

o+bn

Kennisnetwerk OBN

Stimuleren van **acrotelmontwikkeling** in hoogveenrestanten



Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten

Eindrapportage OBN-17-87-NZ en acrotelmonderzoek Noord-
Brabant

Dr. H.B.M. Tomassen – Onderzoekcentrum B-WARE
Dr. J. Limpens – Wageningen Universiteit & Researchcentrum
Dr. J.J. Nijp – KWR Watercycle Research Institute
Dr. G.A. van Duinen – Stichting Bargerveen
Prof. dr. A.J.P. Smolders – Onderzoekcentrum B-WARE



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

KWR



Provincie Noord-Brabant

©2022 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapportnummer OBN-2017-87-NZ

Projectnummer OBN-17-87-NZ

Driebergen, 2022

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van BIJ12, het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit en de provincie Noord-Brabant.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

*Wijze van citeren: Tomassen, H.B.M., J. Limpens, J. Nijp, G.A. van Duinen & A.J.P. Smolders, 2022. **Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten.** Rapport nummer OBN-2017-87-NZ, VBNE, Driebergen.*

Deze uitgave is online gepubliceerd op www.natuurkennis.nl

Samenstelling Dr. H.B.M. Tomassen – Onderzoekcentrum B-WARE
Dr. J. Limpens – Wageningen Universiteit
Dr. J.J. Nijp - KWR
Dr. G.A. van Duinen – Stichting Bargerveen
Prof. dr. A.J.P. Smolders – Onderzoekcentrum B-WARE

Foto voorkant Plas-dras experiment Deurnsche Peel.
Fotograaf: Hilde Tomassen

Productie Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres: Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
Telefoon: 0343-745250
E-mail: info@vbne.nl

Inhoud

Samenvatting	7
Summary	17
Dankwoord	27
1. Inleiding	29
1.1 Belang acrotelmontwikkeling	29
1.2 Spontane uitbreiding bultvormende veenmossen	30
1.3 Ontwikkeling vanuit een aquatische situatie op zwartveen	30
1.4 Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling	31
1.5 Eerder uitgevoerd onderzoek	32
1.6 Kennisvragen maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling	33
1.7 Onderzoek naar maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling	33
1.7.1 OBN-onderzoek	33
1.7.2 Onderzoek provincie Noord-Brabant	35
1.8 Leeswijzer	35
2. Selectie onderzoeksgebieden	37
2.1 Bargerveen	37
2.2 Haaksbergerveen	40
2.3 Deurnsche Peel en Mariapeel	42
3. Herintroductie op plas-dras zwartveen	47
3.1 Inleiding	47
3.2 Materiaal en methoden	47
3.2.1 Herinrichting experimenten in het voorjaar van 2019	48
3.2.2 Hydrologische inrichting en monitoring waterstanden	49
3.2.3 Inrichting compartiment met gecontroleerd waterpeil	54
3.2.4 Inrichting proefvlakken 2019	55
3.2.5 Monitoring veenmosontwikkeling en veenwaterchemie	61
3.2.6 Monitoring effect beschuttingsbehandelingen op het microklimaat	62
3.2.7 Monitoring fauna (alleen Deurnsche Peel)	63
3.2.8 Metingen aan de fluxen van broeikasgassen	64
3.2.9 Statistische analyse	66
3.3 Resultaten	67
3.3.1 Brand Deurnsche Peel	67
3.3.2 Hydrologie	67
3.3.3 Droogtekenmerken	72
3.3.4 Wegzijing	73

3.3.5	Effect van droogte op wegzijging	75
3.3.6	Effect beschutting op microklimaat	75
3.3.7	Veenmosontwikkeling	78
3.3.8	Chemische samenstelling bodemvocht, veenbodem en veenmossen	88
3.3.9	Eerste metingen fluxen broeikasgassen	99
3.3.10	Resultaten fauna (alleen Deurnsche Peel)	103
3.3.11	Conclusies herintroductie op plas-dras zwartveen	103
4. Introducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos		105
4.1	Inleiding	105
4.2	Materiaal en methoden	105
4.2.1	Bargerveen en Haaksbergerveen	105
4.2.2	Deurnsche Peel en Mariapeel	106
4.2.3	Statistische analyse	109
4.3	Resultaten	110
4.3.1	Brand Deurnsche peel	110
4.3.2	Veenmosontwikkeling	111
4.3.3	Chemische samenstelling bodemvocht en veenmossen	114
4.3.4	Resultaten fauna	119
4.3.5	Conclusies introducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos	119
4.4	Succes herintroductie op de langere termijn	120
4.4.1	Veenmosintroducties Bargerveen	120
4.4.2	Veenmosintroducties Engbertsdijkvenen	121
4.4.3	Veenmosintroducties Haaksbergerveen	124
4.4.4	Veenmosintroducties Mariapeel	124
4.4.5	Samenvattend	126
5. Veldonderzoek spontane vestiging of uitbreiding bultvormers		127
5.1	Inleiding	127
5.2	Online enquête hoogveenbeheerders	127
5.3	Aanpak veldonderzoek	129
5.4	Resultaten	130
5.4.1	Veldonderzoek 2020	130
5.4.2	Vergelijking samenstelling bodemvocht 1998-2008-2020	133
5.4.3	Samenvattend	138
6. Evaluatie veldproeven aquatische situatie		139
6.1	Inleiding	139
6.2	Aanvullende veldmetingen	139
6.3	Resultaten	140
6.3.1	Veldproef Fochteloërveen	140
6.3.2	Stimuleren drijftilvorming Bargerveen	141

7. Gevolgen brand Deurnsche Peel	147
7.1 Inleiding	147
7.2 Materiaal en methoden	147
7.3 Resultaten	148
7.3.1 Deurnsche Peel	148
7.3.2 Liesselse Peel	151
7.3.3 Mariapeel	151
7.3.4 Vergelijking Deurnsche Peel, Liesselse Peel en Mariapeel	152
7.3.5 Conclusie	153
8. Synthese	155
8.1 Effect droogte op resultaten onderzoek	155
8.2 Introductie bultvormers op plas-dras vernat zwartveen	158
8.3 Introductie bultvormers in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos	160
8.4 Sturende factoren voor spontane uitbreiding bultvormers	161
8.5 Stimuleren veenmosontwikkeling vanuit een aquatische situatie	161
8.6 Implicaties onderzoek voor acrotelmherstel	162
8.6.1 Acrotelmontwikkeling op zwartveen	162
8.6.2 Acrotelmontwikkeling in slenkvegetaties	163
8.6.3 Acrotelmontwikkeling vanuit een aquatische situatie	164
8.6.4 Herstelstrategie afhankelijk van uitgangssituatie	164
8.7 Kennislacunes en aanbevelingen voor vervolgonderzoek	166
9. Literatuur	171
10. Bijlagen	175

Samenvatting

Inleiding

In Nederlandse hoogveenrestanten wordt veel inspanning verricht om actieve veenvorming weer op gang te krijgen. Een belangrijke stap is het herstel van stabiele hoge waterstanden en de ontwikkeling van een nieuwe veenmosrijke toplaag, een acrotelm, boven op het oude verdroogde veen. In intacte hoogvenen draagt deze toplaag van levend en recent afgestorven veenmos significant bij aan het stabiliseren van de waterstanden. Alleen bultvormende veenmossoorten, waaronder Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) en Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*), beschikken over de juiste eigenschappen om een acrotelm te vormen, aangezien ze in staat zijn om tot boven de waterstand in het veen uit te groeien en het organisch materiaal van bultvormende veenmossen minder snel wordt afgebroken. Slenksoorten als Waterveenmos (*S. cuspidatum*), en in mindere mate Fraai veenmos (*S. fallax*), worden in vergelijking met bultvormers beter afgebroken en groeien beperkt boven de waterstand in het veen uit, waardoor deze soorten geen acrotelm ontwikkelen. Het herstel van een min of meer zelfregulerend hoogveenvormend systeem kan dan ook pas op gang komen indien één of meer van de bultvormende veenmossen over grotere oppervlakten tot dominantie zijn gekomen en een nieuw veenpakket vormen. Dankzij de vernatting is in veel hoogveenrestanten de hydrologie hersteld, maar het herstel van de bultvormende veenmossen, en daarmee de vorming van een nieuwe acrotelm, loopt achter.

Doel van het onderzoek en onderzoeksvragen

Dit onderzoek had tot doel uit te zoeken of via herintroductie van bultvormende veenmos soorten de ontwikkeling van een nieuwe acrotelm gestimuleerd kan worden. Hierbij werd onderscheid gemaakt tussen twee uitgangssituaties: 1) herintroductie op een kale (zwart)veenbodem en 2) in een veenmosvegetatie met slenksoorten.

Op een kale veenbodem is de vochthuishouding van de geïntroduceerde veenmossen van cruciaal belang. De vochthuishouding kan worden gestuurd door een plas-dras situatie in stand te houden in de zomer, en/of het microklimaat te "bufferen" door beschutting van grasachtigen (pollenbuffering) of bomen of door het afdekken van geïntroduceerde veenmossen met een laagje stro. Wanneer de bultvormende veenmossen eenmaal een aaneengesloten mat hebben gevormd die in dikte toeneemt, kunnen de mossen hun eigen waterhuishouding steeds beter reguleren en worden externe buffering van waterhuishouding en microklimaat geleidelijk minder belangrijk. Welke dichtheid van herintroductie en welke soort bultvormer het beste gebruikt kon worden in combinatie met de verschillende microklimaat behandelingen was onbekend.

Bij introductie van bultvormers in een bestaande veenmosvegetatie speelt de mate van competitie met de al aanwezige slenksoorten een sleutelrol. Succesvolle uitbreiding van de geïntroduceerde bultvormer kan alleen plaatsvinden wanneer hij over een langere periode harder groeit dan de slenksoorten in zijn omgeving. Onder een constant hoge vochtvoorziening kunnen slenksoorten harder groeien dan bultsoorten. In het algemeen heeft introductie van bultvormers pas zin wanneer de veenmosvegetatie minder open is geworden, de slenksoorten niet harder dan ongeveer 4 cm per jaar groeien en kenmerkende heidesoorten zoals Kleine veenbes, Lavendelhei en Gewone dophei verschijnen. Welke dichtheid van herintroductie het beste werkt en of herintroductiesucces afhankelijk is van de soort veenmos die wordt gebruikt en het soort slenk vegetatie waarin wordt geïntroduceerd was nog onbekend.

Specifiek werden de volgende onderzoeksvragen beantwoord:

1. *Hoe kan veenmosontwikkeling op gang worden gebracht?*

a) In een aquatische situatie:

- Kan introductie van organisch materiaal de veenmosontwikkeling stimuleren door a) de waterlaag te verondiepen of b) een drijfteil te vormen?
- Zo ja, welk materiaal (pollen Pijpenstrootje, snoeiafval, chopperresten, bosstrooisel, etc.) is hiervoor het meest geschikt?

b) In een terrestrische situatie:

- Kan veenmosontwikkeling op zwartveen op gang worden gebracht door introductie van diasporen van bultvormende soorten afgedekt met strooisel (analoog aan experimenten in Canada, Duitsland en Estland)?

2. *Hoe kunnen we de ontwikkeling van bultvormende veenmossen stimuleren in een door Fraai veenmos gedomineerde fase?*

- Waar, wanneer en op welke manier kan herintroductie van bultvormers in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie acrotelmvorming stimuleren?

Deze onderzoeksvragen zijn opgepakt in twee onderzoeksprojecten, die tussen 2017 en 2021 werden uitgevoerd:

1. OBN-project "Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling (OBN-2017-87-NZ)", gefinancierd door het VBNE;
2. Onderzoek "Stimuleren van acrotelmvorming in Noord-Brabantse hoogveenrestanten", gefinancierd met een subsidie vanuit de subsidieregeling Biodiversiteit en leefgebieden van de provincie Noord-Brabant (registratienummer C2204959/4166996).

Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Deurnsche Peel en Mariapeel, en bestond uit vijf onderdelen (een extra onderdeel vanwege de brand in de Deurnsche Peel in 2020):

- Experimentele herintroductie van bultvormers op plas-dras vernat zwartveen (Hoofdstuk 3)
- Experimentele herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos (Hoofdstuk 4)
- Veldonderzoek naar de spontane vestiging en/of uitbreiding van bultvormers (Hoofdstuk 5)
- Evaluatie van veldproeven in een aquatische situatie (Hoofdstuk 6)
- Gevolgen brand Deurnsche Peel op ongewervelden (Hoofdstuk 7)

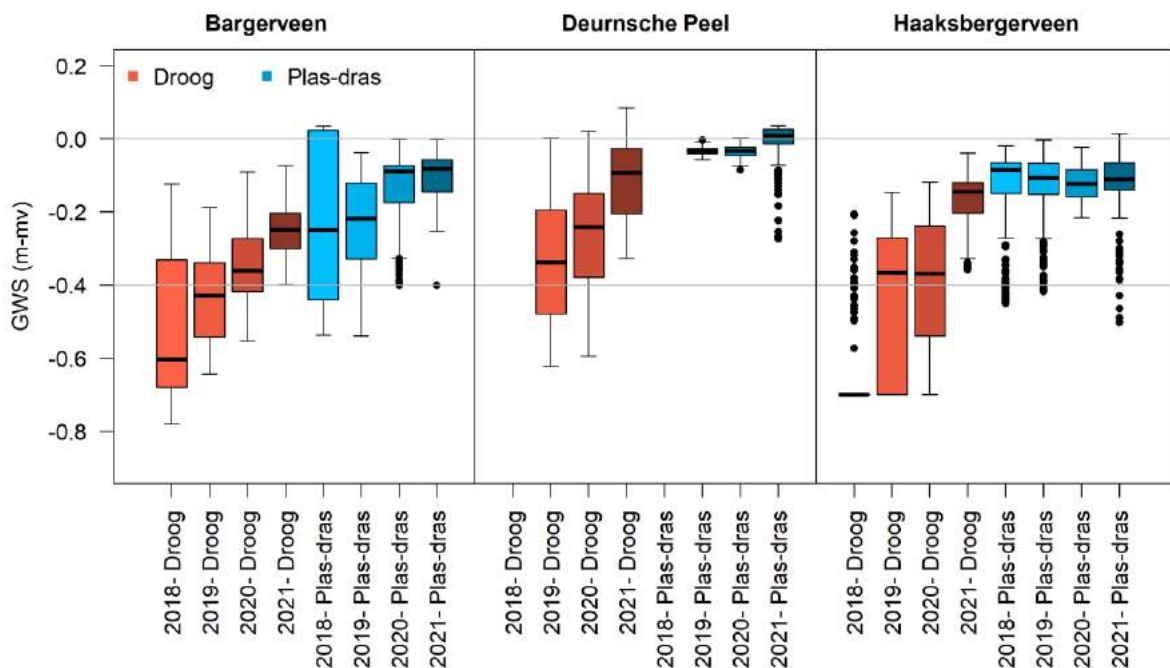
Op basis van de onderzoeksresultaten worden in de synthese (Hoofdstuk 8) de onderzoeksvragen beantwoord en de implicaties van het onderzoek voor de ontwikkeling van een acrotelm gegeven. De belangrijkste bevindingen uit het onderzoek zijn hieronder samengevat.

Experimentele herintroductie bultvormers op plas-dras vernat zwartveen

Uit eerder uitgevoerde laboratoriumexperimenten is bekend dat bultvormende veenmossen zich goed kunnen uitbreiden op plas-dras vernat zwartveen. Vanwege de lage bergingscapaciteit van zwartveen schommelen de waterstanden in zwartveen in de veldsituatie vaak sterk. Om te kunnen onderzoeken of bultvormers ook in de veldsituatie kunnen uitbreiden op plas-dras zwartveen, werd in een deel van het experiment de waterstand kunstmatig plas-dras gehouden door een continue aanvoer van zuur en voedselarm oppervlaktewater via een pomp op zonne-energie. In het andere

deel van het experiment werden de waterstanden niet gecontroleerd. Met deze opzet kon bepaald worden of de natuurlijke waterstanden voldoende stabiel zijn voor de ontwikkeling van bultvormende veenmossen, en wat de potentie voor herstel is onder optimale hydrologische omstandigheden. In hoeverre buffering van het microklimaat de vestiging en uitbreiding van de bultvormers versnelt, werd onderzocht in drie verschillende beschuttingsbehandelingen: controle, beschutting via pollen Eenarig wollegras en afdekken met stro. Bultvormers werden geherintroduceerd als fragmenten (alle drie gebieden) of als intacte mossen (alleen Deurnsche Peel). In de Deurnsche Peel werden verschillende veenmossoorten (Wrattig veenmos, Hoogveenveenmos en Waterveenmos) onderzocht. In het Bargerveen en Haaksbergerveen werd alleen Wrattig veenmos geherintroduceerd, maar wel in drie verschillende dichtheden.

Als gevolg van de extreme droogte in 2018 zakten de waterstanden in het veen ver uit en ontstonden problemen met de aanvoer van water (Figuur A). De sterfte onder de bultvormers was hoog en daarom werden de experimenten in 2019 opnieuw ingezet. De jaren 2019 en 2020 waren ook relatief droog, waardoor ook in deze periode tijdelijke problemen met de wateraanvoer zijn geweest. Het jaar 2021 was daarentegen een relatief nat jaar. Van alle locaties zakte de waterstand zonder wateraanvoer het verste weg in het Bargerveen (Figuur A). Ook de problemen met wateraanvoer zijn hier het grootste geweest, waardoor de waterstanden in het plas-dras compartiment in het Bargerveen het minst stabiel zijn geweest, gevolgd door het Haaksbergerveen. In de Deurnsche Peel waren de waterstanden met wateraanvoer het meest stabiel en ook dichtbij maaiveld (Figuur A).

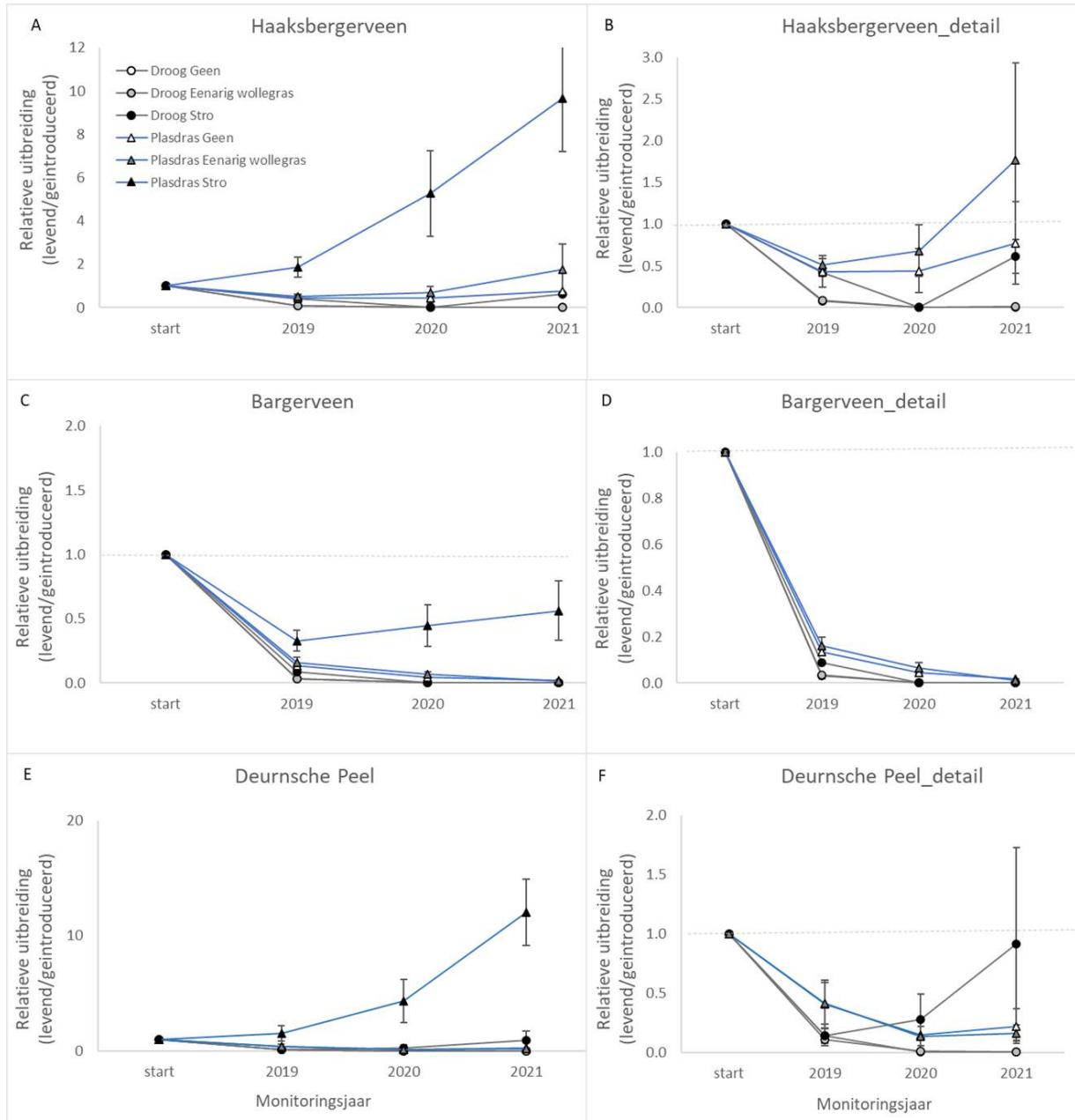


Figuur A. Boxplots die de verdeling van grondwaterstanden (t.o.v. maaiveld) voor de plas-dras (blauw) en controle (rood) laten zien voor de verschillende jaren voor Bargerveen (links), Haaksbergerveen (midden) en Deurnsche Peel (rechts) voor de gehele meetperiode (1 april 2018 t/m 1 maart 2022).

Uit onderzoek naar het microklimaat, uitgevoerd in de droge jaren 2018 en 2019, bleek dat het afdekken met stro ervoor zorgde dat het veen droger was tijdens natte perioden en vochtiger bleef tijdens droge perioden. Toepassing van stro zorgt ervoor dat fluctuaties in vochtgehalte worden gedempt en dit is gunstig voor de ontwikkeling van veenmossen.

Op basis van het onderzoek op plas-dras zwartveen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Overleving van bultvormende veenmossen is het hoogst met aanvoer van water (plas-dras) onder beschutting van een laagje stro (Figuur B en Figuur C).
- Bij suboptimale hydrologische condities kunnen bultvormende veenmossen overleven en zich zelfs uitbreiden indien voldoende regen valt en mits stro als microklimaat bescherming wordt aangebracht. Een grote bron van onzekerheid is dat stro niet alleen de veenmossuccessie, maar ook de successie van hogere planten stimuleert.



Figuur B. *Uitbreiding van bultvormende veenmossen is het hoogste in proefvlakken met beschutting door stro en aanvoer van water (blauwe lijn: zwarte driehoeken).*

- Voor een goede overleving van geïntroduceerd veenmos is een hogere dichtheid nodig dan voor uitbreiding in de daaropvolgende jaren. Herintroductie met een gemiddelde dichtheid van ca. 72 veenmos planten per m², lijkt een goede middenweg
- De beste methode van herintroductie, met fragmenten of met intacte planten veenmos, lijkt af te hangen van de (hydrologische) stress die de veenmossen ervaren, waarbij herintroductie met fragmenten werkt bij weinig (hydrologische) stress terwijl herintroductie met intacte planten het beste werkt bij veel (hydrologische) stress.
- Herintroductiesucces lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos, en lijkt te variëren met de mate van hydrologische stress die het mos ondervindt. Keuze van de veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.
- Vestiging en ontwikkeling van hogere planten wordt gestimuleerd door aanbrengen van stro. Bij suboptimale hydrologische condities staat de versnelde successie van hogere planten herintroductie succes van bultvormende veenmossen in de weg. Bij optimale hydrologische omstandigheden lijken de bultvormende veenmossen de hogere planten vooralsnog voor te blijven.



Figuur C. *Uitbreiding van bultvormende veenmossen is het hoogste in proefvlakken met beschutting door stro en aanvoer van water (links: Haaksbergerveen en rechts: Deurnsche Peel).*

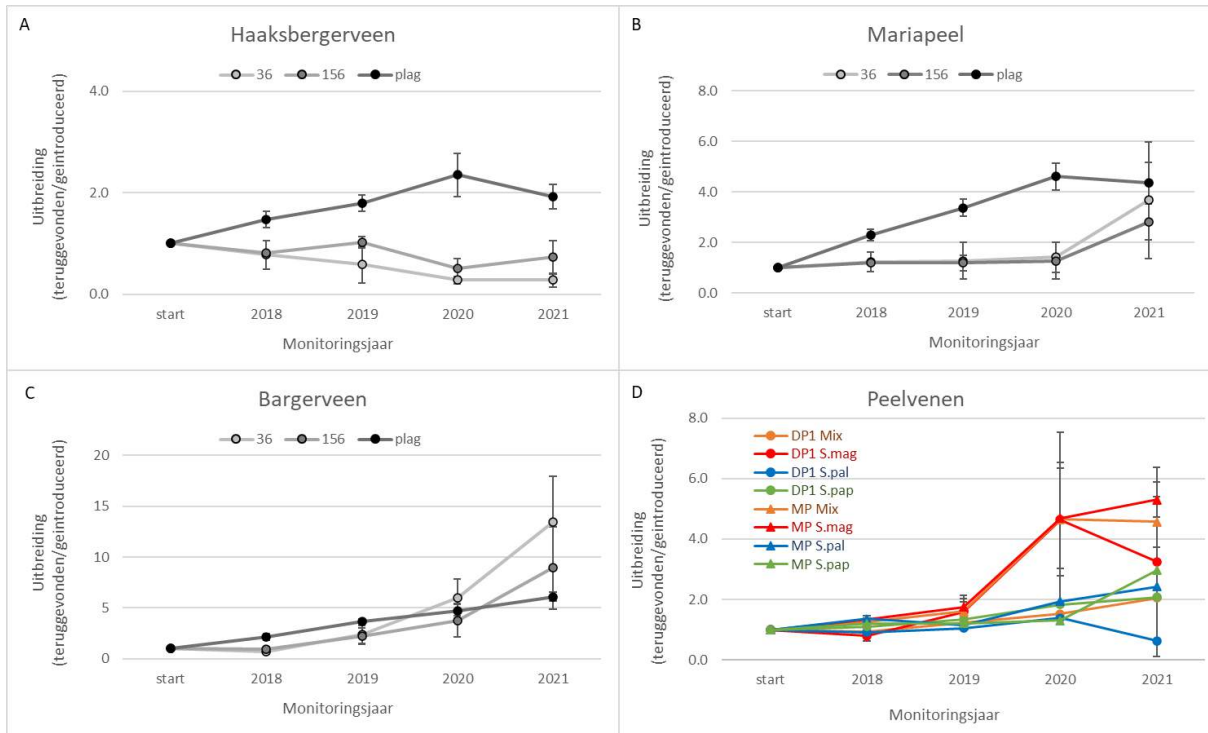
Experimentele herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos

In veel hoogvenen komen na het herstellen van de hydrologie slenkvegetaties met Waterveenmos en/of Fraai veenmos tot ontwikkeling. De vestiging van bultvormende veenmossen blijft echter nog uit. Om te onderzoeken onder welke omstandigheden en in welke dichtheden bultvormers het beste ingebracht kunnen worden, werden in het Bargerveen, het Haaksbergerveen en de Mariapeel locaties geselecteerd waar de vegetatie van de drijftil gedomineerd wordt door Fraai veenmos. Op alle locaties werd Wrattig veenmos geïntroduceerd en in de Mariapeel ook Hoogveenveenmos en Gewoon veenmos. In de Deurnsche Peel werden daarnaast ook bultvormende veenmossen in een door Waterveenmos gedomineerde vegetatie geïntroduceerd.

Aangezien het drijvende vegetaties betreffen hebben de bultvormers minder last gehad van de droogte in de periode 2018-2020.

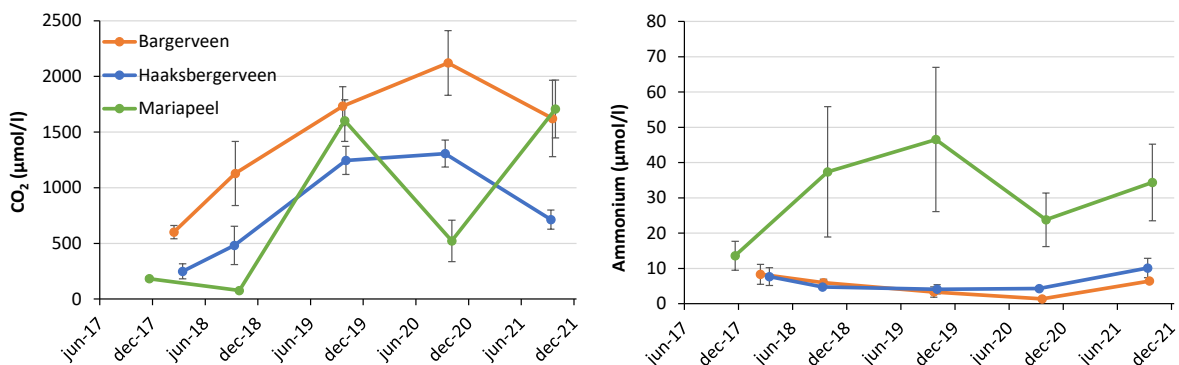
Op basis van het onderzoek in slenkvegetaties kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Herintroductie van bultvormende veenmossen in slenkveenmos kan het beste gebeuren met hoge dichtheid in de vorm van intacte plaggen (Figuur D).



Figuur D. *Uitbreiding van bultvormende veenmossen in een slenkvegetatie neemt toe met de dichtheid van herintroductie, en verschilt per terrein en veenmossoort.*

- Herintroductie van bultvormende veenmossen kan zowel in slenken met Waterveenmos als Fraai veenmos waar de waterstand stabiel is.
- Herintroductiesucces lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos (Figuur D). Keuze van veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.
- De sterke uitbreiding van Wrattig veenmos in het Bargerveen lijkt samen te hangen met de hoge CO₂-concentraties (ook in de droge jaren) in het bodemvocht (Figuur E). De hoge ammoniumconcentraties in de Mariapeel (Figuur E) zijn waarschijnlijk het gevolg van de decennialange hoge stikstofdepositie.



Figuur E. *Kooldioxide- en ammoniumconcentratie van het bodemvocht in de experimenten in Fraai veenmos in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Mariapeel tussen 2018 en 2021.*

Veldonderzoek naar de spontane vestiging en/of uitbreiding van bultvormers

Uit veldonderzoek op locaties met spontane uitbreiding van bultvormers blijkt dat vestiging van bultvormers onder een vrij grote 'window' aan abiotische standplaatscondities kan plaatsvinden, al lijken jonge successiestadia met veel CO₂ het meest kansrijk. Op basis van deze brede range in waterkwaliteit- en vegetatie-data zou je op veel meer plekken bultvorming verwachten dan dat er daadwerkelijk plaatsvindt. Dit duidt op biotische bottlenecks in verspreiding en vestiging van de bultvormers. Indien dit het geval is verwacht je dat bultvormers zich na herintroductie overal makkelijk kunnen uitbreiden. Hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, naast een lage bedekking van kruiden, lijkt een goede indicatie voor succesvolle herintroductie van bultvormende veenmossen in bestaande veenmostapigten van Fraai veenmos en Waterveenmos.

Evaluatie van veldproeven aquatische situatie

In diverse hoogveengebieden is door beheerders geëxperimenteerd met maatregelen, zoals het verondiepen van de waterlaag of het inbrengen van geschikt substraat (veen, snoeiafval, pollen Pijpenstrootje), om de ontwikkeling van Waterveenmos in een aquatische situatie te stimuleren. Aan de hand van een inventarisatie onder de beheerders van de Nederlandse hoogveengebieden beheerders werd een overzicht van uitgevoerde maatregelen opgesteld.

De enquête onder hoogveenbeheerders heeft geen goed beeld opgeleverd van de uitgevoerde praktijkproeven en de resultaten ervan. In het Fochteloërveen heeft het lossteken van de toplaat van het veen in combinatie met vernattingsmaatregelen in 20 jaar geresulteerd in de ontwikkeling van veenmosvegetaties met bultvormers.

Experimentele introductie van witveen, deels in combinatie met kalk en/of fosfaat, in het Bargerveen heeft niet geresulteerd in de vorming van drijftillen op de korte termijn maar uiteindelijk wel tot een hogere bedekking met Waterveenmos. Waarschijnlijk is er later toch nog een deel van het witveen komen opdrijven waarop Waterveenmos kon groeien. Daarnaast heeft witveen, vooral in combinatie met kalk, geresulteerd in een hogere productie van anorganisch koolstof uit afbraak en daarmee tot een hogere CO₂-beschikbaarheid voor Waterveenmos. Het is nog te vroeg om te zeggen hoe de situatie zich verder zal ontwikkelen. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat zich bultvormers gaan vestigen op de drijvende tapijten Waterveenmos of dat de hogere planten zich dusdanig snel gaan uitbreiden dat bultvormers geen kans meer krijgen.

Gevolgen brand voor ongewervelden

Het aanvullende onderzoek naar de gevolgen van de brand in 2020 voor de ongewervelde fauna, geeft een duidelijke indicatie dat zowel in de sterk verbrande (Liesselse Peel) en minder sterk verbrande (Deurnsche Peel) delen de natte veenmosrijke veenputten een belangrijke functie vervulden tijdens en na de brand: hier konden soorten de brand overleven. De ontwikkeling en instandhouding van natte, veenmosrijke vegetaties waarop brand niet of nauwelijks effect heeft, biedt een veilige haven voor ongewervelden, die tussen het natte veenmos veilig zijn.

Aanbevelingen voor beleid en beheer

Acrotelmontwikkeling op zwartveen

Onder de juiste omstandigheden blijkt dat bultvormers zich kunnen handhaven en uitbreiden op zwartveen, zelfs in droge jaren. Op zwartveen is het wel noodzakelijk om de waterhuishouding te verbeteren door het aanvoeren van water in perioden met een neerslagtekort. Beschutting via stro verhoogd de kans op succes sterk. Onder suboptimale hydrologische omstandigheden is de kans op overleving groter wanneer bultvormers als complete mossen worden geherintroduceerd. Onder de juiste hydrologische omstandigheden kan herintroductie plaatsvinden via veenmosfragmenten

afgedekt met stro. Een groot voordeel van de introductie van fragmenten is dat deze methode eenvoudiger op te schalen is (analoog aan de toegepaste methode in Canada) en er minder donormateriaal nodig is per oppervlakte. Een flinke vuist veenmos (ca. 72 individuen per m²) afgedekt met ca. 330 g stro per m² lijkt een goede combinatie voor Nederland. Een vuist veenmos komt neer op een donor:introductie-ratio van ca. 140, dus 1 m² veenmos van de donorlocatie wordt dan verspreid over ca. 140 m² op de introductielocatie.

De hogere overleving van de veenmosfragmenten in 2019 ten opzichte van 2018 biedt perspectieven voor een succesvolle introductie van fragmenten afgedekt met stro in zomers met een normale hoeveelheid neerslag. De neerslagfrequentie speelt waarschijnlijk ook een belangrijke rol op de overleving van de bultvormers. De toepassing van stro stimuleert wel de opslag van berkjes, maar het risico hierop is groter onder suboptimale hydrologische omstandigheden. Dit is dus een extra reden om te zorgen voor stabiele hoge waterstanden.

Het bevoeien van zwartveen blijkt in de praktijk lastig te realiseren. Het blijkt ontzettend belangrijk dat het maaiveld vrijwel overal dezelfde hoogte heeft, anders zal het door de geringe waterberging in het zwartveen op de lagergelegen delen al snel te nat en op de hoger gelegen delen te droog zijn voor een goede uitbreiding van bultvormers. Het volledig egaal afwerken van het oppervlak voor herintroductie, zelfs al zou het praktisch mogelijk zijn, is voor de langere termijn ontwikkeling af te raden. Een lichte variatie in terreinhoogte is gunstig omdat dan bij variërende weerscondities altijd wel ergens in het terrein optimale hydrologische condities zijn te vinden.

Bij het opschalen van de maatregel lijkt het beregenen via een sproei installatie eenvoudiger te realiseren dan de in het huidige onderzoek toegepaste bevoeiing. Bovendien is het bij besproeiing ook niet nodig om waterdichte schermen te plaatsen. Aanvoer van water via sproeien bootst het effect van neerslag na. Dat een hoge neerslag frequentie kan compenseren voor diep uitzakkende waterstanden blijkt uit de veenmosoverleving zonder extra wateraanvoer uit 2019. In dit jaar was de overleving van bultvormers hoger dan in 2018, ondanks de opnieuw diepe waterstanden (tot 60-80 cm onder maaiveld). Sproeien is waarschijnlijk alleen nodig wanneer het gedurende lange tijd niet heeft geregend of op momenten dat de verdamping erg hoog is (zeer warm weer). Wanneer zich eenmaal een dichte veenmosvegetatie (acrotelm) heeft ontwikkeld, zal de vegetatie minder gevoelig zijn voor tijdelijke droogte. Aanvoer van water is dus vooral tijdens de initiële fase van belang en in een latere fase vooral om droge perioden te overbruggen.

Een mogelijke bottleneck voor het opschalen van herintroductie maatregelen is het gebrek aan donormateriaal. In Nederland zal het lastig zijn om op grote schaal aan bultvormers te komen. Kansen liggen er wel door eerst het donormateriaal te kweken in bijvoorbeeld de bufferzones die rondom veel hoogveengebieden zijn of worden gerealiseerd ter ondersteuning van de hydrologische stabiliteit van het veen.



Figuur F. Opschaling van de introductie van bultvormers op kaal veen in het Bargerveen in het najaar van 2021. Foto's: Chris van Roosmalen.

In het najaar van 2021 is in het Bargerveen (Meerstalblok Midden) door Staatsbosbeheer de herintroductie van bultvormers op kaal veen opgeschaald (ca. 0,6 ha; Figuur F). Dit biedt de mogelijkheid om te verkennen hoe herintroductie van bultvormers in de praktijk verder vormgegeven kan worden.

Acrotelmontwikkeling in slenkvegetaties

De experimenten in slenkvegetaties van Fraai veenmos en Waterveenmos bevestigen de uitkomsten van eerder uitgevoerd onderzoek. Uitbreiding van bultvormers verloopt het meest succesvol bij hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht. Het lijkt niet veel uit te maken of bultvormers worden geïntroduceerd in Fraai veenmos of Waterveenmos. Belangrijke kanttekening hierbij is wel dat het onderzoek grotendeels is uitgevoerd in droge jaren en dat in natte jaren slenksoorten in het voordeel kunnen zijn. Uit eerder onderzoek blijkt dat de resultaten na 2-3 jaar goed te vertalen zijn naar de langere termijn. Dit zou betekenen dat, zeker bij de hoogste introductiedichtheid, de bultvormers zich kunnen handhaven en uitbreiden. Introductie via intacte plaggen verdient hierbij voorkeur boven het introduceren van (bundels) losse planten.

Dit duidt erop dat de verspreiding en vestiging van bultvormers vaak de beperkende factor is en niet de beschikbaarheid aan geschikte groeiplaatsen. Dit wordt ook bevestigd door het onderzoek op locaties met spontane uitbreiding van bultvormers. Op basis van de aangetroffen brede range in waterkwaliteit en vegetatiesamenstelling wordt bultvorming op meer locaties verwacht dan dat er daadwerkelijk plaatsvindt. Je verwacht dan ook dat bultvormers zich na herintroductie op potentieel geschikte locaties makkelijk kunnen uitbreiden. Hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, naast een lage bedekking van kruiden, lijkt een goede indicatie voor succesvolle herintroductie van bultvormende veenmossen in bestaande veenmostapjten van Fraai veenmos en Waterveenmos.

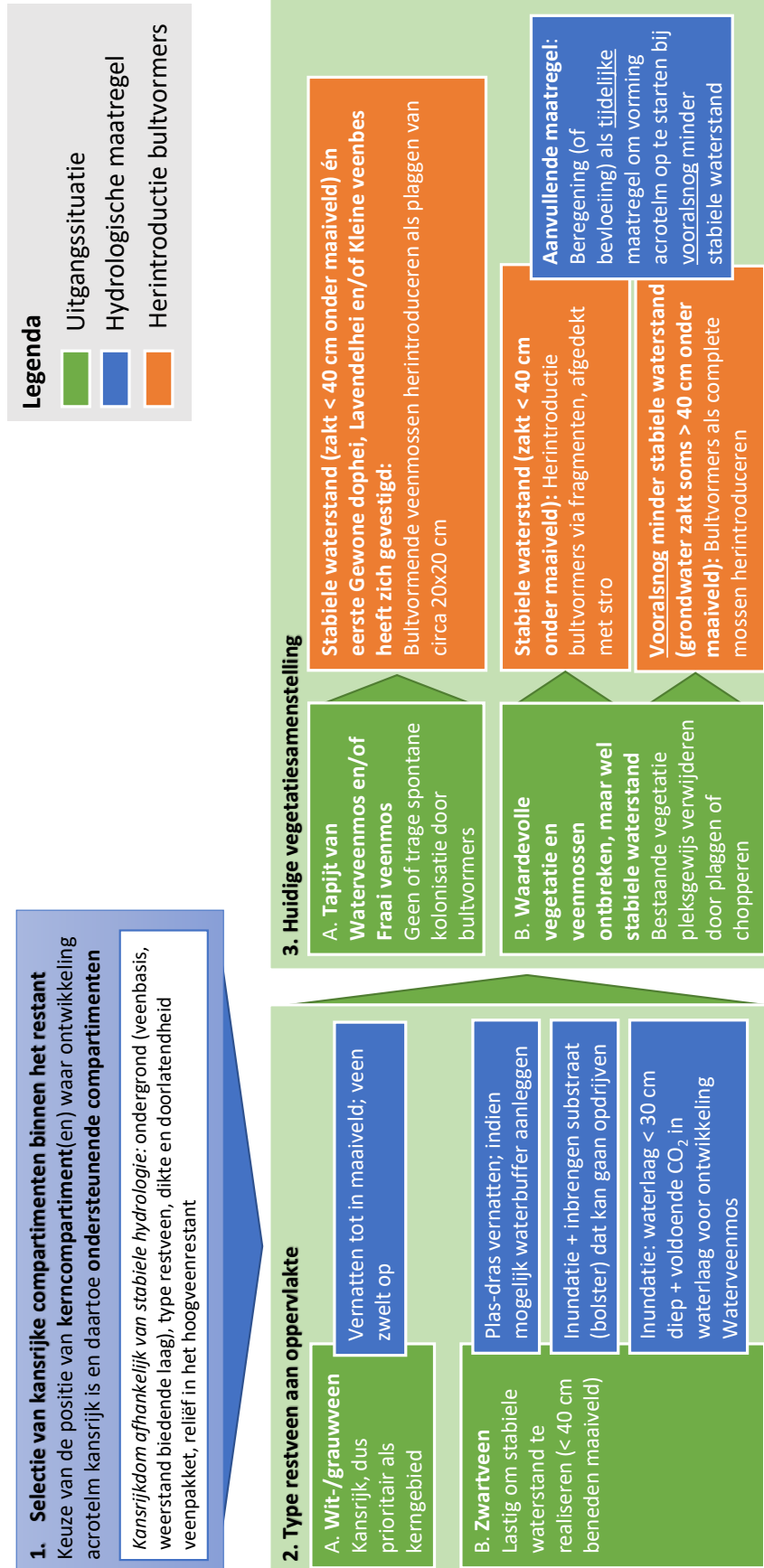
In het najaar van 2021 is in het Bargerveen (Meerstalblok Midden) door Staatsbosbeheer de herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties opgeschaald (0,25 ha) door plagjes van 20 cm in te brengen. Dit biedt de mogelijkheid om te verkennen hoe herintroductie van bultvormers in de praktijk verder vormgegeven kan worden.

Acrotelmontwikkeling vanuit een aquatische situatie

Het onderzoek bevestigt dat een hoge CO₂-beschikbaarheid van groot belang is voor een goede veenmosontwikkeling vanuit een aquatische situatie. Naast de beschikbaarheid van CO₂ spelen ook andere factoren, zoals waterdiepte en omvang van de plas in verband met windwerking, een rol bij de ontwikkeling van Waterveenmos. Het inbrengen van witveen kan de ontwikkeling versnellen wanneer dit veen komt opdrijven en/of zorgt voor hogere CO₂-concentraties in het water.

Herstelstrategie afhankelijk van uitgangssituatie

Bij eerder OBN-onderzoek naar het herstel van hoogvenen werd op basis van de uitgangssituatie (positie in het gebied, type restveen, CO₂-beschikbaarheid, etc.) verschillende herstelstrategieën opgesteld. In het schema in Figuur G zijn de resultaten van het acrotelmonderzoek verwerkt in de strategieën voor herstel van hoogvenen.



Figuur G. Samenvatting van verschillende strategieën voor hoogveenherstel bij verschillende uitgangssituaties.

Summary

Introduction

In Dutch raised bog remnants, much effort is being made to get active peat formation going again. An important step is the restoration of stable high-water levels and the development of a new peat moss-rich top layer, an acrotelm, on top of the old desiccated peat. In intact bogs this top layer of living and recently dead peat moss contributes significantly to stabilising the water levels. Only hummock-building peat moss species, such as *Sphagnum papillosum* and *S. magellanicum*, have the right characteristics to build an acrotelm, since they are able to grow above the water level and the organic material of hummock-building peat mosses is not broken down as quickly. Hollow species such as *S. cuspidatum*, and to a lesser extent *S. fallax*, are better decomposable in comparison to hummock-building peat mosses and grow to a limited extent above the water level, and therefore these species do not develop an acrotelm. The recovery of a self-regulating peat forming system can therefore only start if one or more of the hummock-building peat mosses have become dominant over larger areas and form a new peat layer. Thanks to the rewetting measures, the hydrology has been restored in many bog remnants, but the recovery of the hummock-building peat mosses, and thus the formation of a new acrotelm, falls behind.

Target of the study and research questions

The aim of this research was to find out whether reintroduction of hummock-building peat moss species can stimulate the development of a new acrotelm. Two initial situations were distinguished: 1) reintroduction on a bare, strongly humified peat soil and 2) in a peat moss vegetation with hollow species.

On a bare peat soil, the moisture balance of the introduced peat mosses is of crucial importance. The moisture balance can be controlled by maintaining a wet ("plas-dras") situation in summer, and/or to "buffer" the microclimate by sheltering grasses, or trees, or by covering the introduced peat mosses with a layer of straw mulch. Once the hummock-building peat mosses have formed a continuous mat that increases in thickness, the mosses can regulate their own water balance better and gradually external buffering of water balance and microclimate becomes less important. Which density of reintroduction and which hummock-building peat moss species could best be used in combination with the various microclimate treatments was unknown.

When introducing hummock-builders into an existing peat moss vegetation, the extent of competition with the already present hollow species plays a key role. Successful expansion of the introduced hummock-builder can only take place if it grows faster than the surrounding hollow species over a longer period. Under a consistently high moisture supply, hollow species can grow faster than hummock species. In general, the introduction of hummock-builders only makes sense when the peat moss vegetation has become less open, when the hollow species do not grow more than approximately 4 cm per year and when characteristic heath species such as *Vaccinium oxycoccos*, *Andromeda polyfolia* and *Erica tetralix* appear. Which density of reintroduction works best and whether reintroduction success depends on the type of peat moss used, and the type of bog vegetation introduced, was not yet known.

The following research questions were answered:

1. How can peat moss development be initiated?

a) In an aquatic situation:

- Can the introduction of organic material stimulate peat moss development by a) reducing the depth of the water layer or b) forming a floating raft?

- If this is the case, which material (tussocks, pruning waste, chopping waste, forest litter, etc.) is most suitable?

b) In a terrestrial situation:

- Can peat moss development on bare, strongly humified peat be initiated by introducing diaspores of hummock-building species covered with litter (analogous to experiments in Canada, Germany and Estonia)?

2. *How can we stimulate the development of hummock-building peat mosses in a vegetation dominated by Sphagnum fallax?*

- Where, when and in what way can reintroduction of hummock-building peat mosses in a *S. fallax* dominated vegetation stimulate acrotelm formation?

These research questions were addressed in two research projects conducted between 2017 and 2021:

1. OBN project "Measures to accelerate acrotelm development (OBN-2017-87-NZ)", financed by the VBNE;
2. Research "Stimulating acrotelm formation in North Brabant raised bog remnants", financed by a grant from the Biodiversity and Habitats subsidy scheme of the Province of Noord-Brabant (registration number C2204959/4166996).

Approach to the research

The study was carried out in the Bargerveen bog, Haaksbergerveen bog and Deurnsche Peel and Mariapeel bog, and consisted of five parts (an extra part due to the fire of 2020 in the Deurnsche Peel bog):

- Experimental reintroduction of hummock-builders in bare, strongly humified peat (Chapter 3)
- Experimental reintroduction of hummock-builders in hollow vegetations dominated by *S. cuspidatum* or *S. fallax* (Chapter 4)
- Field experiments on spontaneous establishment and/or expansion of hummock-building peat mosses (Chapter 5)
- Evaluation of field experiments in an aquatic situation (Chapter 6)
- Consequences of the Deurnsche Peel fire on invertebrates (Chapter 7)

Based on the research results, the synthesis (Chapter 8) answers the research questions and gives the implications of the research for the development of an acrotelm. The main findings of the study are summarised below.

Experimental reintroduction of hummock-building peat mosses on bare, strongly humified peat

It is known from previous laboratory experiments that hummock-building peat mosses can expand well on wet, strongly humified peat. Due to the low storage capacity of strongly humified peat, the water levels in often fluctuate strongly in the field situation. To investigate whether hummock-builders can also expand on wet ("plas-dras"), strongly humified peat in the field, the water level was kept artificially high in one part of the experiment by a continuous supply of acidic and nutrient-poor surface water via a solar-powered pump. In the other part of the experiment, the water levels were not controlled. This set-up made it possible to determine whether the natural water levels are sufficiently stable for the development of hummock-building peat mosses, and what the potential for recovery is under optimal hydrological conditions. The extent to which

buffering of the microclimate accelerates the establishment and expansion of the hummock-builders was investigated in three different sheltering treatments: control, shelter by pollen of *Eriophorum vaginatum* and covering with straw mulch. Hummock-builders were reintroduced as fragments (all three areas) or as intact mosses (Deurnsche Peel bog only). In the Deurnsche Peel bog, several peat moss species (*S. papillosum*, *S. magellanicum* and *S. cuspidatum*) were examined. In the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog only *S. papillosum* was reintroduced, but in three different densities.

As a result of the extreme drought in 2018, the water levels in the peat dropped strongly and causing problems with the supply of water (Figure A). Mortality among the peat mosses was high and therefore the experiments were restarted in 2019. The years 2019 and 2020 were also relatively dry, which meant that there were also temporary problems with the water supply in this period. In contrast, the year 2021 was relatively wet. Of all locations, the water level without water supply dropped furthest in the Bargerveen bog (Figure A). The problems with water supply have also been greatest here, causing the water levels in the wet compartment of the Bargerveen bog to be the least stable, followed by the Haaksbergerveen bog. In the Deurnsche Peel bog water levels with water supply were the most stable and also close to ground level (Figure A).

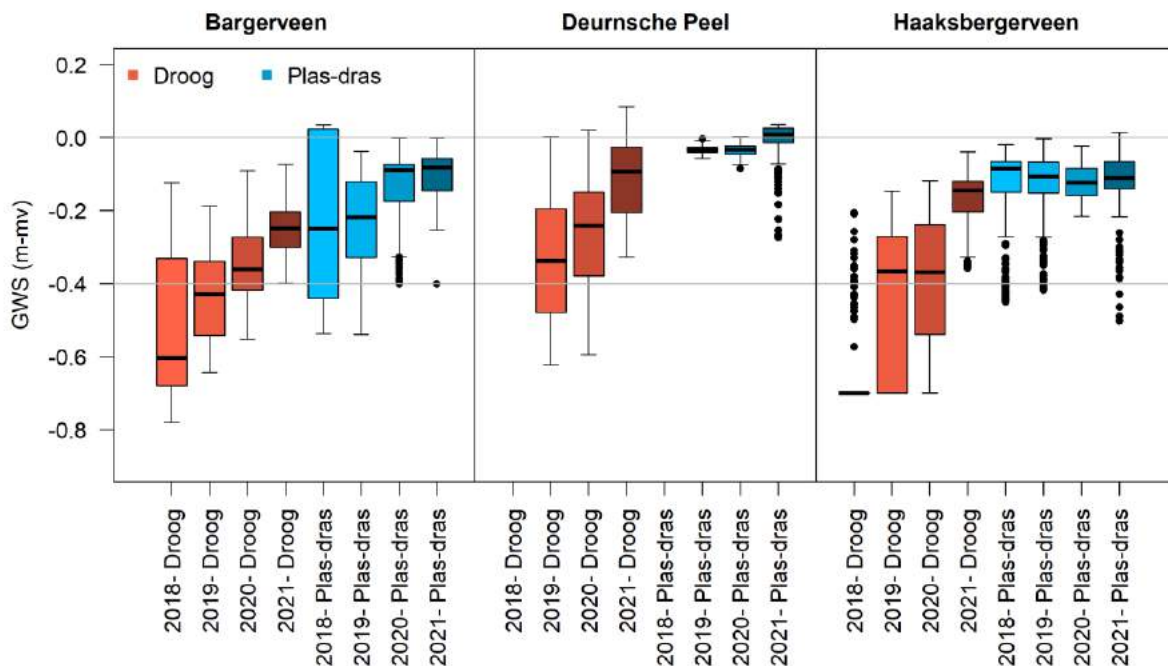


Figure A. Box plots showing the distribution of groundwater levels (relative to ground level) for the wet (blue) and control (red) treatment for the different years for the Bargerveen bog (left), Haaksbergerveen bog (centre) and Deurnsche Peel bog (right) for the entire measuring period (1 April 2018 to 1 March 2022).

Research on the microclimate, carried out in the dry years of 2018 and 2019, showed that covering the peat with straw mulch made it drier during wet periods and kept it moist during dry periods. The use of straw mulch dampens fluctuations in moisture content, and this is beneficial for the development of peat mosses.

Based on the research on bare strongly humified peat, the following conclusions can be drawn:

- Survival of hummock-building peat mosses is highest with a supply of water and under shelter of a layer of straw mulch (Figure B and Figure C).

- Under sub-optimal hydrological conditions, hummock-building peat mosses can survive and even expand if sufficient rainfall occurs and if straw mulch is applied as microclimate protection. A major source of uncertainty is that straw mulch not only stimulates peat moss succession, but also the succession of higher plants.

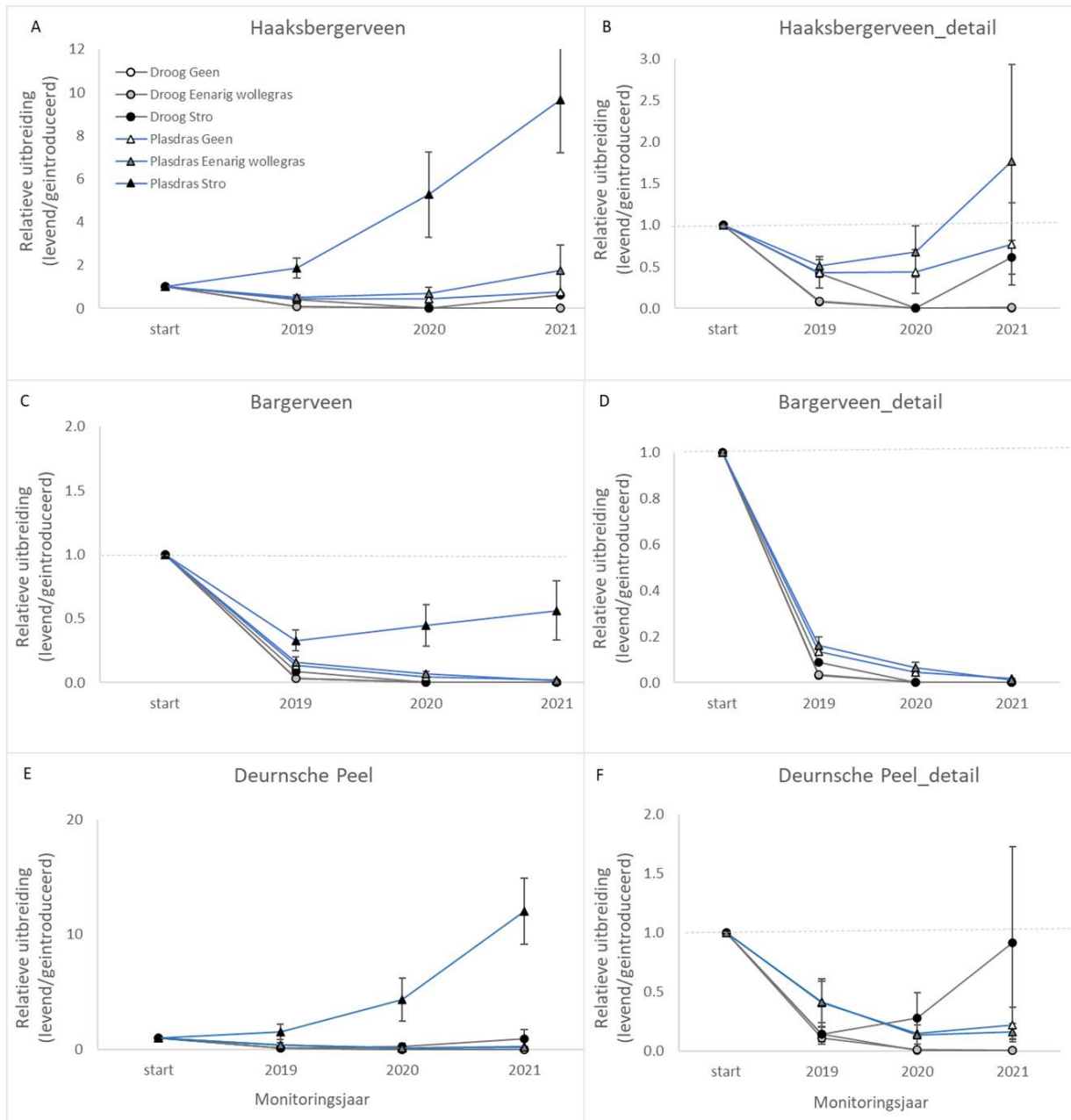


Figure B. Expansion of hummock-building peat mosses is highest in plots with straw shelter and water supply (blue line: black triangles).

- For successful survival of introduced peat moss, a higher density is needed than for expansion in subsequent years. Reintroduction with an average density of approximately 72 peat moss plants per m² seems a good compromise.
- The best method of reintroduction, with fragments or with intact plants of peat moss, seems to depend on the (hydrological) stress experienced by the peat mosses. The

reintroduction with fragments works under low (hydrological) stress whereas reintroduction with intact plants works best under high (hydrological) stress.

- Reintroduction success seems to be of limited sensitivity to the type of peat moss and seems to vary with the degree of hydrological stress the mosses experience. This makes the choice of peat moss species a pragmatic decision: the most available hummock-building peat moss species can be used for reintroduction.
- The establishment and development of higher plants is stimulated by applying straw mulch. Under sub-optimal hydrological conditions, the accelerated succession of higher plants hampers the successful reintroduction of hummock-building peat mosses. When hydrological conditions are optimal, the hummock-building peat mosses seem to stay ahead of the higher plants, at least at the short term.



Figure C. Expansion of hummock-building peat mosses is highest in experimental plots with straw mulch and water supply (left: Haaksbergerveen bog and right: Deurnsche Peel bog).

Experimental reintroduction of hummock-building peat mosses in hollow vegetation dominated by *S. cuspidatum* or *S. fallax*

In many raised bogs, hollow vegetation with *S. cuspidatum* and/or *S. fallax* develops after restoration of the hydrology. However, the establishment of hummock-building peat mosses is still not observed. To investigate under which conditions and in which densities hummock species can best be introduced, locations were selected in the Bargerveen bog, the Haaksbergerveen bog and the Mariapeel bog where the vegetation of floating rafts is dominated by *S. fallax*. In all locations *S. papillosum* was introduced and in the Mariapeel bog also *S. magellanicum* and *S. palustre*. In the Deurnsche Peel bog, hummock-building peat mosses were also introduced in a vegetation dominated by *S. cuspidatum*.

Since these are floating vegetations, the hummock-building peat mosses were less affected by the drought in the period 2018-2020.

The following conclusions can be drawn based on the research in hollow vegetations:

- Reintroduction of hummock-building peat mosses into hollow vegetations is best done at high density in the form of intact sods (Figure D).
- Reintroduction of hummock-building peat mosses is possible in both hollow vegetations with *S. cuspidatum* and *S. fallax*, where the water level is stable.
- Reintroduction success seems to be limited sensitive for peat moss species (Figure D). This makes the choice of peat moss species a pragmatic decision: the most available species of hummock-building peat moss can be used for reintroduction.

- The strong expansion of *S. papillosum* in the Bargerveen bog seems to be related to the high CO₂ concentrations (also in dry years) in the pore water (Figure E). The high ammonium concentrations in the Mariapeel bog (Figure E) are probably the result of decades of high loads of nitrogen deposition.

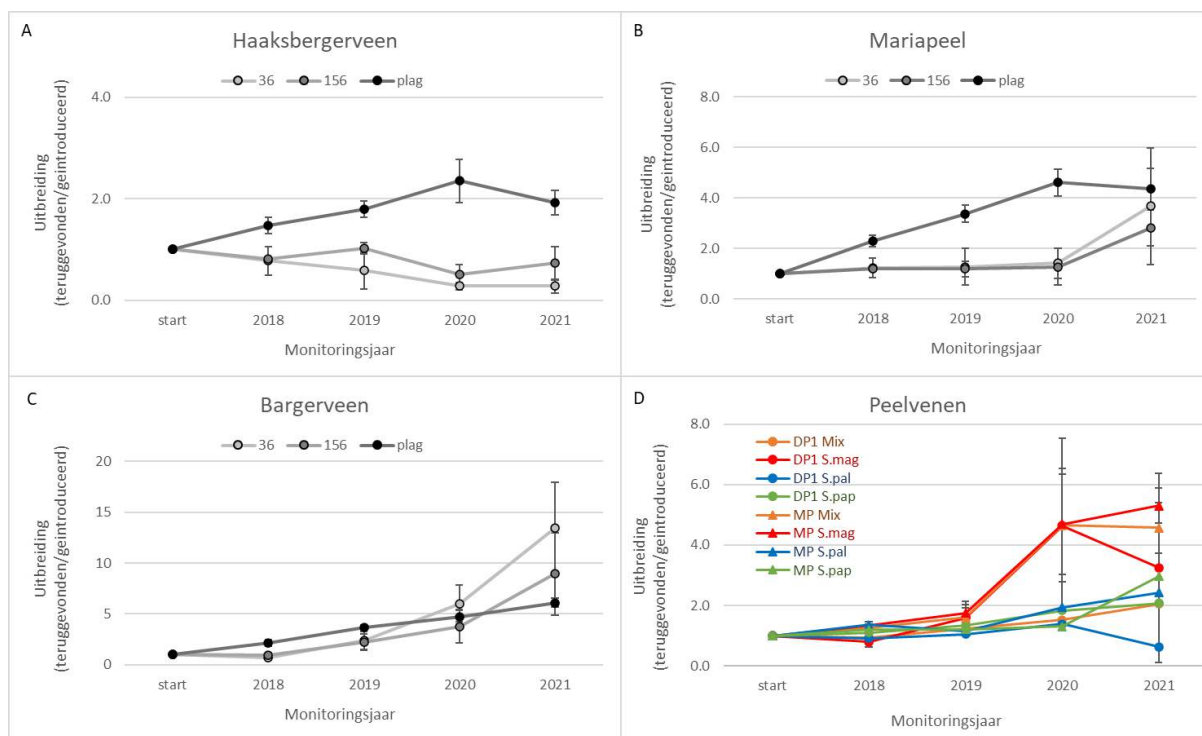


Figure D. Expansion of hummock-building peat mosses in hollow vegetation increases with the density of reintroduction and differs per area and species of peat moss.

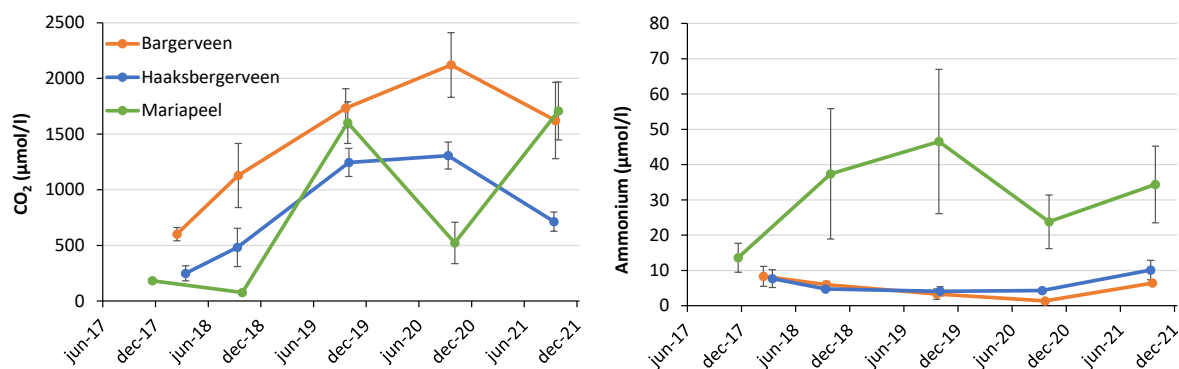


Figure E. Carbon dioxide and ammonium concentration in the pore water at the experiments in hollow vegetations dominated by *S. fallax* in the Bargerveen bog, Haaksbergerveen bog and Mariapeel bog between 2018 and 2021.

Field research on spontaneous establishment and/or expansion of hummock-building peat mosses

Field research on locations with spontaneous expansion of hummock-building peat mosses shows that establishment of hummock-builders can take place under a fairly large 'window' of abiotic site conditions, although young succession stages with high concentrations of CO₂ seem to be the most promising. Based on this wide range of water quality and vegetation data, one would expect to see

hummock formation in many more places than actually occur. This indicates biotic bottlenecks in the distribution and establishment of the hummock-building peat mosses. If this is the case, you would expect hummock-builders to spread easily everywhere after reintroduction. High CO₂ concentrations in the pore water, in addition to low herb cover, seem to be a good indication for successful reintroduction of hummock-building peat mosses into existing peat mosses of *S. fallax* and *S. cuspidatum*.

Evaluation of field trials aquatic situation

In various bogs managers have experimented with measures, such as reducing the depth of the water layer or introducing suitable substrate (peat, pruning waste, tussocks of *Molinia caerulea*), to stimulate the development of peat moss in an aquatic situation. Based on a survey among managers of Dutch raised bogs, an overview of implemented measures was drawn up.

The survey among bog managers did not provide a good picture of the practical experiments carried out and their results. In the Fochteloërveen peat bog, loosening of the top layer of peat in combination with rewetting measures has resulted in the development of vegetations with hummock-building peat mosses over a period of 20 years.

Experimental introduction of poorly humified peat, partly in combination with the addition of lime and/or phosphate, in the Bargerveen bog did not result in the formation of floating rafts in the short term but led ultimately to a higher cover of peat mosses. It is likely that part of the introduced peat became later buoyant, and on which peat mosses were able to grow. In addition, poorly humified peat, especially in combination with lime, resulted in a higher production of inorganic carbon from decomposition and thus in a higher CO₂ availability for peat mosses. It is still too early to say how the situation will develop. It is possible, for example, that hummock-builders will colonise the floating carpets of peat mosses or that the vascular plants will expand so rapidly that hummock-builders no longer have a chance to develop.

Consequences of the fire for invertebrates

The additional research on the effects of the fire in 2020 on the invertebrate fauna, gives a clear indication that both in the strongly burned (Liesselse Peel) and less strongly burned (Deurnsche Peel) parts the wet peat moss-rich peat pits had an important function during and after the fire: species could survive the fire here. The development and maintenance of wet, peat moss-rich vegetation on which fire has little or no effect, offers a safe place for invertebrates, which are secure among the wet peat mosses.

Recommendations for policy and management

Acrotelm development on strongly humified peat

Under the right conditions, it appears that hummock-builders can maintain and expand on strongly humified peat, even in dry years. On strongly humified peat it is necessary to improve water management by supplying water in periods of precipitation shortage. Straw mulch protection greatly increases the chances of success. Under sub-optimal hydrological conditions, the chances of survival are higher when hummock-builders are reintroduced as complete mosses. Under the right hydrological conditions, reintroduction can take place via peat moss fragments covered with straw mulch. A major advantage of introducing fragments is that this method is easier to scale up (analogous to the method used in Canada) and requires less donor material per area. A large fist of peat moss (ca. 72 individuals per m²) covered with ca. 330 g of straw mulch per m² seems a good combination for the Netherlands. One fist of peat moss corresponds to a donor:introduction ratio of ca. 140, so 1 m² of peat moss from the donor site is then spread over ca. 140 m² at the introduction site.

The higher survival of peat moss fragments in 2019 compared to 2018 offers prospects for the successful introduction of straw-covered fragments in summers with normal rainfall. The frequency of precipitation probably also plays an important role on the survival of the hummock-builders. The application of straw mulch does stimulate the establishment of *Betula* trees, but the risk of this is greater under sub-optimal hydrological conditions. This is therefore an extra reason to ensure stable high-water levels.

Irrigating strongly humified peat proves difficult to achieve in practice. It is extremely important that the ground level is almost uniform everywhere, otherwise, due to the low water storage in the strongly humified peat, it will soon be too wet on the lower parts and too dry on the higher parts for a good expansion of hummock-builders. Completely levelling the surface for reintroduction, even if it would be practically possible, is not recommended for long-term development. A slight variation in terrain height is favourable, because with varying weather conditions optimal hydrological conditions can always be found somewhere in the terrain.

When scaling up the measure, sprinkling via a sprinkler installation seems easier to realise than the irrigation applied in the present study. Moreover, with sprinkler irrigation it is not necessary to install watertight screens. Supplying water through sprinklers mimics the effect of precipitation. The fact that a high frequency of precipitation can compensate for lower water levels is demonstrated by the peat moss survival without additional water supply in 2019. In this year the survival of hummock-building mosses was higher than in 2018, despite the again low water levels (up to 60-80 cm below ground level). Spraying is probably only necessary when it has not rained for a long time or at times when evaporation is very high (very hot weather). Once a dense peat moss vegetation (acrotelm) has developed, the vegetation will be less sensitive to temporary drought. Therefore, the supply of water is especially important during the initial phase and mainly to bridge dry periods in a later phase.

A possible bottleneck for scaling up reintroduction measures is the lack of donor material. In the Netherlands, it will be difficult to obtain hummock-building peat mosses on a large scale. However, there are opportunities for first growing the donor material in, for example, the buffer zones that have been or are being realised around many bog areas to support the hydrological stability of the peat.



Figure F. *Scaling up the introduction of hummock-building peat mosses on bare peat in the Bargerveen bog in autumn 2021. Photos: Chris van Roosmalen.*

In the Bargerveen bog (Meerstalblok Midden) the reintroduction of hummock-building mosses on bare peatlands has been scaled up by the State Forestry in the autumn of 2021 (ca. 0.6 ha; Figure F). This offers the possibility to explore how the reintroduction of hummock-builders can be further shaped in practice.

Acrotelm development in hollow vegetation

The experiments in hollow vegetation dominated by *S. fallax* and *S. cuspidatum* confirm the results of earlier research. Expansion of hummock-builders is most successful at high CO₂ concentrations in the pore water. It does not seem to make much difference whether hummock-builders are introduced into *S. fallax* or *S. cuspidatum*. It is important to note, however, that the research was largely conducted in dry years and that in wet years hollow species may be at an advantage. Earlier research shows that the results after 2-3 years can be translated well to the longer term. This would mean that, certainly at the highest introduction densities, the hummock-builders can maintain and expand. Introduction via intact sods is hereby preferred to the introduction of (bundles of) loose plants.

This indicates that the spread and establishment of hummock-builders is often the limiting factor and not the availability of suitable growing sites. This is also confirmed by the research on locations with spontaneous expansion of hummock-builders. Based on the wide range in water quality and vegetation composition found, hummock-building is expected at more locations than actually occurs. One would therefore expect that, after reintroduction at potentially suitable locations, hummock-builders could easily expand. High CO₂ concentrations in the pore water, in addition to low vascular plant cover, seem to be a good indication for successful reintroduction of hummock-building peat mosses into existing peat mosses of *S. fallax* and *S. cuspidatum*.

In autumn 2021, in the Bargerveen (Meerstalblok Midden), the State Forestry scaled up the reintroduction of hummock-building peat mosses in hollow vegetation (0.25 ha) by inserting 20 cm sods. This offers the possibility to explore how the reintroduction of hummock-builders can be further shaped in practice.

Acrotelm development from an aquatic situation

The research confirms that a high CO₂ availability is of great importance for peat moss development from an aquatic situation. In addition to the availability of CO₂, other factors, such as water depth and pond size in connection with wind action, also play a role in peat moss development. The introduction of poorly humified peat may accelerate the development when this peat becomes buoyant and/or ensures higher CO₂ concentrations in the water.

Recovery strategy depends on the initial situation

In previous OBN research on the recovery of raised bogs, various recovery strategies were drawn up based on the initial situation (position in the area, type of residual peat, CO₂ availability, etc.). In the diagram in Figure G, the results of the acrotelm research have been incorporated into the strategies for the restoration of raised bogs.

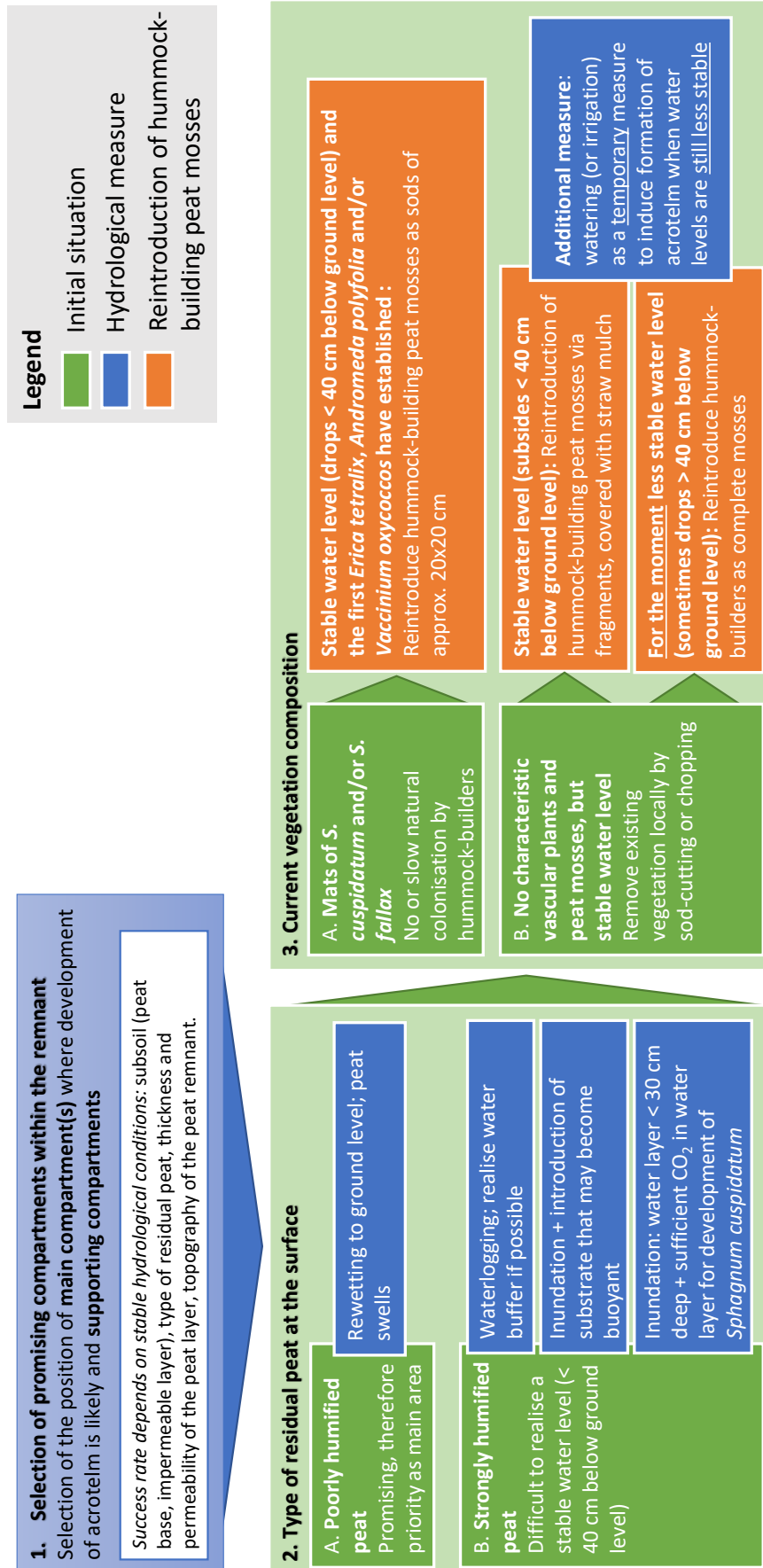


Figure G. Summary of different bog restoration strategies for different initial situations.

Dankwoord

Dit onderzoek was niet mogelijk geweest zonder de medewerking van de betrokken beheerders van Staatsbosbeheer in het Bargerveen (Piet Ursem, Jans de Vries, Carola Heijnen en Ruben Kluit), Haaksbergerveen (Rick Ruis en Rick de Ruiters) en Deurnsche Peel en Mariapeel (Martin Carree en Rick Verrijt).

Wij bedanken ook de volgende beheerders voor het invullen van de enquête: Jacob van der Weele (Aamsveen, Wierdense veld en Beerzerveld), Ruben Kluit (Bargerveen en De Witten), Rick Ruis (Engbertsdijkerven en Haaksbergerveen), Roos Veeneklaas (Fochteloërveen), Robert Ketelaar (Korenburgerveen en Wooldse Veen), Martin Carree (Mariapeel, Deurnsche Peel, Groote peel en de Bult), Evert Dijk (Wierdense veld en Beerzerveld), Mark Zekhuis (Wierdense veld en Beerzerveld), Jaap in 't Veld (Witte Veen) en Rense Haveman (Witterveld).

Wij danken Jos von Asmuth voor zijn bijdrage aan de hydrologische opzet van de plas-dras experimenten. Het plaatsen van de peilbuizen en ingraven van de folieschermen, in samenwerking met Verbelco en René Buis, is fysiek zwaar werk geweest. Dank daarvoor!

Aan het onderzoek hebben vanuit de Wageningen Universiteit diverse studenten meegewerkt: Esther Brakkee, Daniel Kollen, Mark Rademaker, Bas van Groessen, Bas van der Meer, Owen de Vlieger en Esmee Rothmeijer. Dank voor jullie inzet. Dank aan Klaas Metselaar en Elmar Veenendaal voor het mede-begeleiden van de studenten.

Dank aan Jeroen Graafland, Rick Kuiperij, Daan van Pul, Evi Bohnen-Verbaarschot en Yvon Verstijnen van B-WARE voor hun hulp bij het veldwerk. De gasmetingen waren niet mogelijk geweest zonder de hulp van Thomas Gremmen, Adam Koks, Gijs van Dijk en Bas van de Riet.

Jan Kuper, Julian Brouwer en Bas van Groesen hebben veel van het veldwerk met de potvallen uitgevoerd. Voor de determinatie van de ongewervelden en met name de spinnen en voor hun bijdragen aan de data-analyses danken we Bas van Groesen, Thom Kuyper, Stern van der Heide en Joost Vogels.

Tot slot een woord van dank voor de betrokken deskundigen uit het DT Nat zandlandschap.

1. Inleiding

1.1 Belang acrotelmontwikkeling

In Nederlandse hoogveenrestanten wordt veel inspanning gedaan om hoogveenvorming weer op gang te krijgen. Een absolute voorwaarde voor hoogveenvorming is het herstel van stabiele hoge waterstanden. In intacte hoogvenen draagt de toplaag van levend en recent afgestorven veenmos, de zogenaamde acrotelm, significant bij aan deze stabiele hydrologische situatie. Veenmossen hebben daarmee een belangrijke invloed op het functioneren van het systeem, maar niet alle veenmossoorten beschikken over de juiste eigenschappen om een acrotelm te vormen. Alleen bultvormende veenmossoorten beschikken over deze eigenschappen, aangezien ze in staat zijn om tot boven de waterstand in het veen uit te groeien en het organisch materiaal van bultvormende veenmossen minder snel wordt afgebroken. Wereldwijd worden Bruin veenmos (*Sphagnum fuscum*) en Rood veenmos (*S. rubellum*) als beste bultvormers gezien, terwijl in Atlantische venen, zoals Nederland, ook Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*¹), Wrattig veenmos (*S. papillosum*) en Kamveenmos (*S. affine*) tot de bultvormers worden gerekend. Dominantie van bultvormers, de zogenaamde sleutelsoorten, moet daarom als een absolute voorwaarde voor hoogveenherstel worden beschouwd (Joosten, 1995).

Acrotelm

De acrotelm is voor Nederland gedefinieerd (Jansen e.a., 2013) als: "een begroeiing die voor minstens 70% bestaat uit de Associatie van Gewone dophei en Veenmos (11Ba1; met als kenmerkende soorten met name *Sphagnum magellanicum*, *S. papillosum* en *S. rubellum*), aangevuld met overige hoogveenvegetaties waarin pleksgewijs natuurlijke veenafbraak in kan plaatsvinden

- een zuurstofhoudende en goed waterdoorlatende 'bodem' van levende veenmossen en nagenoeg onvergane dode veenmossen,
- bovenop een catotelm die bestaat uit vergane veenmossen,
- met een waterbergingscoëfficiënt van 0,3-0,8
- een stabiele waterhuishouding die (in hoge mate) onafhankelijk is van de omgeving, waarbij de oppervlakkige waterafvoer wordt gereguleerd (vasthouden bij droogte, lozen bij natte omstandigheden) en het oppervlak krimpt en zwelt met 2-5 cm"

Slenksoorten als Waterveenmos (*S. cuspidatum*) en in mindere mate Fraai veenmos (*S. fallax*) worden in vergelijking met bultvormers beter afgebroken en groeien beperkt boven de waterstand in het veen uit, waardoor deze soorten geen acrotelm ontwikkelen. Terreindelen waar alleen slenksoorten als Waterveenmos en Fraai veenmos aanwezig zijn, blijven voor hun hydrologie afhankelijk van hun omgeving. Het herstel van een min of meer zelfregulerend hoogveenvormend systeem kan dan ook pas op gang komen indien één of meer van de bultvormende veenmossen over grotere oppervlakten tot dominantie zijn gekomen en een veenlaag vormen. Hogere CO₂-concentraties in het water en onder de levende veenmoslaag stimuleren de hoogtegroeï van veenmos in de eerste successiestadia. Dit leidt ertoe dat eerder het punt bereikt wordt waarop de

¹ Op basis van recent genetisch onderzoek is de wetenschappelijke naam van Hoogveenveenmos gewijzigd van *Sphagnum magellanicum* Brid. in *Sphagnum divinum* Hassel & Flatberg (Hassel e.a., 2018; Zielman, 2020). In deze rapportage wordt de oude verzamelnaam *Sphagnum magellanicum* nog gebruikt.

groei van Waterveenmos of Fraai veenmos wordt geremd door een suboptimale vochtvoorziening ter hoogte van de capitula (veenmoskopjes) en bultvormers het stokje kunnen overnemen.

1.2 Spontane uitbreiding bultvormende veenmossen

In hoogveenrestanten waar het slechts licht veraarde witveen aanwezig is, worden bultvormende veenmossen na uitvoering van herstelmaatregelen vaak weer teruggevonden. Deze soorten zijn dan waarschijnlijk in zeer kleine aantallen nog aanwezig geweest en waren in staat vanuit het relatief jonge witveen te regenereren. In hoogveenrestanten waar witveen ontbreekt en overwegend het sterker veraarde zwartveen aanwezig is, zijn de bultvormende veenmossen doorgaans nog maar zeer sporadisch of niet meer aanwezig. Er zijn veel locaties waar herstelmaatregelen hebben geresulteerd in de ontwikkeling van veenmostapijten die gedomineerd worden door Waterveenmos en/of Fraai veenmos. Voor deze slenksoorten blijkt het eenvoudig om nieuwe groeiplaatsen te koloniseren. Wanneer de voedingsstoffenconcentratie in de omgeving afneemt, neemt de groei van deze twee veenmossoorten navenant af en krijgen andere veenmossoorten, zoals bultvormers, pas een kans om zich te vestigen en uit te breiden. Vermoedelijk kan Gewoon veenmos (*S. palustre*), met zijn veel hogere groeisnelheid dan Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos, onder gunstige omstandigheden beter de concurrentie aan met Fraai veenmos en Waterveenmos. Gewoon veenmos is weliswaar geen karakteristieke hoogveensoort, maar kan mogelijk wel een belangrijke tussenstap vormen in de ontwikkeling van een acrotelm. Nadat Gewoon veenmos tot dominantie is gekomen, is mogelijk de uitgangssituatie geschikt voor de vestiging van bultvormers.

Wanneer de bultsoorten niet of nauwelijks meer in het betreffende hoogveenrestant voorkomen, is de kans klein dat deze soorten zich spontaan vestigen. Vestiging van bultvormende veenmossen vanuit sporen (generatieve voortplanting) wordt vrijwel nergens waargenomen (Daniels & Eddy, 1990; Sundberg & Rydin, 2002) en de verspreiding is daarmee voornamelijk afhankelijk van vegetatieve voortplanting vanuit fragmenten. Via fragmenten kunnen veenmossen zich echter alleen over relatief kleine afstanden verspreiden en gezien de sterke versnippering van hoogveenvegetaties in Nederland zal het moeilijk zijn om nieuwe locaties via fragmenten te koloniseren. Naast verspreiding is de vestiging van veenmossen onder de huidige condities mogelijk ook een probleem. Uit de literatuur is bijvoorbeeld bekend dat een hoge stikstofdepositie de (spontane) vestiging van Hoogveenveenmos vanuit fragmenten negatief kan beïnvloeden (Li & Vitt, 1994). In Nederland wordt de kritische depositiewaarde voor stikstof van 500 mol/ha/jaar (van Dobben e.a., 2012) voor het habitatype Actieve hoogvenen (H7110A) fors overschreden. Dit betekent dat de vestiging van bultvormende veenmossen ook onder hydrologisch gunstige omstandigheden moeizaam kan verlopen.

1.3 Ontwikkeling vanuit een aquatische situatie op zwartveen

Vernattingsmaatregelen hebben geresulteerd in veel veenplassen op zwartveen waar de veenmosontwikkeling niet goed op gang komt. Voor de ontwikkeling van ondergedoken veenmossen vanuit een aquatische situatie is het van belang dat er voldoende kooldioxide in de waterlaag aanwezig is en het water niet te diep en/of te sterk gekleurd is door humuszuren (Tomassen e.a., 2003). Op locaties waar niet aan deze condities kan worden voldaan, kan de ontwikkeling gestimuleerd worden door de waterlaag te verondiepen of (wit)veen in te brengen met de juiste fysische en chemische eigenschappen om te komen opdrijven. In de beheerpraktijk is lokaal ook geëxperimenteerd met het inbrengen van structuren (o.a. boomtakken, strobalen en

biologisch afbreekbare matten) als houvast voor ondergedoken veenmossen. Inzicht in de effectiviteit van de uitgevoerde maatregelen ontbreekt echter.

1.4 Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling

Herstelmaatregelen in hoogveen hebben tot nu toe geresulteerd in de ontwikkeling van ca. 7 ha van het habitatype Actief hoogveen, met name in restanten van komhoogveen (Jansen e.a., 2013). Over een veel grotere oppervlakte zijn de hydrologische omstandigheden op orde, maar komt de ontwikkeling van een acrotelm (nog) niet op gang. Gezien de hoge kosten en grote inspanningen die met hoogveenherstelprojecten gemoeid zijn, de sleutelrol van bultvormende veenmossen en de doelstellingen die in het kader van Natura 2000 zijn gesteld (Ministerie van LNV, 2006), is het moeilijk verdedigbaar om te wachten op natuurlijke vestiging van hoogveenvormende soorten en het herstel van een acrotelm. Daarnaast is de ontwikkeling van een robuust, zelfregulerend hoogveen ook van belang vanuit het oogpunt van klimaatbestendigheid (Bijlsma e.a., 2011), de beperking van broeikasgasemissies (Järveoja e.a., 2016) en de voormalige Programmatische Aanpak Stikstof (PAS). Om de vorming van een functionerende acrotelm te versnellen, en daarmee de Natura 2000 kerndoelen te halen, kan overwogen worden bultvormende veenmossen actief te herintroduceren. Introductie van veenmossen wordt in Canada bijvoorbeeld met succes toegepast om herstel van afgegraven hoogveen mogelijk te maken of te versnellen (o.a. Rochefort e.a., 2003). Ook in Europese landen wordt experimenteel gewerkt met veenmosintroducties bij hoogveenherstelmaatregelen (Wheeler & Shaw, 1995; Sliva & Pfadenhauer, 1999; Tuittila e.a., 2004; Gunnarsson & Söderström, 2007; Karofeld e.a., 2017).

Bij introductie van bultvormende veenmossen moet onderscheid gemaakt worden tussen introductie op een kale (zwart)veenbodem en in een veenmosvegetatie met slenksoorten. Op een kale veenbodem is de vochtbehouding van de geïntroduceerde veenmossen van cruciaal belang (Campeau & Rochefort, 1996; Price e.a., 1998). In de praktijk betekent dit dat de veenmoskopjes in het groeiseizoen niet te veel mogen uitdrogen. Te sterke uitdroging kan in potentie voorkomen worden wanneer ook in de zomer een plas-dras situatie in stand gehouden wordt of het microklimaat "gebufferd" wordt door beschutting van grasachtigen (pollenbuffering) of bomen of door het afdekken van geïntroduceerde veenmosfragmenten of -plaggen met stro (zoals in Canada gebeurt). Wanneer de bultvormende veenmossen eenmaal een aaneengesloten tapijt hebben gevormd die in dikte toeneemt, kunnen de mossen hun eigen waterhuishouding steeds beter reguleren en worden externe buffering van waterhuishouding en microklimaat geleidelijk minder belangrijk; de door veenmos gevormde acrotelm (bodem) verzorgt voor interne buffering van vochtcondities.

Bij introductie van bultvormers in een bestaande veenmosvegetatie speelt de mate van competitie met de al aanwezige slenksoorten een sleutelrol (Robroek e.a., 2009). Succesvolle uitbreiding van de geïntroduceerde bultvormer kan alleen plaatsvinden wanneer hij over een langere periode harder groeit dan de slenksoorten in zijn omgeving. Onder een constant hoge vochtvoorziening kunnen slenksoorten harder groeien dan bultsoorten. In het algemeen heeft introductie van bultvormers pas zin wanneer de veenmosvegetatie minder open is geworden, de slenksoorten niet harder dan ongeveer 4 cm per jaar groeien en kenmerkende heidesoorten zoals Kleine veenbes, Lavendelhei en Gewone dophei verschijnen (Tomassen e.a., 2011).

