hydroxyapatite precipitation in the presence of fulvic, humic and tannic acids. *Soil Science Society of America Journal* 52: 941-946.

Kim, J., Li, W., Philips, B.L., Grey, C.P. (2011). Phosphate adsorption on the iron oxyhydroxides goethite ( $\alpha$ -FeOOH), akaganeite ( $\beta$ -FeOOH), and lepidocrocite ( $\gamma$ -FeOOH): a  $^{31}\text{P}$  NMR study. *Energy and Environmental Science* 4:4298. <https://doi.org/10.1039/c1ee02093e>

Kooijman, A.M., Cusell, C., Hedenäs, L., Lamers, L.P.M., Mettrop, I.S., Neijmeijer, T. (2019). Re-assessment of phosphorus availability in fens with varying contents of iron and calcium. *Plant and Soil*, 447:219–239. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04241-4>

Lamers, L.P.M., Lucassen, E.C.H.E.T., Van Der Velde, G., Roelofs, J.G.M. (2006). Internal eutrophication: How it works and what to do about it—a review. *Chemistry and Ecology* 22:93–111.

Lamers, L.P.M., Smolders, A.J.P., Roelofs, J.G.M. (2002). The restoration of fens in the Netherlands. *Hydrobiologia* 478: 107-130.

Olde Venterink, H., Wassen, M.J., Verkroost, W.M. De Ruiter, P.C. (2003). Species richness–productivity patterns differ between N-, P-, and K-limited wetlands. *Ecology* 84: 2191–2199.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A. (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA circular 939. US Government Printing Office, Washington DC.

Possen, B.J.H.M., van der Weijden, B., van Dijk, J., de Mars, H., Wassen, M.J., van den Broek, T. (2021). Naar vernatting ten behoeve van natuurontwikkeling en -herstel binnen Natura 2000 en Natuurnetwerk Nederland: Sturende factoren en processen die de kansrijkdom bepalen. Rapport nummer 2021/OBN247-LZ, Kennisnetwerk OBN, Driebergen.

- Schot, P.P. & Wassen, M.J. (1993). Calcium concentrations in wetland groundwater in relation to water sources and soil conditions in the recharge area. *Journal of Hydrology* 141: 197-217
- Van der Grift, B., Behrends, T., Osté, L.A., Schot, P.P., Wassen, M.J., Griffioen, J. (2016). Fe hydroxyphosphate precipitation and Fe(II) oxidation kinetics upon aeration of Fe(II) and phosphate-containing synthetic and natural solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 186: 71-90.
- Van der Grift, B., Oste, L., Schot, P., Kratz, A., van Popta, E., Wassen, M., Griffioen, J. (2018). Forms of phosphorus in suspended particulate matter in agriculture-dominated lowland catchments: iron as a carrier. *Science of the Total Environment* 631-632: 115-129.
- Van Dijk, J., Stroetenga M., van Bodegom, P.M., Aerts, R. (2007). The contribution of rewetting to vegetation restoration of degraded peat meadows. *Applied Vegetation Science* 10: 315-324.
- Van Dijk, J., Stroetenga, M., Bos, L., van Bodegom, P.M., Verhoef, H.A., Aerts, R. (2004). Restoring natural seepage conditions on former agricultural grasslands does not lead to reduction of organic matter decomposition and soil nutrient dynamics. *Biogeochemistry* 71 (3): 317-337
- Walker, T.W., Syers, J.K. (1976). The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma*, 15: 1-19. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(76\)90066-5](https://doi.org/10.1016/0016-7061(76)90066-5)
- Wassen, M.J. (1990). Water flow as a major landscape ecological factor in fen development (PhD Thesis, Utrecht University). (pp 163-168).
- Wassen, M.J., Olde Venterink, H., Lapshina, E.D., Tanneberger, F. (2005). Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437: 547–550.
- Wassen, M.J., Schrader, J., van Dijk, J., Eppinga, M.B. (2021) .Phosphorus fertilization is eradicating the niche of northern Eurasia’s threatened plant species. *Nature Ecology and Evolution* 5: 67–73.
- Wortley, L., Hero, J-M,, Howes, M. (2013). Evaluating Ecological Restoration Success: A Review of the Literature. *Restoration Ecology* 21: 537-543. <https://doi.org/10.1111/rec.12028>
- Zak, D., Wagner, C., Payer, B., Augustin, J. & Gelbrecht, J. (2010) Phosphorus mobilization in rewetted fens: the effect of altered peat properties and implications for their restoration. *Ecological Applications* 20: 1336–1349.

