

Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten

Rapportage vervolgmonitoring 2022 OBN-2017-37-NZ en
voortgangsverslag 2022 onderzoek Noord-Brabant
door Nat zandlandschap



Colofon

©2024 VBNE, Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren

Rapport- en projectnummer OBN-2017-37-NZ
Driebergen, 2024

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

Auteursrecht

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

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

Wijze van citeren

Tomassen, H.B.M., J. Limpens & J. Nijp, 2022. Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten - Rapportage vervolgmonitoring 2022 OBN-2017-37-NZ en voortgangsverslag 2022 onderzoek Noord-Brabant. Rapportnummer OBN-2017-37-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 University & Research
Dr. J.J. Nijp	KWR

Productie

Vereniging van Bos- en Natuurterreineigenaren (VBNE)
Adres Princenhof Park 7, 3972 NG Driebergen
Telefoon 0343 – 745 250
E-mail obn@vbne.nl

Inhoud

Samenvatting	4
Summary	11
1. Inleiding	18
1.1 Belang acrotelmontwikkeling	18
1.2 Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling	19
1.3 Kennisvragen maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling	20
1.4 Onderzoek naar maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling	20
1.5 Leeswijzer	21
2. Herintroductie op plas-dras zwartveen	22
2.1 Inleiding.....	22
2.2 Materiaal en methoden.....	22
2.3 Resultaten 2022.....	22
2.3.1 Hydrologie.....	22
2.3.2 Veenmosontwikkeling	27
2.3.3 Chemische samenstelling bodemvocht	36
2.4 Conclusies herintroductie op plas-dras zwartveen	41
3. Herintroducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos	42
3.1 Inleiding.....	42
3.2 Materiaal en methoden.....	42
3.3 Resultaten 2022.....	43
3.3.1 Veenmosontwikkeling	43
3.3.2 Chemische samenstelling bodemvocht	48
3.4 Conclusies herintroducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos	50
4. Literatuur	51
5. Bijlagen	53
Bijlage 1. Chemische samenstelling bodemvocht.....	53
Bijlage 2. Chemische analyses	59

Samenvatting

Inleiding

In Nederlandse hoogveenrestanten worden veel inspanningen verricht om actieve hoogveenvorming 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 hun afgestorven weefsel moeilijk afbreekt. 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 waterhuishouding hersteld, maar het herstel van de bultvormende veenmossen, en daarmee de vorming van een nieuwe acrotelm, blijft uit.

Doel van het onderzoek en onderzoeksvragen

Dit onderzoek had tot doel te verkennen 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 nog niet voor Nederland bekend.

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 deze over een langere periode harder groeit dan de slenksoorten in zijn omgeving. Bij stabiel vochtige omstandigheden kunnen slenksoorten harder groeien dan bultsoorten. 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.

De volgende onderzoeksvragen stonden centraal:

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?

Voor de beantwoording van deze onderzoeksvragen werden tussen 2017 en 2021 twee onderzoeksprojecten 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).

De resultaten van beide onderzoeksprojecten werden uitgebreid beschreven in de eindrapportage (Tomassen e.a., 2022). Vanwege het grote aantal droge jaren (2018, 2019 en 2020) binnen het onderzoek was het lastig om een betrouwbaar antwoord te geven op de hierboven genoemde kennisvragen. Er werd daarom vanuit de VBNE financiering beschikbaar gesteld om de lopende veldexperimenten in 2022 te monitoren. Daarnaast is in het najaar van 2022 subsidie aangevraagd voor vervolgmonitoring van de experimenten in de Deurnsche Peel en Mariapeel in de periode 2022-2024.

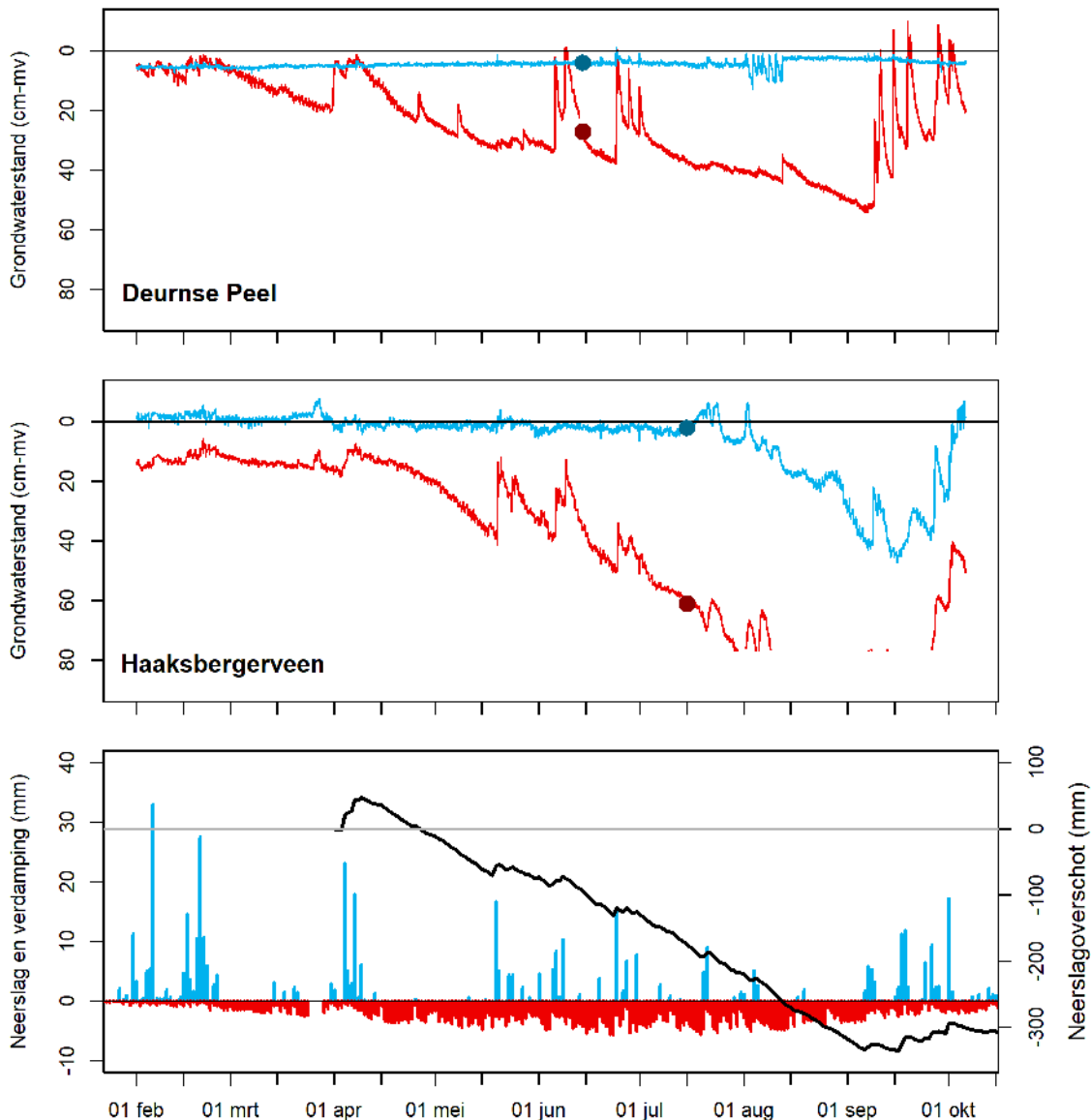
Aanpak van het onderzoek

Het onderzoek werd uitgevoerd in het Bargerveen, Haaksbergerveen en Deurnsche Peel en Mariapeel. In 2022 werden ten behoeve van de beantwoording van kennisvragen 1b en 2 de volgende experimenten gemonitord:

- Experimentele herintroductie van bultvormers op plas-dras vernat zwartveen (Hoofdstuk 2)
- Experimentele herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos (Hoofdstuk 3)

Experimentele herintroductie bultvormers op plas-dras vernat zwartveen

Uit eerder uitgevoerde laboratoriumexperimenten is bekend dat bultvormende veenmossen zich in principe goed kunnen uitbreiden op plas-dras vernat zwartveen zolang de waterstand stabiel hoog blijft. In de veldsituatie schommelen de waterstanden echter vaak sterk vanwege de lage bergingscapaciteit van zwartveen. 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 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.

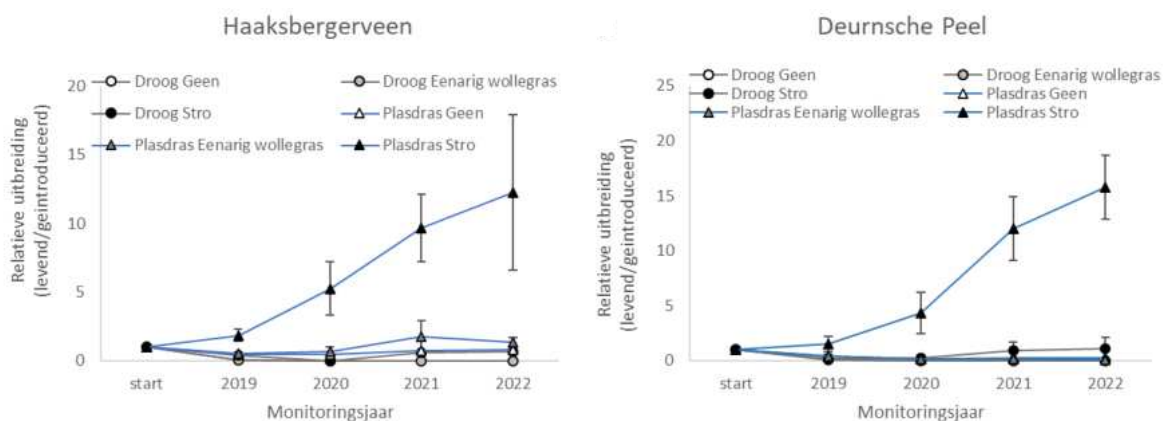


Figuur A. Als gevolg van de droogte in 2022 zijn de grondwaterstanden op de droge referentie (rood) locaties diep weggezakt. Door problemen met de wateraanvoer daalde in het Haaksbergerveen vanaf augustus 2022 ook de grondwaterstand op de plas-dras (blauw) locaties. In de Deurnsche Peel zijn de grondwaterstanden op de plas-dras locaties (vrij) stabiel en hoog gebleven.

Het groeiseizoen van 2022 was, net als 2018 t/m 2020, weer uitzonderlijk droog ten opzichte van het gemiddelde klimaat van Nederland. De wateraanvoer in de Deurnsche Peel heeft dit jaar zonder grote problemen gefunctioneerd waardoor de waterstanden in het veen stabiel hoog waren (Figuur A). Het tekort aan neerslag is goed te zien aan de grondwaterstanden van het droge compartiment waarbij vanaf augustus de grondwaterstand langdurig dieper dan 40 cm-mv wegzakt. In het Haaksbergerveen kon er vanaf augustus geen water meer worden aangevoerd, waardoor de grondwaterstand tot 45 cm beneden maaiveld kon uitzakken (Figuur A).

De monitoring van de ontwikkeling van de geïntroduceerde bultvormende veenmossen in 2022 bevestigt de eerder getrokken conclusies (Tomassen e.a., 2022):

- 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 waterhuishouding 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 veenmos successie, maar ook de successie van hogere planten stimuleert.
- 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 veenmos planten per m², lijkt een goede middenweg.
- Herintroductie via fragmenten bedekt met een laagje stro is een efficiëntere methode van herintroductie op kaal veen dan herintroductie via bundels veenmos.
- Herintroductie succes lijkt beperkt gevoelig voor het soort bultvormend veenmos, en lijkt te variëren met de mate van droogtestress die het mos ondervindt. Keuze van 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. Vanaf een veenmosbedekking van c. 45% lijkt het veenmos in staat de hogere plantengroei te beperken. Tot die tijd gaat groei van hogere planten door en kan herintroductie succes van bultvormende veenmossen in de weg gaan zitten. Voortzetting van monitoring is aan te raden om over dit laatste meer zekerheid te krijgen.