1.5 Eerder uitgevoerd onderzoek

Binnen het kennisnetwerk OBN zijn in Nederland tussen 1998 en 2006 enkele eerste introductie-experimenten met bultvormende veenmossen uitgevoerd in verschillende situaties in de Engbertsdijksvenen, Bargerveen, Tuspeel en Mariapeel (Tomassen e.a., 2011). Deze experimenten lieten zien dat op een kale veenbodem het aanslaan van bultvormende veenmossen gehinderd wordt door sterk wisselende waterstanden. Introductie in een vegetatie gedomineerd door Waterveenmos bleek redelijk succesvol, waarbij het introduceren van grotere pluggen en complete planten van bultvormende veenmossen succesvoller was dan de introductie van kleine fragmenten (Figuur 1). In de Mariapeel is ook geëxperimenteerd met introductie van bultvormers in een snelgroeiende vegetatie van Fraai veenmos, maar onder deze omstandigheden maken de veel langzamer groeiende bultvormers geen kans zich te handhaven en uit te breiden. In de periode dat deze experimenten werden uitgevoerd, was de atmosferische stikstofdepositie hoger dan tegenwoordig. Het is goed mogelijk dat bultvormers onder de huidige omstandigheden minder snel overgroeid worden.



Figuur 1. *Uitbreiding van Hoogveenveenmos (S. magellanicum) in een Waterveenmos (S. cuspidatum) vegetatie in de Mariapeel in december 2006. In het midden van het proefvlak zijn 40 kopjes van Hoogveenveenmos geïntroduceerd in maart 2004. Na twee groeiseizoenen is het aantal kopjes meer dan verdubbeld. Sindsdien heeft de soort zich verder uitgebreid. Bron: Tomassen e.a. (2011).*

Figure 1. *Expansion of Sphagnum magellanicum in a vegetation dominated by Sphagnum cuspidatum in the Mariapeel bog in December 2006. In the middle of the plot, 40 capitula of S. magellanicum were introduced in March 2004. After two growing seasons the number of capitula more than doubled. Since then, the species has expanded further. Source: Tomassen et al. (2011).*

Ondanks de resultaten uit enkele reeds uitgevoerde experimenten resteren er nog veel vragen over het stimuleren van de uitbreiding van bultvormende veenmossen en daarmee uiteindelijk de ontwikkeling van een functionerende acrotelm.

1.6 Kennisvragen maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling

Op basis van bestaande kennis en praktijkervaring zijn de volgende kennisvragen over maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling geformuleerd:

1. Hoe kan veenmosontwikkeling op gang worden gebracht?

c) In een aquatische situatie:

- Kan introductie van organisch materiaal de veenmosontwikkeling stimuleren door a) de waterlaag te verondiepen of b) een drijftil te vormen?
- Zo ja, welk materiaal (pollen Pijpenstrootje, snoeiafval, chopperresten, bosstrooisel, etc.) is hiervoor het meest geschikt?

d) In een terrestrische situatie:

- Kan veenmosontwikkeling op zwartveen op gang worden gebracht door introductie van diasporen van bultvormende soorten afgedekt met strooisel (analoog aan experimenten in Canada, Duitsland en Estland)?

2. Hoe kunnen we de ontwikkeling van bultvormende veenmossen stimuleren in een door Fraai veenmos gedomineerde fase?

- Waar, wanneer en op welke manier kan herintroductie van bultvormers in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie acrotelmvorming stimuleren?

1.7 Onderzoek naar maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling

Voor de beantwoording van bovenstaande kennisvragen werden in 2017 twee onderzoeksprojecten gestart:

3. OBN-project "Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling (OBN-2017-87-NZ)", gefinancierd door het VBNE
4. Onderzoek "Stimuleren van acrotelmvorming in Noord-Brabantse hoogveenrestanten", gefinancierd met een subsidie vanuit de subsidieregeling Biodiversiteit en leefgebieden van de provincie Noord-Brabant (registratienummer C2204959/4166996).

In de volgende twee paragrafen wordt het doel van beide onderzoeksprojecten nader beschreven.

1.7.1 OBN-onderzoek

Het OBN-onderzoek was tweeledig: het versnellen van een acrotelmontwikkeling vanuit een aquatische situatie en vanuit een terrestrische situatie. Vanuit de terrestrische situatie betreft het de ontwikkeling op plas-dras vernat zwartveen en vanuit een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie. Deze experimenten werden in de periode 2017-2021 uitgevoerd in het Bargerveen (Drenthe) en Haaksbergerveen (Overijssel). Binnen dit onderzoek was het niet mogelijk om verschillende bultvormende veenmossen te onderzoeken en is gekozen voor Wrattig veenmos.

In Tabel 1 staat een overzicht van de kennisvragen met de bijbehorende deelvragen die we op basis van het onderzoek in deze rapportage proberen te beantwoorden, en de aanpak voor het beantwoorden van de vragen.

Tabel 1. Overzicht van de kennisvragen, bijbehorende deelvragen en de voorgestelde aanpak voor het beantwoorden van de kennisvragen.

Table 1. Overview of the research questions, their sub-questions, and the proposed approach for answering the research questions.

Kennisvragen	Deelvragen	Aanpak
1a) Hoe kan veenmos-ontwikkeling op gang worden gebracht in een <u>aquatische situatie</u> ?	a) Welke praktijkproeven zijn er ingezet en wat zijn de resultaten?	Inventarisatie onder beheerders van hoogveenrestanten
	b) Wat zijn de standplaatsfactoren op locaties waar met succes veenmosontwikkeling op gang gekomen is?	Aanvullende veldmetingen op ca. 10 locaties waar maatregelen zijn uitgevoerd om veenmosontwikkeling te stimuleren
1b) Hoe kan veenmos-ontwikkeling op gang worden gebracht in een <u>terrestrische situatie</u> ?	a) Op welke locaties is de hydrologie op orde en komt geen veenmosontwikkeling op zwartveen op gang?	Inventarisatie onder beheerders van hoogveenrestanten
	b) Zijn de omstandigheden geschikt voor het handhaven en uitbreiden van bultvormende veenmossen?	Introductie-experiment op zwartveen met diasporen van een bultvormer (Wrattig veenmos)
	c) Is de hydrologie op de onderzoekslocaties op orde?	Inrichten van een hydrologische meetopstelling en monitoren van de grondwaterstanden
	d) Vergroot enige mate van beschutting de ontwikkeling van bultvormende veenmossen?	Uittesten van 3 behandelingen die verschillen in mate van beschutting voor de veenmossen (geen beschutting, pollenbuffering en afdekken met strooisel)
	e) Wat is het effect van de dichtheid waarmee de bultvormers worden geïntroduceerd?	Introduceren van bultvormers in 3 verschillende dichtheden
	f) Wat is het effect van het gecontroleerd plas-dras houden van de waterstand?	Bij het introductie-experiment wordt in de helft van de proefvlakken de waterstand gecontroleerd plas-dras houden
2) Hoe kan de ontwikkeling van bultvormende veenmossen gestimuleerd worden in een door Fraai veenmos gedomineerde fase?	a) Kunnen bultvormende veenmossen zich handhaven in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie?	Introductie-experiment met een bultvormer (Wrattig veenmos) in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie
	b) Wat is het effect van de dichtheid waarmee de bultvormers worden geïntroduceerd?	Introduceren van bultvormers in 3 verschillende dichtheden
	c) Onder welke omstandigheden kunnen bultvormers zich handhaven in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie?	Vergelijkend veldonderzoek in 3 hoogveenrestanten op locaties waar spontane vestiging van bultvormers optreedt

Vanwege de extreme droogte in 2018 werden de plas-dras experimenten op zwartveen in het voorjaar van 2019 opnieuw gestart. In aanvulling op de oorspronkelijke onderzoeksvragen (zie Tabel 1) kunnen hierdoor de volgende extra vragen beantwoord worden:

1. Wat is het effect van een extreem droge zomer (2018) op de waterstanden op zwartveen?

2. Kunnen geïntroduceerde fragmenten van Wrattig veenmos initieel overleven op zwartveen tijdens een extreem droge zomer?
3. Wat is het effect van wateraanvoer, beschutting (geen, Eenarig wollegras en stro) en dichtheid waarmee de bultvormers worden geïntroduceerd op de overleving tijdens een extreem droge zomer?
4. In hoeverre verschillen de waterstanden, initiële overleving en veenwatersamenstelling tussen een extreem droge zomer (2018) en een 'normale zomer'?

1.7.2 Onderzoek provincie Noord-Brabant

Het onderzoek in de Peelvenen richtte zich alleen op het versnellen van acrotelmontwikkeling vanuit een terrestrische situatie. Vanuit de terrestrische situatie betreft het de ontwikkeling van bultvormers op plas-dras vernat zwartveen en in een door Waterveenmos of Fraai veenmos gedomineerde vegetatie. Deze experimenten werden in de periode 2017-2021 uitgevoerd in de Deurnsche Peel en Mariapeel. De opzet van deze experimenten sluit goed aan bij de opzet van het OBN-onderzoek. In de Peelvenen was de onderzoeksopzet uitgebreider zodat het mogelijk was om verschillende bultvormende veenmossoorten (Wrattig veenmos en Hoogveenveenmos) te onderzoeken en verschillende introductiemethoden (veenmosfragmenten en intacte veenmossen) te vergelijken.

In aanvulling op het acrotelmonderzoek, werd als gevolg van de grote brand in de Deurnsche Peel in 2020, aanvullend onderzoek gedaan naar de effecten van de brand op de ongewervelde fauna in het gebied.

1.8 Leeswijzer

In dit rapport worden per hoofdstuk de verschillende deelonderzoeken beschreven:

- Hoofdstuk 2: beschrijving van de selectie van de onderzoeksgebieden en -locaties
- Hoofdstuk 3: experimentele herintroductie bultvormers op plas-dras vernat zwartveen
- Hoofdstuk 4: experimentele herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos
- Hoofdstuk 5: veldonderzoek naar de spontane vestiging en/of uitbreiding van bultvormers
- Hoofdstuk 6: evaluatie van veldproeven aquatische situatie
- Hoofdstuk 7: gevolgen brand Deurnsche Peel op ongewervelden

Op basis van de onderzoeksresultaten worden in de synthese (Hoofdstuk 8) de onderzoeksvragen beantwoord en de implicaties van het onderzoek voor de ontwikkeling van een acrotelm gegeven.

Tenslotte is in hoofdstuk 9 een overzicht van de gebruikte literatuur opgenomen, gevolgd door de bijlagen in hoofdstuk 10.

2. Selectie onderzoeksgebieden

Een belangrijk onderdeel van het onderzoek bestond uit experimenten waarbij bultvormende veenmossen worden geïntroduceerd op plas-dras vernat zwartveen en in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos en/of Waterveenmos. Mogelijk beïnvloed de landschappelijke positie van een hoogveen de potenties voor herstel. Daarom werd rekening gehouden met de landschappelijke positie door zowel een komhoogveen als een plateauhoogveen te selecteren. Aanvullende criteria die bij de selectie werden gehanteerd:

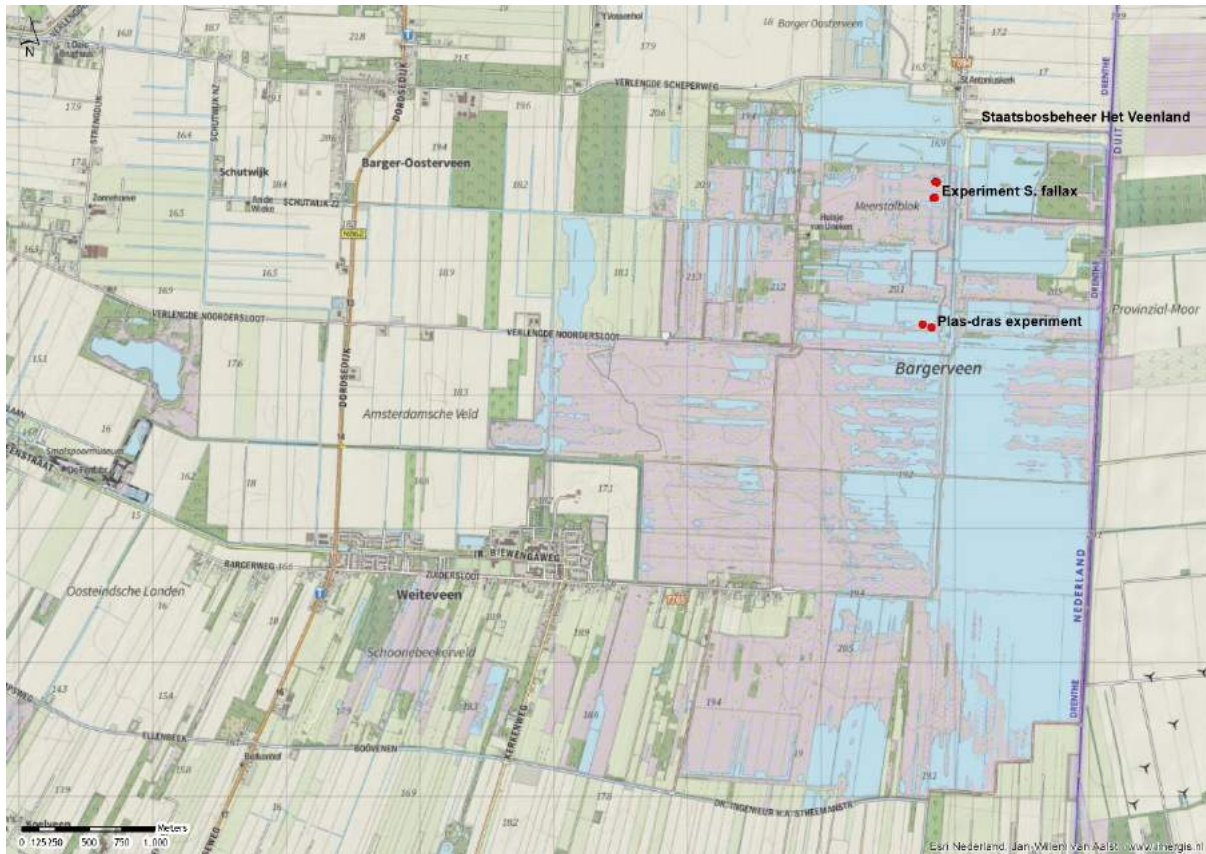
- 1) De hydrologie op de uitvoeringslocatie moet minimaal 5 jaar op orde zijn, dus er zijn in het recente verleden of er worden in de nabije toekomst geen hydrologische maatregelen genomen.
- 2) Zijn er locaties met zwartveen aanwezig waar geen veenmosontwikkeling op gang komt?
- 3) Is in de directe omgeving voldoende neerslagwater voorradig om tekorten in de zomerperiode aan te vullen?
- 4) Zijn er locaties gedomineerd door Fraai veenmos aanwezig?
- 5) Lopen er al praktijkproeven in het gebied?
- 6) Hebben de beheerders belangstelling en tijd om aan het onderzoek mee te werken?

Uiteindelijk werden voor het onderzoek de volgende gebieden geselecteerd: Bargerveen (plateauveen; OBN), Haaksbergerveen (komveen; OBN) en Deurnsche Peel en Mariapeel (plateauveen; Noord-Brabant).

2.1 Bargerveen

Voor het experiment op zwartveen werd een locatie geselecteerd in het Meerstalblok (Figuur 2 en Figuur 3). Op deze locatie zijn de waterstanden relatief stabiel, maar ten opzichte van maaiveld nog wel te laag (zie Bijlage 1). Aangezien voor het experiment de vegetatie in de proefvlakken verwijderd moet worden, was de verwachting dat de waterstanden ten opzichte van maaiveld dan gunstig zullen worden. Op 19 maart 2018 werd de proeflocatie geplagd door Staatsbosbeheer. Hierbij werd de toplaag van ca. 20 cm verwijderd. De veendikte op deze locatie is 2,5 m.

Voor het experiment met introductie van Wrattig veenmos in een vegetatie gedomineerd door Fraai werd een locatie geselecteerd in het Meerstalblok Midden (Figuur 2). Het betreft drijvende vegetaties en voor het experiment werden vier verschillende blokken ingericht (Figuur 4) Als donorlocatie voor Wrattig veenmos werd een locatie geselecteerd in het Oosterbos, gelegen op korte afstand (ca. 8 km) van het Bargerveen (zie Tabel 2 voor XY-coördinaten).



Figuur 2. Topografische kaart met de ligging van de experimenten in het Bargerveen (Meerstalblok). Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 2.

Figure 2. Topographic map showing the experimental locations in the Bargerveen bog (Meerstalblok). For the XY coordinates of the locations see Table 2.

Tabel 2. XY-coördinaten (Amersfoort/RD nieuw (EPSG:28992)) van de locaties van de experimenten in het Bargerveen en Haaksbergerveen. Voor het Bargerveen is het donormateriaal verzameld in het nabijgelegen Oosterbos.

Table 2. XY coordinates (Amersfoort/RD new (EPSG:28992)) of the experimental locations in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog. For the Bargerveen bog the donor material was collected in the nearby Oosterbos bog.

Locatie	X	Y
Bargerveen		
Controle compartiment plas-dras experiment	266757	523528
Hydrologische compartiment plas-dras experiment	266823	523504
Blok 1 Fraai veenmos	266852	524590
Blok 2 Fraai veenmos	266865	524588
Blok 3 Fraai veenmos	266838	524469
Blok 4 Fraai veenmos	266848	524473
Haaksbergerveen		
Controle compartiment plas-dras experiment	250824	461051
Hydrologische compartiment plas-dras experiment	250899	461007
Blok 1 Fraai veenmos	250741	461098
Blok 2 Fraai veenmos	250740	461096
Blok 3 Fraai veenmos	250738	461095
Blok 4 Fraai veenmos	250732	461081
Verzamellocatie Wrattig veenmos	250277	460185
Oosterbos		
Verzamellocatie Wrattig veenmos Oosterbos	263225	530177



Figuur 3. Luchtfoto (2019) van de locatie van het plas-dras experiment in het Bargerveen (Meerstalblok). De ligging van het controle compartiment en hydrologische compartiment (inlaat water met behulp van plas-dras pomp) zijn apart aangegeven. Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 2.

Figure 3. Aerial photo (2019) of the location of the 'plas-dras' experiment in the Bargerveen bog (Meerstalblok). The location of the control compartment and hydrological compartment (inlet water using a water pump) are indicated separately. For the XY coordinates of the locations see Table 2.



Figuur 4. Luchtfoto (2019) met de locatie van het introductie-experiment in een Fraai veenmos vegetatie in het Bargerveen (Meerstalblok Midden). De 4 replica's per behandeling zijn verdeeld over 4 verschillende blokken. Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 2.

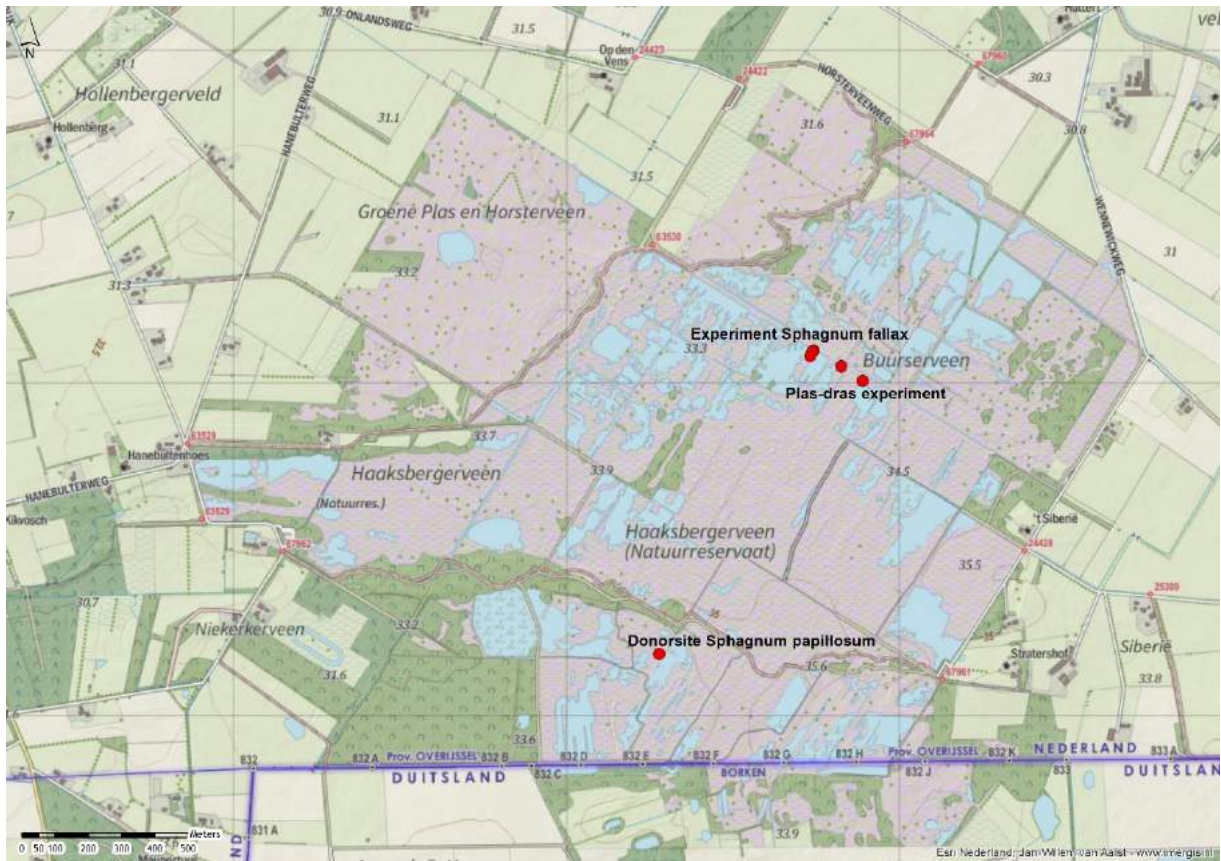
Figure 4. Aerial photo (2019) showing the location of the introduction experiment in a *Sphagnum fallax* vegetation in the Bargerveen bog (Meerstalblok Midden). The 4 replicates per treatment are distributed over 4 different blocks. For the XY coordinates of the locations see Table 2.

2.2 Haaksbergerveen

Voor het experiment op zwartveen werd een locatie in het Buurserveen geselecteerd. Vanwege de benodigde oppervlakte voor het experiment, werden twee aparte, hoger gelegen locaties aan de vroegere Buurserveenweg uitgezocht (Figuur 5 en Figuur 6). Op 15 en 21 maart 2018 werd de proeflocatie geplagd door Staatsbosbeheer. De veendikte is op deze locatie 1,05 m. In Bijlage 1 is aanvullende informatie over de hydrologische situatie van deze locatie opgenomen.

Voor het experiment met introductie in een Fraai veenmos vegetatie werd op korte afstand van het plas-dras experiment een locatie geselecteerd in het Buurserveen (Figuur 5 en Figuur 6).

Als donorlocatie voor Wrattig veenmos werd een locatie elders in het Haaksbergerveen geselecteerd (Figuur 5 en Tabel 2).



Figuur 5. Topografische kaart met de ligging van de experimenten en de donorlocatie van *Wragtig veenmos* in het Haaksbergerveen (Buurserveen). Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 2.

Figure 5. Topographic map showing the experimental locations and the donor site of *S. papillosum* in the Haaksbergerveen bog (Buurserveen). For the XY coordinates of the locations see Table 2.



Figuur 6. Luchtfoto (2019) met de locaties van de experimenten in het Haaksbergerveen. De 4 replica's per behandeling van het experiment in een Fraai veenmos vegetatie zijn verdeeld over 4 verschillende blokken. Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 2.

Figure 6. Aerial photo (2019) with the experimental locations in the Haaksbergerveen bog. The 4 replicates per treatment of the experiment in a vegetation dominated by *Sphagnum fallax* are distributed over 4 different blocks. For the XY coordinates of the locations see Table 2.

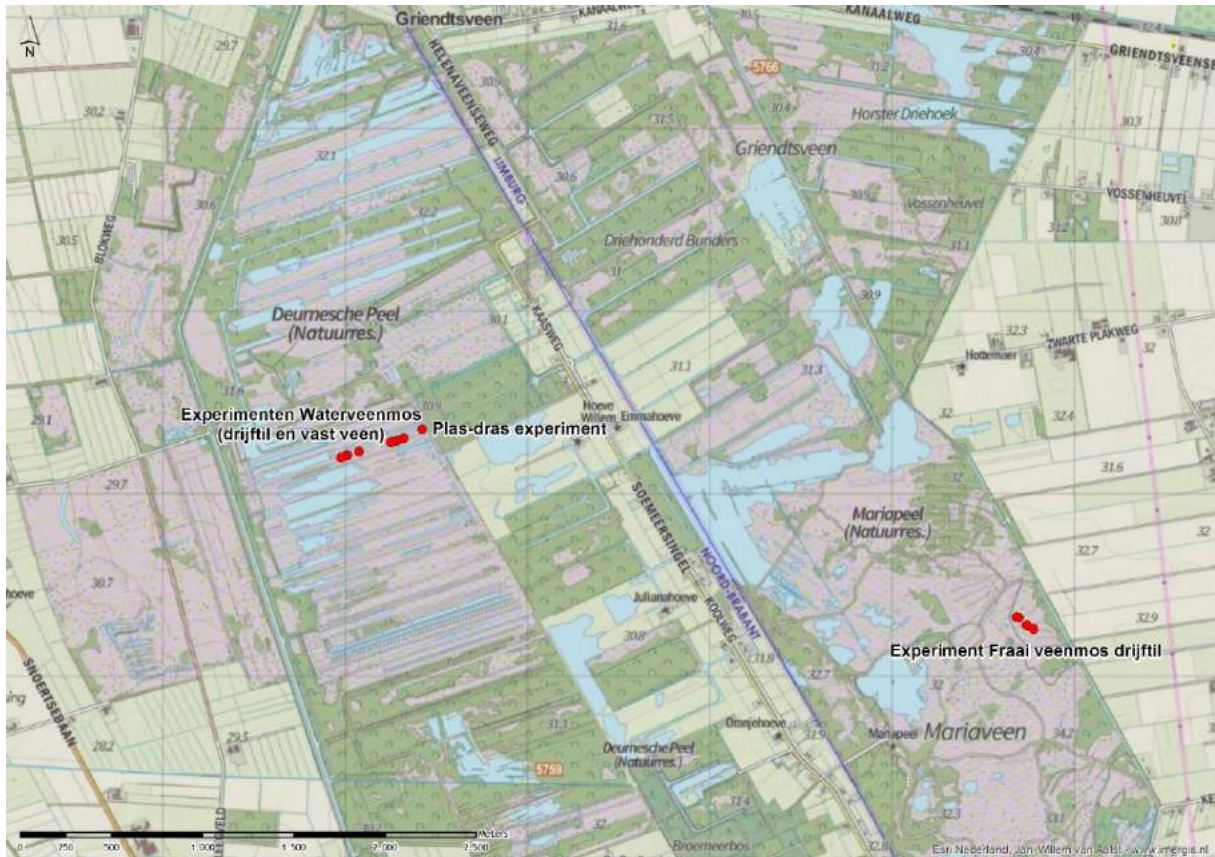
2.3 Deurnsche Peel en Mariapeel

Voor het experiment op plas-dras vernat zwartveen werd een locatie op de Vlakte van Minke geselecteerd. Op deze locaties zijn de waterstanden redelijk stabiel, maar net te laag ten opzichte van maaiveld (zie Bijlage 1). Aangezien de bestaande vegetatie voor het experiment (deels) verwijderd moet worden, is ervoor gekozen om op de locatie 20 cm te plaggen, zodat de waterstanden ten opzichte van maaiveld gunstiger werden.

Voor de introducties in een door Waterveenmos gedomineerde vegetatie werden enkele veenputten op de Vlakte van Minke geselecteerd (Figuur 8).

Door Fraai veenmos gedomineerde vegetaties bleken lastig te vinden te zijn in de Deurnsche Peel. Met toestemming zijn een aantal veenputten in de Mariapeel, het Limburgse deel van het Natura 2000-gebied, geselecteerd (Figuur 9).

In overleg met Staatsbosbeheer is ervoor gekozen om de te introduceren bultvormende veenmossen (Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos) te verzamelen op een locatie waar deze soorten in een hoge bedekking voorkomen (Oosterbos en Bargerveen; zie Tabel 3 voor de XY-coördinaten van de verzamellocaties).



Figuur 7. Kaart met de ligging van de locaties waar de experimenten worden uitgevoerd in de Deurnsche Peel en Mariapeel. Voor luchtfoto's met een detail weergave zie Figuur 8 en Figuur 9. Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 3.

Figure 7. Map showing the location of the experimental sites in Deurnsche Peel and Mariapeel bog. For more detailed aerial photographs see Figure 8 and Figure 9. For the XY coordinates of the locations see Table 3.

Tabel 3. XY-coördinaten (Amersfoort/RD nieuw (EPSG:28992) van de locaties van de experimenten in de Deurnsche Peel en Mariapeel. In de tabel zijn ook de coördinaten van de locaties waar het donormateriaal is verzameld opgenomen, deze zijn gelegen in het Oosterbos of Bargerveen.

Table 3. XY coordinates (Amersfoort/RD new (EPSG:28992) of the experimental locations of the experiments in Deurnsche Peel and Mariapeel bog. The table also includes the coordinates of the locations where the donor material was collected, these are in the Oosterbos or Bargerveen bog.

Locatie	X	Y
Deurnsche Peel		
Locatie plas-dras experiment	189418	381355
Blok 1 Waterveenmos drijf-til	189321	381306
Blok 2 Waterveenmos drijf-til	189282	381292
Blok 3 Waterveenmos drijf-til	189263	381288
Blok 4 Waterveenmos drijf-til	189247	381283
Blok 5 Waterveenmos vast veen	189072	381231
Blok 6 Waterveenmos vast veen	189009	381213
Blok 7 Waterveenmos vast veen	188997	381207
Blok 8 Waterveenmos vast veen	188974	381200

Locatie	X	Y
Mariapeel		
Blok 1 Fraai veenmos Mariapeel	192736	380281
Blok 2 Fraai veenmos Mariapeel	192774	380259
Blok 3 Fraai veenmos Mariapeel	192694	380322
Blok 4 Fraai veenmos Mariapeel	192683	380323
Bargerveen/Oosterbos (Drenthe)		
Verzamelloccatie Wrattig veenmos Oosterbos	263225	530177
Verzamelloccatie Hoogveenveenmos Oosterbos	263047	531589
Verzamelloccatie Gewoon veenmos Bargerveen	267684	524815
Verzamelloccatie Waterveenmos Deurnsche Peel	189450	381363
Verzamelloccatie Eenarig wollegras Bargerveen	267921	522360



Figuur 8. Luchtfoto (2019) met de locaties van het plas-dras experiment (situatie 1), het experiment in een Waterveenmosvegetatie op een drijftil (blok 1 t/m 4; situatie 2) en in een Waterveenmosvegetatie op vast veen (blok 6 t/m 8; situatie 2/1) in de Deurnsche Peel. Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 3.

Figure 8. Aerial photo (2019) with the locations of the 'plas-dras' experiment (situation 1), the experiment in a floating vegetation dominated by *S. cuspidatum* (blocks 1 to 4; situation 2) and in a vegetation dominated by *S. cuspidatum* on solid peat (blocks 6 to 8; situation 2/1) in the Deurnsche bog. For the XY coordinates of the locations see Table 3.



Figuur 9. Luchtfoto met de locatie van het experiment in een Fraai veenmosvegetatie op een drijftil (blok 1 t/m 4; situatie 3) in de Mariapeel. Voor de XY-coördinaten van de locaties zie Tabel 3.

Figure 9. Aerial photo with the experimental location in a floating vegetation dominated by *Sphagnum fallax* (blocks 1 to 4; situation 3) in the Mariapeel bog. For the XY-coordinates of the locations see Table 3.

3. Herintroductie op plas-dras zwartveen

3.1 Inleiding

Uit eerder uitgevoerde laboratoriumexperimenten is bekend dat bultvormende veenmossen zich goed kunnen uitbreiden op plas-dras vernat zwartveen (Tomassen e.a., 2003). Vanwege de lage bergingscapaciteit van zwartveen schommelen de waterstanden in zwartveen vaak sterk. Dit werd ook duidelijk bij een experiment dat in 2005-2006 werd uitgevoerd in het Bargerveen (Schoonebeekerveld; Tomassen e.a., 2011). Dat experiment is niet goed verlopen, omdat de waterstanden in de zomer te ver wegzakten (tot 60 cm onder maaiveld) en het niet mogelijk was de waterstand kunstmatig hoog te houden. Voor de experimenten op plas-dras vernat zwartveen werd gebruik gemaakt van de eerder opgedane ervaring. Er werd daarom een extra behandeling toegevoegd, waarbij de waterstanden kunstmatig plas-dras gehouden werden door een continue aanvoer van zuur en voedselarm oppervlaktewater met pompen (op zonne-energie). Met deze opzet kan bepaald worden of de huidige waterstanden voldoende stabiel zijn voor de ontwikkeling van bultvormende veenmossen, en wat de potentie voor herstel zou zijn onder optimale hydrologische omstandigheden.

3.2 Materiaal en methoden

Voor dit experiment werden locaties geselecteerd in zowel het Bargerveen, Haaksbergerveen als Deurnsche Peel (zie hoofdstuk 2). Alle locaties grenzen aan een veenplas of -put waaruit in perioden met een neerslagtekort zuur oppervlaktewater kan worden onttrokken. De waterstanden ten opzichte van maaiveld waren op de geselecteerde locaties nog iets te laag, zodat de locaties eerst werden geplagd waarbij de bestaande vegetatie volledig werd verwijderd (Figuur 10 en Figuur 11).



Figuur 10. Plagwerkzaamheden voor het inrichten van het plas-dras experiment in het Haaksbergerveen op 15 maart 2018. De lichte vlekken op de rechterfoto zijn oude wortels van Pijpenstrootje. Tijdens inzetten van de experimenten zijn deze afwijkende locaties gemedend. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 10. Sod cutting measures for the establishment of the 'plas-dras' experiment in the Haaksbergerveen bog on 15 March 2018. The light spots on the right picture are old roots of *Molinia caerulea* and these were avoided. Photos: Hilde Tomassen.

Vanwege het plaggen bleek het noodzakelijk de opzet van het experiment in de Deurnsche Peel iets aan te passen. Bij de oorspronkelijke opzet waren er 3 beschuttingsbehandelingen voorzien: geen beschutting, beschutting van pollen Eenarig wollegras (pollenbuffering) en beschutting van de bestaande vegetatie. Hiermee willen we onderzoeken of buffering van het microklimaat door hogere planten de vestiging van de veenmossen versnelt. Aangezien de bestaande vegetatie bij het plaggen werd verwijderd, is deze laatste beschuttingsbehandeling komen te vervallen. In plaats hiervan hebben we een extra locatie met Waterveenmos op zwartveen geselecteerd, waarbij een vergelijkbaar experiment is ingezet als op een drijftil met Waterveenmos. Hiermee kunnen we zowel onderzoeken of bultvormers zich kunnen uitbreiden op plas-dras zwartveen waar al wel Waterveenmos groeit, als in een drijftil met Waterveenmos. Voor meer informatie hierover zie later deze paragraaf.



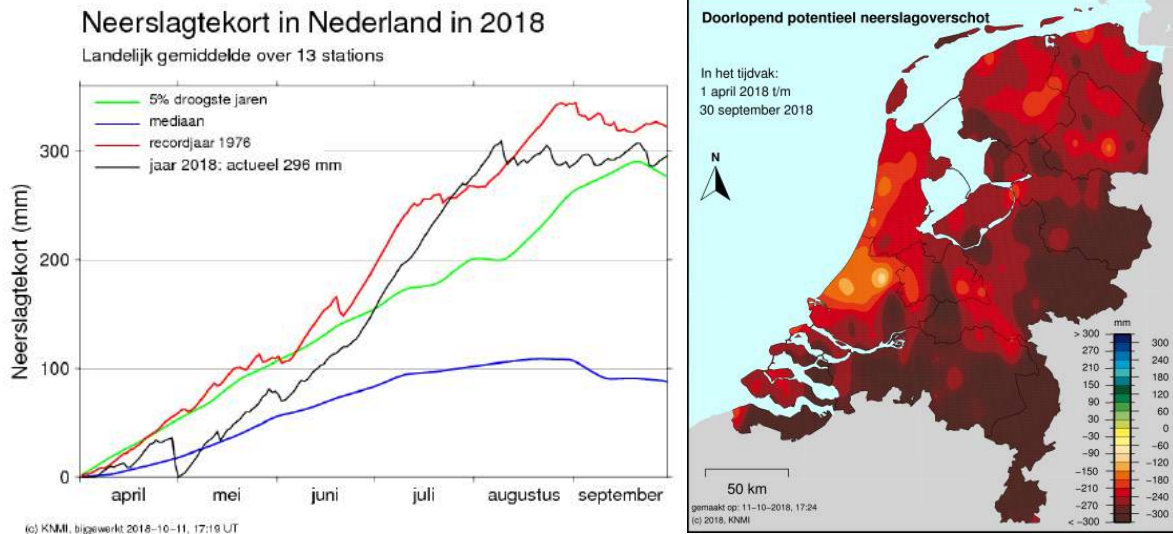
Figuur 11. Links: plagwerkzaamheden voor het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel. Foto genomen op 16 maart 2018. Rechts: overzicht van de twee geplagde stroken en de aangrenzende veenput waaruit water opgepompt wordt voor de hydrologische behandeling. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 11. Left: sod cutting activities for the 'plas-dras' experiment in Deurnsche Peel bog. Photo was taken on 16 March 2018. Right: overview of the two sodcut sections and the adjacent peat pit from which water is pumped for hydrological treatment. Photos: Hilde Tomassen.

Bij de experimenten op zwartveen die binnen het OBN-onderzoek worden uitgevoerd, is het afdekken van de veenmosfragmenten met stro als derde beschuttingsbehandeling toegepast. Aan de oorspronkelijke onderzoeksopzet van het experiment in de Deurnsche Peel is daarom ook beschutting via stro als extra beschuttingsbehandeling toegevoegd. Hierdoor waren er uiteindelijk toch drie beschuttingsbehandelingen (afdekken met stro in plaats van beschutting door de bestaande vegetatie), waardoor het totale aantal proefvlakken van 18 gelijk bleef.

3.2.1 Herinrichting experimenten in het voorjaar van 2019

In het voorjaar van 2018 werden de plas-dras experimenten in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Deurnsche Peel ingericht. Direct na de start van de experimenten werd het extreem droog in Nederland (Figuur 12). Als gevolg hiervan zijn de geïntroduceerde veenmosfragmenten in de proefvlakken zonder wateraanvoer vrijwel allemaal afgestorven en functioneerde de wateraanvoer in het Bargerveen niet zoals gewenst door gebrek aan water (Tomassen e.a., 2018; 2019). In overleg met het deskundigenteam Nat zandlandschap en de provincie Noord-Brabant is besloten om de experimenten op plas-dras vernat zwartveen in het voorjaar van 2019 opnieuw in te richten.



Figuur 12. Neerslagtekort in Nederland van 1 april t/m 30 september 2018. Het experiment op plas-dras vernat zwartveen zijn medio april 2018 ingericht en gestart. Vanaf mei 2018 werd het zeer droog in Nederland met uiteindelijk een neerslagtekort van gemiddeld 296 mm. Bron: KNMI (2018).

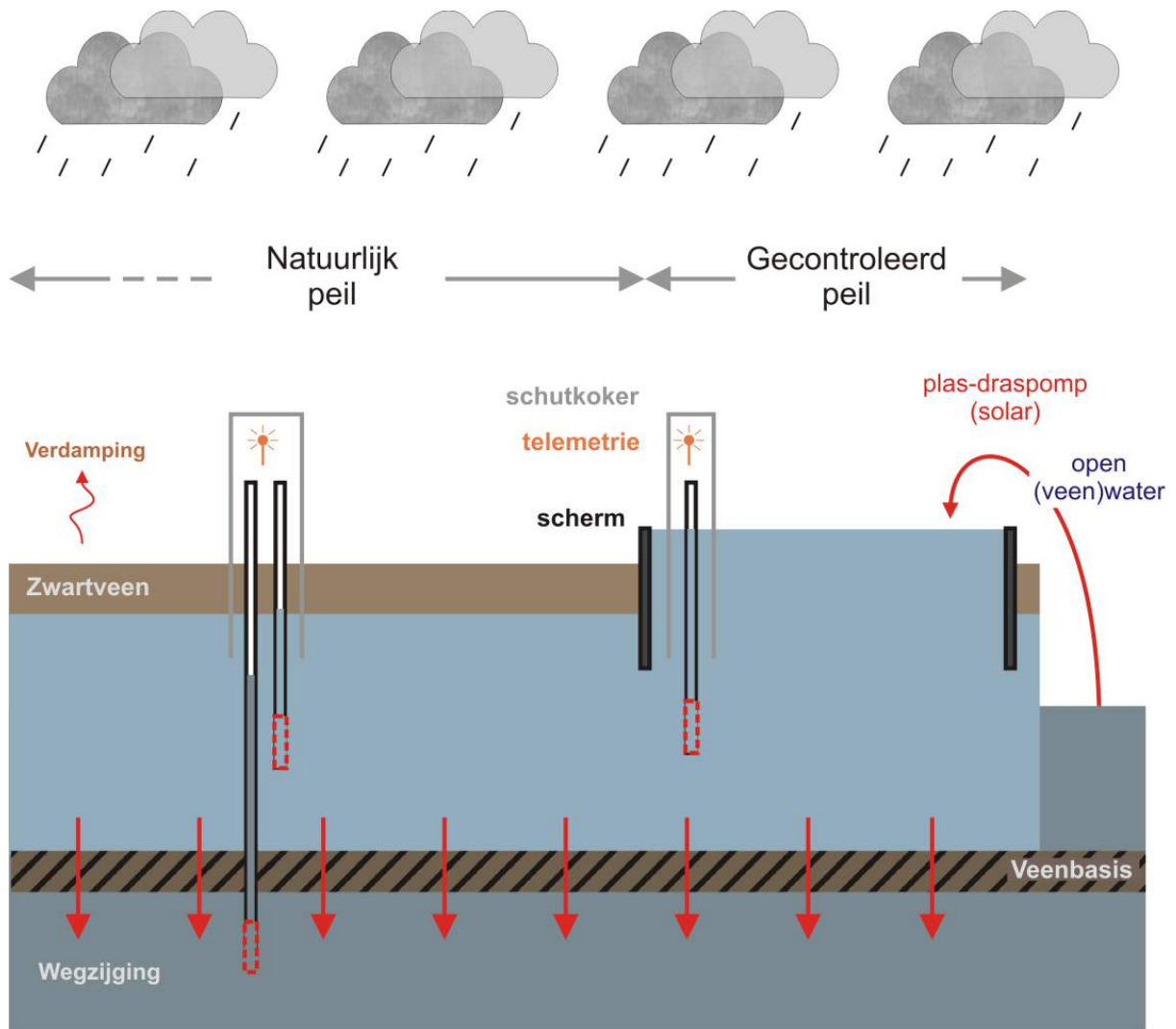
Figure 12. Precipitation deficit in the Netherlands from 1 April to 30 September 2018. The 'plas-dras' experiments were set up and started in mid-April 2018. From May 2018, it became very dry in the Netherlands with an eventual precipitation deficit of 296 mm on average. Source: KNMI (2018).

3.2.2 Hydrologische inrichting en monitoring waterstanden

Zoals in het plan van aanpak is omschreven en uitgewerkt, dient het hydrologische deel van dit onderzoek de volgende twee doelstellingen:

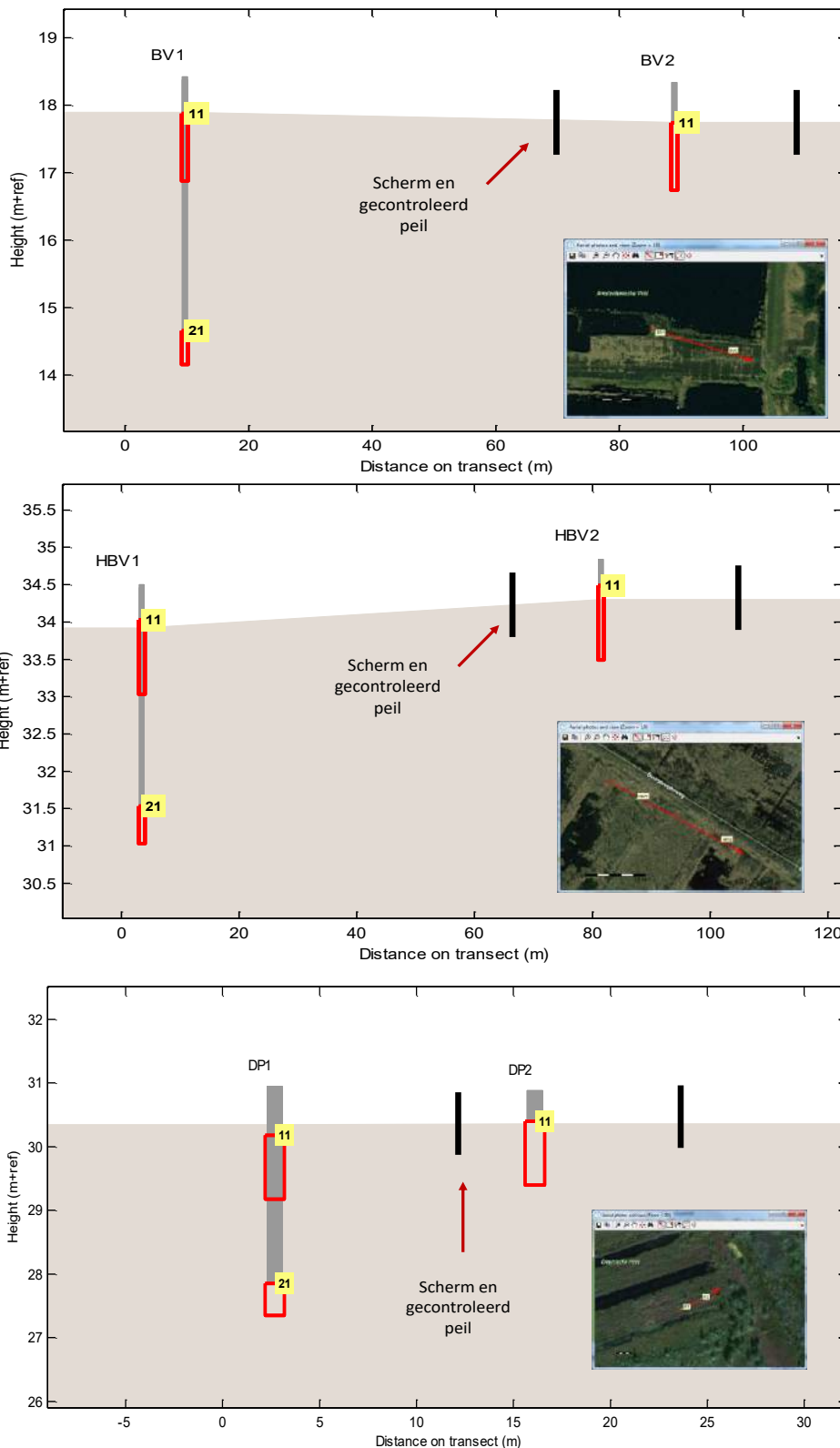
- 1) In beeld brengen van de hydrologische situatie en onderbouwen dat de locaties 'hydrologisch op orde' zijn
- 2) Ondervangen van het risico dat dit toch niet het geval blijkt te zijn, en dat de experimenten om hydrologische redenen falen

Dát de te selecteren locaties 'hydrologisch op orde' dienden te zijn is en was het uitgangspunt van het onderzoek: het is een voorwaarde voor acrotelmontwikkeling. Voorafgaand aan de inrichting van de experimenten is de hydrologische situatie van verschillende beoogde onderzoekslocaties in kaart gebracht ten behoeve van de locatieselectie, op basis van reeds beschikbare gegevens (von Asmuth, 2017). Uit deze inventarisatie bleek echter ook (en niet onverwacht) dat de beschikbaarheid van goede gegevens beperkt was, en dat de hydrologische geschiktheid voor veenmosgroei in met name de initiële fase moeilijk te kwantificeren en beoordelen was. De vraag of de hydrologische situatie op de onderzoekslocatie geschikt is voor veenmosgroei, is een andere dan de vraag of deze vergelijkbaar is met die in ongestoord hoogveen. Als criterium is er uiteindelijk voor gekozen om situaties te selecteren waar de veenwaterspiegel naar verwachting maximaal 40 cm (hydrologische randvoorwaarde voor functionerende hoogveenen) onder maaiveld wegzakt. De hydrologische metingen dienen er dus voor om te onderzoeken of de waterstand op de onderzoekslocaties voldoende ondiep en stabiel is om succesvolle vestiging en uitbreiding van bultvormers mogelijk te maken (conform de aanname). Er is daarbij zowel een freatisch peilbuisfilter geïnstalleerd, als een peilbuisfilter in de onderliggende watervoerende (minerale) laag onder het veenpakket, om wegzijgingsverliezen te bepalen (Figuur 13 en Bijlage 2). In Figuur 14 zijn dwarsdoorsneden met de filterdiepten van de peilbuizen in de drie onderzoeksgebieden opgenomen.



Figuur 13. Schematische dwarsdoorsnede en weergave van de opzet van de onderzoekslocaties op zwartveen, met positionering van de peilbuizen in een behandeling met natuurlijk peil en een behandeling of compartiment met gecontroleerd peil.

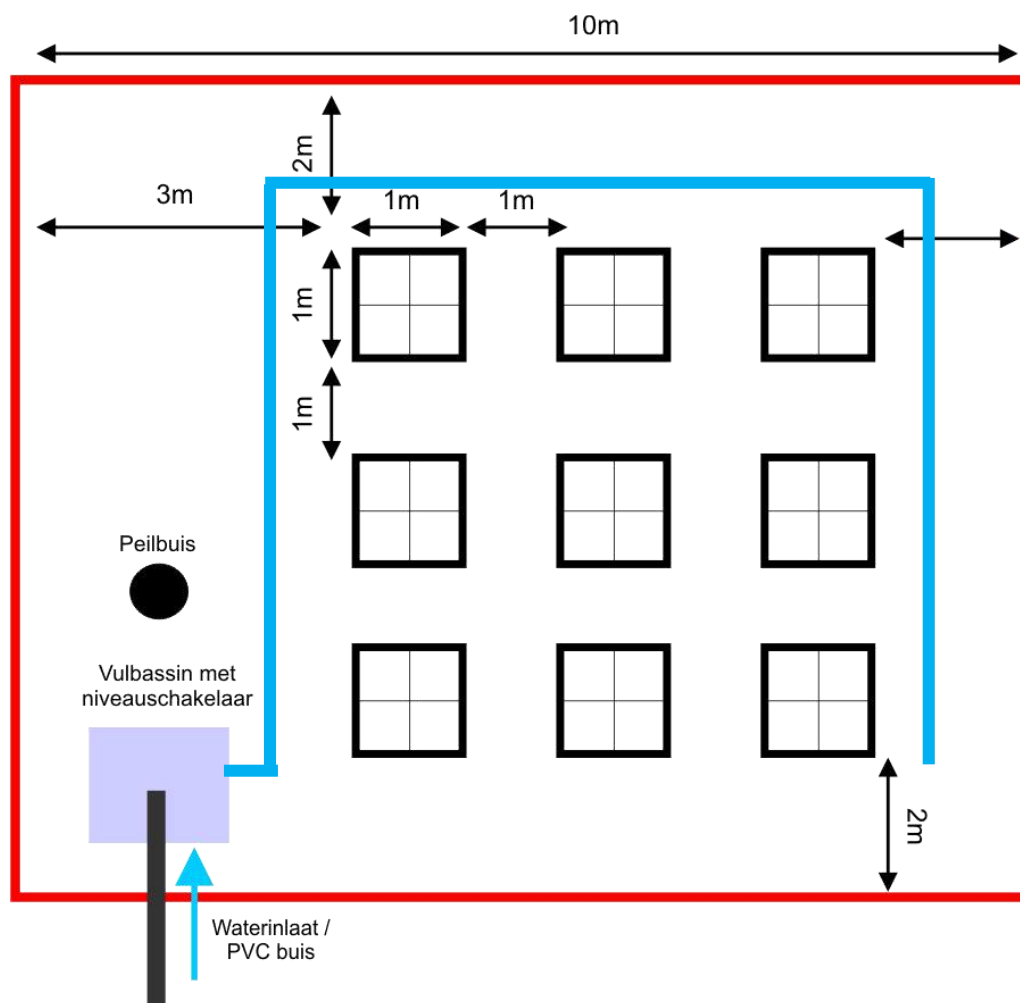
Figure 13. Schematic cross-section and representation of the set-up of the research locations on strongly humified peat, with positioning of the monitoring wells in a treatment with natural water level and a treatment or compartment with controlled water level.



Figuur 14. Dwarsdoorsneden langs het transect uit de luchtfoto in het Bargerveen (boven), Haaksbergerveen (midden) en Deurnsche Peel (onder), gaande van de locatie met natuurlijk peil naar het compartiment met gecontroleerd peil, met ligging van peilbuisfilters en ingegraven scherm.

Figure 14. Cross sections along the aerial transect in the Bargerveen bog (top), Haaksbergerveen bog (middle) and Deurnsche Peel bog (bottom), from the location with a natural water level to the compartment with a controlled water level, with location of the monitoring well filters and the buried screen.

Voorafgaand aan het onderzoek is dus al geconcludeerd dat de vraag of de hydrologische situatie op de onderzoekslocaties inderdaad voldoende op orde is, niet met zekerheid is te beantwoorden. Dit brengt als risico met zich mee dat dit niet het geval is, waardoor de experimenten en daarmee het hele onderzoek om die reden zouden kunnen mislukken. Er is gekozen om dat risico al in de onderzoeksopzet te ondervangen. Hiervoor is een behandeling met gecontroleerde waterstanden opgenomen in de opzet, door een compartiment met gelijkmatige waterstand te creëren met behulp van een zogenaamde plas-dras pomp. De opzet en inrichting van de onderzoekslocaties zoals hierboven beschreven, is schematisch weergegeven in Figuur 15. Tijdreeksen zijn gecontroleerd met handmetingen in het veld. Afwijkende metingen in de tijdreeksen zijn gedetecteerd en vervolgens verwijderd met de Friedmans 'supersmoother' methode met de R software (Hyndman & Khandakar, 2007).



Figuur 15. Bovenaanzicht met inrichting en afmetingen van het compartiment met gecontroleerd waterpeil. De rode lijn geeft het randscherm weer, de blauwe lijnen de aanvoergreppels om wateraanvoer te bespoedigen.

Figure 15. Top view showing layout and dimensions of the compartment with controlled water level. The red line shows the peripheral screen, the blue lines the inflow trenches to speed up water inflow.

3.2.2.1 Cumulatief potentieel neerslagtekort

Om de gemeten grondwaterstanden te kunnen duiden, en te controleren of het systeem nog functioneert, is het cumulatief potentieel neerslagoverschot berekend (hierna voor de leesbaarheid cumulatief neerslagoverschot genoemd). Hiervoor zijn de etmaalgegevens van weerstation Hoogeveen gebruikt. Het cumulatief neerslagoverschot is berekend door de geschatte Makkink verdamping van de neerslag af te trekken, en deze vervolgens op te tellen bij het neerslagoverschot van de vorige dag. Hierbij is 1 april 2018 als startdatum gehanteerd, en data van KNMI-meetstation Hoogeveen gebruikt. Een negatief neerslagoverschot geeft uiteraard aan dat er een neerslagtekort is. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de potentiële Makkink verdamping uitgaat van de verdamping van een referentiegewas (gemaaid groen transpirerend gras versus evaporatie van een zwart uitgedroogd veen); er wordt geen rekening gehouden met reductie van potentiële verdamping door vochttekorten. Dit leidt tot een overschatting van de verdamping. Anderzijds is de Makkink schatting van potentiële verdamping conservatiever dan die van de uitgebreidere Penman-Monteith rekenmethode (Allen e.a., 1998). Het cumulatief neerslagtekort geeft een goede indicatie van droogte. De precieze waarden dienen niet gebruikt te worden; verdamping in venen is erg variabel en met enige onzekerheid gemoeid.



Figuur 16. Foto's van de hydrologische inrichting van de plas-dras experimenten. Het ingraven van het scherm bleek zwaar werk, ten behoeve daarvan is door Verbelco een speciale veenschap ontworpen (foto's links). In de foto rechtsonder is de gerealiseerde opstelling van pomp, vulbassin en peilbuis in het Bargerveen te zien. Foto's: Jos von Asmuth.

Figure 16. Photographs of the hydrological setup of the 'plas-dras' experiments. Digging in the screen turned out to be heavy work, for which a special peat shovel was designed by Verbelco (photos left). The photo below right shows the realised setup of pump, filling basin and monitoring well in the Bargerveen. Photos: Jos von Asmuth.

3.2.3 Inrichting compartiment met gecontroleerd waterpeil

De afmetingen van het compartiment met gecontroleerd waterpeil zijn ongeveer 10 bij 10 meter, de oppervlakte dus ongeveer 100 m² (zie ook Figuur 15 en de foto's in Figuur 16). Vanwege de grotere proefvlakken (zie paragraaf 3.2.4) zijn in de Deurnsche Peel de afmetingen van een compartiment 10 bij 13 meter (130 m²). Daarbinnen bevindt zich het eigenlijke experiment met bijbehorende proefvlakken, ieder op een afstand van ongeveer een meter. De pomp voert oppervlaktewater aan vanuit een nabijgelegen veenplas, en bevindt zich buiten het compartiment aan de rand van het open water. De afvoer van de pomp mondt uit in een vulbassin, mede om de stroomsnelheid van het uitgepompte water te beperken. Boven het vulbassin bevindt zich de niveauschakelaar, waarmee het peil in het compartiment kan worden geregeld.

Het waterpeil in het compartiment en daarmee ook het correct functioneren van de pomp, wordt gemonitord en bewaakt worden door een nabijgelegen peilbuis met freatisch filter. Binnen deze peilbuis worden (grond)waterstandsmetingen verricht met dataloggers die voorzien zijn van telemetrie. Door het gebruik van telemetrie is het mogelijk om eventuele problemen met de pompen snel te kunnen zien, en zo mogelijk te kunnen verhelpen. Om het water te verdelen en vast te houden binnen het compartiment, en aan de andere kant effecten van het pompen op de nabijgelegen behandelingen zoveel mogelijk te voorkomen, is deze afgeschermd met een (laag) waterkerend, plastic randscherm. Het randscherm is 64 cm hoog, en voor ongeveer 50 cm ingegraven in het veen. In de praktijk bleek het lastig te zijn om de locaties netjes waterpas te laten pluggen en/of af te werken, waardoor het waterpeil t.o.v. maaiveld niet overal exact gelijk is en ruimtelijk naar schatting zo'n 3 cm hoger dan wel lager kunnen zijn.



Figuur 17. Om de infiltratie van opgepompt water in veen te versnellen en om een gelijk effect binnen het gehele compartiment te bewerkstelligen werden in de compartimenten met een gecontroleerd peil ondiepe greppels gegraven. Op de foto de situatie in het Haaksbergerveen na opnieuw inrichten van het 'plas-dras' experiment. Foto: Hilde Tomassen.

Figure 17. To accelerate infiltration of pumped water into peat and to achieve an equal effect throughout the compartment, shallow trenches were dug in the compartments with a controlled level. On the picture the situation in the Haaksbergerveen bog after the redesign of the 'plas-dras' experiment. Photo: Hilde Tomassen.

3.2.4 Inrichting proefvlakken 2019

Vanwege de droogte in 2018 werden in het voorjaar van 2019 de plas-dras experimenten in de Deurnsche Peel, het Haaksbergerveen en het Bargerveen opnieuw ingericht (Figuur 18). In Tabel 4 worden de data gegeven waarop de verschillende experimenten werden gestart. De opzet van het experiment in de Deurnsche Peel wijkt op de volgende punten af van de experimenten in het Bargerveen en Haaksbergerveen:

- In de Deurnsche Peel werd niet alleen Wrattig veenmos geïntroduceerd, maar ook Hoogveenveenmos en Waterveenmos en een mix van deze drie veenmossorten.
- In de Deurnsche Peel werden de veenmossen niet alleen als fragmenten geïntroduceerd, maar ook als intacte mossen met een lengte van 10 cm.

Voor de herinrichting van het experiment werden in alle gebieden eerst alle nog levende veenmossen, het overgebleven stro en Eenarig wollegras verwijderd. Daarna werden eventuele hoogteverschillen tussen de proefvlakken gereduceerd door lokaal enkele cm's van de toplaag van het veen te verwijderen. Daarnaast werden greppels gegraven om de infiltratie van opgepompt water in veen te versnellen en om een gelijk effect binnen het gehele compartiment te bewerkstelligen (Figuur 17). Gezien het effect van stro op de nutriëntenconcentratie in de toplaag van het veen (zie Tomassen e.a., 2018; 2019) is ervoor gekozen om bij de herinrichting van het experiment niet voor de tweede keer vers stro aan te brengen op dezelfde proefvlakken. De beschuttingsbehandelingen werden daarom opnieuw willekeurig verdeeld over de proefvlakken waarbij aan ieder van de 3 proefvlakken waar in 2018 stro werd opgebracht, nu een andere beschuttingsbehandeling werd toegekend: controle, Eenarig wollegras of opnieuw stro.

Tabel 4. Overzicht met de data, zowel in het voorjaar van 2018 als 2019, waarop de veenmossen bij de plas-dras experimenten werden geïntroduceerd.

Table 4. Overview with the dates, both in spring 2018 and 2019, on which the peat mosses were introduced at the 'plas-dras' experiments.

Gebied	Start experiment 2018	Start experiment 2019
Bargerveen	16 april 2018	4 april 2019
Haaksbergerveen	12 april 2018	25 maart 2019
Deurnsche Peel	24 en 25 april 2018	19 en 20 maart 2019

3.2.4.1 Bargerveen en Haaksbergerveen

Na de voorbereidende werkzaamheden werden de 18 proefvlakken van 1 x 1 m opnieuw ingericht (Figuur 18 en Figuur 19). Aan de proefvlakken werden willekeurig 6 behandelingen toegekend: 3 beschuttingsbehandelingen, met en zonder controle van de hydrologie (Tabel 5). In 6 proefvlakken werd Wrattig veenmos geïntroduceerd zonder beschutting, in zes proefvlakken werd Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) geplant (3 scheuten per punt, 9 punten per proefvlak; zie Tabel 7 voor biomassa) en in zes proefvlakken werden de bultvormers na introductie afgedekt met stro (ca. 330 g per m²). De proefvlakken werden met een net afgedekt om wegwaaien van de veenmosfragmenten en het stro te voorkomen. Bij de helft van de proefvlakken (3 proefvlakken van iedere behandeling) wordt de waterstand gecontroleerd plas-dras gehouden met behulp van een plas-dras pomp op zonne-energie en in de andere helft van de proefvlakken worden natuurlijke peilfluctuaties toegestaan. In Tabel 5 wordt een overzicht van de verschillende behandelingen gegeven.

Tabel 5. *Overzicht van de verschillende behandelingen op plas-dras zwartveen waar de veenmosontwikkeling niet of nauwelijks op gang komt. Iedere behandeling is in 3-voud ingezet. Behandelingen bestaan uit verschillen in hydrologische omstandigheden en in mate van beschutting voor het veenmos. De hydrologische behandeling bestaat uit het gecontroleerd plas-dras houden van de waterstand met behulp van pompen en de natuurlijke waterstandfluctuaties. De behandeling in mate van beschutting zijn: geen beschutting, beschutting van pollen Eenarig wollegras of beschutting van stro.*

Table 5. *Overview of the different treatments on 'plas-dras' strongly humified peat where the peat moss development does not or hardly start. Each treatment is applied in 3-fold. Treatments consist of differences in hydrological conditions and in the degree of shelter for the peat moss. The hydrological treatment consists of keeping the water level in a controlled way wet with the help of pumps and the natural water level fluctuations. The shelter treatments are: no shelter, shelter of tussocks of *Eriophorum vaginatum* or shelter of straw mulch.*

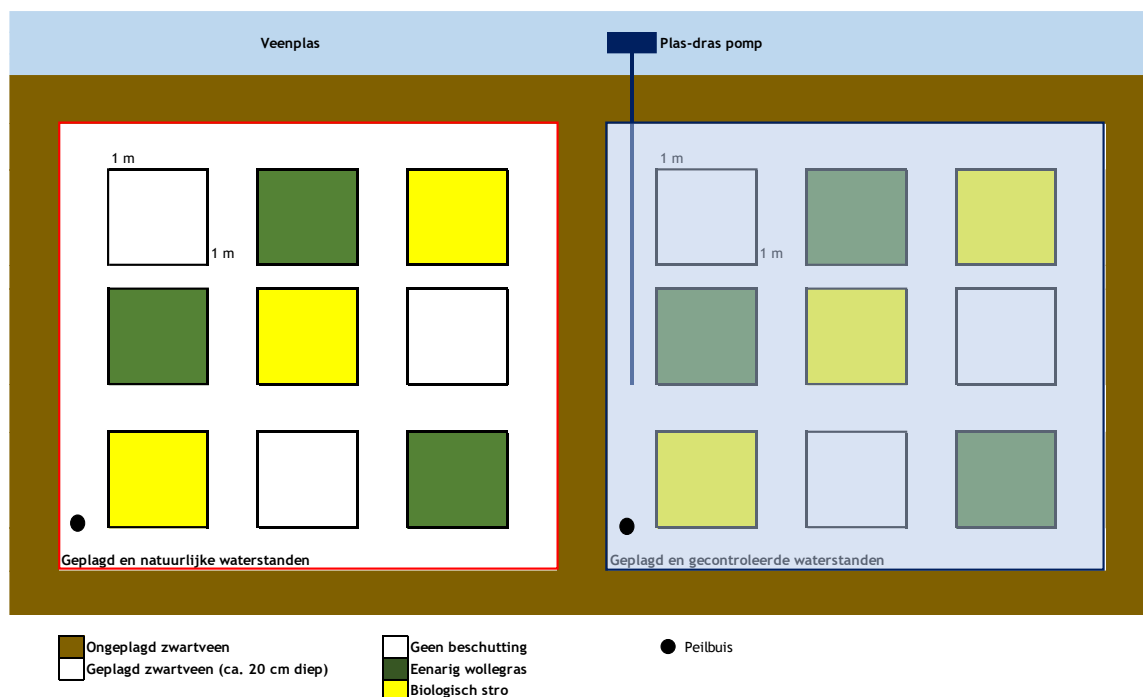
Behandeling	Waterstand	Beschutting
1	Natuurlijk	Geen
2	Natuurlijk	Pollen Eenarig wollegras
3	Natuurlijk	Stro
4	Gecontroleerd	Geen
5	Gecontroleerd	Pollen Eenarig wollegras
6	Gecontroleerd	Stro

Ieder proefvlak werd onderverdeeld in 4 subproefvlakken van 0,5 bij 0,5 meter (Figuur 20). In ieder proefvlak werd in 3 subproefvlakken Wrattig veenmos geïntroduceerd in drie verschillende dichtheden: 36, 72 en 156 planten per m² (= 9, 18 en 39 planten per subplotje, zie Tabel 6 voor de hierbij behorende biomassa). Het vierde subproefvlak dient als controle om te kijken of er ook spontane vestiging van veenmossen optreedt. De verdeling van de behandelingen over de subproefvlakken werd gevarieerd om de invloed van randeffecten te beperken. De veenmossen (planten van 10 cm lengte) werden in stukjes/fragmenten van ca. 1 cm lengte geïntroduceerd, analoog aan de methodiek die in Canada is ontwikkeld (Rocheffort e.a., 2003).



Figuur 18. *Herinrichting van het plas-dras experiment in het Haaksbergerveen op 25 maart 2019 (links) en in het Bargerveen op 4 april 2019 (rechts). Foto's: Hilde Tomassen.*

Figure 18. *Redesign of the 'plas-dras' experiment in the Haaksbergerveen bog on 25 March 2019 (left) and in the Bargerveen bog on 4 April 2019 (right). Photos: Hilde Tomassen.*



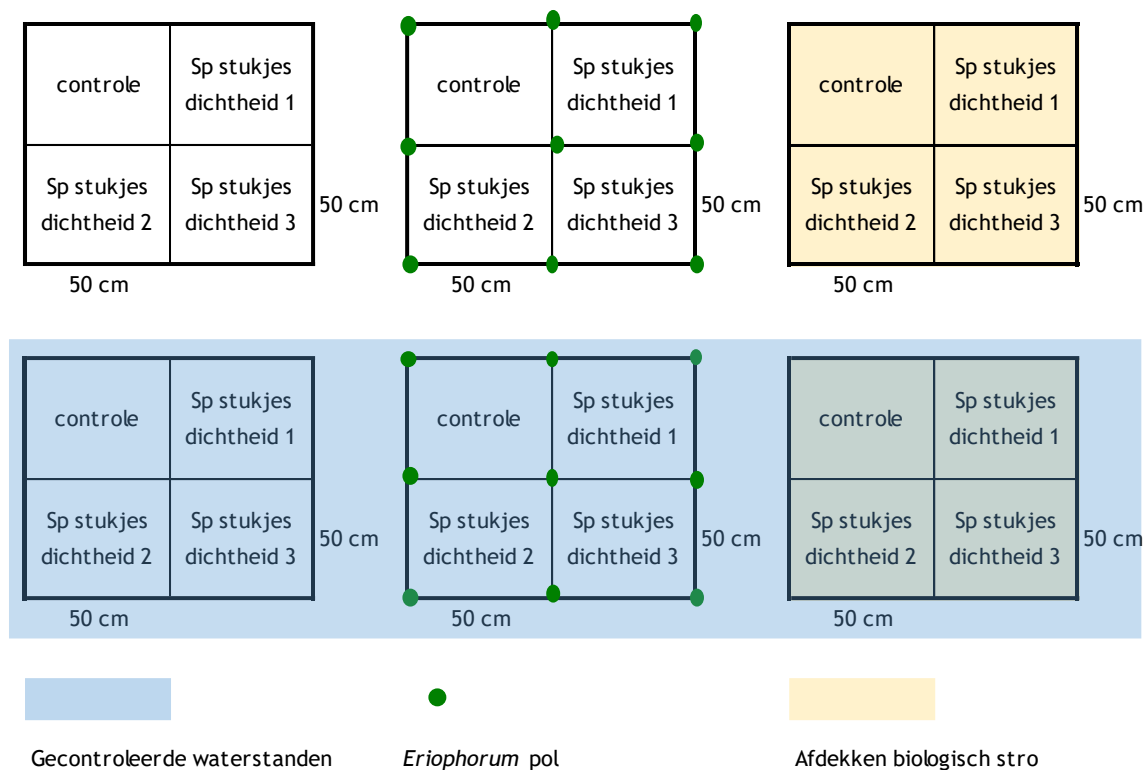
Figuur 19. Schematische weergave van de opzet van het plas-dras experiment in het Bargerveen en Haaksbergerveen. Er werden 2 stroken geplagd (ca. 20 cm diepte), waarbij in de ene plagstrook het waterpeil plas-dras wordt gehouden met behulp van een plas-dras pomp op zonne-energie. In de plagstroken zijn 18 proefvlakken van 1 x 1 m ingericht, waaraan willekeurig de 3 beschuttingsbehandelingen werden toegekend. Voor aanvullende informatie over de inrichting van het hydrologische compartiment zie Figuur 15 en voor de inrichting van de proefvlakken zie Figuur 20.

Figure 19. Schematic representation of the design of the 'plas-dras' experiment in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog. Two sodcut areas were created (ca. 20 cm depth), in one of which the water level was kept wet by means of a solar powered water pump. In the sodcut areas, 18 experimental plots of 1 x 1 m were set up, to which the 3 sheltering treatments were randomly assigned. For additional information on the design of the hydrological compartment see Figure 15 and for the design of the experimental plots see Figure 20.

Tabel 6. Gemiddelde biomassa van het geïntroduceerde veenmos bij de plas-dras experimenten in het Bargerveen en Haaksbergerveen. Bij de laagste dichtheid werden 9 planten ingebracht, bij de middelste dichtheid 18 planten en bij de hoogste dichtheid 39 planten per 0,25 m². Weergegeven zijn gemiddelden ± standaardfout (n = 3).

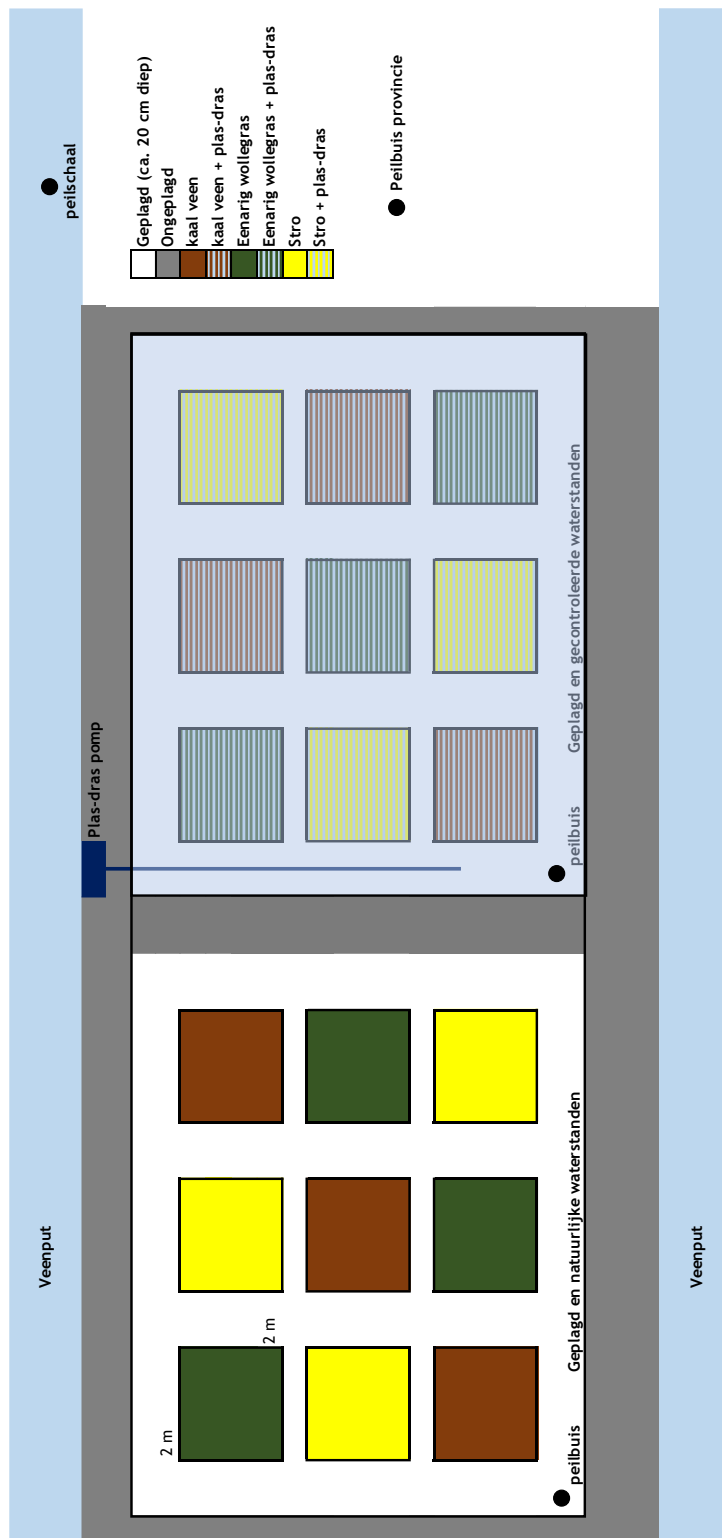
Table 6. Average biomass of peat moss introduced in the 'plas-dras' experiments in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog. At the lowest density 9 plants were introduced, at the medium density 18 plants and at the highest density 39 plants per 0.25 m². Mean values ± standard error are shown (n = 3).

Soort	Dichtheid	Aantal planten	Droge biomassa (g)
Wrattig veenmos Oosterbos	1	9	0,30 ± 0,09
Wrattig veenmos Oosterbos	2	18	1,06 ± 0,11
Wrattig veenmos Oosterbos	3	39	2,37 ± 0,10
Eenarig wollegras Bargerveen		3 scheuten	0,22 ± 0,08
Wrattig veenmos Haaksbergerveen	1	9	0,53 ± 0,11
Wrattig veenmos Haaksbergerveen	2	18	1,22 ± 0,02
Wrattig veenmos Haaksbergerveen	3	39	2,89 ± 0,25
Eenarig wollegras Haaksbergerveen		3 scheuten	0,75 ± 0,14



Figuur 20. Proefopzet van het experiment op 'plas-dras' vernat zwartveen. Er werden 18 proefvlakken van 1 x 1 m uitgezet. De helft van de proefvlakken heeft een natuurlijke hydrologie, in de andere helft wordt de hydrologie gecontroleerd (met licht blauw aangegeven). Binnen elke hydrologische behandeling bekijken we drie typen beschutting: 1) verwijderen van de bestaande vegetatie, 2) verwijderen bestaande vegetatie en aanplanten Eenaarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) en 3) verwijderen bestaande vegetatie en afdekken van de veenmosfragmenten met stro. Elk proefvlak werd opgedeeld in 4 subproefvlakken (0,5 x 0,5 m). De behandelingen werden willekeurig over de subproefvlakken verdeeld om randeffecten te voorkomen. Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*, code Sp) werd in fragmenten van 1 cm lengte geïntroduceerd en in 3 verschillende dichtheden (36, 72 en 156 planten/m²).

Figure 20. Experiment set-up on 'plas-dras' strongly humified peat. Eighteen experimental plots of 1 x 1 m were set out. Half of the plots have a natural hydrology, in the other half the hydrology is controlled (indicated in light blue). Within each hydrological treatment, we consider three types of shelter: 1) removal of existing vegetation, 2) removal of existing vegetation and planting of *Eriophorum vaginatum* and 3) removal of existing vegetation and covering the peat moss fragments with straw mulch. Each experimental plot was divided into 4 sub-plots (0.5 x 0.5 m). The treatments were randomly distributed over the sub-plots to avoid edge effects. *Sphagnum papillosum* (code: Sp) was introduced in fragments of 1 cm length and at 3 different densities (36, 72 and 156 plants/m²).

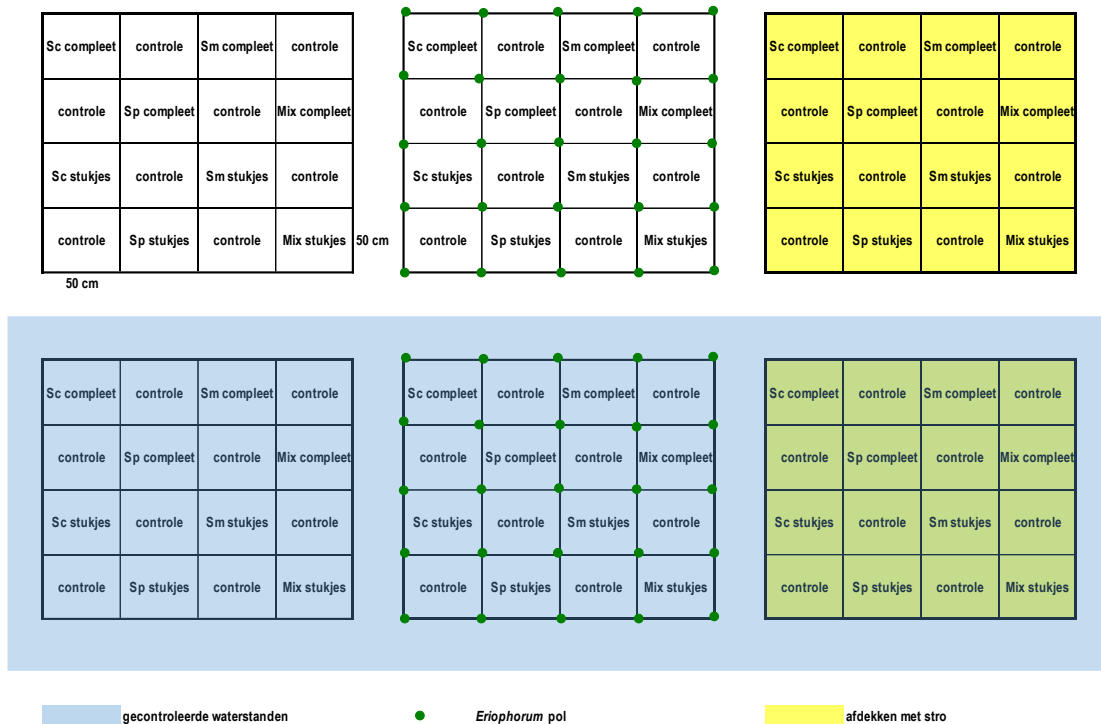


Figuur 21. Schematische weergave van de opzet van het plas-dras experiment op de Vlake van Minke in de Deurnsche Peel. Er werden 2 stroken geplagd (ca. 20 cm), waarbij in een plagstrook het waterpeil plas-dras gehouden wordt met behulp van een plas-dras pomp op zonne-energie. In de plagstroken werden 18 proefvlakken van 2 x 2 m ingericht. Voor de indeling van de proefvlakken zie Figuur 22.

Figure 21. Schematic representation of the design of the 'plas-dras' experiment in the Deurnsche Peel bog. Two areas were sodcut (approx. 20 cm) were in one of the areas the water level was kept high by means of a solar powered water pump. In the sodcut areas, 18 experimental plots of 2 x 2 m were set up. See Figure 22 for the layout of the experimental plots.

3.2.4.2 Deurnsche Peel

Na de voorbereidende werkzaamheden werden de 18 proefvlakken van 2 x 2 m opnieuw ingericht. In 6 proefvlakken werden de veenmossen op kaal geplagd zwartveen geïntroduceerd, in 6 proefvlakken werd na plaggen Eenarig wollegras geplant en in 6 proefvlakken werd het veenmos na introductie afgedekt met stro (ca. 330 g per m²). In de helft van de proefvlakken van iedere beschuttingsbehandeling werd het waterpeil kunstmatig plas-dras gehouden en in de andere helft van de proefvlakken werden peilfluctuaties toegestaan. In Tabel 5 wordt een overzicht van de zes verschillende behandelingen gegeven en in *Figuur 21* wordt de inrichting van de proefvlakken schematisch weergegeven.



Figuur 22. Proefopzet van het experiment op plas-dras vernet zwartveen in de Deurnsche Peel. Er werden 18 proefvlakken van 2x2 m ingericht. De helft van de proefvlakken heeft een natuurlijke hydrologie, in de andere helft wordt de hydrologie gecontroleerd (met licht blauw aangegeven). Binnen elke hydrologische behandeling bekijken we drie typen beschutting: 1) plaggen/verwijderen van de bestaande vegetatie, 2) verwijderen bestaande vegetatie en aanplanten Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) en 3) verwijderen bestaande vegetatie en afdekken met stro. Elk proefvlak werd opgedeeld in 16 subproefvlakken (0,5 x 0,5 m). Om randeffecten te voorkomen werden de proefvlakken steeds gedraaid. De veenmossen (*Sc* = *S. cuspidatum*, *Sm* = *S. magellanicum* & *Sp* = *S. papillosum*) werden als complete planten en in fragmenten van 1 cm lengte geïntroduceerd. Bij de mixbehandeling werden de drie veenmossoorten in gelijke verhouding gemengd.

Figure 22. Experiment set-up of the 'plas-dras' experiment in the Deurnsche peel bog. Eighteen 2x2 m experimental plots were set up. Half of the plots had a natural hydrology, in the other half the hydrology was controlled (indicated in light blue). Within each hydrological treatment we consider three types of shelter: 1) ploughing/removal of existing vegetation, 2) removal of existing vegetation and planting *Eriophorum vaginatum* and 3) removal of existing vegetation and covering with straw mulch. Each plot was divided into 16 sub-plots (0.5 x 0.5 m). The peat mosses (*Sc* = *S. cuspidatum*, *Sm* = *S. magellanicum* & *Sp* = *S. papillosum*) were introduced as complete plants and in fragments of 1 cm length. In the mixing treatment, the three peat moss species were mixed in equal proportions.

Ieder proefvlak werd onderverdeeld in 16 subproefvlakken van 0,5 bij 0,5 meter (Figuur 22). In ieder proefvlak werden in 8 subproefvlakken veenmossen geïntroduceerd (dichtheid: 156 planten per m²) en de andere 8 vlakken dienden als controlevlakken. De proefvlakken werden iedere keer gedraaid om de invloed van randeffecten te beperken. De volgende veenmossoorten werden geïntroduceerd: Hoogveenveenmos, Wrattig veenmos en Waterveenmos (voor biomassa zie Tabel 7). De drie veenmossoorten werden als complete planten en in stukjes/fragmenten van 1 cm lengte geïntroduceerd. Bij de mixbehandeling werden de drie veenmossoorten in gelijke verhouding gemengd. Na de inrichting van een proefvlak werd deze afgedekt met een net om wegwaaien van veenmosfragmenten en stro te beperken. De foto's in Figuur 23 geven een impressie van de herinrichting van het plas-dras experiment in maart 2019.



Figuur 23. Impressie van de herinrichting van het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel op 19 en 20 maart 2019. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 23. Impression of the redesign of the 'plas-dras' experiment in the Deurnsche Peel bog on 19 and 20 March 2019. Photos: Hilde Tomassen.

Tabel 7. Gemiddelde biomassa van het geïntroduceerde veenmos bij het plas-dras experiment op zwartveen in de Deurnsche Peel. Er werden 39 planten per subproefvlak van 0,5 x 0,5 aangebracht. Weergegeven zijn gemiddelden ± standaardfout (n = 3).

Table 7. Average biomass of introduced peat moss in the 'plas-dras' experiment on strongly humified peat in Deurnsche Peel bog. There were 39 plants introduced per 0.5 x 0.5 sub-plots. Shown are means ± standard error (n = 3).

Soort	Aantal planten	Droge biomassa (g)
Hoogveenveenmos Oosterbos	39	0,65 ± 0,07
Wrattig veenmos Oosterbos	39	1,05 ± 0,19
Waterveenmos Deurnsche Peel	39	1,81 ± 0,25
Eenarig wollegras Bargerveen	3 scheuten	0,22 ± 0,08

3.2.5 Monitoring veenmosontwikkeling en veenwaterchemie

De ontwikkeling van de vegetatie en de veenwaterchemie in de proefvakken werd gedurende 3 opeenvolgende groeiseizoenen (2019-2021) gevolgd. In het Bargerveen werd het experiment na 2 groeiseizoenen beëindigd, maar werd in 2021 nog wel de veenmosontwikkeling gevolgd (geen veenwaterchemie).

De overleving en uitbreiding van de geïntroduceerde veenmossen werd gevolgd door jaarlijks in oktober het aantal levende (nog groene) fragmenten per proefvlak te tellen en uit te drukken in aantal fragmenten per m². Bij sterke uitbreiding was het tellen van alle fragmenten te tijdrovend en werd overgestapt op het bepalen van de bedekking. De bedekking werd uitgedrukt in m² EN in aantal capitula per m² om de vergelijking met de fragmentdichtheid te vergemakkelijken.

De veenwaterchemie werd bepaald bij de start van het experiment (nulmeting) en daarna jaarlijks in oktober door uit de toplaag van het zwartveen (0-10 cm) met behulp van teflon bodemvochtbemonsteraars veenwater te onttrekken. Van het veenwater werden de concentraties van de belangrijkste nutriënten (o.a. stikstof, fosfor, koolstof en kalium) bepaald (zie Bijlage 3). De chemie van het geïntroduceerde veenmos werd bij de start van het experiment vastgelegd (nulmeting).

In de Deurnsche Peel werden bij de start van het experiment ook in ieder proefvlak monsters verzameld van de toplaag (0-10 cm) van het zwartveen.

3.2.6 Monitoring effect beschuttingsbehandelingen op het microklimaat

Om de effectiviteit van de beschuttingsbehandelingen nauwkeuriger in kaart te brengen zijn aanvullende metingen gedaan aan oppervlakkig vochtgehalte (2018 en 2019) en bodemtemperatuur (2018) gedurende het zomerseizoen (juni-september). Het werk werd uitgevoerd voor het Bargerveen, het Haaksbergerveen en de Deurnsche Peel door drie Wageningse masterstudenten (Esther Brakkee, Mark Rademakers en Bas van Groessen) begeleid door Juul Limpens en dr. Klaas Metselaar (Soil Physics and Land Management groep, Wageningen university). De meeste metingen vonden plaats in de compartimenten zonder watertoevoer.



Figuur 24. *Impressie van aanvullende metingen aan oppervlakkig vochtgehalte en bodemtemperatuur in het plas-dras experiment. Links: proefvlakken met sensorkabels beschermd door berkenstammetjes. Rechts installeren datalogger sensornetwerk met op achtergrond een regenmeter. Foto's: Mark Rademaker (links, 2018) en Esther Brakkee (rechts, 2018).*

Figure 24. *Impression of additional measurements of surface moisture content and soil temperature in the 'plas-dras' experiment. Left: plots with sensor cables protected by birch trunks. Right: installation of data logger sensor network with a rain gauge in the background. Photos: Mark Rademaker (left, 2018) and Esther Brakkee (right, 2018).*

Het vochtgehalte op 0-5 cm diepte werden gedurende de zomers van 2018 en 2019 (2 juni-2 september) gevolgd met behulp van vochtsensoren (EC5, METER group; Figuur 24 links) in het compartiment zonder watertoevoer. In totaal zijn 9 sensoren geïnstalleerd in subproefvlakken zonder veenmos: 1 sensor per proefvlak. Dit leidde tot 3 herhalingen per beschuttingsbehandeling. De continue metingen werden aangevuld met handmatige metingen aan bodemvocht (Thetaprobe, delta T instruments) op 6 cm diepte in 4 subproefvlakken per proefvlak tijdens drie veldbezoeken per jaar.

De vochtwaarden van de EC-5 vocht sensoren werden gekalibreerd met een veenmonster van 8 x 10 cm (diameter, lengte) gestoken in het midden van het droge compartiment zonder watertoevoer. Het monster werd terug in het lab in Wageningen verzadigd en gedurende 36 dagen gedroogd aan de lucht. Tijdens het uitdrogen werd het monstergewicht om de 2 minuten automatisch gewogen. Hierna werd het monster stapsgewijs gedroogd bij 60 °C. Door de punten is een wiskundige functie gefit en toegepast op de in het veld gelogde waarden.

De bodemtemperatuur op 2,5 cm diepte werd gedurende de zomer van 2018 gevolgd met behulp van temperatuurloggers (ibuttons, Maxim integrated, 2016) in 6 subproefvlakken per compartiment (met en zonder watertoevoer). Dit betekent dus 2 loggers per beschuttingsbehandeling per compartiment. De continue metingen werden aangevuld met handmatige metingen (Polytherm DTM 150, HCK Essen) op 2,5 cm diepte in alle subproefvlakken, op dezelfde data en locaties als het bodemvocht.