## Bijlage 1. Vegetatieopnamen van de studiegebieden

Bijlage tabel 1: Vegetatie-opnamen in Peizermeden (PM), Loonerdiep (LD) en Leijer Hooilanden (LH). Aangegeven zijn de datum van de opname, de x en y coördinaten en de oppervlakte van het proefvlak. De coderingen geven de geschatte abundantie per soort volgens de Braun-Blanquet methode.

Locatie	PM1	PM2	PM3	LD1	LD2	LD3	LH1	LH2	LH3	
<i>Datum opname</i>	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021	31-5-2021
x	229621	229635	229623	238426	238411	238405	215248	215245	215273	
y	576702	576705	576699	559184	559198	559208	517973	517962	517978	
Oppervlakte proefMak (m <sup>2</sup> )	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	
totale bedekking (%)	90	50	95	90	100	95	80	100	90	
bedek. Kruidlaag (%)	90	50	95	50	60	70	80	100	40	
bedek. Moslaag (%)	30	1	<5	50	90	70	20	10	90	
gem. hoogte (cm)	25	20	30	15	15	20	10	20	15	
max. hoogte (cm)	40	40	40	35	35	35	30	35	35	
Soorten										
Biezeknoppen			+							Juncus conglomeratus
Blauwe zegge				1						Carex panicea
Brede orchis				1	1	1				Dactyloctenium aegyptium
Dotterbloem				1		2a				Caltha palustris
Draadzegge										Carex lasiocarpa
Dwergzegge				2m	+					Carex oederi
Echte koekeksbloem			+		1	+				Silene flos-cuculi
Echte valeriana				+						Valeriana officinalis
Egelboterbloem										Ranunculus flammula
Geel schorpioenmos										(m) Hamatocaulis vernicosus
Geknikte vossestaart							4	2m	2b	Alopecurus geniculatus
Gele lis										Iris pseudacorus
Gestreepte witbol	2m		2m					3		Holcus lanatus
Getand vlotgras		+					1	3	3	Glyceria declinata
Gewone hoornbloem			r							Cerastium fontanum
Gewone waterbies									2m	Eleocharis palustris
Gewone wederik					r					Lysimachia vulgaris
Gewoon dikkopmos			r							(m) Brachythecium rutabulum
Gewoon haarmos										(m) Polytrichum commune
Gewoon puntmos	3			+	1	2b	2b	2a	4	(m) Calligonella cuspidatum
Gewoon veenstaartje				2a	1					(m) Philonotis fontana
Glanzend veenmos										(m) Sphagnum subnites
Goudsterrenmos										(m) Campylium stellatum
Grauwe wilg				1	1					Salix cinerea
cf Groen schorpioenmos										(m) cf Scorpidium cossonii
Groenknolorchis										Liparis loeselii
Grote ratelaar					r					Rhinanthus angustifolium
Grote vossenstaart			+							Alopecurus pratensis
Haakmos				2a	2b					(m) Rhytidadelphus squarrosus
Hartbladig puntmos										(m) Calligon cordifolium
Hennegras	3	2a								Calamagrostis canescens
Herfstleeuwetand							1	1		Leotodon autumnalis
Holpijp	1	2m		2m	2m	2m	1			Equisetum fluviatile
Hondsdrif			r							Glechoma hederacea
Kale jonker			1							Cirsium palustre
Kamgras					2a	2b				Cynosurus cristata
Kattestaart	+			r						Lythrum salicaria
Koninginnekruid										Eupatorium cannabinum
kranswier Breekbaar kransblad										Chara globularis
Kruipend struisgras										Agrostis canina
Kruipend zenegroen			1	r	+					Ajuga reptans
Kruipende boterbloem							2a	3	2a	Ranunculus repens
Kruipwilg				+	1					Salix repens
Lidrus	2m	1	1	1	2m	2m				Equisetum palustre
Liesgras			r							Glyceria maxima
Madeliefje			+							Bellis perennis
Melkeppe										Peucedanum palustre
Moeraskartelblad										Pedicularis palustris
Moerasrolklaver	1						+			Lotus pedunculatus
Moeraspirea	2m	1	2m	2a	2b	2m				Filipendula ulmaria
Moerasvaren										Thelypteris palustris
Moerasvergeet-me-nietje	r		+							Myosotis scorpioides
Moerasviooltje										Viola palustris
Moeraswalstro	1	2m							r	Galium palustre
Moeraszegge										Carex acutiformis
Ogentroost spec.					r					Euphrasia spec.