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



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; situatie oktober 2022; situatie oktober 2022).*

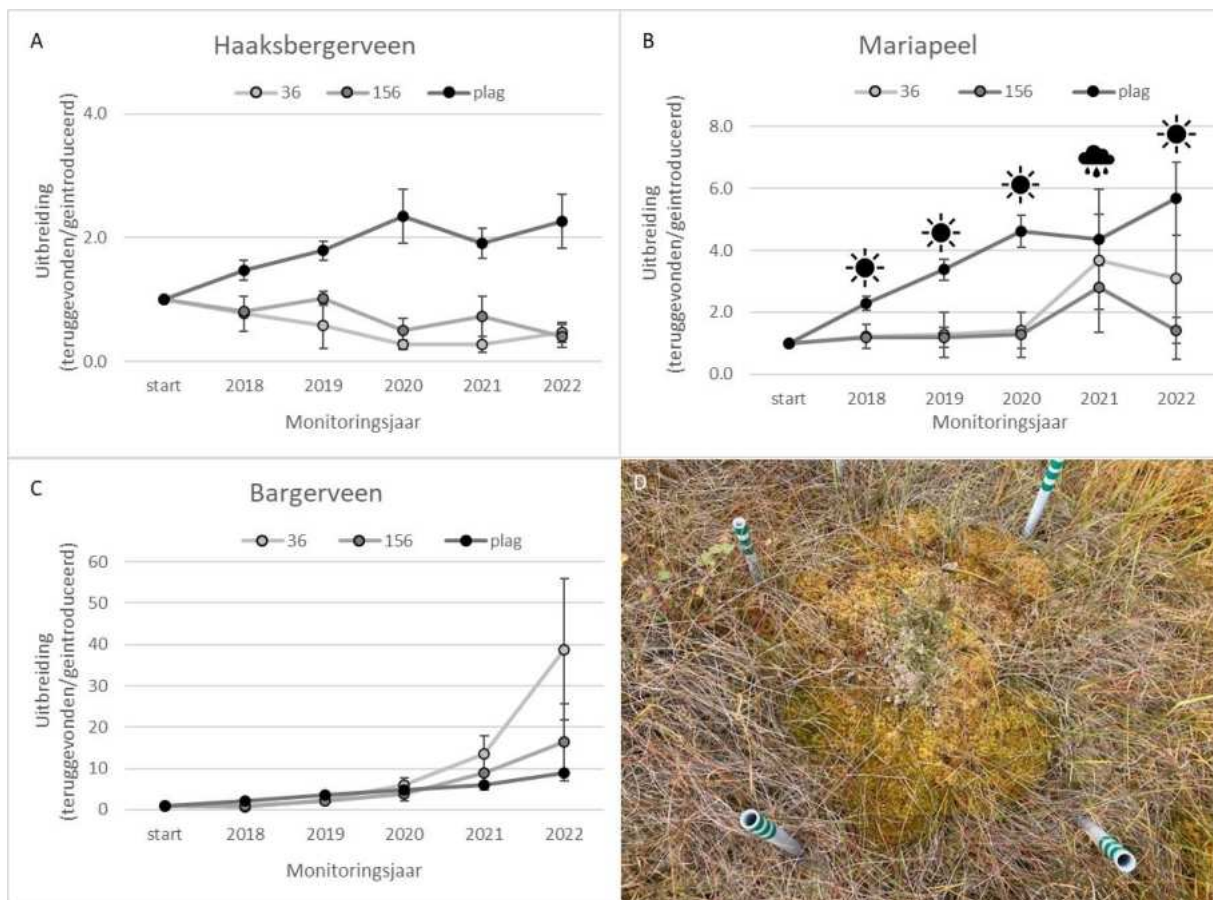
Experimentele herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos

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.

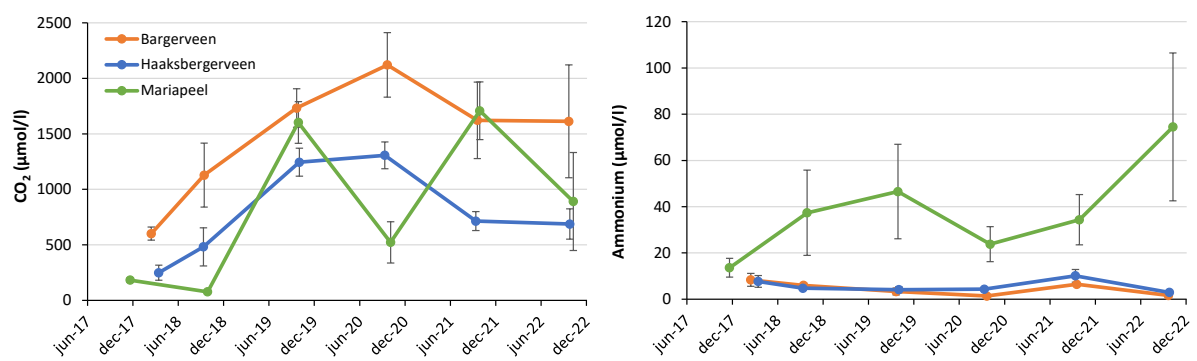
Aangezien het drijvende vegetaties betreffen hebben de bultvormers minder last gehad van de droogte in de periode 2018-2020 en het jaar 2022.

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).
- Herintroductie van bultvormende veenmossen kan zowel in slenken met Waterveenmos als Fraai veenmos waar de waterstand stabiel is.
- Herintroductie succes 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.
- 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 D. *Uitbreiding van bultvormende veenmossen in een slenkvegetatie neemt toe met de dichtheid van herintroductie.*



Figuur E. *De succesvolle uitbreiding van Wrattig veenmos in Fraai veenmos in het Bargerveen lijkt gerelateerd te zijn aan een hoge CO₂-concentratie in het bodemvocht. Als gevolg van de decennialange hoge stikstofdepositie zijn de ammoniumconcentraties in het bodemvocht in de Mariapeel veel hoger dan in het Bargerveen en Haaksbergerveen.*

Summary

Introduction

In degraded Dutch raised bogs, much effort is put into restoring active peat formation. An important step is re-establishing 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* in the Netherlands, have the right characteristics to build an acrotelm, since they are able to grow above the local water table and produce poorly decomposable peat. 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, contributing little to hydrologic self-regulation. The recovery of a self-regulating peat forming ecosystem 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 water table has been restored in many degraded bogs, but the recovery of the hummock-building peat mosses, and thus the formation of a new acrotelm, is lagging behind.

Aim of the study and research questions

The aim of this research was to determine 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 availability of the introduced peat mosses is of crucial importance. The moisture content 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 carpet that increases in thickness, the mosses can regulate their own water balance better, gradually making external buffering of water balance and microclimate less important. Which reintroduction density and 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. Which density of reintroduction works best and whether reintroduction is successful depends on the peat moss species, and the type of bog vegetation introduced, were to date unknown.

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).

The results of both research projects were described in detail in the final report (Tomassen et al., 2022). Due to the significant number of dry years (2018, 2019 and 2020) within the study period, it was difficult to provide reliable answers to the knowledge questions mentioned above. Funding was therefore made available from the VBNE to continue the monitoring of the field experiments in 2022. In addition, funding was requested in autumn 2022 for follow-up monitoring of the experiments in the Deurnsche Peel and Mariapeel in the period 2022-2024.

Approach of the research

The research was carried out in the Bargerveen bog, Haaksbergerveen bog and Deurnsche Peel and Mariapeel bog. In 2022, for the aim of answering research questions 1b and 2, the following experiments were monitored:

- Experimental reintroduction of hummock-builders in bare, strongly humified peat (Chapter 2)

- Experimental reintroduction of hummock-builders in hollow vegetations dominated by *S. cuspidatum* or *S. fallax* (Chapter 3)

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

From previous laboratory experiments it is known that hummock-building peat mosses can expand well on wet, strongly humified peat. Due to the low water storage capacity of strongly humified peat, the groundwater levels 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 groundwater level was kept artificially near the peat surface in one part of the experiment by a continuous supply of local 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 enabled us 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 tussocks 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.

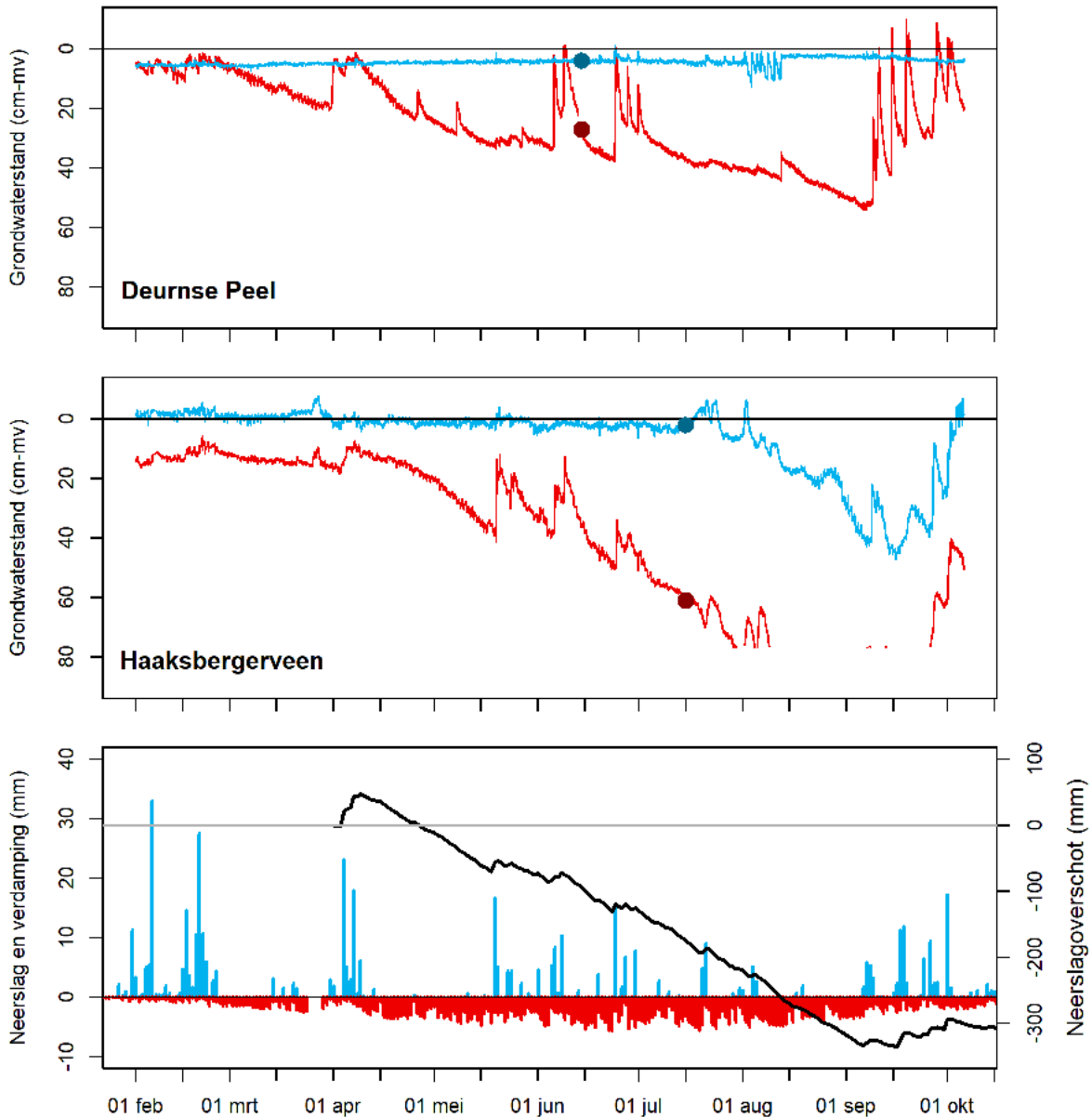


Figure A. As a result of the rainfall deficit in 2022, groundwater levels at the dry reference (red) sites dropped significantly. Due to lack of surface water, in the Haaksbergerveen bog, water levels at the wet, “plas-dras” (blue) sites also declined from August 2022. In the Deurnsche Peel bog, groundwater levels at the “plas-dras” locations remained (fairly) stable and shallow.

The rainfall deficit in the 2022 growing season was again exceptional compared to the average climate of the Netherlands. This year, the water supply in the Deurnsche Peel operated without major problems, resulting in stable high-water levels in the peat (Figure A). The lack of precipitation is clearly visible in the groundwater levels of the dry compartment, where the level dropped to more than 40 cm below surface level from August onwards. In the Haaksbergerveen bog, water could no

longer be supplied from August, allowing the groundwater level to drop 45 cm below ground level (Figure A).

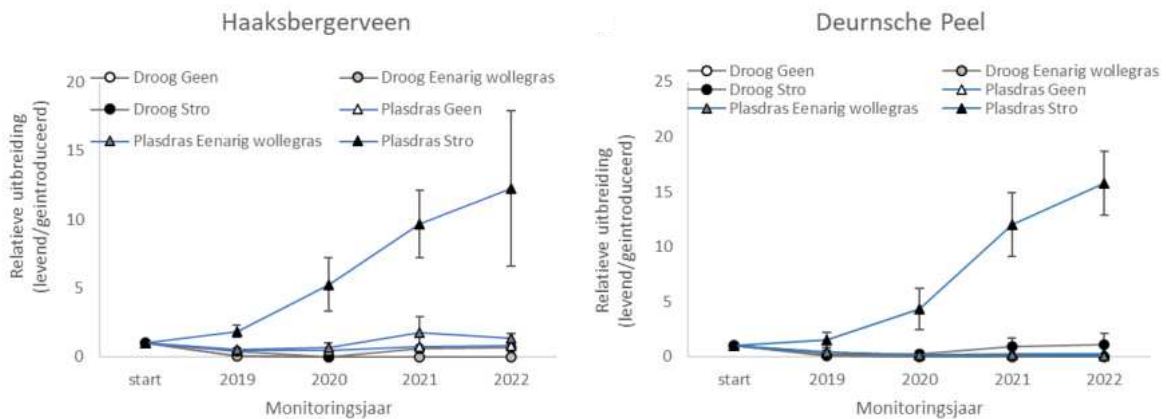


Figure B. Expansion of hummock-building peat mosses is highest in plots with straw mulch shelter and water supply (blue line: black triangles).