3.2.7 Monitoring fauna (alleen Deurnsche Peel)

In elk van de 18 proefvlakken en de aangrenzende onbehandelde vegetatie (controle) werd het voorkomen van op de bodem of het wateroppervlak actieve ongewervelden vastgelegd. Daarbij is gebruik gemaakt van potvallen, waarmee vooral de aanwezigheid en activiteit van spinnen en loopkevers wordt vastgesteld. Deze twee diergroepen zijn verder uitgewerkt tot soortniveau. In 2018 werden de potvallen op 3 april geplaatst in het plas-dras experiment in de Vlake van Minke. Er werden 9 potvallen geplaatst in het geplagde vlak waarin de waterstand met de plas-dras pomp wordt gereguleerd en 9 potvallen in het geplagde vlak waarin de waterstand niet wordt gereguleerd (Figuur 25). Zodoende was er een reeks van drie potvallen voor de behandelingen met stro, met wollegras en zonder beide, zowel in het gereguleerde als het niet gereguleerde proefvlak. Daarnaast werd als controle een serie van drie potvallen geplaatst in de aangrenzende niet geplagde vergraste heide. Boven elke potval werd een dakje geplaatst om regen uit de potten te houden. De potvallen werden maandelijks gelegeerd en op 18 september 2018 werden de potvallen voor het laatst gelegeerd en uit het terrein verwijderd.

In 2020 (extra inzet om gevolg van de brand te onderzoeken; zie hoofdstuk 7) en 2021 werd de monitoring met potvallen herhaald. De potvallen werden in deze jaren op dezelfde locaties ingezet als in 2018. Alleen in de onbehandelde aangrenzende vegetatie werd een vierde potval bijgeplaatst met het oog op vergelijkbaarheid met de andere potvalseries in het gebied, die uit vier of acht potvallen bestaan. Vanwege de brand in 2020, het broedseizoen in 2020 en 2021 en met name om een eventuele broedpoging van kraanvogels niet te verstoren, konden de potvallen in 2020 en 2021 pas in juli geplaatst worden, waarna zij drie maanden in het veld stonden, met maandelijks leging.



Figuur 25. In elk van de twee geplagde vlakken van het plas-dras experiment zijn 9 potvallen geplaatst: zichtbaar zijn de dakjes boven de potvallen. Boven: situatie in de zomer van 2018. Onder: situatie in de zomer van 2021. Foto's: Gert-Jan van Duinen.

Figure 25. In each of the sod cut areas of the 'plas-dras' experiment 9 pitfall traps are placed: visible are the roofs above the traps. Top: situation in summer 2018. Below: situation in summer 2021. Photos: Gert-Jan van Duinen.

3.2.8 Metingen aan de fluxen van broeikasgassen

Bij het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel werden in 2021 op drie tijdstippen (maart, juli en september 2021) enkele eerste metingen aan de diffuse fluxen van de broeikasgassen CO₂ en

methaan (CH₄) verricht. De gasmetingen werden beperkt tot de controle en stro behandelingen in het compartiment met wateraanvoer (6 proefvlakken). Binnen deze proefvlakken werden in 5 subproefvlakken (3 veenmossoorten, mix en controle) gasmetingen uitgevoerd (Tabel 8). De metingen werden alleen verricht in de subproefvlakken waarbij veenmosfragmenten zijn geïntroduceerd. In aanvulling op de metingen binnen het compartiment met wateraanvoer werden ook controlemetingen uitgevoerd in het compartiment zonder wateraanvoer, op het ongeplagde veen in de omgeving van het experiment en van de veenput welke dient als watervoorraad voor het experiment. Per tijdstip werden in totaal 39 gasmetingen (13 behandelingen/situaties in 3-voud) uitgevoerd.

Tabel 8. Overzicht van de 13 verschillende behandelingen/situaties waarbij de fluxen van CO₂ en CH₄ werden gemeten in maart, juli en september 2021 (3 replica's).

Table 8. Overview of the 13 different treatments/situations where the fluxes of CO₂ and CH₄ were measured in March, July and September 2021 (3 replicates).

Nr.	Veentype	Situatie	Waterstand	Beschutting	Veenmossoort/vegetatie
1	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Stro	Waterveenmos
2	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Stro	Wrattig veenmos
3	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Stro	Hoogveenveenmos
4	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Stro	Mix
5	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Stro	Geen
6	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Geen	Waterveenmos
7	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Geen	Wrattig veenmos
8	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Geen	Hoogveenveenmos
9	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Geen	Mix
10	Zwartveen	Geplagd	Gecontroleerd	Geen	Geen
11	Zwartveen	Geplagd	Natuurlijk	Geen	Geen
12	Zwartveen	Ongeplagd	Natuurlijk	N.v.t.	Natuurlijke vegetatie
13	Veenput	Open water	Natuurlijk	N.v.t.	Geen (open water)

De gasfluxen van CO₂ en CH₄ werden gemeten met behulp van een geventileerde lichtdichte fluxkamer (50 x 50 x 50 cm; Figuur 26). Om gasuitwisseling tussen de kamer en het veen te voorkomen, werd gebruik gemaakt van een waterslot. Het waterslot bestond uit een metalenframe dat in het veengedrukt werd en waarop de kamer in een laagje water geplaatst werd. De CO₂- en CH₄-concentraties in de kamer werden gemeten met een mobiele infrarood gasanalysator (LI-COR LI-7810 CH₄/CO₂/H₂O Trace Gas Analyzer). Na sluiten van de kamer werd de concentratie CO₂ en CH₄ in de kamer gemeten. Tijdens de meting werd tevens de luchttemperatuur in de kamer gemeten. Voor de meting van de gasfluxen uit de veenput werd gebruik gemaakt van een drijvende kamer.

Doordat de kamer luchtdicht is afgesloten en een gesloten systeem vormt met de "analyser" neemt de concentratie CO₂ en CH₄ in de kamer lineair toe of af. De flux werd berekend aan de hand van de onderstaande formule:

$$F = \frac{V}{A} * helling * \frac{P * F_1 * F_2}{R * T}$$

Waarbij F de gasflux (g m⁻² d⁻¹) is, V het volume van de kamer (m³), A de oppervlakte van de kamer (m²), $helling$ de helling van de relatie tussen de concentratie gas (ppm) en de tijd (seconden), P de atmosferische druk (Pa), F_1 de molmassa van het gas (g mol⁻¹), F_2 de conversiefactor van seconden naar dagen, R de gasconstante en T de temperatuur (Kelvin).



Figuur 26. Foto van de lichtdichte fluxkamer (links) voor de donkermetingen aan de fluxen van CO₂ en CH₄ en de doorzichtige kamer voor de lichtmetingen. De fluxkamer is voorzien van een ventilator om de lucht binnen de kamer te mengen. Foto's: Hilde Tomassen en Thomas Gremmen.

Figure 26. Photo of the light-tight flux chamber (left) for the dark measurements of the fluxes of CO₂ and CH₄ and the transparent chamber for the light measurements. The flux chamber is equipped with a fan to mix the air within the chamber. Photos: Hilde Tomassen and Thomas Gremmen.

Aan de hand van een donkermeting wordt een beeld verkregen van de totale respiratiesnelheid van de vegetatie en de CH₄-flux vanuit het veen. In aanvulling op deze donkermetingen werd in september eenmalig een enkele lichtmeting uitgevoerd in een controleproefvlak en proefvlak met stro (alleen voor Wrattig veenmos en Hoogveenveenmos). Met de lichtmeting wordt een beeld verkregen van de netto CO₂-uitwisseling (NEE).

In maart 2021 werd tevens van ieder subproefvlak van het plas-dras experiment waarvan de fluxen werden gemeten een monster van het veenwater verzameld met behulp van teflon bodemvochtbemonsteraars. Van het veenwater werden de concentraties van de belangrijkste nutriënten (o.a. stikstof, fosfor en kalium) bepaald (zie Bijlage 3), maar ook de concentraties van CO₂ en CH₄.

3.2.9 Statistische analyse

Het effect van wateraanvoer en beschutting op het aantal kopjes van Wrattig veenmos per m² in 2021 werd voor alle drie de gebieden apart getoetst met een 'General lineair model' in SPSS 25, met wateraanvoer en beschutting genest binnen waterbehandeling als 'fixed' factors.

De effecten van introductiedichtheid op aantal het aantal kopjes van Wrattig veenmos per subplot werd na ln-transformatie per waterbehandeling voor beide venen (Bargerveen en Haaksbergerveen) apart getoetst met een 'General lineair model' in SPSS 25, met beschutting, introductiedichtheid (36,72,156) en hun interactie als 'fixed factors'.

De effecten van beschutting, fragmenttype, en veenmossoort op aantal overlevende veenmossen in de Deurnsche Peel per subplot in 2021 werden na ln-transformatie per waterbehandeling apart getoetst met een 'General lineair model' in SPSS 25, met beschutting, fragmenttype (fragment, vs intact) en hun interacties als 'fixed factors'.

Het effect van wateraanvoer en beschutting op het aantal berken is voor de venen met voldoende opslag in beide compartimenten (Bargerveen en Haaksbergerveen) per veen getoetst met een 'General lineair model' model met, i.v.m. het groot aantal 0-waarnemingen, een 'negative binomial' distributie in SPSS 25, met wateraanvoer, beschutting en jaar als 'fixed' factors.

Het effect van wateraanvoer, beschutting en tijd op de chemische samenstelling werd voor alle drie de gebieden apart getoetst met een 'General linear model' in SPSS 26, met wateraanvoer en beschutting genest binnen waterbehandeling en tijd als 'fixed' factors.

Het effect van beschutting (controle of stro) en veenmossoort op de fluxen van CO₂ en CH₄ en de chemische samenstelling werd per tijdstip getoetst met een 2-weg ANOVA met een Tukey post-hoc test in SPSS 26.

3.3 Resultaten

3.3.1 Brand Deurnsche Peel

In april 2020 heeft er een flinke brand gewoed in de Deurnsche Peel. Vanwege de vele nabranden was het pas in juni 2020 mogelijk om de schade aan de experimenten op te nemen. Het plas-dras experiment is dankzij inspanningen van Staatsbosbeheer en de brandweer gespaard gebleven tijdens de brand. De brand heeft het experiment wel tot op enkele meters afstand bereikt (Figuur 27), maar de pomp en overige apparatuur hebben geen schade opgelopen.



Figuur 27. Dronebeeld van het plas-dras experiment vlak na de brand. De brand heeft aan alle zijden van het experiment gewoed, maar heeft het experiment net niet bereikt, mogelijk door afwezigheid van vlak-dekkende vegetatie in de proefvlakken. Bron dronebeeld: Staatsbosbeheer.

Figure 27. Drone image of the 'plas-dras' experiment in the Deurnsche Peel bog, just after the fire. The fire raged on all sides of the experiment, but just failed to reach the experiment, possibly due to the absence of flat-covered vegetation in the experimental areas. Source drone image: State Forestry.

3.3.2 Hydrologie

Omdat voor de vochtvoorziening van veenmossen de grondwaterstand ten opzichte van maaiveld van belang is (en niet de absolute grondwaterstand ten opzichte van NAP), worden in deze paragraaf de grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld gepresenteerd. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er aangenomen is dat de maaiveldpositie niet door oxidatie (irreversibel) en

consolidatie of krimp (reversibel) werd beïnvloed. Een grondwaterstands­daling van 40 cm kan echter bij een veendikte van 2,5 m en op basis van bodemmechanische eigenschappen van veen (Schlotzhauer & Price, 1999; Nijp e.a., 2017) naar schatting tot een maaiveld­daling van ca. 8-13 cm leiden. Daarnaast varieert de maaiveldpositie in de ruimte, ondanks de inspanningen voor een egale, homogene uitgangssituatie. Voor het Bargerveen was de gemiddelde afwijking ten opzichte van de gemiddelde maaiveldhoogte in de plas-dras plot bijvoorbeeld 2,3 cm, en was het bereik van maaiveld­hoogtes 11 cm (95% percentiel – 5% percentiel). De maaiveldpositie is daarom indicatief. Verder is het van belang de gegevens in perspectief te plaatsen als een reeks opeenvolgende uitzonderlijk droge jaren. Vooral 2018 (in elk geval voor Hoogeveen en omstreken) was bijzonder droog (Tabel 9). Daarentegen was 2021 juist een relatief nat jaar ten opzichte van het gemiddelde voor het klimaat van 1991 – 2021 (Tabel 9).

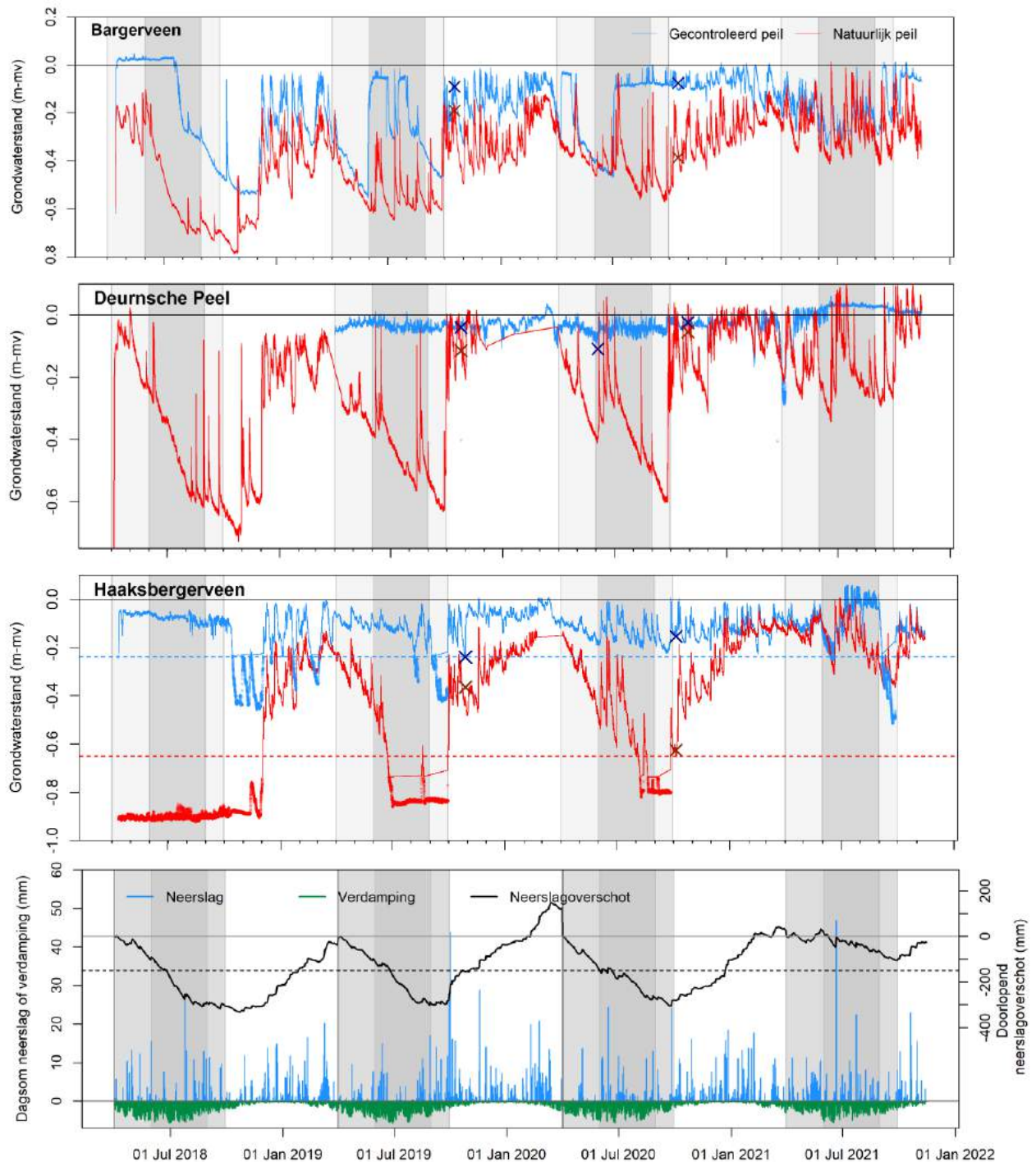
Tabel 9. Jaargegevens en klimaat voor weerstation Hoogeveen. Verdamping is potentiële Makkink verdamping van een referentiegrasmat, een negatief neerslagoverschot is neerslagtekort.

Table 9. Annual data of weather station Hoogeveen. Evapotranspiration is potential Makkink evapotranspiration, negative precipitation surplus is precipitation deficit.

Jaar	Neerslag (mm)	Verdamping (mm)	Neerslag overschot (mm)
2018	632.5	677.5	-45
2019	792.8	629.2	163.6
2020	808.9	627	181.9
2021	857.1	577.2	279.9
1991-2021	804	564	240

3.3.2.1 Bargerveen

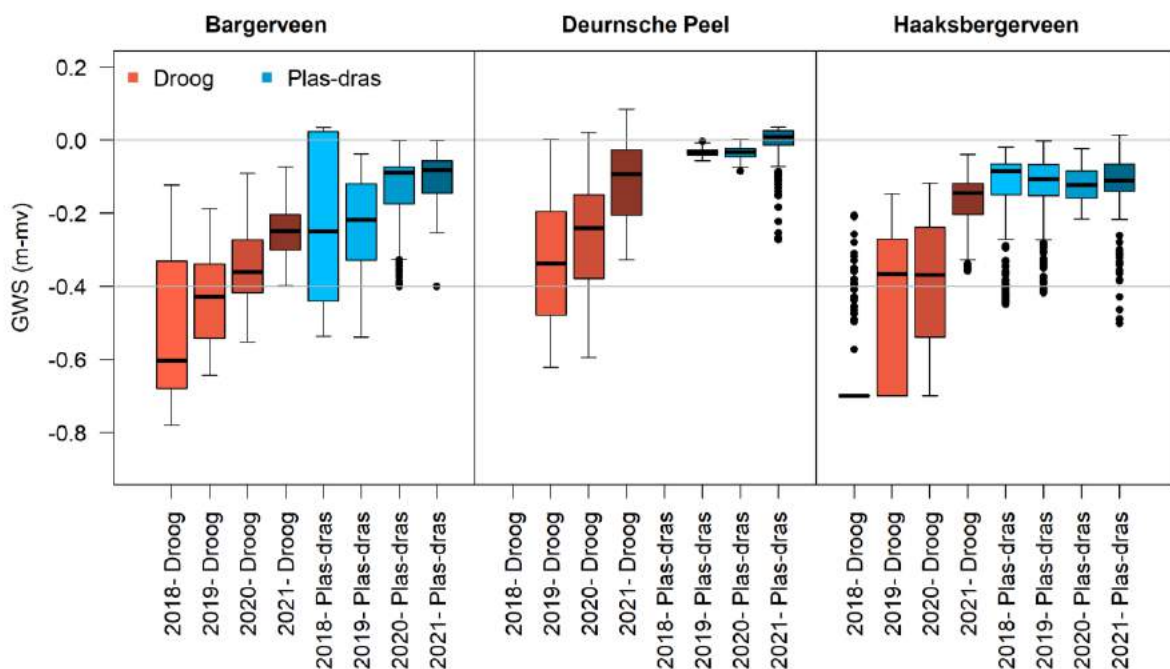
In het Bargerveen heeft het aanvoeren van water in 2018 geleid tot plas-dras condities (stabiel waterpeil ca. 2 cm boven maaiveld op de gemeten locatie) van april tot augustus (Figuur 28). Daarna werd het peil van de veenplas waaruit het water werd opgepompt door de extreme droogte in 2018 (Figuur 28) te laag om water op te pompen. De pomp is toen uitgezet om schade te voorkomen. De inrichting met telemetrie heeft hier zijn voordeel bewezen. Desalniettemin heeft het pompen ook in de droge periode geleid tot een ca. 20 cm hogere grondwaterstand in vergelijking tot het compartiment met natuurlijk peil (Figuur 28). In het voorjaar van 2019 is de plas in een straal van ca. 1 m rondom de pomp verder uitgediept (ca. 20 cm) om problemen te voorkomen. Daarnaast is de pomp geplaatst in een 'kooi' met fijn filter, om verstopping met in het water drijvend fijn veenmateriaal te voorkomen. De pomp functioneerde ongeveer een maand, viel wederom door extreme droogte uit, en functioneerde later in het jaar nog een paar weken. Uit voorzorg is de pomp toen wederom uitgezet om schade aan de pomp te voorkomen. De grondwaterstand zakte hierdoor kort tot c. 50 cm beneden maaiveld, ongeveer 10 cm beneden de gewenste laagste grondwaterstand van 40 cm. Krimp van het veenpakket kan dit verschil mogelijk verkleind hebben. De droge start van 2020 heeft, ondanks de getroffen maatregelen, geleid tot droogval en defect van de pomp. Deze is op 1 juli vervangen en tot ver in de plas verplaatst met een extra lange aanvoerslang. Na deze aanpassing is de rest van 2020 probleemloos verlopen.



Figuur 28. Tijdreeksen van grondwaterstanden voor plas-dras plots (blauw) en onbehandelde plots (rood) voor (a) Bargerveen, (b) Haaksbergerveen en (c) Deurnsche Peel. De kruisjes geven handmetingen van grondwaterstand weer. Voor Haaksbergerveen zakte de grondwaterstand dieper weg dan betrouwbaar voor de werkende drukopnemers kon worden geregistreerd (onder de stippellijn). De meteorologische omstandigheden zijn weergegeven in het onderste paneel (KNMI-weerstation Hoogeveen). Verdamping is geschat als potentiële Makkink referentieverdamping (De Bruin & Lablans, 1998). De zwarte lijn geeft het jaarlijkse cumulatief potentieel neerslagoverschot weer (ieder jaar opnieuw startend op 1 april), de horizontale gestippelde lijn de gemiddelde waarde voor huidig klimaat (1991- 2021). De donkergrijze en lichtgrijze arcering geven de zomer (juli t/m augustus) en groeiseizoen (1 april t/m 31 oktober) weer.

Figure 28 - previous page. Time series of groundwater levels for 'plas-dras' plots (blue) and untreated plots (red) for (a) Bargerveen bog, (b) Haaksbergerveen bog and (c) Deurnsche Peel bog. The crosses represent manual measurements of groundwater level. For the Haaksbergerveen bog the groundwater level subsided deeper than could be reliably recorded for the working pressure transducers (below the dotted line). Meteorological conditions are shown in the lower panel (KNMI weather station Hoogeveen). Evaporation is estimated as potential Makkink reference evaporation (De Bruin & Lablans, 1998). The black line represents the annual cumulative potential precipitation surplus (starting each year on 1 April), the dashed horizontal line the value for current climate (1991 – 2021). The dark grey and light grey shading represents the summer (July to August) and growing season (1 April to 31 October).

Van alle locaties trad op de droge referentieplots de grootste grondwaterstands daling op bij het Bargerveen (Figuur 29). Ondanks de bevoeiingsproblemen op locatie Bargerveen, heeft de aanvoer van water over de droge jaren (14 april t/m 15 okt 2020) geleid tot een gemiddeld 25 cm hogere grondwaterstand ten opzichte van de referentiesituatie zonder wateraanvoer. Het experiment is in 2021 niet gecontinueerd voor locatie Bargerveen. De grondwatermetingen en pomp zijn niet stop gezet, zodat een beeld verkregen kan worden van de grondwaterdynamiek in de droge referentiesituatie zonder wateraanvoer. Ten opzichte van de droge jaren 2018 t/m 2020 was de grondwaterstand in 2021 15 cm dichters aan maaiveld. Ook lijkt de pomp nog water aangevoerd te hebben, wat blijkt uit de ondiepere grondwaterstanden in het plas-dras compartiment ten opzichte van de droge referentie.



Figuur 29. Boxplots die de verdeling van grondwaterstanden (t.o.v. maaiveld) voor de plas-dras (blauw) en controle (rood) laten zien voor de verschillende jaren voor Bargerveen (links), Haaksbergerveen (midden) en Deurnsche Peel (rechts) voor de gehele meetperiode (1 april 2018 t/m 1 maart 2022). De dikke horizontale lijn geeft de mediaan waarde per kalenderjaar weer. De boxen en smalle lijnen geven de grondwaterstanden weer waar respectievelijk 50% en alle meetwaarden (exclusief uitschieters) binnen vallen. Uitschieters zijn weergegeven met zwarte stippen. Voor Haaksbergerveen zijn grondwaterstanden dieper dan 70 cm-mv op 70 cm-mv gezet in verband met de ophangdiepte van de logger.

Figure 29. Boxplots showing the distribution of groundwater levels (relative to peat surface) for the 'wet' (blue) and dry control (red) plots for Bargerveen bog (left), Haaksbergerveen bog (middle) and Deurnsche Peel bog (right) for the measuring period 1 April 2018 – t/m 1 March 2022 (for Deurnsche Peel bog from 1 April 2019). For the Haaksbergerveen site, all water levels deeper than 70 cm below the peat surface were set to a value of 70 due to measurement limitation of the logger.

3.3.2.2 Haaksbergerveen

De gerealiseerde wateraanvoer in het Haaksbergerveen was stabiel dan in het Bargerveen. In het hele jaar 2018 functioneerde de pomp, wat resulteerde in een grondwaterstand van ca. 10 cm beneden maaiveld (Figuur 28; Figuur 29). In vergelijking tot de situatie waarbij het peil niet gehandhaafd werd, waar de grondwaterstand tot dieper dan 60 cm beneden maaiveld zakte, was dit een veel betere uitgangssituatie voor veenmosgroei. In oktober 2018 is de pomp uitgezet, waarna de grondwaterstand tot ca. 40 cm-mv daalde en meer dynamiek vertoonde.

In het voorjaar van 2019 is de pomp weer aangezet, en in augustus waren er aanvoerproblemen wat resulteerde in een diepere waterstand (ca. 30 cm-mv) gedurende een periode van ongeveer vier weken. Ook in augustus 2021 haperde de aanvoer van water en zakte de grondwaterstand gedurende drie weken gestaag uit tot circa 30 cm beneden maaiveld. Op deze perioden na is extreme droogval in het plas-dras compartiment voorkomen, en bleef de waterstand rond 10 cm beneden maaiveld.

In 2019 is de pomp weer in april geactiveerd, waarna het grondwaterpeil stabiliseerde rond een waarde van ca. 12 cm-mv in het compartiment met gecontroleerd peil. De grondwaterstand in het compartiment met natuurlijk peil daalde in een periode van drie maanden (april – juli 2019) tot dieper dan 60 cm-mv. In augustus 2019 was het peil in de aanvoerplas in het Haaksbergerveen dermate gedaald dat ook hier geen water meer kon worden aangevoerd met de pomp. Deze is daarom uitgezet van begin augustus tot eind oktober 2019. Vanaf eind oktober is de pomp aangebleven tot beëindiging van het experiment (15 oktober 2020), wat geresulteerd heeft in ondiepe en stabiele grondwaterstanden van wederom ca. 10 cm-mv. In vergelijking tot de andere locaties was de grondwaterdynamiek van het Haaksbergerveen wat groter. Zoals eerder opgemerkt is er behoorlijke ruimtelijke variatie in maaiveldhoogte op alle locaties. Mede om te voorkomen dat delen van de plas-dras plots niet te nat werden, is het peil van de vlotter mogelijk iets te laag ingesteld vanaf het groeiseizoen van 2019 tot het eind van het experiment. Door het lagere peil kan ook een grotere temporele variatie in grondwaterstanden optreden als gevolg van neerslag.

Over de droge jaren (1 april 2018 t/m 15 oktober 2020) heeft de aanvoer van water geleid tot een gemiddeld 32 cm hogere grondwaterstand dan in de uitgangssituatie zonder wateraanvoer (Figuur 29). Voor de gehele meetperiode (april 2018 t/m maart 2022) was dat 19 cm. In vergelijking tot de drie droge jaren 2018-2020 was de grondwaterstand in het natte 2021 gemiddeld 25 cm hoger in de droge referentie. Hierbij dient te worden opgemerkt dat dit een schatting betreft, gezien de grondwaterstand dieper dan de drukopnemer geraakte en mogelijk zelfs nog dieper was in het droge compartiment.

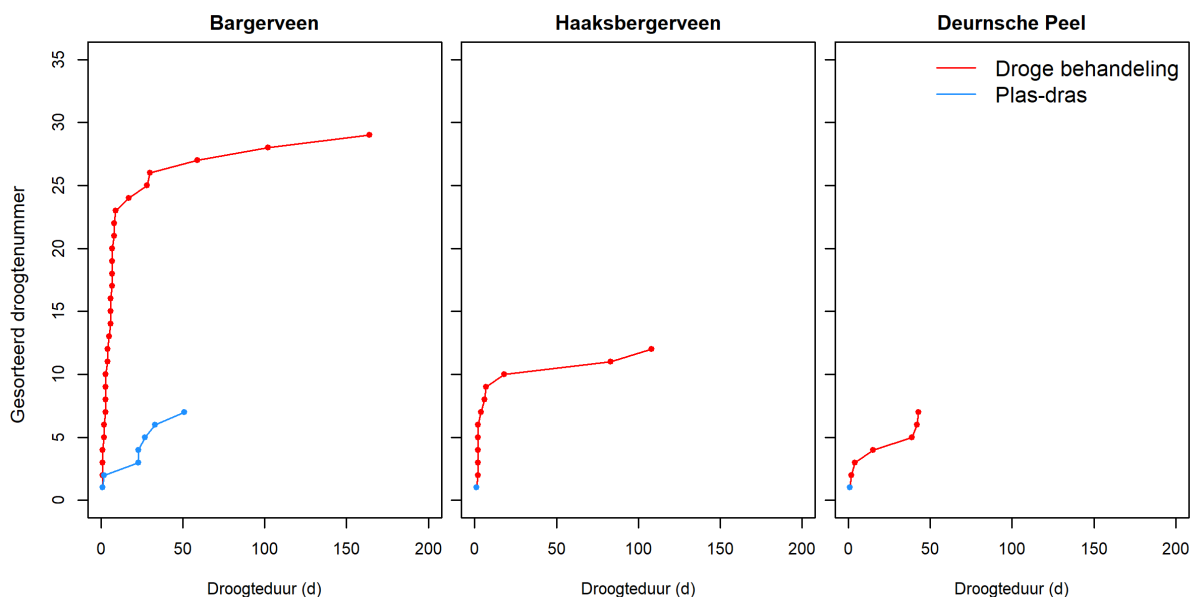
3.3.2.3 Deurnsche Peel

In vergelijking tot de locaties Bargerveen en Haaksbergerveen heeft het experiment bij de Deurnsche Peel de minste nadelige effecten van de extreme droge perioden in alle experimentele jaren ondervonden (Figuur 28). Het peil in de aanvoerplas was voldoende hoog (observaties beheerder), zodat er geen onderbrekingen zijn opgetreden, waardoor het grondwaterpeil stabiel op 3 cm-mv gehouden kon worden gedurende de gehele meetperiode (Figuur 29). Tot het begin van het groeiseizoen in 2019 functioneerden de drukopnemers echter niet goed, waardoor gegevens voor deze periode ontbreken. De aanvoer van water in het compartiment met gecontroleerd peil heeft ervoor gezorgd dat de grondwaterstand in de zomer niet tot dieper dan 60 cm-mv wegzakte, zoals dat wel het geval was in het compartiment met natuurlijk peil. Maar ook op de plot zonder wateraanvoer herstelde de grondwaterstand in beide jaren weer tot nabij maaiveld na een natte winterperiode (Figuur 28). Voor de plot zonder gecontroleerd peil treedt een flinke variatie in grondwaterstanden op. In het natte 2021 was de grondwaterstand in het droge compartiment gemiddeld 20 cm hoger dan in de jaren 2019 en 2020. Dit geeft aan dat hoogveen zeer gevoelig is voor verschillen in neerslag tussen jaren.

Gemiddeld over de droge jaren 2019-2020 heeft de aanvoer van water tot een verhoging van 27 cm geleid, en nadelige effecten van neerslagtekorten in alle extreme droge jaren die tijdens dit experiment optraden, voorkomen. Voor de gehele meetperiode was dit 18 cm.

3.3.3 Droogtekaracteristieken

Bovenstaande analyse geeft vanuit hydrologisch perspectief inzicht in de verdeling van grondwaterstanden over diepte en door de tijd. Het levert daarentegen geen beeld op van de potentiële fysiologische respons van veenmos(groei) op droogte. Hoe vaak heeft veenmos last gehad van droogte, en hoelang duurden die droogtes? Hier dient eigenlijk gebruik gemaakt te worden van gegevens van vochtgehalten. De vochtcondities in de toplaag van veenmos worden namelijk maar deels bepaald door grondwaterstanden (Nijp e.a., 2014; Strack & Price, 2009). Om droogtekaracteristieken af te leiden voor de verschillende locaties is gebruik gemaakt van de grondwaterstandsgegevens. Per locatie is voor de droge jaren (2018 t/m 2020) bepaald hoe vaak de grondwaterstand 40 cm beneden maaiveld geraakte, en hoelang deze perioden duurden. Hierbij wordt aangenomen dat veenmos negatieve effecten van droogte ondervindt bij grondwaterstanden dieper dan 40 cm. Deze waarde is gebaseerd op vochtretentie gegevens van modelstudies van waterstroming in Hoogveenveenmos (McCarthy & Price, 2014), en een vochtgehalte van 0,5 cm³/cm³ waarbij fotosynthese aan-/uitgaat bij Baltisch veenmos, een tapijtvormende veenmossoort gelijkend op Fraai veenmos (Nijp e.a., 2014). Alleen perioden waarvan zowel de droge als plas-dras behandeling gegevens voorhanden waren, zijn hierin meegenomen. Voor de Deurnsche Peel en Haaksbergerveen is hiervoor de periode 15 november 2018 t/m 15 november 2020 gebruikt, voor Bargerveen is de periode 4 april 2018 t/m 15 november 2020 gebruikt.



Figuur 30. Aantal droogtes (y-as) en gesorteerde droogteduur (x-as) voor de verschillende locaties (panelen) en behandelingen (kleuren) voor de droge jaren 2018-2020. Droogte is gedefinieerd als een grondwaterstand dieper dan 40 cm beneden maaiveld. Op de locaties Haaksbergerveen en Deurnsche Peel zijn geen grondwaterstanden dieper dan 40 cm beneden maaiveld opgetreden in de plas-dras behandeling.

Figure 30. Number of droughts (y-axis) and sorted drought duration (x-axis) for the different locations (panels) and treatments (colours). Drought is defined as a groundwater table deeper than 40 cm below the peat surface. On the locations Haaksbergerveen bog and Deurnsche Peel bog no groundwater levels deeper than 40 cm below the peat surface occurred in the 'plas-dras' treatment.

In Figuur 30 is te zien dat op alle locaties zonder wateraanvoer lange droge perioden zijn opgetreden van ongeveer gelijk aan (Deurnsche Peel) of ruim langer dan 50 dagen (Haaksbergerveen en Bargerveen). Op basis van deze gegevens kan worden geconcludeerd dat veenmos, zonder extra wateraanvoer, op alle locaties is blootgesteld aan behoorlijke droogtestress. Kleinere regenbuitjes, die niet hebben geleid tot een verandering in grondwaterstand, kunnen zijn opgevangen door veenmos en zo hebben geleid tot een verlaging van de ervaren droogtestress. Uit meteorologische gegevens blijkt echter dat over het algemeen weinig kleine buitjes zijn opgetreden. Bovendien kunnen bij diepe grondwaterstanden afzonderlijke regenbuien een averechts effect hebben (Nijp e.a., 2014). Na regen moet eerst reparatie plaatsvinden alvorens groei weer plaats kan vinden. Als het dan weer droog is, is de geïnvesteerde energie in reparatie verspilde moeite.

Vooraf op locatie Bargerveen is veelvoudig en langdurig droogte opgetreden (NB: een langere periode is beschouwd, waardoor de kans op perioden met droogtestress ook toeneemt). Ook bij de behandeling mét wateraanvoer is de grondwaterstand in 6 perioden onder de 40 cm terecht gekomen. Op locaties Haaksbergerveen en Deurnsche Peel is geen droogtestress voor veenmos opgetreden bij de plas-dras behandeling.

3.3.4 Wegzijing

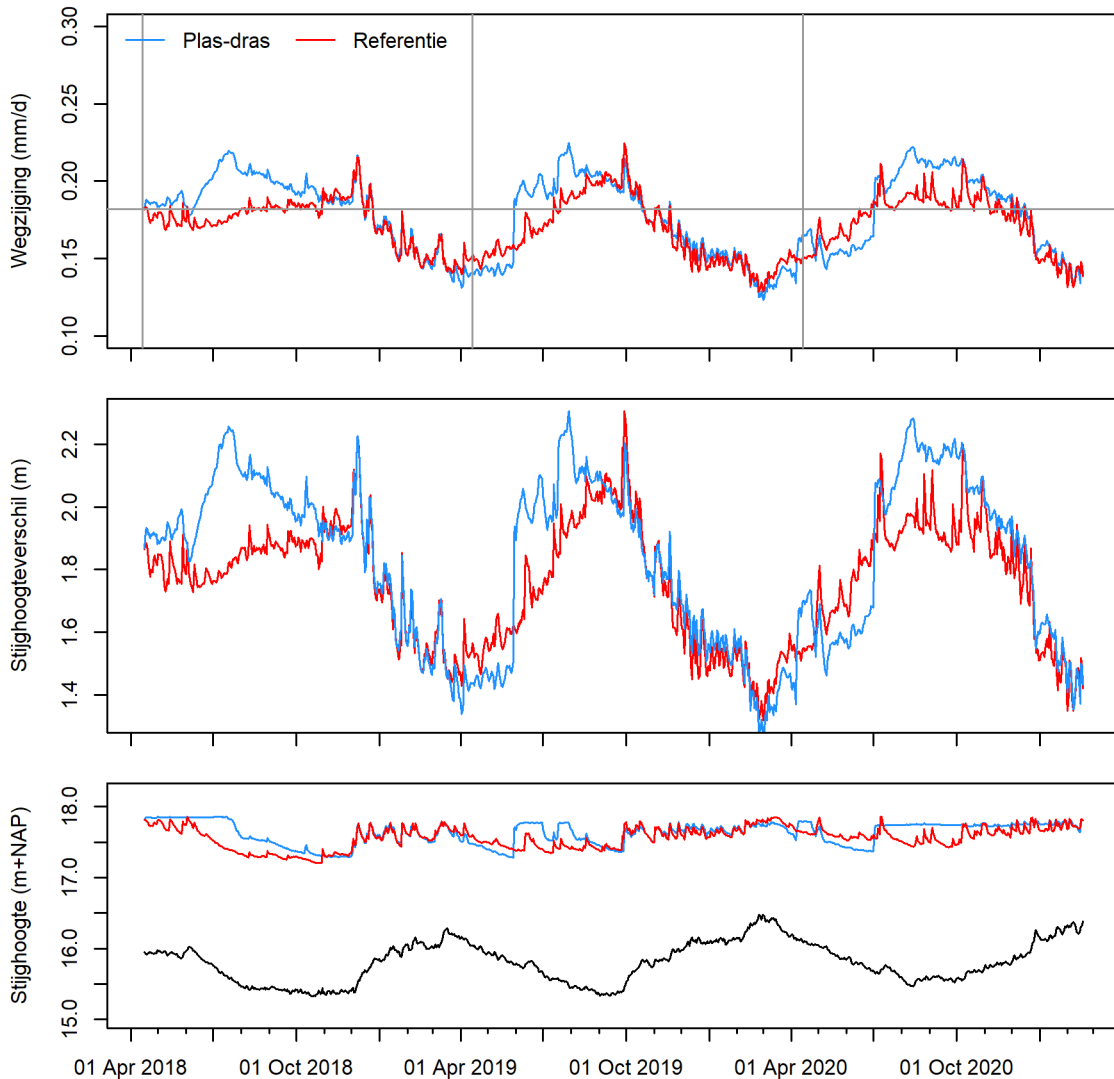
Op de referentieplots zijn, naast de freatische filters, ook filters geplaatst in het zandpakket onder de veenbasis. Hierdoor was het mogelijk wegzijing te schatten, en te verkennen hoe gevoelig wegzijing is voor een ondiepere grondwaterstand door plas-dras condities. Het stijghoogteverschil is door de bevloeiing immers groter, waardoor ook wegzijing toe kan nemen. Deze test is uitgevoerd voor locatie Bargerveen.

Tabel 10. Berekende wegzijing voor (bij benadering) de hydrologische jaren 2018 t/m 2020 (hier gedefinieerd als de periode van 16-04 t/m 15-04 van het volgende jaar). Het plas-dras effect laat de relatieve toename in wegzijing zien ten opzichte van de droge referentie. De kolommen gemiddelde stijghoogte geven de gemiddelde stijghoogte in de filters van het plas-dras compartiment, de droge referentie, en het diepe filter weer gedurende de meetperiode. dH is het jaarlijks gemiddelde stijghoogteverschil.

Table 10. Percolation estimates for (approximate) hydrological years 2018 to 2020. The 'plas-dras' effect shows the relative increase compared to the dry reference. The column mean water level shows the mean water level in the filter of the 'plas-dras' and dry site, and the water level in the deep filter. dH_{REF} is the annual average hydraulic head difference between the filter placed beneath and in the peat.

Jaar	Jaarlijkse wegzijing (mm)		Plas-dras effect (%)	Gemiddelde stijghoogte (m+NAP)			dH_{PLAS} (m)	dH_{REF} (m)
	Plas-dras	Droge referentie		Plas-dras	Droog	Diep		
2018	67	63	5.2	17.61	17.51	15.74	1.87	1.78
2019	62	61	2.6	17.62	17.57	15.87	1.75	1.70
2020	63	62	1.5	17.67	17.64	15.90	1.77	1.75
2021	58*	60*	-2.3	18.00	17.76	16.08	1.64	1.69

* Gegevens van het hydrologisch jaar 2021 zijn beschikbaar tot 3 maart 2022. De wegzijing voor de periode 4 maart 2022 – 16 april 2022 is daarom afgeleid uit de wegzijgingsflux van de laatste 30 dagen in 2021, en opgeteld bij de rest van de periode. Voor dH is een vergelijkbare benadering gebruikt om tot een gewogen gemiddelde waarde te komen.



Figuur 31. Tijdreeksen van berekende wegzijing (boven), stijghoogteverschil tussen filters geplaatst in het zandpakket onder het veen en in het veen (midden) en stijghoogtes (onder) voor locatie Bargerveen. De zwarte lijn in het onderste figuur is de stijghoogte van het filter onder het veenpakket. De grijze lijnen dienen ter referentie en representeren 14 april (datum eerste meting in 2018) en de wegzijing op de eerste datum. De gestippelde lijn (onder) geeft een lineaire trend van de stijghoogte aan de veenbasis weer.

Figure 31. Time series of calculated percolation (top), hydraulic head difference between filters placed in the sandy layer under the peat and in the peat (middle) and hydraulic head (bottom) for the location Bargerveen bog. The black line in the lower figure is the hydraulic head of the filter beneath the peat. The grey lines are for visual reference and represent 14 April (date of first measurement in 2018) and the seepage on the first date. The dashed line (lower) represents a linear trend of the hydraulic head in the aquifer beneath the peat.

De wegzijing is geschat met behulp van de wet van Darcy voor verzadigde grondwaterstroming. Hierbij wordt aangenomen dat laterale grondwaterstroming verwaarloosbaar is en wegzijing de dominante stromingscomponent van het grondwater. De weerstand tegen verticale stroming van het veenpakket (0-2,55 m-mv) en de aangetroffen gliede (2,55 – 2,65 m-mv) zijn geschat op respectievelijk 0,009 m/d (Beckwith e.a., 2003) en 0.00001 m/d (Dekker e.a., 1986). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de eigenschappen van zowel veen als gliede (zeer) sterk variëren, en afhangen van diepte, decompositiegraad, type veen en dichtheid. Metingen zijn voornamelijk afkomstig uit het buitenland; van Nederlandse hoogvenen zijn metingen van hydrologische eigenschappen van hoogvenen uitermate schaars. Dit geldt ook voor de eigenschappen van de

gliedelaag. In deze analyse wordt aangenomen dat de doorlatendheid homogeen is. De schattingen van wegzijging zijn daardoor dus zeer grof en indicatief. De totale maximale weerstand tegen wegzijging is geschat op 10283 d en is gebruikt als uitgangspunt in de volgende analyse. Het stijghoogteverschil is afgeleid uit de grondwatertijdreeksen.

Op basis van deze parameters en tijdreeksen van stijghoogte is de jaarlijkse wegzijging op de plots in het Bargerveen geschat op gemiddeld 62 mm/jaar (Tabel 10). De berekende wegzijging is daarmee aanzienlijk meer dan de door Streefkerk & Casparie (1986) opgestelde indicatieve richtlijn van 25 – 40 mm/jaar, zelfs met het uitgangspunt van een behoorlijk grote weerstand van o.a. de gliede laag. Wegzijging laat een duidelijke seizoensfluctuatie zien (Figuur 31). In de maanden augustus tot oktober is de wegzijging het hoogst, en gemiddeld 11% hoger dan het jaargemiddelde.

De toename van de stijghoogte in het veen als gevolg van wateraanvoer heeft tot een toename van wegzijging van slechts 3% geleid (gemiddeld over de jaren 2018 – 2020, waarin wateraanvoer heeft plaatsgevonden). Deze beperkte verandering wordt vooral veroorzaakt doordat de wegzijging gedomineerd wordt door de grote weerstand in het systeem en de variatie in freatische stijghoogte beperkt was; een ondiepere grondwaterstand in het veenpakket heeft daardoor nauwelijks effect op wegzijging.

Om de wegzijging van 62 mm/jaar te compenseren, is in het Bargerveen op jaarbasis ca. 6,2 m³ water uit de plas aangevoerd.

3.3.5 Effect van droogte op wegzijging

Met de tijdreeksen is ook te bepalen hoe droogte doorwerkt op wegzijgingsverliezen. Enerzijds leidt droogte tot een lagere stijghoogte onder het veenpakket, maar anderzijds zakt ook de freatische grondwaterstand in het veenpakket dieper uit, én is de weerstand tegen wegzijging verminderd doordat een dunner veenpakket gepasseerd moet worden. Het netto-effect van droogte is bepaald door een dynamische weerstand te berekenen op basis van de tijdreeksen van stijghoogte in en onder het veen.

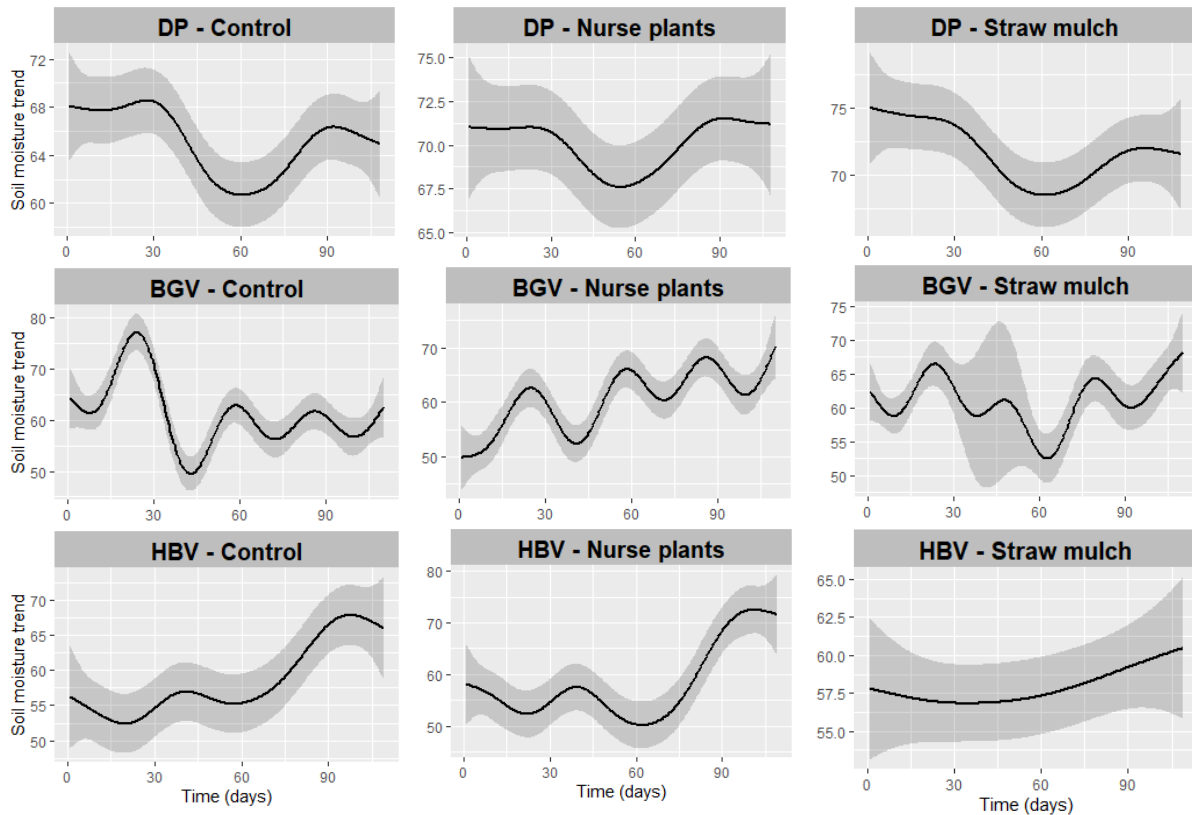
Uit deze analyse komt naar voren dat, in de situatie bij het Bargerveen, de totale weerstand nauwelijks verandert als gevolg van grondwaterstandsfluctuaties. De variatie van weerstand door de tijd tussen de natste en droogste situatie is slechts 60 dagen. Dit komt voornamelijk doordat de gliedelaag in dit geval een zeer voornaam deel van de totale weerstand voor zijn rekening neemt.

De droogte heeft vooral in 2018-2019 geleid tot een diepere regionale stijghoogte aan de veenbasis (Tabel 10, Figuur 31; over 2018-2019 gemiddeld 0,27 m dieper dan 2021). In het plas-dras compartiment leidde droogte tot een 11% hogere wegzijging ten opzichte van het natte 2021. Daarentegen had droogte een minder sterk effect op wegzijging (4% verhoging) in het referentiecompartiment. Dit wordt veroorzaakt doordat de stijghoogte in het referentiecompartiment ook dieper uitzakte door de droogte, terwijl deze op peil gehouden werd door de wateraanvoer in het plas-dras compartiment. In natuurlijke situaties, zonder kunstmatige wateraanvoer, zal droogte – in ieder geval bij de huidige karakterisering van de ondergrond – geen groot effect hebben op wegzijging vanuit het veenpakket.

3.3.6 Effect beschutting op microklimaat

De beschuttingsbehandelingen matigden het microklimaat in alle onderzochte venen en jaren, al verschilde de sterkte van het effect tussen de veengebieden (Haaksbergerveen, Bargerveen, Deurnsche Peel) en de jaren. De dunne strolaag leidde tijdens het meest droge deel van de zomer van 2018 tot vochtiger condities (Rademaker 2019) en een koelere bodemtemperatuur met minder hoge maxima (niet weergegeven). In 2019 had stro een vergelijkbaar effect: met stro was het veen droger tijdens natte perioden en bleef vochtiger tijdens droge perioden (Figuur 32), waardoor

fluctuaties in vochtgehalte werden gedempt (van Groessen, 2020). Deze waarnemingen zijn in overeenstemming met Canadees werk, waar men ook een positief effect van stro op bodemvochtgehalte vond (Price e.a., 1998).

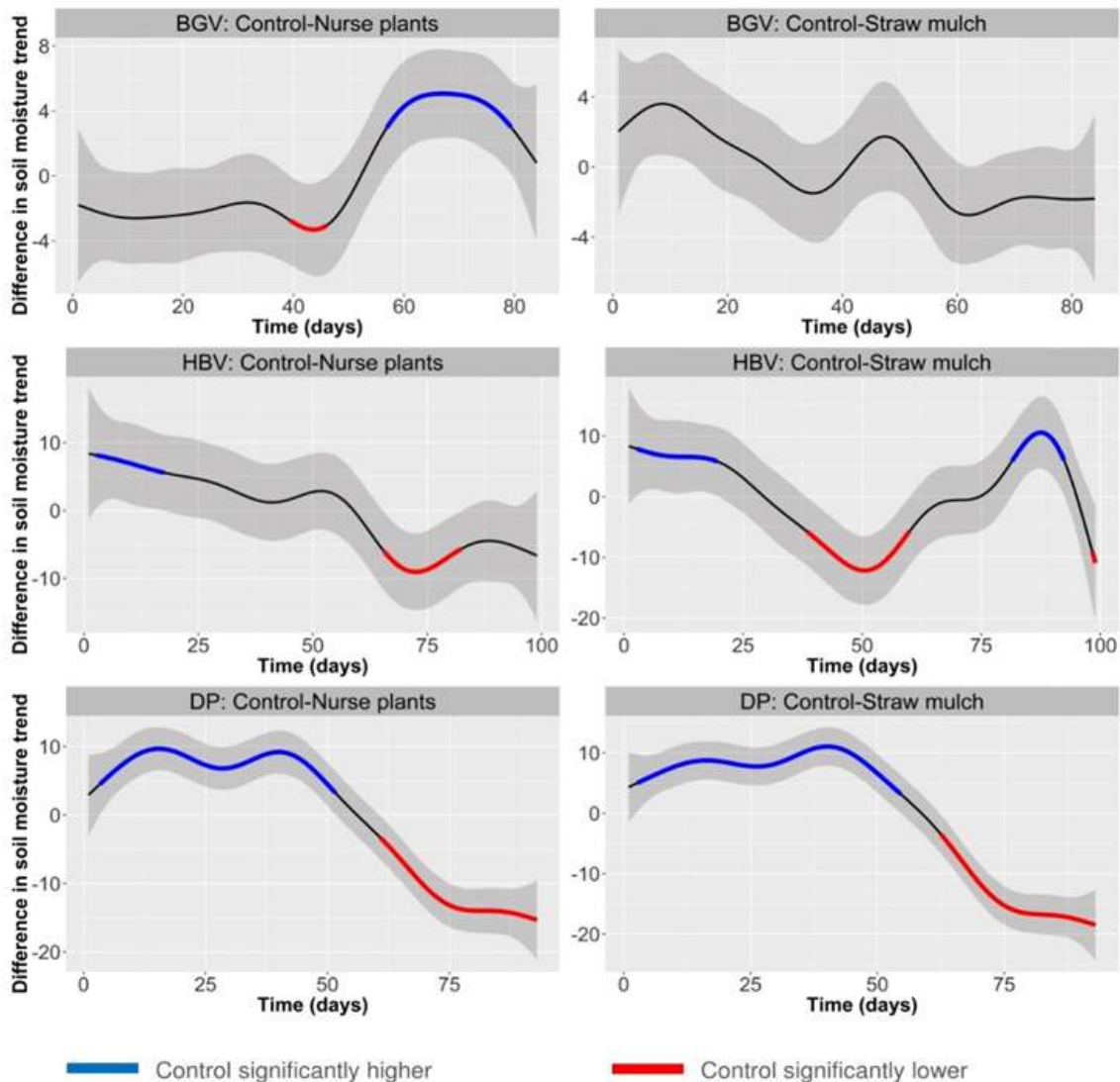


Figuur 32. Beschutting door stro leidt tot meer gematigd microklimaat: droger bij natte condities en natter bij droge condities. Volumetrisch vochtgehalte in de bovenste 5 cm van het compartiment zonder wateraanvoer voor de zomer van 2019. Lijn is het gemiddelde ($n=3$) met 95% betrouwbaarheidsinterval per beschuttingsbehandeling: controle (zonder beschutting), beschutting door Eenarig wollegras (nurse plants) en beschutting door stro (Straw mulch) voor Deurnsche Peel (DP: 17 mei t/m 6 september 2019), Bargerveen (BGV: 24 mei t/m 10 september 2019) en Haaksbergerveen (HBV: 11 juli t/m 18 oktober). Let op de verschillen in y-as. Data komen van per locatie-gekalibreerde EC 5 sensoren (METER Group, München, Germany). Voor details zie MSc thesis Sebastiaan van Groessen (van Groessen, 2019).

Figure 32. Straw mulch cover leads to more temperate microclimate: drier under wet conditions and wetter under dry conditions. Volumetric moisture content in the upper 5 cm of the compartment without water supply for summer 2019. Line is the mean ($n=3$) with 95% confidence interval per sheltering treatment: control (without sheltering), sheltering by *Eriophorum vaginatum* (nurse plants) and sheltering by straw mulch for the Deurnsche Peel bog (DP: 17 May to 6 September 2019), Bargerveen bog (BGV: 24 May to 10 September 2019) and Haaksbergerveen bog (HBV: 11 July to 18 October). Please note the differences in y-axis. Data are from site-calibrated EC 5 sensors (METER Group, Munich, Germany). For details see MSc thesis Sebastiaan van Groessen (van Groessen, 2019).

Opvallend is dat het effect van stro op bodemvochtgehalte in beide jaren met name naar voren kwam tijdens het meest droge deel van de zomer (bijvoorbeeld: juli-augustus 2018). In de eerste helft van de meetperiode in juni 2018, leidde de behandeling met stro juist tot droger bodemcondities. Waar dit precies door komt, is onduidelijk. Het is waarschijnlijk dat het stro zorgde voor extra interceptie van regenwater, en zo infiltratie in de veenbodem belemmerde. Dit zou kunnen verklaren waarom de bodem onder het stro droger bleef dan de bodem bij de controle behandeling zonder stro. Dit laatste zou ook goed verklaren waarom de effecten van stro in 2019

minder sterk lijken dan in 2018: in 2019 regende het nog af en toe, waardoor het bodemoppervlak tijdelijk weer werd vernat.



Figuur 33. Effect van beschuttingsbehandeling op het vochtgehalte in de bovenste 5 cm van het compartiment zonder wateraanvoer voor de meteorologische zomer van 2018 (1 juni t/m 31 augustus). Grafieken geven het verschil weer (lijn met 95% betrouwbaarheidsinterval) tussen de controlebehandeling (zonder beschutting) en beschutting door Eenarig wollegras (nurse plants) dan wel beschutting door stro (Straw mulch) voor Deurnsche Peel (DP) en Bargerveen (BGV). **Blauw:** controle significant natter dan de beschuttingsbehandelingen. **Rood:** controle behandeling significant droger dan de beschuttingsbehandeling. Blauwe momenten kwamen overeen met perioden van regen, rode momenten kwamen overeen met perioden van droogte (zie Figuur 28). Voor het Haaksbergerveen konden geen betrouwbare lijnen gefit worden door sensoruitval. Metingen en analyses uitgevoerd door MSc thesis student Mark Rademaker.

Figure 33. Effect of shelter treatment on moisture content in the upper 5 cm of the compartment without water supply for the meteorological summer of 2018 (1 June to 31 August). Graphs show the difference (line with 95% confidence interval) between the control treatment (without shelter) and shelter by nurse plants or shelter by straw mulch for the Deurnsche Peel bog (DP) and Bargerveen bog (BGV). **Blue:** control significantly wetter than the sheltered treatments. **Red:** control treatment significantly drier than the sheltered treatment. Blue moments corresponded to periods of rain; red moments corresponded to periods of drought (see Figure 26). For the Haaksbergerveen bog no reliable lines could be fitted due to sensor failures. Measurements and analysis done by MSc thesis student Mark Rademaker.

3.3.7 Veemosontwikkeling

In deze paragraaf worden de resultaten van de ontwikkeling van de geherintroduceerde bultvormende veenmossen besproken. Vanwege de extreme droogte in 2018 werden de experimenten in 2019 opnieuw ingezet. Een vergelijking van de initiële overleving van de veenmossen in 2018 en 2019 is opgenomen in **Bijlage 4**.

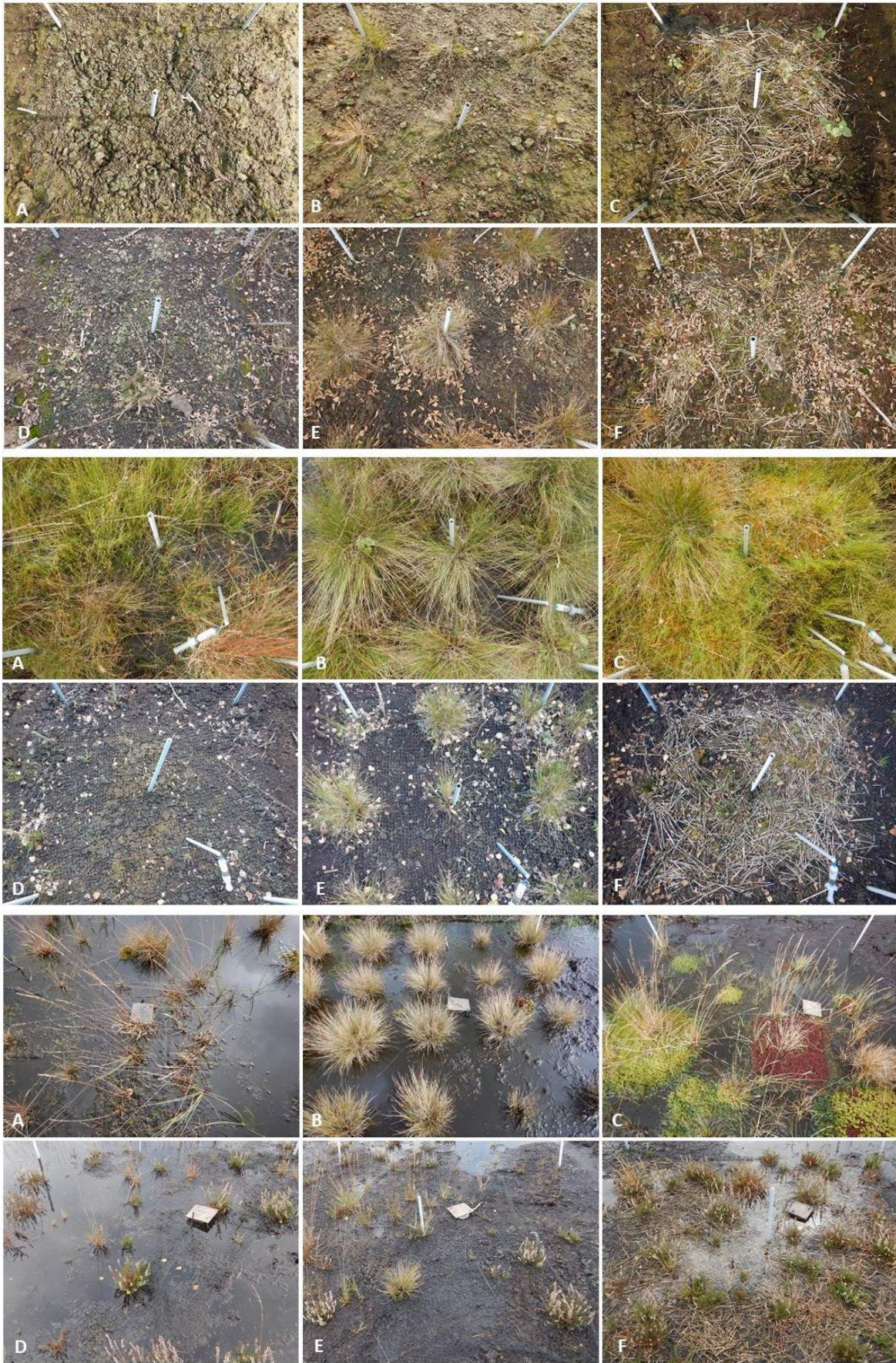
3.3.7.1 Overleving na 3 jaar

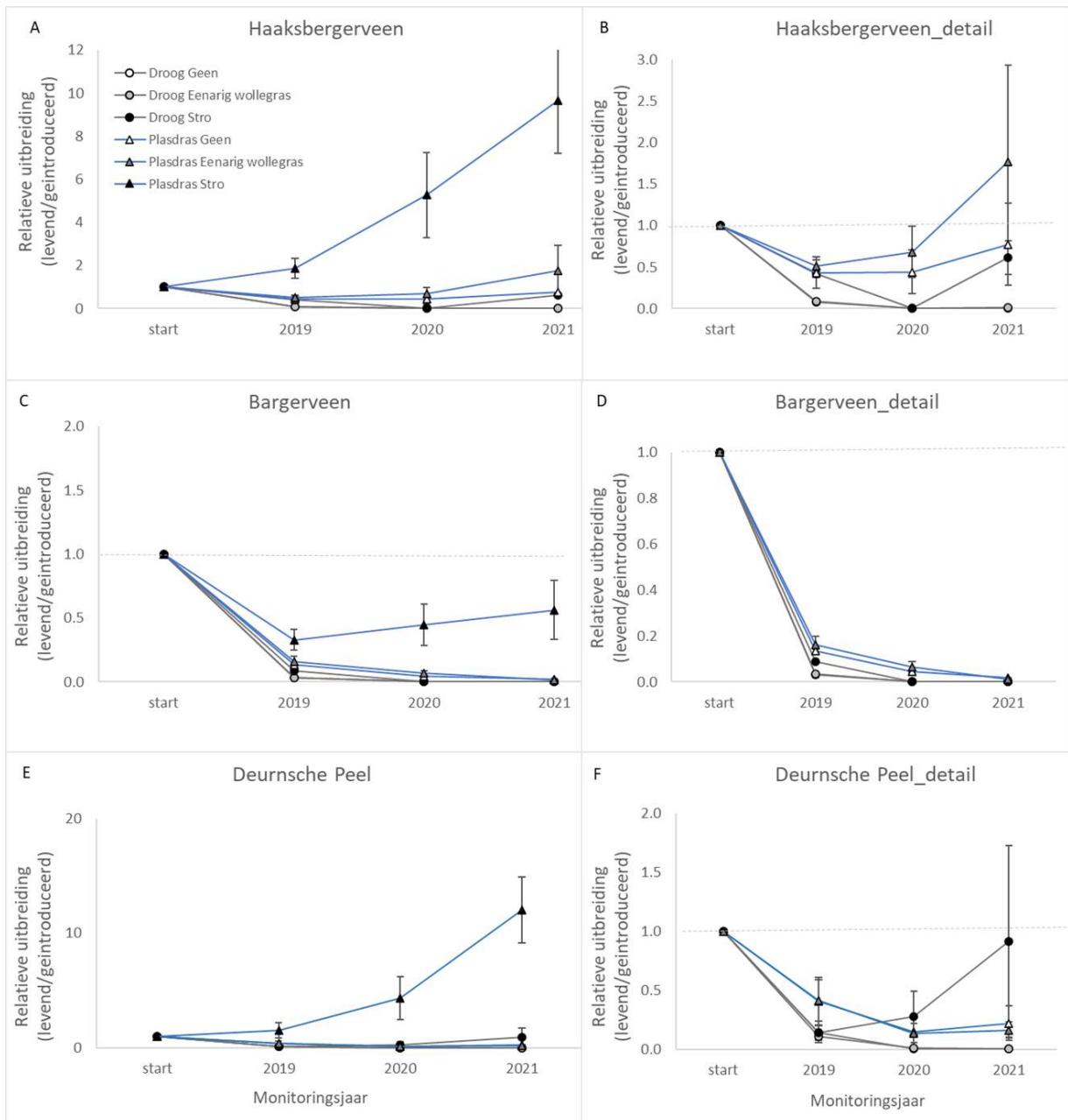
Overleving van bultvormende veenmossen is het hoogst met aanvoer van water (plas-dras) onder beschutting van een laagje stro (Figuur 34).

De veemosontwikkeling in 2021 bevestigde hiermee de trends van de voorgaande jaren (Figuur 35). Dit effect kwam het sterkste naar voren in het Haaksbergerveen (Figuur 35A) en de Deurnsche Peel (Figuur 35E). In deze terreinen namen de mossen voor het tweede jaar op rij met een factor drie toe en vormden een aaneengesloten oppervlak ter grootte van de proefvlakken (50 x 50 cm). Nu horizontale groei voor de mossen in het midden bemoeilijkt wordt, zien we dat de mossen in de hoogte gaan groeien en bulten hebben gevormd van c. 5-8 cm hoog (Figuur 36). Het experiment in het Bargerveen is in het najaar van 2020 beëindigd, maar de pomp heeft in 2021 waarschijnlijk nog wel wat water aangevoerd (waterstanden zijn niet opgenomen). In oktober 2021 bleek dat de wateraanvoer gestopt was en dat de veenmossen hierdoor opnieuw langzamer groeiden dan in de andere terreinen (Figuur 35C). Het verschil tussen de terreinen illustreert dat de veemosontwikkeling sterk afhankelijk is van de plas-dras omstandigheden, zelfs in de 'normale' zomer van 2021 waarin (fors) meer regen viel dan in 2019 en 2020 (zie paragraaf 3.3.2).

Figuur 34 – volgende pagina. *Impressie van de verschillende behandelingen van de plas-dras experimenten in het Bargerveen (boven), Haaksbergerveen (midden) en Deurnsche Peel (onder) in oktober 2021. Behandelingen: A = natuurlijk waterpeil, controle, B = natuurlijk waterpeil, Eenarig wollegras, C = natuurlijk waterpeil, stro, D = gecontroleerd waterpeil, controle, E = gecontroleerd waterpeil, Eenarig wollegras en F = gecontroleerd waterpeil, stro. De proefvlakken in de Deurnsche peel zijn 4 x zo groot dan in het Bargerveen en Haaksbergerveen (2 x 2 m in plaats van 1 x 1 m). Foto's: Hilde Tomassen.*

Figure 34 - next page. *Impression of the different treatments of the 'plas-dras' experiments in the Bargerveen bog (top), Haaksbergerveen bog (middle) and Deurnsche Peel bog (bottom) in October 2021. Treatments: A = natural water level, control, B = natural water level, Eriophorum vaginatum, C = natural water level, straw mulch, D = controlled water level, control, E = controlled water level, Eriophorum vaginatum and F = controlled water level, straw mulch. The experimental plots in the Deurnsche peel bog are 4 times larger than in the Bargerveen and Haaksbergerveen (2 x 2 m instead of 1 x 1 m). Photographs: Hilde Tomassen.*



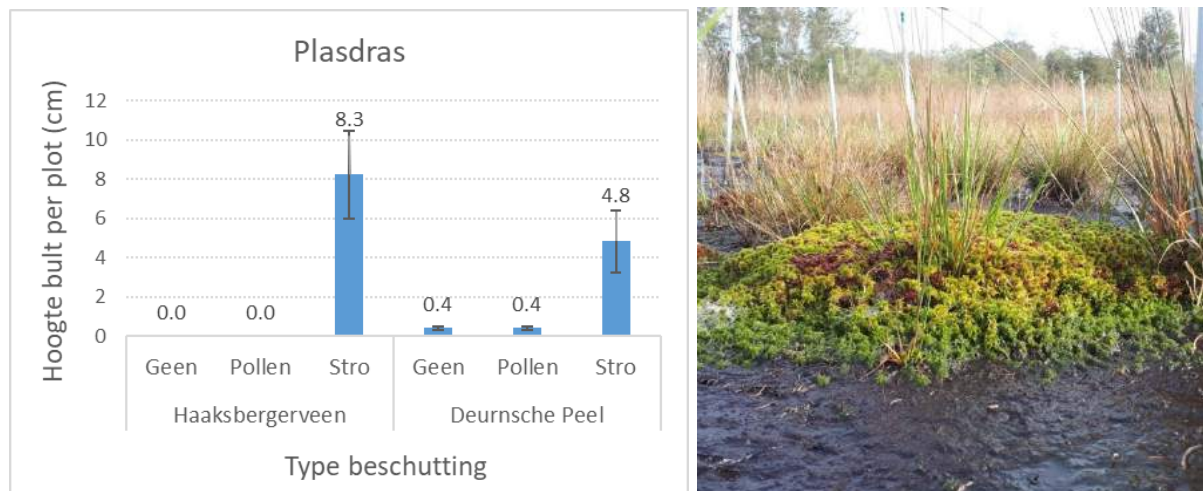


Figuur 35. *Uitbreiding van bultvormende veenmossen is het hoogste in proefvlakken met beschutting door stro en aanvoer van water (blauwe lijn: zwarte driehoeken). Overleving van geïntroduceerde Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) als fractie van de introductiedichtheid tussen start van het experiment (maart 2019) en oktober 2021 op kaal zwartveen zonder (grijze lijnen) en met aanvoer van water (blauwe lijnen) in het Haaksbergerveen (A, B), het Bargerveen (C, D) en de Deurnsche Peel (E, F) (gemiddelde ± 1 SE, $n=3$ herhalingen). Voor de details (B, D, F) is de strobehandeling met aanvoer van water weggelaten. Let op: de schaal van de y-as verschilt per gebied. Het aantal levende veenmossen in 2021 was significant hoger in plots in het compartiment met wateraanvoer ($F_{Hbv_df12}17.4$, $p=0.001$, $F_{Bv_df12}6.5$, $p=0.025$, $F_{Dp_df12}14.7$, $p=0.002$). Beschutting had een significant positief effect op het aantal levende veenmossen ($F_{Hbv_df12}9.3$, $p=0.001$, $F_{Bv_df12}5.6$, $p=0.009$, $F_{Dp_df12}15.7$, $p<0.001$). Het aantal veenmossen in proefvlakken met stro was significant hoger dan in proefvlakken met pollenbuffering, maar dit effect was alleen significant ($p\leq 0.05$) met wateraanvoer. Zonder wateraanvoer ($p>0.05$) was het effect van stro niet significant vanwege de grote spreiding.*

Figure 35 – previous page. Expansion of hummock-building peat moss is highest in experimental plots with straw mulch shelter and water supply (blue line: black triangles). Survival of introduced *Sphagnum papillosum* as a fraction of the introduction density between the start of the experiment (March 2019) and October 2021 on bare strongly humified peat without (grey lines) and with water supply (blue lines) in the Haaksbergerveen bog (A, B), the Bargerveen bog (C, D) and the Deurnsche Peel bog (E, F) (mean \pm 1 SE, n=3 replicates). Note: the scale of the y-axis differs per area. For the details (B, D, F), the straw mulch treatment with water supply has been omitted. Please note that the scale of the y-axis differs per area. The number of living peat mosses in 2021 was significantly higher in plots in the water supply compartment ($F_{Hbv_df}1217.4$, $p=0.001$, $F_{Bv_df}126.5$, $p=0.025$, $F_{Dp_df}1214.7$, $p=0.002$). Shelter had a significant positive effect on the number of living peat mosses ($F_{Hbv_df}129.3$, $p=0.001$, $F_{Bv_df}125.6$, $p=0.009$, $F_{Dp_df}1215.7$, $p<0.001$). The number of peat mosses in plots with straw mulch was significantly higher than in plots with pollen buffering, but this effect was only significant ($p\leq 0.05$) with water supply. Without water supply ($p>0.05$) the effect of straw mulch was not significant due to the large variation.

Bij suboptimale hydrologische condities kunnen bultvormende veenmossen overleven en zich zelfs uitbreiden indien voldoende regen valt en mits stro als microklimaat bescherming wordt aangebracht. Een grote bron van onzekerheid blijft echter dat stro niet alleen de veenmossuccessie, maar ook de successie van hogere planten stimuleert (zie later deze paragraaf).

Zonder wateraanvoer bleek beschutting van stro opnieuw cruciaal voor de uitbreiding van veenmossen in 2021. Na overleving van de extreem droge zomer van 2019 breidden de veenmossen zich in deze behandeling in zowel het Haaksbergerveen (Figuur 35B) en de Deurnsche Peel (Figuur 35F) in 2020 en 2021 uit. In het Haaksbergerveen was de uitbreiding van veenmossen met strobeschutting in 2021 even snel als in 2020, maar in de Deurnsche Peel leek de uitbreiding in 2021 sterker dan in 2020, al was dit door de hoge spreiding statistisch niet significant. In het Bargerveen waren alle geïntroduceerde veenmossen in het droge compartiment, op twee exemplaren na, dood (Figuur 35D).



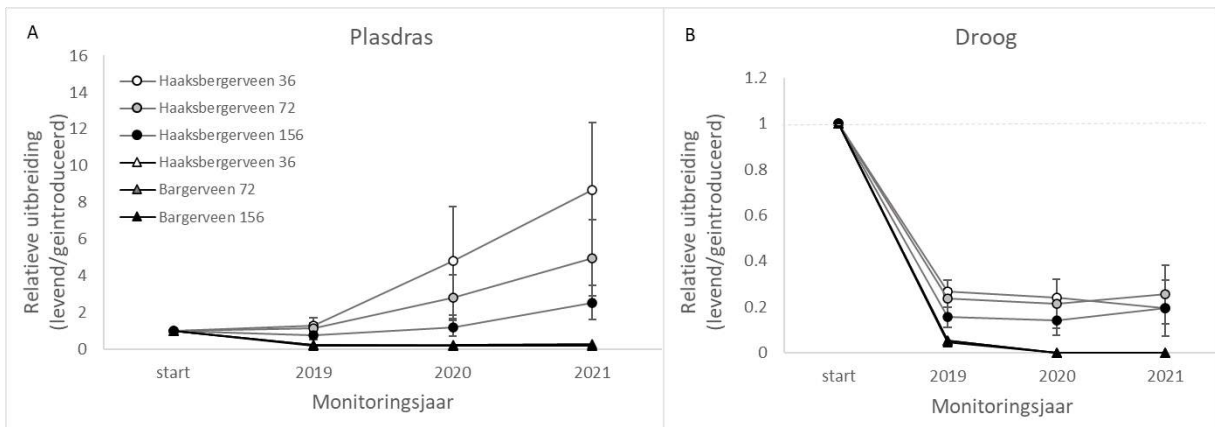
Figuur 36. Uitbreiding van bultvormende veenmossen is het hoogste in proefvlakken met beschutting door stro en aanvoer van water. Hoogte van het veenmospakket gevormd door geïntroduceerde bultvormer *Sphagnum papillosum* op kaal zwartveen voor het compartiment met wateraanvoer (Plasdras) in oktober 2021 (gemiddelde \pm 1 SE, n=3 herhalingen) voor het Haaksbergerveen en de Deurnsche Peel. De hoogte is gemeten op het hoogste punt zonder directe ondersteuning van hogere planten. Pollenbeschutting refereert naar pollen van *Eriophorum vaginatum*. Foto (rechts) uit de Deurnsche Peel (foto: Adam Koks).

Figure 36. Expansion of hummock-building peat mosses is highest in experimental plots with straw mulch shelter and water inflow. Height of the peat moss layer formed by introduced *Sphagnum papillosum* on bare strongly humified peat for the compartment with water supply (Plasdras) in October 2021 (mean \pm 1 SE, n=3 replicates) for the Haaksbergerveen bog and the Deurnsche Peel bog. Height is measured at the highest point without direct support of higher plants. Pollen shelter refers to pollen of *Eriophorum vaginatum*. Photo (right) from the Deurnsche Peel bog (photo: Adam Koks).

3.3.7.2 Dichtheid van herintroductie

Voor goede overleving van geïntroduceerd veenmos is een hogere dichtheid nodig dan voor uitbreiding in de daaropvolgende jaren. Herintroductie met een gemiddelde dichtheid van ca. 72 veenmosplanten per m², lijkt een goede middenweg.

In het eerste jaar (2019) was het aantal overlevende fragmenten mos het hoogste bij een hoge introductiedichtheid. In de hierop volgende jaren (2020 en 2021) verschilde het aantal levende mossen niet meer tussen de dichtheidsbehandelingen: de laagste dichtheidsbehandeling leek zelfs de meeste levende veenmossen te hebben. Hiermee draaide de relatie tussen introductiedichtheid en aantal levende mossen van een positieve relatie om naar een negatieve relatie (Figuur 37). Wat precies de reden is dat de veenmossen zich minder snel uitbreiden bij een hoge dan bij een lage introductiedichtheid blijft vooralsnog onzeker, maar kan mogelijk te maken hebben met verminderd contact met de veenbodem door elkaar overlappende fragmenten of door een omslag van horizontale groei naar verticale groei. Herintroductie met een gemiddelde dichtheid van ca. 72 veenmos planten per m² lijkt in elk geval afdoende voor opschaling van herintroductie van bultvormende veenmossen.



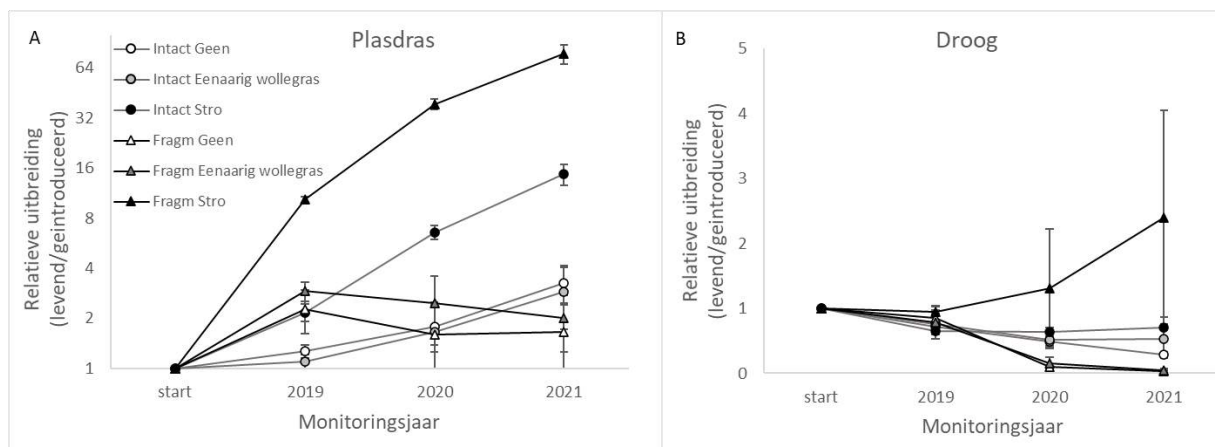
Figuur 37. Veenmosuitbreiding is het hoogste bij lage dichtheid geïntroduceerde fragmenten. Uitbreiding van de geïntroduceerde bultvormer *Sphagnum papillosum* op kaal zwartveen voor compartimenten met wateraanvoer (Plasdras) en compartimenten zonder wateraanvoer (Droog) tussen de start van het experiment (maart 2019) en oktober 2021 (gemiddelde \pm 1 SE, $n=3$ herhalingen). Veenmosuitbreiding is uitgedrukt als fractie van de introductiedichtheid voor drie verschillende fragmentdichtheden die zijn aangegeven met toenemende grijstinten: 36 veenmosplanten per m² (witte symbolen), 72 veenmosplanten m² (grijze symbolen) en 156 veenmosplanten per m² (zwarte symbolen). Haaksbergerveen (cirkels), Bargerveen (driehoeken). In de Deurnsche Peel is slechts 1 dichtheid gebruikt: 156 (gefragmenteerde) veenmosplanten per m² en daarom niet opgenomen in deze grafiek. Let op: de schaal van de y-as verschilt per waterbehandeling. Introductiedichtheid had alleen een significant positief effect op het aantal overlevende veenmossen in het compartiment met wateraanvoer in het Bargerveen ($F_{Bv_df23.8}$, $p=0.042$). Hier hadden sub-proefvlakken met de hoogste introductiedichtheid (156 veenmossen per m²) een significant hoger aantal veenmossen dan die met de laagste dichtheid (36 veenmossen per m²).

Figure 37. Peat moss expansion is highest at low density introduced fragments. Expansion of the introduced *Sphagnum papillosum* on bare strongly humified peat for compartments with water supply (Plasdras) and compartments without water supply (Dry) between the start of the experiment (March 2019) and October 2021 (mean \pm 1 SE, $n=3$ replicates). Peat moss expansion is expressed as a fraction of the introduction density for three different fragment densities indicated by increasing shades of grey: 36 peat moss plants per m² (white symbols), 72 peat moss plants m² (grey symbols) and 156 peat moss plants per m² (black symbols). Haaksbergerveen bog (circles), Bargerveen bog (triangles). In the Deurnsche Peel bog only one density is used: 156 (fragmented) peat moss plants per m² and therefore not included in this graph. Note: the scale of the y-axis differs per water treatment. Introduction density only had a significant positive effect on the number of surviving peat mosses in the compartment with water supply in the Bargerveen ($F_{Bv_df23.8}$, $p=0.042$). Here, sub-samples with the highest introduction density (156 peat mosses per m²) had a significantly higher number of peat mosses than those with the lowest density (36 peat mosses per m²).

3.3.7.3 Herintroductie met fragmenten of intacte veenmosplanten

De beste methode van herintroductie, met fragmenten of met intacte planten veenmos, lijkt af te hangen van de (hydrologische) stress die de veenmossen ervaren, waarbij herintroductie met fragmenten werkt bij weinig (hydrologische) stress terwijl herintroductie met intacte planten het beste werkt bij veel (hydrologische) stress.

Herintroductie met fragmenten werkte in plas-dras en vochtige condities beter dan herintroductie met in-het-zwartveen ingegraven bundels intacte planten (Figuur 38). Veenmos in proefvlakken met oppervlakkig uitgestrooide fragmenten vormden een groter aaneengesloten tapijt en hogere bulten dan veenmos in proefvlakken met bundels intacte mossen (Figuur 38A). In minder beschutte (Figuur 38A, behandelingen zonder stro) of droge (Figuur 38B) omstandigheden verschoof het voordeel van herintroductie-met-fragmenten naar herintroductie met-intacte planten. Het kleine voordeel van herintroductie met intacte planten onder droge, onbeschutte omstandigheden weegt echter niet op tegen de arbeidsintensievere introductie.



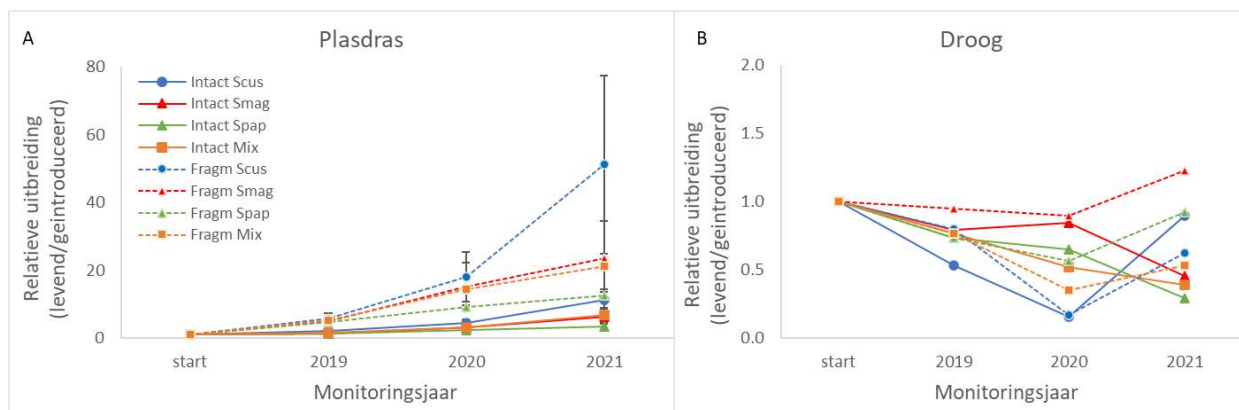
Figuur 38. Onder beschutte, vochtige condities breiden fragmenten zich sneller uit dan intacte planten. Uitbreiding van geïntroduceerde mossen op kaal zwartveen voor compartimenten met wateraanvoer (Plasdras) en compartimenten zonder wateraanvoer (Droog) tussen de start van het experiment (maart 2019) en oktober 2021 (gemiddelde ± 1 SE, $n=3$ herhalingen) voor de Deurnsche Peel. Veenmosuitbreiding is uitgedrukt als fractie van het geïntroduceerd aantal veenmosplanten (156 in beide gevallen). Introductiedichtheid: 156 planten per m^2 intact in een bundeltje verticaal in het zwartveen geplaatst of per plant in 10 fragmenten geknipt (Fragm) en uitgespreid. Let op: de schaal van de y-as verschilt per waterbehandeling. Voor beide waterbehandelingen overleefden meer veenmossen onder bedekking met stro ($F_{Dpdroog_df}226.2$, $p<0.001$, $F_{Dpnat_df}262.2$, $p<0.001$) en na introductie als fragment, wat leidde tot een significant interactie-effect tussen beschutting en type fragment ($F_{Dpdroog_df}29.3$, $p<0.001$, $F_{Dpnat_df}212.1$, $p<0.001$).

Figure 38. Under sheltered, moist conditions fragments expand more rapidly than intact plants. Expansion of introduced mosses on bare strongly humified peat for compartments with water supply (Plasdras) and compartments without water supply (Dry) between the start of the experiment (March 2019) and October 2021 (mean ± 1 SE, $n=3$ replicates) for Deurnsche Peel bog. Peat moss expansion is expressed as a fraction of the introduced number of peat moss plants (156 in both cases). Introduction density: 156 plants per m^2 placed intact in a bundle vertically in the strongly humified peat bog or cut into 10 fragments per plant (Fragm) and spread out. Note: the scale of the y-axis differs per water treatment. For both water treatments, more peat mosses survived under straw mulch cover ($F_{Dpdroog_df}226.2$, $p<0.001$, $F_{Dpnat_df}262.2$, $p<0.001$) and after introduction as fragment, leading to a significant interaction effect between shelter and fragment type ($F_{Dpdroog_df}29.3$, $p<0.001$, $F_{Dpnat_df}212.1$, $p<0.001$).

3.3.7.4 Soort veenmos

Herintroductie succes lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos, en lijkt te variëren met de mate van hydrologische stress die het mos ondervindt. Keuze van de veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.

Onder natte, plas-dras condities (Figuur 39A) of in een normale zomer met regelmatig regen (Figuur 39B) lijkt slenksoort Waterveenmos zich iets sneller uit te breiden dan de bultvormers. Onder droge omstandigheden, zoals bijvoorbeeld in 2019 en 2020, doen bultvormende veenmossen Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*) en Wrattig veenmos (*S. papillosum*) het duidelijk beter dan slenksoort Waterveenmos (*S. cuspidatum*). Dit suggereert dat herintroductie van een mix van slenkvormende en bultvormende veenmossen elkaar zou kunnen versterken. Toch zien we niet dat de mix het beter doet dan de monoculturen. De resultaten impliceren hiermee dat voor herintroductie prima gewerkt kan worden met zowel Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*) als Wrattig veenmos (*S. papillosum*), of een mix ervan naar gelang wat voorhandig is.