Vervolg Bijlage tabel 1: Vegetatie-opnamen in Peizermeden (PM), Loonerdiep (LD) en Leijer Hooilanden (LH).

Locatie	PM1	PM2	PM3	LD1	LD2	LD3	LH1	LH2	LH3	
Parapluitjesmos						r				(m) <i>Marchantia polymorpha</i>
Penningkruid	r		1							<i>Lysimachia nummularia</i>
Pinksterbloem	+	+	2m		1	1	1	1	+	<i>Cardamine pratensis</i>
Pitrus			+							<i>Juncus effusus</i>
Plat blaasjeskruid										<i>Utricularia intermedia</i>
Poelruit	2m									<i>Thalictrum flavum</i>
Reukgras			2a	2m	2m	2b		4		<i>Anthoxanthum odoratum</i>
Riet	1	+	1							<i>Phragmites australis</i>
Rietgras							2a		2a	<i>Phalaris arundinacea</i>
Rietzwenkgras						+				<i>Schedonorus arundinacea</i>
Rondbladig boogsterremos					3	2b				(m) <i>Plagiomnium affine</i>
Ronde zegge										<i>Carex diandra</i>
Ronde zonnedauw										<i>Drosera rotundifolia</i>
Rood schorpioenmos										(m) <i>Scorpidium scorpioides</i>
Rood zwenkgras			2m		2m	+		1		<i>Festuca rubra</i>
Ruw beemdgras							2m	2m	2m	<i>Poa trivialis</i>
Ruw walstro		+								<i>Galium uliginosum</i>
Scherpe boterbloem	r		+	1	1	1				<i>Ranunculus acris</i>
Scherpe zegge										<i>Carex acuta</i>
Schildereprijs		r							2m	<i>Veronica scutellata</i>
Smalle weegbree			1							<i>Plantago lanceolata</i>
Snavelzegge					1	2m				<i>Carex rostrata</i>
Speenkruid			2m							<i>Ficaria verna</i>
Sterzegge				r	1	2m				<i>Carex echinata</i>
Stijf struisriet										<i>Calamagrostis stricta</i>
Stijve zegge	2m	1								<i>Carex elata</i>
Tormentil										<i>Potentilla erecta</i>
Tweerijige zegge	r	r	2a							<i>Carex disticha</i>
Veenknikmos					1	1				(m) <i>Bryum pseudotriquetrum</i>
Veenpluis				1	1	2m				<i>Eriophorum angustifolium</i>
Veld-/Paddenrus										<i>Juncus acutiflorus/subnodulosus</i>
Veldbeemdgras								1		<i>Poa pratensis</i>
Veldzuring			+		r					<i>Rumex acetosa</i>
Wateraardbei					1	1				<i>Potentilla palustris</i>
Waterdrieblad										<i>Menyanthes trifoliata</i>
Watermunt		2m	1	+		+				<i>Mentha aquatica</i>
Waternavel										<i>Hydrocotyle vulgaris</i>
Witte waterlelie										<i>Nymphaea alba (juv)</i>
Zeegroene muur										<i>Stellaria palustris</i>
Zomprus		+		+						<i>Juncus articulatus</i>
Zompvergeet-me-nietje			+							<i>Myosotis laxa subsp. cespitosa</i>
Zwarte els (kp)				1						<i>Alnus glutinosa (kp)</i>
Zwarte zegge	4	2		2a	2a		2a			<i>Carex nigra</i>

Bijlage tabel 2: Vegetatie-opnamen in Stobbenribben (SR), Veldweg (VW) en Meppelderiep (MD). Aangegeven zijn de datum van de opname, de x en y coördinaten en de oppervlakte van het proefvlak. De coderingen geven de geschatte abundantie per soort volgens de Braun-Blanquet methode.