Monitoring the development of the reintroduced hummock-building peat mosses in 2022 confirms the conclusions drawn in Tomassen et al. (2022):

- 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 water management, 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.
- 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.
- Reintroduction via fragments covered with a layer of straw mulch is a more efficient method of reintroduction on bare peat than reintroduction via bundles of peat moss.
- Reintroduction success seems rather insensitive to the species of hummock-building peat moss and seems to vary with the degree of drought stress experienced by the moss. Choice of peat moss species thus becomes a pragmatic decision: the most available hummock-building peat moss species can be used for reintroduction.
- Establishment and development of vascular plants is encouraged by application of straw mulch. From a peat moss cover of about 45%, peat moss seems able to limit vascular plant growth. Until then, growth of vascular plants continues and may limit reintroduction success of hummock-building peat mosses. Continued long-monitoring is advised and required to get more certainty on the latter.



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; situation October 2022).

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 and the year 2022.

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 relatively insensitive for peat moss species. 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.

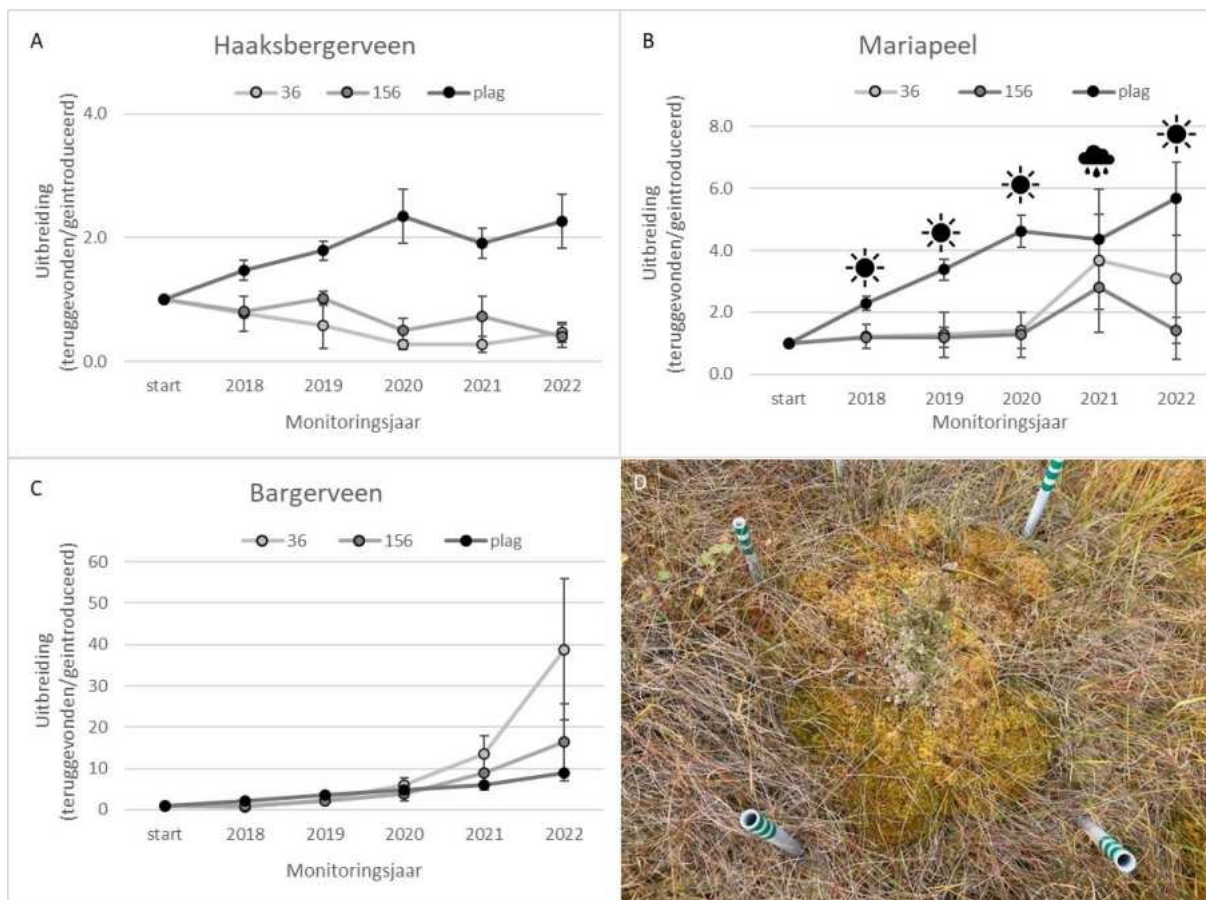


Figure D. Expansion of hummock-building peat mosses in hollow vegetation increases with the density of reintroduction and differs per area and species of peat moss.

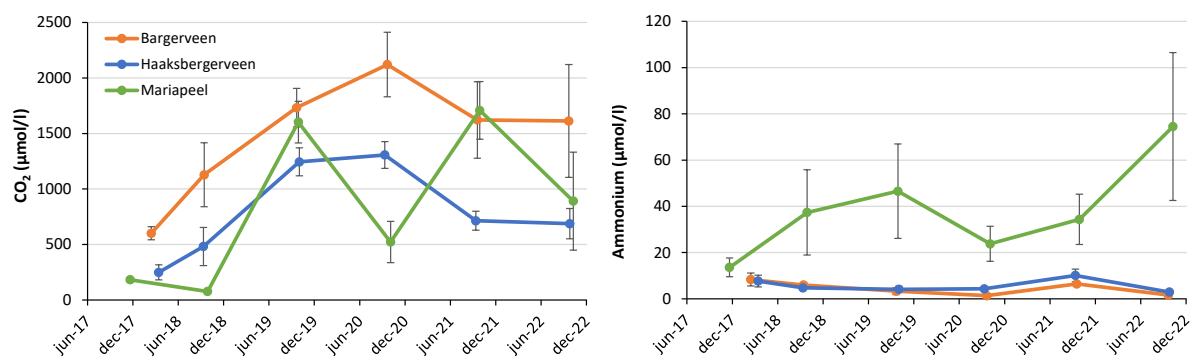


Figure E. The successful expansion of *Sphagnum papillosum* in *Sphagnum fallax* in the Bargerveen bog seems to be partly related to the high CO₂ concentration in the soil moisture. As a result of decades of high nitrogen deposition, ammonium concentrations in soil moisture in the Mariapeel bog are much higher than in the Bargerveen bog and Haaksbergerveen bog.

1. Inleiding

1.1 Belang acrotelmontwikkeling

In Nederlandse hoogveenrestanten worden veel inspanningen verricht 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

- en 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”

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

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.

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 hoogtegroe van veenmos in de eerste successiestadia. Dit leidt ertoe dat eerder het punt bereikt wordt waarop de 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 Maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling

Herstelmaatregelen in hoogvenen hebben tot nu toe geresulteerd in de ontwikkeling van ca. 7 ha van het habitatype Actief hoogveen, met name in restanten van komhoogvenen (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 hoogvenen 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 vochthuishouding 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).

1.3 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?*

a) 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?

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?

1.4 Onderzoek naar maatregelen ter versnelling van acrotelmontwikkeling

Om meer inzicht te krijgen in mogelijke maatregelen ter versnelling van de ontwikkeling van een acrotelm 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).

De monitoring van de OBN-experimenten werd in het najaar van 2020 beëindigd. In het voorjaar is vanuit het VBNE extra financiering gekomen om de OBN-experimenten ook in 2021 nog te kunnen monitoren. Met deze vervolgmonitoring in 2021 is de looptijd van het OBN-onderzoek en het

onderzoek in Noord-Brabant (Peelvenen) gelijkgetrokken (2017-2021). De resultaten van beide onderzoeksprojecten zijn uitgebreid beschreven in de eindrapportage (Tomassen e.a., 2022).

Vanwege het grote aantal droge jaren (2018, 2019 en 2020) binnen het onderzoek was het lastig om een betrouwbaar antwoord te geven op de kennisvragen uit paragraaf 1.3. Er is daarom vanuit het VBNE opnieuw extra financiering beschikbaar gesteld om de veldexperimenten in 2022 te monitoren. Daarnaast is in het najaar van 2022 subsidie aangevraagd voor vervolgmonitoring van de experimenten in de Deurnsche Peel en Mariapeel in de periode 2022-2024. Het vervolgonderzoek maakt het mogelijk om een meer betrouwbaar antwoord te geven op kennisvragen 1b en 2 (zie paragraaf 1.3). Er is geen nader onderzoek uitgevoerd naar maatregelen om vanuit een aquatische situatie veenmosontwikkeling te stimuleren (kennisvraag 1a in paragraaf 1.3).

1.5 Leeswijzer

Deze rapportage beschrijft de resultaten van de monitoring in 2022 en is als volgt opgebouwd:

- Hoofdstuk 2: experimentele herintroductie bultvormers op plas-dras vernat zwartveen
- Hoofdstuk 3: experimentele herintroductie van bultvormers in slenkvegetaties gedomineerd door Waterveenmos of Fraai veenmos

In hoofdstuk 4 een overzicht van de gebruikte literatuur opgenomen, gevolgd door de bijlagen in hoofdstuk 5.

2. Herintroductie op plas-dras zwartveen

2.1 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.

2.2 Materiaal en methoden

Voor een uitgebreide beschrijving van de opzet van de experimenten op plas-dras zwartveen in het Haaksbergerveen en de Deurnsche Peel zie de eindrapportage (Tomassen e.a., 2022). In 2022 werd de monitoring van de experimenten in het Haaksbergerveen en Deurnsche Peel op vergelijkbare wijze uitgevoerd. De waterstanden in zowel het controle als plas-dras compartiment werden continu gemonitord met behulp van automatische drukopnemers. In oktober 2022 werd de uitbreiding van de geherintroduceerde veenmossen vastgelegd en werd de chemische samenstelling van het bodemvocht bepaald.

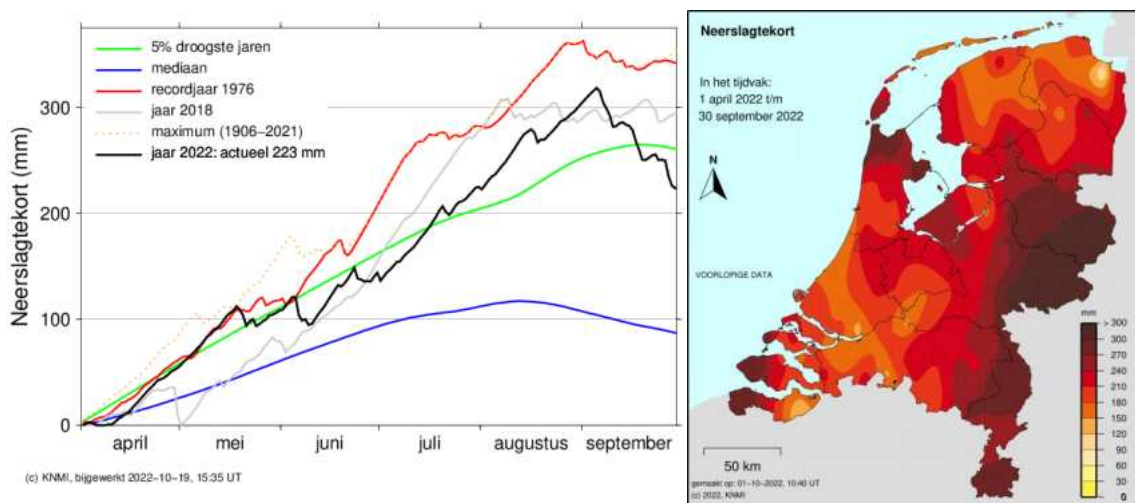
2.3 Resultaten 2022

2.3.1 Hydrologie

In deze paragraaf wordt de waterhuishouding beschreven van de locaties Deurnsche Peel en Haaksbergerveen voor het jaar 2022. Deze beschrijving bouwt voort op voorgaande jaren (zie eindrapport Tomassen e.a., 2022). Ook dit jaar is grondwaterstand gebruikt als indicatie voor vochtbeschikbaarheid in de levende veenmoslaag en om te controleren of de waterhuishouding in de plas-dras compartimenten op orde is. Net als in de eerdere jaren is de grondwaterstand continue op afstand gemonitord met een telemetriesysteem. Dit maakte het mogelijk om zowel een beeld van de waterhuishouding in de experimenten te verkrijgen alsook problemen met de wateraanvoer te identificeren in het plas-dras compartiment. De gegevens worden opgeslagen en verstuurd via zogeheten nodes. De batterijen van deze nodes waren leeg, waardoor de nodes (in zijn geheel) vervangen zijn op 13 juni 2022 (Deurnsche Peel) en 17 juli 2022 (Haaksbergerveen).

Weer

Sinds de start van het experiment is de hoeveelheid neerslag zeer beperkt geweest. Alleen het jaar 2021 was relatief nat. Ook 2022 was weer uitzonderlijk droog ten opzichte van het gemiddelde klimaat van Nederland (30 jaar). Het groeiseizoen ging droog van start, en de droogte hield lang aan tot aan het eind van de zomer (**Figuur 1**). Vooral in het oosten van het land liep het neerslagtekort hoog op (**Figuur 1**). Alhoewel minder representatief voor het huidige klimaat, zijn deze droge jaren wel een goede reflectie van het klimaat in de toekomst, waarbij minder zomerse neerslag zal vallen.