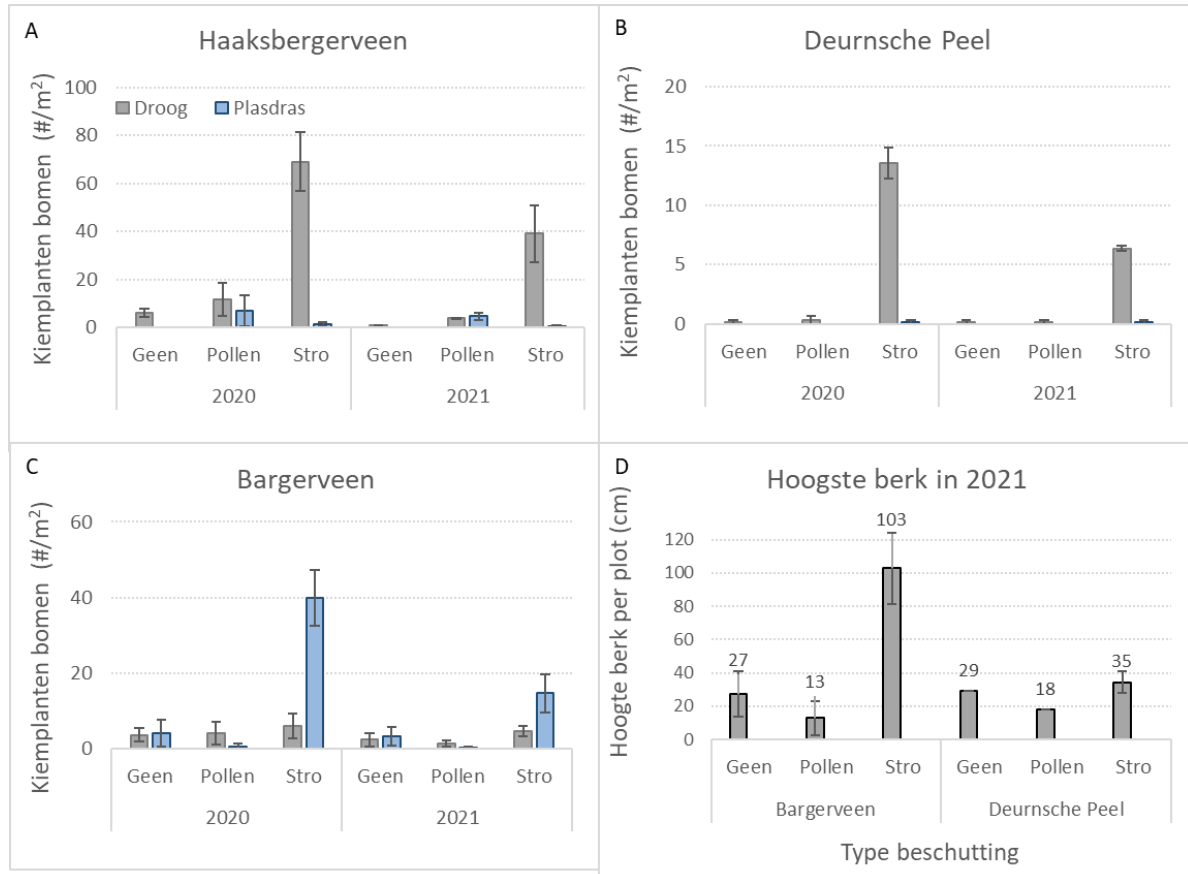


Figuur 39. Herintroductie succes is beperkt gevoelig voor veenmossoort. Uitbreiding van geïntroduceerde mossen op kaal zwartveen voor compartimenten met wateraanvoer (Plasdras) en compartimenten zonder wateraanvoer (Droog) tussen de start van het experiment (maart 2019) en oktober 2021 (gemiddelde ± 1 SE, $n=3$ herhalingen) voor de Deurnsche Peel. Veenmosuitbreiding is uitgedrukt als fractie van de introductiedichtheid voor intacte planten en fragmenten van de vier verschillende veenmossoortbehandelingen afzonderlijk. Scus, blauwe cirkels (slenksoort: *Sphagnum cuspidatum*), Smag, rode driehoeken (bultsoort: *Sphagnum magellanicum*), Spap, groene driehoeken (bultsoort: *Sphagnum papillosum*), Mix, bruine vierkanten (Mix van de drie soorten). Introductiedichtheid: 156 planten per m^2 intact (Intact, ononderbroken lijn) in een bundeltje verticaal in het zwartveen geplaatst of per plant in 10 fragmenten geknipt (Fragm, stippellijn) en uitgespreid. Let op: de schaal van de y-as verschilt per waterbehandeling. Voor het compartiment zonder watertoevoer zijn de foutbalken weggelaten om de figuur leesbaar te houden. De mossoorten reageerden in grote lijnen hetzelfde op de verschillende behandelingen, al deed *S. cuspidatum* het in alle behandelingen net iets beter dan *S. papillosum*, waardoor het soort-effect significant was ($F_{Dpdroog_df3}4.6$, $p=0.007$, $F_{Dpna_df3}3.8$, $p=0.017$).

Figure 39. Reintroduction success depends to a limited extent on peat moss species. Expansion of introduced mosses on bare strongly humified peat for compartments with water supply (Plasdras) and compartments without water supply (Dry) between the start of the experiment (March 2019) and October 2021 (mean ± 1 SE, $n=3$ replicates) for Deurnsche Peel bog. Peat moss expansion is expressed as a fraction of the introduction density for intact plants and fragments of the four different peat moss species treatments separately. Scus, blue circles (hollow species: *Sphagnum cuspidatum*), Smag, red triangles (hummock species: *Sphagnum magellanicum*), Spap, green triangles (hummock species: *Sphagnum papillosum*), Mix, brown squares (mixture of the three species). Introduction density: 156 plants per m^2 intact (Intact, solid line) placed in a bundle vertically in the strongly humified peat or cut into 10 fragments per plant (Fragm, dotted line) and spread out. Note: the scale of the y-axis differs per water treatment. For the compartment without water supply, error bars have been omitted to keep the figure readable. The moss species responded broadly the same to the different treatments, although *S. cuspidatum* performed slightly better than *S. papillosum* in all treatments, making the species effect significant ($F_{Dpdroog_df}34.6$, $p=0.007$, $F_{Dpna_df}33.8$, $p=0.017$).

3.3.7.5 Bottlenecks op langere termijn: successie van hogere planten

Vestiging en ontwikkeling van hogere planten wordt gestimuleerd door het aanbrengen van stro. Bij suboptimale hydrologische condities staat de versnelde successie van hogere planten het herintroductiesucces van bultvormende veenmossen in de weg. Bij optimale hydrologische omstandigheden lijken de bultvormende veenmossen de hogere planten vooralsnog voor te blijven. Voortzetting van monitoring is aan te raden om over dit laatste meer zekerheid te krijgen.

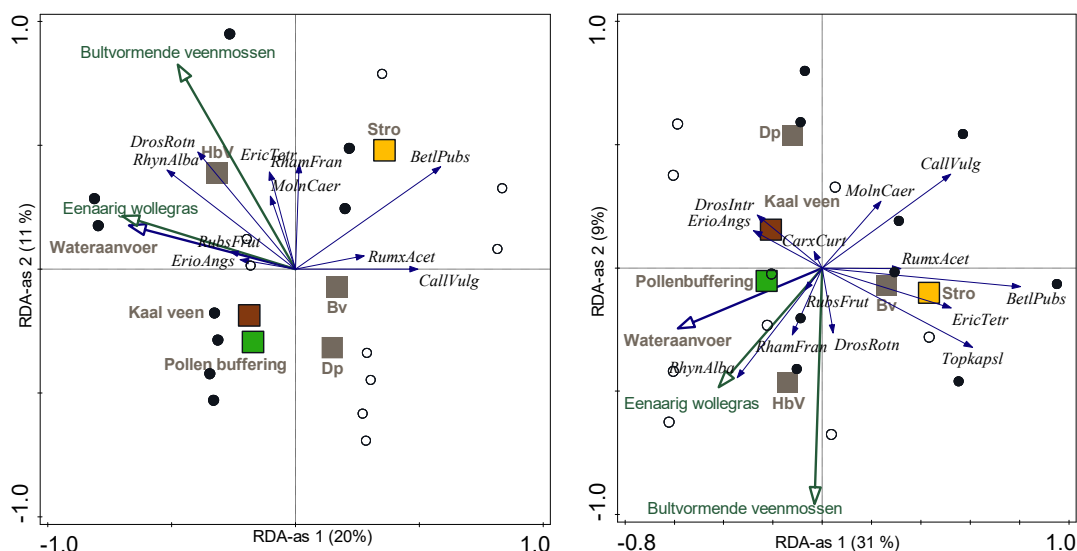


Figuur 40. Opslag van berk is het hoogste in proefvlakken met beschutting door stro en zonder aanvoer van water. Aantallen kiemplanten van bomen (met name berk) in oktober 2021 op kaal zwartveen zonder (grijze balken) en met aanvoer van water (blauwe balken) in A) het Haaksbergerveen, B) de Deurnsche Peel en C) het Bargerveen (gemiddelde ± 1 SE, $n=3$ herhalingen). D) lengte van de hoogste berk per proefvlak voor het Bargerveen en de Deurnsche Peel. Let op: de schaal van de y-as verschilt per veen. Getallen boven de balken geven het gemiddelde weer. De effecten van wateraanvoer verschilden per veen en beschuttingsbehandeling. In het Haaksbergerveen was er significant meer opslag in het compartiment zonder wateraanvoer ($\text{WaldChiSquare}_{\text{Hbv_df1}} 20.5$, $p < 0.001$), beschutting (met stro) verhoogde het aantal kiemplanten ($\text{WaldChiSquare}_{\text{Hbv_df2}} 12.2$, $p < 0.001$), maar het aantal kiemplanten was verreweg het grootste zonder wateraanvoer met stro wat leidde tot een significante interactie tussen wateraanvoer en beschutting ($\text{WaldChiSquare}_{\text{Hbv_df1}} 17.8$, $p < 0.001$). In het Bargerveen verschilde het aantal kiemplanten van berk niet tussen de compartimenten met of zonder wateraanvoer ($\text{WaldChiSquare}_{\text{Bv_df1}} 0.12$, $p = 0.91$), beschutting (met stro) verhoogde het aantal kiemplanten ($\text{WaldChiSquare}_{\text{Bv_df2}} 21.3$, $p < 0.001$), met name in het compartiment met aanvoer van water ($\text{WaldChiSquare}_{\text{Bv_df1}} 9.0$, $p = 0.011$).

Figure 40 - previous page. Birch germination is highest in experimental plots with straw mulch shelter and without water supply. Numbers of tree seedlings (especially birch) in October 2021 on bare strongly humified peat without (grey bars) and with water supply (blue bars) in A) the Haaksbergerveen bog, B) the Deurnsche Peel bog and C) the Bargerveen bog (mean \pm 1 SE, $n=3$ replicates). D) length of the tallest birch per plot for the Bargerveen bog and Deurnsche Peel bog. Note: the scale of the y-axis differs per bog. Numbers above the bars represent the average. The effects of water supply differed per bog and shelter treatment. In Haaksbergerveen there was significantly more establishment of trees in the compartment without water supply (WaldChiSquare_{Hbv_df}120.5, $p<0.001$), sheltering (with straw mulch) increased the number of seedlings (WaldChiSquare_{Hbv_df}212.2, $p<0.001$), but the number of seedlings was by far the highest without straw mulch and watering, leading to a significant interaction between watering and shelter (WaldChiSquare_{Hbv_df}117.8, $p<0.001$). In Bargerveen, the number of birch seedlings did not differ between the compartments with or without water supply (WaldChiSquare_{Bv_df}10.12, $p=0.91$), shelter (with straw mulch) increased the number of seedlings (WaldChiSquare_{Bv_df}221.3, $p<0.001$), especially in the compartment with water supply (WaldChiSquare_{Bv_df}19.0, $p=0.011$).

Voor een goede doorontwikkeling van bultvormende veenmossen is het nodig dat de bedekking van hogere planten onder ca. 70% blijft. Aanbrengen van stro is cruciaal voor de overleving en uitbreiding van bultvormende veenmossen. Aanbrengen van stro versnelt echter ook de algehele vestiging en ontwikkeling van hogere planten. Met name de verhoogde opslag van berken blijft een reden tot zorgen (Figuur 40). In 2020 zagen we massale kieming van Berk onder relatief droge omstandigheden: in het Haaksbergerveen en de Deurnsche Peel in het compartiment zonder wateraanvoer en in het Bargerveen in het compartiment met beperkte wateraanvoer (Tomassen e.a., 2021). In 2021 bleef dit patroon gehandhaafd, al vonden we net iets minder berken dan in 2020. Dit laatste kan mogelijk te maken hebben met een vorm van zelfdunning: in de behandelingen zonder watertoevoer met stro groeiden de overlevende berken zeer goed. Zeer illustratief is de situatie in het Bargerveen. Ondanks het kleine aantal gekiemde berken in het compartiment zonder wateraanvoer, bereikte de berken een gemiddelde hoogte van 1 m in 2021 (Figuur 40D). Wanneer deze trend zich doorzet gaat dit ten koste van de geïntroduceerde bultvormers en gaat de successie door naar droge heide en bos.

Bij voldoende wateraanvoer, lijkt successie meer de gewenste richting in te slaan naar soorten die kenmerkend zijn voor veenmosbulten en slenken (Figuur 41). Proefvlakken met wateraanvoer hadden in 2020 een hoger aandeel soorten van hoogvenen en vochtige heide zoals Ronde zonnedaauw (*Droseron*), Witte snavelbies (*RhynAlba*) en Gewone dophei (*EricTetr*), terwijl proefvlakken zonder wateraanvoer juist een hogere bedekking hebben van soorten van droge heide zoals Struikhei (*CalVulg*) en Schapenzuring (*RumxAcet*). Droge proefvlakken met stro werden in dit jaar gekenmerkt door opslag van Zachte berk (*BetPubs*). In 2021 was de bedekking van hogere planten voor alle locaties hoger dan in 2020, met name in de proefvlakken met stro. Verder ging de soortensamenstelling van de verschillende beschuttingsbehandelingen meer op elkaar lijken, terwijl de soortensamenstelling van de verschillende locaties juist meer van elkaar ging verschillen. In de proefvlakken met stro werd het aandeel Zachte berk prominenter en het aantal verschillende soorten groter. Het stro lijkt de algehele vestiging en ontwikkeling van de vegetatie te stimuleren. Waarschijnlijk is dit effect een combinatie van versnelde vestiging door beter microklimaat, maar ook door een iets hoger aandeel van nutriënten uit het afbrekende stro. Herintroductie van bultvormers zonder eerst een goede hydrologische uitgangssituatie te creëren is, gezien bovenstaande snelle ontwikkeling van hogere planten, af te raden. Bij een goede hydrologische uitgangssituatie lijkt de uitbreiding van hogere planten langzamer te gaan, met name in de proefvlakken waar bultvormende veenmossen zich sterk uitbreiden. Dit laatste geeft hoop dat de ontwikkeling van bultvormende veenmossen onder natte omstandigheden snel genoeg gaat om de bedekking van hogere planten laag te houden.



Figuur 41. A) Ordinatie-diagrammen van de soortensamenstelling in proefvlakken op zwartveen in 2020 (links) en 2021 (rechts) zoals verklaard door wateraanvoer en verschillende typen beschutting (kaal veen, pollenbuffering door Eenaarig wollegras, stro) en terrein (*Haaksbergerveen*, *Bargerveen* en *Deurnsche Peel*). Soorten die deel uitmaken van de behandeling (bultvormende veenmossen en Eenaarig wollegras, aangegeven in groen, doen niet mee aan de ordinatie). Gevulde cirkels zijn proefvlakken met wateraanvoer en open cirkels zijn proefvlakken zonder wateraanvoer. Proefvlakken in het verlengde van de pijlen hebben een relatief hoog aandeel van de plantensoort of eigenschap. In 2020 werd de eerste ordinatie-as met name bepaald door wateraanvoer en de tweede ordinatie-as door beschuttingsbehandeling en locatie (Tomassen e.a., 2021). In 2021 werd de eerste ordinatie-as zowel door wateraanvoer als beschuttingsbehandeling bepaald, terwijl de tweede ordinatie-as met name bepaald werd door locatie. Let op: de ordinatie van 2021 lijkt erg op die van 2020, maar is gespiegeld: de spiegeling heeft geen invloed op de interpretatie.

Figure 41. A) Ordination diagrams of the species composition in experimental plots on strongly humified peat in 2020 (left) and 2021 (right) as explained by water supply and different types of shelter (bare peat, pollen buffering by *Eriophorum vaginatum*, straw mulch) and terrain (*Haaksbergerveen bog*, *Bargerveen bog* and *Deurnsche Peel bog*). Species that are part of the treatment (hummock-building peat mosses and *Eriophorum vaginatum*, indicated in green, do not participate in the ordination). Filled circles are experimental plots with water supply and open circles are experimental plots without water supply. Experimental plots in the extension of the arrows have a relatively high proportion of the plant species or characteristic. In 2020, the first ordination axis was mainly determined by water supply and the second ordination axis by shelter treatment and location (Tomassen et al., 2021). In 2021, the first axis of ordination was determined by both water supply and shelter treatment, while the second axis of ordination was mainly determined by location. Note that the 2021 ordination is very similar to the 2020 ordination but is mirrored: the mirroring does not affect the interpretation.

3.3.7.6 Samenvattend

Uit onze resultaten blijkt dat succesvolle herintroductie van bultvormers alleen kansrijk is bij goede hydrologische condities in combinatie met beschutting van het microklimaat door stro, analoog aan de methode ontwikkeld in Canada. Herintroductie zonder wateraanvoer is weliswaar mogelijk op de korte termijn, maar op de iets langere termijn af te raden vanwege doorzettende successie richting droge heide of (berken)bos in plaats van de gewenste richting naar hoogveenbult gemeenschappen. Hiermee lijkt de Nederlandse situatie gevoeliger dan de Canadese situatie, mogelijk door de hogere beschikbaarheid van stikstof en fosfor in de Nederlandse venen.

3.3.8 Chemische samenstelling bodemvocht, veenbodem en veenmossen

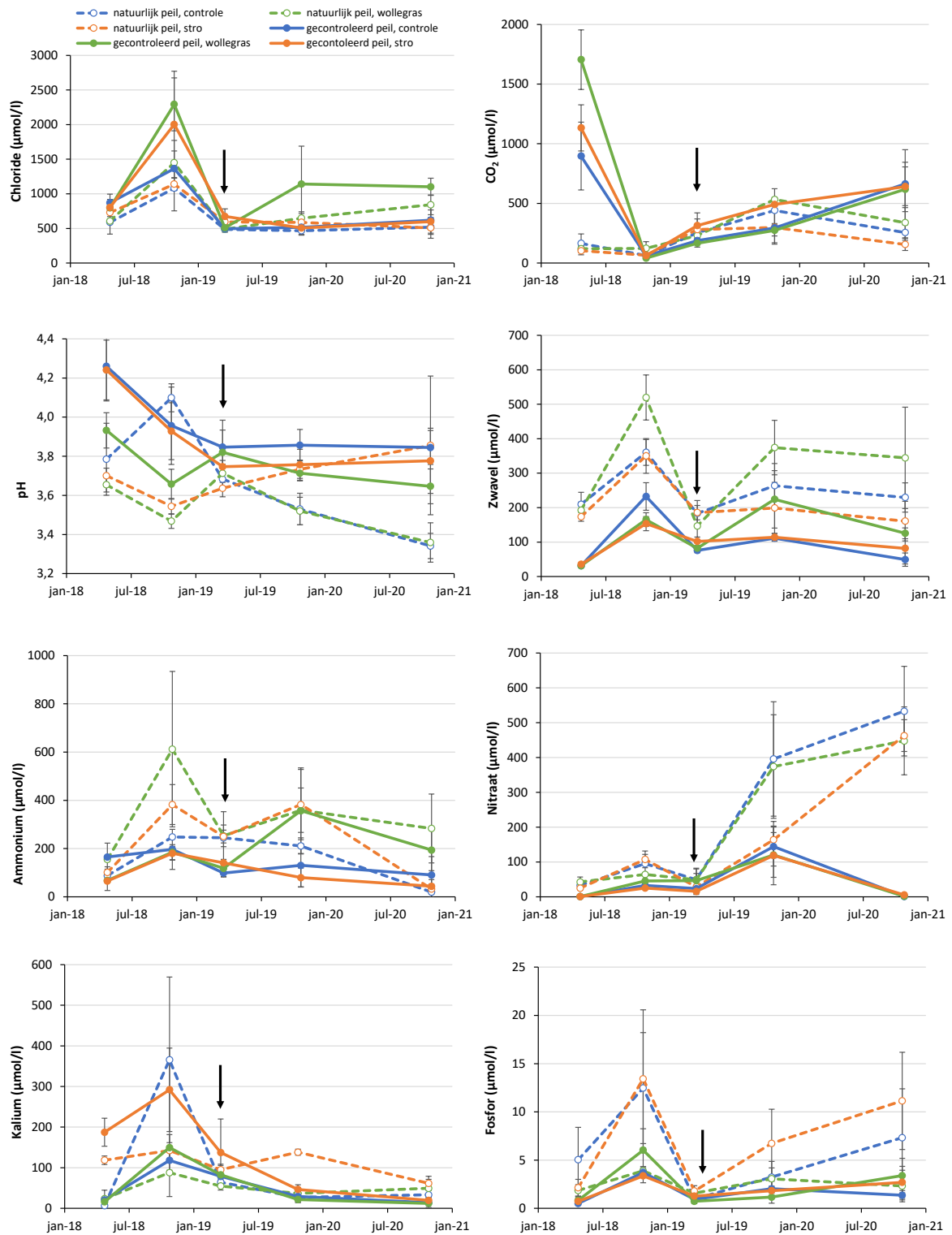
In deze paragraaf worden de analyseresultaten van de chemische analyse van het bodemvocht in de periode 2018 t/m 2021 gepresenteerd. Vanwege de problemen met de aanvoer van water in eerdere jaren werd in 2021 het plas-dras experiment in het Bargerveen beëindigd en geen bodemvocht meer verzameld. De chemische samenstelling van de veenbodem (alleen Deurnsche Peel) en veenmossen is alleen aan de start van het experiment bepaald (nulmeting)

3.3.8.1 Bargerveen

Bij het plas-dras experiment in het Bargerveen werd vijf keer het bodemvocht uit de toplaag van het zwartveen bemonsterd. Door omstandigheden vond de eerste meting pas 2 maanden na de start van het experiment, in juni 2018 plaats. Op dat moment was het waterpeil door de droogte al flink gezakt in de proefvlakken met een natuurlijk peil en plas-dras gebleven in de proefvlakken met een gecontroleerd peil (zie paragraaf 3.3.2). Onder plas-dras condities zijn de kooldioxideconcentraties in het bodemvocht veel hoger (ca. 900-1700 $\mu\text{mol CO}_2/\text{l}$; Figuur 42) dan onder drogere omstandigheden. Doordat de toplaag van het veen veel natter is in het hydrologische compartiment kan het bij de afbraak geproduceerde kooldioxide niet zo eenvoudig ontsnappen naar de atmosfeer. In juli 2018 is de pomp voor het eerst drooggefallen en in oktober 2018 waren als gevolg van de lage waterstanden de CO_2 -concentraties sterk gedaald. In 2019, na herinrichting van het experiment, zijn er problemen met de wateraanvoer gebleven en dit is duidelijk zichtbaar aan de lage CO_2 -concentraties in het najaar van 2019. In de zomer van 2020 is de pomp vervangen en verplaatst, waarmee de wateraanvoer werd hersteld. In het najaar van 2020 zijn de hogere waterstanden in de proefvlakken met wateraanvoer zichtbaar aan de hogere CO_2 -concentraties (Figuur 42), maar deze verschillen zijn niet significant (Tabel 11).

De extreem droge omstandigheden in de zomer van 2018 blijkt ook uit de chemische samenstelling van het bodemvocht. In vergelijking tot het voorjaar zijn als gevolg van de verdamping in het najaar de chlorideconcentraties in het bodemvocht toegenomen in zowel het compartiment met een natuurlijk als gecontroleerd peil (Figuur 42). De sterkere toename van de chlorideconcentratie in het bodemvocht bij een gecontroleerd peil is waarschijnlijk het gevolg van de gestegen chlorideconcentratie in het aanvoerwater in combinatie met een hoge verdamping in de proefvlakken. In 2019 zijn de chlorideconcentraties (en ook de EGV; zie Tabel 1 in Bijlage 5) minder sterk gestegen dan in 2018. Wanneer de concentratie chloride gebruikt wordt als maat voor de vochtvoorziening in het veen, dan lijkt het erop dat de proefvlakken met Eenarig wollegras als gevolg van een hogere evapotranspiratie sterker uitdrogen dan de controle en stro proefvlakken (Figuur 42). Door de relatief hoge sterfte van Eenarig wollegras bij een natuurlijk peil is dit verschil groter bij een gecontroleerd waterpeil. Beschutting heeft ook een significant effect op de chlorideconcentraties in het bodemvocht, dit in tegenstelling tot de aanvoer van water.

De droogte heeft geleid tot verzurende oxidatieprocessen in het veen en daarmee tot een afname van de pH van het bodemvocht (Figuur 42; geen significante verschillen tussen de behandelingen). Daarnaast zal verdroging ook leiden tot een toename van de mineralisatie van organische stof waarbij ook nutriënten vrij kunnen komen. In oktober 2019 zijn de nitraatconcentraties in het bodemvocht bij alle behandelingen gestegen als gevolg van de oxidatie van ammonium. Bij droogte kan zuurstof verder in het veen doordringen en kan ammonium geoxideerd worden tot nitraat (nitrificatie). Bij een natuurlijk peil zijn de nitraatconcentraties in de proefvlakken afgedekt met stro wel minder sterk gestegen dan in de controle proefvlakken of met Eenarig wollegras (Figuur 42). In oktober 2020, na herstel van de pomp, zijn de nitraatconcentraties onder gecontroleerd peil weer afgenomen door reductieprocessen en/of uitspoeling. Bij een natuurlijk peil zijn de nitraatconcentraties nog verder toegenomen, ook in de proefvlakken afgedekt met stro (Figuur 42). Bij wateraanvoer zijn de nitraatconcentraties significant lager dan bij natuurlijke waterstanden ($p < 0.001$).



Figuur 42. pH, chloride-, kooldioxide-, zwavel-, ammonium-, nitraat-, kalium- en fosforconcentratie van het bodemvocht in het plas-dras experiment in het Bargerveen in juni 2018 (2 maanden na start experiment), oktober 2018 (na eerste groeiseizoen), april 2019 (herinrichting experiment; aangegeven met zwarte pijl), oktober 2019 (na eerste groeiseizoen) en oktober 2020 (na tweede groeiseizoen). Er zijn 6 verschillende behandelingen: natuurlijk en gecontroleerd peil bij 3 beschuttingsbehandelingen: controle, Eenarig wollegras en stro. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n=3$).

Figure 42 – previous page. pH, chloride, carbon dioxide, sulphur, ammonium, nitrate, potassium and phosphorus concentrations of the pore water in the 'plas-dras' experiment in the Bargerveen bog in June 2018 (2 months after the start of the experiment), October 2018 (after the first growing season), April 2019 (restart of the experiment; indicated by the black arrow), October 2019 (after the first growing season) and October 2020 (after the second growing season). There are 6 different treatments: natural and controlled water level at 3 sheltering treatments: control, Eriophorum vaginatum and straw mulch. Shown are means \pm standard error ($n=3$).

Tabel 11. Resultaten van de statistische analyse van de chemische samenstelling van het bodemvocht bij de experimenten op plas-dras zwartveen in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Deurnsche peel. Hydrologie = wel of geen wateraanvoer, Beschutting = controle, Eenarig wollegras of stro, Hydrologie x beschutting = interactie tussen hydrologie en beschutting, etc. Uitleg mate van significantie: - = niet significant, * = $P \leq 0,05$, ** = $P \leq 0,01$ en *** = $P \leq 0,001$.

Table 11. Results of the statistical analysis of the chemical composition of the pore water in the experiments on bare peat in the Bargerveen bog, Haaksbergerveen bog and Deurnsche peel bog. Hydrologie = water supply or not, Beschutting = no shelter, Eriophorum vaginatum or straw mulch, Hydrologie x beschutting = interaction between hydrology and shelter, etc. Significant differences: - = not significant, * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$ and *** = $p \leq 0.001$.

Effect	Cl	CO ₂	pH	S	NH ₄	NO ₃	K	P
Bargerveen								
Tijd	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrologie	-	-	-	*	-	***	-	-
Beschutting	*	-	-	*	**	-	*	-
Hydrologie x beschutting	-	-	-	-	-	-	-	-
Tijd x hydrologie	-	-	-	-	-	**	-	-
Tijd x hydrologie x beschutting	-	-	-	-	*	-	-	-
Haaksbergerveen								
Tijd	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrologie	-	**	**	*	-	**	-	*
Beschutting	-	**	-	*	*	-	**	-
Hydrologie x beschutting	-	-	**	**	-	-	-	-
Tijd x hydrologie	-	-	-	-	-	-	-	-
Tijd x hydrologie x beschutting	-	-	-	-	*	-	-	-
Deurnsche Peel								
Tijd	-	-	-	-	-	-	-	-
Hydrologie	-	-	*	**	-	***	-	-
Beschutting	-	-	-	*	***	*	*	-
Hydrologie x beschutting	-	-	-	-	-	*	-	-
Tijd x hydrologie	-	-	-	-	-	-	-	-
Tijd x hydrologie x beschutting	-	-	-	-	-	-	-	-

De droogte zorgt ook voor het vrijkomen van sulfaat (gemeten als zwavel) bij de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen of organisch materiaal in het veen (Figuur 42). De hogere pH en lagere nitraat- en sulfaatconcentraties in de proefvlakken met stro indiceren dat het veen onder het stro minder snel en sterk uitdroogt, zeker in het eerste jaar na aanbrengen van het stro. Beschutting heeft alleen een significant effect op de sulfaatconcentratie ($p < 0.05$), maar niet op de pH en nitraatconcentratie.

Het afdekken van de veenmossen met stro om het microklimaat te verbeteren, resulteert ook in het toedienen van extra nutriënten. In Tabel 12 staan de belangrijkste nutriëntenconcentraties in het stro gegeven. Omgerekend komt de strobehandeling (330 g/m²) neer op een eenmalige extra

stikstofgift van 6,6 kg N/ha, ervan uitgaande dat het stikstof in het stro volledig wordt afgebroken en gemineraliseerd. De extra fosfaatgift komt neer op 2,7 kg P/ha en kaliumgift op 33,1 kg K/ha. De extra nutriënten leveren mogelijk een voordeel op voor de met stro afgedekte veenmossen. Voor de veenmossen die beschut worden door pollen Eenarig wollegras zijn er juist minder nutriënten beschikbaar dan voor de onbeschutte veenmossen, aangezien het Eenarig wollegras ook nutriënten opneemt.

Tabel 12. Gemiddelde nutriëntenconcentraties (C, N, P en K) en nutriënten-ratio's van het geïntroduceerde Wrattig veenmos en stro bij het experiment op plas-dras zwartveen in het Bargerveen. Voor het Bargerveen is Wrattig veenmos uit het nabijgelegen Oosterbos gebruikt. Het veenmos werd verzameld in maart 2019. Voor het stro zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n = 3$) weergegeven.

Table 12. Average nutrient concentrations (C, N, P and K) and nutrient ratios of the introduced *S. papillosum* and straw mulch in the 'plas-dras' experiment in the Bargerveen bog. *S. papillosum* was collected in March 2019 at the nearby Oosterbos bog. Averages \pm standard error ($n = 3$) are shown for the straw mulch.

Herkomst veenmos	Deel	N	C	K	P	N/P	N/K
		%	%	%	%	g/g	g/g
Wrattig veenmos	capitulum	1,0	45,4	0,14	0,05	22,3	7,7
	stengel 1-3 cm	0,8	45,9	0,15	0,04	20,7	5,6
Stro		0,2 \pm 0,0	42,9 \pm 0,2	1,00 \pm 0,01	0,08 \pm 0,01	2,5 \pm 0,2	0,2 \pm 0,0

Zonder wateraanvoer lijkt het erop dat de kalium- en fosforconcentratie in het bodemvocht hoger zijn in de proefvlakken met stro, maar door de grote spreiding zijn de verschillen niet significant (Figuur 42). Zonder wateraanvoer lijkt een trend (niet significant) aanwezig dat de P-concentratie in het bodemvocht lager is in de proefvlakken met Eenarig wollegras, maar gezien de massale sterfte van Eenarig wollegras is dit waarschijnlijk gebaseerd op toeval. Beschutting heeft wel een significant effect op de kaliumconcentraties in het bodemvocht, waarbij met stro de concentraties het hoogste waren.

Van het geïntroduceerde Wrattig veenmos werden de concentraties van de belangrijkste nutriënten in het capitulum en stengel bepaald (Tabel 12). Zoals verwacht zijn de stikstof- en fosforconcentraties iets hoger in het capitulum, de groeipunten van het veenmos, dan in de stengel.

Tabel 13. Chemische samenstelling van het oppervlaktewater dat wordt ingelaten bij de hydrologische behandeling van het plas-dras experiment in het Bargerveen. Het water werd zowel bemonsterd ter hoogte van de inlaat, in de plas zelf en in de gegraven sleuven.

Table 13. Chemical composition of the surface water that is let in during the hydrological treatment of the 'plas-dras' experiment in the Bargerveen bog. The water was sampled at the intake, in the pool itself and in the ditches.

Datum	Locatie	pH	CO ₂	HCO ₃	Turbiditeit	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Mg	P	S
			$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	NTU	$\mu\text{S/cm}$		$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$	$\mu\text{mol/l}$
26-6-2018	inlaat	4,23	56	0	10	61	0,127	0,9	3,5	0,5	249	18,1	289	14	39	1,3	28
4-4-2019	inlaat	4,15	27	0	15	77	0,125	17,1	1,5	2,3	256	23,1	248	21	41	3,7	27
15-10-2020	plas	3,79	132	0	14	118	0,089	0,7	7,1	0,4	438	2,2	491	24	62	2,9	22
15-10-2020	inlaat	3,98	16	0	11	95	0,123	8,7	4,2	1,1	339	20,1	415	22	53	3,4	29
15-10-2020	aanvoersleuf	3,83	9	0	9	80	0,104	0,8	1,6	0,4	314	9,1	386	16	47	1,9	26

De veenmossen in het hydrologische compartiment krijgen extra nutriënten toegevoerd via het inlaatwater. In Tabel 13 wordt de chemische samenstelling van dit water gegeven. Het inlaatwater is zuur (pH < 4,2) en ongebufferd. Het inlaatwater bevat weinig ammonium (ca. 5 $\mu\text{mol/l}$), maar was in april 2019 wel relatief rijk aan nitraat (17 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 13). Het inlaatwater bevat ook relatief veel fosfaat (0,4-2,3 $\mu\text{mol/l}$). De extra fosfaatgift via het inlaatwater kan gunstig zijn voor *Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten*

de groei van de veenmossen. De absolute hoeveelheden nutriënten die via het inlaatwater worden aangevoerd zijn niet bekend, daarvoor is het nodig om het volume van het inlaatwater te weten.

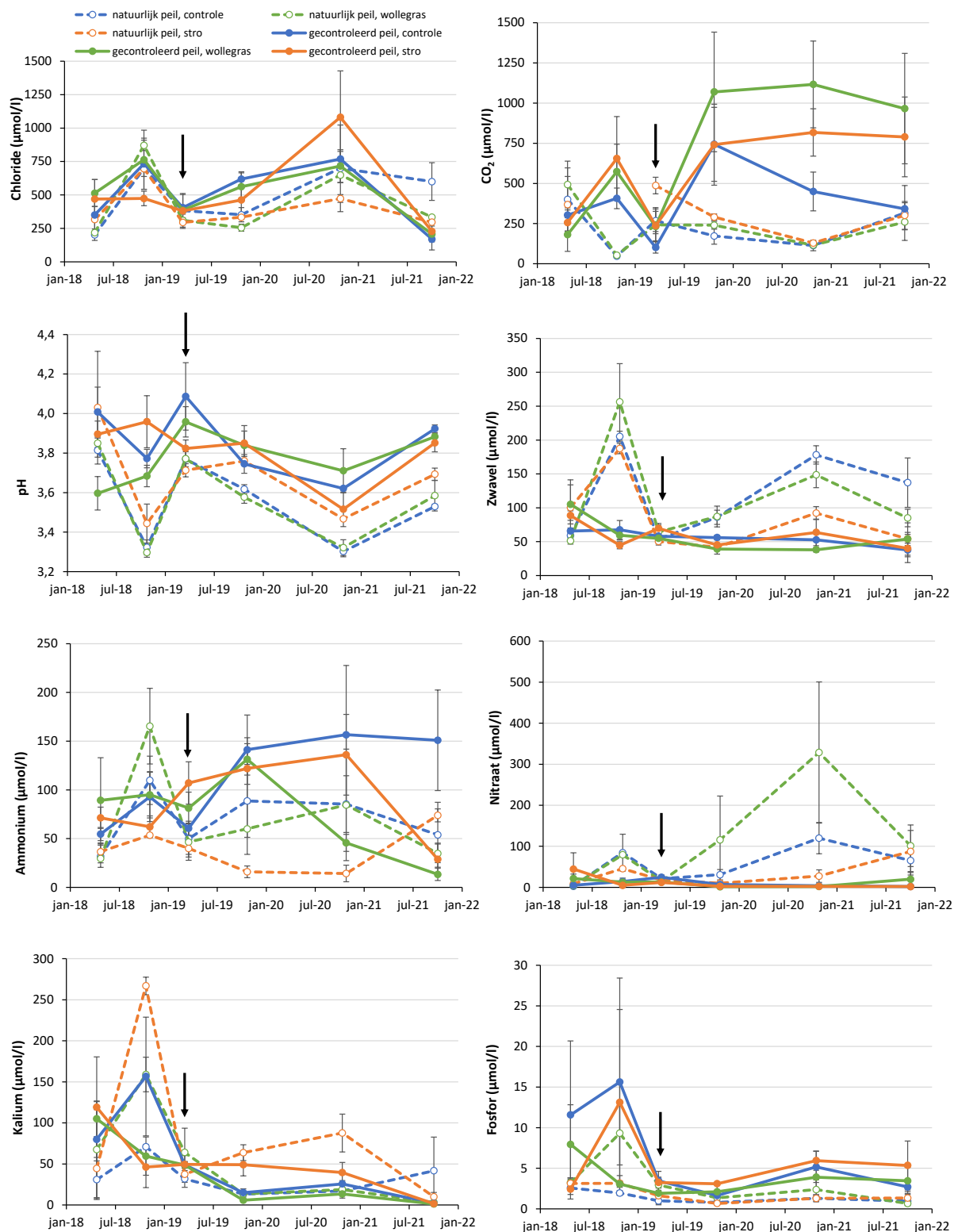
3.3.8.2 Haaksbergerveen

Bij het plas-dras experiment in het Haaksbergerveen heeft de pomp ondanks de droogte redelijk goed gefunctioneerd. De pomp is alleen aan het einde van de zomer van 2019 drooggefallen en in 2021 was er schade aan de pomp waardoor deze tijdelijk niet heeft gefunctioneerd (zie paragraaf 3.3.2). Bij een gecontroleerd peil zijn in het najaar de kooldioxideconcentraties in het bodemvocht significant hoger (Tabel 11) dan bij een natuurlijk peil (Figuur 43). Doordat de toplaag van het veen veel natter is in het hydrologische compartiment kan het bij de afbraak geproduceerde kooldioxide niet zo eenvoudig ontsnappen naar de atmosfeer. In het vroege voorjaar zijn de CO₂-concentraties lager doordat er dan vooral regenwater aanwezig is en bacteriële afbraakprocessen op een lager niveau plaats vinden. Bij een natuurlijk peil zijn de waterstanden op dat moment ook hoger en daarmee ook de CO₂-concentraties redelijk vergelijkbaar.

De extreem droge omstandigheden in 2018 blijkt ook uit de chemische samenstelling van het bodemvocht, waarbij in het najaar de chlorideconcentraties zijn toegenomen (Figuur 43). De relatief hoge chlorideconcentraties onder gecontroleerde omstandigheden zijn het gevolg van een toename van de chlorideconcentraties in het aanvoer water (Tabel 15) en de hoge verdamping in de proefvlakken. De effecten van wateraanvoer en beschutting op de chlorideconcentraties zijn niet significant. De droogte heeft geleid tot verzurende oxidatieprocessen in het veen en daarmee tot een significante afname van de pH van het bodemvocht (Figuur 43). Bij een natuurlijk peil nemen de nitraatconcentraties significant toe als gevolg van de oxidatie van ammonium. Bij droogte kan zuurstof verder in het veen doordringen en kan ammonium geoxideerd worden tot nitraat (nitrificatie). De nitraatconcentraties zijn in de proefvlakken afgedekt met stro lijkt minder sterk te zijn toegenomen dan in de controle proefvlakken of met Eenarig wollegras (Figuur 43). Dit is een aanwijzing dat afdekken met stro zorgt voor een minder sterke uitdroging van het veen bij een natuurlijk waterpeil.

De droogte heeft, vooral in 2018, geresulteerd in het vrijkomen van sulfaat (gemeten als zwavel) door de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in het veen (Figuur 43). In 2019 zijn de sulfaatconcentraties minder sterk toegenomen, maar in 2020 zijn de concentraties wel weer sterker gestegen. Afdekken met stro zorgt ook voor minder oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in het veen (significant effect beschutting). Bij een natuurlijk peil indiceren de hogere pH en lagere nitraat- en sulfaatconcentraties in de proefvlakken met stro dat het veen onder het stro minder sterk uitdroogt, zeker in oktober 2019.

In 2021 is er gedurende het groeiseizoen, voor het eerst sinds de start van het experiment, een normale hoeveelheid neerslag gevallen. Hierdoor zijn de waterstanden in het veen bij een natuurlijk peilverloop in 2021 minder ver uitgezakt dan in andere jaren (zie paragraaf 3.3.2). In vergelijking tot 2020 zijn de chlorideconcentraties in zowel het aanvoerwater (Tabel 15) als het bodemvocht (Figuur 43) sterk afgenomen door verdunning met regenwater. De nattere omstandigheden in 2021 blijkt ook uit een toename van de pH en een afname van de nitraat- en sulfaatconcentraties (Figuur 43, vooral bij een natuurlijk peil). Onder natte omstandigheden kan zuurstof minder ver doordringen in het veen en worden in het veen nitraat en sulfaat gereduceerd, een proces waarbij zuur wordt verbruikt en waardoor de pH stijgt. Zoals verwacht is de pH het laagste en zijn de nitraat- en sulfaatconcentraties het hoogste in de proefvlakken met een natuurlijk peil (Figuur 43). Net als in eerdere jaren lijkt het aanbrengen van stro ook na 3 jaar een gunstig effect te hebben op de vochtigheid van het veen bij een natuurlijk peil. Met stro lijkt de pH van het bodemvocht hoger en de sulfaatconcentratie lager dan bij de controle of met Eenarig wollegras. De toepassing van stro lijkt geen effect meer te hebben op de kaliumconcentraties in het bodemvocht (Figuur 43).



Figuur 43. pH, chloride, kooldioxide-, zwavel-, ammonium-, nitraat-, kalium- en fosforconcentratie van het bodemvocht in het plas-dras experiment in het Haaksbergerveen in april 2018 (start experiment), oktober 2018 (na eerste groeiseizoen), maart 2019 (herinrichting experiment; aangegeven met de zwarte pijl), oktober 2019 (na eerste groeiseizoen), oktober 2020 (na tweede groeiseizoen) en oktober 2021 (na derde groeiseizoen). Er zijn 6 verschillende behandelingen: natuurlijk en gecontroleerd waterpeil bij 3 beschuttingsbehandelingen: controle, Eenarig wollegras en stro. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n=3$).

Figure 43 - previous page. pH, chloride, carbon dioxide, sulphur, ammonium, nitrate, potassium and phosphorus concentrations of the pore water in the 'plas-dras' experiment in the Haaksbergerveen bog in April 2018 (start of experiment), October 2018 (after first growing season), March 2019 (restart of experiment; indicated by the black arrow), October 2019 (after first growing season), October 2020 (after second growing season) and October 2021 (after third growing season). There are 6 different treatments: natural and controlled water level at 3 sheltering treatments: control, Eriophorum vaginatum as nurse plants and straw mulch. Shown are means \pm standard error ($n=3$).

Opvallend hierbij is de geleidelijke afname van de CO₂-concentratie in de controleproefvlakken met een gecontroleerd peil (Figuur 43). De reden hiervoor is niet duidelijk, maar heeft mogelijk te maken met een geringe productie van vers organisch materiaal in vergelijking tot de proefvlakken met Eenarig wollegras en stro. De hogere beschikbaarheid van ammonium in het bodemvocht van de controleproefvlakken is mogelijk een indicatie voor een lagere productie van de vegetatie (Figuur 43; beschutting heeft significant effect).

Tabel 14. Gemiddelde nutriëntenconcentraties (C, N, P en K) en nutriënten-ratio's van het geïntroduceerde Wrattig veenmos en stro bij het experiment op plas-dras zwartveen in het Haaksbergerveen. Voor het Haaksbergerveen is lokaal verzameld Wrattig veenmos gebruikt. Het veenmos werd verzameld in maart 2019. Voor het stro zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n = 3$) weergegeven.

Table 14. Mean nutrient concentrations (C, N, P and K) and nutrient ratios of the introduced *S. papillosum* and straw mulch in the 'plas-dras' experiment in the Haaksbergerveen bog. For the Haaksbergerveen bog locally collected *S. papillosum* was used, which was collected in March 2019. Averages \pm standard error ($n = 3$) are shown for the straw mulch.

Herkomst veenmos	N	C	K	P	N/P	N/K
	%	%	%	%	g/g	g/g
Wrattig veenmos	1,1 \pm 0,1	46,0 \pm 0,3	0,16 \pm 0,00	0,05 \pm 0,02	23,5 \pm 6,9	7,2 \pm 0,6
Stro	0,2 \pm 0,0	42,9 \pm 0,2	1,00 \pm 0,01	0,08 \pm 0,01	2,5 \pm 0,2	0,2 \pm 0,0

Van het geïntroduceerde Wrattig veenmos werden de concentraties van de belangrijkste nutriënten in het capitulum (bovenste 1 cm) bepaald (Tabel 14).

Het afdekken van de veenmossen met stro om het microklimaat te verbeteren, resulteert ook in het toedienen van extra nutriënten (zie vorige paragraaf). Bij de strobehandelingen leken de kaliumconcentraties in het bodemvocht in de eerste jaren wat hoger te zijn (Figuur 43). Eenarig wollegras vertoonde de sterkste groei onder gecontroleerde waterstanden en de nutriëntenconcentraties (ammonium, kalium en fosfor) lijken dan ook het laagste te zijn.

De veenmossen in het hydrologische compartiment krijgen extra nutriënten toegevoerd via het inlaatwater. In Tabel 15 staat de chemische samenstelling van dit water gegeven. Het inlaatwater is zuur (pH 4,0-4,5) en ongebufferd. In het najaar van 2018 en in 2019 bevatte het inlaatwater relatief veel ammonium (ca. 35-86 $\mu\text{mol/l}$). Voor de droogte van 2018 en in 2020 en 2021 was de ammoniumconcentratie veel lager ($< 5 \mu\text{mol/l}$; Tabel 15). Door de droogte is er door een verhoogde afbraak van het veen veel ammonium vrijgekomen. De fosfaatconcentraties in het inlaatwater zijn licht verhoogd (ca. 0,5-1,0 $\mu\text{mol/l}$). De extra fosfaatgift via het inlaatwater kan gunstig zijn voor de groei van de veenmossen omdat veenmosgroei in Nederland vaak wordt gelimiteerd door fosfor (Limpens e.a., 2004). De absolute hoeveelheden nutriënten die via het inlaatwater worden aangevoerd zijn niet bekend, daarvoor is het nodig om het volume van het inlaatwater te weten.

Tabel 15. Chemische samenstelling van het oppervlaktewater dat wordt ingelaten bij de hydrologische behandeling van het plas-dras experiment in het Haaksbergerveen. Het water werd zowel bemonsterd ter hoogte van de inlaat, in de plas zelf en in de gegraven sleuven.

Table 15. Chemical composition of the surface water that is let in during the hydrological treatment of the 'plas-dras' experiment in the Haaksbergerveen bog. The water was sampled at the intake, in the pool itself and in the ditches.

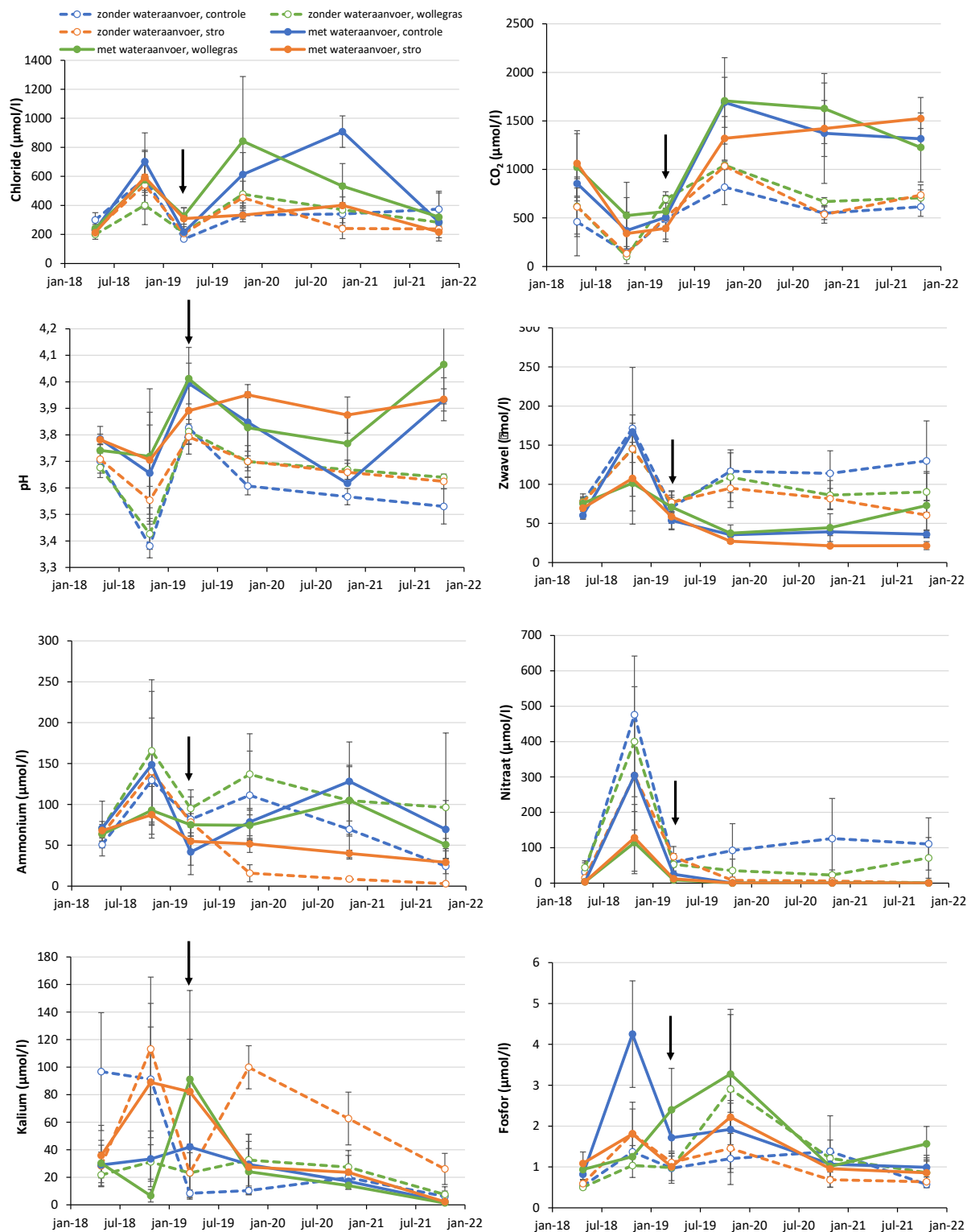
Datum	Locatie	pH	CO ₂	HCO ₃	Turbiditeit	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Al	Ca	Mg	P	S
			μmol/l	μmol/l	NTU	μS/cm		μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
12-4-2018	inlaat	4,26	72	1	.	53	0,124	1,1	5,2	1,0	156	17,3	146	6,3	15,5	20,1	0,8	18,3
8-10-2018	inlaat	4,20	545	4	13	75	0,164	2,7	35,3	0,7	290	7,6	393	11,5	49,4	55,4	1,1	37,4
8-10-2018	plas	4,20	747	5	70	75	0,425	4,4	54,3	0,5	207	11,7	302	14,9	47,4	59,5	1,2	36,2
25-3-2019	inlaat	4,44	115	1	28	59	0,110	3,8	36,0	1,1	173	12,3	95	7,1	18,8	22,1	.	31,3
28-10-2019	plas	4,53	1234	18	47	79	0,176	1,0	85,9	1,1	254	22,6	342	13,3	46,4	47,5	2,1	36,5
5-10-2020	plas	3,96	744	3	13	83	0,094	2,4	4,3	0,4	245	10,9	385	8,7	46,0	59,0	0,8	33,2
5-10-2020	inlaat	4,01	894	4	14	89	0,111	2,2	5,8	0,5	242	29,1	454	10,5	45,4	53,9	1,4	36,1
5-10-2020	sleuf waterveenmos	3,90	129	0	48	88	0,112	2,0	9,1	0,4	247	21,2	444	10,6	42,2	54,0	0,9	34,6
5-10-2020	einde sleuf	4,01	62	0	14	73	0,106	2,2	2,0	0,3	201	14,5	342	16,0	23,6	42,2	0,7	27,7
5-10-2021	inlaat	4,29	301	2	15	70	0,356	0,9	0,6	0,0	222	1,5	123	11,9	35,7	44,5	0,4	24,0

3.3.8.3 Deurnsche Peel

In de Deurnsche Peel heeft de pomp zonder grote problemen gefunctioneerd (zie paragraaf 3.3.2). De watervoorraad in de aangrenzende veenput is, in tegenstelling tot het Bargerveen en mindere mate ook Bargerveen, voldoende groot om wateraanvoer in droge perioden te garanderen. Bij een gecontroleerd peil zijn in het najaar van 2019 en 2020 de kooldioxideconcentraties in het bodemvocht hoger dan bij een natuurlijk peil (Figuur 44). Doordat de toplaag van het veen veel natter is in het hydrologische compartiment kan het bij de afbraak geproduceerde kooldioxide niet zo eenvoudig ontsnappen naar de atmosfeer. De effecten van beschutting en wateraanvoer op de CO₂-concentraties zijn vanwege de grote spreiding niet significant (Tabel 11).

De extreem droge omstandigheden in 2018 blijkt ook uit de chemische samenstelling van het bodemvocht, waarbij in het najaar de chlorideconcentraties zijn toegenomen (Figuur 44). De relatief hoge chlorideconcentraties onder gecontroleerde omstandigheden zijn het gevolg van een toename van de chlorideconcentraties in het aanvoer water (Tabel 17) en de hoge verdamping in de proefvlakken. De droogte heeft geleid tot verzurende oxidatieprocessen in het veen en daarmee tot een significante afname van de pH van het bodemvocht (Figuur 44). Bij een natuurlijk peil zijn in 2018 de nitraatconcentraties significant ($P < 0,001$) toegenomen als gevolg van de oxidatie van ammonium. Bij droogte kan zuurstof verder in het veen doordringen en kan ammonium geoxideerd worden tot nitraat (nitrificatie). De nitraatconcentraties zijn in de proefvlakken afgedekt met stro minder sterk toegenomen dan in de controle proefvlakken of met Eenarig wollegras (Figuur 44). Dit is een aanwijzing dat afdekken met stro zorgt voor een minder sterke uitdroging van het veen bij een natuurlijk waterpeil (beschutting significant effect op nitraat). De droogte heeft, vooral in 2018, geresulteerd in het vrijkomen van sulfaat (gemeten als zwavel) door de oxidatie van gereduceerde zwavelverbindingen in het veen (Figuur 43). Bij een natuurlijk peil indiceren de hogere pH en lagere nitraat- en sulfaatconcentraties in de proefvlakken met stro dat het veen onder het stro minder sterk uitdroogt.

In 2021 zijn zonder wateraanvoer de waterstanden het veen minder ver uitgezakt dan in andere jaren. Door verdunning met regenwater zijn in vergelijking tot 2020 de chlorideconcentraties in zowel het aanvoerwater (Tabel 17) als het bodemvocht bij een gecontroleerd peil (Figuur 44) afgenomen. Bij een natuurlijk peil zijn de chlorideconcentraties in het bodemvocht vergelijkbaar met 2020 (Figuur 44).



Figuur 44. pH, chloride-, kooldioxide-, zwavel-, ammonium-, nitraat-, kalium- en fosforconcentratie van het bodemvocht in het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel in april 2018 (start experiment), oktober 2018 (na eerste groeiseizoen), maart 2019 (herinrichting experiment; aangegeven met de zwarte pijl), oktober 2019 (na eerste groeiseizoen), oktober 2020 (na tweede groeiseizoen) en oktober 2021 (na derde groeiseizoen). Er zijn 6 verschillende behandelingen: natuurlijk en gecontroleerd waterpeil bij 3 beschuttingsbehandelingen: controle, Eenrig wollegras en stro. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n=3$).

Figure 44. pH, chloride, carbon dioxide, sulphur, ammonium, nitrate, potassium and phosphorus concentrations of the pore water in the 'plas-dras' experiment at the *Deurnsche Peel bog* in April 2018 (start of experiment), October 2018 (after first growing season), March 2019 (restart of experiment; indicated by the black arrow), October 2019 (after first growing season), October 2020 (after second growing season) and October 2021 (after third growing season). There are 6 different treatments: natural and controlled water level at 3 sheltering treatments: control, nurse plants of *E. vaginatum* and straw mulch. Shown are means \pm standard error ($n=3$).

Het significante effect van de toepassing van stro op de kaliumconcentraties in het bodemvocht neemt geleidelijk af, doordat er in de loop van de tijd minder kalium vrijkomt bij de afbraak van het stro (Figuur 44).

Het afdekken van de veenmossen met stro om het microklimaat te verbeteren, resulteert ook in het toedienen van extra nutriënten (zie paragraaf over het experiment in het Bargerveen). In het bodemvocht zijn de effecten van de strobehandeling deels terug te meten. In de met stro afgedekte proefvlakken zijn de kaliumconcentraties inderdaad significant hoger (Figuur 44). De strobehandeling leidt niet tot hogere fosfaat- en ammoniumconcentraties in het bodemvocht. In de behandelingen met Eenarig wollegras lijken de nutriëntenconcentraties niet lager te zijn dan in de controle- en strobehandeling (Figuur 44).

Van de geïntroduceerde veenmossen werden de concentraties van de belangrijkste nutriënten bepaald (Tabel 16). Zoals verwacht zijn de stikstof- en fosforconcentraties meestal hoger in het capitulum, de groeipunten van het veenmos, dan in de stengel. In vergelijking tot de bultvormers Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos uit het Oosterbos valt op dat de kaliumconcentratie in het Waterveenmos uit de Deurnsche Peel hoger is (Tabel 16).

Tabel 16. Gemiddelde nutriëntenconcentraties (C, N, P en K) en nutriënten-ratio's van het geïntroduceerde veenmos en stro bij het plas-dras experiment in de *Deurnsche Peel*. De veenmossen zijn afkomstig van het Oosterbos (Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos) en de *Deurnsche Peel* (Waterveenmos). De veenmossen werden verzameld in maart 2019. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n = 3$), uitgezonderd Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos ($n=1$).

Table 16. Mean nutrient concentrations (C, N, P and K) and nutrient ratios of the introduced peat mosses and straw mulch in the 'plas-dras' experiment in the *Deurnsche Peel bog*. The peat mosses originated from the Oosterbos bos (*S. magellanicum* and *S. papillosum*) and the *Deurnsche Peel* (*S. cuspidatum*). The peat mosses were collected in March 2019. Shown are means \pm standard error ($n = 3$), except for *S. magellanicum* and *S. papillosum* ($n=1$).

Soort	Deel	N	C	K	P	N/P	N/K
		%	%	%	%	g/g	g/g
Hoogveen-veenmos	capitulum	0,9	45,6	0,14	0,04	26,4	6,8
	stengel 1-3 cm	1,0	45,4	0,18	0,03	28,9	5,3
Wrattig veenmos	capitulum	1,0	45,4	0,14	0,05	22,3	7,7
	stengel 1-3 cm	0,8	45,9	0,15	0,04	20,7	5,6
Waterveenmos	capitulum	1,0 \pm 0,0	45,1 \pm 0,03	0,32 \pm 0,01	0,04 \pm 0,00	27,5 \pm 0,6	3,2 \pm 0,2
	stengel 1-3 cm	0,8 \pm 0,1	45,0 \pm 0,4	0,42 \pm 0,02	0,03 \pm 0,00	30,3 \pm 0,6	1,9 \pm 0,1
Stro		0,2 \pm 0,0	42,9 \pm 0,2	1,00 \pm 0,01	0,08 \pm 0,01	2,5 \pm 0,2	0,2 \pm 0,0

De veenmossen in het hydrologische compartiment krijgen extra nutriënten toegevoerd via het inlaatwater. In Tabel 17 staat de chemische samenstelling van dit water gegeven. Het inlaatwater is zuur (pH 4,2-4,4) en ongebufferd. Het inlaatwater is verder relatief rijk aan ammonium (14-85 $\mu\text{mol/l}$), maar wel fosfaatarm (0-0,5 $\mu\text{mol/l}$). De extra stikstofgift via het inlaatwater kan ongunstig zijn voor de groei van de veenmossen, zeker in de Deurnsche Peel waar de (historische)

atmosferische stikstofdepositie hoog is. De hogere natrium- en chlorideconcentraties in het najaar van 2018, 2019 en 2020 zijn het gevolg van de droogte.

Tabel 17. Chemische samenstelling van het oppervlaktewater dat wordt ingelaten bij de hydrologische behandeling van het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel. Het water werd bemonsterd uit de veenput, ter hoogte van de inlaat en in de gegraven sleuf.

Table 17. Chemical composition of surface water that is fed into the hydrological treatment of the 'plas-dras' experiment at the Deurnsche Peel bog. The water was sampled from the peat pit, nearby the inlet and from the ditch dug.

Datum	Locatie	pH	CO ₂	HCO ₃	Turbiditeit	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Mg	P	S
			μmol/l	μmol/l				NTU	μS/cm	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
9-11-2017	veenput	4,36	59	1	8	48	0,111	5,8	13,8	0,0	176	18	150	27,6	50,5	0,5	34
24-4-2018	inlaat	4,36	69	1		47	0,724	5,2	59,3	0,5	152	17	140	21,8	38,3	1,0	33
25-10-2018	veenput	4,22	80	1	62	68	0,163	11,5	27,1	0,0	252	8	248	26,0	48,8	0,7	45
19-3-20019	veenput	4,44	31	0	8	61	0,099	7,1	85,1	0,3	182	8	73	21,1	30,9	0,3	48
24-10-2019	inlaat	4,37	78	1	20	68	0,103	2,2	24,5	0,0	248	10	231	25,1	44,8	3,5	45
24-10-2019	veenput	4,32	28	0	11	68	0,095	2,3	23,8	0,1	247	9	234	26,1	45,3	1,4	47
28-10-2020	veenput	4,26	109	1	11	73	0,108	3,1	34,6	0,5	219	12	244	20,4	37,8	0,3	37
28-10-2020	inlaat	4,33	77	1	11	58	0,089	2,3	28,3	0,4	170	11	188	12,6	28,0	0,3	27
28-10-2020	eind sleuf	3,94	59	0	17	88	0,194	7,5	34,2	0,6	217	11	241	16,8	43,0	0,3	34
21-10-2021	inlaat	4,15	18	0	15	52	0,106	2,1	22,8	0,3	188	2	155	12,4	30,5	0,4	31

In maart 2019 werd de chemische samenstelling van de vaste veenbodem in ieder proefvlak bepaald. Het zwartveen is niet sterk veraard (ca. 99% organisch materiaal) en was in maart 2019 redelijk vochtig (vochtpercentage ca. 85%), waarbij er geen duidelijk verschil is tussen het compartiment met en zonder wateraanvoer (pomp stond uit; Tabel 18). Opvallend is dat in de toplaag van veen dat afgedekt is met stro, de kaliumconcentratie sterk toegenomen is. Het stro is relatief rijk aan kalium en het uit het stro vrijgekomen kalium is meetbaar in de toplaag van het veen. Bij de herinrichting van het experiment in 2019 is hiermee rekening gehouden door de beschuttingsbehandelingen opnieuw te verdelen over de proefvlakken.

Tabel 18. Chemische samenstelling van de toplaag van de veenbodem (0-10 cm; n = 3) in het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel. Veenbodemmonsters werden verzameld in mei 2018 (2 maanden na start experiment) en in maart 2019 bij de herinrichting van het experiment. De aangegeven beschutting van een proefvlak bij de bemonstering in 2019 betreft de beschutting van het proefvlak voor de herinrichting. Hydrologie: natuurlijk is zonder aanvoer van water en gecontroleerd is met wateraanvoer.

Table 18. Chemical composition of the top layer of the peat soil (0-10 cm; n = 3) in the 'plas-dras' experiment at the Deurnsche Peel bog. Peat soil samples were collected in May 2018 (2 months after the start of the experiment) and in March 2019 when the experiment was restarted. The indicated shelter of an experimental plot at the sampling in 2019 concerns the shelter of the plot before the restart. Hydrology: natural is without water supply and controlled is with water supply.

Datum	Hydrologie	Beschutting	Vocht	Org. Stof	Soortelijke massa	N	C	Ca-t	K-t	Mg-t	P-t	S-t	NO ₃ -z	NH ₄ -z	P-z
			%	%	g DW/l bodem			%	%	μmol/l FW	μmol/l FW	μmol/l FW	μmol/l FW	μmol/l FW	μmol/l FW
22-5-2018	natuurlijk	controle	82,8	98,8	161	1,0	52,3	5680	35	7115	692	8427			
22-5-2018	natuurlijk	E. wollegras	82,4	99,3	160	1,0	52,7	5075	25	6360	542	7838			
22-5-2018	natuurlijk	stro	82,8	98,9	155	1,0	52,3	4692	139	6079	569	7136			
22-5-2018	gecontroleerd	controle	84,2	98,9	146	1,0	52,5	4325	35	4908	707	7559			
22-5-2018	gecontroleerd	E. wollegras	84,3	98,8	140	0,9	52,9	4810	15	6071	480	6559			
22-5-2018	gecontroleerd	stro	85,8	99,1	135	0,9	52,3	4727	320	6171	557	6281			
19-3-2019	natuurlijk	controle	85,5	98,7	150	0,9	52,5	3171	209	5215	545	5087	47	516	4,4
19-3-2019	natuurlijk	E. wollegras	85,0	99,0	152	0,9	53,6	2899	226	4957	481	5415	45	879	1,6
19-3-2019	natuurlijk	stro	85,2	98,7	154	0,9	53,1	3531	476	5335	534	5405	40	550	2,6
19-3-2019	gecontroleerd	controle	84,5	98,7	160	1,1	51,8	3425	290	4899	626	6790	31	410	5,4
19-3-2019	gecontroleerd	E. wollegras	85,4	98,8	147	0,9	52,9	3443	258	5360	561	5449	37	473	17,3
19-3-2019	gecontroleerd	stro	86,2	98,6	148	0,9	52,7	3616	363	5434	522	5588	32	409	14,2

Samenvattend

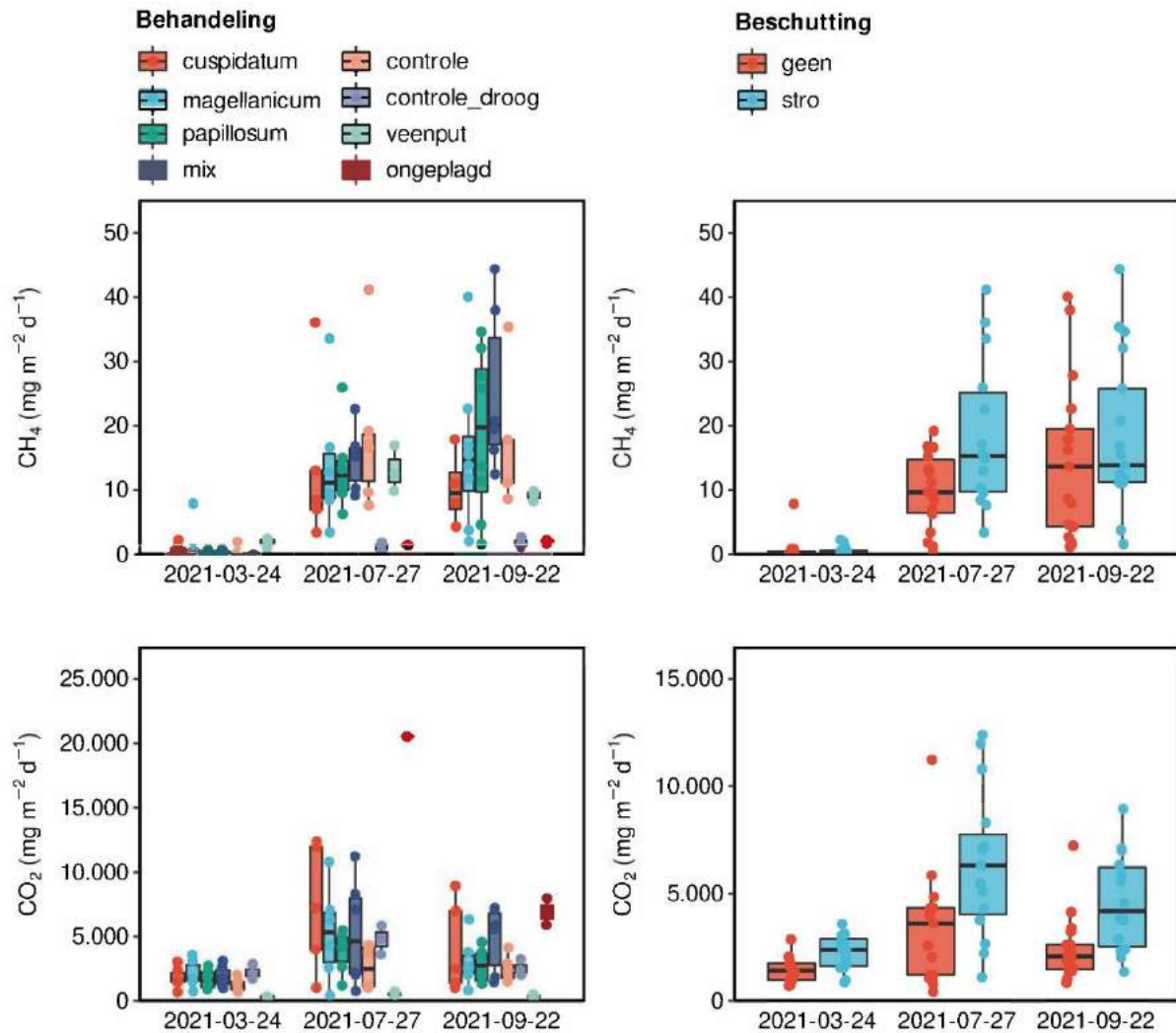
Onder plas-dras omstandigheden zijn de CO₂-concentraties in het bodemvocht hoger dan onder droge omstandigheden, wanneer het CO₂ makkelijker ontsnapt naar de atmosfeer. De hoogste CO₂-concentraties werden gemeten onder plas-dras omstandigheden in de Deurnsche Peel. Dit komt goed overeen met de stabiliteit van de plas-dras omstandigheden. Droogte leidt tot een toename van de nitraat- en sulfaatconcentraties in het bodemvocht als gevolg van de oxidatie van ammonium en gereduceerde zwavelverbindingen in het veen. Het positieve effect van stro op het microklimaat is ook zichtbaar aan de, in eerste instantie, lagere nitraat- en sulfaatconcentraties in het bodemvocht. Bij de afbraak van het stro komt relatief veel kalium vrij en dit resulteert in een (lichte) toename van de kaliumconcentraties in het bodemvocht.

3.3.9 Eerste metingen fluxen broeikasgassen

Bij het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel werden in 2021 op drie tijdstippen (maart, juli en september 2021) enkele eerste metingen aan de diffuse fluxen van de broeikasgassen CO₂ en methaan (CH₄) verricht. De gasmetingen werden beperkt tot de controle en stro behandelingen in het compartiment met wateraanvoer en tot de subproefvlakken waarbij veenmosfragmenten zijn geïntroduceerd. In Figuur 45 zijn boxplots van de fluxen van CO₂ als methaan in het donker gegeven.

De fluxen van methaan neemt toe in de loop van het seizoen, waarbij de hoogste fluxen werden gemeten in september 2021 (Figuur 45). In de nazomer is de temperatuur het hoogste en daarmee ook de activiteit van methaan producerende, methanogene, bacteriën. De methaanflux lijkt met stro iets hoger te zijn dan in de controle zonder stro, maar de verschillen zijn niet significant. Mogelijk speelt de aanvoer van vers, eenvoudig afbreekbaar organisch materiaal hierbij een rol en een hogere nutriëntenbeschikbaarheid vanuit het stro. De methaanfluxen lijken ook beïnvloed te worden door de veenmossoort, waarbij de laagste fluxen gemeten zijn bij *S. cuspidatum* en de hoogste bij de mix-behandeling (Figuur 45). Vanwege de grote spreiding verschillen de methaanfluxen niet tussen de verschillende veenmossoorten. De methaanflux onder droge omstandigheden, zoals de controle in het compartiment zonder wateraanvoer en de ongeplagde vegetatie, is zoals verwacht laag (Figuur 45). Bij lage waterstanden dringt zuurstof in het veen door en onder aerobe omstandigheden wordt er geen methaan geproduceerd. Vanuit de waterbodem van de veenput lijkt de flux van methaan in het vroege voorjaar iets hoger dan vanuit de proefvlakken met wateraanvoer. In juli is de flux vergelijkbaar en in september juist iets lager dan vanuit de proefvlakken met de veenmossen. In 2015 werd in de Mariapeel en Deurnsche Peel de emissie van CH₄ uit een drietal veenplassen gemeten met bubble traps (van Duinen e.a., 2015). Tussen mei en november werd er een flux van maximaal ca. 2500 mg CH₄/m² gemeten en dit komt over deze periode uit op gemiddeld 13,7 mg CH₄/m²/dag. In juli 2021 werd er gemiddeld een flux van 13,1 mg CH₄/m²/dag en dit ligt in dezelfde orde van grootte.

Ook de totale respiratie van de vegetatie (CO₂-flux) neemt toe in de loop van het groeiseizoen, maar piekt in tegenstelling tot CH₄ in juli 2021 (Figuur 45). De CO₂-fluxen zijn met stro hoger dan in de controle (Figuur 45). In september 2021 is de totale respiratiesnelheid met stro ook significant hoger dan in de controle zonder stro ($F = 13,221$; $p = 0,002$; 2-weg ANOVA). Belangrijkste verklaring voor dit verschil is het verschil in veenmosbedekking, waarbij in de subproefvlakken met stro de veenmosbedekking fors hoger is dan zonder stro (Figuur 35). In het donker wordt niet alleen de CO₂-flux uit het veen gemeten, maar ook de respiratie door de (veenmos)vegetatie. Mogelijk speelt de aanvoer van vers, eenvoudig afbreekbaar organisch materiaal hierbij ook een rol, evenals een hogere nutriëntenbeschikbaarheid vanuit het stro. De CO₂-fluxen lijken ook te verschillen tussen de veenmossoorten, maar deze verschillen zijn niet significant.



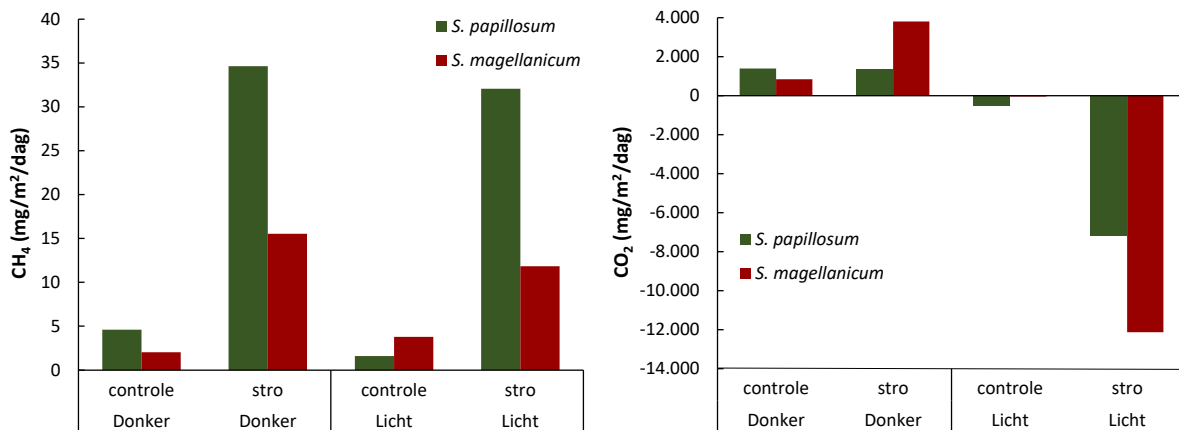
Figuur 45. Boxplots van de gemeten fluxen (in $\text{mg}/\text{m}^2/\text{dag}$; donker meting) van methaan (CH_4 ; boven) en kooldioxide (CO_2 ; onder) van de verschillende veenmossen/vegetatie (links) of beschuttingsbehandeling (controle en stro; rechts) in het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel. Gasmetingen werden alleen uitgevoerd in de subproefvlakken met wateraanvoer en waarin veenmosfragmenten werden aangebracht. Controle = controle in compartiment met wateraanvoer, geen veenmos en beschutting; controle_droog = controle in compartiment zonder wateraanvoer, geen veenmos en beschutting; veenput = veenput waaruit het water voor het experiment wordt opgepompt en ongeplagd = ongeplagde vegetatie. Fluxen werden gemeten in maart, juli en september 2021.

Figure 45. Boxplots of the measured fluxes (in $\text{mg}/\text{m}^2/\text{day}$; dark measurement) of methane (CH_4 ; top) and carbon dioxide (CO_2 ; bottom) from different peat mosses/vegetation (left) or different shelter treatments (control and straw mulch; right) of the 'plas-dras' experiment in the Deurnsche Peel bog. Gas measurements were only conducted in the sub-trials with water supply and in which peat moss fragments were introduced. Control = control in compartment with water supply, no peat moss and shelter; control_droog = control in compartment without water supply, no peat moss and shelter; veenput = peat pit from which the water for the experiment is pumped and ongeplagd = initial vegetation. Fluxes were measured in March, July and September 2021.

De CO_2 -flux vanuit de controle in het compartiment zonder wateraanvoer is vergelijkbaar met de flux vanuit het compartiment met wateraanvoer. De respiratiesnelheid van de ongeplagde vegetatie is wel duidelijk hoger en piekt in juli 2021 (Figuur 45). Het CO_2 zal hier slechts deels afkomstig zijn vanuit het veen, maar vooral vanuit respiratie door de aanwezige vegetatie.

In aanvulling op de donkermetingen werden eenmalig in september 2021 ook enkele lichtmetingen uitgevoerd in het compartiment met wateraanvoer (2 metingen in controle en 2 metingen in strobehandeling). De fluxen van CH₄ verschillen zoals verwacht niet sterk tussen de metingen in donker en licht (Figuur 46), waarbij met stro de flux weer hoger is dan in de controle. De CO₂-flux in het licht is veel lager dan in het donker, aangezien de veenmosvegetatie dan CO₂ opneemt voor de fotosynthese. Dit resulteert in een afname van de CO₂-concentratie in de fluxkamer en daarmee tot een negatieve flux (Figuur 46). De opname van CO₂ is veel hoger in het proefvlak met stro dan in de controle en dit is een weerspiegeling van de bedekking van *S. papillosum* en *S. magellanicum*. Deze is veel lager in de controlebehandeling. Met stro werd er op een zonnige dag in september netto ca. - 7.000 tot -12.000 mg CO₂/m²/dag vastgelegd door de vegetatie.

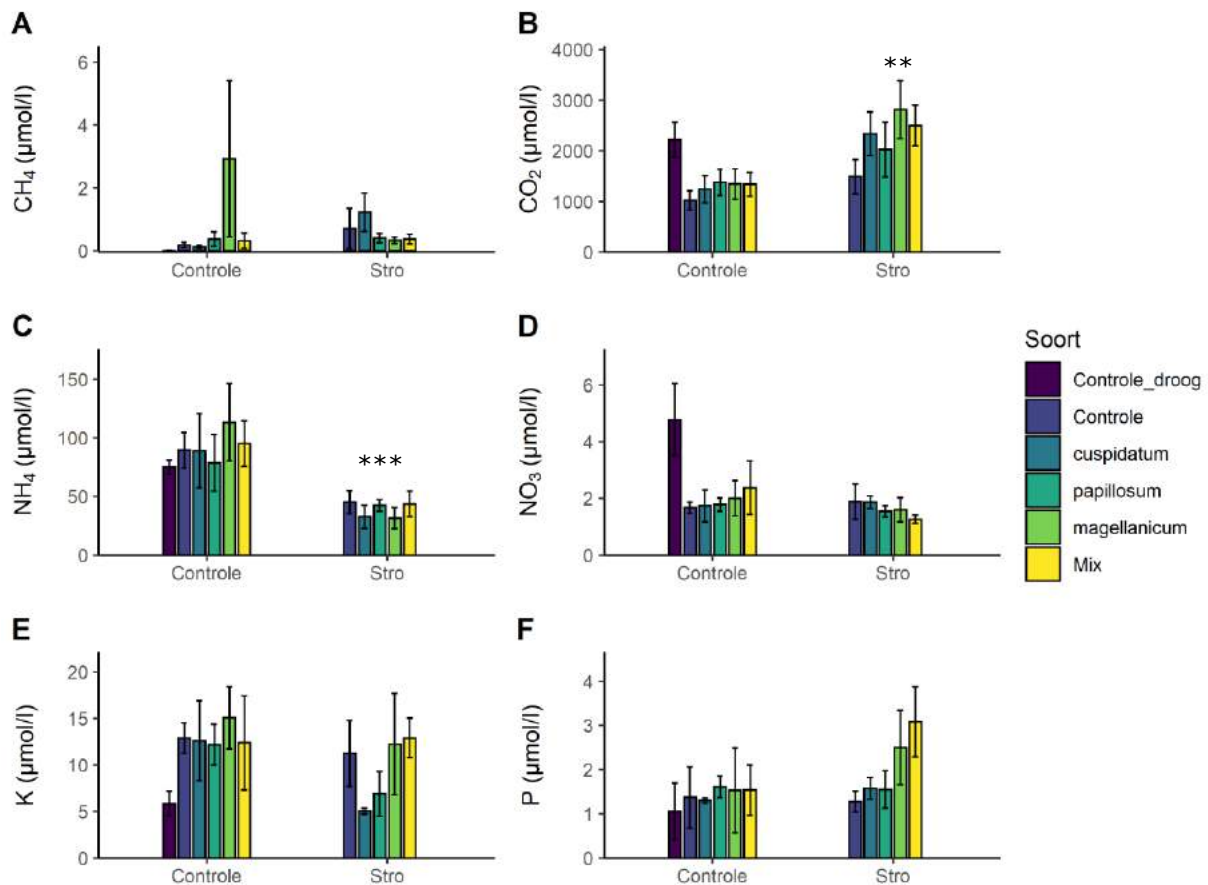
Voor intacte hoogvenen is de inschatting dat de netto ecosysteemuitwisseling van CO₂ ca. -70 g C/m²/jaar is (Christensen & Friberg, 2004). De eenmalige meting in september is niet te vertalen naar een jaarbalans, aangezien de C-vastlegging in september (veel) hoger zal zijn dan het jaargemiddelde. Het opstellen van een jaarbalans is complex waarbij veel factoren meegenomen moeten worden zoals de temperatuur, daglengte, lichtintensiteit, neerslag, etc.



Figuur 46. Eenmalige meting in september 2021 van de fluxen (in mg/m²/dag) van methaan (CH₄; links) en kooldioxide (CO₂; rechts) in het donker en licht in een controle proefvlak en proefvlak met stro voor Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos.

Figure 46. Single measurement in September 2021 of fluxes (in mg/m²/day) of methane (CH₄; left) and carbon dioxide (CO₂; right) in the dark and light in a control plot and straw mulch plot for *S. magellanicum* and *S. papillosum*.

In aanvulling op de gasmetingen werd in maart 2021 van alle subplotjes binnen het plas-dras experiment bodemvocht verzameld en geanalyseerd. In maart was de concentratie methaan in het bodemvocht nog laag (< 2 μmol/l; Figuur 47). De CO₂-concentratie in het bodemvocht is overall hoog (> 1000 μmol/l) en is in de proefvlakken met stro significant hoger dan in de controles (effect stro: F = 15,714; p = 0,01; 2-weg ANOVA). Dit komt overeen met de hogere CO₂-fluxen vanuit de proefvlakken met stro (Figuur 45). De verklaring voor de hogere CO₂-concentraties is waarschijnlijk de hogere beschikbaarheid aan eenvoudig afbreekbare organische verbindingen. De CO₂-concentratie in de droge controle zijn waarschijnlijk hoger vanwege de hogere afbraaksnelheid onder aerobe omstandigheden.



Figuur 47. De concentratie van methaan, kooldioxide, ammonium, nitraat, kalium en fosfor in het bodemvocht van de subproefvlakken met wateraanvoer en waarbij veenmosfragmenten werden opgebracht met en zonder het afdekken met stro. Er is ook een meting beschikbaar van het bodemvocht van de controle zonder wateraanvoer (controle_droog). Stro heeft een significant effect op de concentraties CO₂ en ammonium in het bodemvocht (**: $p \leq 0,01$ en ***: $p \leq 0,001$).

Figure 47. The concentration of methane, carbon dioxide, ammonium, nitrate, potassium and phosphorus in the pore water of the sub-plots with water supply and with peat moss fragments applied with and without covering with straw mulch. A measurement of the pore water of the control without water supply (controle_droog) is also available. Straw mulch has a significant effect on the concentrations of CO₂ and ammonium in the pore water (**: $p \leq 0.01$ and ***: $p \leq 0.001$).

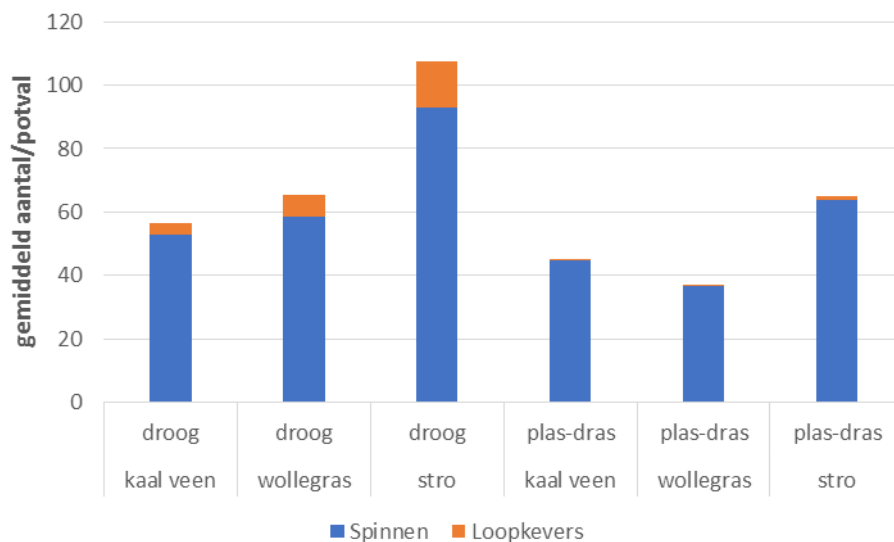
De ammoniumconcentraties in de proefvlakken zonder stro zijn significant hoger dan in de proefvlakken met stro ($F = 21,195$; $p < 0,001$; Figuur 47). Waarschijnlijk als gevolg van de hogere opname door de veenmosvegetatie. De ammoniumconcentraties zijn als gevolg van de jarenlange atmosferische stikstofdepositie voor hoogveenbegrippen hoog ($> 30 \mu\text{mol/l}$). Onder natte, zure omstandigheden zijn de nitraatconcentraties in het bodemvocht laag ($< 2 \mu\text{mol/l}$; Figuur 47), uitgezonderd de droge controleplot waar de nitraatconcentratie iets hoger is (ca. $5 \mu\text{mol/l}$; Figuur 47).

De concentratie kalium in het bodemvocht is vergelijkbaar in de proefvlakken met en zonder stro, dus het stro resulteert (na 3 jaar) niet in een verhoogde beschikbaarheid van kalium. Opvallend is de lagere kaliumconcentratie bij *S. cuspidatum* in het proefvlak met stro, dit is waarschijnlijk ook het resultaat van een verhoogde opname door het veenmos. De fosforconcentratie in het bodemvocht is relatief hoog ($> 1 \mu\text{mol/l}$; Figuur 47). Het toepassen van stro leidt niet tot significant hogere fosforconcentratie in het bodemvocht, maar is in de subproefvlakken met *S. magellanicum* en de mix wel wat hoger dan in de andere proefvlakken.

3.3.10 Resultaten fauna (alleen Deurnsche Peel)

De op de bodem actieve ongewervelde fauna reageert op de experimentele behandelingen in de Vlake van Minke. De aantallen spinnen en loopkevers zijn in het proefvlak zonder wateraanvoer beduidend hoger dan in het proefvlak met wateraanvoer (Figuur 48). In dit drogere proefvlak werden meerdere Veenmollen (*Gryllotalpa gryllotalpa*) gevonden. Veel van de in dit experiment gevonden spinnen- en loopkeversoorten zijn alleen aangetroffen in het drogere proefvlak zonder wateraanvoer, of ze zijn hier talrijker. Spinnen kunnen wel over het wateroppervlak lopen, maar dat wordt in deze locatie vooral gedaan door de Poelpiraat (*Pirata piraticus*), die in de potvallen in het plas-dras proefvlak dan ook in veel grotere aantallen werd gevonden dan in het proefvlak zonder wateraanvoer.

In de proefvlakken die met stro zijn afgedekt, blijkt de hoogste activiteit en dichtheid van de ongewervelde fauna aanwezig. Het ligt voor de hand dat het afbrekende stro zorgt voor voedsel voor bijvoorbeeld springstaarten en andere kleinere ongewervelden, waar de spinnen en loopkevers van profiteren. Dit zal een tijdelijk effect zijn. De ontwikkeling van de entomofauna en de voedselketen zal op de langere termijn worden bepaald door de vegetatieontwikkeling.



Figuur 48. Het gemiddelde totaal aantal spinnen en loopkevers dat in de periodes juli-oktober 2020 en 2021 per potval ($n=3$ per behandeling) is gevangen in het plas-dras experiment op zwartveen in de Vlake van Minke in de Deurnsche Peel.

Figure 48. The average total number of spiders and carabid beetles caught per pitfall trap ($n=3$ per treatment) in the 'plas-dras' experiment on humified peat in the area 'Vlake van Minke' in the Deurnsche Peel in the period July-October 2020 and 2021.

3.3.11 Conclusies herintroductie op plas-dras zwartveen

- Overleving van bultvormende veenmossen is het hoogst met aanvoer van water (plas-dras) onder beschutting van een laagje stro.
- Bij suboptimale hydrologische condities kunnen bultvormende veenmossen overleven en zich zelfs uitbreiden indien voldoende regen valt en mits stro als microklimaat bescherming wordt aangebracht. Een grote bron van onzekerheid blijft echter dat stro niet alleen de veenmossuccessie, maar ook de successie van hogere planten stimuleert.
- Voor een goede overleving van geïntroduceerd veenmos is een hogere dichtheid nodig dan voor uitbreiding in de daaropvolgende jaren. Herintroductie met een gemiddelde dichtheid van ca. 72 veenmos planten per m^2 , lijkt een goede middenweg

- De beste methode van herintroductie, met fragmenten of met intacte planten veenmos, lijkt af te hangen van de (hydrologische) stress die de veenmossen ervaren, waarbij herintroductie met fragmenten werkt bij weinig (hydrologische) stress terwijl herintroductie met intacte planten het beste werkt bij veel (hydrologische) stress.
- Herintroductiesucces lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos, en lijkt te variëren met de mate van hydrologische stress die het mos ondervindt. Keuze van de veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.
- Vestiging en ontwikkeling van hogere planten en ook de activiteit en dichtheid van de entomofauna worden gestimuleerd door aanbrengen van stro. Bij suboptimale hydrologische condities staat de versnelde successie van hogere planten herintroductie succes van bultvormende veenmossen in de weg. Bij optimale hydrologische omstandigheden lijken de bultvormende veenmossen de hogere planten vooralsnog voor te blijven. Voortzetting van monitoring is aan te raden om over dit laatste meer zekerheid te krijgen.

4. Introducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos

4.1 Inleiding

In veel hoogvenen komen na het herstellen van de hydrologie slenkvegetaties met Waterveenmos en/of Fraai veenmos tot ontwikkeling. De vestiging van bultvormende veenmossen blijft echter nog uit. Uit eerdere onderzoeken bleek dat bultvormers zich vaak wel konden handhaven en uitbreiden wanneer ze in een vegetatie gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos werden ingebracht (Tomassen e.a., 2003; 2011). De verspreiding en/of vestiging van bultvormers lijkt daarmee de belangrijkste bottleneck te zijn. Om te onderzoeken onder welke omstandigheden en in welke dichtheden bultvormers het beste ingebracht kunnen worden, werden in het Bargerveen, het Haaksbergerveen en de Mariapeel locaties geselecteerd waar de vegetatie gedomineerd wordt door Fraai veenmos. Op alle locaties werd Wrattig veenmos geïntroduceerd en in de Mariapeel ook Hoogveenveenmos en Gewoon veenmos. In de Deurnsche Peel werden daarnaast ook bultvormende veenmossen in een door Waterveenmos gedomineerde vegetatie geïntroduceerd.

4.2 Materiaal en methoden

4.2.1 Bargerveen en Haaksbergerveen

Op 22 januari 2018 werd het experiment in het Bargerveen ingericht en op 15 maart 2018 in het Haaksbergerveen. Per locatie werden 16 homogene proefvlakken van 50 bij 50 cm (0,25 m²) uitgezet in 4 groepjes van 4 proefvlakken. In 3 van de 4 proefvlakken werden complete planten van Wrattig veenmos met een lengte van 10 cm, in 3 dichtheden (geclusterd; 36 en 156 planten per m² en plaggen van 20 x 20 cm; Tabel 19) geïntroduceerd. In Tabel 20 wordt de droge biomassa van het geïntroduceerde veenmos bij de laagste twee dichtheden gegeven. De inschatting van het aantal planten bij de introductie van een plag van 20 x 20 cm is 400 planten/capitula per m². Aan elk van de proefvlakken werd willekeurig één van de 4 behandelingen toegekend.

Tabel 19. *Overzicht van de verschillende behandelingen bij de experimenten in een Fraai veenmos vegetatie in het Bargerveen en Haaksbergerveen.*

Table 19. *Overview of the different treatments used in the experiments in a vegetation dominated by Sphagnum fallax at the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog.*

Behandeling	Veenmossoort	Dichtheid (aantal/m²)
1	Geen (controle)	
2	Wrattig veenmos	36
3	Wrattig veenmos	156
4	Wrattig veenmos	Plag 20 x 20 cm (ca. 400/m ²)

In alle proefvlakken werd de eventuele uitbreiding van de veenmossen gedurende vier groeiseizoenen (2018 t/m 2021) gevolgd. De overleving en uitbreiding van de geïntroduceerde veenmossen werd gevolgd door jaarlijks in oktober het aantal levende (nog groene) capitula per proefvlak te tellen en uit te drukken in aantal capitula per m². Bij sterke uitbreiding was het tellen van alle capitula te tijdrovend en werd overgestapt op het bepalen van de bedekking. De bedekking werd uitgedrukt in m² EN in aantal capitula per m². Daarnaast werd een eventuele ontkleuring van de veenmossen als gevolg van infectie met de parasitaire schimmel veenmosgrauwkop (*Lyophyllum palustre*) meegenomen. Vooral in de directe omgeving van het

experiment in het Bargerveen was een behoorlijk deel van het veenmos (vnl. Waterveenmos) aangetast door de veenmosgrauwkop.

Tabel 20. Gemiddelde biomassa van het geïntroduceerde Wrattig veenmos bij de experimenten in een Fraai veenmosvegetatie in het Bargerveen en Haaksbergerveen. Bij de lage dichtheid werden 9 planten ingebracht en bij de middelste dichtheid 39 planten (overeenkomstig met 36 en 156 planten per m²). Van de hoogste dichtheid (plaggen 20x20 cm) werd de droge biomassa niet bepaald. Weergegeven zijn gemiddelden ± standaardfout (n = 3).

Table 20. Average biomass of the introduced *S. papillosum* at the experiments in vegetation dominated by *Sphagnum fallax* in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog. At the low density 9 plants were introduced and at the medium density 39 plants (corresponding to 36 and 156 plants per m²). The dry biomass of the highest density (20x20 cm sods) was not determined. Mean values ± standard error (n = 3) are shown.

Soort	Aantal planten	Droge biomassa (g)
Wrattig veenmos Oosterbos	9	0,53 ± 0,05
Wrattig veenmos Oosterbos	39	1,55 ± 0,20
Wrattig veenmos Haaksbergerveen	9	0,61 ± 0,05
Wrattig veenmos Haaksbergerveen	39	2,31 ± 0,19



Figuur 49. Overzicht van een deel van het experiment in Fraai veenmos in het Bargerveen (links) en Haaksbergerveen (rechts). Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 49. Overview of part of the experiment in a vegetation dominated by *S. fallax* in the Bargerveen bog (left) and Haaksbergerveen bog (right). Photographs: Hilde Tomassen.

De veenwaterchemie werd bepaald bij de start van het experiment (nulmeting) en daarna jaarlijks in oktober (2018 t/m 2021) door uit de toplaag van het veen (0-10 cm) met behulp van teflon bodemvochtbemonsteraars veenwater te onttrekken. Van het veenwater werden de concentraties van de belangrijkste nutriënten (o.a. stikstof, fosfor, koolstof en kalium) bepaald (zie Bijlage 3). De chemie van het geïntroduceerde veenmos werd bij de start van het experiment vastgelegd (nulmeting). De analyse van de veenmossen aan het einde van het experiment (2019) werd uitgesteld om het experiment nog te kunnen vervolgen.

4.2.2 Deurnsche Peel en Mariapeel

Op de Vlake van Minke in de Deurnsche Peel werden twee locaties geselecteerd die gedomineerd worden door Waterveenmos. De eerste locatie betreft een Waterveenmos vegetatie in een veenput, dus een drijvende vegetatie. De tweede locatie betreft een Waterveenmosvegetatie op vast zwartveen en deze locatie is uitgekozen ter compensatie van het ontbreken van een behandeling met de bestaande vegetatie op de plas-dras locatie. Een derde locatie in een drijvende vegetatie

gedomineerd door Fraai veenmos is geselecteerd in de Mariapeel. Op deze locaties werden de bultvormers Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos geïntroduceerd, maar ook Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*). Gewoon veenmos is geen karakteristieke hoogveensoort, maar groeit wel net als Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos onder wat drogere omstandigheden. Gewoon veenmos kan onder optimale omstandigheden een veel hogere groeisnelheid bereiken en daarmee beter de concurrentie aangaan met Waterveenmos en Fraai veenmos. Indien Gewoon veenmos tot dominantie is gekomen, is mogelijk de uitgangssituatie geschikt voor de introductie van bultvormers.

Op 4 december 2017 werden de experimenten in de Waterveenmosvegetaties, zowel op een drijftil als vast veen, in de Deurnsche Peel ingericht. Op 18 december 2017 werd het experiment in de Fraai veenmosvegetatie in de Mariapeel ingericht.

Per locatie werden 36 homogene proefvlakken van 50 bij 50 cm (0,25 m²) uitgezet in 4 groepjes van 9 proefvlakken. In 8 van de 9 proefvlakken werden complete planten van Hoogveenveenmos, Wrattig veenmos en Gewoon veenmos met een lengte van 10 cm, in 2 dichtheden (geclusterd; 36 en 156 planten per m²) geïntroduceerd. De drie veenmossoorten werden ieder apart geïntroduceerd en in een gemengde behandeling van de drie veenmossoorten. Aan elk van de proefvlakken werd willekeurig een van de 9 behandelingen (Tabel 21) toegekend.

Tabel 21. *Overzicht van de verschillende behandelingen bij de experimenten in een Waterveenmos- of Fraai veenmosvegetatie in de Deurnsche Peel en Mariapeel. Bij het experiment in Fraai veenmos (Mariapeel) werd een derde dichtheid toegevoegd (behandeling 10 t/m 12).*

Table 21. *Overview of the different treatments in the experiments in vegetation dominated by S. cuspidatum or S. fallax in the Deurnsche Peel bog or Mariapeel bog. In the experiment in S. fallax (Mariapeel) a third density was added (treatments 10 to 12).*

Behandeling	Veenmossoort	Dichtheid (aantal/m²)
1	Geen (controle)	0
2	Hoogveenveenmos	36
3	Wrattig veenmos	36
4	Gewoon veenmos	36
5	Mix 3 veenmossoorten	36
6	Hoogveenveenmos	156
7	Wrattig veenmos	156
8	Gewoon veenmos	156
9	Mix 3 veenmossoorten	156
10	Hoogveenveenmos	Plag 20 x 20 cm (ca. 400/m ²)
11	Wrattig veenmos	Plag 20 x 20 cm (ca. 400/m ²)
12	Gewoon veenmos	Plag 20 x 20 cm (ca. 400/m ²)

In aanvulling op het bovenstaande werd in de Mariapeel (Fraai veenmos locatie) een extra derde, hogere dichtheid toegevoegd. Dit werd gedaan om het experiment beter te laten aansluiten op de experimenten die in het kader van OBN worden uitgevoerd. Bij OBN wordt alleen Wrattig veenmos in een Fraai veenmosvegetatie geïntroduceerd, maar wel in 3 dichtheden: 36 mossen/m² (9 mossen per proefvlak), 156/m² (39 mossen per proefvlak) en complete plaggen van 20 x 20 cm (ca. 400 mossen/m²). In de Mariapeel komt het aantal behandelingen daarmee op 12 (Tabel 21). In Tabel 22 wordt de droge biomassa van het geïntroduceerde veenmos gegeven.

Tabel 22. Gemiddelde biomassa van het geïntroduceerde veenmos bij de experimenten in een Waterveenmos- en Fraai veenmosvegetatie in de Deurnsche Peel en Mariapeel. Bij de mix zijn de drie soorten in gelijke verhouding geïntroduceerd. Bij de lage dichtheid werden 9 planten ingebracht op een oppervlakte van 0,25 m² (50 x 50 cm) en bij de hoge behandeling 39 planten. De veenmossen zijn afkomstig van het Oosterbos (Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos) en het Bargerveen (Gewoon veenmos). Weergegeven zijn gemiddelden ± standaardfout (n = 4).

Table 22. Average biomass of peat moss introduced in the experiments in vegetation dominated by *S. cuspidatum* and *S. fallax* in the Deurnsche Peel bog and Mariapeel bog. In the mix, the three species were introduced in equal proportions. At the low density 9 plants were introduced on an area of 0.25 m² (50 x 50 cm) and at the high treatment 39 plants. The peat mosses originated from the Oosterbos (*S. magellanicum* and *S. papillosum*) and the Bargerveen (*S. palustre*). Shown are means ± standard error (n = 4).

Soort	Aantal planten	Droge biomassa (g)
Gewoon veenmos	9	0,68 ± 0,09
Hoogveenveenmos	9	0,42 ± 0,03
Wrattig veenmos	9	0,53 ± 0,04
Mix	9 (3 x 3)	0,54 ± 0,05
Gewoon veenmos	39	1,75 ± 0,11
Hoogveenveenmos	39	2,21 ± 0,10
Wrattig veenmos	39	1,55 ± 0,17
Mix	39 (3 x 13)	2,11 ± 0,11

In alle proefvlakken werd de eventuele uitbreiding van de veenmossen gedurende vier groeiseizoenen (2018, 2019, 2020 en 2021) gevolgd. Tevens werd jaarlijks in oktober de chemische samenstelling van het bodemvocht bepaald. De chemie van het veenmos werd alleen bij de start (nulmeting) bepaald.



Figuur 50. Potval met een dakje erboven in een van de veenputten in de Mariapeel. Foto: Gert-Jan van Duinen.

Figure 50. Pitfall trap with a roof above it in one of the peat pits in the Mariapeel bog. Photo: Gert-Jan van Duinen.

In elk van de 12 blokken van plotjes waar veenmossen zijn geïntroduceerd en in de aangrenzende onbehandelde vegetatie (controle) werd het voorkomen van op de bodem of het veenmostapijt actieve ongewervelden vastgelegd. Daarbij is gebruik gemaakt van potvallen (Figuur 50 en Figuur 51), waarmee vooral de aanwezigheid en activiteit van spinnen en loopkevers wordt vastgesteld. De spinnen vormden verreweg de meest talrijke diergroep. Spinnen en loopkevers zijn verder uitgewerkt tot soortniveau. In 2018 werden de potvallen begin april geplaatst. Boven elke potval werd een dakje geplaatst om regen uit de potten te houden. De potvallen werden maandelijks

geleegd en op 18 september 2018 werden de potvallen voor het laatst geleegd en uit het terrein verwijderd.

In 2020 (extra inzet om gevolg van de brand te onderzoeken; zie hoofdstuk 7) en 2021 werd de monitoring met potvallen herhaald. De potvallen werden in deze jaren op dezelfde locaties ingezet als in 2018. Met het oog op het vaststellen van de gevolgen van de brand werden aanvullend potvallen geplaatst in een onverbrande Adelaarsvarenvegetatie en in het sterk door de brand getroffen ronde-kuilencomplex in de Liesselse Peel. Vanwege de brand in 2020, het broedseizoen in 2020 en 2021 en met name om een eventuele broedpoging van kraanvogels niet te verstoren, kon in 2020 en 2021 een deel van de potvallen pas in mei of zelf juli geplaatst worden, waarna zij drie maanden in het veld stonden, met maandelijks leging. Bij de vergelijkingen tussen locaties is hiermee rekening gehouden en daarom zijn vooral gegevens van spinnen in de periode juli-oktober vergeleken tussen jaren.



Figuur 51. Potval naast de plotjes waarin veenmossen zijn geïntroduceerd in een van de drijftillen in de Deurnsche Peel. Om de drijftillen en plotjes niet te beschadigen, zijn planken gebruikt bij het plaatsen en legen van de potvallen. Foto: Gert-Jan van Duinen.

Figure 51. Pitfall trap next to the plots in which peat mosses have been introduced in one of the floating rafts in the Deurnsche Peel bog. In order not to damage the rafts and plots, planks have been used in placing and emptying the pitfall traps. Photo: Gert-Jan van Duinen.

4.2.3 Statistische analyse

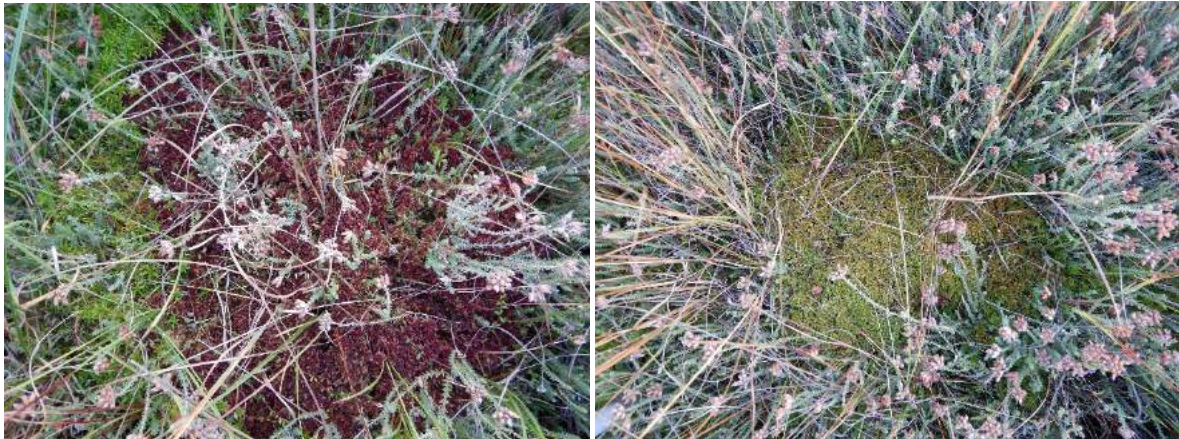
Het effect van introductie-dichtheid op het aantal overlevende veenmossen in 2021 is na ln transformatie per veen getoetst met een 'general lineair model' in SPSS 25 met introductiedichtheid als 'fixed factor' voor Bargerveen en Haaksbergerveen en introductiedichtheid en mossoort als 'fixed factors' voor Deurnsche Peel en Mariapeel. Voor de analyses zijn de controleproefvlakken zonder geïntroduceerde veenmossen niet meegenomen: hier zijn geen levende bultvormers aangetroffen.

Voor de introducties in Fraai veenmos werden de verschillen in chemische samenstelling tussen de drie hoogveengebieden getoetst met een 'General lineair model' voor herhaalde waarnemingen in SPSS 26.

4.3 Resultaten

4.3.1 Brand Deurnsche peel

In Deurnsche Peel zijn op 2 locaties bultvormende veenmossen geïntroduceerd: een locatie met drijvend Waterveenmos in veenputten (Deurnsche Peel 1; Figuur 52 links) en een locatie met Waterveenmos op vast veen (Deurnsche Peel 2). In de Mariapeel zijn dezelfde soorten op een drijftil van Fraai veenmos geïntroduceerd (Figuur 52 rechts). Op de OBN-locaties Bargerveen en Haaksbergerveen is ook in Fraai veenmos geïntroduceerd.



Figuur 52. Introductie van Hoogveenveenmos (links) en Wrattig veenmos (rechts) in de hoogste dichtheid (plaggen van 20 bij 20 cm) in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie in de Mariapeel. Foto's zijn genomen in oktober 2019. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 52. Introduction of *S. magellanicum* (left) and *S. papillosum* (right) in the highest density (20 by 20 cm sods) in a by *S. fallax* dominated vegetation in the Mariapeel bog. Photos were taken in October 2019. Photos: Hilde Tomassen.



Figuur 53. Brandschade aan het experiment in veenputten met een drijvende Waterveenmosvegetatie. Foto: Hilde Tomassen.

Figure 53. Fire damage to the experiment in peat pits with floating peat moss vegetation. Photo: Hilde Tomassen.

In april 2020 is er in de Deurnsche Peel een grote brand geweest, maar de schade aan de veenmossen is beperkt gebleven. Door de lagere ligging van de vegetatie in de veenputten is de brand er vooral overheen gevlogen. Er was slechts beperkte schade zichtbaar aan de geïntroduceerde veenmossen. De paaltjes die de proefvlakken markeren zijn wel deels gesmolten (Figuur 53). De schade door de brand aan het experiment op vast zwartveen groter, maar de overleving van de bultvormers was op deze locatie al laag vanwege de sterk wisselende waterstanden. Direct na introduceren in de winter van 2017-2018 stond er veel water op maaiveld, terwijl tijdens de droogte van 2018 het waterpeil juist tot ver onder maaiveld was weggezakt. De geïntroduceerde veenmossen hebben deze sterke fluctuatie in waterpeil niet overleefd. De droogte heeft ook geleid tot schade aan de al aanwezige Waterveenmosvegetatie.

4.3.2 Veenmosontwikkeling

4.3.2.1 Introductiedichtheid

Herintroductie van bultvormende veenmossen in slenkveenmos kan het beste gebeuren met hoge dichtheid in de vorm van intacte plaggen.

De resultaten van 2021 komen in grote lijnen overeen met die van eerder jaren, al lijkt introductiedichtheid dit jaar minder sturend voor de horizontale uitbreiding van de bultvormers. Tussen 2018 en 2020 hing de overleving van bultvormers sterk af van de introductiedichtheid. Herintroductie via plaggen was het meest succesvol, onafhankelijk van terrein: de bultvormers in de plaggen wisten niet alleen beter te overleven maar breidden zich ook gestaag uit met een factor van ca. 0,5 – 1,25 per jaar, afhankelijk van het terrein. Herintroductiesucces met bundels van 36 en 156 mossen per m² varieerde sterk per terrein en jaar. Tot 2020 werden de bultvormers in deze behandelingen in zowel het Haaksbergerveen (Figuur 54A) als de Mariapeel (Figuur 54B) geleidelijk overgroeid door de omringende slenksoorten: in het Bargerveen (Figuur 54C) wisten de bultvormers zich even snel uit te breiden als de plaggen. In 2021 veranderde dit beeld en breidden de bultvormers zich net zo goed (Mariapeel) of zelfs beter uit dan de plaggen (Bargerveen). De reden waarom hoge introductiedichtheden van bultvormers over het algemeen succesvoller zijn dan lage dichtheden bultvormers heeft waarschijnlijk te maken met de mate waarin de bultvormers hun eigen milieuomstandigheden kunnen beïnvloeden: hoe groter het oppervlak, hoe sterker deze invloed (Robroek e.a., 2009), en hoe kleiner de gevoeligheid voor (sub)optimale condities.

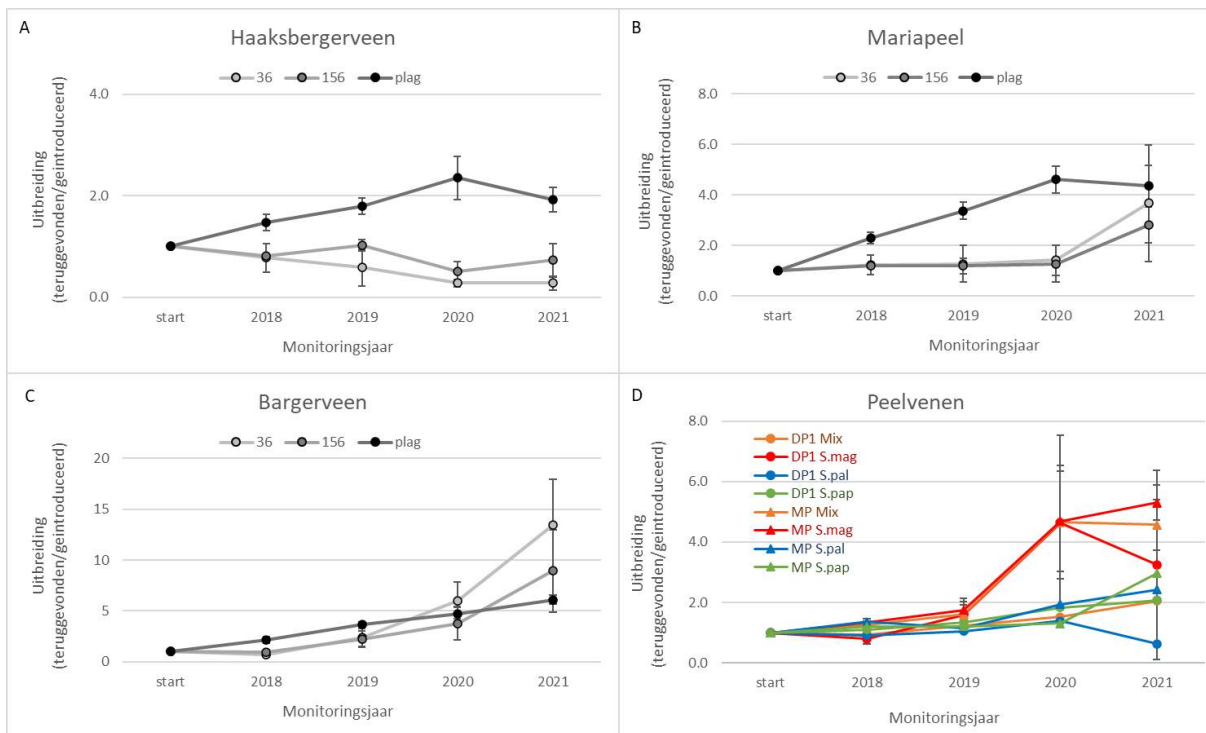
Wat opvalt is dat in 2021 de uitbreiding van de plaggen lijken te stagneren, of zelfs afnemen. De reden voor deze trendbreuk is nog onzeker. Mogelijk is dit een gevolg van hogere competitie door de slenksoorten in het regenachtigere jaar 2021. Deze verklaring strookt echter niet met het succes van de lagere introductiedichtheden in 2021 en met het weer verschijnen van overgroeid geachte bultvormers. Een andere mogelijke verklaring is dat de plaggen te goed (in de hoogte) gegroeid zijn, waardoor ze te veel boven de slenksoorten zijn gaan uitsteken. Deze verklaring lijkt het meest waarschijnlijk en strookt met de afwijkende groeiwijze van bultvormende veenmossen in het midden van de plaggen. Deze mossen lijken dichter op elkaar te groeien en ook kleinere capitula te hebben dan de mossen aan de randen van de plag.

4.3.2.2 Herintroductie in verschillende slenkvegetaties

Herintroductie van bultvormende veenmossen kan zowel in slenken met Waterveenmos als Fraai veenmos waar de waterstand stabiel is.

De resultaten uit 2021 bevestigen dat herintroductie van bultvormers in zowel Waterveenmos (Deurnsche Peel, drijftil) als in Fraai veenmos (Mariapeel, MP) mogelijk is. Het succes van herintroductie in Waterveenmos hing af van het onderliggende substraat. Bultvormende veenmossen overleefden goed in Waterveenmos en Fraai veenmos op drijvend veen, maar niet in Waterveenmos op vast veen: in 2020 waren alle geïntroduceerde bultvormers in Waterveenmos op

zwartveen overgroeid (niet opgenomen in grafiek). Waarschijnlijk is de slechte overleving op de locatie met vast veen een gevolg van de sterk wisselende waterstanden: we hebben in DPeel2 waterstanden geobserveerd van 10 cm boven maaiveld tot uitdroging ver onder maaiveld.



Figuur 54. Uitbreiding van bultvormende veenmossen in een slenkvegetatie neemt toe met de dichtheid van herintroductie, en verschilt per terrein en veenmossoort. Uitbreiding ten opzichte van introductiedichtheid (36, 156 veenmossen per m^2 of een plag van 20 x 20cm) van bultvormer *Wrattig veenmos* (*Sphagnum papillosum*) geïntroduceerd als bundel individuen of als plag in een drijftil met *Fraai veenmos* voor A) Haaksbergerveen, B) Mariapeel en C) Bargerveen (gemiddelde ± 1 SE, $n=4$ herhalingen). Voor de Peelvenen (D) staat de uitbreiding ten opzichte van de introductiedichtheid apart weergegeven per veenmossoort. DP1 (cirkels) = drijftil met *Waterveenmos* in *Deurnsche Peel*. DP2 (niet opgenomen) = vast veen met *Waterveenmos* in de *Deurnsche Peel*: al het geïntroduceerde mos is overgroeid in 2020. MP (driehoeken) = drijftil met *Fraai veenmos* in de *Mariapeel*. Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*, *Smag*, rood), Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*, *Spal*, blauw), *Wrattig veenmos* (*Sphagnum papillosum*, *Spap*, groen) en een mix van deze drie soorten (Mix, oranje). De twee verschillende dichtheden (36 en 156 individuen per m^2) zijn gemiddeld. 'Plag' is hierbij buiten beschouwing gelaten omdat deze alleen getest is in de *Mariapeel*, maar niet in de *Deurnsche Peel*. Getallen boven 1 geven uitbreiding ten opzichte van introductie-dichtheid aan. Let op: de schaal van de y-as verschilt tussen de terreinen. Voor alle locaties met introductie van een plag leidde een hogere introductiedichtheid tot significant meer overlevende bultvormers ($F_{Hbv_df2}40.8$, $p<0.001$, $F_{Bv_df2}16.0$, $p=0.001$, $F_{MP_df2}51.3$, $p=0.001$). Voor Haaksbergerveen en Mariapeel verschilde het aantal overlevende bultvormers significant tussen alle introductiedichtheden (36, 156 en plag), voor het Bargerveen was het aantal bultvormers alleen significant hoger in de plag ten opzichte van de rest (Scheffe posthoc). Daar waar geen plag werd geïntroduceerd (*Deurnsche Peel*), maakte introductiedichtheid (36 of 156 veenmossen) geen verschil ($F_{DP1_df1}3.1$, $p=0.099$). Soort geïntroduceerde bultvormer had geen statistisch significant effect ($F_{DP1_df3}0.5$, $p=0.689$, $F_{MP_df3}0.5$, $p=0.688$).

Figure 54 – previous page. Expansion of hummock-building peat mosses in a hollow vegetation increases with the density of reintroduction and differs by site and peat moss species. Expansion relative to introduction density (36, 156 peat mosses per m² or a 20 x 20 cm sod) of *Sphagnum papillosum* introduced as a bundle of individuals or as a sod in a floating vegetation of *S. fallax* for A) Haaksbergerveen bog, B) Mariapeel bog and C) Bargerveen bog (mean ± 1 SE, n=4 replicates). For the Peelvenen (D) the expansion relative to the introduction density is shown separately for each peat moss species. DP1 (circles) = floating vegetation of *S. cuspidatum* in Deurnsche Peel bog. DP2 (not included) = solid peat with *S. cuspidatum* in Deurnsche Peel bog: all introduced mosses are overgrown by 2020. MP (triangles) = floating vegetation of *S. fallax* in the Mariapeel bog. *Sphagnum magellanicum* (Smag, red), *Sphagnum palustre* (Spal, blue), *Sphagnum papillosum* (Spap, green) and a mixture of these three species (Mix, orange). The two different densities (36 and 156 individuals per m²) are averaged. 'Plag' has not been considered because it has only been tested in the Mariapeel, but not in the Deurnsche Peel. Numbers above 1 indicate expansion relative to introduction density. Please note that the scale of the y-axis differs between sites. For all sites with introduction of a sod, a higher introduction density led to significantly more surviving hummock-builders ($F_{Hbv_df240.8}$, $p < 0.001$, $F_{Bv_df216.0}$, $p = 0.001$, $F_{MP_df251.3}$, $p = 0.001$). For Haaksbergerveen and Mariapeel the number of surviving hummock-builders differed significantly between all introduction densities (36, 156 and 'plag'), for the Bargerveen the number of hummock-builders was only significantly higher in the 'plag' compared to the rest (Scheffe posthoc). Where no sod was introduced (Deurnsche Peel), introduction density (36 or 156 peat mosses) made no difference ($F_{DP1_df13.1}$, $p = 0.099$). Species of introduced bulrush had no statistically significant effect ($F_{DP1_df30.5}$, $p = 0.689$, $F_{MP_df30.5}$, $p = 0.688$).

4.3.2.3 Soort veenmos

Herintroductie succes lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos, al lijken Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) het beter te doen dan Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*). Keuze van veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.

In 2021 had de soort bultvormend veenmos, Hoogveenveenmos, Gewoon veenmos, Wrattig veenmos in monocultuur of mixcultuur (Mix), opnieuw beperkt invloed op het herintroductiesucces (Figuur 54D). Hoogveenveenmos leek het beter te doen dan de andere soorten of combinaties, vooral in de Mariapeel, terwijl Gewoon veenmos het juist het slechts lijkt te doen, met name in de Deurnsche Peel. De spreiding in de resultaten is echter zo groot dat deze verschillen niet statistisch significant zijn.

4.3.2.4 Samenvattend

Samengenomen lijkt succesvolle herintroductie in levend veenmos vooral een functie van een stabiele waterstand en van een hoge introductiedichtheid. Bij een lage introductiedichtheid is 'het aanslaan' van het veenmos veel meer een kans proces, waarschijnlijk gestuurd door zeer lokale (a)biotische factoren, zoals bijvoorbeeld een hoge CO₂-concentratie in het bodemvocht (zie paragraaf 4.3.3). Het belang van hoge introductiedichtheid illustreert dat spontane kolonisatie van tapijten Waterveenmos en Fraai veenmos door bultvormers een traag proces zal blijven: alleen op de allerbeste plekken zal spontane kolonisatie door een paar veenmosfragmenten succesvol zijn. Kolonisatie door bultvormers wordt hiermee een race tegen de tijd: blijven plekken lang genoeg geschikt om spontane vestiging een kans te geven of groeien deze plekken dicht met hogere planten? We hebben voor onze herintroductie plekken gekozen op basis van de samenstelling van hogere planten en op basis van de morfologie van het veenmos. Soorten als Gewone dophei, Pijpenstrootje en Eenarig wollegras in Fraai veenmos indiceren in lage dichtheden condities die geschikt zouden moeten zijn voor bultvormende veenmossen. Eerder onderzoek in Nederlandse hoogvenen laat zien dat dergelijke situaties niet jarenlang stabiel blijven, maar snel dichtgroeien. Met andere woorden 'de window of opportunity' lijkt sneller te sluiten dan spontane kolonisatie plaatsvindt. Onze resultaten tot nu toe suggereren dat herintroductie van enkele plaggen van bultvormende veenmossen in deze situaties de successie van Waterveenmos of Fraai veenmos naar bultvormende vegetatie kan initiëren. Of dit patroon zich ook in de toekomst verder zal doorzetten is onzeker. Eerdere transplantatie-experimenten laten zien dat de eerste paar jaar cruciaal zijn

voor verdere uitbreiding; wanneer bultvormers het de eerste jaren na transplantatie goed doen dan is de kans groot dat deze trend wordt doorgezet in de toekomst (zie paragraaf 4.4).

4.3.3 Chemische samenstelling bodemvocht en veenmossen

4.3.3.1 Introducties in Fraai veenmos

In het Bargerveen, Haaksbergerveen en de Mariapeel werden bultvormers geïntroduceerd in een vegetatie gedomineerd door Fraai veenmos. Voor het Bargerveen (alleen Wrattig veenmos) en de Mariapeel werden bultvormers uit het Oosterbos gebruikt en voor het Haaksbergerveen werden lokaal Wrattig veenmos gebruikt. De concentraties van de belangrijkste nutriënten in het geïntroduceerde veenmos worden in Tabel 23 gegeven. Het Wrattig veenmos uit het Oosterbos is iets rijker aan fosfor- en kalium dan het Wrattig veenmos uit het Haaksbergerveen.

Tabel 23. Gemiddelde nutriëntenconcentraties (C, N, P en K) en nutriënten-ratio's van het geïntroduceerde Wrattig veenmos bij het experiment in Fraai veenmos in het Bargerveen en Haaksbergerveen. Voor het Bargerveen is Wrattig veenmos uit het nabijgelegen Oosterbos gebruikt. Het veenmos in het Oosterbos werd in november 2017 verzameld en in het Haaksbergerveen in maart 2018. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n = 3$).

Table 23. Mean nutrient concentrations (C, N, P and K) and nutrient ratios of the introduced *S. papillosum* in the experiment in a vegetation dominated by *S. fallax* in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog. In Bargerveen, *S. papillosum* from the nearby Oosterbos bog was used. The peat moss in the Oosterbos bog was collected in November 2017 and in the Haaksbergerveen bog in March 2018. Shown are means \pm standard error ($n = 3$).

Herkomst veenmos	Deel	N %	C %	P %	K %	C/N-ratio g/g	N/P-ratio g/g
Oosterbos	capitulum (0-1 cm)	1,0 \pm 0,0	44,5 \pm 0,0	0,04 \pm 0,00	0,19 \pm 0,02	46 \pm 1	23 \pm 1
	stengel (1-3 cm)	0,9 \pm 0,0	44,7 \pm 0,1	0,03 \pm 0,00	0,24 \pm 0,03	49 \pm 1	28 \pm 2
Haaksb.veen	capitulum (0-1 cm)	1,0 \pm 0,0	44,3 \pm 0,0	0,03 \pm 0,00	0,08 \pm 0,00	43 \pm 0	38 \pm 2
	stengel (1-3 cm)	0,9 \pm 0,0	44,3 \pm 0,1	0,02 \pm 0,00	0,10 \pm 0,00	51 \pm 1	46 \pm 1

In Tabel 24 staan de concentraties van de belangrijkste nutriënten in het geïntroduceerde veenmos gegeven. In vergelijking tot de bultvormers Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos valt op dat de concentratie fosfor in Gewoon veenmos hoger is (0,07% i.p.v. 0,04%).

In Bijlage 5 worden de resultaten van de bodemvochtanalyses in tabelvorm gegeven. De samenstelling van het bodemvocht werd 5 keer gemeten: bij de start van het experiment (december 2017 of maart 2018), na een groeiseizoen (oktober 2018), na twee groeiseizoenen (oktober 2019), na drie groeiseizoenen (oktober 2020) en na vier groeiseizoenen (oktober 2021). De vier replica's zijn verdeeld over 4 blokken en voor ieder blok is de gemiddelde samenstelling van het bodemvocht bepaald ($n=3$). In Figuur 55 wordt voor de drie gebieden de gemiddelde ($n = 4$) bodemvochtsamenstelling gegeven en in Tabel 25 de resultaten van de statistische analyse.

Voor alle gebieden is te zien dat als gevolg van de droogte in 2018 de EGV van het bodemvocht sterk toegenomen is. Gezien de lagere EGV in oktober 2019, was het in het najaar van 2019 natter dan in het najaar van 2018 en 2020. Als gevolg van de droogte in 2018 nam in alle gebieden de pH sterk af als gevolg van verzurende oxidatieprocessen. De pH van het bodemvocht in het Bargerveen is daarbij significant minder sterk gedaald dan in de andere gebieden. In de Mariapeel zijn tijdens de droogte van 2018 de nitraat- en sulfaatconcentraties het sterkst gestegen. Dit is een aanwijzing dat het veen in de Mariapeel bij droogte sterker uitdroogt dan in het Bargerveen en Haaksbergerveen. De sterkere uitdroging in de Mariapeel is ook zichtbaar aan de lage CO₂-concentraties in het bodemvocht in het najaar van 2018 en 2020. In het Bargerveen en

Haaksbergerveen zijn de CO₂-concentraties in het bodemvocht hoog en nemen tussen 2018 en 2020 ook sterk toe. In het Bargerveen zijn de CO₂-concentraties ook significant hoger dan in het Haaksbergerveen en de Mariapeel (Tabel 25). Hoge CO₂-concentraties zijn belangrijk voor de groei van veenmossen.

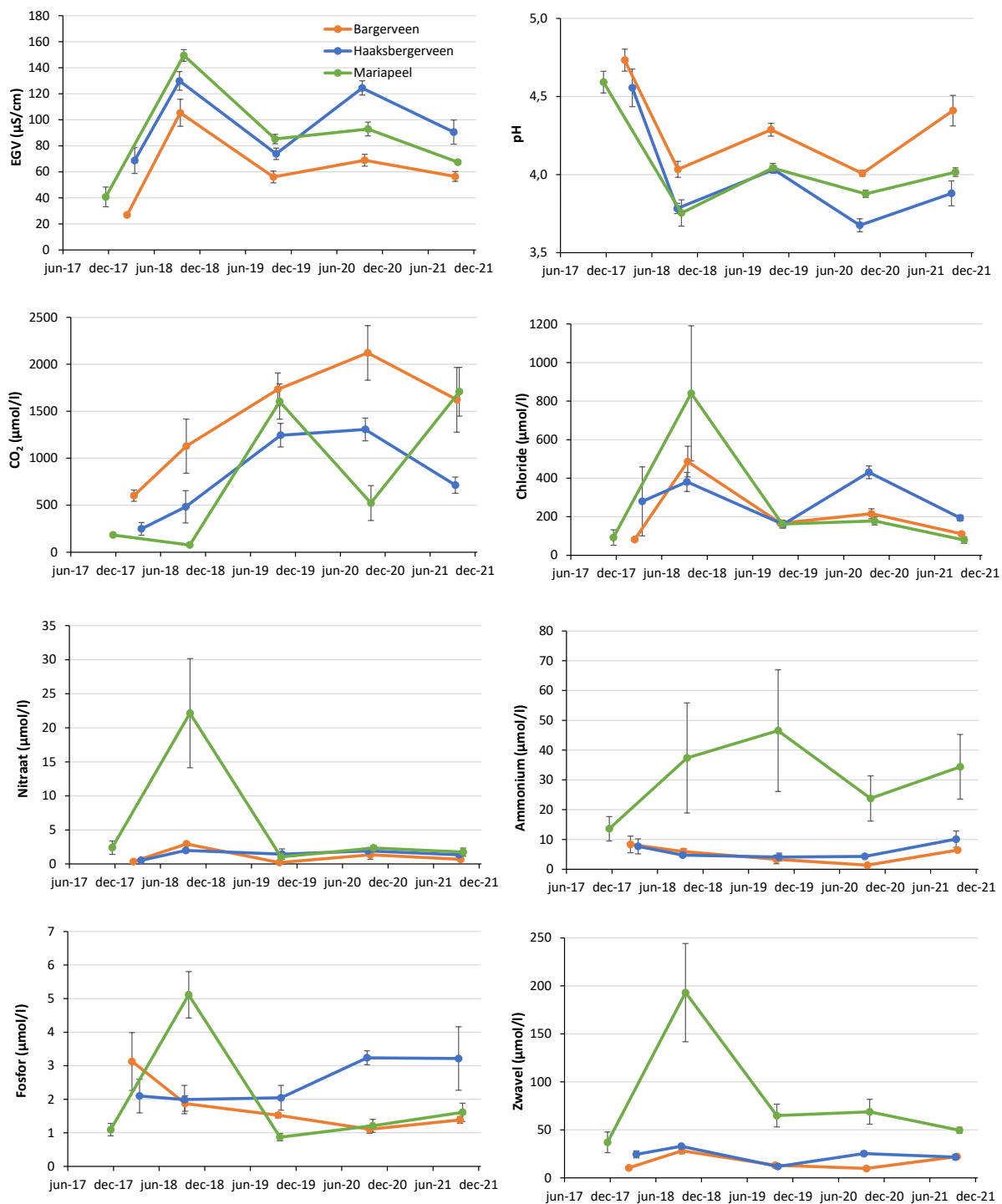
Tabel 24. Gemiddelde nutriëntenconcentraties (C, N, P en K) en nutriënten-ratio's van het geïntroduceerde veenmos bij de experimenten in een Waterveenmos- en in een Fraai veenmosvegetatie in de Deurnsche Peel en Mariapeel. De veenmossen zijn afkomstig van het Oosterbos (Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos) en Bargerveen (Gewoon veenmos). De veenmossen werden verzameld in november 2017. Weergegeven zijn gemiddelden ± standaardfout (n = 4).

Table 24. Mean nutrient concentrations (C, N, P and K) and nutrient ratios of the introduced peat mosses in the experiments in a vegetation dominated by *S. cuspidatum* or *S. fallax* in the Deurnsche Peel bog and Mariapeel bog. The peat mosses originated from the Oosterbos bog (*S. magellanicum* and *S. papillosum*) and Bargerveen bog (*S. palustre*). The peat mosses were collected in November 2017. Shown are means ± standard error (n = 4).

Soort	Deel	N	C	P	K	N/P-ratio	N/K-ratio
		%	%	%	%	g/g	g/g
Hoogveenveenmos	capitulum (0-1 cm)	1,0 ± 0,0	45,9 ± 0,2	0,04 ± 0,00	0,19 ± 0,00	28 ± 3	5,2 ± 0,2
Hoogveenveenmos	stengel (1-3 cm)	0,9 ± 0,0	45,7 ± 0,1	0,03 ± 0,00	0,26 ± 0,01	34 ± 2	3,5 ± 0,3
Wrattig veenmos	capitulum (0-1 cm)	1,0 ± 0,0	44,5 ± 0,0	0,04 ± 0,00	0,19 ± 0,02	23 ± 1	4,0 ± 0,5
Wrattig veenmos	stengel (1-3 cm)	0,9 ± 0,0	44,7 ± 0,1	0,03 ± 0,00	0,24 ± 0,03	28 ± 2	2,8 ± 0,1
Gewoon veenmos	capitulum (0-1 cm)	1,0 ± 0,1	44,6 ± 0,1	0,07 ± 0,00	0,26 ± 0,01	14 ± 0	5,1 ± 0,3
Gewoon veenmos	stengel (1-3 cm)	1,0 ± 0,1	44,6 ± 0,2	0,07 ± 0,00	0,35 ± 0,02	15 ± 0	4,0 ± 0,5

In het natte jaar 2021 is de EGV weer afgenomen en de pH gestegen (Figuur 55). De CO₂-concentratie in het bodemvocht in de Mariapeel fluctueert sterk, waarschijnlijk als gevolg van wisselende waterstanden. In het najaar van 2021 was de CO₂-concentratie hoog (> 1500 µmol/l) en vergelijkbaar met het Bargerveen (Figuur 55). Ten opzichte van 2020 zijn in 2021 de CO₂-concentraties in het bodemvocht in het Bargerveen en Haaksbergerveen afgenomen. Een duidelijke verklaring hiervoor is niet te geven.

Een opvallend verschil tussen de drie locaties is de significant hoge concentratie ammonium in het bodemvocht in de Mariapeel. De hoge ammoniumconcentraties zijn deels het gevolg van de decennialange hoge atmosferische stikstofdepositie in deze regio, maar kunnen ook duiden op een verhoogde mineralisatie van veen als gevolg van de droogte.



Figuur 55. EGV, pH, CO₂-, chloride-, nitraat-, ammonium-, fosfor- en zwavelconcentratie in het bodemvocht van de experimenten in Fraai veenmos in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Mariapeel. Bodemvocht werd verzameld bij de start van het experiment (december 2017-maart 2018), na 1 jaar (oktober 2018), 2 jaar (oktober 2019), 3 jaar (oktober 2020) en 4 jaar (oktober 2021). Weergegeven zijn gemiddelden van de 4 blokken ± standaardfout (n = 4).

Figure 55. EGV, pH, CO₂, chloride, nitrate, ammonium, phosphorus and sulphur concentrations in the pore water of the experiments in a vegetation dominated by *S. fallax* in the Bargerveen bog, Haaksbergerveen bog and Mariapeel bog. Pore water was collected at the start of the experiment (December 2017-March 2018), after 1 year (October 2018), 2 years (October 2019), 3 years (October 2020) and 4 years (October 2021). Shown are averages of the 4 blocks ± standard error (n = 4).

Tabel 25. Resultaten van de statistische analyse van de chemische samenstelling van het bodemvocht bij de experimenten in Fraai veenmos in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Mariapeel. Tijd x gebied = interactie tussen tijd en gebied. Wanneer de gebieden significant verschillen ($p < 0,05$), is dit aangegeven met verschillende letters. - = niet significant, * = $p \leq 0,05$, ** = $p \leq 0,01$ en *** = $p \leq 0,001$.

Table 25. Results of the statistical analysis of the chemical composition of the pore water in the experiments in Sphagnum fallax in the Bargerveen bog, Haaksbergerveen bog and Mariapeel bog. Tijd x gebied = interaction between time and location. If the bogs differ significantly ($p < 0.05$), this is indicated with different letters. - = not significant, * = $p \leq 0.05$, ** = $p \leq 0.01$ and *** = $p \leq 0.001$.

Effect	pH	EGV	CO ₂	NH ₄	NO ₃	P	S	Cl	K
Gebied	***	***	**	***	**	**	***	*	***
Tijd	***	***	***	*	***	**	***	***	***
Tijd x gebied	-	***	***	-	*	***	***	-	*
Bargerveen	a	a	b	a	a	a	a	ab	a
Haaksbergerveen	b	c	a	a	ab	b	a	b	b
Mariapeel	b	b	a	b	b	a	b	a	b

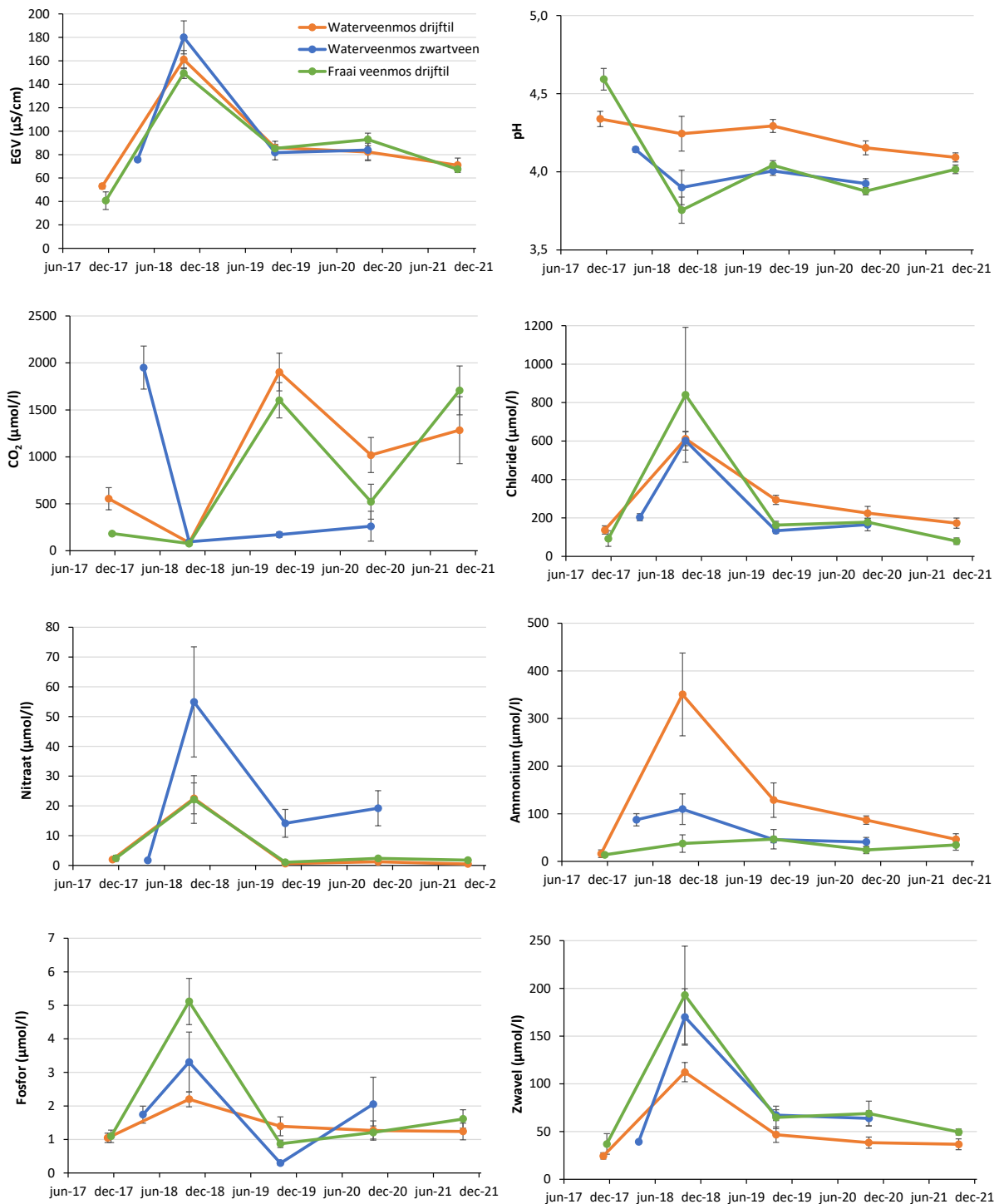
4.3.3.2 Introducties in Waterveenmos

In de Deurnsche Peel zijn bultvormers geïntroduceerd op een drijftil met Waterveenmos (Deurnsche Peel: blok 1 t/m 4) en in een Waterveenmosvegetatie op vast zwartveen (Deurnsche Peel: blok 5 t/m 8). Op het vaste veen zijn in 2020 geen bultvormers meer waargenomen, zodat in 2021 geen bodemvocht meer is bemonsterd. In Bijlage 5 worden de resultaten van de wateranalyses in tabelvorm gegeven.

Uit de nulmeting blijkt dat het bodemvocht bij het experiment in Waterveenmos op zwartveen rijker is aan CO₂ dan in de drijvende veenmosvegetaties (ca. 2000 µmol/l; Figuur 56). Op de drijftillen is bodemvocht verzameld in jong veenmosveen met organisch materiaal dat nog vrijwel niet afgebroken en gemineraliseerd is. Het bodemvocht in het zwartveen is zuurder en rijker aan ammonium. De belangrijkste verschillen tussen de drijvende vegetaties van Waterveenmos en Fraai veenmos zijn: het bodemvocht is minder zuur in Fraai veenmos en bevat minder CO₂ (Figuur 56). De fosfaatconcentratie in het bodemvocht is bij Fraai veenmos niet hoger dan bij Waterveenmos (Figuur 56).

De droge omstandigheden in oktober 2018 blijken uit de toegenomen EGV van het bodemvocht. De concentratie opgeloste ionen is als gevolg van verdamping ca. 3x zo hoog geworden. Als gevolg van verzurende oxidatieprocessen in het veen is de pH van het bodemvocht afgenomen (vooral in Fraai veenmos; Figuur 56). De CO₂-concentraties zijn sterk afgenomen door verdroging doordat het geproduceerde CO₂ sneller ontsnapt naar de atmosfeer. De concentratie zwavel en nitraat zijn sterk toegenomen door de oxidatie van gereduceerde zwavel- en stikstofverbindingen in het veen. De reden voor de sterk toegenomen ammoniumconcentratie in de drijftil met Waterveenmos in de Deurnsche Peel is niet duidelijk. Dit kan ammonium zijn dat aan het adsorptiecomplex van het veen gebonden was en door verzuring vrijgemaakt is of het kan zijn vrijgekomen door een verhoogde mineralisatie als gevolg van verdroging.

In oktober 2019 en 2020 was het minder droog dan in oktober 2018 en dit blijkt ook uit de lagere EGV van het bodemvocht (Figuur 56). Het bodemvocht was in oktober 2019 en 2020 minder zuur en minder rijk aan nitraat en zwavel (sulfaat) dan in het extreem droge jaar 2018. Het bodemvocht in de drijftillen was in oktober 2019 rijk aan kooldioxide, terwijl de CO₂-concentraties in het relatief droge zwartveen veel lager waren (Figuur 56).



Figuur 56. EGV, pH, kooldioxide-, chloride-, nitraat-, ammonium-, fosfor en zwavelconcentratie van het bodemvocht in de experimenten in Waterveenmos (*Deurnsche Peel*) of Fraai veenmos (*Mariapeel*) bij de start van de experimenten (december 2017), na 1 jaar (oktober 2018), 2 jaar (oktober 2019), 3 jaar (oktober 2020) en 4 jaar (oktober 2021; niet voor introductie op zwartveen). Voor de nulmeting van het experiment met Waterveenmos is pas in april 2018 bodemvocht bemonsterd. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n = 4$).

Figure 56. EGV, pH, carbon dioxide, chloride, nitrate, ammonium, phosphorus and sulphur concentrations of the pore water in the experiments in *S. cuspidatum* (*Deurnsche Peel bog*) or *S. fallax* (*Mariapeel bog*) at the start of the experiments (December 2017), after 1 year (October 2018), 2 years (October 2019), 3 years (October 2020) and 4 years (October 2021; except solid peat). For the zero measurement of the *S. cuspidatum* experiments, pore water was only sampled in April 2018. Shown are means \pm standard error ($n = 4$).

In het natte jaar 2021 lijken de verschillen in bodemvochtchemie tussen de drijvende vegetaties van Waterveenmos en Fraai veenmos kleiner te worden (Figuur 56). De EGV en chlorideconcentraties zijn zoals verwacht afgenomen (Figuur 56). Vooral de CO₂-concentraties zijn sterk toegenomen in de drijftillen met Fraai veenmos en zijn voor het eerst hoger dan in de drijftillen met Waterveenmos (Figuur 56). De concentraties van de overige nutriënten (fosfor en stikstof) zijn vergelijkbaar, waarbij de ammoniumconcentraties flink hoger zijn dan in het Bargerveen en Haaksbergerveen (Figuur 55).

4.3.3.3 Samenvattend

De sterke uitbreiding van Wrattig veenmos in het Bargerveen lijkt samen te hangen met de hoge CO₂-concentraties (ook in de droge jaren) in het bodemvocht. Als gevolg van minder stabiele waterstanden fluctueren de CO₂-concentraties in de Mariapeel. De hoge ammoniumconcentraties in de Mariapeel zijn waarschijnlijk mede het gevolg van de decennialange hoge stikstofdepositie.

In de Deurnsche Peel zijn de lage waterstanden op vast zwartveen zichtbaar aan de sterke toename van de nitraat- en sulfaatconcentraties. In vergelijking tot de drijftil met Fraai veenmos in de Mariapeel, zijn in de drijftil met Waterveenmos in de Deurnsche Peel de ammoniumconcentraties in het bodemvocht veel hoger en de fosfaatconcentraties juist lager. In het natte jaar 2021 zijn de verschillen in bodemvochtchemie tussen de drijvende vegetaties van Waterveenmos in de Deurnsche Peel en Fraai veenmos in de Mariapeel kleiner geworden.

4.3.4 Resultaten fauna

Bij de analyse van de gegevens van de ongewervelde fauna in de veenmosintroductie plotjes en controle locaties werden vooral verschillen in soortensamenstelling gevonden tussen de veenputten en het vaste veen en tussen jaren. Dit wordt verder uitgewerkt in Hoofdstuk 7, waarin wordt ingegaan op de effecten van de brand in de Deurnsche Peel in 2020.

Zoals te verwachten was, werden geen consistente verschillen gevonden tussen plotjes waar veenmossen zijn geïntroduceerd en waar dat niet het geval is. Wel is de verwachting dat op wat langere termijn de entomofauna zal reageren op de uitbreiding van bultvegetaties. Onder andere in eerder onderzoek in de hoogveenrestanten Fochteloërveen, Haaksbergerveen (in het kader van OBN) en in de Engbertsdijksvenen bleken diverse kenmerkende (hoog)veen- en moerassoorten een duidelijke voorkeur te hebben voor de open, zonbeschenen veenmosbulten. Deze ontwikkeling zal in de plotjes nog een heel aantal jaren duren.

4.3.5 Conclusies introducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos

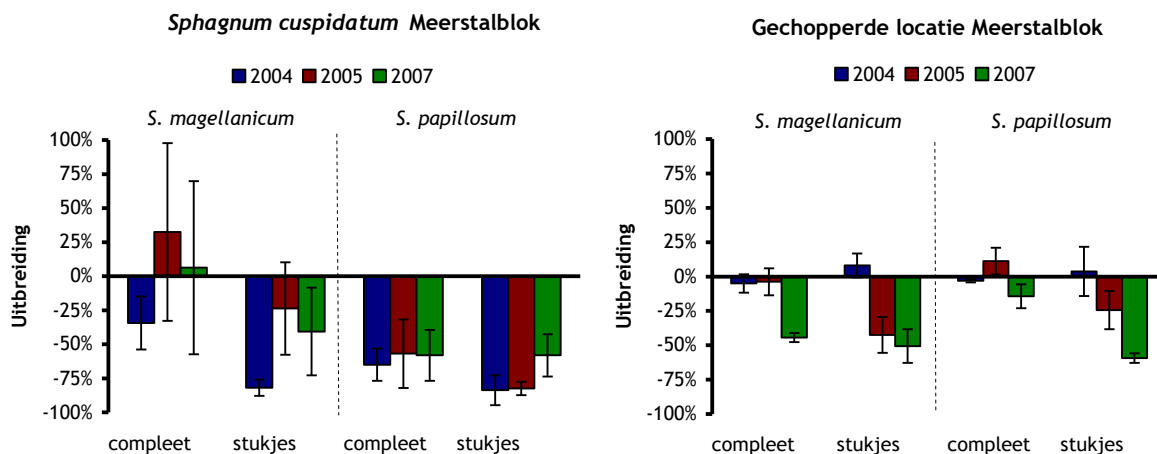
- Herintroductie van bultvormende veenmossen in slenkveenmos kan het beste gebeuren met hoge dichtheid in de vorm van intacte plaggen.
- Herintroductie van bultvormende veenmossen kan zowel in slenken met Waterveenmos als Fraai veenmos waar de waterstand stabiel is.
- Herintroductiesucces lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos. Keuze van veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.

4.4 Succes herintroductie op de langere termijn

In de periode 2002-2008 werden in het kader van de tweede fase OBN-hoogvenen in het Bargerveen, de Engbertsdijksvenen, het Haaksbergerveen en de Mariapeel bultvormers ge(her)introduceerd in vegetaties die gedomineerd werden door Fraai veenmos of Waterveenmos. Na afronding van de onderzoeken zijn de ingebrachte veenmossen niet weggehaald. Een aantal van deze experimenten zijn opnieuw bezocht om een beeld te vormen van het succes van de herintroducties op de langere termijn.

4.4.1 Veenmosintroducties Bargerveen

In september 2017 werden veenmosintroducties uit 2004 in het Bargerveen opnieuw bezocht. Op kaal gehopperd veen in het Meerstalblok (Figuur 57, rechts) was al het geïntroduceerde veenmos verdwenen. Net als bij het plas-dras experiment droogt de toplaag van het gehopperde veen sterk uit bij droogte en vormt dan een harde korst. Het aanbrengen van een laagje stro had op deze locatie mogelijk het succes kunnen vergroten.



Figuur 57. Uitbreiding van Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*) en Wrattig veenmos (*S. papillosum*) in december 2004, oktober 2005 en maart 2007, in het Bargerveen (Meerstalblok). *Sphagnum* werd geïntroduceerd als hele plantjes (10 cm lang; compleet) en stukjes van 1 cm (stukjes) in een dichtheid van 160 capitula per m². Het experiment is ingezet (voorjaar 2004) in een Waterveenmos (*S. cuspidatum*) vegetatie (links) en op een gehopperde locatie (kaal veensubstraat; rechts). Een uitbreiding van 0% betekent dat alle geïntroduceerde capitula nog aanwezig waren. Weergegeven zijn gemiddelden ± 1 SE.

Figure 57. Expansion of *S. magellanicum* and *S. papillosum* in December 2004, October 2005 and March 2007, in the Bargerveen bog (Meerstalblok). *Sphagnum* was introduced as intact plants (10 cm long; complete) and 1 cm pieces (fragments) at a density of 160 capitula per m². The experiment was started (spring 2004) in a *S. cuspidatum* vegetation (left) and in a choppered location (bare peat substrate; right). An expansion of 0% means that all introduced capitula were still present. Shown are mean values ± 1 SE.

In 2004 werden ook Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos geïntroduceerd op een drijftil met een dichte Waterveenmos vegetatie. Direct na introductie was een flink aandeel van de veenmossen afgestorven, maar in de jaren daarna was enig herstel zichtbaar (Figuur 57, links). In 2017 werd het experiment opnieuw bezocht en in een aantal proefvlakken hebben de geïntroduceerde bultvormers zich flink weten uit te breiden (Figuur 58 links). Tussen 2017 en 2021 hebben de bultvormers zich nog weer verder weten uit te breiden (Figuur 58 rechts). Binnen deze periode is

het gedurende 3 jaren (extreem) droog geweest, dus de uitbreiding heeft waarschijnlijk voornamelijk in 2021 plaatsgevonden.

In 2021 werden tevens de oppervlaktes van de door Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos gevormde bulten opgemeten. In 2004 werd in 8 proefvlakken Hoogveenveenmos geïntroduceerd en in 8 proefvlakken Wrattig veenmos (voor beide soorten 4 proefvlakken met intacte mossen en 4 proefvlakken met fragmenten). Niet alle proefvlakken konden teruggevonden worden, maar er werden in totaal 12 bulten aangetroffen (4x Hoogveenveenmos en 8x Wrattig veenmos). De gemiddelde oppervlakte van de bulten met Hoogveenveenmos was 1,7 m² en met Wrattig veenmos 1,2 m². De bulten zijn ontstaan zowel uit geïntroduceerde complete mossen als uit fragmenten. Minimaal 7 bulten zijn met zekerheid gevormd na de introductie van fragmenten, terwijl de verwachting was dat de introductie van complete mossen in slenkvegetaties kansrijker is.



Figuur 58. Impressie van een veenmosintroductie-experiment dat werd ingezet in 2004 in het Bargerveen. In een groot aantal plots hebben Wrattig veenmos en Hoogveenveenmos zich fors uitgebreid (foto links: september 2017 en foto rechts: oktober 2021), zowel bij introductie als complete planten als fragmenten van 1 cm. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 58. Impression of a peat moss introduction experiment that was started in 2004 in the Bargerveen bog. In a large number of plots *S. papillosum* and *S. magellanicum* have expanded considerably (photo left: September 2017 and photo right: October 2021), both at introduction as complete plants and as fragments of 1 cm. Photos: Hilde Tomassen.

4.4.2 Veemosintroducties Engbertsdijksvenen

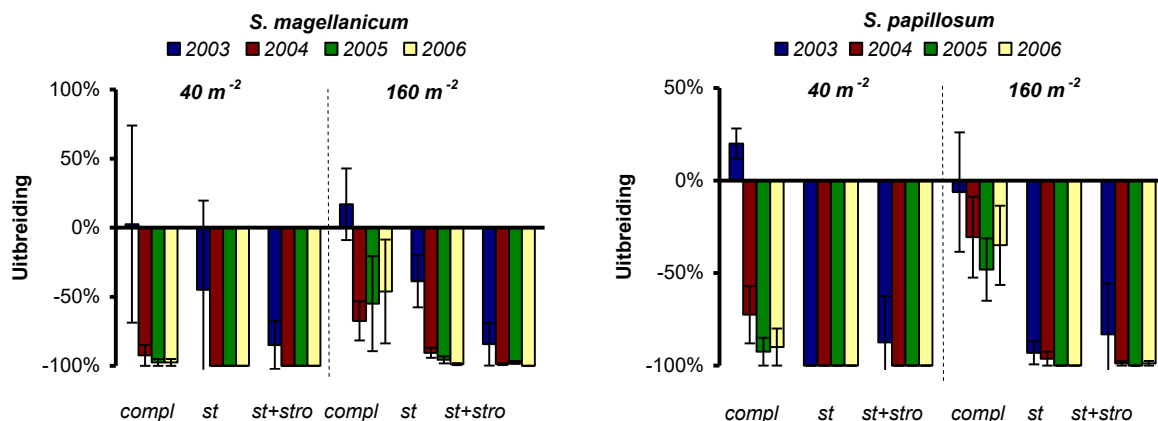
In het najaar van 2002 werden Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos geïntroduceerd op een drijfteil gedomineerd door Waterveenmos (Figuur 59, links). Vier jaar na de introductie (2006) was vrijwel al het geïntroduceerde veenmos afgestorven en overgroeid. Het massaal afsterven van het geïntroduceerde veenmos is grotendeels te verklaren door de ongunstige abiotische condities tijdens het groeiseizoen van 2003. Het al aanwezige Waterveenmos is ook voor een groot deel afgestorven door de slechte groeicondities en de explosieve ontwikkeling van de Veemosgrauwkop (Figuur 59, rechts).

In de zomer van 2006 werd een nieuwe dam aangelegd direct grenzend aan de veenput waar de veenmossen werden geïntroduceerd (Figuur 61, links). Het waterpeil op deze locatie is door de aanleg van de dam sterk gestegen, waardoor het experiment onder water is komen te liggen (Figuur 61, rechts). In de jaren daarna was het experiment door de stijging van het waterpeil en de relatief dunne drijfteil niet meer bereikbaar.



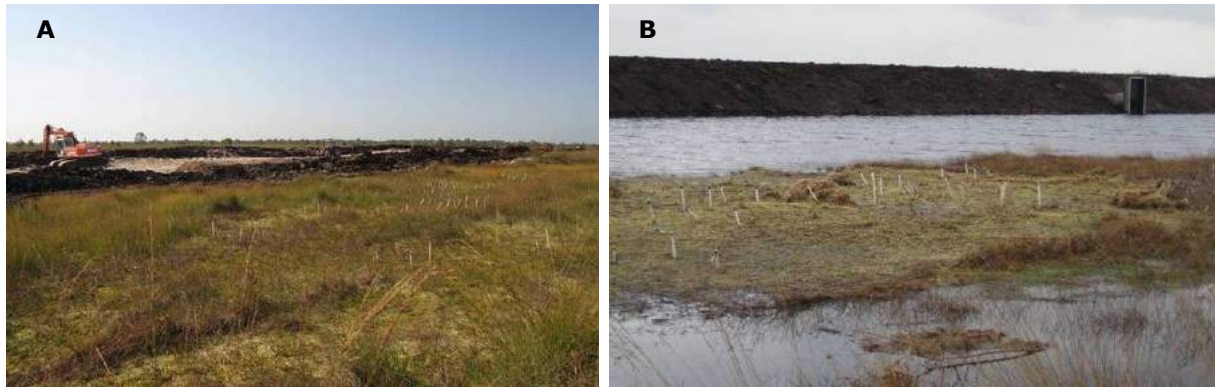
Figuur 59. Overzicht van het veenmosintrodactie experiment in de Engbertsdijkerven in november 2002 (links) en november 2004 (rechts). Gedurende het experiment is het aantal infecties van Waterveenmos met de Veenmosgrauwkop (zichtbaar als de witte plekken in het groene onaangetaste mos) sterk toegenomen. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 59. Overview of the peat moss introduction experiment in the Engbertsdijkerven bog in November 2002 (left) and November 2004 (right). During the experiment, the number of infections of *S. cuspidatum* with *Tephroclybe palustris* (visible as white spots in the green uninfected moss) increased significantly. Photos: Hilde Tomassen.



Figuur 60. Uitbreiding van Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) in het introductie-experiment in de Engbertsdijkerven in november 2003, 2004, 2005 en juli 2006. Veenmos werd geïntroduceerd in twee dichtheden (40 en 160 capitula per m²) en als hele plantjes (10 cm lang; compl), stukjes van 1 cm (st) en stukjes van 1 cm afgedekt met stro (st+stro). Een uitbreiding van 0% betekent dat alle geïntroduceerde capitula nog aanwezig waren. Weergegeven zijn gemiddelden ± 1 SE.

Figure 60. Expansion of *Sphagnum magellanicum* and *Sphagnum papillosum* in the introduction experiment in the Engbertsdijkerven bog in November 2003, 2004, 2005 and July 2006. Peat moss was introduced in two densities (40 and 160 capitula per m²) and as intact plants (10 cm long; compl), fragments of 1 cm (st) and fragments of 1 cm covered with straw mulch (st+stro). An expansion of 0% means that all introduced capitula were still present. The averages are given ± 1 SE.



Figuur 61. A) Aanleg nieuwe zanddam rondom de veenkern van de Engbertsdijksvenen in de zomer van 2006. Op de voorgrond zijn de proefvlakken van het introductie-experiment zichtbaar. B) In het najaar van 2006 is de proeflocatie geheel onder water komen te staan, maar begin 2007 was een deel van de proefvlakken weer omhooggekomen. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 61. A) Construction of a new sand dam around the bog massif of the Engbertsdijksvenen bog in the summer of 2006. The experimental plots of the introduction experiment are visible in the foreground. B) In the autumn of 2006 the experimental site was completely flooded, but at the beginning of 2007 part of the trial areas had risen again. Photographs: Hilde Tomassen



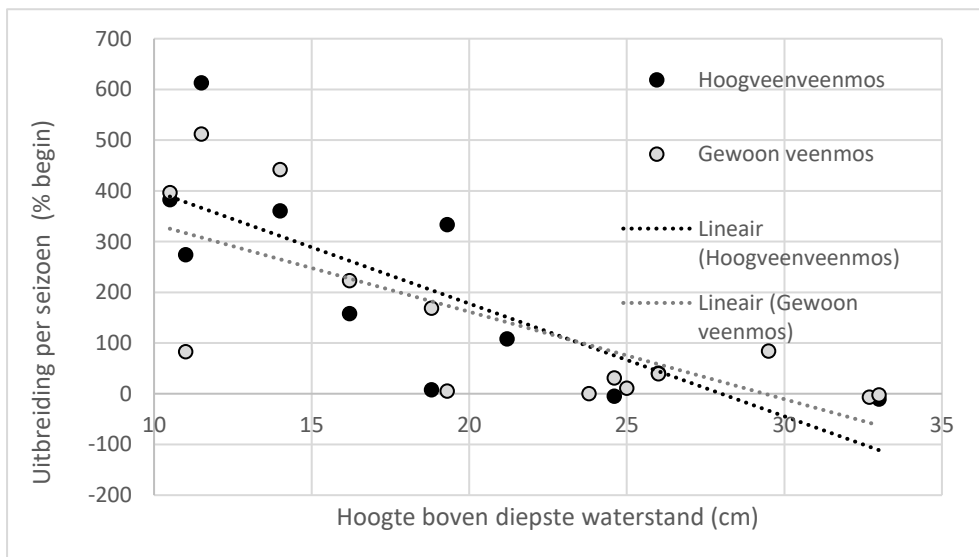
Figuur 62. Impressie van het oude introductie-experiment in de Engbertsdijksvenen in november 2020 (links). Tussen het Waterveenmos hebben zich (waarschijnlijk) spontaan bulten van Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos gevestigd. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 62. Impression of the old introduction experiment in the Engbertsdijksvenen bog in November 2020 (left). In the vegetation dominated by *S. cuspidatum* small hummocks of *S. magellanicum* and *S. papillosum* have (probably) spontaneously established. Photographs: Hilde Tomassen.

In november 2020 werd het experiment nogmaals bezocht om vast te stellen of er nog geïntroduceerde bultvormers in leven zijn. In de proefvlakken die nog terug te vinden waren, werden geen bultvormers meer aangetroffen. Elders op de drijftil werden echter wel bultvormers aangetroffen (Figuur 62). De uitgebreide aanwezigheid van bultvormers in de directe omgeving van de drijftil, is een aanwijzing deze niet afkomstig zijn van het experiment maar zich spontaan hebben gevestigd na de aanleg van de nieuwe dam in 2006. Deze locatie is daarom ook bemonsterd voor het onderzoek naar standplaatsfactoren op locaties waar bultvormers zich spontaan uitbreiden (zie hoofdstuk 5).

4.4.3 Veenmosintroducties Haaksbergerveen

In februari 2008 werd in het kader van OBN-onderzoek 2e fase OBN-hoogvenen een veenmosintroductie-experiment met Hoogveenveenmos en Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*) gestart in het Haaksbergerveen (Tomassen e.a., 2011; Limpens, 2012). In dit experiment werd getest in hoeverre groei en uitbreiding van deze soorten zou kunnen worden belemmerd (Hoogveenveenmos) dan wel gestimuleerd (Gewoon veenmos) door berkendichtheid. Introductie vond plaats in de vorm van intacte plaggen (diameter 9 cm, lengte 12,5 cm) in een gesloten veenmosvegetatie van Fraai veenmos over een gradiënt van berkendichtheid. In totaal werden beide soorten veenmos op 28 plekken geïntroduceerd. Op 24 november 2017, na 10 groeiseizoenen, werden de locaties opnieuw gezocht om de lange termijn ontwikkeling te bekijken samen met BSc student Daniel Kollen. Van 22 van de 28 locaties kon met zekerheid de trend worden vastgesteld. Op ruim de helft van deze locaties hadden de geïntroduceerde veenmossen het overleefd (50% Hoogveenveenmos, 59% Gewoon veenmos) terwijl uitbreiding in oppervlak op ruim een derde van de locaties plaats had gevonden (36% Hoogveenveenmos, 50% Gewoon veenmos). Uitbreiding van de geïntroduceerde veenmossen leek primair een functie van de (diepste) waterstand (Figuur 63, Lineaire regressie $R^2 = 0.60$ voor Hoogveenveenmos, 0.55 voor Gewoon veenmos): bij stabiel hoge waterstanden is de kans op succesvolle uitbreiding na introductie hoger dan bij dieper wegzakkende waterstanden. Het waterstandseffect overschaduwde het effect van berkendichtheid, net als in 2010 (Limpens, 2012). Uitbreiding kan bij gunstige omstandigheden zeer snel plaats vinden.



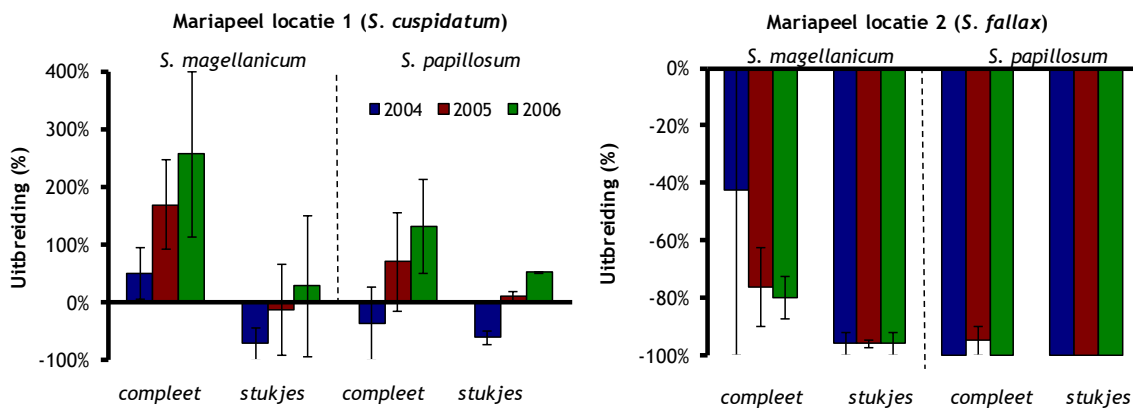
Figuur 63. Uitbreiding bedekking per groeiseizoen van geïntroduceerd Hoogveenveenmos en Gewoon veenmos (% van veenmos oppervlak in 2008) in Haaksbergerveen als functie van de diepste waterstand zoals gemeten in september 2008. De grafiek illustreert het belang van stabiel hoge waterstanden als succesfactor voor herintroductie van bultvormers in Fraai veenmos.

Figure 63. Cover expansion per growing season of introduced *S. magellanicum* and *S. palustre* (% of peat moss surface in 2008) in the Haaksbergerveen bog as a function of the deepest water level measured in September 2008. The graph illustrates the importance of stable, high-water levels as a success factor for reintroduction of hummock-building peat mosses in a vegetation dominated by *S. fallax*.

4.4.4 Veenmosintroducties Mariapeel

Op 10 maart 2004 werd in het kader van OBN-onderzoek een veenmosintroductie-experiment ingezet in de Mariapeel (Tomassen e.a., 2011). Het betrof de introductie van de bultvormers Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos in zowel een drijvende Waterveenmosvegetatie als Fraai veenmosvegetatie. De opzet van dit experiment was vergelijkbaar met de huidige opzet, alleen is

destijds ook onderzocht in hoeverre in stukjes geknipt veenmos zich kon vestigen en uitbreiden. In Figuur 64 staan de resultaten na 2 jaar weergegeven. Het introduceren van stukjes veenmos bleek minder kansrijk dan de introductie van complete planten (10 cm lengte). Door de hoge groeisnelheid van Fraai veenmos was het voor de bultvormers onmogelijk om zich te handhaven, zodat na 2 jaar vrijwel al het geïntroduceerde veenmos was verdwenen (Figuur 64).



Figuur 64. Uitbreiding van de bultvormers Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*) en Wrattig veenmos (*S. papillosum*) in een veenput gedomineerd door Waterveenmos (*S. cuspidatum*; links) en Fraai veenmos (*S. fallax*; rechts) in de Mariapeel. De veenmossen werden geïntroduceerd als complete planten (10 cm lengte) en in stukjes geknipt. Na 2 jaar bleek dat uitbreiding alleen plaatsvond bij de introductie van complete planten in een Waterveenmos vegetatie. De bultvormers bleken de concurrentie met Fraai veenmos niet aan te kunnen. Bron: Tomassen e.a. (2011).

Figure 64. Expansion of the hummock-builders *S. magellanicum* and *S. papillosum* in a peat pit dominated by *S. cuspidatum* (left) and *S. fallax* (right) in the Mariapeel bog. The peat mosses were introduced as intact plants (10 cm length) and cut into fragments. After 2 years, it appeared that expansion only took place when intact plants were introduced into a vegetation dominated by *S. cuspidatum*. The hummock-building peat mosses turned out not to be able to compete with *S. fallax*. Source: Tomassen et al. (2011).

Op 26 september 2017, na 14 groeiseizoenen, werd het experiment opnieuw bezocht. In de door Waterveenmos gedomineerde veenput werden mooie bulten van Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos aangetroffen. Niet alle paaltjes van de proefvlakken werden teruggevonden, maar de ligging van de proefvlakken kon aan de hand van een plattegrond worden gereconstrueerd. In alle proefvlakken waar bultvormers waren geïntroduceerd, dus ook als stukjes/fragmenten, zijn deze nog aanwezig (Figuur 65). In de meeste proefvlakken was een bult aanwezig ter grootte van het proefvlak (ca. 50 x 50 cm; Figuur 65), maar in enkele proefvlakken was de bult nog groter of juist wat kleiner.

In de door Fraai veenmos gedomineerde veenput bleek inderdaad dat al het geïntroduceerde Wrattig veenmos is verdwenen. In de 4 proefvlakken waar Hoogveenveenmos werd geïntroduceerd bleek deze na 14 jaar toch nog aanwezig te zijn. In één van de proefvlakken waar Hoogveenveenmos als complete planten werd geïntroduceerd, was een bult aanwezig met een oppervlakte van ca. 30 bij 30 cm. In de andere drie proefvlakken was Hoogveenveenmos nog wel aanwezig, maar had zich deze minder sterk uitgebreid (Figuur 65). In de eerste 2 jaar na introductie is dus vrijwel al het ingebrachte veenmos verdwenen, maar de enkele planten die dit hebben overleefd (Figuur 64), hebben zich in de jaren daarna in meer of mindere mate toch weten uit te breiden.



Figuur 65. Foto's van het in 2004 ingezette veenmosintroductie-experiment in de Mariapeel. Linksboven: overzicht veenput gedomineerd door Waterveenmos, rechtsboven: sterke uitbreiding van Hoogveenveenmos in een Waterveenmosvegetatie, linksonder: detailfoto van sterke uitbreiding van Wrattig veenmos en rechtsonder: Hoogveenveenmos dat zich heeft weten te handhaven in de Fraai veenmosvegetatie. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 65. Photographs of the experiment in which hummock-building peat mosses were introduced in 2004 in the Mariapeel bog. Top left: overview of peat pit dominated by *S. cuspidatum*, top right: strong expansion of *S. magellanicum* in a vegetation dominated by *S. cuspidatum*, bottom left: detail picture of strong expansion of *S. papillosum* and bottom right: *S. magellanicum* has managed to maintain itself in the vegetation dominated by *S. fallax*. Photographs: Hilde Tomassen.

4.4.5 Samenvattend

Het opnieuw bezoeken van oude introductie-experimenten geeft een goed beeld van het succes op de langere termijn. Indien de eerste jaren een trend zichtbaar is dat de bultvormers zich weten te handhaven en/of uitbreiden, dan blijken ze na 10-15 jaar nog steeds aanwezig te zijn. Op de locaties waar herintroductie niet succesvol is geweest (gechopperde locatie Bargerveen en drijftil Fraai veenmos Mariapeel), was in de eerste jaren duidelijk een afnemende trend zichtbaar. Op de locaties waar herintroductie wel succesvol is geweest bleek na het eerste jaar vaak dat een flink aandeel van het veenmos was verdwenen, maar dat er in de jaren daarna weer duidelijk herstel optrad en dat dit zich in de loop van de jaren heeft doorgezet. Niet alleen het herintroduceren van intacte bultvormers blijkt succesvol op de langere termijn, maar ook fragmenten blijken zich goed te kunnen uitbreiden in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos.

5. Veldonderzoek spontane vestiging of uitbreiding bultvormers

5.1 Inleiding

In verschillende hoogveengebieden vindt lokaal wel spontane vestiging en uitbreiding van bultvormers plaats. Om meer inzicht te krijgen onder welke omstandigheden bultvormers zich spontaan uitbreiden werd een beperkt veldonderzoek uitgevoerd. De locaties voor dit veldonderzoek werden geselecteerd op basis van de uitkomsten van een enquête onder hoogveenbeheerders.

5.2 Online enquête hoogveenbeheerders

Om een beeld te vormen van de locaties waar bultvormers zich recentelijk spontaan hebben uitgebreid werd een inventarisatie gehouden onder hoogveenbeheerder. Deze enquête werd ook gebruikt om een beeld te krijgen van de praktijkproeven die beheerder hebben uitgevoerd om de ontwikkeling van Waterveenmos in een aquatische situatie te stimuleren (zie Hoofdstuk 6).

De enquête werd opgesteld door Bas van der Meer, student Bos en Natuurbeheer aan de Wageningen Universiteit, en omvatte de volgende vragen:

1. Wat is uw naam?
2. Welk hoogveengebied heeft u in beheer?
3. Hoe lang voert u al het beheer over dit gebied?
4. Voor het herstel en beheer van hoogvenen is een goede hydrologie van het gebied van belang. Hoe zou u een goede hydrologie omschrijven?
5. Vanaf wanneer ziet u veenmos ontwikkeling als succesvol?
6. Veenmosgroei kan over de tijd veranderen. Wat kunt zeggen over de verandering in oppervlakte veenmos in het gebied dat u beheert?
7. Hoe, en hoe gedetailleerd, worden de maatregelen die plaatsvinden binnen het gebied gedocumenteerd?
8. Is er sprake van uitbreiding van bultvormende veenmossen in het gebied dat u beheert?
9. Waarom denkt u dat de bultvormende veenmossen zich juist uitbreiden op de betreffende locaties? Denk hierbij aan wat de locatie uniek maakt qua ligging ten opzichte van de rest van het gebied dat u beheert.
10. Heeft u maatregelen genomen om de ontwikkeling vanuit een aquatische situatie te stimuleren? Denk hierbij aan het inbrengen van (wit)veen, afgezaagde berken of pollen pijpenstrootje.
11. Heeft dit geleid tot een ontwikkeling van veenmossen?
12. Waarom denkt u dat de maatregelen niet het gewenste effect hebben bereikt?
13. Hoe hebben de afgelopen, relatief droge, jaren de veenmosontwikkeling in het terrein beïnvloedt?
14. Hoe denkt u over de kansen van veenmosontwikkeling/uitbreiding in de toekomst?
15. Denkt u dat er extra (aanvullende) maatregelen nodig zijn om een positieve ontwikkeling te waarborgen?
16. Zijn er bepaalde interne of externe maatregelen die u in gedachte heeft voor uw terrein?

17. Voor het OBN-onderzoek willen wij graag een aantal locaties waar veldproeven zijn uitgevoerd om de ontwikkeling vanuit een aquatische situatie te stimuleren bemonsteren. Heeft u locaties met een gunstige dan wel ongunstige veenmosontwikkeling in open water die u zou aanbevelen voor dit veldonderzoek en die wij mogen bemonsteren?
18. Voor het onderzoek zoeken we ook 3 locaties waar bultvormende veenmossen zich spontaan hebben gevestigd en uitbreiden, zijn er locaties die u hiervoor zou aanraden en die wij mogen bemonsteren?

Tabel 26. Overzicht van de retour invangen en ingevulde enquêtes over veldproeven in een aquatische situatie en de spontane uitbreiding van bultvormende veenmossen.

Table 26. Summary of the returns and completed surveys on field trials in an aquatic situation and the spontaneous expansion of hummock-building peat mosses.

Hoogveengebied(en)	Enquête ingevuld door
Aamsveen	Jacob van der Weele
Bargerveen en De Witten	Ruben Kluit
Engbertsdijksvenen	Rick Ruis
Fochteloërveen	Roos Veeneklaas
Haaksbergerveen	Rick Ruis
Korenburgerveen en Wooldse Veen	Robert Ketelaar
Mariapeel, Deurnsche Peel, Grootte peel en de Bult	Martin Carree
Wierdense veld en Beerzerveld	Evert Dijk, Mark Zekhuis en Jacob van der Weele
Witte Veen	Jaap in 't Veld
Witterveld	Rense Haveman

Tabel 27. Overzicht van de uitkomsten van de online enquête onder hoogveenbeheerders op de vraag of er maatregelen zijn uitgevoerd en of er geschikte locaties zijn om te bemonsteren bij het veldonderzoek. Bron: Bas van der Meer.

Table 27. Summary of the results of the online survey among bog managers on the question of whether measures have been implemented and whether there are suitable locations for sampling in the field survey. Source: Bas van der Meer.

+ = ja
o = nee
x = geen antwoord gekregen op deze vraag

Gebied	Maatregelen/veldonderzoek	Aquatische situatie	Spontane vestiging	Opmerking
Aamsveen	Maatregelen genomen?	o	+	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Bargerveen	Maatregelen genomen?	+	+	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Engbertsdijksvenen	Maatregelen genomen?	o	x	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Fochteloërveen	Maatregelen genomen?	+	+	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Haaksbergerveen	Maatregelen genomen?	o	o	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Korenburgerveen en Wooldse Veen	Maatregelen genomen?	+	+	
	Geschikt voor veldonderzoek?	o	+	
Mariapeel, Deurnsche Peel en De Bult	Maatregelen genomen?	+	x	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	o	
Wierdense Veld en Beerzerveld	Maatregelen genomen?	+	o	Recentelijk uitgevoerde maatregelen
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Witte Veen	Maatregelen genomen?	+	x	
	Geschikt voor veldonderzoek?	+	+	
Witterveld	Maatregelen genomen?	o	+	
	Geschikt voor veldonderzoek?	o	+	Toestemming veldwerk lastig

In Tabel 26 wordt een overzicht gegeven van de hoogveengebieden waarvoor een ingevulde enquête retour werd ontvangen en door wie de enquête werd ingevuld. In Tabel 27 wordt aangegeven in welke gebieden maatregelen zijn genomen en of er geschikte locaties zijn om te bemonsteren tijdens een veldonderzoek.

Tabel 28. *Overzicht van de 17 bemonsterde locaties voor het vergelijkend veldonderzoek. Weergegeven zijn bemonsteringsdatum, gebied, locatiecode, XY-coördinaten (Amersfoort/RD nieuw (EPSG:28992) en een beknopte omschrijving van de locatie. Locatie FLV3 betreft een locaties waar maatregelen zijn genomen om veenmosontwikkeling vanuit een aquatische situatie te stimuleren (zie Hoofdstuk 6).*

Table 28. *Overview of the 17 sites sampled for the comparative field survey. Shown are sampling date, area, location code, XY coordinates (Amersfoort/RD new (EPSG:28992) and a brief description of the location. Location FLV3 concerns a location where measures have been taken to stimulate peat moss development from an aquatic situation (see Chapter 6).*

Datum	Gebied	Locatie-code	X	Y	Omschrijving
22-10-2020	Fochteloërveen	FLV1	222754	556435	Oude bult <i>S. papillosum</i> , eerdere metingen van beschikbaar
22-10-2020	Fochteloërveen	FLV2	222754	556424	Jonge bult <i>S. papillosum</i>
22-10-2020	Fochteloërveen	FLV3	221459	558578	In verleden veen losgestoken, bult <i>S. magellanicum</i> in <i>S. cuspidatum</i>
26-10-2020	Haaksbergerveen	HBV1	250244	459878	Oude locatie HBV4
26-10-2020	Haaksbergerveen	HBV2	250524	460470	Jonge bult <i>S. magellanicum</i>
26-10-2020	Haaksbergerveen	HBV3	250361	461046	Jonge bult <i>S. magellanicum</i> in <i>S. fallax</i>
26-10-2020	Witte Veen	WV1	257018	463750	<i>S. papillosum</i> in <i>S. cuspidatum</i>
29-10-2020	Mariapeel	MP1	192702	380327	Jonge bult <i>S. papillosum</i>
29-10-2020	Mariapeel	MP2	192816	380235	Jonge bult <i>S. papillosum</i>
5-11-2020	Oosterbos	OB1	263090	531613	Jonge bult <i>S. papillosum</i>
5-11-2020	Oosterbos	OB2	263048	531622	Jonge bult <i>S. papillosum</i> + <i>S. magellanicum</i>
5-11-2020	Bargerveen	BV1	266419	524276	Jonge bult <i>S. magellanicum</i>
5-11-2020	Bargerveen	BV2	266377	524123	Jonge bult <i>S. magellanicum</i>
10-11-2020	Engbertsdijksvenen	EBV1	241955	499858	Jonge bult <i>S. magellanicum</i>
10-11-2020	Engbertsdijksvenen	EBV2	241849	499639	Jonge bult <i>S. magellanicum</i> bij oud introductie-experiment
16-11-2020	Aamsveen	AV1	261902	467481	Jonge bult <i>S. papillosum</i>
16-11-2020	Aamsveen	AV2	261863	467551	Jonge bult <i>S. papillosum</i>

5.3 Aanpak veldonderzoek

Op basis van de informatie uit de online enquête (zie Tabel 27) werden 16 locaties geselecteerd voor een vergelijkend veldonderzoek naar standplaats- en terreinfactoren op locaties waar spontane vestiging van bultvormers heeft plaatsgevonden. Vanwege het beperkte aantal velddagen was het niet mogelijk om alle gebieden op te nemen. In Tabel 28 wordt een overzicht van de bemonsterde locaties gegeven. Deze standplaats- en terreinfactoren werden vergeleken met die van vergelijkbare locaties waar geen spontane vestiging plaatsgevonden heeft.