Locatie	SR1	SR2	SR3	VW1	VW2	VW3	MD1	MD2	MD3	
Datum opname	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	1-6-2021	
x	?	195204	195189	204074	204064	204068	206403	206406	206396	
y	?	533225	533216	522926	522924	522938	522035	522041	522053	
Oppervlakte proefvlak (m <sup>2</sup> )	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	2x2	
totale bedekking (%)	70	40	55	85	80	95	100	95	95	
bedek. Kruidlaag (%)	70	40	55	60	70	80	95	95	95	
bedek. Moslaag (%)	65	15	10	25	80	95	65	70	70	
gem. hoogte (cm)	10	10	15	15	25	30	20	15	15	
max. hoogte (cm)	35	30	35	45	40	45	30	25	25	
Soorten										
Biezeknoppen										Juncus conglomeratus
Blauwe zegge				2a	2m	2a	2a		1	Carex panicea
Brede orchis										Dactylorhiza majalis
Dotterbloem							r			Caltha palustris
Draadzegge	2a					2m				Carex lasiocarpa
Dwergzegge	2m	2a	1	r	1	1			2m	Carex oederi
Echte koekeuksbloem						r	r	r		Silene flos-cuculi
Echte valeriaan										Valeriana officinalis
Egelboterbloem							2m	1	1	Ranunculus flammula
Geel schorpioenmos								1	4	(m) Hamatocaulis vermicosus
Geknikte vossestaart										Alopecurus geniculatus
Gele lis									1	Iris pseudacorus
Gestreepte witbol			r					1		Holcus lanatus
Getand vlotgras										Glyceria declinata
Gewone hoornbloem			r							Cerastium fontanum
Gewone waterbies							+		1	Eleocharis palustris
Gewone wederik										Lysimachia vulgaris
Gewoon dikkopmos										(m) Brachythecium rutabulum
Gewoon haarmos			+							(m) Polytrichum commune
Gewoon puntmos							4	4	2a	(m) Calligonella cuspidatum
Gewoon veenstaartje										(m) Philonotis fontana
Glanzend veenmos		1	+							(m) Sphagnum subnites
Goudsterrenmos		2m	+	1	2a	4				(m) Campylium stellatum
Grauwe wilg										Salix cinerea
cf Groen schorpioenmos				2b	4	2m				(m) cf Scorpidium cossonii
Groenknolorchis		r								Liparis loeselii
Grote ratelaar										Rhinanthus angustifolium
Grote vossenstaart										Alopecurus pratensis
Haakmos										(m) Rhytidadelphus squarrosus
Hartbladig puntmos		1					1	1	+	(m) Calliargon cordifolium
Hennegras										Calamagrostis canescens
Herfstleeuwetand										Leotodon autumnalis
Holpijp							1	1	1	Equisetum fluviatile
Hondsdrif										Glechoma hederacea
Kale jonker		r				r				Cirsium palustre
Kamgras										Cynosurus cristata
Kattestaart		r								Lythrum salicaria
Koninginnekruid						+				Eupatorium cannabinum
kranswier Breekbaar kranblad				r	1					Chara globularis
Kruipend struisgras								2b		Agrostis canina
Kruipend zenegroen										Ajuga reptans
Kruipende boterbloem										Ranunculus repens
Kruipwilg										Salix repens
Lidrus										Equisetum palustre
Liesgras										Glyceria maxima
Madeliefje										Bellis perennis
Melkeppe		r	1							Peucedanum palustre
Moeraskartelblad	(r)	+	+			+	2m	1	2a	Pedicularis palustris
Moerasrolklaver			r							Lotus pedunculatus
Moerasspirea										Filipendula ulmaria
Moerasvaren		2m	2a							Thelypteris palustris
Moerasvergeet-me-nietje										Myosotis scorpioides
Moerasviooltje		r								Viola palustris
Moeraswalstro			r				r	1		Galium palustre
Moeraszegge			+							Carex acutiformis
Ogentroost spec.										Euphrasia spec.