Figuur 1. Links: Doorlopend potentieel neerslagtekort voor 2022 (referentiegewas, berekend volgens methode Makkink), het droge jaar 2018, en gemiddelde situatie. Gegevens zijn gemiddeld over alle weerstations. Rechts: Ruimtelijke verspreiding van het maximale potentieel neerslagtekort in. Bron: KNMI (2022)

Figure 1. Left: Cumulative potential rainfall deficit for 2022 (reference crop, calculated following the Makkink procedure), the dry year 2018, and average climatic conditions (KNMI, 2021). Data represent spatial average of whole of the Netherlands. Right: spatial distribution of maximum potential rainfall deficit in 2022. Source: KNMI (2022).

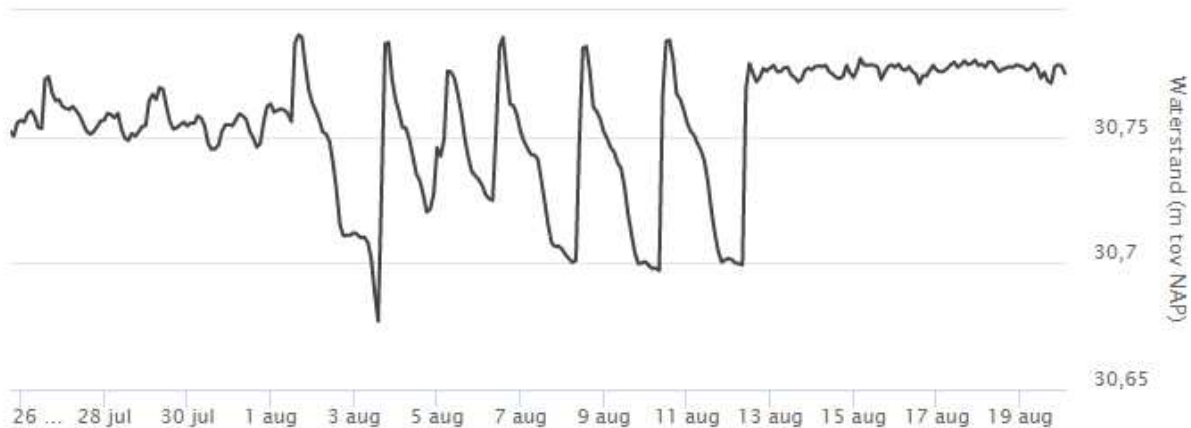
Deurnsche Peel

De pomp bij de Deurnsche Peel functioneerde tot augustus naar behoren (**Figuur 3**). Vanaf 1 augustus tot en met 12 augustus traden in het plas-dras compartiment enkele fluctuaties op waarbij de grondwaterstand in twee dagen ca. 8 - 10 cm uitzakte en binnen enkele uren weer werd aangevuld (**Figuur 2**). Dit duidt op gebrekkig functioneren van de pomp. Bij veldbezoek bleek het peil van de vlotter verhoogd (oorzaak onduidelijk), waardoor de waterstand in het gehele compartiment ca. 3 centimeter hoger uitpakte (zie piekje op 1 augustus). Deze waterstandverhoging leidde ertoe dat water via maaiveld over de overloop uitstroomde, en de pomp dus de hele dag aan stond en stroom verbruikte. Bij te lage accuspanning slaat de pomp automatisch uit, tot deze weer flink is opgeladen. Dit probleem was simpel te verhelpen door de positie van de vlotter aan te passen. Vanaf 13 augustus wordt weer heel goed een constant peil gehandhaafd (**Figuur 2**). De fluctuaties van maximaal 10 cm diepere waterstand hebben naar verwachting geen belangrijk effect gehad op veenmosgroei: droogte treedt pas op als grondwaterstanden ten minste 20 cm beneden maaiveld staan. Ook ten

opzichte van de diepe (> 60 cm-mv) uitzakkingen die in 2018 t/m 2020 zijn opgetreden is de in 2022 opgetreden fluctuatie zeer beperkt te noemen.

Een punt van aandacht is dat er door heterogeniteit van maaiveldhoogte delen van het compartiment relatief laag liggen ten opzichte van andere locaties. Dit heeft als gevolg gehad dat er door het warme en stilstaande water op de natte delen algengroei is opgetreden. Hoe dit effect heeft gehad op de veenmosgroei is nog onbekend.

Het tekort aan neerslag is terug te zien in de grondwaterstanden van het droge, onbevloede, compartiment (**Figuur 3**). In augustus geraakt de grondwaterstand langdurig dieper dan 40 cm-mv. Bij neerslag in oktober geraakt de grondwaterstand in dit compartiment een paar centimeter boven maaiveld. Het ontstaan van plasvorming op deze locatie ligt niet voor de hand, maar kan verklaard worden door de foutmarge die gepaard gaat met handmetingen en ruimtelijke variabiliteit in maaiveldhoogte. Een andere verklaring is dat het maaiveld geen constante is, zoals aangenomen in deze figuur, maar in werkelijkheid meebeweegt met grondwaterstandsveranderingen.



Figuur 2. Fluctuaties grondwaterstand Deurnsche peel in augustus 2022 (meter ten opzichte van NAP).

Figure 2. Fluctuating groundwater levels at Deurnsche peel bog during August 2022 (meters relative to mean sea level).

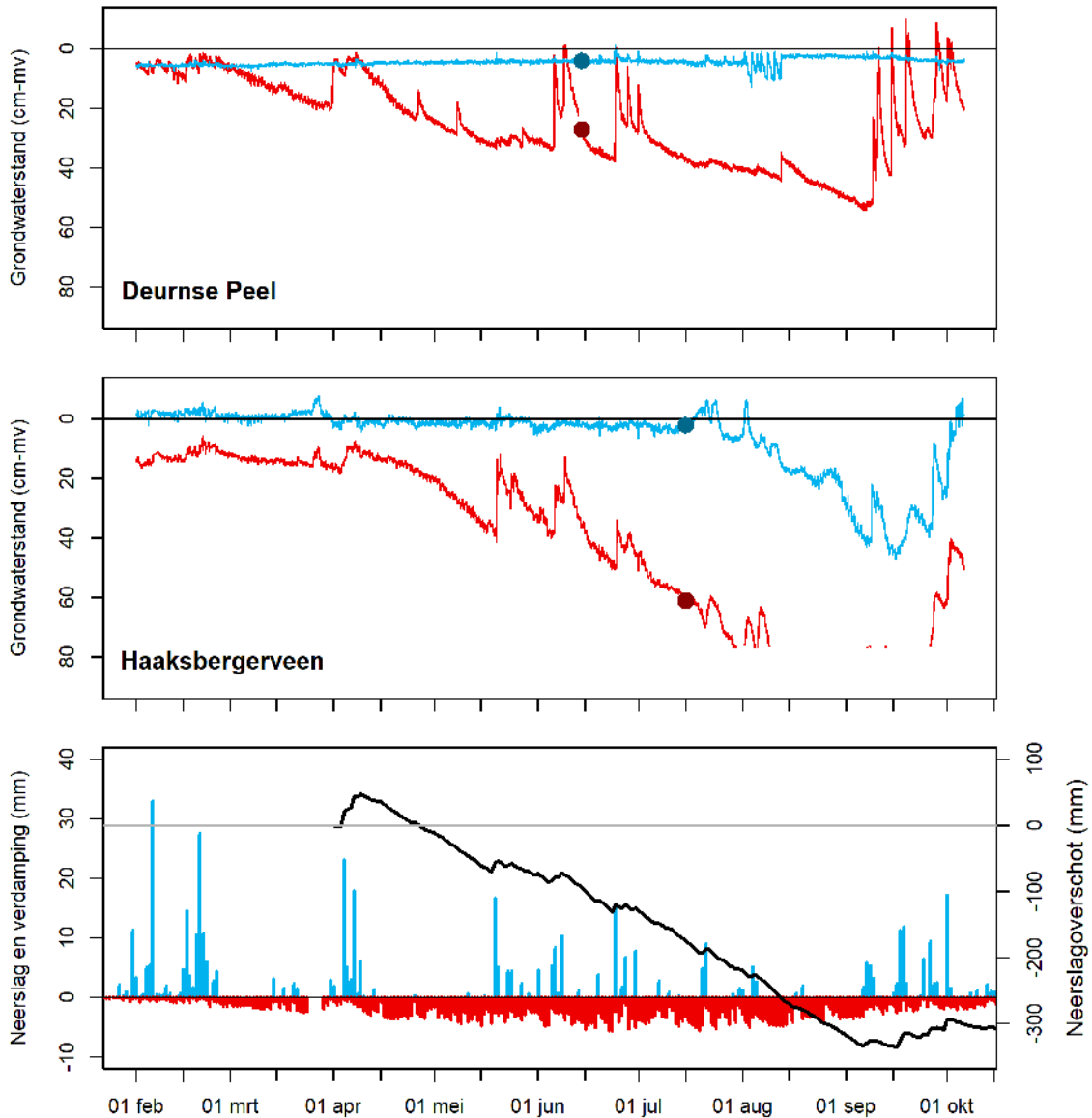
Haaksbergerveen

In het Haaksbergerveen kon het peil tot eind van de zomer goed worden gehandhaafd met aanvoer van oppervlaktewater uit de nabijgelegen plas (**Figuur 3**). Tijdens het veldbezoek in juli was reeds duidelijk dat het neerslagtekort tot aanzienlijke droogtestress heeft geleid in het Haaksbergerveen: veenmossen waren wit uitgeslagen in omliggende veenputten. In het plas-drascompartiment was op dat moment visueel echter nog geen effect van neerslagtekort zichtbaar: veenmossen in het plas-dras compartiment waren nog groen. Dit geeft aan dat water capillair via grondwater aangevoerd kon worden en effectief het neerslagtekort en droogtestress heeft tegengegaan.

Vanaf augustus was het neerslagtekort echter dermate hoog opgelopen dat er geen water meer in de aanvoerplas stond. Als gevolg daarvan kon ook geen water worden aangevoerd naar het plas-dras compartiment. We waren daardoor genoodzaakt om de pomp uit te schakelen, om schade aan de pomp te voorkomen. De waterstand zakte steeds dieper uit en geraakte in september tot 45 cm beneden maaiveld. In het droge compartiment zonder aanvoer van water daalde de

grondwaterstand al vanaf begin april, die na onderbreking van neerslag in mei en juni verder daalde tot (ver) beneden het bereik van de drukopnemer (ophanghoogte 75 cm beneden maaiveld). De grondwaterstand was in het droge compartiment gedurende een periode van tenminste drie maanden dieper dan 40 centimeter.

De waterdruk wordt in dit onderzoek met drukopnemers gemeten. Deze worden automatisch gecorrigeerd voor veranderingen in luchtdruk. De tijdreeks vertoonde onverklaarbare gegevens, en bij nadere studie bleek de luchtdruksensor van de nieuw geplaatste node defect. Voor het Haaksbergerveen is, in tegenstelling tot voorgaande jaren, daarom de waterdruk gecompenseerd met behulp van gemeten luchtdruk op KNMI-weerstation Twente.



Figuur 3. Tijdreeksen van grondwaterstanden ten opzichte van maaiveld in de Deurnsche Peel (boven), Haaksbergerveen (midden) en neerslag en verdamping (onder). De grondwaterreeksen zijn van de plas-dras (blauw) en droge referentie locaties (rood). In de onderste figuur zijn de etmaalsommen van neerslag (blauwe balken) en verdamping (rode balken) weergegeven. Verdamping is geschat op basis van potentiële Makkink verdamping van een referentiegewas. De lijn geeft het verloop van het cumulatief neerslagoverschot weer (as linkerkant). De meteorologische gegevens zijn afkomstig van KNMI-weerstation Twente.

Figure 3. Timeseries of groundwater levels (relative to peat surface) at Deurnsche Peel (top), Haaksbergerveen (middle) for the compartment with controlled wet conditions (blue) and the dry reference (red). The bottom panel represents daily sums of precipitation and evapotranspiration. Evapotranspiration is estimated using potential Makkink evapotranspiration of reference grass. The line represents cumulative potential rainfall surplus (left axis). Weather data originate from KNMI station Twente.