De volgende standplaats- en terreinfactoren werden vastgesteld:

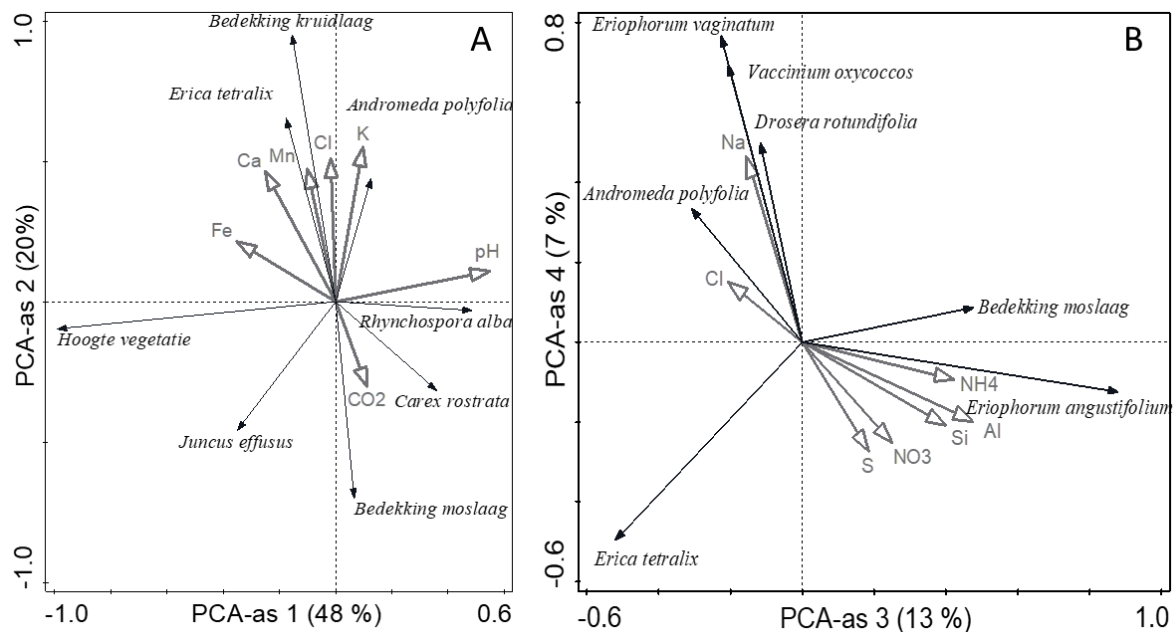
1. Positie locatie in het landschap (in relatie tot de hydrologische stabiliteit)
2. Vegetatiesamenstelling

3. Chemie bodemvocht (o.a. koolstof en overige nutriënten; zie Bijlage 3 voor analysemethoden)
4. Op een aantal locaties ook chemie nabijgelegen open water

Op basis van deze metingen werd onderzocht welke factoren sturend zijn voor een spontane vestiging van bultvormers.

5.4 Resultaten

5.4.1 Veldonderzoek 2020



Figuur 66. Vegetatiesamenstelling op plekken met succesvolle vestiging van bultvormende veenmossen. Ordinatiedigrammen van de vegetatiesamenstelling van 17 monsterpunten op locaties met spontane vestiging van bultvormende veenmossen in 8 verschillende hoogvenen (Bargerveen, Oosterbos, Fochteloërveen, Aamsveen, Witte Veer, Mariapeel, Engbertsdijkvenen en Haaksbergerveen) A) PCA-as 1 en 2 B) PCA-as 3 en 4. In de vegetatie-ordinatie zijn alleen de hogere planten meegenomen, de bedekking van de moslaag en kruidlaag en de hoogte van de vegetatie. Bedekking van de verschillende soorten veenmossen is niet meegenomen: opname locaties waren allen geselecteerd op basis van het voorkomen van bultvormers in een matrix van slenksoorten. Chemische bodemvocht parameters zijn geprojecteerd in de vegetatie-ordinatie om te illustreren hoe water-chemische parameters co-variëren met de vegetatiesamenstelling. Bijvoorbeeld: de pH co-varieert met de bedekking van *Rhynchospora alba* (Witte snavelbies). Dit betekent dat proefvlakken met een hoge bedekking van *R. alba* een hogere pH hadden dan proefvlakken met weinig *R. alba*.

Figure 66. Vegetation composition on sites with successful establishment of hummock-building peat mosses. Ordination diagrams of the vegetation composition of 17 sample points at locations with spontaneous establishment of hummock-building peat mosses in 8 different bogs (Bargerveen, Oosterbos, Fochteloërveen, Aamsveen, Witte Veer, Mariapeel, Engbertsdijkvenen and Haaksbergerveen) A) PCA axis 1 and 2 B) PCA axis 3 and 4. In the vegetation ordination, only the higher plants are included, the cover of the moss layer and herb layer and the height of the vegetation. Cover of the different types of peat mosses was not included: sites were all selected based on the occurrence of hummock-builders in a matrix of hollow species. Soil moisture chemical parameters are projected into the vegetation ordination to illustrate how water chemical parameters co-vary with vegetation composition. For example, pH co-varies with the cover of *Rhynchospora alba*. This means that plots with a high cover of *R. alba* had a higher pH than plots with a low cover of *R. alba*.

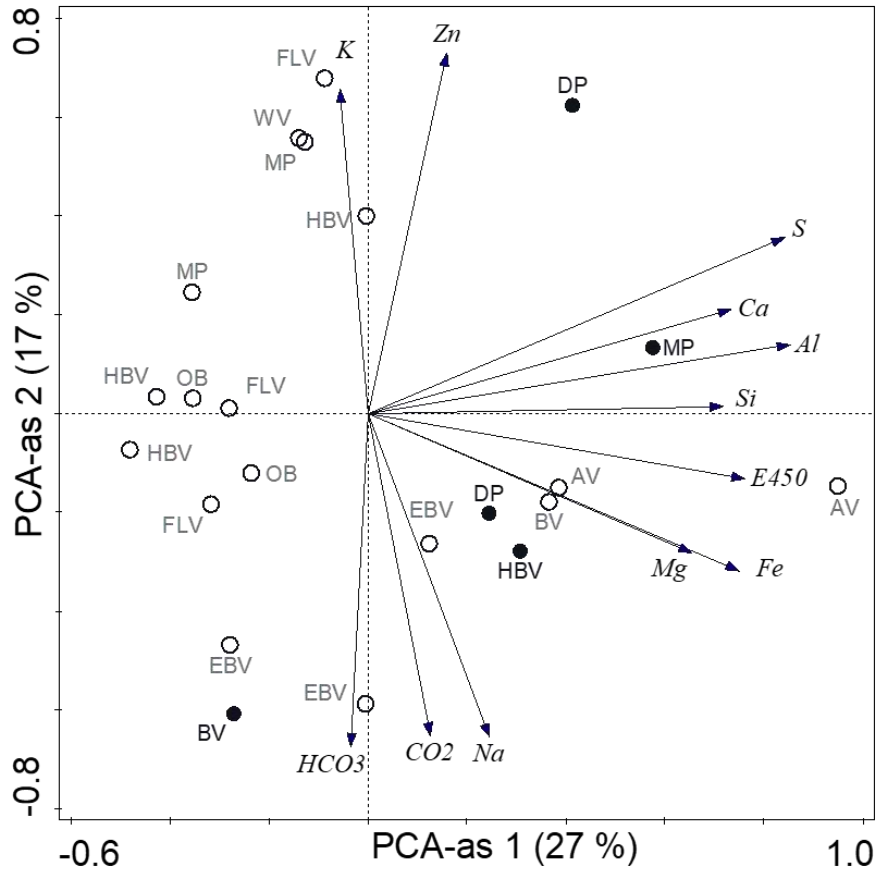
We hebben spontane vestiging van bultvormers aangetroffen onder zeer verschillende condities, op locaties met een kruidlaagbedekking variërend van 4-75% en in verschillende typen vegetatie en bij verschillende bodemchemische condities (Figuur 66). Spontane vestiging vond plaats in 'overgangsveen' condities tussen Pitrus (*Juncus effusus*), in karakteristieke 'slenksituaties' met Witte snavelbies (*Rhynchospora alba*) en in vegetaties kenmerkend voor 'bultsituaties' met Gewone dophei (*Erica tetralix*) en Lavendelheide (*Andromeda polyfolia*). De hoogste bedekking van (alle) veenmossen, inclusief bultvormers, was geassocieerd met jonge successiestadia met hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, een lage totale bedekking van de kruidlaag en het voorkomen van Snavelzegge (*Carex rostrata*). De grote variatie in condities illustreert dat vestiging van bultvormers onder een vrij grote 'window' aan abiotische standplaatscondities kan plaatsvinden, al lijken jonge successiestadia met veel CO₂ het meest kansrijk, zoals eerder ook beschreven in (Tomassen e.a., 2003).

Op basis van deze range in waterkwaliteit- en vegetatie-data zou je op veel meer plekken vestiging van bultvormers verwachten dan dat er daadwerkelijk plaatsvindt. Dit duidt op het belang van biotische bottlenecks in verspreiding en vestiging van de bultvormers. Op basis hiervan valt dan ook te verwachten dat bultvormers zich na herintroductie overal makkelijk kunnen uitbreiden op locaties die abiotisch geschikt zijn. Herintroductie experimenten met bultvormers in slenksituaties (dominantie van Waterveenmos en/of Fraai veenmos) zijn uitgevoerd in vier verschillende hoogvenen (Haaksbergerveen, Bargerveen, Deurnsche Peel en Mariapeel; zie ook hoofdstuk 4).

De waterchemische condities van de herintroductielocaties vallen in dezelfde range als die van de plekken met spontane vestiging van bultvormers, maar lijken qua concentratie over de hele linie net iets hoger te liggen (Figuur 67). Mogelijk heeft dit te maken met het relatief jonge successiestadium van deze herintroductielocaties: de vegetatie heeft minder lang tijd gehad om de verschillende ionen vast te leggen in veen. Op basis van deze gegevens is in ieder geval te verwachten dat waterchemie geen beperking heeft gevormd voor de uitbreiding van de geïntroduceerde bultvormende veenmossen.

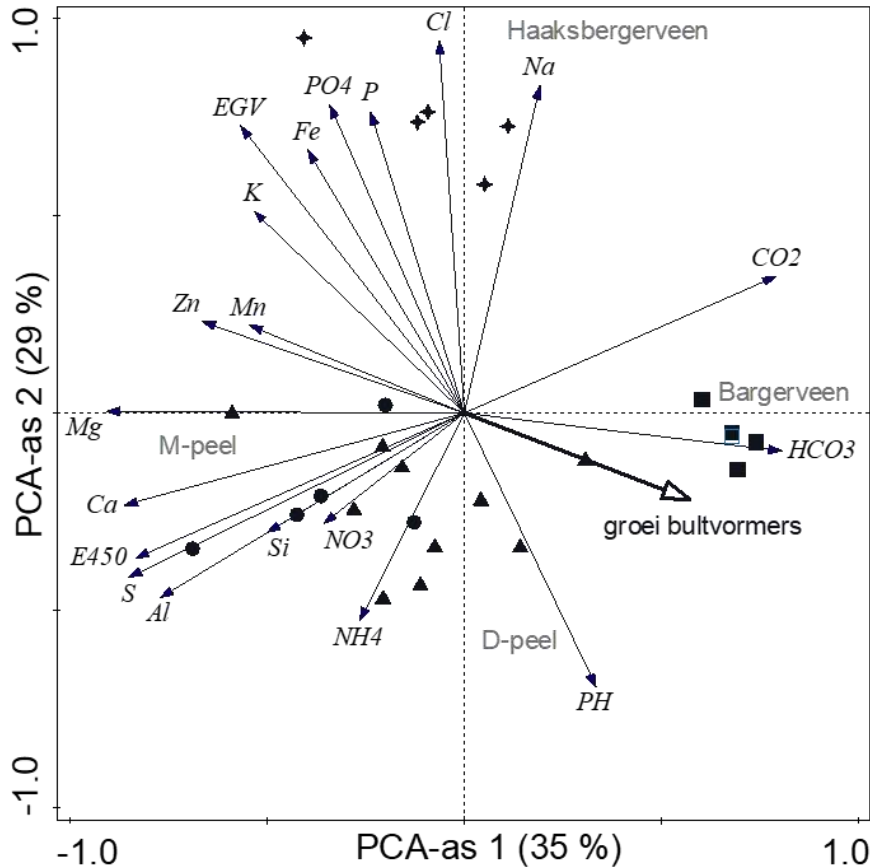
De herintroductie locaties verschilden onderling in water-chemische condities (Figuur 68). Proefvlakken in het Haaksbergerveen waren geassocieerd met relatief hoge concentraties aan ijzer, fosfaat en chloride. Proefvlakken in het Bargerveen waren geassocieerd met relatief hoge CO₂ en bicarbonaat (HCO₃⁻) concentraties, De Peelvenen vielen op door hun relatief hogere concentraties aan stikstof (Deurnsche Peel) en magnesium en calcium (Mariapeel). De groei van bultvormende veenmossen was het hoogst in het Bargerveen, en was daarmee geassocieerd met hogere concentraties CO₂ en bicarbonaat (HCO₃⁻). De associatie met hoge bicarbonaatconcentraties hangt samen met de hoge CO₂-concentraties, aangezien CO₂ en HCO₃⁻ afhankelijk van de pH in een bepaalde verhouding in het water aanwezig zijn. In zuur (pH rond 4) CO₂-rijk water is de absolute HCO₃⁻-concentratie nog altijd laag (< 10 µmol/l). Hoge concentraties HCO₃⁻ zijn namelijk toxisch voor veenmossen (Koks e.a., 2019).

Hiermee lijkt een hoge CO₂-concentratie in het bodemvocht, naast een lage bedekking van kruiden, opnieuw een goede indicatie voor succesvolle herintroductie van bultvormende veenmossen in bestaande veenmostapigten van Fraai veenmos en Waterveenmos.



Figuur 67. Bodemvochtchemie op plekken met spontane vestiging van bultvormende veenmossen en op de experimentele introductie-locaties. Ordinatatie is gebaseerd op de chemische bodemvocht samenstelling van 17 monsterpunten met een spontane vestiging van bultvormende veenmossen (open cirkels) en 5 verschillende herintroductielocaties (gevulde cirkels). AV = Aamsveen, BV = Bargerveen, DP = Deurnsche Peel, EBV = Engbertsdijksvenen, FLV = Fochteloërveen, HBV = Haaksbergerveen, MP = Mariapeel, OB = Oosterbos en WV = Witteveen. In de ordinatatie deden alle gemeten chemische bodemvocht parameters mee, maar alleen de parameters die meer dan 50% waren gecorreleerd met de ordinantieassen staan in de figuur. Bodemvochtmonsters (eenmalige meting) werden verzameld in oktober en november 2020 (zowel op locaties met spontane bultvorming als op de herintroductielocaties).

Figure 67. Soil moisture chemistry at sites with spontaneous establishment of hummock-building peat mosses and at experimental reintroduction sites. Ordination is based on the soil moisture chemistry of 17 sample sites with spontaneous establishment of hummock-building peat mosses (open circles) and 5 different reintroduction sites (filled circles). AV = Aamsveen, BV = Bargerveen, DP = Deurnsche Peel, EBV = Engbertsdijksvenen, FLV = Fochteloërveen, HBV = Haaksbergerveen, MP = Mariapeel, OB = Oosterbos and WV = Witteveen. All measured chemical soil moisture parameters were included in the ordination, but only those parameters that were correlated by more than 50% with the ordinance axes are shown in the figure. Soil moisture samples (one-time measurement) were collected in October and November 2020 (both at locations with spontaneous hummock formation and at the reintroduction locations).



Figuur 68. Bodemvochtchemie en uitbreiding geïntroduceerde bultvormers op de herintroductie-locaties. Ordinatie gebaseerd op de chemische samenstelling van het bodemvocht op 5 verschillende herintroductielocaties. Elk symbool is 1 proefvlak waarin herintroductie van bultvormende veenmossen heeft plaatsgevonden en waarin waterchemie is gemeten. Verschillende symbolen staan voor verschillende hoogvenen: Haaksbergerveen (sterren), Bargerveen (vierkanten), Deurnsche Peel (2x: driehoeken), Mariapeel (cirkels). In de ordinatiededen alle gemeten water-chemische parameters mee, maar alleen de parameters die meer dan 50% waren gecorreleerd met de ordinantieassen staan in de figuur. De groei van de bultvormers is in de water-chemische ordinatie geprojecteerd om te illustreren met welke water-chemische condities groei het meest was geassocieerd.

Figure 68. Pore water chemistry and expansion of introduced hummock-building peat mosses at the reintroduction sites. Ordination based on pore water chemistry at 5 different reintroduction sites. Each symbol represents one sample area in which reintroduction of hummock-building peat mosses has taken place and in which water chemistry has been measured. Different symbols represent different bogs: Haaksbergerveen (stars), Bargerveen (squares), Deurnsche Peel (2x: triangles), Mariapeel (circles). All measured water-chemical parameters were included in the ordination, but only those parameters that were correlated by more than 50% with the ordination axes are shown in the figure. The growth of the hummock-building peat mosses is projected in the water-chemical ordination to illustrate with which water-chemical conditions growth was most associated.

5.4.2 Vergelijking samenstelling bodemvocht 1998-2008-2020

Voor het veldonderzoek naar standplaatsfactoren op locaties met spontane uitbreiding van bultvormende veenmossen werd bodemvocht uit de toplaag van het veen verzameld. In het verleden werd op vergelijkbare wijze bodemvocht bemonsterd in het kader van eerder uitgevoerde OBN-onderzoeken (Tomassen e.a. 2002 en Tomassen e.a., 2011). In het Haaksbergerveen en Fochteloërveen werd een locatie bemonsterd waarvan oude bodemvochtmetingen beschikbaar zijn. Op locatie HBV1 in het Haaksbergerveen, gelegen aan de Duitse grens, is een drijftil die

gedomineerd wordt door Hoogveenveenmos aanwezig. Uit de metingen in de periode 1998-1999 bleek dat de veenbasis gebufferd is (hogere pH, bicarbonaat- en calciumconcentratie op 2 meter diepte; Tabel 29). De metingen uit 2008-2009 komen goed overeen met de metingen uit 1998-1999; de gradiënt van de toplaag naar de veenbasis (ca. 2,5 m diepte) is nog steeds aanwezig (Tabel 29).

Tabel 29. pH en de concentraties van de belangrijkste nutriënten en ionen in het bodemvocht op verschillende diepten op een locatie met een drijfmat met Hoogveenveenmos in het Haaksbergerveen (zie Tabel 28 voor de XY-coördinaten van de locatie). In de tabel zijn gegevens opgenomen van 1998-1999 (n=4; Tomassen e.a. 2002), 2008-2009 (n=4; Tomassen e.a., 2011) en 2020 (n=1; alleen 10 cm diepte). De concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in $\mu\text{mol per liter}$.

Table 29. pH and the concentrations of the most important nutrients and ions in the pore water at different depths at a location with a floating raft dominated by *S. magellanicum* in the Haaksbergerveen bog (see Table 31 for the XY-coordinates of the location). The table includes data from 1998-1999 (n=4; Tomassen et al. 2002), 2008-2009 (n=4; Tomassen et al., 2011) and 2020 (n=1; 10 cm depth only). The concentrations, except pH, are given in $\mu\text{mol per litre}$.

Jaar	Diepte	pH	CO ₂	HCO ₃ ⁻	NO ₃	NH ₄	PO ₄	K	Ca	Fe	Mg	S	Si
1998-1999	10 cm	4,20	862	6	0,0	50,4	0,07	4,2	31,1	4,4	9,0	29,6	12,9
	50 cm	4,66	2288	43	1,2	49,9	0,40	8,5	51,2	9,6	21,4	38,8	37,8
	100 cm	4,70	1377	29	0,6	17,9	1,31	12,7	66,9	13,7	31,7	34,9	31,5
	200 cm	5,46	1718	206	4,7	80,3	1,78	33,8	208,5	27,1	36,1	29,2	58,9
2008-2009	10 cm	4,51	1434	179	2,0	24,0	5,75	15,3	65,0	1,6	9,9	20,9	19,7
	50 cm	4,57	2761	91	14,3	38,0	1,13	25,9	101,5	7,0	34,4	26,7	90,0
	100 cm	4,73	1298	160	3,4	86,9	1,71	20,9	63,1	14,4	30,4	23,6	66,0
	250 cm	5,54	1902	344	3,0	118,6	0,72	28,6	331,0	47,6	48,6	17,6	252,9
2020	10 cm	4,49	252	3	2,4	0,3	0,18	22,6	7,4	2,1	10,9	8,9	6,0

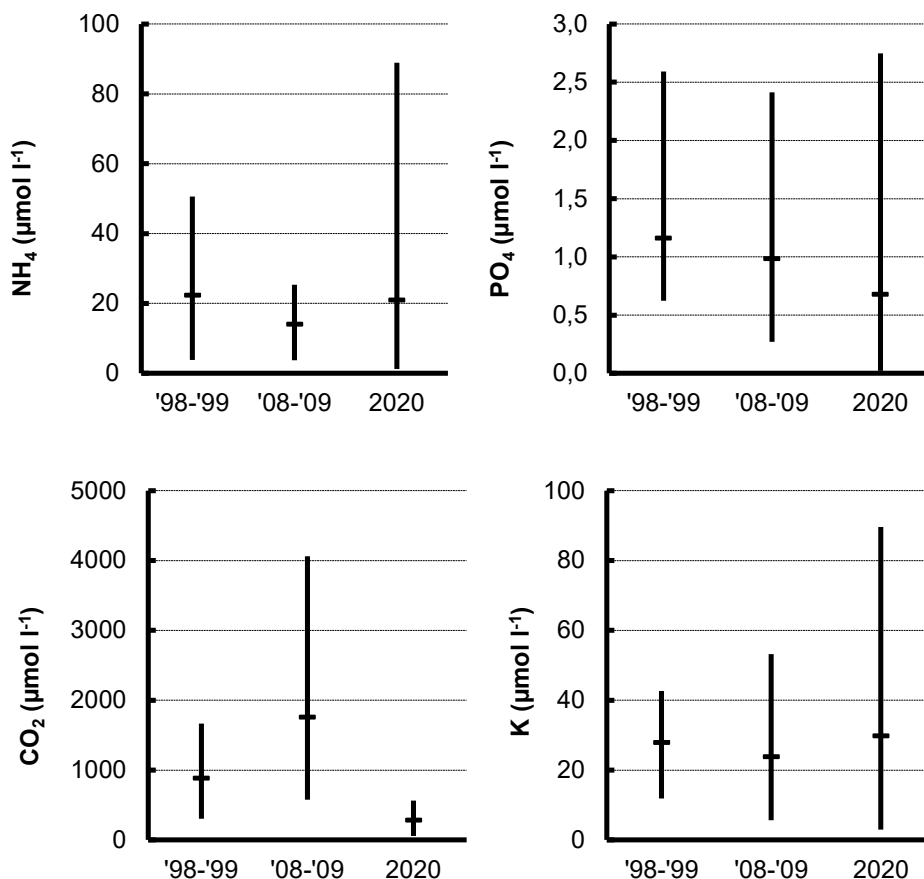
Verder bleek uit de eerdere metingen de ammoniumconcentratie in de toplaag van het veen tussen 1998-1999 en 2008-2009 sterk te zijn afgenomen (van ca. 50 naar 24 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 29). In 2020 werd op deze locatie nog slechts 0,3 $\mu\text{mol/l}$ ammonium in het bodemvocht gemeten (Tabel 29). Belangrijk hierbij is wel te realiseren dat het in 2020 een eenmalige meting in het najaar betreft en niet zoals in de andere perioden meerdere metingen verspreid over de verschillende seizoenen. In de periode 1998-1999 en 2008-2009 werden hoge CO₂-concentraties gemeten in het bodemvocht op 10 cm diepte (ca. 850-1400 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 29). In 2020 was de CO₂-concentratie slechts 250 $\mu\text{mol/l}$ (Tabel 29). De sterke afname van de CO₂-concentratie is waarschijnlijk het gevolg van de droogte, waardoor in het veen geproduceerd CO₂ eenvoudig kan ontwijken naar de atmosfeer.

In het Fochteloërveen werd in de oude veenkern een oude bult met Wrattig veenmos opnieuw bemonsterd (Tabel 30). Op basis van deze eenmalige meting lijkt het erop dat op deze locatie de ammoniumconcentratie in het bodemvocht afgenomen is in de afgelopen 20 jaar (van 17 naar 6 $\mu\text{mol/l}$). De CO₂-concentratie is afgenomen van ca. 500 naar 170 $\mu\text{mol/l}$, waarschijnlijk door de drogere omstandigheden op deze locatie. De drogere omstandigheden zijn een gevolg van de verdere ontwikkeling van de oude bult, maar ook van de droogte van de afgelopen jaren. Op enkele meters afstand van deze oude bult is ook een jonge bult van Wrattig veenmos (FLV2) bemonsterd en op deze natte locatie is de CO₂-concentratie in het bodemvocht hoger, namelijk 365 $\mu\text{mol/l}$ (Tabel 30).

Tabel 30. pH en de concentraties van de belangrijkste nutriënten en ionen in het bodemvocht (10 cm diepte) op een locatie met een oude, eerder bemonsterde bult met Wrattig veenmos (profiel 1 en FLV1) en een nabijgelegen jonge Wrattig veenmosbult in het Fochteloërveen (zie Tabel 28 voor de XY-coördinaten van de locatie). In de tabel zijn gegevens opgenomen van 1998-2001 (n=6; Tomassen e.a. 2002) en 2020 (n=1). De concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in μmol per liter.

Table 30. pH and concentrations of the most important nutrients and ions in the pore water (10 cm depth) at a location with an old, previously sampled hummock built by *S. papillosum* (profile 1 and FLV1) and a nearby young *S. papillosum* hummock in the Fochteloërveen bog (see Table 33 for the XY-coordinates of the location). The table includes data from 1998-2001 (n=6; Tomassen et al. 2002) and 2020 (n=1). The concentrations, except pH, are given in μmol per litre.

Jaar	Locatie	pH	CO ₂	HCO ₃	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	K	Ca	Fe	Mg	P	S
1998-2001	Profiel 1	4,19	534	5	0,082	3,9	17,2	0,7	20	29	13,7	41	2,8	29
2020	FLV1	4,38	171	2	0,017	4,7	6,2	0,2	121	53	2,4	30	1,4	26
2020	FLV2	3,90	365	1	0,030	1,1	1,4	0,0	18	2	6,2	23	0,4	17



Figuur 69. Concentratie ammonium, fosfaat, kooldioxide en kalium (in $\mu\text{mol/l}$) in het bodemvocht op 10 cm diepte in verschillende Nederlandse hoogveengebieden in 1998-1999 (n = 12; Tomassen e.a. 2002), 2008-2009 (n = 18; Tomassen e.a., 2011) en 2020 (n=18). De analyses zijn afkomstig van verschillende gebieden en/of locaties, zodat de data niet een op een vergeleken kunnen worden. Weergegeven zijn gemiddelden en 5^e en 95^e percentielen.

Figure 69. Concentration of ammonium, phosphate, carbon dioxide and potassium (in $\mu\text{mol/l}$) in the pore water at a depth of 10 cm in various Dutch raised bogs in 1998-1999 (n = 12; Tomassen et al. 2002), 2008-2009 (n = 18; Tomassen et al., 2011) and 2020 (n=18). The analyses originate from different areas and/or locations, so that the data cannot be compared one-to-one. Mean values and 5th and 95th percentiles are shown.

In Tomassen e.a. (2011) werd een vergelijking gemaakt van de samenstelling van het bodemvocht in een groot aantal hoogveengebieden tussen 1998-1999 en 2008-2009. Uit deze vergelijking bleek dat de ammoniumconcentraties in de toplaag van het veen tussen 1998-1999 en 2008-2009 afgenomen is (Figuur 69). Deze afname kan het gevolg zijn van een toename van de groei van veenmossen (door bijvoorbeeld verbeterde hydrologische condities) die veel stikstof kunnen vastleggen (Lamers e.a. 2000; Limpens e.a., 2003; Tomassen e.a., 2003), maar kan ook een weerspiegeling van de afgenomen stikstofdepositie zijn. In Nederland is de totale depositie van stikstof tussen 1984 en 2006 namelijk met 25% afgenomen (Boxman e.a., 2008). Een verlaging van de input van stikstof leidt snel (binnen 1 tot 2 jaar) tot een afname van de stikstofconcentratie in het veenmos en hiermee tot een herstel van de opnamecapaciteit van stikstof door veenmos (Limpens & Heijmans, 2008). Aangezien de zomers van 2004 t/m 2008 relatief nat zijn geweest, zal de afname van de concentratie ammonium in het veenwater in de periode 2008-2009 waarschijnlijk zowel een gevolg zijn van gunstige hydrologische condities als van de afgenomen stikstofdepositie. Onder optimale omstandigheden kunnen veenmossen veel stikstof vastleggen, zodat de concentratie vrij stikstof in het veenwater laag blijft.

Tussen 2008-2009 en 2020 lijkt de ammoniumconcentratie voor alle gebieden samen te zijn toegenomen (Figuur 69). De spreiding is groot door de hoge ammoniumconcentraties in het bodemvocht op de twee locaties in het Bargerveen (BV1: 77 $\mu\text{mol/l}$ en BV2: 159 $\mu\text{mol/l}$) en op een locatie in het Haaksbergerveen (HBV2: 63 $\mu\text{mol/l}$). Zonder de twee locaties in het Bargerveen neemt de gemiddelde ammoniumconcentratie wel verder af (2020: 9 $\mu\text{mol/l}$).

Tabel 31. Chemische samenstelling van het bodemvocht op 6 verschillende diepten bij de oude meerstal tussen augustus 1999 en mei 2000. Deze metingen zijn destijds verricht op vrijwel dezelfde locaties als locatie GW2. Diepte cup = diepte van de keramische cup in cm onder maaiveld. E_{450} is de kleuring van het water bij 450 nm. Concentraties zijn, uitgezonderd pH, gegeven in $\mu\text{mol/l}$. Bron: Tomassen e.a. (2003) en Tomassen & Smolders (2020).

Table 31. Chemical composition of the pore water at 6 different depths at the Bargerveen bog (Meerstalblok) between August 1999 and May 2000. These measurements were taken at almost the same locations as location GW2. Depth cup = depth of the ceramic cup in cm below ground level. E_{450} is the colouring of the water at 450 nm. Concentrations, except pH, are given in $\mu\text{mol/l}$. Source: Tomassen et al. (2003) and Tomassen & Smolders (2020).

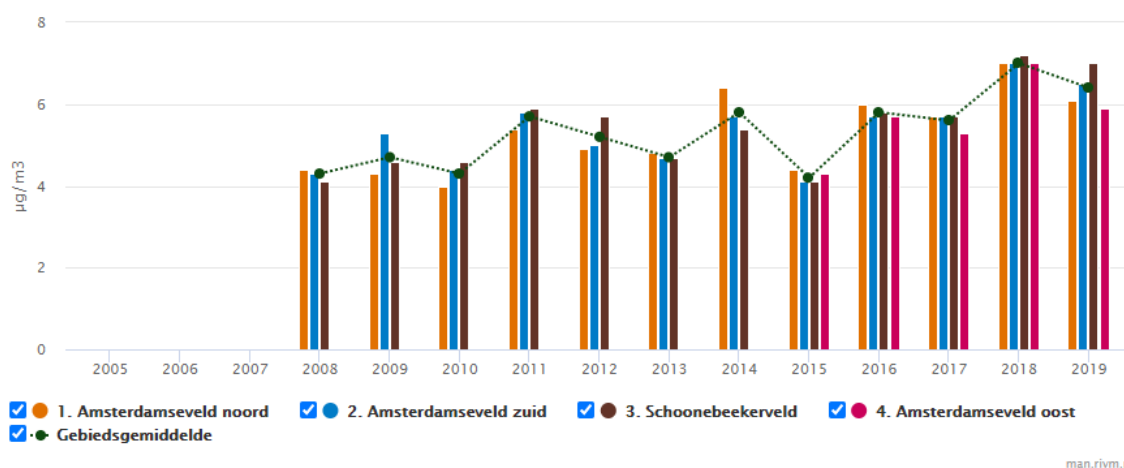
Datum	Locatie	Diepte cup cm-mv	pH	CO ₂ $\mu\text{mol/l}$	HCO ₃ $\mu\text{mol/l}$	NO ₃ $\mu\text{mol/l}$	NH ₄ $\mu\text{mol/l}$	Na $\mu\text{mol/l}$	K $\mu\text{mol/l}$	Cl $\mu\text{mol/l}$	Al $\mu\text{mol/l}$	Ca $\mu\text{mol/l}$	Fe $\mu\text{mol/l}$	Mg $\mu\text{mol/l}$	P $\mu\text{mol/l}$	S $\mu\text{mol/l}$
19-8-1999	Meerstal	10	3,69	296	1	2,4	11	632	18,9	1035	112,7	69	74,5	163	11,0	225
		25	4,49	1270	16	2,6	33	225	17,8	557	61,4	65	98,3	60	7,8	133
		50	4,79	3150	81	4,2	185	265	31,1	643	72,2	75	64,9	76	8,4	143
		100	5,19	2186	141	2,3	448	296	20,0	698	44,1	46	39,8	53	4,8	75
		200	5,84	2481	716	9,4	628	415	32,2	674	31,8	96	8,1	52	2,5	62
		300	5,93	2637	927	6,9	628	439	55,4	699	41,8	71	3,0	23	6,0	54
5-1-2000	Meerstal	10	4,05	178	1	5,4	27	156	16,9	195	6,3	7	9,3	8	0,0	31
		25	3,93	723	3	1,6	59	240	2,1	392	44,6	44	24,8	52	0,0	76
		50	4,44	767	9	1,8	186	278	2,1	461	38,7	48	21,5	66	0,5	96
		100	5,06	1110	53	0,8	464	342	8,5	540	12,5	31	10,6	75	0,9	53
		200	5,85	1532	448	1,3	1008	494	10,6	540	6,6	285	5,5	59	1,5	39
		300	5,95	951	353	3,3	998	489	12,7	570	6,3	34	3,3	20	1,2	28
9-5-2000	Meerstal	10	3,96	308	1	3,5	2	198	8,6	263	11,7	24	16,7	28	2,0	31
		25	3,97	2889	11	3,1	21	228	4,3	309	37,0	30	18,3	34	2,7	62
		50	4,36	3960	38	3,4	292	277	2,1	470	43,0	57	26,3	77	3,0	115
		100	5,17	3574	218	3,8	542	373	4,3	572	36,9	49	13,6	96	2,8	62
		200	5,79	4519	1159	3,4	827	509	27,9	558	22,6	290	5,9	70	5,5	46
		300	5,91	3029	1022	4,4	1068	536	12,9	551	26,9	31	2,9	40	3,5	34
30-9-2019	Meerstal	20	4,10	1163	6	0,6	177	321	3,0	607	139,0	68	20,0	51	0,3	65
		200	5,72	3911	858	0,5	889	375	3,2	495	23,8	22	3,8	47	1,0	25
2-3-2020	Meerstal	20	4,16	2149	13	1,2	122	160	2,1	176	36,7	20	10,9	18	1,2	34
		200	5,36	6008	574	0,8	958	297	2,2	371	11,6	20	4,6	49	1,8	24

In het verleden werden altijd relatief lage ammoniumconcentraties gemeten in het Bargerveen, dus de vraag is in hoeverre deze locaties met recente uitbreidingen van bultvormers representatief zijn. In het kader van een recent onderzoek naar de grondwaterkwaliteit in het Bargerveen werd een eerder bemonsterde locatie met Hoogveenveenmos bij de oude meerstal (gekarteed als actief

hoogveen (H7110)) na ca. 20 jaar opnieuw bemonsterd (Tomassen & Smolders, 2020). In de periode 1999-2000 werd op deze locatie driemaal de samenstelling van het bodemvocht bepaald en de ammoniumconcentratie op 10 cm diepte varieerde destijds van 2 tot 27 $\mu\text{mol/l}$ (Tabel 31). In 2019-2020 bleek het bodemvocht in de toplaag van het veen sterk verrijkt met ammonium (122-177 $\mu\text{mol/l}$; Tabel 31), zodat in de afgelopen 20 jaar de ammonium-concentratie in het bodemvocht dus ca. 5 keer zo hoog geworden is.

De vraag is waarom in het Bargerveen de concentratie ammonium in het bodemvocht zo sterk is toegenomen, terwijl in het Haaksbergerveen en Fochteloërveen de concentratie juist afgenomen is. Een mogelijke verklaring is een afname van de productiviteit en daarmee ook een afname van de stikstofopname door de vegetatie. In de periode 1999-2000 was het nog redelijk recent dat grootschalige vernattingsmaatregelen waren genomen en de productiviteit van de vegetatie was mogelijk hoger dan nu. Dit verklaart echter niet waarom ook op de twee locaties met een recente uitbreiding van bultvormers de ammoniumconcentraties zo hoog zijn. Een andere verklaring is dat de groei van de vegetatie nu gelimiteerd worden door een ander nutriënt, bijvoorbeeld kalium, waardoor er minder stikstof wordt opgenomen. Op de locatie bij de oude meerstal is de kaliumconcentratie inderdaad afgenomen van ca. 10-20 $\mu\text{mol/l}$ naar 2-3 $\mu\text{mol/l}$ (Tabel 31), maar op de andere twee locaties is wel voldoende kalium in het bodemvocht aanwezig (34-84 $\mu\text{mol/l}$; Bijlage 5). De CO_2 -concentratie is in 2019-2020 juist hoger dan in 1999-2000 (Tabel 31), dus koolstoflimitatie speelt ook geen rol.

De recentelijke droogte (2018-2020) kan mogelijk wel een rol spelen, aangezien bij droogte de productiviteit van de veenmossen sterk afneemt en daarmee ook de stikstofopname. Daarnaast kan er door droogte versnelde mineralisatie van organisch stof plaatsvinden waarbij ammonium vrijkomt. In september 2019 was het ondanks de lagere waterstanden dan normaal nog wel vochtig op deze locatie, dit in tegenstelling tot veel locaties elders in het Bargerveen. In augustus 1999 wijzen de hogere sulfaatconcentraties (gemeten als S) ook op drogere omstandigheden en desondanks is de ammoniumconcentratie in het bodemvocht uit de toplaag van het veen laag (Tabel 31). Dit is toch wel een duidelijke indicatie dat niet alleen droogte de verklaring is voor de hoge ammoniumconcentraties. Op 2 m diepte zijn de ammoniumconcentraties nog veel hoger (890-960 $\mu\text{mol/l}$), maar dit is wel vergelijkbaar met de concentraties die 20 jaar geleden werden gemeten op deze locatie (Tabel 31). Op grotere diepten in het veen zijn de ammoniumconcentratie vaker hoger omdat ammonium dat vrijkomt bij afbraakprocessen hier accumuleert.



Figuur 70. Jaargemiddelde ammoniakconcentraties (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in het Bargerveen tussen 2008 en 2019. Bron: meetnet ammoniak in natuurgebieden (man.rivm.nl).

Figure 70. Annual average ammonia concentrations (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) in the Bargerveen bog between 2008 and 2019. Source: ammonia monitoring network in nature areas (man.rivm.nl).

Op basis van het bovenstaande is dus niet duidelijk waarom in het Bargerveen de ammoniumconcentraties in het bodemvocht zo sterk toegenomen lijken te zijn. Het is een feit dat de kritische depositiewaarde van stikstof voor actief en herstellend hoogveen (500 mol/ha/jaar; van Dobben e.a., 2012) nog altijd fors wordt overschreden (2018: landelijk 1730 mol N/ha). Sinds 2008 wordt in het Bargerveen binnen het Meetnet Ammoniak in Natuurgebieden (MAN) door het RIVM de ammoniakconcentraties in de lucht gemeten met Gradko passieve samplers. Tussen 2008 en 2018 is landelijk gezien de stikstofdepositie ongeveer gelijk gebleven (2008: 1771 mol N/ha). De gemiddelde ammoniakconcentratie in het Bargerveen is tussen 2008 en 2018 echter met 60% gestegen van 4,3 µg/m³ naar 7,0 µg/m³ (Figuur 70). De hoge ammoniakconcentraties in 2018 zijn waarschijnlijk het gevolg van de lange perioden met droogte en hoge temperaturen. In 2019 zijn de concentraties weer gedaald naar 6,4 µg/m³, maar dit is nog altijd een toename met bijna 50% ten opzichte van 2008. De toename van de ammoniakconcentraties in de lucht, en daarmee de stikstofdepositie, zal effect hebben op de ammoniumconcentraties in het bodemvocht. Het verklaart alleen niet waarom deze toename vooral in het Bargerveen wordt waargenomen, aangezien ook in de andere gebieden de stikstofdepositie de afgelopen jaren niet meer afneemt of zelfs toeneemt.

De hoge ammoniumconcentraties in het bodemvocht vormen, zeker in combinatie met te droge omstandigheden, een bedreiging voor het hoogveenherstel op de langere termijn. Drogere omstandigheden in combinatie met een verhoogde stikstofbeschikbaarheid verslechtert de concurrentiepositie van veenmossen (Tomassen e.a., 2003), en maakt veenmossen gevoeliger voor schade door de Veenmosgrauwkop (*Tephroclybe palustris*), een parasitaire schimmel (Limpens e.a., 2003).

Uit de vergelijking in bodemvochtsamenstelling lijkt in de afgelopen 20 jaar de gemiddelde fosfaatconcentratie in de toplaag van het veen iets te dalen (Figuur 69), maar de variatie is zeer groot. In 2020 zijn de CO₂-concentraties lager dan in de voorgaande perioden (Figuur 69). De hoge CO₂-concentraties in 2008-2009 kunnen (deels) verklaard worden door de bemonstering van een tweetal CO₂-rijke locaties op de Groote heide (Ronde Vlaas). Deze locaties werden in 1998-1999 en 2020 niet bemonsterd. De lage CO₂-concentraties in 2020 zijn zeer waarschijnlijk het gevolg van de droogte en daardoor lagere waterstanden in het veen. De gemiddelde kaliumconcentratie in de toplaag van het veen is vrijwel gelijk gebleven (ca. 25-30 µmol l⁻¹; Figuur 69).

5.4.3 Samenvattend

Uit het veldonderzoek op locaties met spontane uitbreiding van bultvormers blijkt dat vestiging van bultvormers onder een vrij grote 'window' aan abiotische standplaatscondities kan plaatsvinden, al lijken jonge successiestadia met veel CO₂ het meest kansrijk. Op basis van deze brede range in waterkwaliteit- en vegetatie-data zou je op veel meer plekken bultvorming verwachten dan dat er daadwerkelijk plaatsvindt. Dit duidt op biotische bottlenecks in verspreiding en vestiging van de bultvormers. Indien dit het geval is verwacht je dat bultvormers zich na herintroductie overal makkelijk kunnen uitbreiden. Hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, naast een lage bedekking van kruiden, lijkt een goede indicatie voor succesvolle herintroductie van bultvormende veenmossen in bestaande veenmostapjten van Fraai veenmos en Waterveenmos.

Uit een vergelijking van de samenstelling van het bodemvocht lijken de ammonium- en fosfaatconcentraties af te nemen door vastlegging in veenmossen en een afname van de stikstofdepositie sinds het einde van de vorige eeuw (sinds 2005 echter geen verdere afname meer). De afname in de stikstofconcentratie is gunstig voor acrotelmherstel.

6. Evaluatie veldproeven aquatische situatie

6.1 Inleiding

In diverse hoogveengebieden is door beheerders geëxperimenteerd met maatregelen, zoals het verondiepen van de waterlaag of het inbrengen van geschikt substraat (veen, snoeiafval, pollen Pijpenstrootje), om de ontwikkeling van Waterveenmos in een aquatische situatie te stimuleren. Aan de hand van een inventarisatie onder de beheerders van de Nederlandse hoogveengebieden beheerders werd een overzicht van uitgevoerde maatregelen opgesteld.

6.2 Aanvullende veldmetingen

Bij de online enquête (paragraaf 5.2) werd ook gevraagd naar locaties waar veldproeven zijn uitgevoerd om de ontwikkeling vanuit een aquatische situatie te stimuleren (zie Tabel 27). Het plan was om 10 aquatische locaties waar maatregelen hebben geresulteerd in een succesvolle ontwikkeling van (bultvormende) veenmossen, te selecteren voor aanvullende metingen. Locaties bleken uiteindelijk toch niet geschikt of informatie over deze locaties werd niet tijdig ontvangen. Uiteindelijk werd slechts één locatie in het Fochteloërveen (FLV3) bemonsterd. Op deze locatie werden een aantal terreinfactoren vastgelegd, waaronder de dikte van het veenpakket en de waterstand in het veen. Daarnaast werd een vegetatie-opname gemaakt en werd de chemische samenstelling van de waterlaag (o.a. concentratie kooldioxide en nutriënten), het veenwater en het geïntroduceerde substraat bepaald (zie Bijlage 3 voor analysemethoden).

In aanvulling hierop werd in september 2017 een experiment waarbij de ontwikkeling vanuit een aquatische situatie via het inbrengen van witveen in veenputten werd onderzocht opnieuw bemonsterd. Dit experiment in het Bargerveen werd in 2004 gestart binnen de 2^e fase OBN-hoogvenen. Voor het experiment werden 5 nieuwe veenputten (5 x 10 m) gegraven (Figuur 74). Om de methaanproductie te stimuleren werd aan het witveen ook fosfaat (witveen was P-arm) en/of kalk toegevoegd (Tabel 32). Gedurende de eerste jaren van het experiment is het ingebrachte witveen niet komen opdrijven (Tomassen e.a., 2011). Op 12 september 2017 werd het experiment opnieuw bezocht en bemonsterd.

Tabel 32. *Overzicht van de behandelingen van de vijf zwartveenputten in het Amsterdamse Veld. In iedere veenput is 10 m³ behandeld witveen ingebracht dat afgedekt is met 5 m³ onbehandeld witveen. Fosfaat = 100 µmol KH₂PO₄ per kg vers veen; kalk = 2 g dolokal per kg vers veen. Bron: Tomassen e.a. (2011).*

Table 32. *Overview of the treatments of the five strongly humified peat pits in the Bargerveen bog (Amsterdamse Veld). In each peat pit 10 m³ of treated poorly humified peat was inserted, covered by 5 m³ of untreated peat. Phosphate = 100 µmol KH₂PO₄ per kg fresh peat; lime = 2 g dolokal per kg fresh peat. Source: Tomassen et al (2011).*

Veenput	Behandeling
1	Controle (geen witveen)
2	Witveen
3	Witveen + fosfaat
4	Witveen + kalk
5	Witveen + fosfaat+ kalk

Met keramische cups werd in iedere veenput 4 bodemvochtmonsters verzameld: 2 ondiepe uit de drijvende veenmosvegetatie en 2 diepe uit de bodem van de veenput (Tabel 35). Verder werd het oppervlaktewater bemonsterd.

6.3 Resultaten

6.3.1 Veldproef Fochteloërveen

In het Fochteloërveen zijn op diverse locaties veldproeven uitgevoerd om de ontwikkeling van veenmossen vanuit een aquatische situatie te stimuleren. In 2000 werd in compartiment 14A de bovenlaag van het veen omgespit om de ontwikkeling van drijftillen te stimuleren. Deze veldproef is succesvol verlopen en na ca. 10 jaar heeft zich een drijftil ontwikkeld met een vegetatie bestaande uit Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*), Veenpluis, veenmossen, en een ijle groei van Pijpenstrootje (Figuur 71; Oostinga, 2012). In 2012 werd ook de chemische samenstelling van het jonge veenmosveen en het bodemvocht bepaald (Tomassen & Smolders, 2013). In oktober 2020 werd deze locatie opnieuw bemonsterd. Hiervoor werd een jonge bult met Hoogveenveenmos, Gewone dopheide en Kleine veenbes geselecteerd (Figuur 71 rechts).



Figuur 71. Links: In vak 14A in het Fochteloërveen zijn ca. 10 jaar na het lossteken van de toplaag van het veen (uitgevoerd in 2000) mooie drijftillen ontstaan met Waterveenmos, Eenarig wollegras, Veenpluis en een ijle bedekking van Pijpenstrootje. Rechts: Na 20 jaar hebben zich op deze locatie ook Gewone dopheide, Kleine veenbes en bultvormende veenmossen gevestigd. Foto's: Mirjam Oosting (links) en Hilde Tomassen (rechts).

Figure 71. Left: In section 14A in the Fochteloërveen bog, approximately 10 years after the top layer of peat was detached (carried out in 2000), beautiful floating rafts have developed with *S. cuspidatum*, *Eriophorum vaginatum*, *Eriophorum angustifolium* and a sparse cover of *Molinia caerulea*. Right: After 20 years, *Erica tetralix*, *Vaccinium oxycoccos* and hummock-building peat mosses have also established at this location. Photos: Mirjam Oosting (left) and Hilde Tomassen (right).

De chemische samenstelling van het bodemvocht is tussen 2012 en 2020 niet sterk veranderd (Tabel 33). De pH is wel duidelijk afgenomen. De nutriëntenbeschikbaarheid in het bodemvocht is zeer laag en dat is gunstig om de uitbreiding van soorten als Pijpenstrootje en berk te beperken. De chemische samenstelling van het jonge veenmosveen is ook tussen 2012 en 2002 niet sterk veranderd (Tabel 34). Het veenmosveen heeft zoals verwacht een lage soortelijke massa (< 50 g droge biomassa/l en een hoog percentage organische stof ($\geq 97\%$)).

Op korte afstand van de jonge bultvegetatie werd ook in een slenk het oppervlaktewater bemonsterd (Tabel 33). De chemische samenstelling is vergelijkbaar, maar in de natte slenk is de

CO₂-concentratie veel hoger doordat onder natte omstandigheden het in het veen geproduceerde CO₂ niet zo snel kan ontsnappen naar de atmosfeer.

Tabel 33. Samenstelling van het bodemvocht ter hoogte van vak 14A in het Fochteloërveen. In 2020 werd ook het oppervlaktewater (OW) bemonsterd. Bron data 2012: Tomassen & Smolders (2013).

Table 33. Composition of the pore water near section 14A in the Fochteloërveen bog. In 2020 the surface water (OW) was also sampled. Source data 2012: Tomassen & Smolders (2013).

Datum	Locatie	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	NO ₃	NH ₄	PO ₄	K	Na	Cl	Al	Ca	Fe	Mg	P	S
			μmol/l	μmol/l	μS/cm	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
15-10-2012	32	5,00	18	1	59	3,0	5,3	0,3	11,6	218	350	2,7	72,9	0,7	33,4	0,7	14
15-10-2012	33	5,33	110	10	62	1,1	3,3	0,1	10,4	220	380	1,8	93,5	0,7	40,5	0,5	15
22-10-2020	FLV3	3,81	89	0	80	1,2	2,0	0,0	26,6	226	321	0,9	9,9	1,9	32,4	1,0	17
22-10-2020	OW3	3,98	581	2	90	1,2	2,3	0,0	9,6	246	362	1,7	13,9	3,2	48,1	1,3	15

Tabel 34. Chemische samenstelling van het jonge veenmosveen ter hoogte van vak 14A in het Fochteloërveen in 2012 en 2020. Concentraties zijn gegeven op basis van het drooggewicht. Bron data 2012: Tomassen & Smolders (2013).

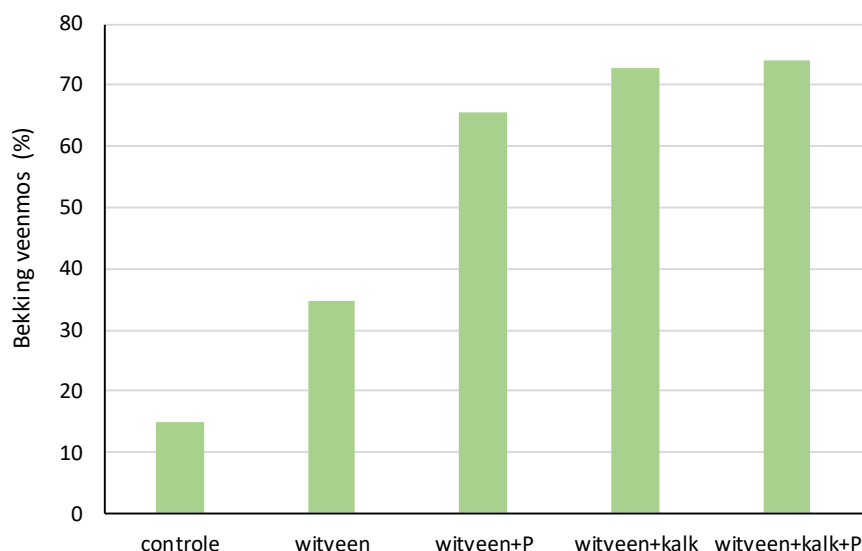
Table 34. Chemical composition of the recently developed peat in section 14A in the Fochteloërveen bog in 2012 and 2020. Concentrations are given based on dry weight. Source data 2012: Tomassen & Smolders (2013).

Datum	Locatie	Vocht	Organisch stof	Massa Volume	N	C	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
		%	%	g DW/l	μmol/g	mmol/g	μmol/g	μmol/g	μmol/g	μmol/g	μmol/g	μmol/g	μmol/g
15-10-2012	32	94,5	98,6	45			7,4	27,0	6,4	3,8	41,3	12,9	49,7
15-10-2012	33	94,9	99,0	46			8,1	26,5	6,7	12,4	38,8	12,3	43,5
22-10-2020	FLV3	97,2	97,0	26	507	38	8,9	21,8	7,7	7,7	46,2	10,1	32,5

6.3.2 Stimuleren drijftilvorming Bargerveen

Het algemene beeld van de vegetatie ontwikkeling is dat in de controle veenput en de put waaraan alleen witveen werd toegevoegd, de bedekking door veenmossen (Waterveenmos) geringer is (Figuur 72). Rondom de veenputten staan hoge berken en door beschaduwing is er aan de zuidkant van de veenputten (links op de foto's in Figuur 73) minder veenmosontwikkeling dan aan de noordkant. De berken zorgen ook voor veel bladval in de putten. In de veenput waar aan het witveen fosfor (in de vorm van kaliumfosfaat) en kalk is toegevoegd, groeit veel Moeraswederik (*Lysimachia thyrsoiflora*; Figuur 74) een soort die vooral in gebufferde laagveensystemen voorkomt.

Het oppervlaktewater in de putten is zuur en ongebufferd, dus het toedienen van kalk aan het veen heeft, tenminste op de langere termijn, niet geleid tot enige buffering van de waterlaag. De calciumconcentraties lijken wel iets hoger in de putten waaraan bekalkt witveen is toegevoegd (Tabel 35). Het oppervlaktewater in de putten is relatief fosfaatrijk (0,3 – 5,6 μ PO₄/l), maar er lijkt geen verband te zijn met het toevoegen van fosfaat. Waarschijnlijk is het fosfaat afkomstig van de afbraak van het ingevallen berkenblad. Het oppervlaktewater is verder arm aan kooldioxide (26-101 μmol/l), wat de groei van submers Waterveenmos lastig maakt (Tomassen e.a., 2003). Dit verklaart ook de groei van het veenmos vanuit de randen van de veenput bij de controle en alleen witveen behandeling. In de andere veenputten (witveen met kalk en/of fosfaat) groeit het veenmos voornamelijk boven water, op drijvend veen en kan daardoor ook kooldioxide uit de atmosfeer opnemen.



Figuur 72. Bedekking van de veenputten in het Bargerveen met veenmos (Waterveenmos) op 12 september 2017. Het experiment werd in 2004 ingericht.

Figure 72. *S. cuspidatum* cover of the peat pits in the Bargerveen bog on 12 September 2017. The experiment was set up in 2004.

Tabel 35. Chemische samenstelling van het oppervlaktewater (OW; n=1) en ondiepe en diepe bodemvocht (BV; n=2) in de veenputten in het Bargerveen. De watermonsters werden verzameld op 12 september 2017, 13 jaar na de start van het experiment. Het ondiepe bodemvocht is verzameld uit het drijvende veen en het diepe bodemvocht uit de bodem van de veenput.

Table 35. Chemical composition of surface water (OW; n=1) and shallow and deep pore water (BV; n=2) in the peat pits in the Bargerveen bog. The water samples were collected on 12 September 2017, 13 years after the start of the experiment. The shallow pore water was collected from the floating peat and the deep pore water from the bottom of the peat pit.

Behandeling	OW/BV	Diep/ondiep	pH	CO ₂	HCO ₃	CH ₄	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	K	Ca	Mg	P	S
				μmol/l	μmol/l	μmol/l	μS/cm	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	
controle	OW		4,35	101	1	.	67	0,143	1,5	0,8	0,7	7	53	58	1,4	37
witveen	OW		4,64	26	0	.	56	0,133	1,4	1,8	3,6	7	70	63	4,5	28
witveen + P	OW		4,90	76	3	.	54	0,129	1,3	6,1	5,6	10	69	87	6,6	35
witveen + kalk	OW		4,57	60	1	.	69	0,167	1,9	1,1	3,8	9	81	86	4,6	34
witveen + kalk + P	OW		4,49	54	1	.	77	0,188	2,1	1,2	0,3	12	101	102	0,8	40
controle	BV	ondiep	4,64	485	22	199	39	0,111	1,3	27,2	3,1	9	90	75	4,2	37
	BV	diep	4,76	693	17	362	21	0,123	1,1	60,1	10,4	14	55	100	12,4	34
witveen	BV	ondiep	5,02	751	35	398	67	0,108	8,3	46,6	3,2	11	134	97	3,7	43
	BV	diep	5,63	925	290	358	69	0,148	6,1	30,1	2,8	14	284	188	4,0	65
witveen + P	BV	ondiep	5,08	1168	50	333	41	0,138	1,6	36,1	3,3	13	104	78	3,4	36
	BV	diep	5,55	1100	278	647	31	0,093	6,0	47,9	4,9	18	226	98	7,0	24
witveen + kalk	BV	ondiep	4,69	1833	56	542	60	0,254	5,7	22,0	2,4	9	217	224	3,3	104
	BV	diep	5,10	2513	205	661	74	0,226	25,0	33,3	5,9	35	250	332	4,5	74
witveen + kalk + P	BV	ondiep	4,89	1108	45	376	70	0,199	5,4	37,6	2,4	10	150	161	2,9	47
	BV	diep	5,38	2782	284	556	133	0,276	8,5	59,5	2,7	42	264	391	2,9	77



Figuur 73. Foto's van het experiment in het Bargerveen waar in 2004 veenputten zijn gegraven waarin witveen in combinatie met kalk en/of fosfor werd ingebracht om drijftilontwikkeling te stimuleren. Het experiment werd op 12 september 2017 opnieuw bemonsterd. Linksboven: graven van de veenputten in 2004, rechtsboven: controle put, links midden: veenput met witveen, rechts midden: veenput met witveen en fosfaat, linksonder: veenput met witveen en kalk en rechtsonder veenput met witveen, kalk en fosfor. Ondanks de tegenvallende resultaten in de eerste jaren na de start van het experiment, blijkt na 13 jaar een groot deel van de veenputten met witveen dichtgegroeid te zijn met veenmossen. Foto's: Ralph Temmink en Hilde Tomassen.

Figure 73. Photographs of the experiment in the Bargerveen bog where peat pits were dug in 2004 and where poorly humified peat was introduced in combination with lime and/or phosphorus to stimulate buoyancy. The experiment was re-sampled on 12 September 2017. Top left: digging the peat pits in 2004, top right: control pit, middle left: peat pit with poorly humified peat, middle right: peat pit with poorly humified peat and phosphate, bottom left: peat pit with poorly humified peat and lime and bottom right peat pit with poorly humified peat, lime and phosphate. Despite the disappointing results in the first years after the start of the experiment, after 13 years a large part of the peat pits with poorly humified peat have become overgrown with peat mosses. Photographs: Ralph Temmink and Hilde Tomassen.

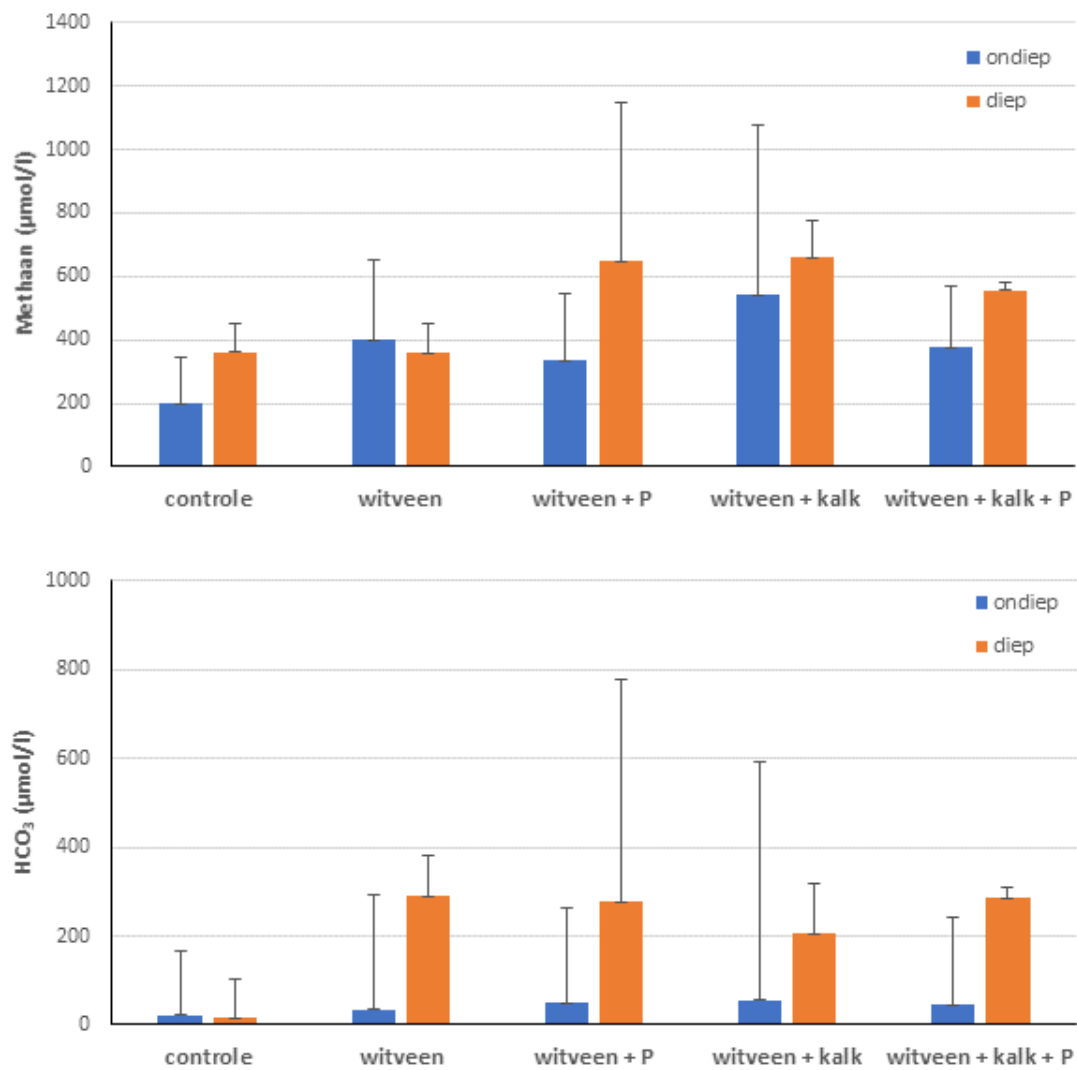


Figuur 74. Foto van de veenput in het Bargerveen waaraan witveen in combinatie met kalk en fosfor is toegevoegd. In de veenput heeft zich een vegetatie ontwikkeld met voornamelijk Waterveenmos, Moeraswederik en Veenpluis. Foto: Hilde Tomassen.

Figure 74. Photo of the peat pit in the Bargerveen, to which poorly humified peat has been added in combination with lime and phosphorus. In the peat bog a vegetation has developed with mainly *S. cuspidatum*, peat moss, *Lysimachia thyrsoiflora* and *Eriophorum angustifolium*. Photo: Hilde Tomassen.

Voor het drijven van veen is het belangrijk dat de methaanconcentraties in het veen voldoende hoog zijn. In zowel het ondiepe als diepe bodemvocht is bij alle behandelingen methaan in het veen aanwezig (Figuur 75). De methaanconcentraties zijn in het diepe veen hoger dan in het ondiepe veen (Figuur 75). De methaanproductie is in het ondiepe veen waarschijnlijk net zo hoog of mogelijk nog hoger, maar kan eenvoudiger ontsnappen naar de atmosfeer. Uit eerder onderzoek is gekomen dat voor het opdrijven van veen een methaanconcentratie hoger dan 400-500 $\mu\text{mol/l}$ nodig is (Tomassen e.a., 2003). De methaanconcentraties in het diepe veen liggen na toevoeging van witveen met kalk en/of fosfaat boven dit niveau, maar zoals ook al in de eerste jaren na inrichting duidelijk werd, heeft het veen niet de juiste eigenschappen (waarschijnlijk een te hoge soortelijke massa) om op te komen drijven. Dat de toediening van het witveen heeft geresulteerd in een hogere veenafbraak in de veenput blijkt ook uit de bicarbonaatconcentraties in het diepe bodemvocht. Bij de anaerobe afbraak van veen wordt bicarbonaat (alkaliniteit) geproduceerd en de bicarbonaatconcentraties zijn in de veenputten met witveen beduidend hoger (Figuur 75).

Op grond van de resultaten op de langere termijn, is de conclusie dat door het toedienen van witveen met kalk en/of fosfaat de veenmosontwikkeling vanuit een open water situatie versneld kan worden. Het geïntroduceerde veen is echter niet binnen enkele jaren grotendeels komen opdrijven, zoals in het verleden in het Meerstalblok is gebeurd met bolster na het nemen van vernattingsmaatregelen. Na verloop van tijd is er echter toch een deel van het behandelde witveen komen opdrijven waarop de veenmossen zich hebben kunnen vestigen. Het is zeker de moeite waard om de ontwikkelingen in de veenputten te blijven volgen en voor de verdere ontwikkeling zou het goed zijn om de berkenopslag in de nabije omgeving te verwijderen.



Figuur 75. Methaan- en bicarbonaatconcentratie in bodemvocht uit het ondiepe veen (drijvende veen) en diepe veen (bodem veenput). Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n=2$).

Figure 75. Methane and bicarbonate concentration in pore water from the shallow peat (floating peat) and deep peat (bottom peat pit). Shown are means \pm standard error ($n=2$).

7. Gevolgen brand Deurnsche Peel

7.1 Inleiding

In april 2020 is er een grote brand in de Deurnsche Peel geweest, waarbij ca. 710 ha van het gebied (in totaal 1200 ha) verbrand is. Zoals al beschreven in paragraaf 3.3.1 en 4.3.1 zijn de gevolgen van de brand op de geïntroduceerde veenmossen beperkt gebleven. In 2018 werden ten behoeve van de faunamonitoring (zie paragraaf 3.2.7 en 4.2.2) potvallen geplaatst nabij de plots waar veenmossen werden geïntroduceerd in de Deurnsche Peel en Mariapeel en op enige afstand van die plots. De brand heeft ook gewoed op een deel van de locaties waar in 2018 potvallen stonden. Doordat er in 2018 vóór de brand al gegevens waren verzameld van de aanwezige ongewervelden, zowel in verbrande als niet verbrande deelgebieden, was het met een herhaling van het potvalonderzoek in 2020 mogelijk om de effecten de brand te onderzoeken.

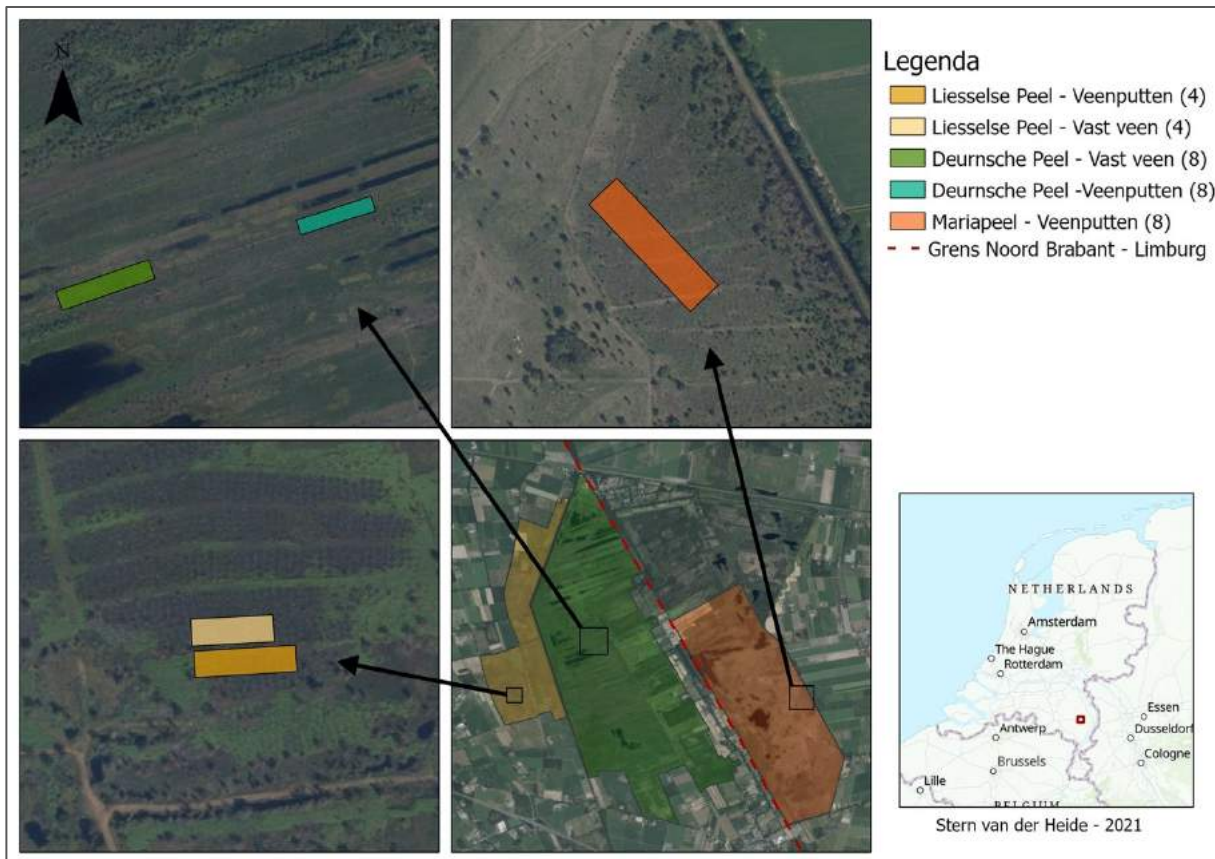
7.2 Materiaal en methoden

Zo snel mogelijk na de brand -en nadat duidelijk was dat geen Kraanvogels (meer) aanwezig waren in de buurt van de onderzoekslocaties- werden op dezelfde locaties als in 2018 de potvallen weer geplaatst. In 2020 werden nog twee extra potvalseries geplaatst in de Liesselse Peel, waar het veenputtencomplex zwaar door brand is getroffen; zwaarder dan de onderzoekslocaties in de Deurnsche peel. De Mariapeel is niet verbrand en kon daarom worden gebruikt als controlegebied. In 2021 werden, volgens planning, opnieuw de potvallen geplaatst en werden de gevangen ongewervelden gedetermineerd.

In Figuur 76 wordt de ligging van de potvalseries weergegeven. Daarnaast werden potvallen geplaatst in het plas-drasexperiment, zowel in het compartiment met en zonder wateraanvoer. In beide compartimenten werden 9 potvallen geplaatst, in ieder plotje met een verschillende beschuttingsbehandeling (zie paragraaf 3.2).

De potvallen (diameter: 8 cm en diepte: 12 cm) werden voor vijf centimeter gevuld met een 4% formaldehyde oplossing om de gevangen ongewervelden te conserveren. Om te voorkomen dat regen of vuil in de potvallen terecht komt werden deze voorzien van een dakje van twintig bij twintig centimeter. Tussen de potval en het dakje zat een ruimte van minimaal drie centimeter. De potvallen kunnen door de waterdruk van het veen boven het maaiveld uitgedrukt worden. Om dit te voorkomen werden de potvallen vastgezet met twee tentharingen. Bij veel regenval zijn enkele potvallen volgestroomd met water, waardoor van die locaties minder gegevens konden worden verzameld.

Omdat loopkevers vrij weinig werden gevangen, maar wel veel spinnen, werd in de gegevensanalyse vooral aandacht besteed aan de spinnen. Vanwege de verschillen tussen de drie onderzoeksjaren in de periodes waarin de potvallen in het gebied konden staan, werd de vergelijking tussen jaren uitgevoerd met de gegevens van de periode juli-oktober. Verschillen in soortensamenstelling werden inzichtelijk gemaakt door het toepassen van non-metric multidimensional scaling (NMDS) op basis van de Bray-Curtis ongelijkheid. Voor de berekeningen werd gebruik gemaakt van het relatieve aandeel die een soort heeft in de potval.



Figuur 76. Ligging van de potvalseries in de Deurnsche Peel, Mariapeel en Liesselse Peel. In de legenda is het aantal potvallen per serie vermeld.

Figure 76. Location of pitfall trap series in the Deurnsche Peel bog, Mariapeel bog and Liesselse Peel bog. In the legend the number of pitfall traps per series is given.

7.3 Resultaten

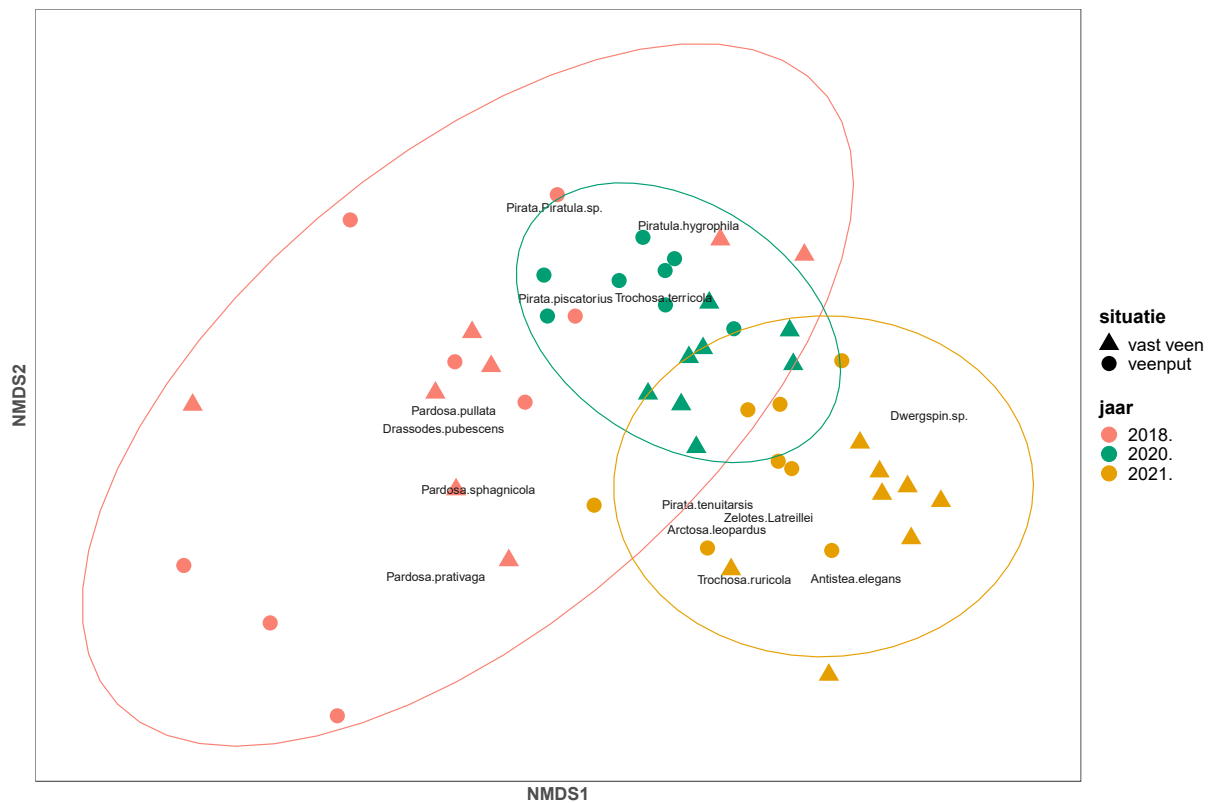
Uit de vergelijking tussen 2018 en 2020 bleek dat de soortenrijkdom van spinnen was toegenomen, dit effect was vooral zichtbaar bij pioniers en hygrofiele (vochtminnende) spinnensoorten. De hoeveelheid spinnen in de verbrande gebieden was afgenomen, maar mogelijk was de natuurlijke variatie tussen jaren hiervan de oorzaak.

Vanwege de verschillen in brandintensiteit zijn hieronder de potvalvangsten van de Deurnsche Peel, Liesselse Peel en Mariapeel, in afzonderlijke NMDS-analyses weergegeven.

7.3.1 Deurnsche Peel

In de Deurnsche Peel verschilde de soortensamenstelling significant tussen de drie jaren van het onderzoek ($p = 0,003$; Figuur 77). De samenstelling verandert hierbij door de jaren heen, waarbij 2018 meer overeenkomt met 2020 dan met 2021. Ook zien we dat de variatie in soortensamenstelling in 2018 groter lijkt dan in 2020 en 2021, wat zichtbaar wordt in de spreiding van punten in de grafiek (ofwel de omvang van de ellips rondom de punten). In 2020 en 2021 is een verschil in de soortensamenstelling af te leiden uit de NMDS tussen de potvallen op vast veen (driehoekjes in Figuur 77) en in de veenputten (rondjes). Wanneer onderscheid gemaakt wordt tussen het vaste veen en de veenputten, is de soortensamenstelling van beide situaties significant verschillend tussen alle jaren ($p < 0,03$). In de drie jaren van het onderzoek is de

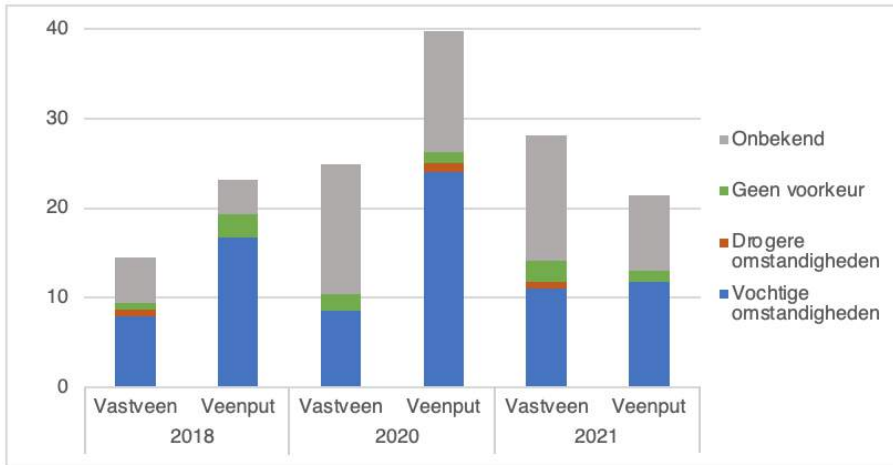
soortensamenstelling in de veenputten significant anders dan die op het vaste veen ($p = 0,018$). Wanneer de jaren afzonderlijk van elkaar worden bekeken is alleen in 2020 sprake van een significant verschil tussen de veenputten en het vaste veen ($p = 0,015$). In dit jaar - dus de zomer en het najaar na de brand- blijken hygrofiele spinnensoorten zoals *Pirata* en *Piratula* niet in verband te worden gebracht met het vaste veen, maar met de nattere veenputten.



Figuur 77. Een NMDS weergave van de soortensamenstelling van gevangen spinnen uit Deurnsche Peel in 2018, 2020 en 2021. Verschillen in soortensamenstelling zijn berekend op basis van de Bray-Curtis ongelijkheid. De weergegeven spinnen geven aan welke soorten een significante invloed ($p > 0,05$) hebben op de ordinatie. De ellipsen geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de verschillende jaren.

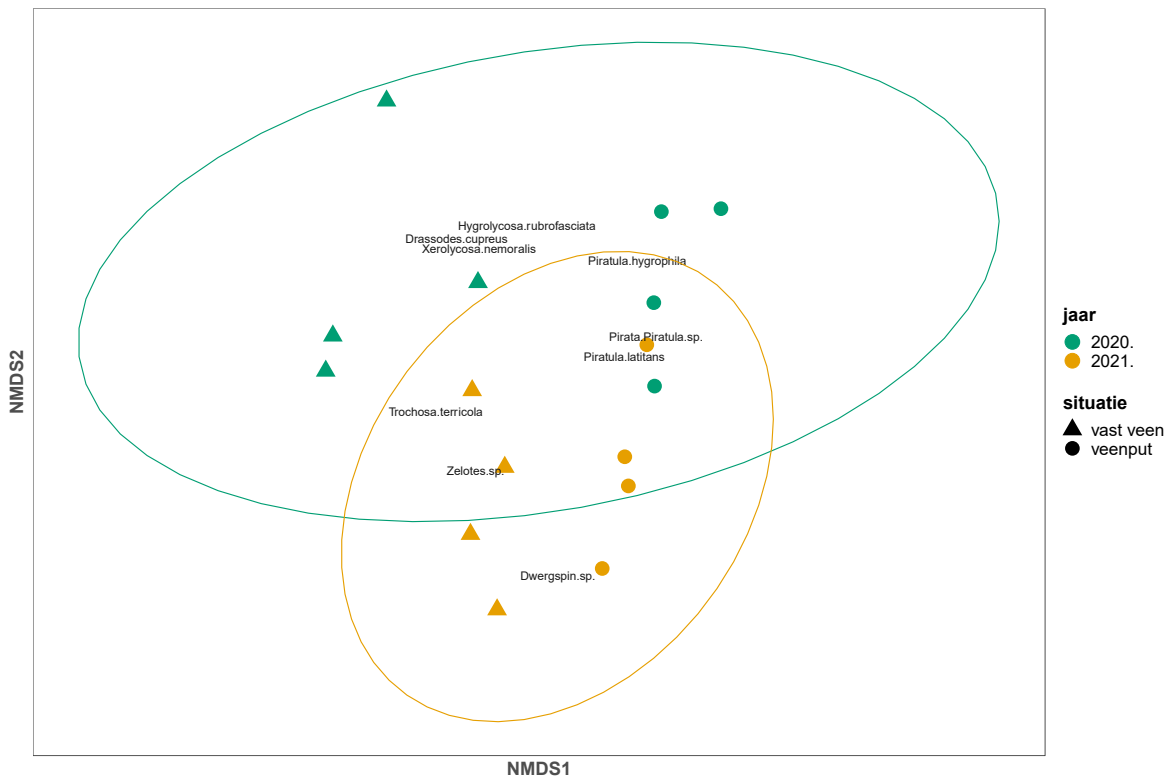
Figure 77. NMDS representation of the species composition of captured spiders from the Deurnsche Peel bog in 2018, 2020 and 2021. Differences in species composition are calculated based on the Bray-Curtis inequality. The displayed spiders indicate which species have a significant influence ($p > 0.05$) on the ordination. The ellipses show the 95% confidence intervals for the different years.

De gevangen spinnen zijn ingedeeld op basis van habitatvoorkeuren ten aanzien van vochtigheid (gebaseerd op habitatbeschrijving in Roberts 1998; Figuur 78). Spinnensoorten die voorkomen in vochtige omstandigheden en soorten zonder specifieke voorkeur zijn in alle jaren zowel in veenputten als op het vaste veen aangetroffen. Spinnen die worden geassocieerd met drogere omstandigheden, komen in 2018 en 2021 uitsluitend voor op het vaste veen. In 2020 zijn deze soorten echter niet aangetroffen op het vaste veen maar enkel in de veenputten. De abundantie van spinnen was in 2020 beduidend hoger in de veenputten dan op het vaste veen, terwijl dit verschil in 2018 en 2021 niet of minder duidelijk aanwezig was.



Figuur 78. Het gemiddeld aantal spinnen per potval in de Deurnsche Peel, ingedeeld op basis van de verschillende habitateisen ten aanzien van vochtigheid. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het vaste veen en de veenputten uit het gebied, voor beide situaties geldt $n=8$ potvallen.

Figure 78. The average number of spiders per pitfall trap in the Deurnsche Peel bog, classified according to the different habitat requirements with respect to moisture. A distinction has been made between the solid peat and the peat pits in the area, for both situations $n=8$ pitfall traps applies.

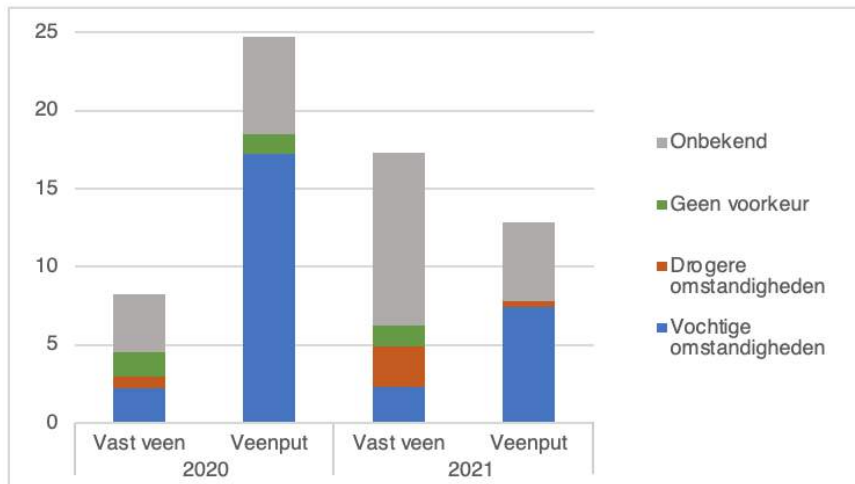


Figuur 79. Een NMDS weergave van de soortensamenstelling van gevangen spinnen uit de Liesselse Peel in 2020 en 2021. Verschillen in soortensamenstelling zijn berekend op basis van de Bray-Curtis ongelijkheid. De weergegeven spinnen geven aan welke soorten een significante invloed ($p > 0,05$) hebben op de ordinatie. De ellipsen geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de verschillende jaren.

Figure 79. NMDS representation of the species composition of captured spiders from the Liesselse Peel bog in 2020 and 2021. Differences in species composition is calculated based on the Bray-Curtis inequality. The displayed spiders indicate which species have a significant influence ($p > 0.05$) on the ordination. The ellipses show the 95% confidence intervals for the different years.

7.3.2 Liesselse Peel

In de Liesselse Peel is alleen in de jaren 2020 en 2021, dus na de brand, bemonsterd. De soortensamenstelling is in 2021 significant veranderd ten opzichte van 2020 ($p = 0,01$) (Figuur 79). Ook hier verschilt de soortensamenstelling van het vaste veen met die van de veenputten ($p = 0,001$). De soorten uit het geslacht *Pirata* en *Piratula*, worden net als in de Deurnsche Peel, in verband gebracht met de nattere veenputten. In de Liesselse Peel was in 2020 de abundantie van spinnen in de veenputten hoger dan op het verbrande, vaste veen, maar in 2021 was dit niet het geval (Figuur 80). Dit komt overeen met het patroon in de Deurnsche Peel.

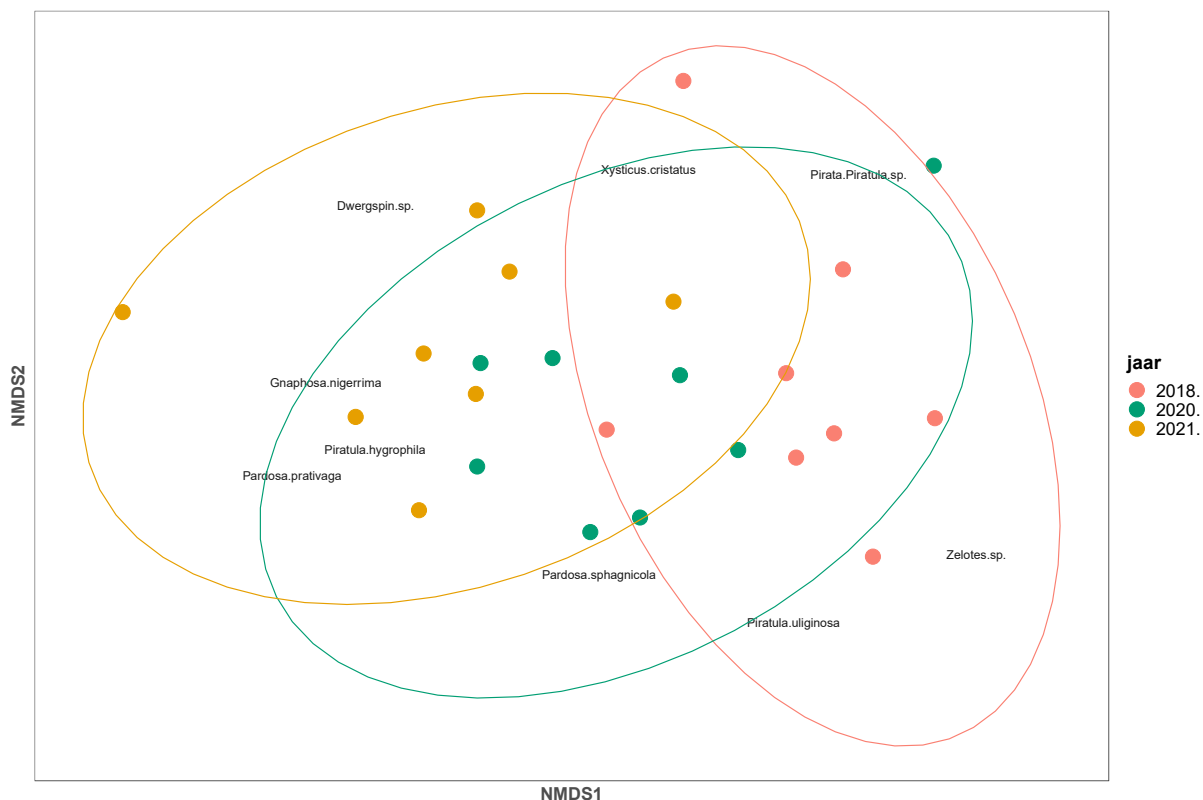


Figuur 80. Het gemiddeld aantal spinnen per potval in de Liesselse Peel, ingedeeld op basis van de verschillende habitateisen ten aanzien van vochtigheid. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen het vaste veen en de veenputten uit het gebied, voor beide situaties geldt $n=8$ potvallen.

Figure 80. The average number of spiders per pitfall trap in the Liesselse Peel bog, classified according to the different habitat requirements with respect to moisture. A distinction is made between the solid peat and the peat pits in the area, for situations both $n=8$ pitfall traps applies.