Vervolg bijlage tabel 2: Vegetatie-opnamen in Stobbenribben (SR), Veldweg (VW) en Meppelderdiep (MD).

Locatie	SR1	SR2	SR3	VW1	VW2	VW3	MD1	MD2	MD3	
Parapluitjesmos										(m) <i>Marchantia polymorpha</i>
Penningkruid								2m		<i>Lysimachia nummularia</i>
Pinksterbloem							+	2m		<i>Cardamine pratensis</i>
Pitrus										<i>Juncus effusus</i>
Plat blaasjeskruid	1	+		2m	2a					<i>Utricularia intermedia</i>
Poelruit										<i>Thalictrum flavum</i>
Reukgras			1				+			<i>Anthoxanthum odoratum</i>
Riet	2m	1	1	2m	2m	1				<i>Phragmites australis</i>
Rietgras								+		<i>Phalaris arundinacea</i>
Rietzwenkgras										<i>Schedonorus arundinacea</i>
Rondbladig boogsterremos										(m) <i>Plagiomnium affine</i>
Ronde zegge		1	2m	1	1					<i>Carex diandra</i>
Ronde zonnedauw			2m				r			<i>Drosera rotundifolia</i>
Rood schorpioenmos	5	3	2a							(m) <i>Scorpidium scorpioides</i>
Rood zwenkgras										<i>Festuca rubra</i>
Ruw beemdgras										<i>Poa trivialis</i>
Ruw walstro										<i>Galium uliginosum</i>
Scherpe boterbloem										<i>Ranunculus acris</i>
Scherpe zegge	2a	2m	1	3	3	3	2m			<i>Carex acuta</i>
Schildereprijs										<i>Veronica scutellata</i>
Smalle weegbree										<i>Plantago lanceolata</i>
Snavelzegge				1			1		2a	<i>Carex rostrata</i>
Speenkruid										<i>Ficaria verna</i>
Sterzegge										<i>Carex echinata</i>
Stijf struisriet							2b	1	1	<i>Calamagrostis stricta</i>
Stijve zegge		r								<i>Carex elata</i>
Tormentil	r	r								<i>Potentilla erecta</i>
Tweerijge zegge							3	4	4	<i>Carex disticha</i>
Veenknikmos		r								(m) <i>Bryum pseudotriquetrum</i>
Veenpluis			+						+	<i>Eriophorum angustifolium</i>
Veld-/Paddenrus	2m	2m	2a	2m	2m	2m				<i>Juncus acutiflorus/subnodulosus</i>
Veldbeemdgras			r							<i>Poa pratensis</i>
Veldzuring										<i>Rumex acetosa</i>
Wateraardbei		1	1		1	r	1	2m	1	<i>Potentilla palustris</i>
Waterdrieblad	2a			+	2a	1		3		<i>Menyanthes trifoliata</i>
Watermunt							1	2m		<i>Mentha aquatica</i>
Waternavel		+	1			1	1	1	1	<i>Hydrocotyle vulgaris</i>
Witte waterlelie		r								<i>Nymphaea alba (juv)</i>
Zeegroene muur									r	<i>Stellaria palustris</i>
Zomprus		+						+		<i>Juncus articulatus</i>
Zompvergeet-me-nietje								+		<i>Myosotis laxa subsp. cespitosa</i>
Zwarte els (kp)										<i>Alnus glutinosa (kp)</i>
Zwarte zegge				2m	1		2a		2m	<i>Carex nigra</i>



Ministerie van Landbouw,  
Voedselzekerheid en Natuur



OBN Natuurkennis wordt gecoördineerd door de VBNE en gefinancierd door het ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur en BIJ12.



Alle publicaties en producten van OBN Natuurkennis zijn te vinden op  
[www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)