7.3.3 Mariapeel

In de Mariapeel is de soortensamenstelling significant verschillend tussen de drie jaren ($p < 0,012$) (Figuur 81). Net als in de Deurnsche Peel is de samenstelling van soorten in de loop der jaren veranderd, waarbij 2018 meer gelijkens vertoont met 2020 dan met 2021. Deze veranderingen over de jaren heen zijn dus niet direct te relateren aan brand. Omdat in de Mariapeel alle potvallen in veenputten stonden, kan hier geen onderscheid worden gemaakt tussen vast veen en veenputten.

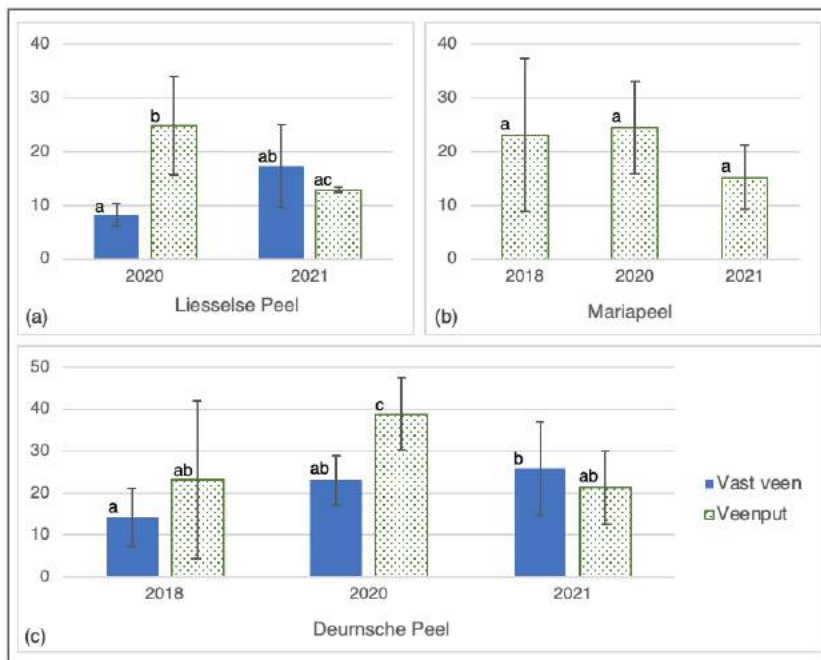


Figuur 81. Een NMDS weergave van de soortensamenstelling van gevangen spinnen uit Mariapeel in 2018, 2020 en 2021. Verschillen in soortensamenstelling zijn berekend op basis van de Bray-Curtis ongelijkheid. De weergegeven spinnen geven aan welke soorten een significante invloed ($p > 0,05$) hebben op de ordinatie. De ellipsen geven de 95% betrouwbaarheidsinterval weer van de verschillende jaren.

Figure 81. NMDS representation of the species composition of captured spiders from the Mariapeel bog in 2018, 2020 and 2021. Differences in species composition is calculated based on the Bray-Curtis inequality. The displayed spiders indicate which species have a significant influence ($p > 0.05$) on the ordination. The ellipses show the 95% confidence intervals for the different years.

7.3.4 Vergelijking Deurnsche Peel, Liesselse Peel en Mariapeel

Het gemiddeld aantal spinnen per potval is in de veenputten van zowel de Deurnsche Peel, als de Liesselse Peel significant afgenomen, van gemiddeld 25 individuen in 2020 naar 13 individuen in 2021 (Figuur 82). Net als in de Deurnsche Peel is in de Liesselse Peel alleen sprake van een significant verschil tussen de veenputten en het vaste veen in 2020. In de veenputten werden in dat jaar gemiddeld 12 spinnen meer gevangen dan op het vaste veen ($p = 0,002$). In tegenstelling tot de Deurnsche- en Liesselse Peel is het gemiddeld aantal spinnen in de veenputten van de Mariapeel, niet significant veranderd in de drie jaren van het onderzoek.



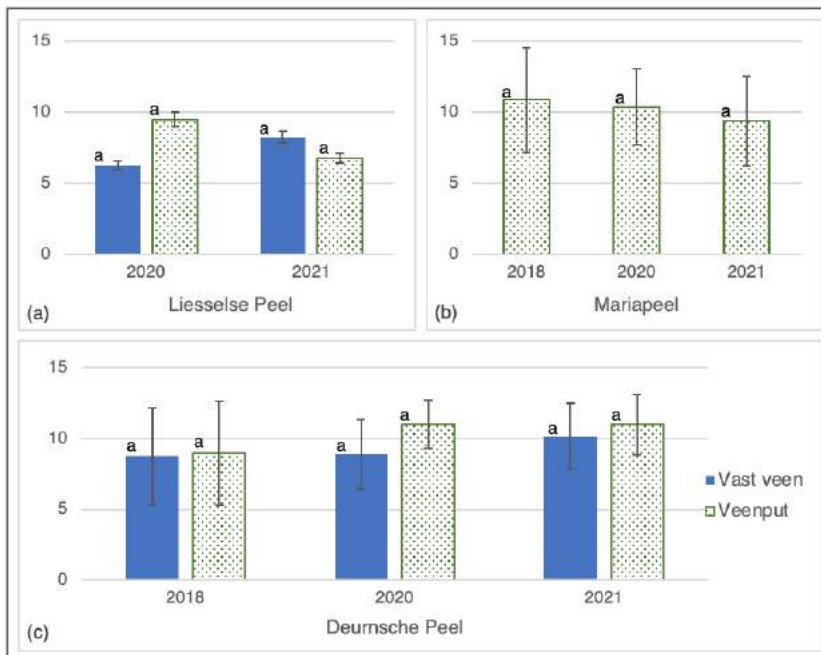
Figuur 82. Het gemiddelde aantal spinnen per potval. Hierbij is onderscheidt gemaakt tussen de drie onderzoeksgebieden, Liesselse Peel (a) Mariapeel (b) en Deurnsche peel (c). Op de x-as staan de jaren waarin monsternamen heeft plaatsgevonden, de foutbalken geven +/- 1 keer de standaarddeviatie weer. Gemiddelden met verschillende letters zijn significant verschillend ($p < 0.05$). Voor de veenputten en het vaste veen in de Liesselse Peel geldt $n=4$ potvallen, voor Mariapeel en Deurnsche Peel geldt $n=8$ potvallen.

Figure 82. The average number of spiders per pitfall trap. A distinction is made between the three research areas, Liesselse Peel bog (a) Mariapeel bog (b) and Deurnsche peel bog (c). On the x-axis are the years in which sampling took place, the error bars represent +/- 1 times the standard deviation. Averages with different letters are significantly different ($p < 0.05$). For the peat pits and the solid peat in the Liesselse Peel bog applies $n=4$ pitfall traps, for the Mariapeel bog and Deurnsche Peel bog applies $n=8$ pitfall traps.

De gemiddelde soortenrijkdom van spinnen is door de jaren heen niet significant veranderd ($p > 0,05$). Dit geldt voor zowel de Liesselse Peel, de Mariapeel, als de Deurnsche Peel (Figuur 83). Daarnaast is in de Liesselse- en Deurnsche Peel geen significant verschil in soortenrijkdom tussen de veenputten en het vaste veen.

7.3.5 Conclusie

De resultaten geven een duidelijke indicatie dat zowel in de sterk verbrande (Liesselse Peel) en minder sterk verbrande (Deurnsche Peel) delen de natte veenmosrijke veenputten een belangrijke functie vervulden tijdens en na de brand: hier konden soorten de brand overleven. De ontwikkeling en instandhouding van natte, veenmosrijke vegetaties waarop brand niet of nauwelijks effect heeft, biedt een veilige haven voor ongewervelden, die tussen het natte veenmos veilig zijn.



Figuur 83. De gemiddelde soortenrijkdom van spinnen per potval. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen de drie onderzoeksgebieden, Liesselse Peel (a) Mariapeel (b) en Deurnsche Peel (c). Op de x-as staan de jaren waarin monsternamen heeft plaatsgevonden, de foutbalken geven +/- 1 keer de standaarddeviatie weer. Gemiddelden met verschillende letters zijn significant verschillend ($p < 0.05$). Voor de veenputten en het vaste veen in de Liesselse Peel geldt $n=4$ potvallen, voor Mariapeel en Deurnsche Peel geldt $n=8$ potvallen.

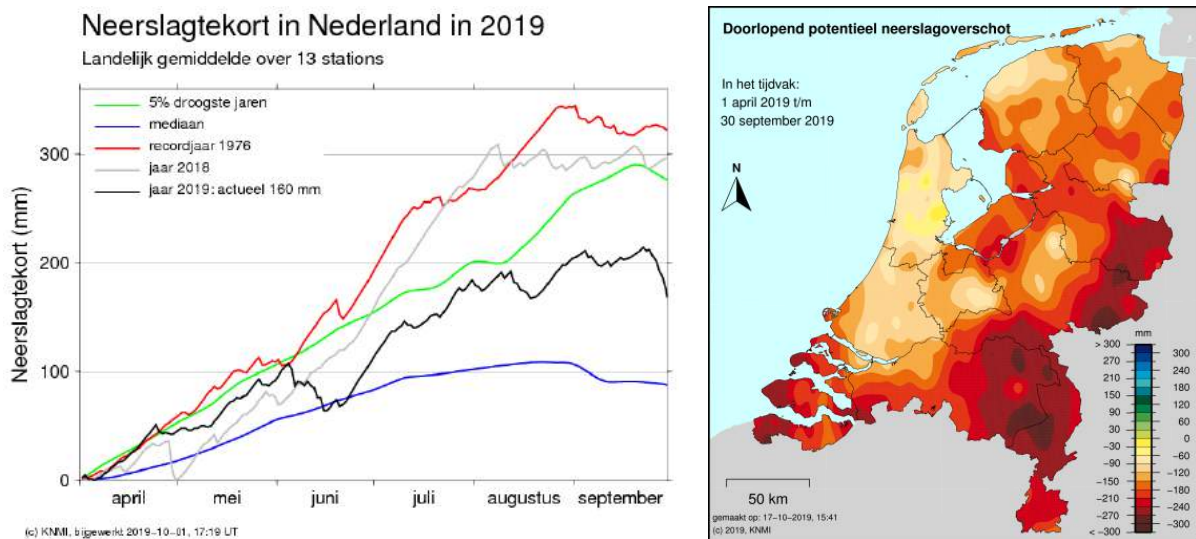
Figure 83. The average species richness of spiders per pitfall trap. A distinction is made between the three research areas, Liesselse Peel bog (a) Mariapeel bog (b) and Deurnsche Peel bog (c). On the x-axis are the years in which sampling took place, the error bars represent +/- 1 times the standard deviation. Averages with different letters are significantly different ($p < 0.05$). For the peat pits and the solid peat in the Liesselse Peel bog applies $n=4$ pitfall traps, for Mariapeel bog and Deurnsche Peel bog applies $n=8$ pitfall traps.

8. Synthese

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek kort samengevat en de kennisvragen uit paragraaf 1.6 worden daarbij concreet beantwoord. Eerst wordt nog kort aangegeven wat de effecten van de droogte zijn op de resultaten van het onderzoek. Het hoofdstuk wordt afgesloten met de implicaties van de resultaten voor het herstelbeheer van hoogveen en de kennislacunes die er nog zijn.

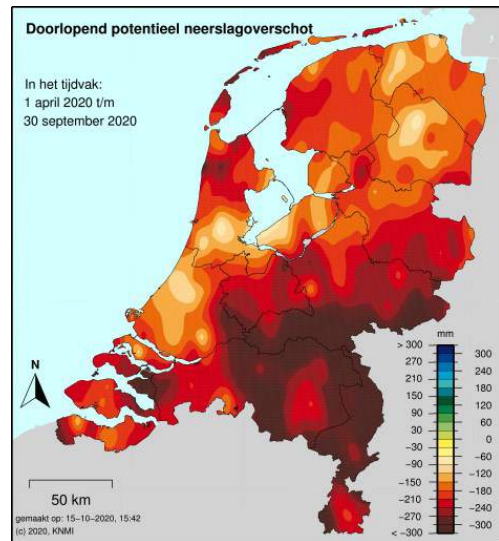
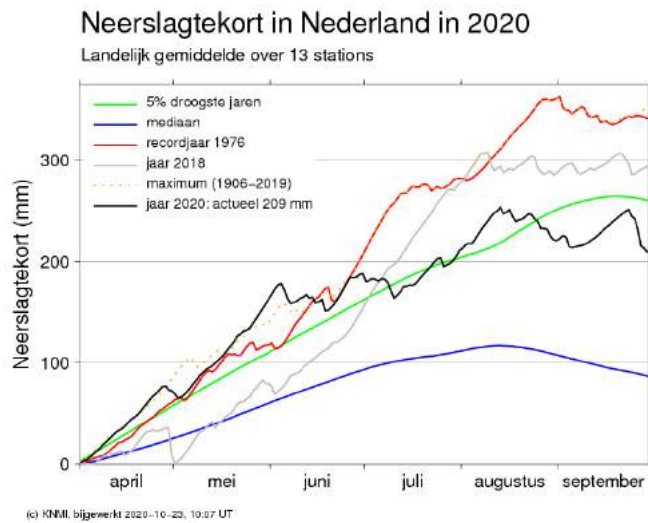
8.1 Effect droogte op resultaten onderzoek

De zomer van 2018 was zeer droog met een neerslagtekort dat voor Nederland is opgelopen tot gemiddeld 296 mm (1 april t/m 30 september 2018; Figuur 12). De zomers van 2019 en 2020 waren met een gemiddeld neerslagtekort van respectievelijk gemiddeld 160 mm (Figuur 84) en 209 mm (Figuur 85) minder droog, maar wel veel droger dan een gemiddeld jaar (ca. 90 mm). Daarentegen was het jaar 2021 juist weer bijzonder nat (Tabel 9). Zowel in 2018 als 2019 is het neerslagtekort het grootste geweest in het oosten en zuidoosten van het land (Figuur 12, Figuur 84 en Figuur 85), dus in de regio van de onderzoeksgebieden. De droogte heeft grote gevolgen gehad voor het verloop van de experimenten en dan vooral voor de experimenten op vast veen, namelijk het plas-dras experiment (zie hoofdstuk 3) en het experiment in een Waterveenmosvegetatie op vast veen (hoofdstuk 4). De locaties met drijvende veenmosvegetaties zijn nog redelijk vochtig gebleven, zodat de geïntroduceerde veenmossen voldoende kansen op overleving hebben gekregen. Desondanks zal de droogte ook hier invloed hebben gehad op het verloop van de experimenten.



Figuur 84. Neerslagtekort in Nederland van 1 april t/m 30 september 2019. 2019 was opnieuw een droog jaar met een neerslagtekort van gemiddeld 160 mm. Bron: KNMI (2019).

Figure 84. Precipitation deficit in the Netherlands from 1 April to 30 September 2019. 2019 was another dry year with a precipitation deficit of 160 mm on average. Source: KNMI (2019).



Figuur 85. Neerslagtekort in Nederland van 1 april t/m 30 september 2020. 2020 was opnieuw een droog jaar met een neerslagtekort van gemiddeld 209 mm. Bron: KNMI (2020).

Figure 85. Precipitation deficit in the Netherlands from 1 April to 30 September 2020. 2020 was another dry year with an average precipitation deficit of 209 mm. Source: KNMI (2020).



Figuur 86. Experiment op zwartveen in het Bargerveen in juli 2018. In de compartimenten met aanvoer van water (links) zijn de geïntroduceerde fragmenten van *Wrattig veenmos* vitaal groen, terwijl het geïntroduceerde mos in het hydrologische controle compartiment wit uitgedroogd is ondanks de beschutting van het stro (rechts). Foto's: Mark Rademaker.

Figure 86. Experiment on strongly humified peat in the Bargerveen bog in July 2018. In the compartments with inlet of water (left), the introduced fragments of *S. papillosum* are green and vital, while the introduced moss in the hydrological control compartment is white and dried out despite the shelter by straw mulch (right). Photographs: Mark Rademaker.

Vooral bij de plas-dras experimenten op zwartveen heeft de droogte dus grote gevolgen gehad (hoofdstuk 3). Ten eerste omdat de veenmossen niet alleen als intacte planten (alleen Deurnsche Peel) zijn geïntroduceerd, maar vooral als fragmenten (alle drie onderzoeksgebieden). Vooral de fragmenten zijn extra gevoelig voor verdroging, omdat ze afhankelijk zijn van regenwater of van water uit het toplaagje van het veen. De veenmossen in compartimenten zonder extra wateraanvoer zijn dan ook sterk uitgedroogd en grotendeels afgestorven (Figuur 35, Figuur 34 en Figuur 86).

Ten tweede leidde de droogte tot een watertekort op de hogere zandgronden. Het waterniveau in de veenplassen daalde zodanig, dat er op locaties Bargerveen en Haaksbergerveen onvoldoende water kon worden opgepompt en de pomp uit gezet moest worden. Hierdoor kon het waterpeil in het compartiment met gecontroleerd grondwaterpeil niet, zoals gewenst, plas-dras gehouden worden. De behandeling 'plas-dras' is hierdoor niet voor de gehele periode representatief voor plas-dras condities, en daarnaast verschilt deze behandeling per locatie (Figuur 29).

Het experiment op vast veen in een Waterveenmosvegetatie in de Deurnsche Peel heeft ook sterk geleden onder de droogte van 2018, maar dit betreft een extra experiment en is daarom in 2019 niet opnieuw ingezet.

De op plas-dras vernat zwartveen geïntroduceerde veenmossen hebben na het opnieuw inzetten van de experimenten in 2019, weer een flinke klap gekregen door de droogte. De overleving is echter wel hoger geweest dan in 2018 (paragraaf 3.3.7). Het extreme weer illustreert het belang van een stabiele waterhuishouding voor succesvolle herintroductie van veenmos. Onder plas-dras condities ziet het geïntroduceerde veenmos er vitaal uit (Figuur 87 links). Wordt er geen extra water toegevoerd, dan droogt de toplaag van het zwartveen te sterk uit en verdrogen de geïntroduceerde veenmosfragmenten (Figuur 87 rechts) en in mindere mate ook de intacte planten.



Figuur 87. Vitale veenmosfragmenten met beschutting van *Eenarig wollegras* op zwartveen in het compartiment met gecontroleerde waterstanden (links) en sterk verdroogde veenmosfragmenten op zwartveen met beschutting van (afgestorven) *Eenarig wollegras* in het compartiment zonder wateraanvoer in het Haaksbergerveen in oktober 2019. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 87. Vital peat moss fragments with shelter of *E. vaginatum* on strongly humified peat in the compartment with controlled water levels (left) and severely desiccated peat moss fragments on strongly humified peat with shelter of (died) *E. vaginatum* in the compartment without water supply in the Haaksbergerveen bog in October 2019. Photos: Hilde Tomassen.

Bij de interpretatie van de onderzoeksresultaten moet dus rekening gehouden worden met het feit dat het onderzoek is uitgevoerd tijdens een drietal opeenvolgende droge zomers, gevolgd door een zeer nat jaar. Voordeel hiervan is dat we inzicht hebben in de (on)mogelijkheden voor hoogveenherstel in droge zomers, zeker gezien de verandering van het klimaat en de verwachte afname van neerslag in de zomer en toename van de verdamping (van den Hurk e.a., 2006) is dit waardevolle informatie. De verwachting is wel dat ook bij het meest extreme klimaatsscenario er mogelijkheden zijn om het habitatype Actieve hoogvenen in Nederland in stand te houden, mits de hydrologische situatie optimaal is (Bijlsma e.a., 2011). Vanuit dit oogpunt is het ook belangrijk om maatregelen te nemen om de ontwikkeling van een acrotelm te versnellen zodat de hoogvenen minder kwetsbaar worden voor perioden met meer droogte.

8.2 Introductie bultvormers op plas-dras vernat zwartveen

Hoe kan veenmosontwikkeling op gang worden gebracht in een terrestrische situatie?

- a) *Op welke locaties is de hydrologie op orde en komt geen veenmosontwikkeling op zwartveen op gang?*

Zoals in de vorige paragraaf is beschreven, waren de weersomstandigheden in de eerste drie jaar van dit onderzoek niet representatief voor het huidige klimaat. Daardoor vond de introductie plaats onder extreme droge omstandigheden. Ondanks deze extremen komt duidelijk uit dit onderzoek naar voren dat introductie van veenmossen succesvol is mits de waterhuishouding op orde is en bijgestuurd wordt. Zonder plas-dras condities kon veenmosontwikkeling moeilijk op gang komen; op geen enkele locatie kon veenmos zich op langere termijn ontwikkelen. Beschutting middels stro verbeterde de overleving op locaties zonder deze extra wateraanvoer echter aanzienlijk.

- b) *Zijn de omstandigheden geschikt voor het handhaven en uitbreiden van bultvormende veenmossen?*

Een richtlijn voor handhaving en uitbreiding van bultvormende veenmossen (*Sphagnum magellanicum* en *S. papillosum*) is dat de grondwaterstand niet dieper wegzakt dan 40 cm beneden maaiveld (McCarter & Price, 2014). Bij een diepere grondwaterstand treedt droogtestress op. Bij deze richtlijn wordt aangenomen dat grondwater de enige bron van water is en houdt dus geen rekening met vernatting door regen tijdens droogte. Een grondwaterstand die niet dieper wegzakt dan 40 cm-mv is alleen behaald onder plas-dras condities op de locaties in het Haaksbergerveen en Deurnsche Peel. Op de locatie in het Bargerveen is door aanvoerproblemen van water, veroorzaakt door de extreme droogte, de grondwaterstand in 6 perioden dieper weggezakt dan 40 cm. Op alle locaties is bij de behandeling zonder wateraanvoer de grondwaterstand vele malen dieper weggezakt dan 40 cm waardoor veenmosgroei niet gerealiseerd kon worden.

- c) *Is de hydrologie op de onderzoekslocaties op orde?*

Onder plas-dras condities was de hydrologie op locaties Deurnsche Peel en Haaksbergerveen goed op orde. De gemiddelde grondwaterstanden waren ondiep (meestal ruim ondieper dan 20 cm beneden maaiveld) en waren stabiel. Alleen op locatie Bargerveen zakte de grondwaterstand te diep weg, met name in het droge jaar 2018. In het natte 2021 zakte de grondwaterstand veel minder diep weg, en bleef veelal boven de in literatuur vaak gehanteerde grenswaarde van 40 cm-mv. Vooral voor locatie Bargerveen kwam de grondwaterstand vaak in de buurt van de 40 cm-mv en is de gemiddelde stand van 25 cm-mv in het natte 2021 nog behoorlijk diep. Voor deze locatie zou gesteld kunnen worden dat de hydrologie – zelfs in behoorlijk natte jaren – niet op orde is.

Of de hydrologie ook op orde zou zijn geweest zonder actieve aanvoer van water, is op basis van de in dit onderzoek verzamelde minder goed te beantwoorden. Daarvoor zijn representatieve weersomstandigheden nodig die, zoals eerder vermeld, ontbraken gedurende de uitvoering van het experiment door drie opeenvolgende extreem droge jaren, gevolgd door een uitzonderlijk nat jaar. Op alle locaties zakte de grondwaterstand in de droge jaren te diep weg om hoogveen op de lange termijn in stand te houden. Een vergelijkbare diepe uitzakking van de grondwaterstand in 2018 is echter ook geobserveerd in natuurlijke(re) hoogvenen in het buitenland (Rinne e.a., 2020).

Voor het Bargerveen is de geschatte minimale wegzijgingsflux beperkt (~60 mm per jaar), en zou geen groot probleem voor behoud en herstel van hoogveen moeten vormen mits voldoende water kan worden aangevoerd. Door de onzekerheid in doorlatendheidseigenschappen van zowel gliede als veen, en de schaarste aan meetgegevens in (Nederlandse) hoogvenen, kunnen hier echter niet met voldoende zekerheid uitspraken over gedaan worden; de wegzijging zou behoorlijk groter kunnen zijn. Door het dunnere veenpakket en de afwezigheid van een gliedelaag op de locatie in het Haaksbergerveen is het waarschijnlijk dat hier veel meer wegzijging zal optreden, en hydrologische randvoorwaarden voor hoogveenbehoud eerder in het gedrang komen.

d) *Vergroot enige mate van beschutting de ontwikkeling van bultvormende veenmossen?*

Beschutting in de vorm van stro (ca. 330 g per m²) vergroot zowel onder natuurlijke als gecontroleerde hydrologische omstandigheden de overleving van bultvormers door een gunstiger microklimaat. Aangeplante pollen van Eenarig wollegras bieden onvoldoende beschutting, mogelijk doordat de pollen nog te klein zijn. Naast pollengrootte zou een andere pollendichtheid tot een ander beschuttingseffect kunnen leiden. Het voordeel van stro boven Eenarig wollegras is, dat stro zelf geen water onttrekt aan het veen en een extra bron van voedingsstoffen (met name fosfor en kalium) kan vormen voor de veenmossen. Een nadeel van stro is dat onder droge omstandigheden ook kieming van berken wordt gestimuleerd, waarschijnlijk door de combinatie van een gunstiger microklimaat en een hogere beschikbaarheid aan voedingsstoffen.

e) *Wat is het effect van de dichtheid waarmee de bultvormers worden geïntroduceerd?*

Het effect van de introductiedichtheid van veenmosfragmenten is alleen onderzocht voor de introductie van veenmosfragmenten. De relatieve uitbreiding van fragmenten bultvormers lijkt hoger bij een lagere dichtheid. Verklaring hiervoor is dat de fragmenten over een dezelfde oppervlakte worden verspreid en bij een lagere dichtheid kunnen meer fragmenten contact maken met het veenoppervlak. Bij een hogere dichtheid komt een deel van de fragmenten op elkaar te liggen. Fragmenten zijn wel zeer gevoelig voor uitdroging, dus het is belangrijk om deze te beschutten met een laagje stro. Een vuist vol mos per m² (5-6 g drooggewicht, ca. 72 mosplanten per m²) lijkt voldoende.

f) *Wat is het effect van het gecontroleerd plas-dras houden van de waterstand?*

Het gecontroleerd plas-dras houden van de waterstand vergroot de overlevingskansen van de veenmosfragmenten sterk, zelfs in extreem droge jaren waarvan bij de experimenten sprake was. In het Bargerveen waar het door de droogte niet mogelijk was om continu water aan te voeren, was de overleving duidelijk lager dan in het Haaksbergerveen en de Deurnsche Peel.

Vanwege de extreme droogte in 2018 werden de plas-dras experimenten op zwartveen in het voorjaar van 2019 opnieuw gestart. In aanvulling op de oorspronkelijke onderzoeksvragen (zie Tabel 1) kunnen we hierdoor de volgende extra vragen beantwoorden:

1. *Wat is het effect van een extreem droge zomer (2018) op de waterstanden op zwartveen?*

De extreme droogtes in 2018 t/m 2020 hebben geleid tot een aanzienlijk diepere grondwaterstand dan normaal zou worden aangetroffen. Zoals in de vorige paragrafen is beschreven, is de grondwaterstand meermaals beneden de richtlijn van 40 cm onder maaiveld gezakt. Alhoewel er van de exacte locaties referentiegegevens onder een representatief klimaat, zonder extreme droogte of natte condities, ontbreken, is duidelijk dat de grondwaterstanden gedurende het experiment vele malen dieper zijn weggezakt dan het geval zou zijn bij representatieve jaren. De huidige meetreeks is te kort om

betrouwbaar het grondwaterregime te karakteriseren. Een voortzetting van de huidige meetreeks zal hier inzicht in kunnen bieden.

2. *Kunnen geïntroduceerde fragmenten van Wrattig veenmos initieel overleven op zwartveen tijdens een extreem droge zomer?*

Ondanks de droogte van 2018 kan Wrattig veenmos overleven op zwartveen, mits beschermd door een laagje stro. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat het aandeel overlevende veenmosfragmenten slechts een fractie is van het aantal dat geïntroduceerd is.

3. *Wat is het effect van wateraanvoer, beschutting (geen, Eenarig wollegras en stro) en dichtheid waarmee de bultvormers worden geïntroduceerd op de overleving tijdens een extreem droge zomer?*

Het actief aanvoeren van water is essentieel gebleken voor succesvolle herintroductie van bultvormers op zwartveen. Bedekking met stro blijkt tot een aanzienlijke verhoging van levende fragmenten te leiden. In het Haaksbergerveen werden in 2018 alleen bij de stro-behandeling levende fragmenten geobserveerd. Beschutting van de (nog kleine) pollen Eenarig wollegras bleek geen effect te hebben op veenmosoverleving in 2018. Voor het Haaksbergerveen nam de overleving toe met hogere dichtheid fragmenten.

4. *In hoeverre verschillen de waterstanden, initiële overleving en veenwatersamenstelling tussen een extreem droge zomer (2018) en een 'normale zomer'?*

Zoals eerder opgemerkt is, waren alle jaren in de onderzoeksperiode niet representatief voor het huidige klimaat. Deze vraag kan daardoor helaas niet goed worden beantwoord. Wel blijkt uit de meetgegevens dat de grondwaterstand in de drie extreem droge jaren gemiddeld over alle locaties ca. 20 cm dieper is dan in het natte jaar 2021. Ten opzichte van een 'normaal' jaar zal dit verschil wat kleiner zijn.

8.3 Introductie bultvormers in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos

Hoe kan de ontwikkeling van bultvormende veenmossen gestimuleerd worden in een door Fraai veenmos gedomineerde fase?

- a) *Kunnen bultvormende veenmossen zich handhaven in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie?*

Bultvormende veenmossen kunnen zich zeker handhaven in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie. Hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, zoals in het Bargerveen, lijken vooral belangrijk wanneer bultvormers in een lage dichtheid worden geïntroduceerd.

- b) *Wat is het effect van de dichtheid waarmee de bultvormers worden geïntroduceerd?*

De kans op een succesvolle herintroductie neemt toe bij een hogere introductiedichtheid. Bij een lage introductiedichtheid is 'het aanslaan' van het veenmos veel meer een kans proces, waarschijnlijk gestuurd door zeer lokale (a)biotische factoren, zoals bijvoorbeeld een hoge CO₂-concentratie in het bodemvocht. Herintroductie met behulp van intacte plaggen is meest kansrijk. In het huidige onderzoek is gewerkt met plaggen van 20x20 cm: bijna alle plaggen vertoonden een netto uitbreiding na introductie wat laat zien dat deze grootte in elk geval succesvol is. Uit eerder onderzoek blijken plaggen met een diameter van 9 cm ook kansrijk mits het waterpeil stabiel genoeg is (Figuur 63).

8.4 Sturende factoren voor spontane uitbreiding bultvormers

Onder welke omstandigheden kunnen bultvormers zich handhaven in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie?

Uit het veldonderzoek op locaties met spontane uitbreiding van bultvormers in Fraai veenmos of Waterveenmos blijkt dat vestiging van bultvormers onder een vrij grote 'window' aan abiotische standplaatscondities kan plaatsvinden. Jonge successiestadia met hoge concentraties CO₂ (altijd natte omstandigheden) in het bodemvocht lijken het meest kansrijk. Op basis van deze brede range in waterkwaliteit- en vegetatie-data zou je op veel meer plekken bultvorming verwachten dan dat er daadwerkelijk plaatsvindt. Dit laatste is in lijn met het idee dat bottlenecks in verspreiding en vestiging van de bultvormers acrotelmherstel vertraagt. Dit laatste zou betekenen dat bultvormers zich na herintroductie overal makkelijk kunnen uitbreiden. Dit is slechts ten dele waar. Onze experimenten laten zien dat competitie met reeds aanwezige (slenk-vormende) veenmossen ook een belangrijke rol speelt. Hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, naast een lage bedekking van kruiden, lijkt een goede indicatie voor succesvolle herintroductie van bultvormende veenmossen in bestaande veenmostapjten van Fraai veenmos en Waterveenmos.

8.5 Stimuleren veenmosontwikkeling vanuit een aquatische situatie

Hoe kan veenmos-ontwikkeling op gang worden gebracht in een aquatische situatie?

a) *Welke praktijkproeven zijn er ingezet en wat zijn de resultaten?*

De enquête onder hoogveenbeheerders heeft geen goed beeld opgeleverd van de uitgevoerde praktijkproeven en de resultaten ervan. In het Fochteloërveen heeft het lossteken van de toplaag van het veen in combinatie met vernattingsmaatregelen in 20 jaar geresulteerd in de ontwikkeling van veenmosvegetaties met bultvormers.

Experimentele introductie van witveen, deels in combinatie met kalk en/of fosfaat, heeft niet geresulteerd in de vorming van drijftillen op de korte termijn maar uiteindelijk wel tot een hogere bedekking met Waterveenmos. Waarschijnlijk is er later toch nog een deel van het witveen komen opdrijven waarop Waterveenmos kon groeien. Daarnaast heeft witveen, vooral in combinatie met kalk, geresulteerd in een hogere productie van anorganisch koolstof uit afbraak en daarmee tot een hogere CO₂-beschikbaarheid voor Waterveenmos. Het is nog te vroeg om te zeggen hoe de situatie zich verder zal ontwikkelen. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat zich bultvormers gaan vestigen op de drijvende tapijten Waterveenmos of dat de hogere planten zich dusdanig snel gaan uitbreiden dat bultvormers geen kans meer krijgen.

b) *Wat zijn de standplaatsfactoren op locaties waar met succes veenmosontwikkeling op gang gekomen is?*

De metingen bevestigen dat een hoge CO₂-beschikbaarheid van groot belang zijn voor een goede veenmosontwikkeling vanuit een aquatische situatie.

8.6 Implicaties onderzoek voor acrotelmherstel

8.6.1 Acrotelmontwikkeling op zwartveen

Onder de juiste omstandigheden blijkt dat bultvormers zich kunnen handhaven en uitbreiden op zwartveen, zelfs in droge jaren. Op zwartveen is het wel noodzakelijk om de waterhuishouding te verbeteren door het aanvoeren van water in perioden met een neerslagtekort. Beschutting via stro verhoogd de kans op succes sterk. Onder suboptimale hydrologische omstandigheden is de kans op overleving groter wanneer bultvormers als complete mossen worden geherintroduceerd. Onder de juiste hydrologische omstandigheden kan herintroductie plaatsvinden via veenmosfragmenten afgedekt met stro. Een groot voordeel van de introductie van fragmenten is dat deze methode eenvoudiger op te schalen is (analoog aan de toegepaste methode in Canada) en er minder donormateriaal nodig is per oppervlakte. Een flinke vuist veenmos (ca. 72 individuen per m²) afgedekt met ca. 330 g stro per m² lijkt een goede combinatie voor Nederland. Een vuist veenmos komt neer op een donor:introductie-ratio van ca. 140, dus 1 m² veenmos van de donorlocatie wordt dan verspreid over ca. 140 m² op de introductielocatie.

De hogere overleving van de veenmosfragmenten in 2019 ten opzichte van 2018 biedt perspectieven voor een succesvolle introductie van fragmenten afgedekt met stro in zomers met een normale hoeveelheid neerslag. De neerslagfrequentie speelt waarschijnlijk ook een belangrijke rol op de overleving van de bultvormers. De toepassing van stro stimuleert wel de opslag van berkjes, maar het risico hierop is groter onder suboptimale hydrologische omstandigheden. Dit is dus een extra reden om te zorgen voor stabiele hoge waterstanden. Hoe het positieve effect van stro precies verklaard kan worden, is op basis van de verzamelde gegevens in dit onderzoek niet vast te stellen.

Het bevoeien van zwartveen blijkt in de praktijk lastig te realiseren. Het blijkt ontzettend belangrijk dat het maaiveld vrijwel overal dezelfde hoogte heeft, anders zal het door de geringe waterberging in het zwartveen op de lageregelegen delen al snel te nat en op de hoger gelegen delen te droog zijn voor een goede uitbreiding van bultvormers. Het volledig egaal afwerken van het oppervlak voor herintroductie, zelfs al zou het praktisch mogelijk zijn, is voor de langere termijn ontwikkeling af te raden: buitenlands onderzoek laat zien dat een lichte variatie in terreinhoogte op den duur juist betere resultaten levert dan vlak afwerken omdat dan bij variërende weerscondities altijd wel ergens in het terrein optimale hydrologische condities zijn te vinden. Dit laatste blijkt ook uit persoonlijke observaties van Piet van Ursem van het Bargerveen.

Bij het opschalen van de maatregel lijkt het beregenen via een sproei installatie eenvoudiger te realiseren dan de in het huidige onderzoek toegepaste bevoeiing. Bovendien zouden bij besproeiing ook geen waterkerende schotten geplaatst hoeven te worden. Aanvoer van zuur oppervlaktewater via sproeien bootst het effect van neerslag na. Dat een hoge neerslag frequentie kan compenseren voor diep uitzakkende waterstanden blijkt uit de veenmosoverleving zonder extra wateraanvoer uit 2019. In dit jaar was de overleving van bultvormers hoger dan in 2018, ondanks de opnieuw diepe waterstanden (tot 60-80 cm onder maaiveld). Voor de veenmosfragmenten op het veenoppervlak maakt het dan waarschijnlijk niet veel uit of de waterstand 10 of 20 cm minder ver uitgezakt, maar is vooral de neerslagfrequentie van belang. In 2018 is in het voorjaar gedurende lange tijd vrijwel geen neerslag gevallen (Figuur 28). Sproeien is waarschijnlijk alleen nodig wanneer het gedurende lange tijd niet heeft geregend of op momenten dat de verdamping erg hoog is (zeer warm weer). Wanneer zich eenmaal een dichte veenmosvegetatie (acrotelm) heeft ontwikkeld, zal de vegetatie minder gevoelig zijn voor tijdelijke droogte. Aanvoer van water is dus vooral tijdens de initiële fase van belang en in een latere fase vooral om droge perioden te overbruggen. Wanneer er door klimaatverandering in de toekomst meer extreme perioden met droogte gaan voorkomen, dan zal dit wel gevolgen voor de ontwikkeling van een acrotelm hebben. De daadwerkelijke gevolgen zijn afhankelijk van de duur en intensiteit van de droogte. Bij langdurige droogte kan ook de voorraad zuur oppervlaktewater uitgeput raken, waardoor bevoeiing of besproeien niet meer mogelijk is. Het aanleggen van

waterbuffers van voldoende capaciteit, met de juiste waterkwaliteit en met specifiek de doelstelling voor hoogveenondersteuning kan dit probleem (grotendeels) oplossen. Door het aanleggen van waterbuffers is het risico van negatieve effecten van het onttrekken van oppervlaktewater ook geringer.

Bevloeiën of sproeien van zwartveen kan ook een goede tijdelijke maatregel zijn op locaties waar de hydrologische situatie nog niet op orde gebracht kan worden, maar in de toekomst wel. De ontwikkeling van een acrotelm kan dan tijdelijk ondersteund worden door extra water aan te voeren totdat de waterstanden in het veen wel stabiel hoog zijn.

De ontwikkeling van een nieuwe acrotelm is een langdurig proces. Vaak wordt in literatuur genoemd dat veen 1 mm/jaar groeit. In dat geval zou een acrotelm (~30-40 cm dik) gevormd worden in zo'n 300-400 jaar. De genoemde 1 mm/jaar betreft echter de netto groei, inclusief verlies door afbraak van het hele veenpakket. Veenmos kan daarentegen vele malen sneller groeien (ca. 2 cm per jaar; Limpens e.a., 2004, Bengtsson e.a., 2020). Veenmos breekt echter ook sneller af dan veen. Als we kijken naar een acrotelm, kan deze al binnen 40-60 jaar (mogelijk nog sneller) gevormd zijn (Malmer & Wallen, 1999). Dit geeft een beeld voor de tijdslijn waar beheer voor het realiseren van een acrotelm en daarmee gepaarde stabiele grondwaterstanden zich minimaal op zal moeten richten.

Een mogelijke bottleneck voor het opschalen van herintroductie maatregelen is het gebrek aan donormateriaal. In Nederland zal het lastig zijn om op grote schaal aan bultvormers te komen. Kansen liggen er wel door eerst het donormateriaal te kweken in bijvoorbeeld de bufferzones die rondom veel hoogveengebieden zijn of worden gerealiseerd ter ondersteuning van de hydrologische stabiliteit van het veen. In Duitsland, maar ook in het IJperveld, zijn succesvolle experimenten uitgevoerd met veenmosteelt. Op vernatte voormalige landbouwgronden blijkt het goed mogelijk om veenmossen te kweken (Gaudig e.a., 2017; 2018; van de Riet e.a., 2018 en Smolders e.a., 2019). Na ca. 5 jaar (moment afhankelijk van de veenmosgroei en technische mogelijkheden) kunnen deze dan geoogst worden en gebruikt worden als donormateriaal om de ontwikkeling van een acrotelm te versnellen.

8.6.2 Acrotelmontwikkeling in slenkvegetaties

De experimenten in slenkvegetaties van Fraai veenmos en Waterveenmos bevestigen de uitkomsten van eerder uitgevoerd onderzoek. Uitbreiding van bultvormers verloopt het meest succesvol bij hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht. Het lijkt niet veel uit te maken of bultvormers worden geïntroduceerd in Fraai veenmos of Waterveenmos. Belangrijke kanttekening hierbij is wel dat het onderzoek is uitgevoerd in droge jaren en dat in natte jaren slenksoorten in het voordeel kunnen zijn. Uit eerder onderzoek blijkt dat de resultaten na 2-3 jaar goed te vertalen zijn naar de langere termijn. Dit zou betekenen dat, zeker bij de hoogste introductiedichtheid, de bultvormers zich kunnen handhaven en uitbreiden. Introductie via intacte pluggen verdient hierbij een lichte voorkeur boven het introduceren van (bundels) losse planten.

Dit duidt erop dat de verspreiding en vestiging van bultvormers vaak de beperkende factor is en niet de beschikbaarheid aan geschikte groeiplaatsen. Dit wordt ook bevestigd door het onderzoek op locaties met spontane uitbreiding van bultvormers. Op basis van de aangetroffen brede range in waterkwaliteit en vegetatiesamenstelling wordt bultvorming op meer locaties verwacht dan dat er daadwerkelijk plaatsvindt. Je verwacht dan ook dat bultvormers zich na herintroductie op potentieel geschikte locaties makkelijk kunnen uitbreiden. Hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht, naast een lage bedekking van kruiden, lijkt een goede indicatie voor succesvolle herintroductie van bultvormende veenmossen in bestaande veenmostapipjen van Fraai veenmos en Waterveenmos.

Het onderzoek is uitgevoerd in hoogveenrestanten, maar de resultaten zijn breder toepasbaar. Denk daarbij aan vergelijkbare situaties in kleine heidevennetjes of laagveensystemen, waar vestiging van bultvormers gewenst is maar niet op gang wil komen. Randvoorwaarde hiervoor is wel dat

lokale (a)biotische milieuomstandigheden vergelijkbaar zijn, dus stabiele hoge waterstanden, zuur water, hoge CO₂-concentraties en een lage bedekking van kruiden.

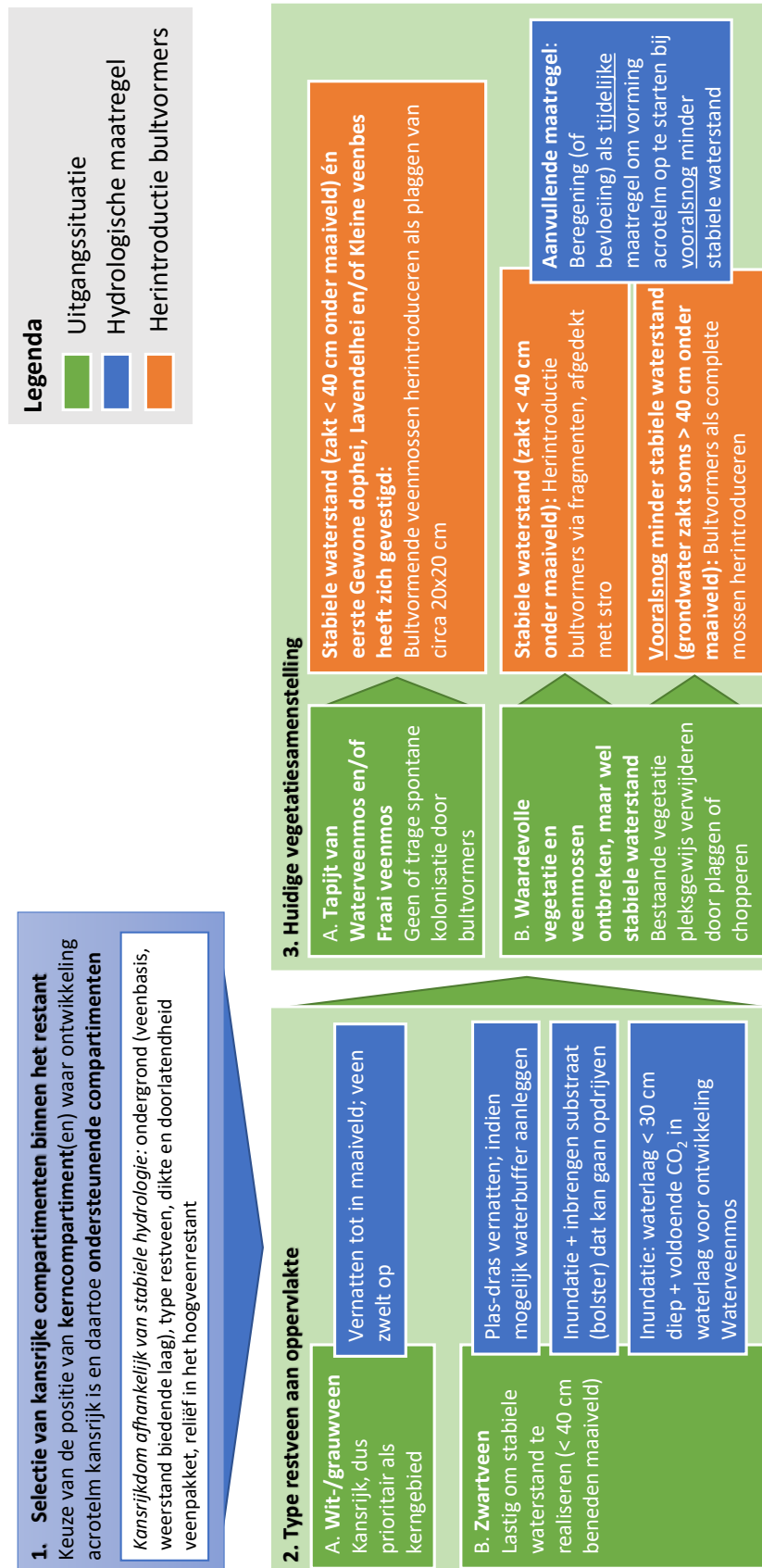
8.6.3 Acrotelmontwikkeling vanuit een aquatische situatie

Het onderzoek bevestigt dat een hoge CO₂-beschikbaarheid van groot belang is voor een goede veenmosontwikkeling vanuit een aquatische situatie. Uit eerder OBN-onderzoek blijkt dat naast de beschikbaarheid van CO₂ ook andere factoren, zoals waterdiepte (lichtlimitatie; Tomassen e.a., 2003) en omvang van de plas in verband met windwerking, een rol spelen bij de ontwikkeling van Waterveenmos. Het inbrengen van witveen kan de ontwikkeling versnellen wanneer dit veen komt opdrijven en/of zorgt voor hogere CO₂-concentraties in het water.

8.6.4 Herstelstrategie afhankelijk van uitgangssituatie

De resultaten van de uitgevoerde veenmosintroducties zijn verwerkt tot een schematische beslisboom voor het terreinbeheer (Figuur 88). Daarbij is uitgegaan van de herstelstrategieën die op basis van het voorgaande OBN-onderzoek naar hoogveenherstel en praktijkervaring zijn opgesteld voor de verschillende uitgangssituaties wat betreft het type restveen (witveen of zwartveen) en de beschikbaarheid van CO₂-rijk water. In het schema is dit opgenomen als stap 2. Omdat bekend is dat voor succesvol herstel van een door veenmossen gedomineerde vegetatie met bultvormende veenmossoorten -die op termijn een acrotelm kunnen vormen- een stabiele waterstand nodig is, is als stap 1 in het schema opgenomen dat binnen een hoogveenrestant de locaties geselecteerd worden waar die stabiele waterstanden daadwerkelijk zijn te realiseren en de ontwikkeling van 'hoogveenkerntjes' kansrijk is. Compartimenten waar ontwikkeling van een acrotelm voorlopig niet kansrijk is, zullen als ondersteunende compartimenten fungeren. Daarin kan dan afhankelijk van de situatie wel groei van veenmossen en/of ontwikkeling en behoud van karakteristieke biodiversiteit van hoogvenen plaatsvinden, maar zijn de omstandigheden voorlopig niet goed genoeg voor de ontwikkeling van vegetaties met grote aaneengesloten veenmostapipjen met bultvormers.

In stap 3 van de beslisboom zijn op basis van dit acrotelmonderzoek twee uitgangssituaties onderscheiden wat betreft de actuele vegetatiesamenstelling. In geval A, wanneer een tapijt van Waterveenmos en/of Fraai veenmos aanwezig is waarin geen of trage kolonisatie van bultvormende soorten optreedt, kunnen bultvormers het beste geïntroduceerd worden als plaggen van 20x20 cm, op voorwaarde dat de waterstand minder dan 40 cm onder het maaiveld zakt en de vegetatieontwikkeling zover is dat de eerste Gewone dophei, Lavendelhei en/of Kleine veenbes zich heeft gevestigd. In geval B, waarin de waterstand wel stabiel is, maar waardevolle hoogveenvegetatie zich nog niet ontwikkelt, kan introductie van bultvormers plaatsvinden nadat de bestaande vegetatie (veelal Pijpenstrootje) pleksgewijs door plaggen of chopperen is verwijderd. De vorm waarin de bultvormende veenmossen dan het beste geïntroduceerd kunnen worden, is afhankelijk van de huidige stabiliteit van de waterstand: in de vorm van fragmenten en afgedekt met stro als de waterstand minder dan 40 cm wegzakt en in de vorm van complete mossen als de waterstand op dit moment nog minder stabiel is. Daarbij wordt beoogd dat zich uiteindelijk aaneengesloten veenmosvegetaties met bultvormers ontwikkelen die zo robuust zijn dat ze zichzelf in stand kunnen houden in drogere perioden. Gedurende de ontwikkeling daar naartoe is het in langdurig droge perioden nodig via beregening (of bevoeiing) de veenmossen voldoende nat te houden. Dit moet wel een tijdelijke maatregel zijn; de introductie van bultvormers is alleen zinvol als dit plaatsvindt in combinatie met verbetering van de hydrologische situatie binnen een beperkt aantal jaren. Een goede selectie van hiervoor kansrijke situaties (stap 1 van de beslisboom) is een voorwaarde voor het slagen van de herintroductie van bultvormers en de ontwikkeling van een acrotelm.



Figuur 88. Samenvatting van verschillende strategieën voor hoogveenherstel bij verschillende uitgangssituaties.

Figure 88. Summary of different strategies for bog restoration at different initial situations.

8.7 Kennislacunes en aanbevelingen voor vervolgonderzoek

De huidige experimenten worden, uitgezonderd het plas-dras experiment in het Bargerveen, ook in 2021 nog gemonitord. Wij verwachten na een extra jaar monitoring een betrouwbaarder antwoord te kunnen geven op een aantal onderzoeksvragen (zie voorgaande paragrafen), zeker als de zomer van 2021 minder droog gaat worden dan de afgelopen drie zomers. Ook na een extra monitoringsjaar blijven er kennislacunes bestaan en deze worden in deze paragraaf benoemd.

Bepalen van het 'op orde zijn' van de hydrologie

Een belangrijk aspect waar we in dit onderzoek tegen aan liepen is de bepaling of de hydrologie 'op orde' was. Het 'op orde' zijn van de hydrologie heeft als richtlijn dat de wegzijgingscomponent beperkt is. In dit onderzoek liepen we, net als in andere onderzoeken aan hoogvenen, ertegenaan dat er zeer weinig gegevens beschikbaar zijn van de bodemfysische eigenschappen van Nederlandse hoogvenen en onderliggende slecht doorlatende lagen als een kazige B-horizont en gliedelaag. Zowel van hoogveen als de onderliggende slecht doorlatende lagen kan de doorlatendheid zeer variabel zijn. Het inschatten van wegzijging, en daarmee het 'op orde' zijn van de waterhuishouding van hoogvenen, is daardoor erg onzeker. De eigenschappen van veen en onderliggende slecht doorlatende lagen, en de relatie tot bodemontwikkeling en landschappelijke ligging, zijn een belangrijke kennis- en gegevenslacune die inschatten van potenties voor behoud en herstel van hoogveen beperkt.

Perspectieven acrotelmontwikkeling voor de lange termijn

Het experiment met introductie van veenmosfragmenten op zwartveen laat zien dat, zelfs in opeenvolgende jaren met extreme droogte, met succesvolle introductie de eerste stappen naar herstel van een acrotelm mogelijk zijn. Actieve aanvoer van water bleek echter cruciaal om uitbreiding van veenmos te verwezenlijken. Door de extreme omstandigheden kan niet worden bepaald hoe succesvol overleving en uitbreiding van veenmos zou zijn geweest bij representatieve klimatologische omstandigheden zonder wateraanvoer. Voor het herstel van een werkende acrotelm is dit van wezenlijk belang.

Het blijft echter onbekend of en hoe een veenmostapijt op zwartveen zich zal ontwikkelen naar een acrotelm zoals men die aantreft in natuurlijke hoogveensystemen. De ontwikkeling van een acrotelm vergt al snel een tijdspanne van 40-60 jaar en binnen een dergelijke periode kan er veel gebeuren. Het klimaat verandert en in de omgeving wordt ingegrepen in de waterhuishouding. Het is daardoor in grote mate onzeker welke hydrologische condities de acrotelmontwikkeling zullen bevorderen of in de weg gaan staan. Het goede nieuws is dat, naarmate zich een steeds dikker mostapijt weet te vestigen, ook de zelfregulering van het hoogveen toeneemt. In het begin is veenmos nog erg afhankelijk van weersomstandigheden, maar met een dikker tapijt kan het door veranderende eigenschappen beter omgaan met droogte. Ten opzichte van het onderliggende veraarde zwartveen is de porositeit van een mostapijt vele malen groter. Als de grondwaterstand tot in de weinig veraarde toplaag reikt, worden door de hoge porositeit grondwaterstandsfluctuaties gebufferd, is veenmos minder gevoelig voor weersextremen, en kan het weer beter groeien. Naarmate de acrotelm dikker wordt, zullen zulke terugkoppelingen steeds effectiever en sterker worden, en zal hoogveen minder afhankelijk worden van het klimaat.

Daarentegen illustreren de resultaten van dit onderzoek ook hoe gevoelig het op gang krijgen van hoogveenontwikkeling kan zijn voor klimaatextremen. Welke klimaatextremen hoogveen precies aan kan, en welke eigenschappen ervoor nodig zijn om hoogveen weerbaar te maken en te houden, is een cruciale vraag voor de toekomst.

Het toekomstige verloop van acrotelmontwikkeling op zwartveen, en welk beheer daarbij hoort is een belangrijke openstaande vraag. Niet alleen als vervolg op het huidige onderzoek, maar ook in bredere zin om de kansrijkdom van hoogveenbehoud en -herstel te verkennen in tijd en ruimte. Gezien Nederlandse hoogvenen onder druk staan van klimaatverandering en de druk op watergebruik in de toekomst toeneemt, bevelen wij aan deze kennislacune met prioriteit nadere invulling te geven.

Opschalen plas-dras: van experiment naar praktijk

Met behulp van wateraanvoer is het goed mogelijk om op experimentele schaal (ca. 100 m²) een proefvlak van water te voorzien om zo de vorming van een sluitend veenmostapijt te initiëren. Om van de experiment-schaal naar perceel-schaal te komen, zijn met name wateraanvoer en -kwaliteit van belang. Bij opschalen van wateraanvoer naar perceelschaal moet allereerst voldoende water voorradig zijn. Juist in perioden van droogte is water een schaars goed. Zowel natuur, landbouw, als industrie en drinkwaterbedrijven hebben juist in deze periode meer water nodig. Voor natuur, en vooral voor hoogveen, komt daar nog eens bovenop dat de kwaliteit van water nauw luistert: alleen zuur, bicarbonaat- en voedselarm water kan worden opgebracht (zie o.a. Koks e.a., 2019; Aggenbach e.a., 2020). Mochten dit type water niet aanwezig zijn, of onvoldoende capaciteit bieden, maar wil men toch een hoogveen van water willen voorzien, dan zou men kunnen terugvallen op voorgezuiverd water. Het aanvoeren van gebiedsvreemd water is in principe onwenselijk, maar wellicht een noodzakelijk kwaad in perioden van droogte, die steeds vaker zullen optreden in de toekomst (KNMI, 2015). Door extra controles in te bouwen kan de waterkwaliteit gewaarborgd worden en het veensysteem behouden worden. Mogelijke bronnen van dit water zijn kalkarme, uitgeloopte watervoerende pakketten in/om hoogvenen, of zelfs afgekoppelde regenwaterafvoer van stedelijk gebied in de omgeving. Een andere mogelijkheid is om neerslagoverschot (in de winter) vanuit een veen in een niet-reactief watervoerend pakket in de ondergrond op te slaan. In perioden van droogte kan aanspraak gedaan worden op dit water. Op dit moment is niet duidelijk in hoeverre het aanvoeren van voorgezuiverd water bij droogte kansrijk is. Nadrukkelijk vermelden wij dat dergelijke technologische oplossingen enkel verkend dienen te worden indien natuurlijke(re) oplossingen niet mogelijk zijn, of om veen door de eerste kwetsbare fase van ontwikkeling een handje te helpen. Het is niet ondenkbaar dat zulke oplossingen nodig zullen zijn om hoogveen robuust te maken tegen klimaatverandering en daarmee gepaard gaande veranderingen in de waterhuishouding.

Een ander belangrijk aspect bij opschaling is reliëf. Ondanks dat er in het veld gepoogd is een zo egaal mogelijk oppervlak zwartveen te verkrijgen, geven hoogtemetingen aan dat er binnen proefvlakken van zo'n 100 m² al een hoogteverschil van 11 cm (5-95 percentiel) opgetreden is. Met een groter oppervlak zal dit reliëfverschil onvermijdelijk nog verder toenemen, en zullen ook grootschaligere hoogtegradiënten een wezenlijker onderdeel van het reliëf vormen. Hierdoor zullen allerlei praktische inrichtingsproblemen ontstaan, die deels op te lossen zijn. Voor de vorming van een acrotelm is het van belang te bepalen wat de consequenties van microreliëf zijn, en welke voor- en nadelen dit biedt. In potentie biedt micro-reliëf in het zwartveenpakket de kans voor veenmos om gebruik te maken van de gradiënten en met de ((meer)jaarlijkse) variaties in klimaat mee te bewegen naar de zone met optimale hydrologische condities. Het is echter onbekend of dit daadwerkelijk mogelijkheden biedt voor veenmossen, of dat juist hogere planten voordeel hebben van dergelijke gradiënten. De kleinschalige hoogtegradiënten bieden in potentie ook beschutting. Een beperkte bedekking van vaatplanten op de hogere delen hoeft niet per definitie slecht te zijn, en kan juist zorgen voor micrometeorologisch gunstigere omstandigheden (luchtvochtigheid, temperatuur, windsnelheid, instraling), die verdampingsverliezen kunnen beperken op plekken waar de vaatplanten zelf niet kunnen groeien. Een kennislacune die hieruit volgt is dus of/welk type microreliëf voordelen biedt om acrotelmvorming te stimuleren. Een verbeterde koppeling tussen ecologie-micrometeorologie-hydrologie en veldexperimenten zijn hiervoor benodigd. In het najaar van 2021 heeft Staatsbosbeheer in het Bargerveen bultvormende veenmossen via fragmenten op perceelschaal geherintroduceerd (Figuur 89). Deze pilot biedt wellicht

aanknopingsmogelijkheden om te verkennen in hoeverre de ontwikkeling wordt beïnvloed door terrein heterogeniteit.



Figuur 89. Opschaling van de introductie van bultvormers op kaal veen in het Bargerveen in het najaar van 2021. Foto's: Chris van Roosmalen.

Figure 89. Scaling up the introduction of hummock-building peat mosses on bare peat in the Bargerveen bog in autumn 2021. Photos: Chris van Roosmalen.

Kwantificering van droogte-effecten op veenmos

Ondanks dat er behoorlijk wat onderzoek gedaan is aan veenmos in relatie tot droogte, blijkt het nog steeds erg lastig om de effecten van droogte in de praktijk te kwantificeren. Alhoewel grondwaterstand een beeld geeft van droogte, is dit niet een directe maat voor de hoeveelheid vocht in de toplaag van het veen. Deze laatstgenoemde is echter waar het bij veenmos om draait. Hierdoor is een directe koppeling tussen grondwaterstand en fysiologische effecten van vochttekorten op veenmosgroei niet te maken. Dit wordt nog eens extra bemoeilijkt doordat veen kan zwellen en krimpen. In de experimenten in dit onderzoek kan dit naar schatting oplopen tot zo'n 7 tot 13 cm verandering in veendikte. Zeker voor veenmossen, waarbij de waterstand gemiddeld liefst zo'n 20 cm onder maaiveld is, is een dergelijke verandering in veendikte van wezenlijk belang. Bij de 7 tot 13 cm krimp, kan dit het moment waarop droogtestress optreedt naar schatting ca. 13 – 18 dagen uitstellen. De bovenstaande schatting is gebaseerd op metingen van zwel-krimp capaciteit (elasticiteit) van een Canadees veen en een onverstoord Zweeds hoogveen. Hoe representatief deze metingen zijn voor een Nederlands veen is onbekend. Met metingen van maaiveldhoogte en grondwaterstanden is de zwel-krimp capaciteit van Nederlandse hoogvenen relatief eenvoudig te kwantificeren. Met deze kwantificering kan veel beter worden ingeschat welke gevolgen klimaatverandering en droogte hebben voor veenmosgroei, acrotelmvorming, en hoogveenontwikkeling.

Voor de bepaling van het vochtgehalte, en hoe dit verandert in een toekomstig klimaat, is een goede karakterisering van de veenondergrond benodigd. Deze eigenschappen bepalen hoeveel water er bij neerslag in de toplaag wordt vastgehouden, en hoe diep een grondwaterstand kan wegzakken om capillair nog water na te leveren om de moslaag voldoende vochtig te houden. Alhoewel er veel kostbare methoden zijn om dit te meten, wordt steeds vaker gewerkt met zogeheten pedotransfer functies. Met deze functies kunnen eigenschappen die van belang zijn voor waterstroming maar kostbaar zijn om te meten (zoals doorlatendheid, porositeit) worden afgeleid uit eenvoudiger te meten eigenschappen (zoals bulk dichtheid, von Post decompositie). Zulke functies bestaan al langer voor minerale bodems, maar ook voor venen. Door de specifieke omstandigheden, verveningscondities en landgebruikshistorie van hoogvenen in Nederland zijn deze transferfuncties niet direct toe te passen zonder een grote onzekerheidsmarge te accepteren. Door deze te vergelijken en/of aan te vullen met gegevens uit Nederlandse hoogvenen, zou zo kunnen worden bepaald in hoeverre deze functies generiek toepasbaar zijn. Indien dat het geval is,

kunnen hydrologische eigenschappen relatief eenvoudig in kaart gebracht worden. Daarmee kan de ontwikkeling van de hydrologische eigenschappen van een acrotelm worden gemonitord, alsook de potentie van zwartveen om deze te realiseren.

Vegetatiesuccessie en snelheid ontwikkeling acrotelmeigenschappen

Een acrotelm is in Nederland gedefinieerd door een minimale oppervlakte van 100 m² gekenmerkt door de Associatie van Gewone dophei en Veenmos (11Ba1), met een zuurstofhoudende en goed waterdoorlatende 'bodem' van levende veenmossen en nagenoeg onvergane dode veenmossen bovenop een catotelm die bestaat uit vergane veenmossen, met een waterbergingscoëfficiënt van 0,3-0,8 en een stabiele waterhuishouding die (in hoge mate) onafhankelijk is van de omgeving, waarbij de oppervlakkige waterafvoer wordt gereguleerd (vasthouden bij droogte, lozen bij natte omstandigheden) en het oppervlak krimpt en zwelt met 2-5 cm (Jansen e.a., 2013). De experimenten hebben aangetoond dat in twee jaar een aaneengesloten veenmostapijt is te ontwikkelen op zwartveen. Een veenmostapijt van 1 m² is nog iets anders dan een acrotelm. Hoewel de ontwikkeling in veenmosgroei en vestiging van planten in de goede richting gaat, weten we niet of en hoe snel deze ontwikkelingen zich zullen doorzetten en of de mossen in toenemende mate onafhankelijk gaan worden van de wateraanvoer. De beperkte schaal van de experimenten blijft een belemmering om te testen of en hoe snel hydrologische zelfregulatie, de kernfunctie van een acrotelm, zich herstelt. Doorgang van de monitoring van de experimenten zal wel laten zien of de bedekking van hogere planten een mogelijke rem kan gaan vormen op de veenmosgroei of juist bultvorming kan stimuleren door ondersteuning te bieden aan de veenmossen. Met name de vestiging en uitbreiding van berken is een punt van zorgen wanneer hydrologische condities suboptimaal worden. Opschalen van herintroductie-experimenten naar perceelschaal, zoals in het najaar van 2021 in het Bargerveen in Meerstalblok Midden door Staatsbosbeheer, biedt wellicht de mogelijkheid om te verkennen hoe herintroductie in de praktijk verder vorm te geven.

9. Literatuur

- Aggenbach, C.J.S., D.G. Cirkel, C. Cusell, G. van Dijk & A.M. Kooijman (2020) Onderzoek naar bevoeiing als beheermaatregel voor behoud en herstel van basenrijke trilvenen. Rapport nummer 2020/OBN241-LZ, VBNE, Driebergen.
- Allen, R.G., D. Raes, L.S. Pereira & M. Smith (1998) *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*. FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Asmuth, J.R. von (2017) *Hydrologische situatie en selectie onderzoekslocaties, maatregelen ter versnelling van de acrotelmontwikkeling*; KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein.
- Beckwith, C.W., A.J. Baird & A.L. Heathwaite (2003) Anisotropy and depth-related heterogeneity of hydraulic conductivity in a bog peat. I: laboratory measurements. *Hydrological Processes* **17**: 89-101.
- Bengtsson, F., Rydin, H., Baltzer, J.L., et al. (2021) Environmental drivers of *Sphagnum* growth in peatlands across the Holarctic region. *Journal of Ecology* **109**: 417– 431.
<https://doi.org/10.1111/1365-2745.13499>
- Bijlsma, R.J., A.J.M. Jansen, J. Limpens, M.F. Wallis de Vries & J.P.M. Witte (2011) *Hoogveen en klimaatverandering in Nederland*. Alterra-rapport 2225, Alterra, Wageningen.
- Boxman, A.W., C.J.H. Peters & J.G.M. Roelofs (2008) Long term changes in atmospheric N and S throughfall deposition and effects on soil solution chemistry in a Scots pine forest in the Netherlands. *Environmental Pollution* **156**: 1252-1259.
- Bruin, H. de & W. Lablans (1998) Reference crop evapotranspiration determined with a modified Makkink equation. *Hydrological Processes* **12**: 1053-1062.
- Campeau, S. & L. Rochefort (1996) *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* **33**: 559-608.
- Christensen, T.R. & T. Friborg (eds.) (2004) EU Peatlands: Current carbon stocks and trace gas fluxes. Carbo-Europe. Report CarboEurope Cluster.
- Daniels, R.E. & A. Eddy (1990) Handbook of European Sphagna. HMSO, London.
- Dekker, L.W., M.H. Bannink & A.H. Booij (1986) *Bodemkundig en bodemfysisch onderzoek naar de invloed van grondwaterstandsverlaging op wegzijging van water uit vennen nabij Sellingeren*, Wageningen. STIBOKA.
- Dienst Landelijk Gebied & Staatsbosbeheer (2017) *Natura 2000-ontwerpbeheerplan Grootere Peel, Deurnsche Peel & Mariapeel (139 en 140)*. 262 pp.
- Dobben, H.F. van, R. Bobbink, D. Bal & A. van Hinsberg (2012) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en leefgebieden van Natura 2000. Alterra-rapport 2397, Alterra, Wageningen.
- Gaudig, G., M. Krebs & H. Joosten (2017) *Sphagnum* farming on cut-over bog in NW Germany: long-term studies on *Sphagnum* growth. *Mires and Peat* **20**, pp. 1-19.
- Gaudig, G., M. Krebs, A. Prager, S. Wichmann, M. Barney, S.J.M. Caporn, M. Emmel, C. Fritz, M. Graf, A. Grobe, S. Gutierrez Pacheco, S. Hogue-Hugron, S. Holzträger, S. Irrgang, A. Kämäräinen, E. Karofeld, G. Koch, J.F. Koebbing, S. Kumar, I. Matchutadze, C. Oberpaur, J. Oestmann, P. Raabe, D. Rammes, L. Rochefort, G. Schmilewski, J. Sendžkaitė, A. Smolders, B. St-Hilaire, B. van de Riet, B. Wright, N. Wright, L. Zoch & H. Joosten (2018) *Sphagnum* farming from species selection to the production of growing media: a review. *Mires and Peat* **20**: article 13, 1-30.
- Groessen, S. van (2020) Comparison of abiotic stress amelioration by nurse plant *Eriophorum vaginatum* and straw mulch to support *Sphagnum* reintroduction Year 2. MSc. thesis. Wageningen University & Research.
- Gunnarsson U. & L. Söderström (2007) Can artificial introductions of diaspore fragments work as a conservation tool for maintaining populations of the rare peat moss *Sphagnum angermanicum*? *Biological Conservation* **135**: 450.

- Hassel, K., M.O. Kyrkjeeide, N. Yousefi, T. Prestø, H.K. Stengøien, A.J. Shaw & K.I. Flatberg (2018) *Sphagnum divinum* (sp. nov.) and *S. medium* Limpr. And their relationship to *S. magellanicum* Brid. *Journal of Bryology* **40** (3): 197-222.
- Hurk, B. van den, A. Klein Tank, G. Lenderink, A. van Ulden, G.J. van Oldenborgh, C. Katsman, H. van den Brink, F. Keller, J. Bessembinder, G. Burgers, G. Komen, W. Hazeleger & S. Drijfhout (2006) KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01, De Bilt.
- Hyndman, R.J. & Y. Khandakar (2007) *Automatic time series for forecasting: the forecast package for R*. Monash University, Department of Econometrics and Business Statistics.
- Jansen, A.J.M., R. Ketelaar, J. Limpens, M.G.C. Schouten & L. van Tweel-Groot (2013) *Kartering van de habitattypen: actief en Herstellend hoogveen in Nederland*. Driebergen. Bosschap rapport 2013/OBN182-NZ.
- Järveoja, J., M. Peichl, M. Maddison, K. Soosaar, K. Vellak, E. Karofeld, A. Teemusk & Ülo Mander (2016) Impact of water table level on annual carbon and greenhouse gas balances of a restored peat extraction area. *Biogeosciences* **13**: 2637–2651.
- Joosten, J.H.J. (1995) Time to regenerate: long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. In: Wheeler, B.D., S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson (eds.) *Restoration of Temperate Wetlands*, pp. 379-404. J. Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Karofeld, E., M. Müür & K. Vellak (2017) Factors affecting re-vegetation dynamics of experimentally restored extracted peatland in Estonia. *Environmental Science and Pollution Research*, DOI 10.1007/s11356-015-5396-4.
- KNMI (2015) KNMI '14 Klimaatscenario's voor Nederland, De Bilt.
- Koks, A.H.W., G. van Dijk, A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & C. Fritz (2019) The effects of alkalinity and cations on the vitality of *Sphagnum palustre* L. *Mires and Peat* **24**: 1–14.
- Li, Y. & D.H. Vitt (1994) The dynamics of moss establishment: Temporal responses to nutrient gradients. *Bryologist* **97**: 357-364.
- Limpens, J., F. Berendse & H. Klees (2003) N deposition affects N availability in interstitial water, growth of *Sphagnum* and invasion of vascular plants in bog vegetation. *New Phytologist* **157**: 339-347.
- Limpens, J., H.B.M. Tomassen & F. Berendse (2003) Expansion of *Sphagnum fallax* in bogs: striking the balance between N and P availability. *Journal of Bryology* **25**: 83-90.
- Limpens, J., Raymakers, J.T.A.G., Baar, J., Berendse, F. & Zijlstra, J.D. (2003) The interaction between epiphytic algae, a parasitic fungus and *Sphagnum* as affected by N and P. *Oikos* **103**: 59-68. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2003.12580.x>.
- Limpens, J., Berendse, F. & Klees, H. (2004) How Phosphorus Availability Affects the Impact of Nitrogen Deposition on *Sphagnum* and Vascular Plants in Bogs. *Ecosystems* **7**: 793–804. <https://doi.org/10.1007/s10021-004-0274-9>
- Limpens, J. & M.M.P.D. Heijmans (2008) Swift recovery of *Sphagnum* nutrient concentrations after excess supply. *Oecologia* **157**: 153-161.
- Limpens, J., Holmgren, M., Jacobs, C.M.J., Van der Zee, S.E.A.T.M., Karofeld, E. & Berendse, F. (2014) How Does Tree Density Affect Water Loss of Peatlands? A Mesocosm Experiment. *PLoS ONE* **9**: e91748.
- Malmer, N. & B. Wallen (1999) The dynamics of peat accumulation on bogs: mass balance of hummocks and hollows and its variation throughout a millennium. *Ecography* **22**: 736-750.
- McCarter, C.P.R. & Price, J.S. (2014) Ecohydrology of *Sphagnum* moss hummocks: mechanisms of capitula water supply and simulated effects of evaporation. *Ecohydrology* **7**: 33-44.
- Ministerie van LNV (2006) *Natura 2000 doelendocument*. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- Nijp, J.J., Limpens, J., Metselaar, K., van der Zee, S., Berendse, F. & Robroek, B.J.M. (2014) Can frequent precipitation moderate the impact of drought on peatmoss carbon uptake in northern peatlands? *New Phytologist* **203**: 70-80.

- Nijp, J.J., K. Metselaar, J. Limpens, C. Teutschbein, M. Peichl, M.B. Nilsson, F. Berendse & S.E.A.T.M. van der Zee (2017) Including hydrological self-regulating processes in peatland models: effects on peatmoss drought projections. *Science of The Total Environment* **580**: 1389–1400.
- Oosting, M. (2012) *Kansen voor herstel in laagte rond Schaaphokswijk. Adviesrapport*. Rapport Vereniging Natuurmonumenten, Assen.
- Price, J., L. Rochefort & F. Quinty (1998) Energy and moisture considerations on cutover peatlands: surface microtopography, mulch cover and *Sphagnum* regeneration. *Ecological Engineering* **10**: 293–312.
- Rademaker, M. (2019). Sheltering by straw mulch and cottongrass can increase soil moisture in degraded peat bogs during drought. MSc. thesis. Wageningen University & Research.
- Riet, B. van de, E. van den Elzen, N. Hogeweg, A.J.P. Smolders & L.P.M. Lamers (2017) Herstel van veenvormende natuur op landbouwgrond. *Bodem* **2**: 32-34.
- Rinne J., Tuovinen J.-P., Klemetsson L., Aurela M., Holst J., Lohila A., Weslien P., Vestin P., Łakomiec P., Peichl M., Tuittila E.-S., Heiskanen L., Laurila T., Li X., Alekseychik P., Mammarella I., Ström L., Crill P. & Nilsson M. B. (2020) Effect of the 2018 European drought on methane and carbon dioxide exchange of northern mire ecosystems. *Phil. Trans. R. Soc.* B3752019051720190517.
- Robroek B.J.M., J. van Ruijven, M.G.C. Schouten, A. Breeuwer, P.H. Crushell, F. Berendse & J. Limpens (2009) *Sphagnum* re-introduction in degraded peatlands: the effects of aggregation, species and water table. *Basic and Applied Ecology* **10** (8): 697-706.
- Rochefort, L., F. Quinty, S. Campeau, K. Johnson & T. Malterer (2003) North American approach to the restoration of *Sphagnum* dominated peatlands. *Wetlands Ecology and Management* **11**: 3-20.
- Schlotzhauer, S.M. & J.S. Price (1999) Soil water flow dynamics in a managed cutover peat field, Quebec: Field and laboratory investigations. *Water Resources Research*, 35, 3675-3683.
- Sliva, J. & J. Pfadenhauer (1999) Restoration of cut-over raised bogs in southern Germany – a comparison of methods. *Applied Vegetation Science* **2**:137-148.
- Smolders, A.J.P., B.P. van de Riet, J.M.H. van Diggelen, G. van Dijk, J.J.M. Geurts & L.P.M. Lamers (2019) De toekomst van onze veenweidegebieden over vernatten optoppen en veenmosteelt. *Landschap* **36**: 133-141.
- Strack, M. & J.S. Price (2009) Moisture controls on carbon dioxide dynamics of peat-*Sphagnum* monoliths. *Ecohydrology* **2**: 34-41.
- Streefkerk, J.G. & W.A. Casparie (1986) *De hydrologie van hoogveensystemen - Uitgangspunten voor beheer*. Staatsbosbeheer, Utrecht.
- Sundberg, S. & H. Rydin (2002) Habitat requirements for establishment of *Sphagnum* from spores. *Journal of Ecology* 90: 268-278.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, G.J. van Duinen, S. van der Schaaf, J.G.M. Roelofs, F. Berendse, H. Esselink & G. van Wirdum (2003) *Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 1998-2001*. Rapport nr. 2003/139, Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Ede/Wageningen, 186 pp.
- Tomassen, H., F. Smolders, J. Limpens, S. van der Schaaf, G. van Duinen, G. van Wirdum, H. Esselink & J. Roelofs (2011) *Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 2e fase OBN Hoogvenen 2004 - 2006*. Rapportnr. 2011/OBN151-NZ, Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie, Den Haag.
- Tomassen, H. & F. Smolders (2013) Potentie voor drijftilvorming laagte Schaaphokswijk (Fochteloërveen). Rapport 2013.09, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Tomassen, H., J. Limpens, J. von Asmuth, G. van Duinen & F. Smolders (2018) OBN-2017-87-NZ Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling, tussentijdse rapportage 2018. Rapportnummer: RP-17.052.18.55, Onderzoekcentrum B-WARE, Wageningen University & Research, KWR en Stichting Bargerveen.

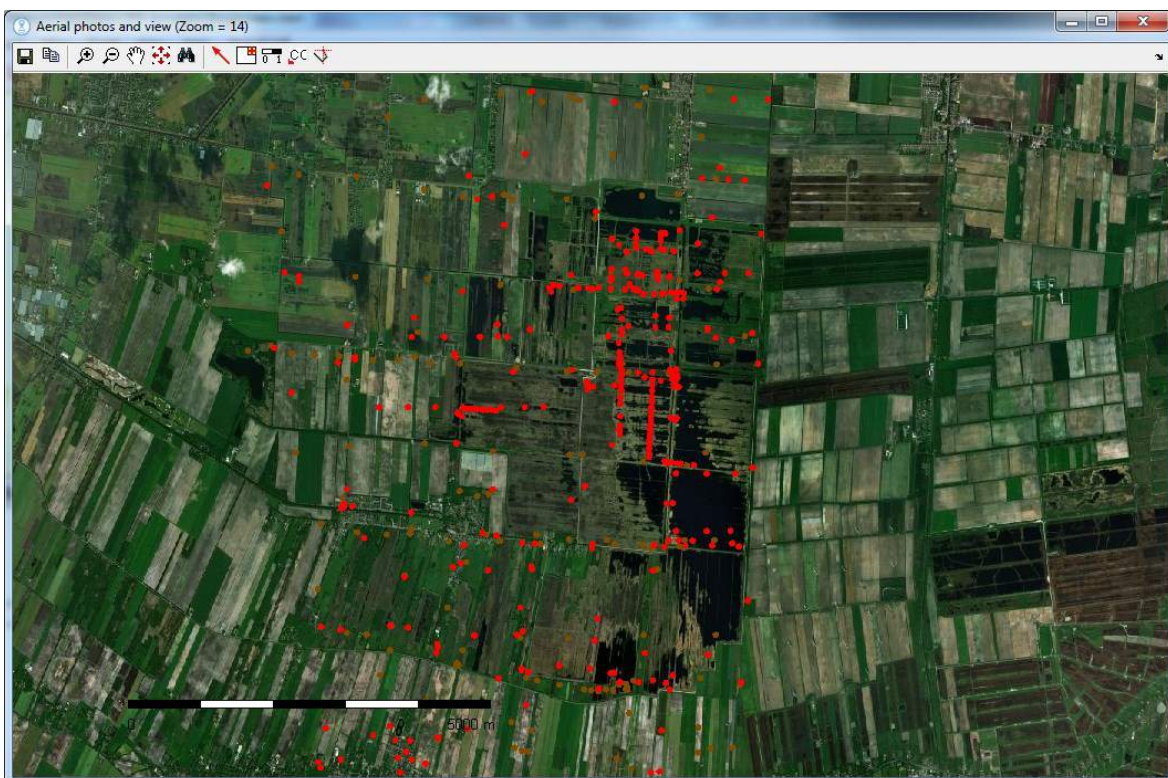
- Tomassen, H., J. Limpens, J. von Asmuth, G. van Duinen & F. Smolders (2019) Stimuleren van acrotelmvorming in Noord-Brabantse hoogveenrestanten, tussentijds voortgangsverslag 2018. Rapportnummer: RP-17.030.19.17, Onderzoekcentrum B-WARE, Wageningen University & Research, KWR en Stichting Bargerveen.
- Tomassen, H. & F. Smolders (2020) Onderzoek naar de (grond)waterkwaliteit in het Bargerveen, 2e versie conceptrapportage. Rapport RP-18.087.20.100, Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Tuittila, E-S., H. Vasander & J. Laine (2004) Sensitivity of C sequestration in reintroduced *Sphagnum* to water-level variation in a cutaway peatland. *Restoration Ecology* **12**: 483–493.
- Wheeler, B.D. & S.C. Shaw (1995) *Restoration of damaged peatlands with particular reference to lowland raised bogs affected by peat extraction*. London: HMSO.
- Zielman, H.R. (2020) Hoogveenveenmos in Nederland is *Sphagnum divinum* Hassel & Flatberg. *Buxbaumiella* **119**: 27-34.

10. Bijlagen

Bijlage 1. Hydrologische situatie locaties plas-dras experiment Bargerveen, Haaksbergerveen en Deurnsche Peel.

Gegevens Bargerveen

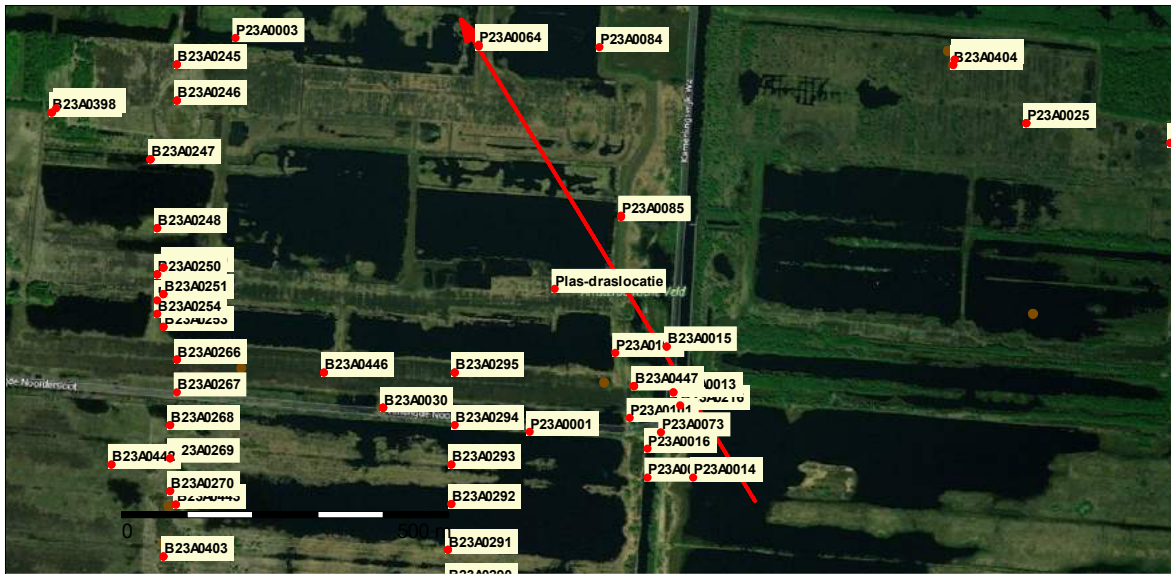
Overzicht



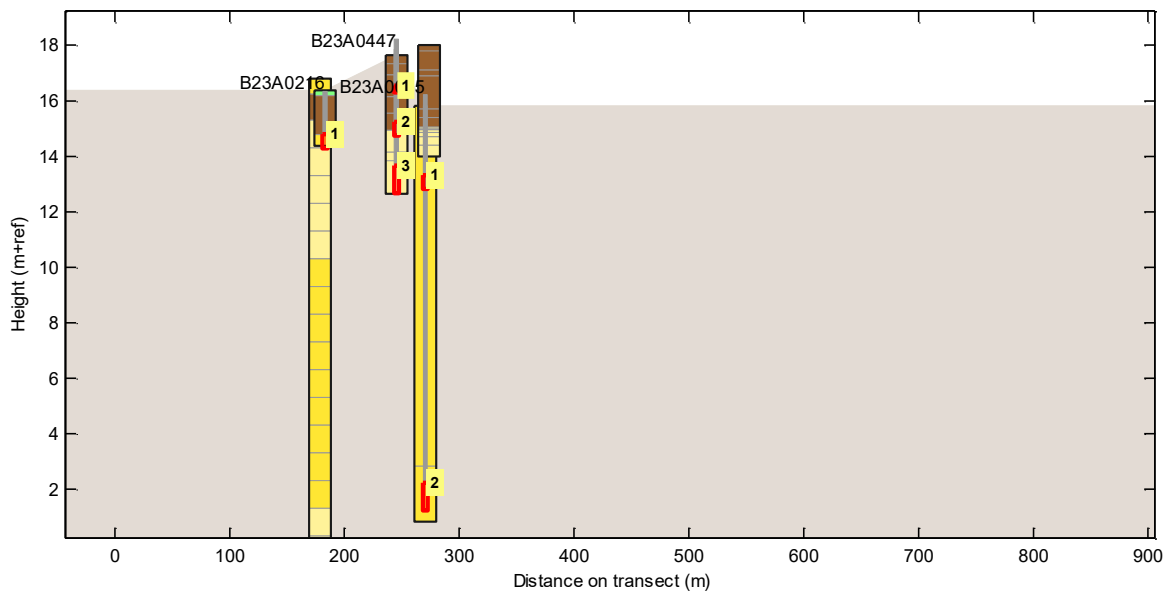
Figuur 1. Luchtfoto van het Bargerveen met overzicht van beschikbare peilschaal- en/of peilbuislocaties (rood) en boorbeschrijvingen (bruin).

Locatie plas-dras experiment

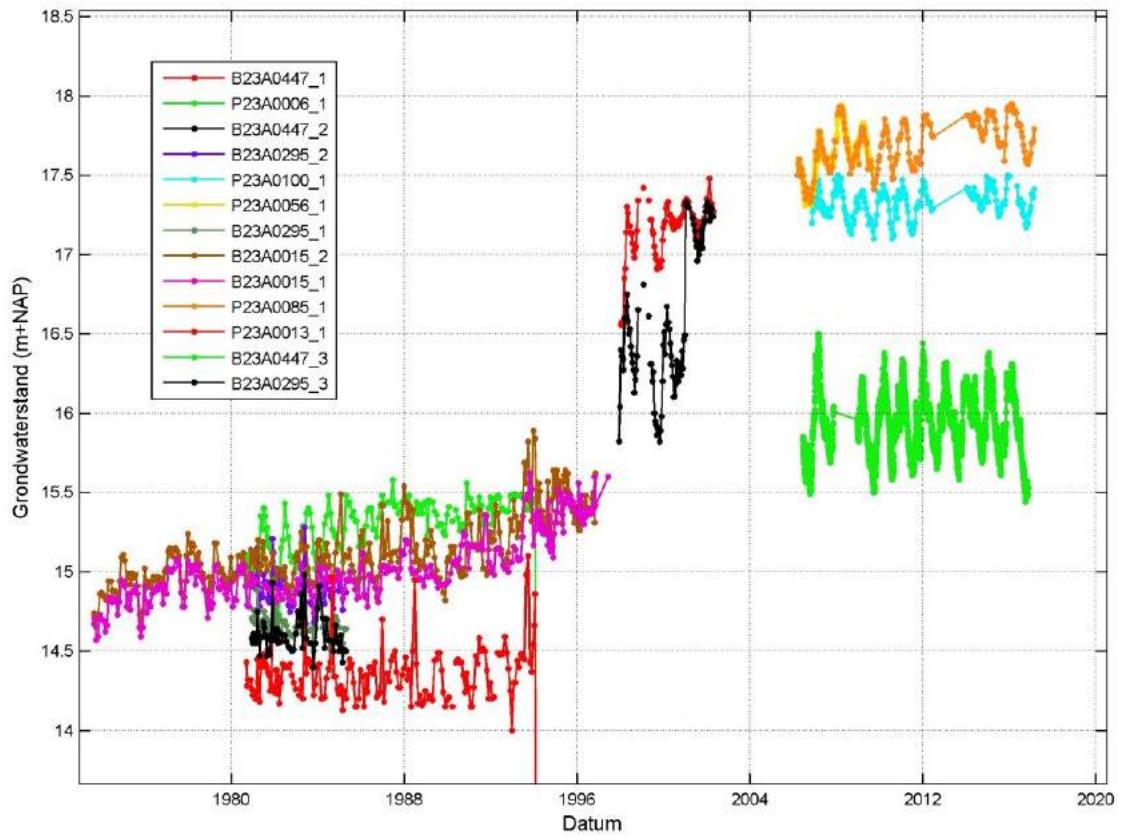
X-coördinaat = 266778, Y-coördinaat = 523508



Figuur 2. Luchtfoto met overzicht van beschikbare peilschaal- en/of peilbuislocaties (rood) en boorbeschrijvingen (bruin), en transect over de beoogde van de locatie van het plas-dras experiment.



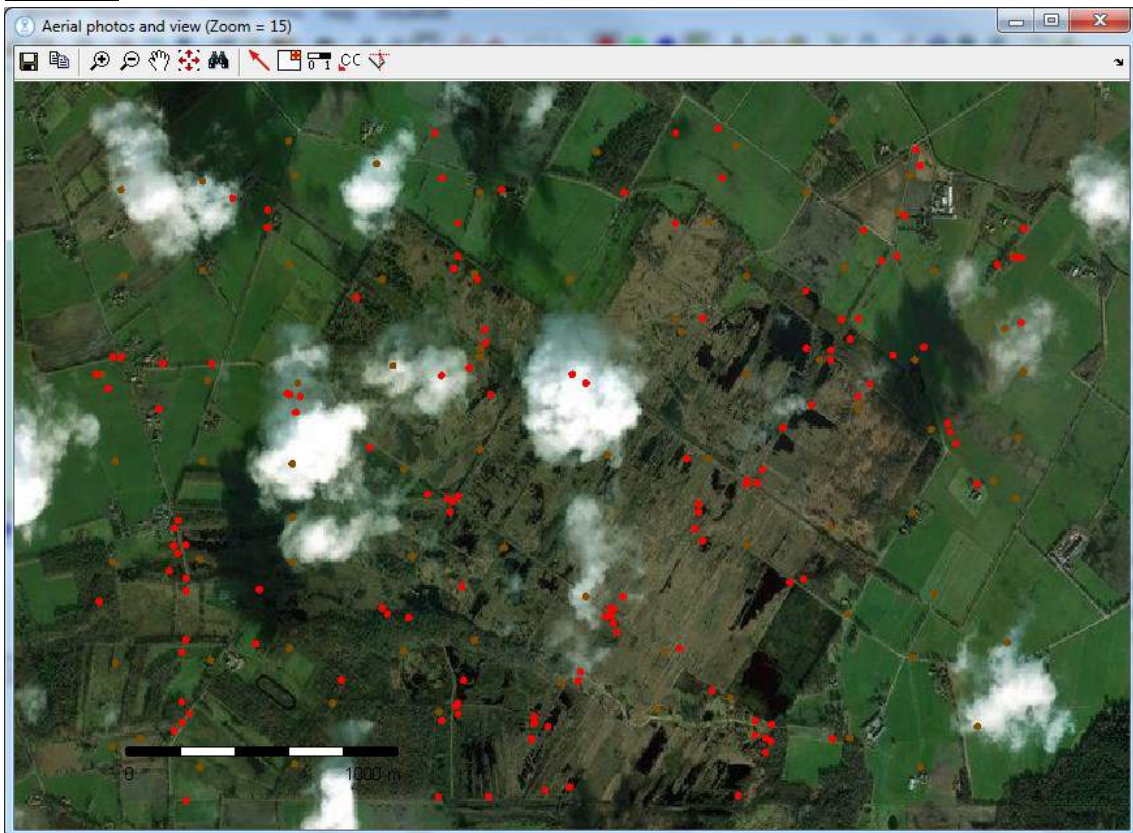
Figuur 3. Dwarsdoorsneden langs het transect uit de luchtfoto over de beoogde locatie van het plas-dras experiment, met ligging van de peilbuisfilters en boorbeschrijvingen.



Figuur 4. Beschikbare (grond)waterstandsreeksen in de buurt van de beoogde locatie van het plas-dras experiment.

Gegevens Haaksbergerveen

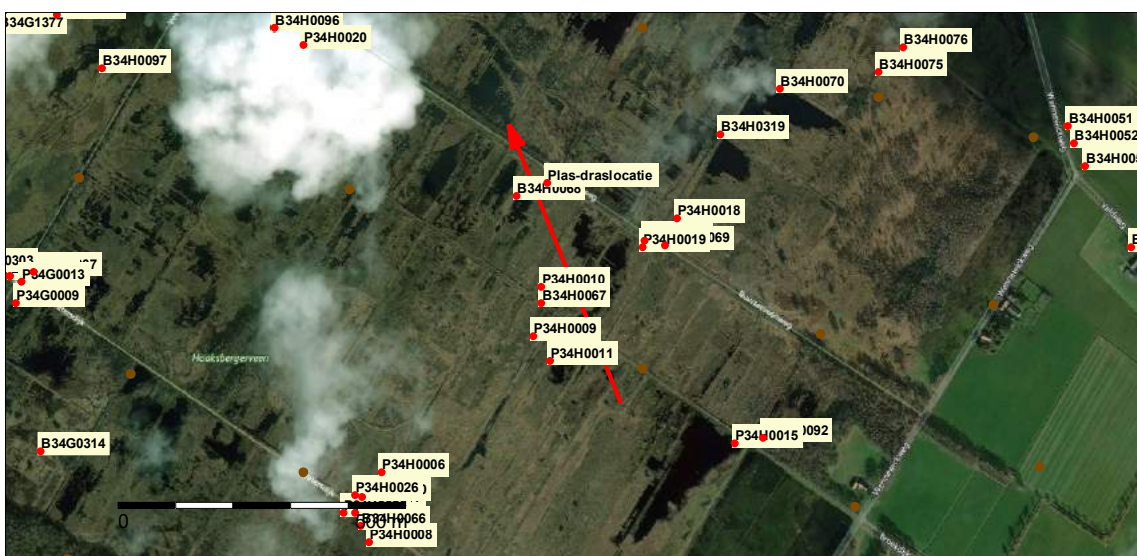
Overzicht



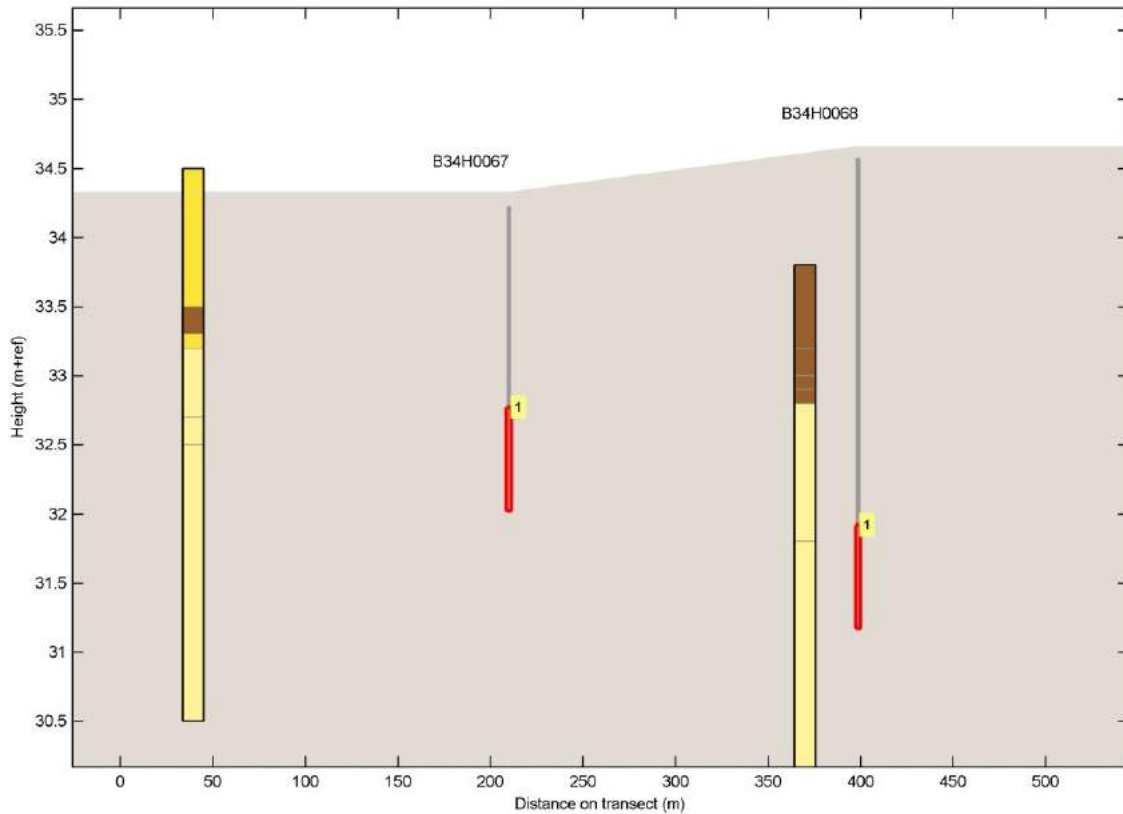
Figuur 5. Luchtfoto van het Haaksbergerveen met overzicht van beschikbare peilschaal- en/of peilbuislocaties (rood) en boorbeschrijvingen (bruin).

Locatie plas-dras experiment

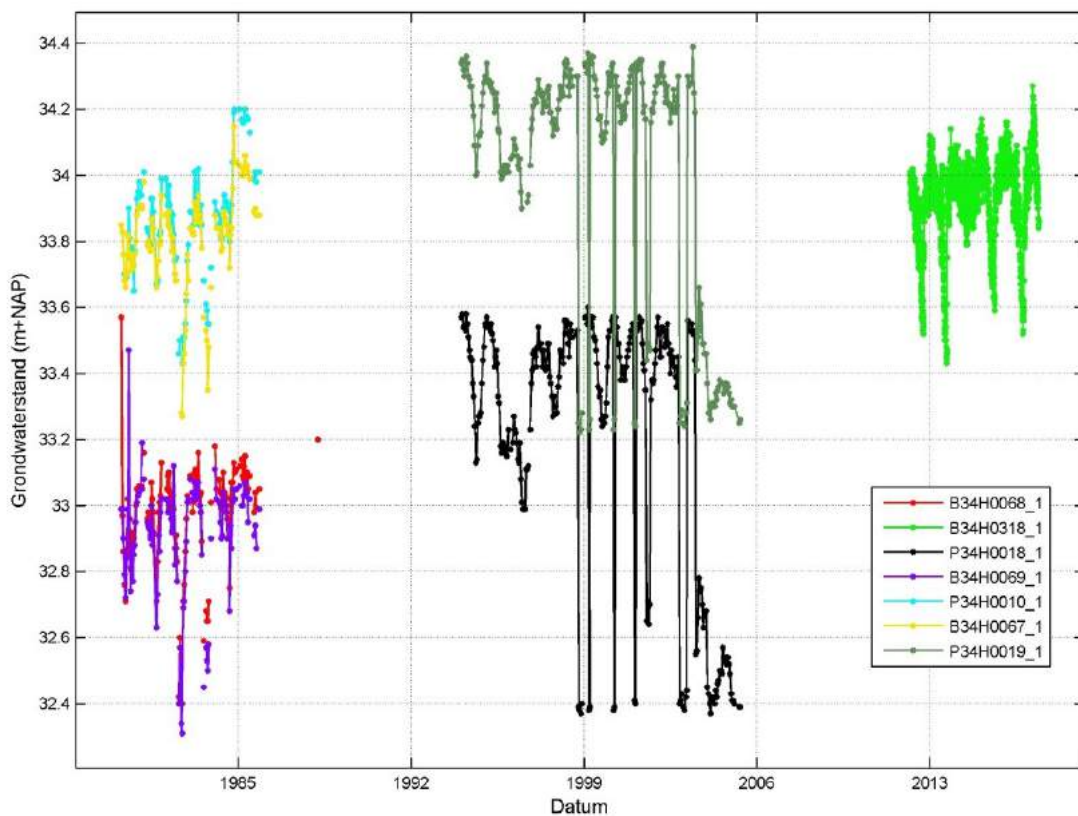
X-coördinaat = 250824, Y-coördinaat = 461051



Figuur 6. Luchtfoto met overzicht van beschikbare peilschaal- en/of peilbuislocaties (rood) en boorbeschrijvingen (bruin), en transect over de beoogde van de locatie van het plas-dras experiment.



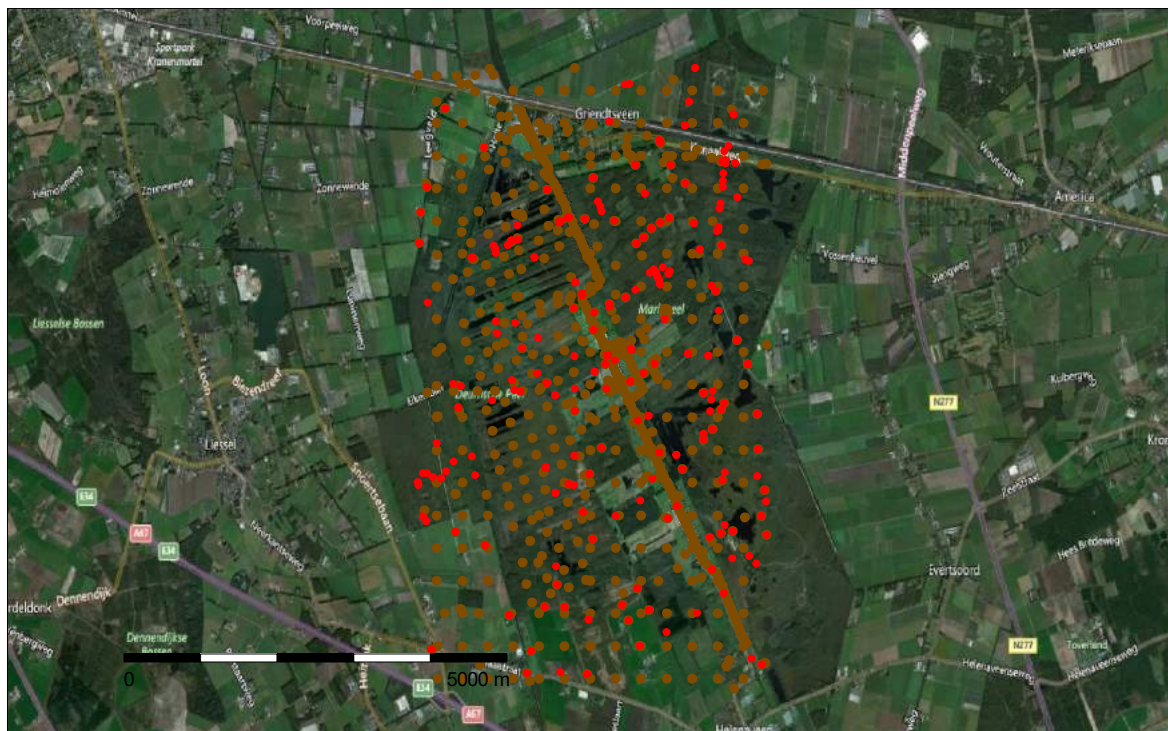
Figuur 7. Dwarsdoorsneden langs het transect uit de luchtfoto over de beoogde locatie van het plas-dras experiment, met ligging van de peilbuisfilters en boorbeschrijvingen.



Figuur 8. Beschikbare (grond)waterstandsreeksen in de buurt van de beoogde locatie van het plas-dras experiment.

Gegevens Deurnsche Peel

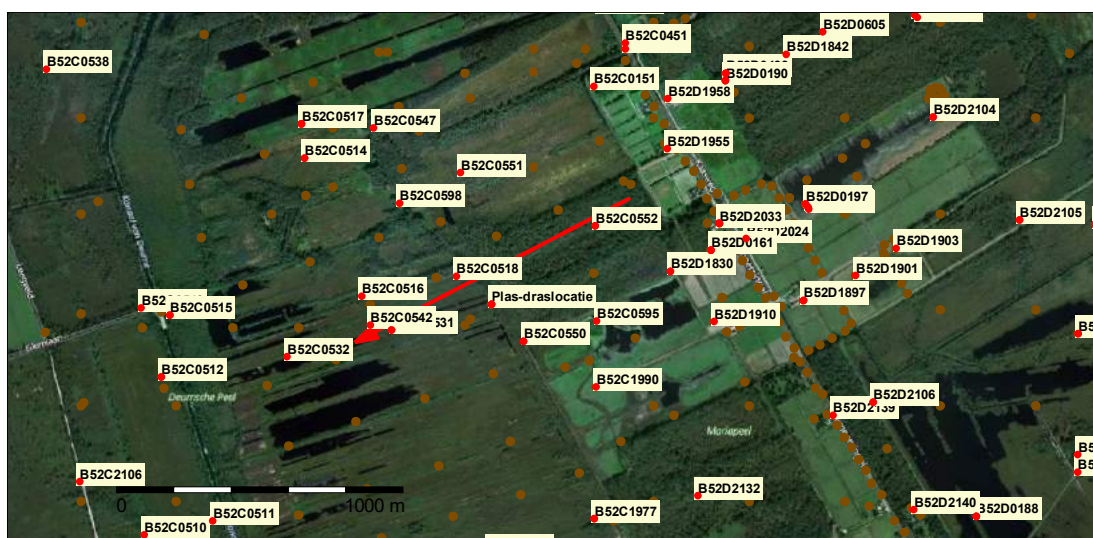
Overzicht



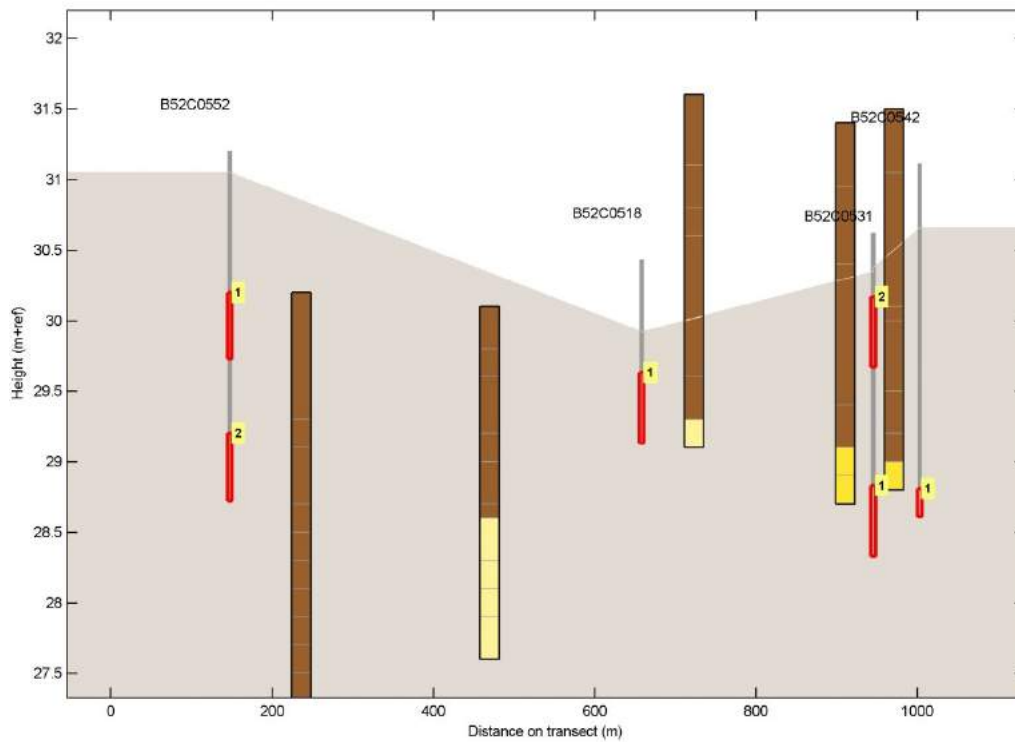
Figuur 9. Luchtfoto van de Deurnsche Peel met overzicht van beschikbare peilschaal- en/of peilbuislocaties (rood) en boorbeschrijvingen (bruin).

Locatie plas-dras experiment

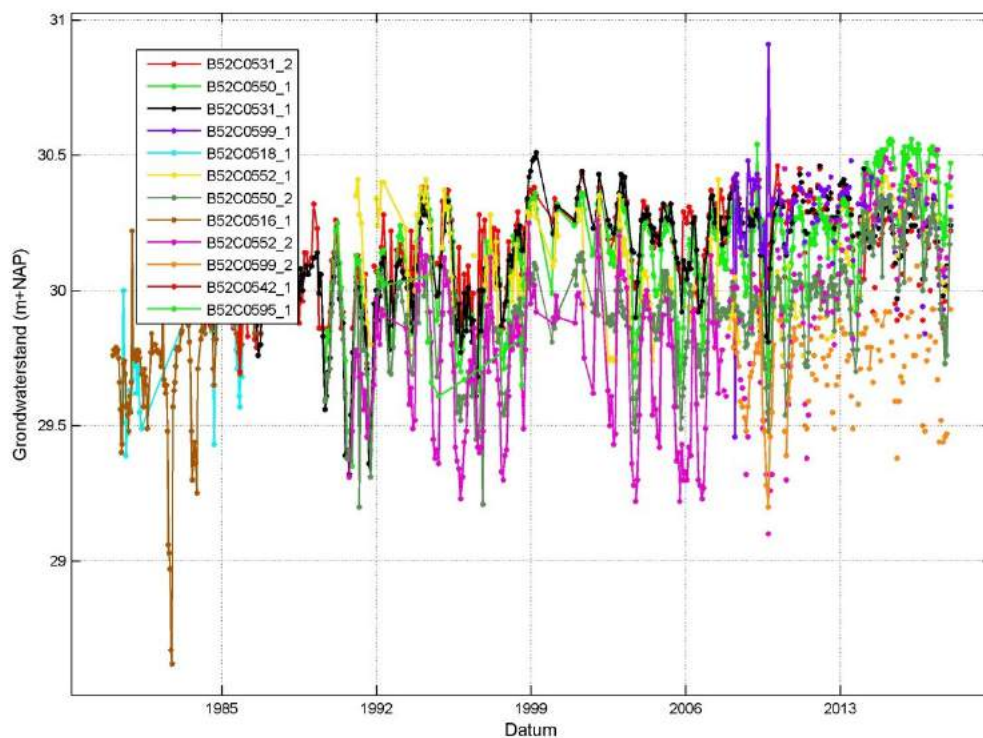
X-coördinaat = 189433, Y-coördinaat = 381352



Figuur 10. Luchtfoto met overzicht van beschikbare peilschaal- en/of peilbuislocaties (rood) en boorbeschrijvingen (bruin), en transect over de beoogde van de locatie van het plas-dras experiment.



Figuur 11. Dwarsdoorsneden langs het transect uit de luchtfoto over de beoogde locatie van het plas-dras experiment, met ligging van de peilbuisfilters en boorbeschrijvingen.



Figuur 12. Beschikbare (grond)waterstandsreeksen in de buurt van de beoogde locatie van het plas-dras experiment.

Bijlage 2. Peilbuisgegevens van de plas-dras experimenten op zwartveen, waarbij DP = Deurnsche Peel, HBV = Haaksbergerveen en BV = Bargerveen.

Name	StartDateTime	XCoordinate	YCoordinate	SurfaceLevel	WellTopLevel	FilterTopLevel	FilterBottomLevel	WellBottomLevel	LoggerSerial	LoggerDepth	LoggerBrand	LoggerType
[String]	[ExcelDate]	[m]	[m]	[m+ref]	[m+ref]	[m+ref]	[m+ref]	[m+ref]	[String]	[m]	[categorical]	[categorical]
HBV1	11-4-2018 0:00	250825	461045	33.92	34.5	34.03	33.03	33.03	6117	0.65	Xaxis	Absolute
HBV1	11-4-2018 0:00	250825	461045	33.92	34.5	34.03	33.03	33.03	8163	1.36	Xaxis	Absolute
HBV1	11-4-2018 0:00	250825	461045	33.92	34.46	31.53	31.03	31.03	4354	0.9	Xaxis	Absolute
HBV1	11-4-2018 0:00	250825	461045	33.92	34.46	31.53	31.03	31.03	12848	3.24	Xaxis	Absolute
HBV2	11-4-2018 0:00	250894	461008	34.3	34.84	34.49	33.49	33.49	1952	0.89	Xaxis	Absolute
HBV2	11-4-2018 0:00	250894	461008	34.3	34.84	34.49	33.49	33.49	12763	1.33	Xaxis	Absolute
BV1	13-4-2018 0:00	266750	523529	17.9	18.42	17.88	16.88	16.88	9621	0.97	Xaxis	Absolute
BV1	13-4-2018 0:00	266750	523529	17.9	18.42	17.88	16.88	16.88	13083	1.45	Xaxis	Absolute
BV1	13-4-2018 0:00	266750	523529	17.9	18.38	14.66	14.16	14.16	6045	0.94	Xaxis	Absolute
BV1	13-4-2018 0:00	266750	523529	17.9	18.38	14.66	14.16	14.16	7540	4.17	Xaxis	Absolute
BV2	13-4-2018 0:00	266827	523509	17.75	18.34	17.74	16.74	16.74	9690	0.71	Xaxis	Absolute
BV2	13-4-2018 0:00	266827	523509	17.75	18.34	17.74	16.74	16.74	9659	1.51	Xaxis	Absolute

Bijlage 3. Chemische analyses

Van de verzamelde oppervlaktewater en bodemvochtmonsters werden de volgende variabelen bepaald:

- pH, alkaliniteit (zuurbufferend vermogen);
- totaal opgelost anorganisch koolstof (TIC);
- elektrisch geleidend vermogen (EGV)
- kleuring bij 450 nm
- ion- en elementconcentraties (P, S, Ca, Mg, Al, Fe, NH₄⁺, NO₃⁻, Na⁺, K⁺, Cl⁻ en PO₄³⁻).

Van het geïntroduceerde veenmos werd van het capitulum (0-1 cm) en de top van de stengel (1-3 cm) de volgende variabelen bepaald:

- vochtpercentage;
- totaal-N en totaal-C;
- totaal-P, totaal-S, totaal-Fe, totaal-Ca, totaal-Mg, totaal-Mn, totaal-Zn, totaal-Al (na ontsluiting met salpeterzuur en waterstofperoxide).

Vochtpercentage

Het vochtpercentage van het verse veenmosmateriaal werd via het vochtverlies bepaald. Dit gebeurde door het materiaal te wegen voor en na drogen gedurende 48 uur bij 60°C.

C/N-analyse veenmosmateriaal

Voor de analyse van de totale hoeveelheid koolstof en stikstof werd het gedroogde plantmateriaal fijngemalen in een kogelmaler. Van het gemalen materiaal werd ca. 3 mg nauwkeurig in een tinnen container afgewogen, waarna het met een CNS-elementenalyzer (EA NA 1500 en EA100 van Carlo Erba-Thermo Fisher Scientific) werd geanalyseerd.

Destructie

Door het plantmateriaal te destrukeren (ontsluiten) is het mogelijk de totale concentratie van bepaalde elementen/nutriënten te bepalen. Hiervoor werd 200 mg fijngemalen gedroogde bodem afgewogen in teflon destructievaatjes. Aan het materiaal werd 4 ml geconcentreerd salpeterzuur (HNO₃, 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H₂O₂, 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruueerd in gesloten teflon vaatjes en na afkoelen werden het destruaat nauwkeurig overgebracht en aangevuld tot 100 ml met milli Q-water. De monsters werden in polyethyleenpotjes bij 4 °C bewaard voor verdere analyse. Concentraties van elementen werden berekend in µmol per gram droog plantmateriaal.

Oppervlaktewater en bodemvocht

De pH van het water werd gemeten met een standaard Ag/AgCl₂ elektrode verbonden met een radiometer (Copenhagen, type TIM840). De hoeveelheid opgelost anorganisch koolstof (CO₂ en HCO₃⁻) werd bepaald met behulp van infrarood gasanalyse (ABB Advance Optima IRGA). De alkaliniteit werd bepaald door een deel van het monster te titreren met verdund zoutzuur tot pH 4,2. De toegevoegde hoeveelheid equivalenten zuur per liter is hierbij de alkaliniteit. De EGV werd bepaald met een HACH EGV-probe verbonden met een HQD-meter. De turbiditeit van de

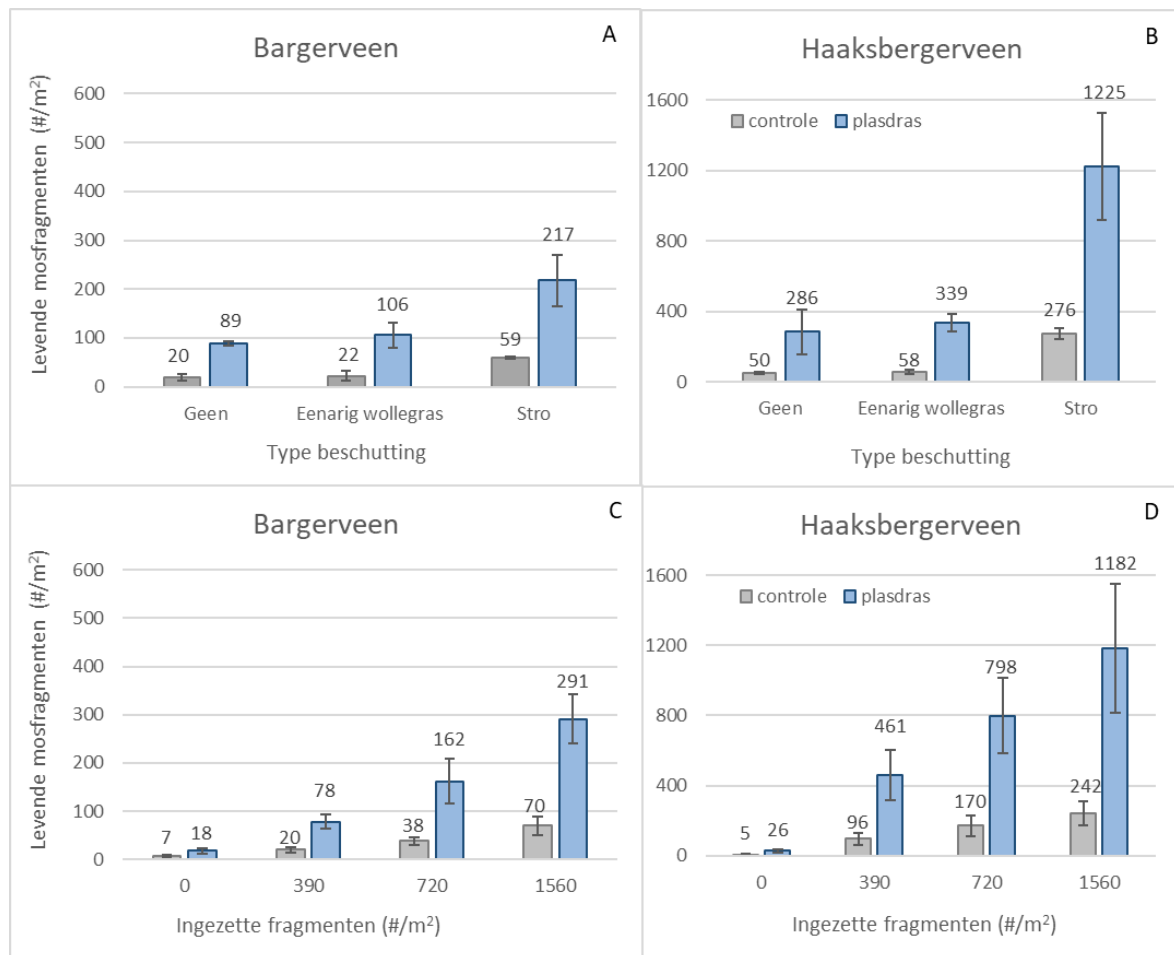
oppervlaktewatermonsters werd bepaald met een Dentan Turbidimeter (model FN-5). De monsters voor de Autoanalyser werden bewaard bij een temperatuur van $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ tot aan de elementenanalyse. De monsters voor de ICP werden aangezuurd voor analyse. De metingen van de ionen- en elementconcentraties zijn beschreven in paragraaf 'elementenanalyse'.

Elementenanalyse (ICP en Auto-analysers)

De concentraties calcium (Ca), magnesium (Mg), aluminium (Al), ijzer (Fe), mangaan (Mn), fosfor (P), zwavel (S; als maat voor sulfaat), silicium (Si) en zink (Zn) in oppervlaktewater, bodemvocht en bodemextracten werden bepaald met behulp van een Inductively Coupled Plasma Spectrofotometer (ICP; Thermo Electron Corporation, ICP-OES iCAP 6000). De concentraties nitraat (NO_3^-) en ammonium (NH_4^+) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van respectievelijk salicylaatreagens en hydrazinesulfaat.

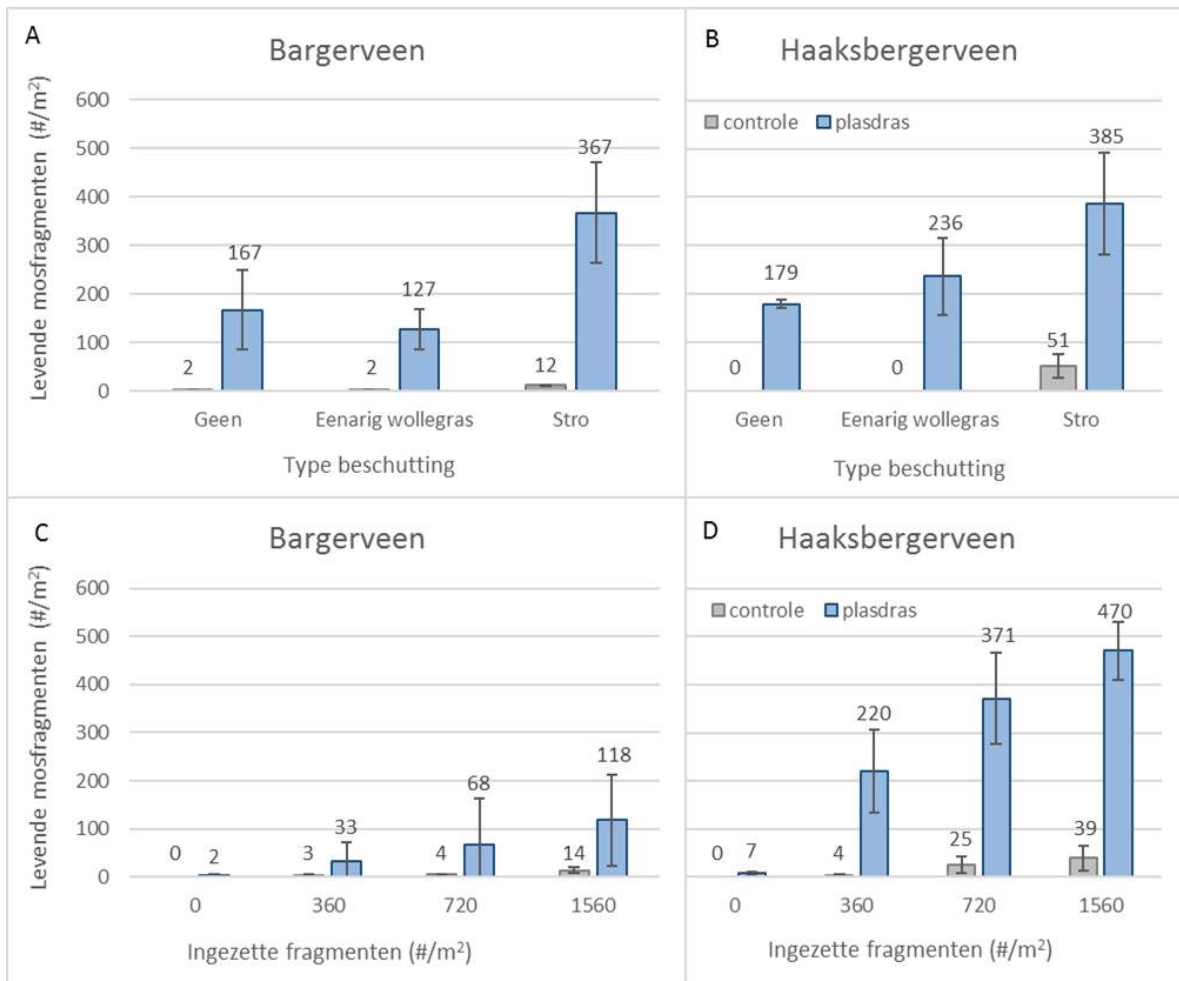
Bijlage 4. Vergelijking initiële veenmosoverleving plas-dras experiment tussen 2018 en 2019

In oktober 2019 is het aantal overlevende veenmossen in de verschillende herintroductieplots geteld (Figuur 1 en Figuur 3). De overleving over 2019 was ongeveer 5x groter dan de overleving over 2018 (Figuur 2 en Figuur 4): zelfs zonder aanvoer van water vonden we nog levend Wrattig veenmos, met name onder de beschutting van stro. Verder nam de overleving recht evenredig toe met het aantal geïntroduceerde fragmenten.



Figuur 1. Overleving (in oktober 2019) van geïntroduceerde veenmossen (gemiddelde \pm 1 SE, $n=3-9$ herhalingen) op kaal zwartveen zonder (grijze balken) en met aanvoer van water (blauwe balken) in het Bargerveen en het Haaksbergerveen voor (A, B) verschillende vormen van beschutting (geen, Eenurig wollegras en stro) en (C, D) verschillende dichtheden van herintroductie (0, 36, 72 en 156 planten per m^2 = 0, 360, 720 en 1560 fragmenten per m^2). Balken zijn gemiddelden van 3 (A,B) of 9 (C,D) herhalingen. Voor A en B zijn alle levende fragmenten van de vier sub-proefvlakken met verschillende dichtheid bij elkaar opgeteld tot 1 waarde per m^2 . Dit leidt tot een referentiewaarde van 660 geïntroduceerde fragmenten per m^2 . Getallen boven de balken geven het gemiddelde weer.

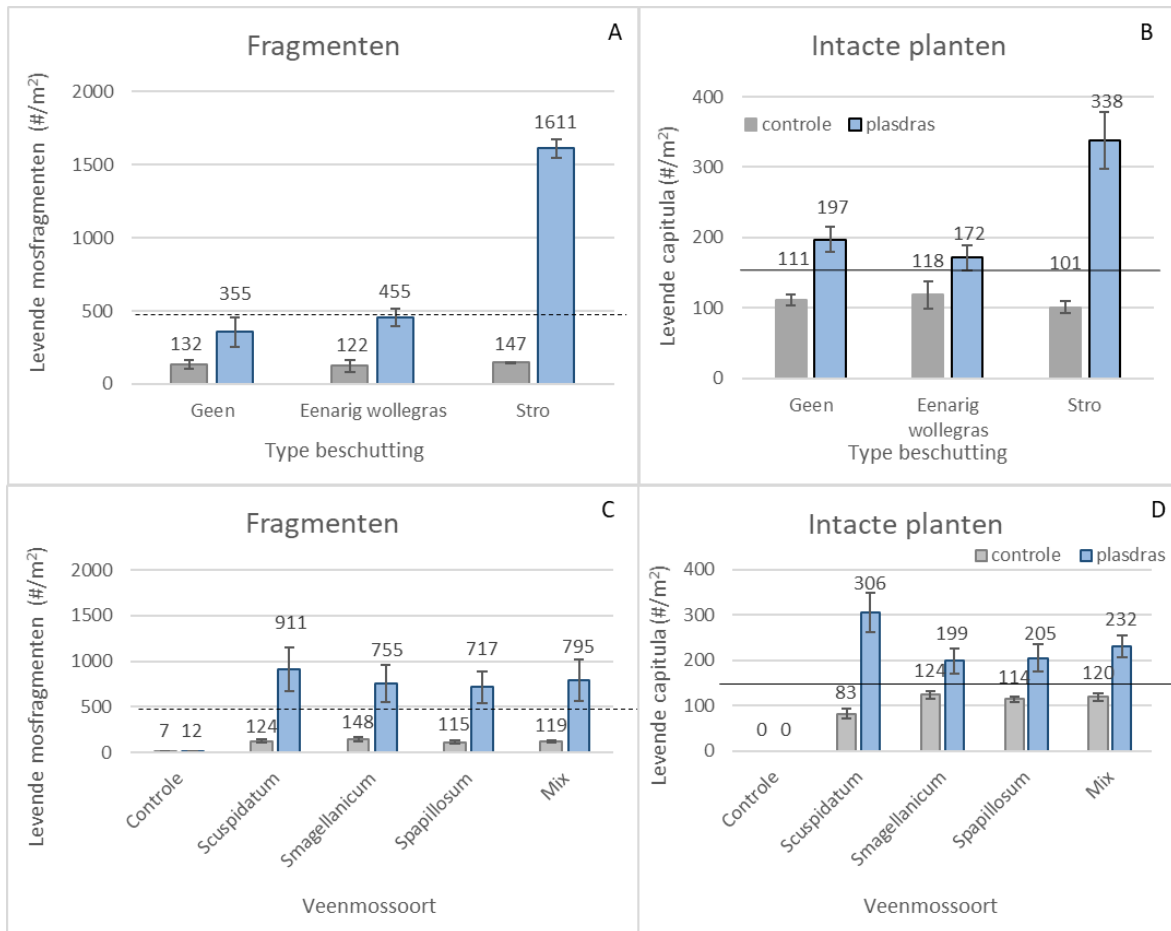
Figure 1. Survival (in October 2019) of introduced peat mosses (mean \pm 1 SE, $n=3-9$ replicates) on bare strongly humified peat without (grey bars) and with water supply (blue bars) in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog for (A, B) different forms of shelter (none, Eriophorum vaginatum and straw mulch) and (C, D) different densities of reintroduction (0, 36, 72 and 156 plants per m^2 = 0, 360, 720 and 1560 fragments per m^2). Bars are averages of 3 (A,B) or 9 (C,D) replicates. For A and B, all living fragments of the four sub-samples with different densities are added up to 1 value per m^2 . This leads to a reference value of 660 introduced fragments per m^2 . Numbers above the bars represent the average.



Figuur 2. Overleving (in oktober 2018) van geïntroduceerde veenmossen (gemiddelde \pm 1 SE, $n=3-9$ herhalingen) op kaal zwartveen zonder (grijze balken) en met aanvoer van water (blauwe balken) in het Bargerveen en het Haaksbergerveen voor (A, B) verschillende vormen van beschutting (geen, Eenaarig wollegras en stro) en (C, D) verschillende dichtheden van herintroductie (0, 36, 72 en 156 planten per m^2 = 0, 360, 720 en 1560 fragmenten per m^2). Balken zijn gemiddelden van 3 (A,B) of 9 (C,D) herhalingen. Voor A en B zijn alle levende fragmenten van de vier sub-proefvlakken met verschillende dichtheid bij elkaar opgeteld tot 1 waarde per m^2 . Dit leidt tot referentiewaarde van 660 geïntroduceerde fragmenten per m^2 . Getallen boven de balken geven het gemiddelde weer.

Figure 2. Survival (in October 2018) of introduced peat mosses (mean \pm 1 SE, $n=3-9$ replicates) on bare strongly humified peat without (grey bars) and with water supply (blue bars) in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog for (A, B) different forms of shelter (none, Eriophorum vaginatum and straw mulch) and (C, D) different densities of reintroduction (0, 36, 72 and 156 plants per m^2 = 0, 360, 720 and 1560 fragments per m^2). Bars are averages of 3 (A,B) or 9 (C,D) replicates. For A and B all living fragments of the four sub-samples with different densities are added up to 1 value per m^2 . This leads to a reference value of 660 introduced fragments per m^2 . Numbers above the bars represent the average.

De patronen in 2019 waren vergelijkbaar met die van 2018: wateraanvoer verhoogde de overleving van bultvormers, zelfs in het Bargerveen, waar door problemen met de pomp minder dagen water werd aangevoerd dan in het Haaksbergerveen (zie paragraaf 3.3.2). Beschutting met stro had eveneens een positief effect op de overleving van bultvormers. De veenmosoverleving in de Deurnsche Peel (Figuur 3) was iets hoger dan die in het Haaksbergerveen, mogelijk vanwege de regelmatigere buien in deze regio in 2019. Aanvoer van extra water verhoogde de overleving van bultvormers, met name in combinatie met stro. Overleving van intacte planten was hoger dan overleving van fragmenten, net als in 2018 (Figuur 2 en Figuur 4).

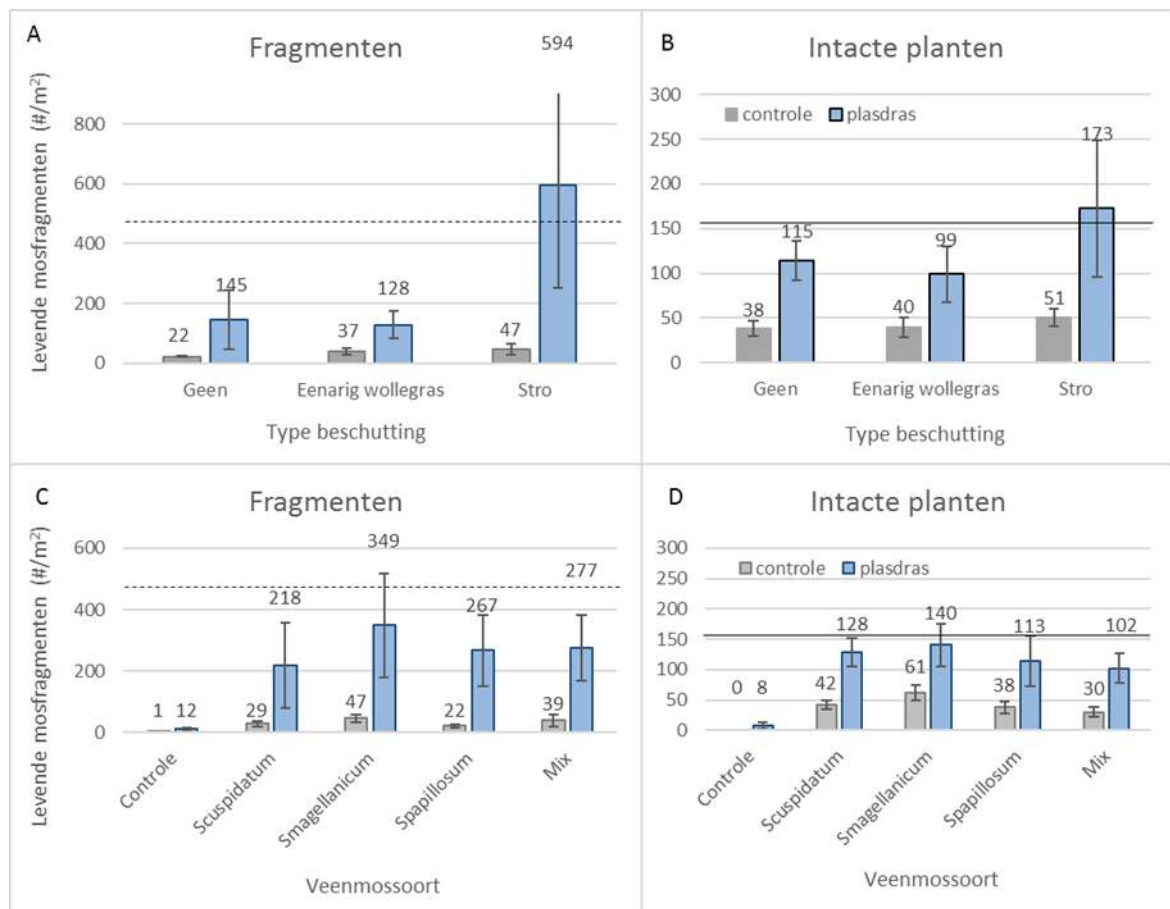


Figuur 3. Overleving (in oktober 2019) van de geïntroduceerde veenmossen (gemiddelde \pm 1 SE, $n=3-9$ herhalingen) op kaal zwartveen zonder (grijze balken) en met aanvoer van water (blauwe balken) in de Deurnsche Peel voor (A, B) verschillende vormen van beschutting (geen, Eenarig wollegras en stro) en verschillende soorten veenmossen (C, D). Herintroductie vond plaats via fragmenten (A, C) en via intacte planten (B, D), elk op basis van 156 intacte veenmossen per m^2 . Balken zijn gemiddelden van 3 (A,B) of 9 (C,D) herhalingen. Getallen boven de balken geven het gemiddelde weer. Horizontale stippellijn (A, C) geeft aantal levensvatbare (bovenste 0-3 cm) geïntroduceerde veenmosfragmenten weer. De zwarte lijn (B, D) geeft het aantal geïntroduceerde mossen weer: wanneer de balken boven deze lijnen uitsteken betekent dit netto uitbreiding.

Figure 3. Survival (in October 2019) of introduced peat mosses (mean \pm 1 SE, $n=3-9$ replications) on bare strongly humified peat without (grey bars) and with water supply (blue bars) in Deurnsche Peel for (A, B) different forms of shelter (none, Eriophorum vaginatum and straw mulch) and different types of peat mosses (C, D). Reintroduction occurred via fragments (A, C) and via intact plants (B, D), each based on 156 intact peat mosses per m^2 . Bars are averages of 3 (A,B) or 9 (C,D) replicates. Numbers above the bars represent the average. Horizontal dotted line (A, C) indicates number of viable (top 0-3 cm) introduced peat moss fragments. The black line (B, D) indicates the number of introduced mosses: if the bars are above these lines, this means net expansion.

Het effect van stro op overleving was in de Deurnsche Peel (Figuur 3) minder uitgesproken dan bij de andere veengebieden (Figuur 1) en hing af van de manier van herintroduceren. Overleving van fragmenten met stro was vrijwel even hoog als overleving van fragmenten zonder stro of met beschutting van Eenarig wollegras. Overleving van intacte planten daarentegen was hoger onder stro dan bij de andere beschuttingsbehandelingen.

De veenmossoort maakte opnieuw nauwelijks uit voor het herintroductiesucces, al leek Waterveenmos (*S. cuspidatum*) het in 2019 beter te doen dan de andere soorten (Figuur 3). In 2018 was de overleving van Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*) beter (Figuur 4).



Figuur 4. Overleving (in oktober 2018) van de geïntroduceerde veenmossen (gemiddelde \pm 1 SE, $n=3-9$ herhalingen) op kaal zwartveen zonder (grijze balken) en met aanvoer van water (blauwe balken) in de Deurnsche Peel voor (A, B) verschillende vormen van beschutting (geen, Eenarig wollegras en stro) en verschillende soorten veenmossen (C, D). Herintroductie vond plaats via fragmenten (A, C) en via intacte planten (B, D), elk op basis van 156 intacte veenmossen per m². Balken zijn gemiddelden van 3 (A,B) of 9 (C,D) herhalingen. Getallen boven de balken geven het gemiddelde weer. Horizontale stippellijn (A, C) geeft aantal levensvatbare (bovenste 0-3 cm) geïntroduceerde veenmosfragmenten weer. De zwarte lijn (B, D) geeft het aantal geïntroduceerde mossen weer: wanneer de balken boven deze lijnen uitsteken betekent dit netto uitbreiding.

Figure 4. Survival (in October 2018) of introduced peat mosses (mean \pm 1 SE, $n=3-9$ replications) on bare strongly humified peat without (grey bars) and with water supply (blue bars) in the Deurnsche Peel bog for (A, B) different forms of shelter (none, Eriophorum vaginatum and straw mulch) and different types of peat mosses (C, D). Reintroduction occurred via fragments (A, C) and via intact plants (B, D), each based on 156 intact peat mosses per m². Bars are averages of 3 (A,B) or 9 (C,D) replicates. Numbers above the bars represent the average. Horizontal dotted line (A, C) indicates number of viable (top 0-3 cm) introduced peat moss fragments. The black line (B, D) indicates the number of introduced mosses: if the bars are above these lines, this means net expansion.

De effecten van wateraanvoer en beschutting in de Deurnsche Peel zijn in overeenstemming met de resultaten uit de OBN-experimenten in Bargerveen en Haaksbergerveen en met de resultaten behaald in het extreem droge jaar 2018. Het is overduidelijk dat wateraanvoer en aanbrengen van beschutting de kans op succesvolle herintroductie van bultvormers vergroot. Herintroductie zonder

wateraanvoer is minder succesvol dan herintroductie met wateraanvoer, maar wel mogelijk zo blijkt uit de resultaten van 2019. Uit deze resultaten blijkt dat herintroductie van intacte planten in combinatie met beschutting door een laag stro het gunstigste is voor overleving van op zwartveen geïntroduceerd veenmos (Figuur 5).



Figuur 5. *Impressie van een proefvlak met wateraanvoer en beschutting van stro (links) en zonder wateraanvoer en met beschutting van stro (rechts) in oktober 2019 in de Deurnsche Peel. Met water aanvoer hebben de veenmossen zich flink uitgebreid. In de rechter foto is duidelijk te zien dat ook kiemlingen van Berk hebben geprofiteerd van de bescherming door stro. Foto's: Hilde Tomassen.*

Figure 5. *Impression of an experimental plot with water supply and straw mulch (left) and without water supply and with straw mulch (right) in October 2019 in the Deurnsche Peel bog. With water supply, the peat mosses expanded considerably. In the photo on the right, it is clearly visible that seedlings of Birch also benefited from the protection provided by straw mulch. Photographs: Hilde Tomassen.*

Bijlage 5. Overzicht wateranalyses veldonderzoek

Tabel 1. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm; n = 3) per behandeling bij het plas-dras experiment in het Bargerveen. Het experiment is in april 2019 opnieuw ingericht. Het betreft een nulmeting (juni 2018 en april 2019), na 1 groeiseizoen (oktober 2018 en oktober 2019) en na 2 groeiseizoenen (oktober 2020). In 2018 is het bodemvocht door omstandigheden pas verzameld 2 maanden na de start van het experiment. Hierdoor zijn er al effecten van de hydrologische behandeling zichtbaar. Hydrologie: natuurlijk is zonder aanvoer van water en gecontroleerd is met wateraanvoer.

Table 1. Chemical composition of the pore water (0-5 cm; n = 3) per treatment in the 'plas-dras' experiment in the Bargerveen bog. The experiment has been restarted in April 2019. It concerns a zero measurement (June 2018 and April 2019), after 1 growing season (October 2018 and October 2019) and after 2 growing seasons (October 2020). In 2018, due to circumstances, the pore water was collected 2 months after the start of the experiment. Therefore, effects of the hydrological treatment are already visible. Hydrology: natural is without water supply and controlled is with water supply.

Datum	Hydrologie	Beschutting	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Al	Ca	Mg	P	S
				μmol/l	μmol/l	μS/cm		μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
2018																		
26-6-2018	natuurlijk	controle	3,79	164	0	212	0,206	33	88	2,5	275	7	588	18,6	84	128	5,0	210
26-6-2018	natuurlijk	E. wollegras	3,65	120	0	203	0,197	43	155	0,6	405	24	606	12,9	76	151	1,9	192
26-6-2018	natuurlijk	stro	3,70	103	0	186	0,263	25	101	0,9	423	118	729	20,3	68	113	2,1	173
26-6-2018	gecontroleerd	controle	4,26	897	7	131	0,078	1	165	0,1	436	21	871	3,3	42	142	0,5	31
26-6-2018	gecontroleerd	E. wollegras	3,93	1705	7	136	0,107	1	68	0,3	395	16	796	4,7	40	114	0,8	31
26-6-2018	gecontroleerd	stro	4,24	1132	8	128	0,082	1	65	0,3	401	187	803	3,9	38	117	0,7	35
11-10-2018	natuurlijk	controle	4,10	64	0		0,082	95	248	3,9	466	365	1082	9,5	146	202	12,5	360
11-10-2018	natuurlijk	E. wollegras	3,47	123	0	445	0,126	64	612	2,0	659	88	1449	10,1	134	380	3,9	520
11-10-2018	natuurlijk	stro	3,54	66	0	357	0,131	107	382	9,3	581	142	1140	10,2	99	244	13,4	350
11-10-2018	gecontroleerd	controle	3,96	59	0	240	0,095	33	197	1,5	727	118	1364	7,6	132	287	3,7	232
11-10-2018	gecontroleerd	E. wollegras	3,66	40	0	352	0,089	46	185	3,1	1103	150	2292	8,3	152	379	6,0	165
11-10-2018	gecontroleerd	stro	3,93	61	0	324	0,052	25	180	1,9	857	292	2003	4,8	109	301	3,4	153
2019 (na opnieuw inzetten)																		
4-4-2019	natuurlijk	controle	3,68	254	0	220	0,146	49	245	0,4	317	64	488	10,4	75	116	1,0	183
4-4-2019	natuurlijk	E. wollegras	3,71	230	0	201	0,167	49	253	0,9	312	55	489	8,1	51	97	1,6	147
4-4-2019	natuurlijk	stro	3,64	281	0	234	0,181	29	250	0,8	320	95	595	13,8	60	110	1,8	185
4-4-2019	gecontroleerd	controle	3,85	188	0	159	0,122	24	99	0,6	336	79	495	6,3	36	65	0,9	76
4-4-2019	gecontroleerd	E. wollegras	3,82	166	1	170	0,098	47	118	0,5	342	82	510	5,1	34	69	0,7	82
4-4-2019	gecontroleerd	stro	3,75	314	1	196	0,098	16	141	0,8	387	137	674	7,8	46	75	1,3	102
17-10-2019	natuurlijk	controle	3,53	441	1	305	0,222	396	211	3,7	407	27	467	11,6	94	235	3,2	264
17-10-2019	natuurlijk	E. wollegras	3,52	533	1	357	0,183	374	359	2,3	520	37	649	8,9	114	280	3,1	374
17-10-2019	natuurlijk	stro	3,73	298	1	233	0,422	164	383	7,8	270	138	587	30,4	67	105	6,7	199
17-10-2019	gecontroleerd	controle	3,86	294	1	178	0,140	144	130	2,1	451	29	517	5,6	39	103	2,0	111
17-10-2019	gecontroleerd	E. wollegras	3,71	273	1	305	0,135	120	357	1,3	677	22	1142	5,3	78	236	1,2	224
17-10-2019	gecontroleerd	stro	3,76	491	1	193	0,131	119	80	1,1	409	47	506	5,3	43	104	1,8	114
2020																		
15-10-2020	natuurlijk	controle	3,34	256	0	372	0,069	533	20	4,9	488	33	518	7,3	106	283	7,3	230
15-10-2020	natuurlijk	E. wollegras	3,36	338	0	387	0,100	448	283	1,2	586	49	841	6,1	97	305	2,3	344
15-10-2020	natuurlijk	stro	3,86	156	1	295	0,080	463	32	6,3	497	62	508	15,6	100	186	11,1	161
15-10-2020	gecontroleerd	controle	3,84	664	2	137	0,084	1	91	1,1	418	14	619	3,6	22	58	1,4	49
15-10-2020	gecontroleerd	E. wollegras	3,65	618	1	241	0,079	2	194	2,0	604	12	1101	4,1	50	145	3,4	126
15-10-2020	gecontroleerd	stro	3,78	641	1	159	0,071	6	44	1,9	396	20	599	3,6	30	78	2,7	82

Tabel 2. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm; n = 3) per behandeling bij het plas-dras experiment in het Haaksbergerveen. Het experiment werd in maart 2019 opnieuw ingericht. Het betreft een nulmeting (april 2018 en maart 2019), na 1 groeiseizoen (oktober 2018 en oktober 2019), na 2 groeiseizoenen (oktober 2020) en 3 groeiseizoenen (oktober 2021). Hydrologie: natuurlijk is zonder aanvoer van water en gecontroleerd is met wateraanvoer.

Table 2. Chemical composition of the pore water (0-5 cm; n = 3) per treatment in the 'plas-dras' experiment in the Haaksbergerveen bog. The experiment was restarted in March 2019. The data concerns a zero measurement (April 2018 and March 2019), after 1 growing season (October 2018 and October 2019), after 2 growing seasons (October 2020) and after 3 growing seasons (October 2021). Hydrology: natural is without water supply and controlled is with water supply.

Datum	Hydrologie	Beschutting	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Al	Ca	Mg	P	S
				µmol/l	µmol/l	µS/cm		µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l	µmol/l
2018																		
12-4-2018	natuurlijk	controle	3,81	401	1	111	0,244	2,7	31,9	2,7	168	31	202	10,9	38	31	2,6	59
12-4-2018	natuurlijk	E. wollegras	3,85	493	1	111	0,243	4,2	29,7	3,5	158	67	218	10,4	41	31	3,2	51
12-4-2018	natuurlijk	stro	4,03	368	1	116	0,333	8,9	36,6	5,5	345	44	316	11,9	89	41	3,1	100
12-4-2018	gecontroleerd	controle	4,01	303	1	105	0,181	5,1	54,6	11,5	289	80	351	54,9	51	28	11,6	66
12-4-2018	gecontroleerd	E. wollegras	3,60	182	0	188	0,448	21,5	89,3	6,7	263	105	514	41,3	70	54	7,9	105
12-4-2018	gecontroleerd	stro	3,90	256	1	126	0,247	44,5	71,3	4,9	239	119	469	63,5	74	33	2,4	89
8-10-2018	natuurlijk	controle	3,32	47	0	278	0,107	84,6	109,8	1,3	348	71	699	5,8	72	104	2,0	205
8-10-2018	natuurlijk	E. wollegras	3,30	53	0	246	0,319	79,4	165,4	6,2	325	159	871	17,1	125	139	9,3	256
8-10-2018	natuurlijk	stro	3,44	.	.	.	0,268	45,5	53,5	1,9	225	267	696	13,0	100	106	3,2	188
8-10-2018	gecontroleerd	controle	3,77	407	1	128	0,723	14,4	92,8	11,4	239	157	733	54,3	43	51	15,6	67
8-10-2018	gecontroleerd	E. wollegras	3,68	573	1	147	0,814	12,7	95,0	2,9	258	60	763	51,7	46	49	3,1	59
8-10-2018	gecontroleerd	stro	3,96	655	3	104	0,254	5,1	62,1	9,7	269	46	474	35,5	37	31	13,1	45
2019 (na opnieuw inzetten experiment)																		
25-3-2019	natuurlijk	controle	3,77	268	1	115	0,351	21,1	49,9	1,5	154	32	382	8,4	31	27	1,0	54
25-3-2019	natuurlijk	E. wollegras	3,77	242	1	124	0,310	15,0	46,5	2,5	168	64	310	12,0	42	32	2,9	64
25-3-2019	natuurlijk	stro	3,71	487	1	115	0,284	17,8	40,0	1,9	129	37	295	5,7	28	26	1,6	50
25-3-2019	gecontroleerd	controle	4,09	102	0	92	0,410	24,6	60,7	2,1	190	49	405	45,1	39	25	3,5	58
25-3-2019	gecontroleerd	E. wollegras	3,96	232	1	97	0,522	13,0	81,3	1,7	187	49	386	43,2	31	21	1,9	55
25-3-2019	gecontroleerd	stro	3,82	237	1	170	0,543	12,0	107,1	2,1	226	49	380	61,9	36	25	3,2	70
28-10-2019	natuurlijk	controle	3,62	173	0	163	0,358	30,9	88,7	1,2	188	13	352	8,4	38	42	0,8	86
28-10-2019	natuurlijk	E. wollegras	3,58	240	0	179	0,267	115,8	60,0	1,9	173	13	255	9,6	42	44	1,4	87
28-10-2019	natuurlijk	stro	3,76	291	1	120	0,386	10,2	16,0	1,3	121	64	334	7,3	31	28	0,7	42
28-10-2019	gecontroleerd	controle	3,75	743	2	161	0,274	7,1	141,2	1,0	324	15	619	40,4	37	38	1,6	56
28-10-2019	gecontroleerd	E. wollegras	3,84	1070	3	146	0,247	1,6	131,3	3,2	294	6	562	29,6	33	34	2,1	39
28-10-2019	gecontroleerd	stro	3,85	741	2	133	0,372	2,5	121,9	3,4	224	49	463	49,4	35	26	3,1	45
2020																		
5-10-2020	natuurlijk	controle	3,30	113	0	290	0,143	119,9	85,4	1,0	239	17	699	8,5	197	99	1,3	178
5-10-2020	natuurlijk	E. wollegras	3,32	116	0	256	0,127	328,6	84,6	1,4	244	19	649	10,8	173	108	2,4	149
5-10-2020	natuurlijk	stro	3,47	129	0	167	0,185	27,5	14,2	0,9	176	88	473	6,8	50	50	1,3	92
5-10-2020	gecontroleerd	controle	3,62	450	1	155	0,216	3,8	156,6	2,6	307	26	769	35,9	33	48	5,2	53
5-10-2020	gecontroleerd	E. wollegras	3,71	1116	3	130	0,121	2,1	45,6	1,8	338	13	716	27,4	40	46	3,9	38
5-10-2020	gecontroleerd	stro	3,52	817	1	255	0,148	2,6	136,1	2,4	276	40	1081	52,7	316	62	5,9	64
2021																		
5-10-2021	natuurlijk	controle	3,53	316	0	189	0,202	65,4	53,9	0,6	375	42	600	16,8	86	114	0,9	137
5-10-2021	natuurlijk	E. wollegras	3,58	260	0	173	0,199	101,3	34,9	0,9	255	3	334	13,2	114	75	0,7	85
5-10-2021	natuurlijk	stro	3,69	301	1	128	0,193	87,4	73,9	0,8	213	10	297	7,2	39	40	1,3	54
5-10-2021	gecontroleerd	controle	3,92	342	1	110	0,314	2,1	150,9	1,5	245	2	170	48,6	37	33	2,7	38
5-10-2021	gecontroleerd	E. wollegras	3,88	966	3	117	0,279	19,9	13,4	1,4	223	1	208	19,9	39	46	3,5	54
5-10-2021	gecontroleerd	stro	3,85	789	3	123	0,215	2,0	28,9	3,3	340	2	228	34,0	44	39	5,4	40

Tabel 3. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm; n = 3) per behandeling bij het plas-dras experiment in de Deurnsche Peel. Het experiment werd in maart 2019 opnieuw ingericht. Het betreft een nulmeting (april 2018 en maart 2019), na 1 groeiseizoen (oktober 2018 en oktober 2019), na 2 groeiseizoenen (oktober 2020) en na 3 groeiseizoenen (oktober 2021). Hydrologie: natuurlijk is zonder aanvoer van water en gecontroleerd is met wateraanvoer.

Table 3. Chemical composition of the pore water (0-5 cm; n = 3) per treatment at the 'plas-dras' experiment at the Deurnsche Peel bog. The experiment was restarted in March 2019. The data concerns a zero measurement (April 2018 and March 2019), after 1 growing season (October 2018 and October 2019), after 2 growing seasons (October 2020) and after 3 growing seasons (October 2021). Hydrology: natural is without water supply and controlled is with water supply.

Datum	Hydrologie	Beschutting	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Mg	P	S
				μmol/l	μmol/l	μS/cm	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
2018																	
24-4-2018	natuurlijk	controle	3,70	459	1	131	0,207	31,4	50,7	0,61	206	97	300	27	64	0,5	78
24-4-2018	natuurlijk	E. wollegras	3,68	619	1	123	0,180	44,1	70,5	0,17	189	22	200	19	55	0,5	78
24-4-2018	natuurlijk	stro	3,71	615	1	121	0,169	14,7	63,7	0,52	205	28	230	24	59	0,6	77
24-4-2018	gecontroleerd	controle	3,78	854	2	106	0,251	4,1	71,1	0,48	169	29	231	22	54	0,8	60
24-4-2018	gecontroleerd	E. wollegras	3,74	1022	2	113	0,230	3,7	63,5	0,68	195	30	241	27	59	0,9	76
24-4-2018	gecontroleerd	stro	3,78	1062	3	106	0,179	3,8	67,9	0,68	203	36	213	20	54	1,1	69
25-10-2018	natuurlijk	controle	3,38	142	0	323	0,053	475,8	129,3	0,64	450	91	584	48	156	1,4	171
25-10-2018	natuurlijk	E. wollegras	3,43	101	0	328	0,076	399,8	165,4	0,67	346	31	401	48	106	1,0	145
25-10-2018	natuurlijk	stro	3,55	132	0	253	0,057	304,1	140,1	1,11	388	113	541	33	102	1,8	145
25-10-2018	gecontroleerd	controle	3,66	370	14	220	0,103	304,3	148,5	1,87	504	33	702	140	185	4,2	167
25-10-2018	gecontroleerd	E. wollegras	3,72	525	2	220	0,105	114,5	92,8	0,60	420	7	577	46	100	1,3	101
25-10-2018	gecontroleerd	stro	3,71	340	1	213	0,068	128,2	87,3	1,30	382	89	595	39	100	1,8	108
2019 (na opnieuw inzetten experiment)																	
19-3-2019	natuurlijk	controle	3,83	489	1	121	0,109	59,1	81,8	0,78	202	8	169	19	31	1,0	70
19-3-2019	natuurlijk	E. wollegras	3,81	693	2	128	0,071	53,2	95,0	0,66	227	23	212	21	36	1,0	76
19-3-2019	natuurlijk	stro	3,79	505	1	134	0,126	74,7	78,2	0,92	235	23	207	19	38	1,1	77
19-3-2019	gecontroleerd	controle	3,99	506	2	66	0,137	25,2	41,8	1,25	208	42	215	25	30	1,7	54
19-3-2019	gecontroleerd	E. wollegras	4,01	567	3	119	0,128	9,1	75,0	1,82	256	91	328	31	37	2,4	71
19-3-2019	gecontroleerd	stro	3,89	392	1	117	0,110	12,4	54,9	0,75	234	82	309	22	33	1,0	59
24-10-2019	natuurlijk	controle	3,61	817	1	187	0,094	92,5	111,2	0,55	283	10	335	17	59	1,2	117
24-10-2019	natuurlijk	E. wollegras	3,70	1044	2	178	0,069	35,7	136,9	1,84	357	33	478	20	58	2,9	109
24-10-2019	natuurlijk	stro	3,70	1034	2	169	0,147	8,1	15,8	0,75	276	100	453	22	61	1,5	95
24-10-2019	gecontroleerd	controle	3,85	1691	6	157	0,121	0,4	78,4	1,00	403	29	613	22	58	1,9	35
24-10-2019	gecontroleerd	E. wollegras	3,83	1707	5	187	0,110	0,3	74,4	1,90	582	24	843	25	93	3,3	38
24-10-2019	gecontroleerd	stro	3,95	1320	5	103	0,118	0,4	51,6	1,20	267	27	333	11	28	2,2	27
2020																	
28-10-2020	natuurlijk	controle	3,57	548	1	197	0,170	126,1	69,5	1,00	301	20	341	22	63	1,4	114
28-10-2020	natuurlijk	E. wollegras	3,67	668	1	158	0,075	23,1	104,6	0,97	259	27	370	16	43	1,2	86
28-10-2020	natuurlijk	stro	3,66	536	1	156	0,095	6,1	8,7	0,85	264	63	241	16	45	0,7	82
28-10-2020	gecontroleerd	controle	3,62	1373	2	204	0,060	0,8	128,1	0,71	475	17	908	24	74	1,1	39
28-10-2020	gecontroleerd	E. wollegras	3,77	1627	4	143	0,072	0,8	104,8	0,71	328	14	533	18	44	1,0	45
28-10-2020	gecontroleerd	stro	3,87	1421	4	108	0,078	0,8	40,1	0,69	263	24	400	11	28	1,0	21
2021																	
21-10-2021	natuurlijk	controle	3,53	615	1	197	0,063	110,8	24,4	0,22	334	6	374	26	88	0,6	130
21-10-2021	natuurlijk	E. wollegras	3,64	707	1	153	0,094	71,4	96,2	0,24	265	8	284	21	55	0,9	90
21-10-2021	natuurlijk	stro	3,62	735	1	127	0,124	0,9	3,0	0,17	222	26	238	13	42	0,6	61
21-10-2021	gecontroleerd	controle	3,93	1316	5	103	0,102	0,5	69,4	0,63	346	2	285	20	43	1,0	36
21-10-2021	gecontroleerd	E. wollegras	4,07	1226	6	97	0,081	0,7	50,7	1,17	338	1	320	25	74	1,6	73
21-10-2021	gecontroleerd	stro	3,93	1524	5	78	0,082	0,4	29,1	0,55	264	2	217	9	25	0,9	22

Tabel 4. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm; n = 3) per blok bij het experiment in een Fraai veenmosvegetatie in het Bargerveen tussen maart 2018 (3 maanden na de start van het experiment) en oktober 2021.

Table 4. Chemical composition of the pore water (0-5 cm; n = 3) per block in the experiment in a vegetation dominated by *S. fallax* in the Bargerveen bog between March 2018 (3 months after the start of the experiment) and October 2021.

Datum	Blok	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Mg	P	S
			μmol/l	μmol/l	μS/cm	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
13-3-2018	1	4,79	623	11	28	0,003	0,6	13,0	4,4	113	9	100	7,6	3,9	5,2	13,6
13-3-2018	2	4,90	747	32	27	0,004	0,6	13,3	2,9	113	13	81	4,1	2,9	3,4	10,2
13-3-2018	3	4,57	577	9	29	0,007	0,2	2,9	0,9	160	0	84	2,9	3,4	1,0	9,1
13-3-2018	4	4,68	459	9	24	0,014	0,1	4,0	2,5	131	2	63	3,4	2,0	3,0	8,9
11-10-2018	1	4,15	737	4	81	0,023	3,0	7,1	0,6	321	14	348	11,9	23,0	1,2	20,6
11-10-2018	2	4,00	1661	7	96	0,036	3,0	3,9	0,7	321	25	361	14,8	23,9	1,8	26,9
11-10-2018	3	3,91	534	2	128	0,039	2,9	4,8	1,2	547	17	676	21,5	48,7	2,2	31,2
11-10-2018	4	4,07	1582	8	116	0,038	2,8	8,0	1,0	482	28	560	18,6	39,1	2,2	34,0
17-10-2019	1	4,31	1963	17	56	0,063	0,3	1,8	1,2	214	3	183	21,0	11,9	1,3	13,8
17-10-2019	2	4,37	1481	15	46	0,061	0,1	2,0	1,1	150	4	149	17,9	8,2	1,6	9,1
17-10-2019	3	4,29	1392	11	55	0,063	0,2	7,7	0,7	172	9	158	13,7	9,3	1,6	12,1
17-10-2019	4	4,17	2096	13	68	0,072	0,2	1,8	0,8	222	5	177	16,5	14,4	1,6	17,5
15-10-2020	1	4,02	2287	10	68	0,017	2,3	1,2	0,8	226	2	191	8,6	9,9	0,9	9,3
15-10-2020	2	4,06	1260	6	58	0,013	0,4	0,8	0,8	164	2	157	6,3	8,6	1,4	6,3
15-10-2020	3	3,97	2418	10	80	0,025	2,6	1,1	0,4	252	3	275	9,8	20,4	1,0	12,4
15-10-2020	4	3,99	2520	10	69	0,024	0,1	2,5	0,4	253	2	239	8,4	11,0	1,1	10,9
11-10-2021	1	4,57	1451	28	56	0,017	0,8	6,3	1,1	211	1	103	6,2	7,5	1,4	18,4
11-10-2021	2	4,25	720	5	48	0,013	0,5	5,8	0,7	153	1	102	8,3	11,2	1,1	22,0
11-10-2021	3	4,59	2157	85	66	0,024	0,8	6,5	0,6	192	1	135	11,3	17,7	1,3	25,0
11-10-2021	4	4,23	2161	14	56	0,023	0,6	7,1	0,6	209	1	102	8,2	11,4	1,6	23,0

Tabel 5. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm; n = 3) per blok bij het experiment in een Fraai veenmosvegetatie in het Haaksbergerveen tussen april 2018 (start van het experiment) en oktober 2021.

Table 5. Chemical composition of the pore water (0-5 cm; n = 3) per block in the experiment in vegetation dominated by *S. fallax* in the Haaksbergerveen bog between April 2018 (start of the experiment) and October 2021.

Datum	Blok	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	PO ₄	Na	K	Cl	Ca	Mg	P	S
			μmol/l	μmol/l	μS/cm	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
12-4-2018	1	4,72	419	11	98	0,073	0,7	5,6	3,2	169	1888	812	31,2	14,8	3,2	23,0
12-4-2018	2	4,80	158	8	58	0,078	0,8	15,3	5,3	218	116	166	40,4	21,3	2,7	34,2
12-4-2018	3	4,38	295	3	56	0,056	0,2	4,9	1,4	145	41	49	9,0	7,1	1,0	17,1
12-4-2018	4	4,32	122	1	63	0,075	0,3	5,0	1,8	160	39	92	17,8	15,3	1,5	23,5
8-10-2018	1	3,88	810	3	115	0,061	1,8	5,0	0,7	368	37	338	22,7	37,6	1,7	30,2
8-10-2018	2	3,76	734	2	130	0,069	2,0	5,4	1,2	348	26	330	15,1	38,0	3,2	32,3
8-10-2018	3	3,73	279	1	125	0,068	2,0	4,5	0,7	355	54	326	12,3	21,0	1,6	33,3
8-10-2018	4	3,76	105	0	149	0,080	2,2	4,1	0,7	469	75	528	19,5	46,7	1,4	35,7
28-10-2019	1	4,09	1210	6	68	0,043	3,7	3,2	1,8	167	18	160	11,2	9,3	1,9	9,1
28-10-2019	2	4,04	1104	5	69	0,046	0,8	2,1	1,3	169	7	127	11,2	8,4	1,6	11,1
28-10-2019	3	4,01	1054	4	72	0,038	0,6	3,2	0,9	167	11	142	13,9	6,1	1,5	12,6
28-10-2019	4	3,99	1611	6	87	0,043	0,6	8,0	1,6	228	20	214	22,0	17,6	3,1	14,7
5-10-2020	1	3,79	1078	3	108	0,052	2,8	4,3	1,7	247	31	340	11,8	19,1	3,1	18,8
5-10-2020	2	3,64	1446	3	130	0,058	1,7	3,8	1,7	335	24	453	29,1	28,0	3,2	25,1
5-10-2020	3	3,60	1576	3	129	0,051	1,5	3,8	1,6	343	23	432	9,0	20,2	2,8	26,7
5-10-2020	4	3,67	1127	2	131	0,063	1,7	5,3	1,9	359	30	498	40,0	38,7	3,8	30,5
5-10-2021	1	4,07	691	3	75	0,104	2,1	5,6	0,8	194	115	172	6,3	8,3	1,8	13,9
5-10-2021	2	3,77	905	2	106	0,051	1,2	9,2	1,1	281	20	208	13,1	23,9	2,8	27,9
5-10-2021	3	3,73	764	1	107	0,041	0,8	7,6	0,9	264	8	229	4,6	13,6	2,2	22,0
5-10-2021	4	3,95	494	2	74	0,033	1,3	18,0	2,8	166	8	165	8,4	16,3	6,0	22,8

Tabel 6. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm; n = 3) in de 4 verschillende blokken van het introductie-experiment op zowel een drijftil als vast veen met Waterveenmos in de Deurnsche Peel en een drijftil met Fraai veenmos in de Mariapeel vanaf de start (december 2017 - april 2018) tot oktober 2021.

Table 6. Chemical composition of the pore water (0-5 cm; n = 3) in the 4 different blocks of the experiment in a vegetation dominated by *S. cuspidatum* on both a floating raft and on solid peat in the Deurnsche Peel bog and a floating vegetation dominated by *S. fallax* in the Mariapeel bog between the start of the experiments (December 2017 - April 2018) and October 2021.

Datum	Blok	pH	CO ₂	HCO ₃	EGV	E ₄₅₀	NO ₃	NH ₄	Na	K	Cl	Ca	Mg	P	S
			μmol/l	μmol/l	μS/cm		μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l	μmol/l
Bodemvocht experiment <i>S. cuspidatum</i> drijftil Vlake van Minke															
4-12-2017	Blok 1	4,36	905	9	51	0,051	2,4	13,1	117	28	86	29	19	0,8	20
4-12-2017	Blok 2	4,23	455	3	49	0,037	1,5	7,9	85	9	120	31	22	1,4	19
4-12-2017	Blok 3	4,46	390	4	53	0,050	1,9	4,3	138	37	183	51	24	1,1	27
4-12-2017	Blok 4	4,31	469	4	58	0,081	2,0	39,0	145	33	159	44	25	0,9	33
25-10-2018	Blok 1	4,14	142	1	149	0,195	20,3	416,3	358	127	575	38	31	1,9	87
25-10-2018	Blok 2	3,98	30	0	170	0,111	8,8	90,7	448	229	639	74	51	1,8	130
25-10-2018	Blok 3	4,41	115	1	147	0,215	29,8	458,6	462	77	698	90	38	2,3	127
25-10-2018	Blok 4	4,45	54	1	179	0,224	31,2	436,5	366	108	533	46	18	2,8	106
24-10-2019	Blok 1	4,24	2357	17	74	0,090	0,5	64,8	249	13	226	24	23	1,4	37
24-10-2019	Blok 2	4,33	1500	13	81	0,123	0,6	129,8	240	25	300	27	24	2,2	38
24-10-2019	Blok 3	4,21	2115	15	90	0,103	0,5	90,7	249	20	320	42	32	1,0	40
24-10-2019	Blok 4	4,39	1639	16	99	0,144	0,8	229,6	231	81	331	33	32	1,0	71
28-10-2020	Blok 1	4,23	1553	11	67	0,067	0,9	61,5	177	24	179	18	18	1,9	25
28-10-2020	Blok 2	4,22	880	7	72	0,078	1,1	90,0	169	24	182	29	19	1,0	37
28-10-2020	Blok 3	4,13	957	6	99	0,097	1,3	101,9	256	20	329	53	29	1,6	38
28-10-2020	Blok 4	4,04	684	5	90	0,105	1,6	93,3	192	18	209	32	23	0,6	54
21-10-2021	Blok 1	4,15	1495	9	65	0,053	0,3	20,4	160	2	126	30	27	1,9	25
21-10-2021	Blok 2	4,12	741	4	59	0,034	0,2	35,0	152	6	166	30	24	0,9	29
21-10-2021	Blok 3	4,09	700	4	73	0,052	0,3	73,7	221	1	151	34	28	0,8	44
21-10-2021	Blok 4	4,01	2201	9	87	0,096	1,0	56,1	248	1	248	58	43	1,3	49
Bodemvocht experiment <i>S. cuspidatum</i> vast veen Vlake van Minke															
24-4-2018	Blok 5	4,18	2118	13	73	0,161	1,4	68,3	180	34	151	59	56	2,4	40
24-4-2018	Blok 6	4,15	2129	13	75	0,173	1,7	107,1	179	30	216	52	48	1,5	37
24-4-2018	Blok 7	4,10	2283	12	81	0,194	1,7	111,9	173	31	235	55	50	1,9	42
24-4-2018	Blok 8	4,14	1273	7	74	0,144	1,8	62,1	178	29	214	63	44	1,2	39
25-10-2018	Blok 5	3,60	142	0	157	0,082	53,4	60,4	462	54	556	190	157	6,0	248
25-10-2018	Blok 6	4,13	73	0	.	0,147	60,3	203,4	303	388	659	74	59	2,5	144
25-10-2018	Blok 7	3,97	95	0	211	0,152	98,1	94,8	302	61	489	100	99	2,5	178
25-10-2018	Blok 8	3,91	70	0	172	0,082	7,9	79,7	333	183	704	98	67	2,2	110
24-10-2019	Blok 5	3,95	113	0	69	0,154	14,9	36,0	188	15	158	25	29	0,3	61
24-10-2019	Blok 6	3,99	140	1	86	0,182	23,5	39,8	123	19	122	29	38	0,4	58
24-10-2019	Blok 7	4,08	244	1	74	0,147	17,0	42,3	80	10	100	25	28	0,1	66
24-10-2019	Blok 8	4,01	190	1	97	0,154	1,2	64,1	192	11	154	36	34	0,3	84
28-10-2020	Blok 5	3,95	105	0	105	0,093	27,3	19,6	211	17	257	38	54	2,3	83
28-10-2020	Blok 6	3,86	100	0	74	0,076	28,4	61,0	80	14	148	35	23	0,9	48
28-10-2020	Blok 7	4,00	101	0	88	0,102	18,1	51,6	71	15	111	24	28	0,8	56
28-10-2020	Blok 8	3,89	738	3	68	0,077	2,9	30,4	74	15	143	36	33	4,2	69
Bodemvocht experiment <i>S. fallax</i> drijftil Mariapeel															
18-12-2017	Blok 1	4,69	153	2	23	0,022	1,5	6,2	43	3	8	14	8	0,6	16
18-12-2017	Blok 2	4,67	148	4	56	0,063	5,3	24,5	224	97	201	48	31	0,9	64
18-12-2017	Blok 3	4,63	216	3	35	0,038	1,1	8,7	92	23	84	24	18	1,4	24
18-12-2017	Blok 4	4,39	215	2	49	0,063	1,6	15,0	117	32	76	38	27	1,3	44
25-10-2018	Blok 1	3,68	86	0	143	0,071	5,6	5,5	327	45	313	23	38	3,9	79
25-10-2018	Blok 2	4,01	.	.	.	0,095	36,2	67,0	422	602	1045	96	70	7,0	158
25-10-2018	Blok 3	3,69	67	0	156	0,105	11,2	71,6	395	8	259	79	88	4,3	212
25-10-2018	Blok 4	3,64	.	.	.	0,123	35,6	5,3	606	879	1746	290	230	5,3	323
24-10-2019	Blok 1	4,01	2034	9	79	0,079	0,8	8,8	145	9	127	22	23	0,9	30
24-10-2019	Blok 2	4,13	1607	9	89	0,162	1,1	102,2	176	18	205	52	45	0,6	82
24-10-2019	Blok 3	4,04	1650	8	94	0,131	1,2	50,2	166	6	190	65	42	1,1	78
24-10-2019	Blok 4	4,00	1120	4	80	0,125	1,1	25,0	105	6	128	38	28	0,9	70
28-10-2020	Blok 1	3,90	500	2	82	0,057	3,4	21,4	120	26	235	36	29	1,7	52
28-10-2020	Blok 2	3,88	523	2	105	0,095	2,5	33,7	163	12	152	54	48	0,9	107
28-10-2020	Blok 3	3,92	989	3	99	0,099	1,6	36,8	168	11	180	59	42	1,0	64
28-10-2020	Blok 4	3,81	78	0	85	0,082	1,9	3,3	67	15	146	33	21	1,2	53
21-10-2021	Blok 1	4,09	1120	6	64	0,095	0,9	58,4	128	6	124	43	39	2,0	55
21-10-2021	Blok 2	3,97	2250	9	69	0,074	3,5	7,8	129	1	74	37	41	1,9	42
21-10-2021	Blok 3	3,98	2023	8	67	0,090	1,3	27,7	149	1	77	48	41	1,7	48
21-10-2021	Blok 4	4,02	1438	6	71	0,094	1,2	43,6	103	1	42	53	41	0,8	54

Tabel 7. Chemische samenstelling van het bodemvocht (0-5 cm) op 17 locaties waar bultvormende veenmossen zich goed uitbreiden. Het bodemvocht werd bemonsterend in het najaar van 2020. Zie Tabel 28 voor een beschrijving van de bemonsterde locaties.

Table 7. Chemical composition of the pore water (0-5 cm) at 17 locations where hummock-building peat mosses are well established. The pore water was sampled in the autumn of 2020. See Tabel 28 for a description of the sampled locations.

Datum	Gebied	Locatiecode	pH	CO ₂ µmol/l	HCO ₃ µmol/l	EGV µS/cm	E ₅₆₀	NO ₃ µmol/l	NH ₄ µmol/l	PO ₄ µmol/l	Na µmol/l	K µmol/l	Cl µmol/l	Al µmol/l	Ca µmol/l	Fe µmol/l	Mg µmol/l	Mn µmol/l	P µmol/l	S µmol/l	Si µmol/l	Zn µmol/l
22-10-2020	Fochteloerveen	FLV1	4,38	171	2	80,7	0,017	4,7	6,2	0,2	226	120,7	298	3,2	53,3	2,4	29,6	3,0	1,4	26	9,5	4,5
22-10-2020	Fochteloerveen	FLV2	3,90	365	1	77,2	0,030	1,1	1,4	0,0	238	17,7	276	1,1	2,1	6,2	22,8	0,2	0,4	17	7,8	1,5
22-10-2020	Fochteloerveen	FLV3	3,81	89	0	79,6	0,024	1,2	2,0	0,0	226	26,6	321	0,9	9,9	1,9	32,4	0,7	1,0	17	8,9	2,2
26-10-2020	Haaksbergerveen	HBV1	4,49	252	3	50,2	0,018	2,4	0,3	0,2	128	22,6	143	2,8	7,4	2,1	10,9	0,3	0,2	9	6,0	1,0
26-10-2020	Haaksbergerveen	HBV2	4,09	101	1	71,8	0,045	3,3	63,1	0,2	157	31,5	146	4,7	19,4	5,7	18,3	1,0	0,5	43	11,4	4,5
26-10-2020	Haaksbergerveen	HBV3	3,95	120	0	62,7	0,014	2,9	4,5	0,1	116	9,9	146	2,3	12,1	2,8	18,7	0,9	0,2	12	5,9	0,7
26-10-2020	Witte Veen	WV1_toplaag	4,20	60	0	49,3	0,020	4,0	21,9	0,3	54	68,6	120	5,5	17,8	5,1	10,8	1,1	0,6	32	12,6	4,0
29-10-2020	Mariapeel	MP1_veld	4,40	61	1	29,7	0,045	1,1	2,6	0,2	45	11,4	93	3,0	19,7	2,2	7,7	0,3	0,1	25	6,5	3,6
29-10-2020	Mariapeel	MP2_veld	4,23	41	0	.	0,013	5,3	11,9	1,0	30	56,0	206	2,5	28,5	7,1	10,0	1,7	1,0	43	8,8	2,9
5-11-2020	Oosterbos	OB1	4,03	302	1	77,4	0,049	2,1	1,7	0,4	188	15,0	84	1,6	8,0	4,9	15,4	0,2	1,0	13	11,7	1,5
5-11-2020	Oosterbos	OB2	3,83	393	1	96,6	0,035	2,0	1,9	0,0	78	3,4	126	1,6	7,2	2,1	3,7	0,2	0,3	13	13,1	2,0
5-11-2020	Bergerveen	BV1	4,48	392	5	55,0	0,204	2,7	76,9	2,3	144	33,7	150	3,9	11,6	4,4	16,1	0,2	4,6	21	12,6	0,6
5-11-2020	Bergerveen	BV2_toplaag	3,93	219	1	110,9	0,821	7,6	157,1	5,3	182	84,1	294	15,8	33,4	14,7	31,9	1,6	11,1	73	27,8	0,9
10-11-2020	Engbertsdijkvenen	EBV1_s_mag	4,12	522	3	87,0	0,051	1,1	3,0	0,3	296	0,3	79	3,6	41,5	14,8	44,8	0,8	0,8	28	10,2	2,5
10-11-2020	Engbertsdijkvenen	EBV1_s_cusp	4,70	790	17	86,5	0,044	0,9	9,5	0,3	261	5,0	74	3,9	28,3	11,1	56,0	1,2	0,7	23	9,8	1,5
10-11-2020	Engbertsdijkvenen	EBV2	4,85	439	13	85,9	0,016	0,7	1,5	0,3	300	10,9	198	1,1	22,6	3,4	33,5	1,0	0,7	14	10,4	1,2
16-11-2020	Aamsveen	AV1_veld	3,75	406	1	101,7	0,098	1,9	4,5	0,6	217	9,1	168	10,4	30,2	9,5	36,1	0,0	1,4	46	14,9	1,0
16-11-2020	Aamsveen	AV2_veld	4,06	376	2	85,4	0,133	2,5	8,3	0,7	256	10,4	204	11,3	63,0	21,0	70,0	0,5	1,5	83	18,5	1,7
5-10-2020	Haaksbergerveen	HBV_Blok 1 t/m 4	3,73	1228	3	118	0,053	1,9	4,0	1,8	302	30	416	3,3	26,1	16,5	26,5	0,2	3,5	23,8	8,7	3,6
15-10-2020	Bergerveen	BV_Blok 1 t/m 4	4,01	2121	9	69	0,020	1,4	1,4	0,6	224	2	216	1,3	8,3	4,5	12,5	0,1	1,1	9,7	8,5	1,6
28-10-2020	Deurnsche Peel	DP_Blok 1 t/m 4	4,15	1019	7	82	0,087	1,2	86,7	0,8	198	21	225	7,3	33,0	9,1	22,3	0,2	1,3	38,4	8,5	2,0
28-10-2020	Deurnsche Peel	DP_Blok 5 t/m 8	3,92	261	1	84	0,087	18,4	38,8	1,2	112	15	166	6,8	33,2	3,5	35,6	0,1	2,2	65,4	9,6	5,1
28-10-2020	Mariapeel	MP_Blok 1 t/m 4	3,88	523	2	95	0,084	2,3	23,8	0,8	130	16	178	9,8	45,6	11,8	35,1	0,2	1,2	68,8	18,2	3,1

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn

Het Kennisnetwerk Ontwikkeling Beheer Natuurkwaliteit:

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



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

Vereniging van bos- en natuurterreineigenaren (VBNE)

Princenhof Park 7
3972 NG Driebergen
0343-745250
info@vbne.nl

Alle publicaties en
producten van het
OBN Kennisnetwerk
zijn te vinden op
www.natuurkennis.nl

ontwikkeling+beheer natuurkwaliteit

o+bn



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit