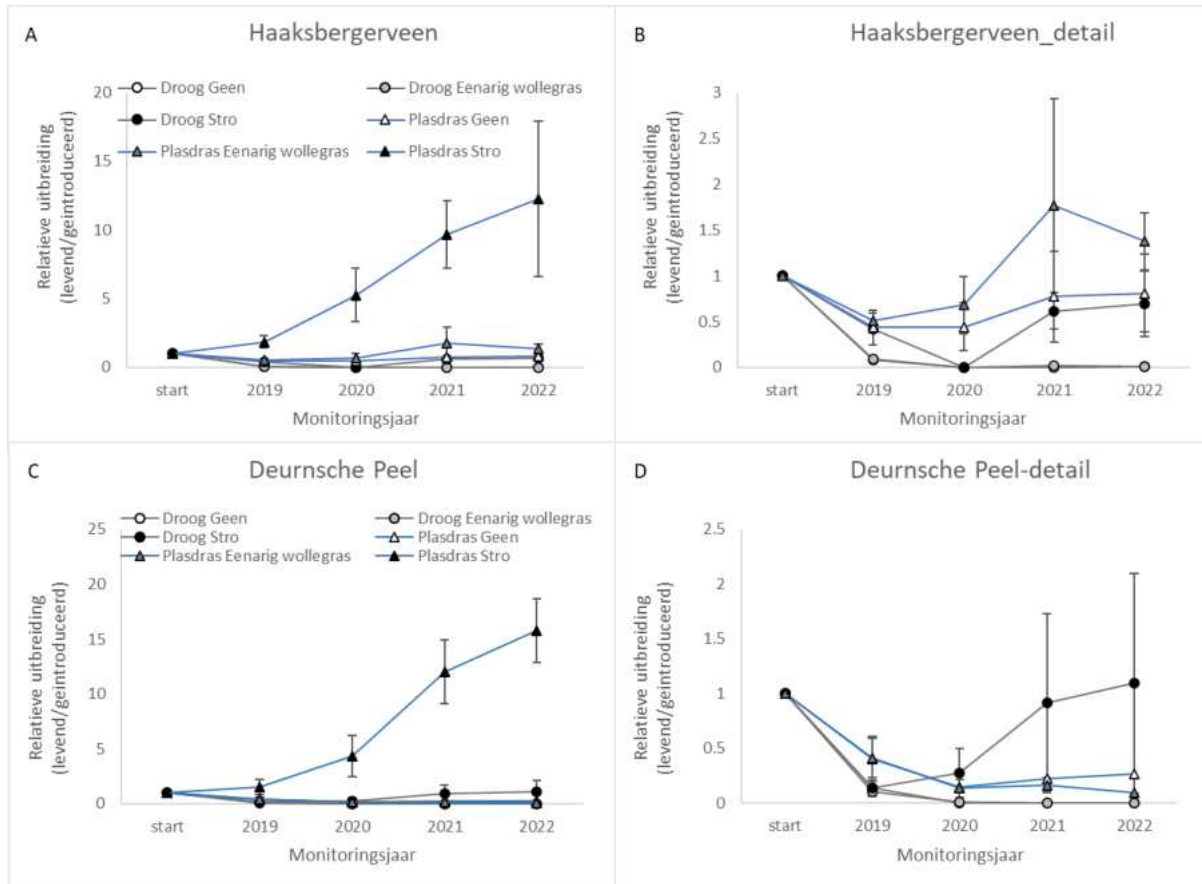
2.3.2 Veenmosontwikkeling

In oktober 2022 werden in het Haaksbergerveen en Deurnsche Peel de overleving en uitbreiding van de geïntroduceerde bultvormers vastgelegd. Zie **Figuur 4** voor een impressie van de verschillen in veenmosontwikkeling tussen behandelingen na vier groeiseizoenen.



Figuur 4. Impressie van de verschillende behandelingen van de plas-dras experimenten in het Haaksbergerveen (boven) en Deurnsche Peel (onder) in oktober 2022. Behandelingen: A = natuurlijk waterpeil, controle, B = natuurlijk waterpeil, Eenaarig wollegras, C = natuurlijk waterpeil, stro, D = gecontroleerd waterpeil, controle, E = gecontroleerd waterpeil, Eenaarig wollegras en F = gecontroleerd waterpeil, stro. De proefvlakken in de Deurnsche peel zijn 4 x zo groot dan in het Haaksbergerveen (2 x 2 m in plaats van 1 x 1 m). Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 4. Impression of the different treatments of the ‘plas-dras’ experiments in the *Haaksbergerveen bog* (top) and *Deurnsche Peel bog* (bottom) in October 2022. 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 5. 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 2022 op kaal zwartveen zonder (grijze lijnen) en met aanvoer van water (blauwe lijnen) in het *Haaksbergerveen* (A,B), en de *Deurnsche Peel* (C, D) (gemiddelde ± 1 SE, n=3 herhalingen). Let op: de schaal van de y-as verschilt per gebied.

Figure 5. 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 2022 on bare strongly humified peat without (grey lines) and with water supply (blue lines) in the *Haaksbergerveen bog* (A,B) and the *Deurnsche Peel bog* (C, D) (mean ± 1 SE, n=3 replicates). Note: the scale of the y-axis differs per area.

Uitgangssituatie en beschutting van microklimaat

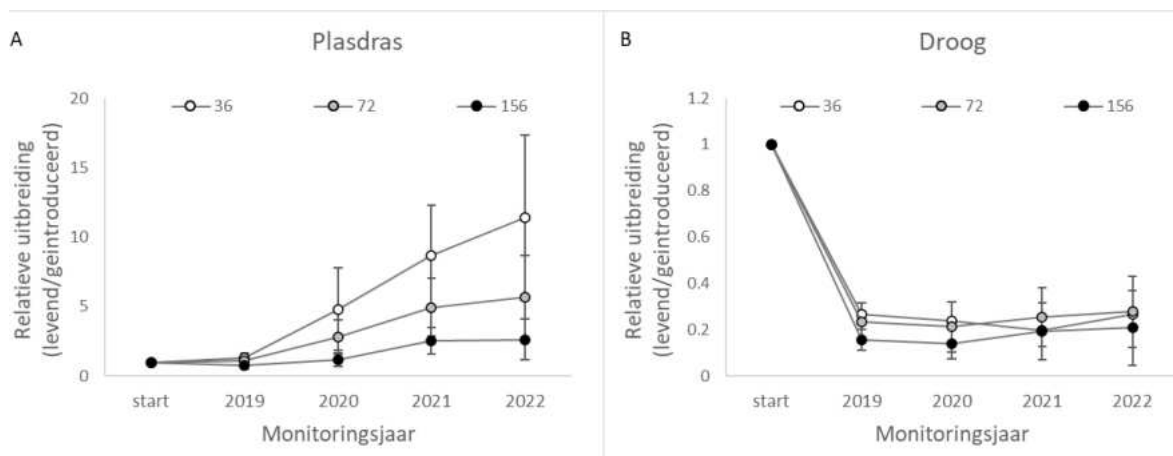
Overleving van bultvormende veenmossen is het hoogst bij ondiepe grondwaterstanden (plasdras) onder beschutting van een laagje stro.

De trend van de voorgaande jaren werd in 2022 verder voortgezet (Figuur 5), al was de groei over de droge zomer van 2022 iets minder sterk dan in het jaar 2021, toen we een normale zomer hadden.

De bultvormende veenmossen breiden zich niet alleen horizontaal uit, maar ook verticaal, waardoor de bulten van ca. 5-8 cm hoogte in 2021 zijn gegroeid naar 6 tot 14 cm hoogte in 2022 (Figuur 7C). In het Haaksbergerveen varieerde de groei van de bultvormende veenmossen tussen de proefvlakken meer dan voorgaande jaren, geïllustreerd door de grotere foutbalken. De oorzaak van deze variatie is waarschijnlijk het watertekort in de zomer van 2022: door de aanhoudende droogte was er geen water meer om de plas-dras behandeling in stand te houden (zie paragraaf 0). Deze tijdelijke uitval van de wateraanvoer in het Haaksbergerveen heeft met name invloed gehad in de proefvlakken waar het veenmos het al niet zo heel goed deed, wat bijvoorbeeld terug te zien is in de grotere foutbalken voor 2022 in de behandeling “plas-dras met stro”. In de ‘beste’ proefvlakken trokken de bultvormers zich niks van tijdelijke droogte aan. Hoewel statistisch niet aantoonbaar, illustreert dit patroon de capaciteit van de bultvormende veenmossen voor zelfregulatie: de mini-acrotelmen konden een stootje opvangen.

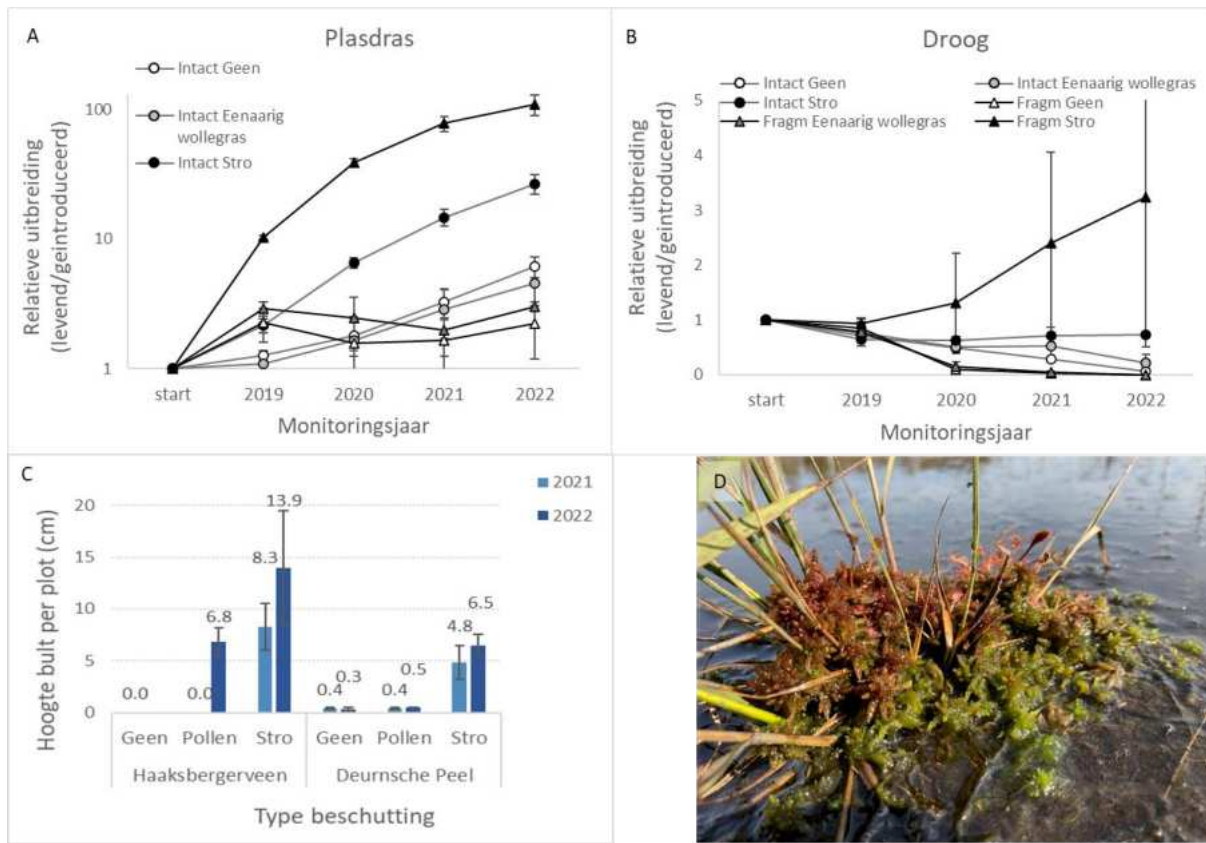
Bij suboptimale waterhuishouding kunnen bultvormende veenmossen overleven en zich zelfs uitbreiden indien voldoende regen valt en mits stro als microklimaat bescherming wordt aangebracht. Een grote bron van onzekerheid blijft echter dat stro niet alleen de veenmossuccessie, maar ook de successie van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

Zonder wateraanvoer overleven de veenmossen enkel onder een laagje stro. Dit beschuttende laagje is echter niet afdoende om te compenseren voor het effect van meerdere droge zomers (2019, 2020 en 2022) achter elkaar. Alleen in de Deurnsche Peel waren er nog enkele tientallen cm² bultvormer over in de proefvlakken met stro.



Figuur 6. Veenmosuitbreiding is het snelste 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 2022 (gemiddelde \pm 1 SE, n=3 herhalingen). Veenmosuitbreiding is uitgedrukt als fractie van de introductiedichtheid voor drie verschillende fragmentdichtheden die zijn aangegeven met toenemende grijs tinten: 36 veenmosplanten per m² (witte symbolen), 72 veenmosplanten m² (grijze symbolen) en 156 veenmosplanten per m² (zwarte symbolen). 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.

Figure 6. 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 2022 (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). 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.



Figuur 7. Onder beschutte, vochtige condities breiden fragmenten zich sneller uit dan intacte planten. Uitbreiding van geïntroduceerde mossen op kaal zwartveen voor compartimenten met A) wateraanvoer (Plasdras) en B) compartimenten zonder wateraanvoer (Droog) tussen de start van het experiment (maart 2019) en oktober 2022 (gemiddelde \pm 1 SE, n=3 herhalingen) voor de Deurnsche Peel. C) Hoogte van de gevormde bulten uit fragmenten van *Wrattig veenmos* (*S. papillosum*) (cm) in de compartimenten met wateraanvoer voor het Haaksbergerveen en de Deurnsche Peel in 2021 en 2022 (gemiddelde \pm 1 SE, n=3 herhalingen). D) Jonge bultvorming in compartiment met wateraanvoer in de Deurnsche Peel. Veenmosuitbreiding in A & B is uitgedrukt als fractie van het geïntroduceerd aantal veenmosplanten (156 in beide gevallen). Introductiedichtheid: 156 planten per m² 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.

Figure 7. Under sheltered, moist conditions fragments expand more rapidly than intact plants. Expansion of introduced mosses on bare strongly humified peat for compartments with A) water supply (Plasdras) and B) compartments without water supply (Dry) between the start of the experiment (March 2019) and October 2022 (mean \pm 1 SE, n=3 replicates) for Deurnsche Peel bog. (C) Height of the hummocks formed from fragments of *S. papillosum* (cm) in the compartments with water supply for the Haaksbergerveen bog and Deurnsche Peel bog in 2021 and 2022 (mean \pm 1 SE, n=3 replicates). (D) Young hummock formation in compartment with water supply in 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 m² placed intact in a bundle vertically in the bare strongly humified peat or cut into 10 fragments per plant (Fragm) and spread out. Note: the scale of the y-axis differs per water treatment.

Dichtheid van herintroductie

Voor 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, 2021 en 2022) 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 introductie dichtheid en aantal levende mossen van een positieve relatie om naar een negatieve relatie (Figuur 6). Wat precies de reden is dat de veenmossen zich minder snel uitbreidden bij een hoge dan bij een lage introductie dichtheid blijft vooralsnog onzeker, maar heeft waarschijnlijk te maken met een omslag van horizontale groei naar verticale groei (Figuur 7). Herintroductie met een gemiddelde dichtheid van ca. 72 veenmos planten per m² lijkt in elk geval afdoende voor opschaling van herintroductie van bultvormende veenmossen.

Herintroductie met fragmenten of intacte veenmosplanten

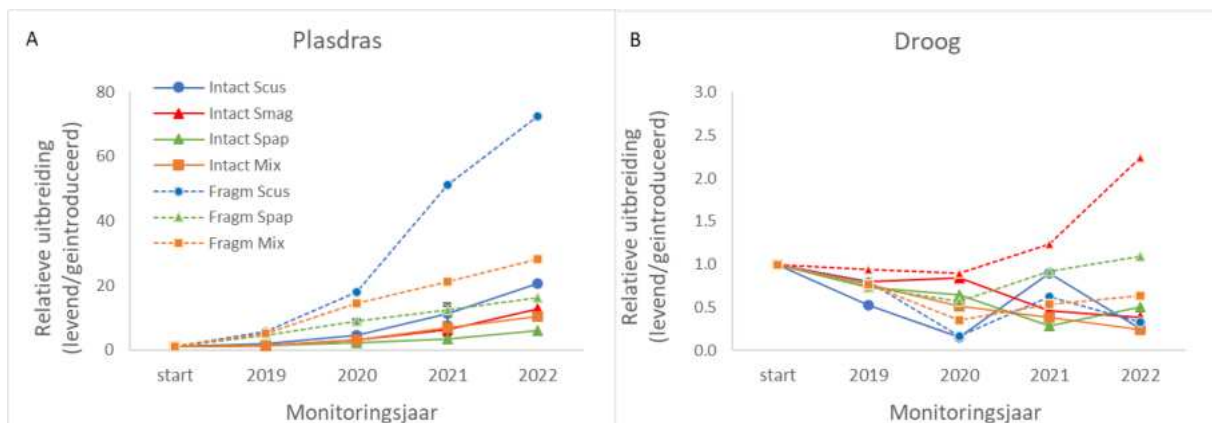
De beste methode van herintroductie, met fragmenten of met intacte planten veenmos, lijkt af te hangen van de droogtestress die de veenmossen ervaren. Herintroductie met fragmenten werkt het best bij weinig droogtestress terwijl herintroductie met intacte planten het beste werkt bij veel droogtestress.

Herintroductie met fragmenten werkte in plas-dras en vochtige waterhuishouding beter dan herintroductie met in-het-zwartveen ingegraven bundels intacte planten (Figuur 7). Veenmos in proefvlakken met oppervlakkig uitgestrooide fragmenten vormden een groter aaneengesloten tapijt en hogere bulten dan veenmos in proefvlakken met bundels intacte mossen (Figuur 7A, C). In minder beschutte (Figuur 7A, behandelingen zonder stro) of droge (Figuur 7B) 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.

Soort veenmos

Herintroductie succes lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos, en lijkt te variëren met de mate van droogtestress 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 8A) of in een normale zomer met regelmatig regen (Figuur 8B) 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 (*Sphagnum magellanicum*) en Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) het duidelijk beter dan slenksoort Waterveenmos (*Sphagnum 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 (*Sphagnum magellanicum*) als Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*), of een mix ervan naar gelang wat voorhandig is.



Figuur 8. 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 2022 (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.

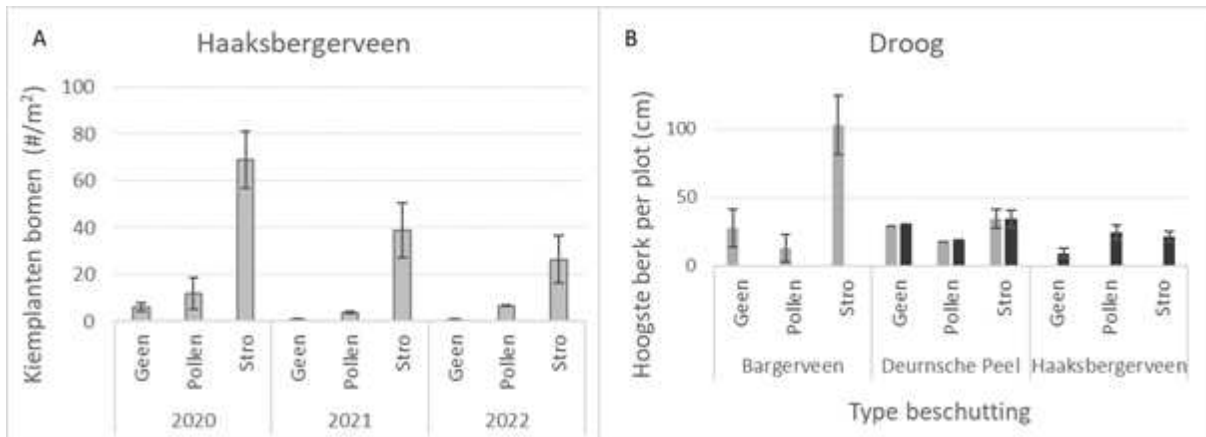
Figure 8. Reintroduction success depends to a limited extent on peat moss species. Expansion of introduced mosses on bare strongly humified peat for compartments with water supply (Plasdras) and compartments without water supply (Dry) between the start of the experiment (March 2019) and October 2022 (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 bare 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.

Knelpunten op langere termijn: successie van hogere planten

Vestiging en ontwikkeling van hogere planten wordt gestimuleerd door het aanbrengen van stro. Bij suboptimale waterhuishouding staat de versnelde successie van hogere planten het herintroductiesucces van bultvormende veenmossen in de weg. Bij optimale waterhuishouding lijken de bultvormende veenmossen de hogere planten vooralsnog voor te blijven.

Met name de verhoogde opslag van berken blijft een reden tot zorgen (Figuur 9). In 2020 zagen we massale kieming van Berk onder relatief droge omstandigheden in de compartimenten zonder wateraanvoer. In de daaropvolgende jaren 2021 en 2022 bleef dit patroon gehandhaafd, al nam het aantal berken geleidelijk af (Figuur 9A). Dit laatste kan mogelijk te maken hebben met een vorm van zelfdunning. Of de overlevende berken verder gaan doorgroeien tot volwassen bomen blijft moeilijk te zeggen. De groei van Berk op droog veen kan hard gaan. In het Bargerveen bijvoorbeeld bereikte de berken na kieming in 2020 een gemiddelde hoogte van 1 m in 2021. In de Deurnsche Peel en in het Haaksbergerveen zien we een veel beperktere groei. In de Deurnsche Peel zijn de Berken in 2022

nauwelijks gegroeid, terwijl in het Haaksbergerveen de berken zelfs nog iets kleiner blijven dan in de Deurnsche Peel (Figuur 9B). Verder valt op dat er in de droge compartimenten geen nieuwe berken ontkiemen – ondanks de open bodem. Mogelijk ligt de oorzaak in een combinatie van het extreme microklimaat van de open veengrond met een beperkte hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen. Onder (extreem) voedselarme omstandigheden lijkt de successie dan ook eerder door de gaan richting (droge) heide, terwijl bij iets meer voedingsstoffen de successie waarschijnlijk doorzet naar berkenbos.



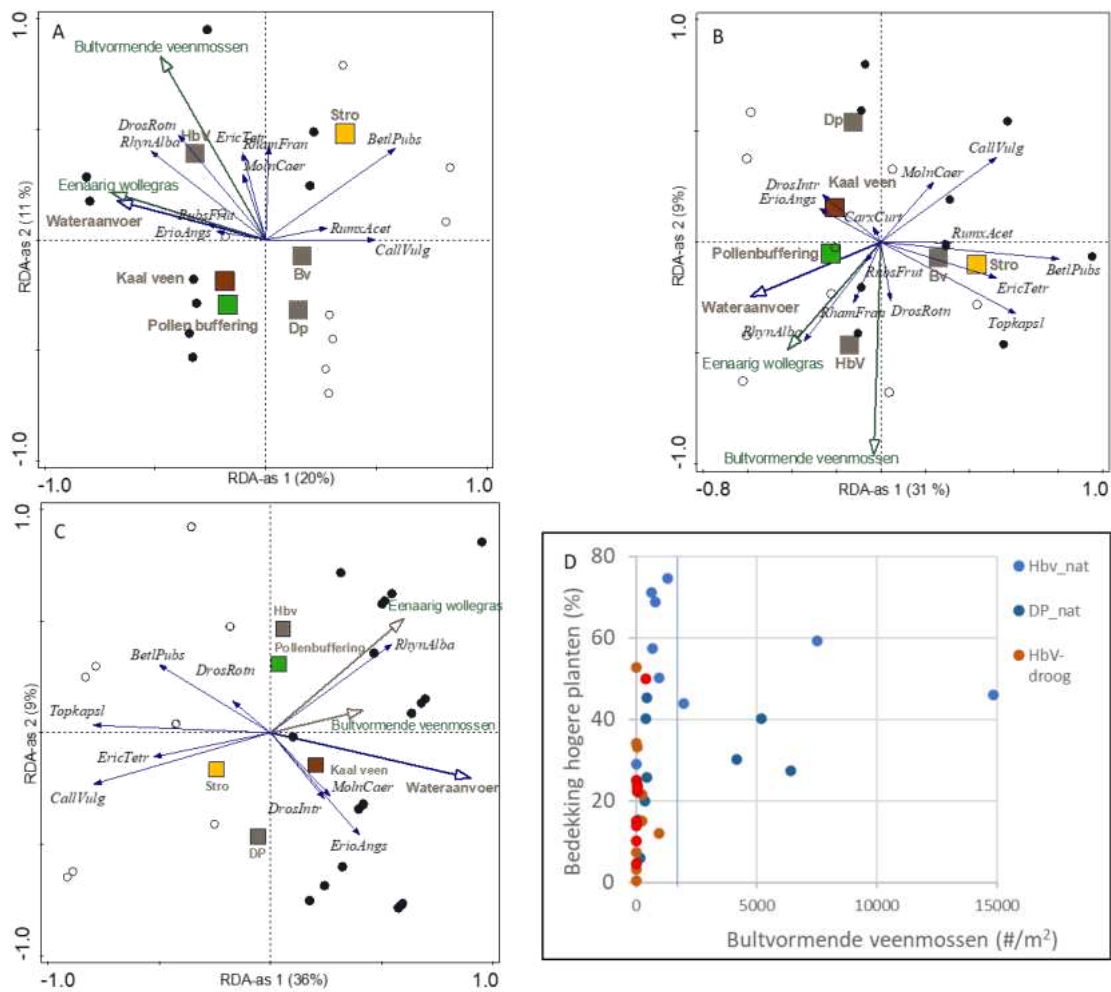
Figuur 9. Opslag van berk is het hoogste in proefvlakken met beschutting door stro, maar de groei lijkt beperkt. A) Aantallen kiemplanten van bomen (met name berk) tussen oktober 2020 en oktober 2022 in het Haaksbergerveen op kaal zwartveen, B) Lengte van de hoogste berk per proefvlak voor het Bargerveen, Deurnsche Peel en Haaksbergerveen. Grijs balken = 2021, Zwarte balken = 2022. Let op: de lengte is niet overal elk jaar opgemeten.

Figure 9. Presence of birch is highest in experimental plots sheltered by straw mulch, but growth seems limited. A) Numbers of tree (particularly birch) seedlings between October 2020 and October 2022 in Haaksbergerveen bog on bare peat, B) Length of tallest birch per experimental plot for Bargerveen bog, Deurnsche Peel bog and Haaksbergerveen bog. Grey bars = 2021, Black bars = 2022. Note that length was not measured everywhere every year.

Bij voldoende wateraanvoer, lijkt successie meer de gewenste richting in te slaan naar soorten die kenmerkend zijn voor veenmosbulten en slenken (Figuur 10). Proefvlakken met water aanvoer hadden in 2022 een hoger aandeel soorten van hoogvenen en vochtige heide zoals Ronde zonedauw (Drosrontn), Witte snavelbies (RhynAlba), terwijl proefvlakken zonder wateraanvoer juist een hogere bedekking hebben van soorten van droge heide zoals Struikhei (CalVulg) en Zachte berk (BetPubs) (Figuur 10D). De totale bedekking vaatplanten nam met de jaren toe. Voor het Haaksbergerveen steeg de totale bedekking vaatplanten van 33% in 2020 naar 56% in 2022 voor proefvlakken met wateraanvoer, en van 6% naar 28% voor de proefvlakken zonder wateraanvoer. De aspectbepalende soorten verschilden per terrein. Zo verscheen Witte snavelbies bijvoorbeeld alleen in het Haaksbergerveen, en niet in het Bargerveen (2020, 2021) of in de Deurnsche Peel (2020-2022).

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 waterhuishouding te creëren is, gezien bovenstaande snelle ontwikkeling van hogere

planten, af te raden. Bij een goede waterhuishouding lijkt de uitbreiding van hogere planten langzamer te gaan, met name in de proefvlakken waar bultvormende veenmossen zich sterk uitbreiden (**Figuur 10D**). Boven een bedekking van ongeveer 45% veenmos (ca. 2000 veenmossen per m²), lijkt de groei van hogere planten af te vlakken. 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 10. A) Ordinatiediagrammen van de soortensamenstelling in proefvlakken op zwartveen in A) 2020, B) 2021 en C) 2022 zoals verklaard door wateraanvoer en verschillende typen beschutting (kaal veen, pollenbuffering door Eenaarig wollegras, stro) en locatie (*Haaksbergerveen*, *Bargerveen* en *Deurnsche Peel*). D) Relatie tussen de bedekking van bultvormende mossen en de bedekking van hogere planten in oktober 2022. Voor 2022 is het *Bargerveen* niet meer meegenomen. Soorten die deel uitmaken van de behandeling (bultvormende veenmosses 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 en 2022 werd de eerste ordinatie-as met name bepaald door wateraanvoer en de tweede ordinatie-as door beschuttingsbehandeling en locatie. 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: Verschillen in oriëntatie, bijv. proefvlakken met wateraanvoer links of rechts van de grafiek, hebben geen invloed op de interpretatie.

Figure 10 – previous page. A) Ordination diagrams of the species composition in experimental plots on bare strongly humified peat in A) 2020, B) 2021 and C) 2022 as explained by water supply and different types of shelter (bare peat, buffering by *Eriophorum vaginatum*, straw mulch) and location (*Haaksbergerveen bog*, *Bargerveen bog* and *Deurnsche Peel bog*). D) Relationship between cover of hummock-building mosses and cover of vascular plants in October 2022. For 2022, the *Bargerveen bog* is no longer included. 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 and 2022, the first ordination axis was mainly determined by water supply and the second ordination axis by shelter treatment and location. 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 differences in orientation, e.g. experimental plots with water supply to the left or right of the graph, do not affect the interpretation.

Samenvattend

Uit onze resultaten blijkt dat succesvolle herintroductie van bultvormers alleen kansrijk is bij een goede waterhuishouding 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.

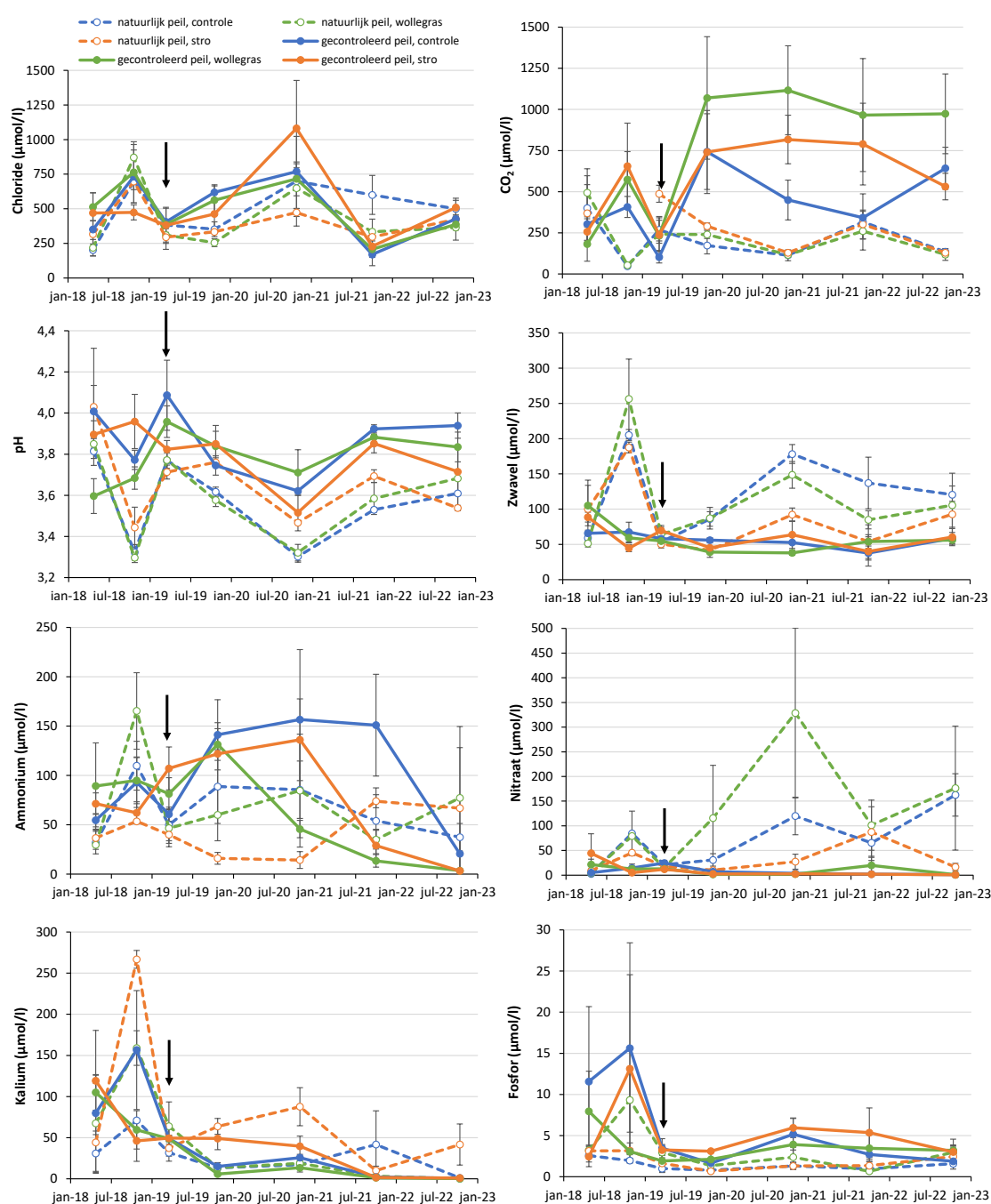
2.3.3 Chemische samenstelling bodemvocht

In het Haaksbergerveen en Deurnsche Peel werd in oktober 2022 de samenstelling van het bodemvocht bepaald. In Bijlage 1 worden de resultaten van de wateranalyses in tabelvorm gegeven.

Tabel 1. 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 1. 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
17-10-2022	inlaat	4,03	1032	5	52	80	0,180	0,8	5,4	0,8	243	9,1	126	14,1	62,1	52,7	0,7	43,9



Figuur 11. 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), oktober 2021 (na derde groeiseizoen) en oktober 2022 (na vierde groeiseizoen). Er zijn 6 verschillende behandelingen: natuurlijk en gecontroleerd waterpeil bij 3 beschuttingsbehandelingen: controle, Eriog wollegras en stro. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n=3$).

Figure 11 - 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), October 2021 (after third growing season) and October 2022 (after fourth 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. Means \pm standard error ($n=3$) is shown.

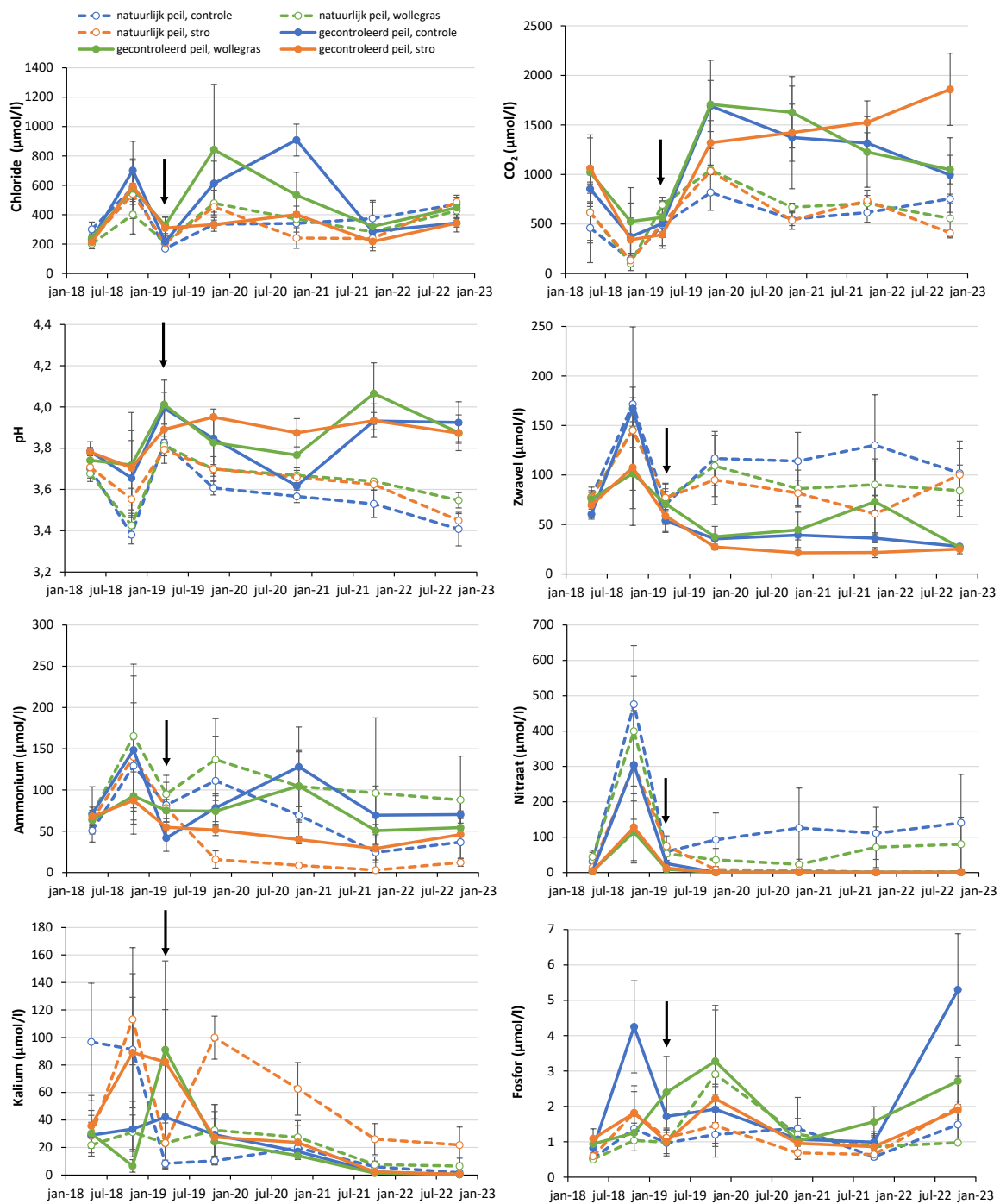
Haaksbergerveen

In 2022 zijn er vanaf augustus problemen met de wateraanvoer in het Haaksbergerveen geweest waardoor het waterpeil tijdelijk wat verder uitgezakt is (zie paragraaf 0). De samenstelling van het aanvoerwater in oktober 2022 is, ondanks de drogere zomer, vergelijkbaar met samenstelling in oktober 2021 (**Tabel 1**). De chlorideconcentratie in het bodemvocht is zowel bij een natuurlijk als gecontroleerd peil licht toegenomen als gevolg van de hogere verdamping en afgenomen verdunning met regenwater in 2022 (**Figuur 11**). Vanwege de regenval in het najaar (**Figuur 3**) zijn de chlorideconcentraties bij een natuurlijk en gecontroleerd waterpeil toch vergelijkbaar (ca. 400-500 $\mu\text{mol/l}$; **Figuur 11**). De drogere omstandigheden in het veen bij een natuurlijk waterpeil blijkt wel uit de lagere pH, hogere nitraat- en sulfaatconcentraties (**Figuur 11**). Onder droge omstandigheden kan zuurstof verder doordringen in het veen waarbij ammonium en gereduceerde zwavelverbindingen worden geoxideerd. Bij deze oxidatie processen wordt zuur geproduceerd waardoor de pH daalt. Het eerder waargenomen gunstige effect van stro op de vochtigheid van het veen (Rademaker, 2019; van Groessen, 2020) bij een natuurlijk peil (hogere pH en lagere sulfaatconcentratie), lijkt na 4 jaar af te nemen (**Figuur 11**). Het bij de start van het experiment aangebrachte stro is ondertussen ook grotendeels verdwenen (**Figuur 4**).

Bij een gecontroleerd waterpeil zijn in het najaar de kooldioxideconcentraties in het bodemvocht over het algemeen hoger dan bij een natuurlijk peil (**Tabel 3** en **Figuur 11**). Doordat de toplaag van het veen veel natter is bij de aanvoer van extra water kan het bij afbraakprocessen geproduceerde CO_2 niet zo eenvoudig ontsnappen naar de atmosfeer. De geleidelijke afname van de CO_2 -concentratie in de controleproefvlakken met een gecontroleerd peil werd in 2022 niet meer waargenomen (**Figuur 11**). De hogere beschikbaarheid van ammonium in het bodemvocht van de controleproefvlakken bij een gecontroleerd waterpeil werd ook niet meer waargenomen. Een mogelijke verklaring is de toegenomen bedekking met vaatplanten (zie paragraaf 0) in de controleproefvlakken en daardoor een hogere opname van ammonium. Deze afname in ammonium werd in de proefvlakken met Eenarig wollegras als eerste waargenomen (vanaf 2020), gevolgd door de proefvlakken met stro (vanaf 2021) en dus de controleproefvlakken (in 2022; **Figuur 11**).

Deurnsche Peel

In de Deurnsche Peel heeft de pomp tijdens het groeiseizoen van 2022 zonder grote problemen gefunctioneerd en zijn de waterstanden in het compartiment met een gecontroleerd waterpeil redelijk stabiel geweest (zie paragraaf 0). In vergelijking tot 2021 werden in 2022 door de drogere weersomstandigheden weer iets hogere chlorideconcentraties gemeten in zowel het aanvoerwater (**Tabel 2**) als in het bodemvocht (**Figuur 12**). De chlorideconcentraties in het bodemvocht bij een natuurlijk en gecontroleerd peil zijn vergelijkbaar (**Figuur 12**).



Figuur 12. 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, Eenaarig wollegras en stro. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n=3$).

Figure 12 – previous page. 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. Means \pm standard error ($n=3$) are shown.

Tabel 2. 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 2. 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 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
			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
31-10-2022	veenput	4,31	93	1	17	64	0,115	1,3	26,2	0,5	291	13	229	30,6	47,7	0,3	35

Bij een gecontroleerd peil zijn de kooldioxideconcentraties in het bodemvocht hoger dan bij een natuurlijk peil (Tabel 4 en Figuur 12). 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 CO₂-concentraties in het bodemvocht zijn in de Deurnsche Peel hoger dan in het Haaksbergerveen (vergelijk Figuur 11 en Figuur 12). De drogere omstandigheden in het compartiment met een natuurlijk peil zijn zichtbaar aan de lagere pH van het bodemvocht en de hogere nitraat- en sulfaatconcentraties (Figuur 12). Bij lagere waterstanden kan zuurstof verder in het veen doordringen en kan ammonium geoxideerd worden tot nitraat (nitrificatie) en gereduceerde zwavelverbindingen tot sulfaat (gemeten als zwavel). In de eerste jaren van het onderzoek was het gunstige effect van stro op de vochtvoorziening zichtbaar aan de hogere pH, lagere nitraat- en sulfaatconcentraties. In 2022 is dit gunstige effect van stro duidelijk afgenomen (Figuur 12). Het bij de start van het experiment aangebrachte stro is ondertussen ook grotendeels verdwenen (Figuur 4).

Samenvattend

Onder plas-dras omstandigheden zijn de CO₂-concentraties in het bodemvocht hoger dan onder droge omstandigheden. Dit kan worden verklaard doordat bij droge omstandigheden in het veen geproduceerd CO₂ eenvoudiger kan ontsnappen 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 lijkt in de loop van de jaren af te nemen.

2.4 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 waterhuishouding 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 m², lijkt een goede middenweg
- Herintroductie via fragmenten bedekt met een laagje stro is een efficiëntere methode van herintroductie op kaal veen dan herintroductie via bundels veenmos.
- Het succes van herintroductie lijkt beperkt gevoelig te zijn voor het soort bultvormend veenmos. 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. Vanaf een veenmosbedekking van ca. 45% lijkt het veenmos in staat de hogere plantengroei te beperken. Tot die tijd gaat de groei van hogere planten door en kan herintroductie succes van bultvormende veenmossen in de weg gaan zitten. Voortzetting van monitoring is aan te raden om over dit laatste meer zekerheid te krijgen.

3. Herintroducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos

3.1 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.

3.2 Materiaal en methoden

Voor een uitgebreide beschrijving van de opzet van de experimenten in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos zie de eindrapportage (Tomassen e.a., 2022). In 2022 werd de monitoring van de experimenten op vergelijkbare wijze uitgevoerd. In oktober 2022 werd de uitbreiding van de geïntroduceerde veenmossen vastgelegd en werd de chemische samenstelling van het bodemvocht bepaald (Figuur 13).



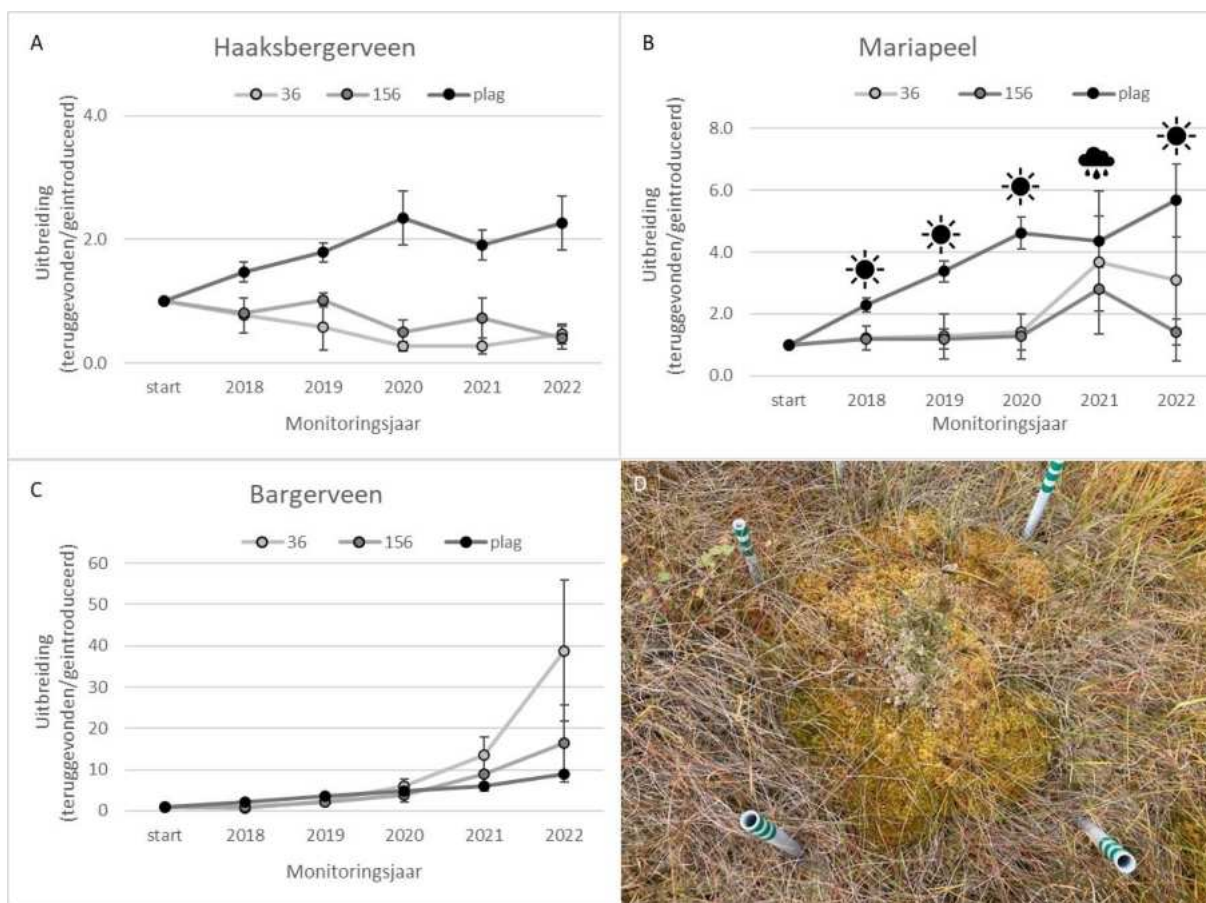
Figuur 13. Impressie van de herintroductie van Wrattig veenmos in een door Fraai veenmos gedomineerde vegetatie in het Haaksbergerveen (links) en bemonstering van bodemvocht uit een geïntroduceerde plag van Hoogveenveenmos in de Mariapeel. Foto's: Hilde Tomassen.

Figure 13. Impression of the reintroduction of *Sphagnum papillosum* in vegetation dominated by *Sphagnum fallax* in the Haaksbergerveen bog (left) and sampling of pore water from an introduced sod of *Sphagnum magellanicum* in the Mariapeel bog. Photos: Hilde Tomassen.

3.3 Resultaten 2022

3.3.1 Veenmosontwikkeling

1. Introductiedichtheid



Figuur 14. Uitbreiding van bultvormende veenmossen in een slenkvegetatie neemt toe met de dichtheid van herintroductie. Uitbreiding ten opzichte van introductiedichtheid (36, 156 veenmossen per m² of een plag van 20 x 20 cm) van bultvormer Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) geïntroduceerd als bundel individuen of als plag in een drijfteil met Fraai veenmos voor A) *Haaksbergerveen*, B) *Mariapeel* en C) *Bargerveen* (gemiddelde ± 1 SE, n=4 herhalingen). D) Plag in het *Bargerveen*, die in het midden verdroogt omdat hij te ver boven de omgeving uitsteekt. Getallen boven 1 geven uitbreiding ten opzichte van introductiedichtheid aan. Let op: de schaal van de y-as verschilt tussen de terreinen.

Figure 13. Expansion of hummock-building peat mosses in a hollow vegetation increases with the density. 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). D) Introduced sod in *Bargerveen bog*, drying out in the middle because it is too far above its surroundings. Numbers above 1 indicate expansion relative to introduction density. Note that the scale of the y-axis differs between sites.

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

De resultaten van 2022 komen in grote lijnen overeen met die van eerdere jaren. Het effect van introductiedichtheid lijkt minder sturend te worden 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 14A) als de Mariapeel (Figuur 14B) geleidelijk overgroeid door de omringende slenksoorten: in het Bargerveen (Figuur 14C) wisten de als bundels geïntroduceerde 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). Voor het Bargerveen zette deze trend zich door in 2022. 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 waterhuishouding. Wat opvalt is dat in 2021 de uitbreiding van de plaggen lijken te stagneren, of zelfs afnemen. De reden voor deze dip is waarschijnlijk een gevolg van de hogere competitie door de slenksoorten in het regenachtigere jaar 2021 (Haaksbergerveen, Mariapeel) in combinatie met een overgang van horizontale groei naar verticale groei in het midden van de plaggen (Bargerveen). In het Bargerveen wijkt de groeiwijze van bultvormende veenmossen in het midden van de plaggen af van de rand. In het midden groeien de mossen dichter op elkaar, hebben kleinere capitula en hebben ook vaker verschijnselen van droogtestress (Figuur 14D).

Herintroductie in verschillende slenkvegetaties

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

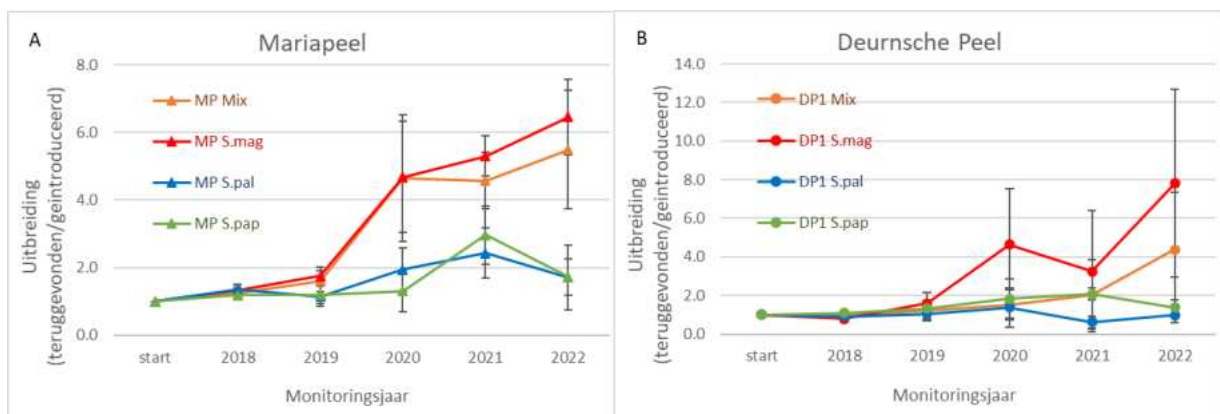
De resultaten uit 2022 bevestigen dat herintroductie van bultvormers in zowel Waterveenmos (Deurnsche Peel, drijftil) als in Fraai veenmos (Mariapeel, MP) mogelijk is (Figuur 15). Het succes van herintroductie in Waterveenmos hing af van het onderliggende substraat. Bultvormende veenmossen overleefden 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 waterstanden geobserveerd van +10 cm boven maaiveld tot uitdroging ver onder maaiveld.

Soort veenmos

Herintroductie succes lijkt beperkt gevoelig voor het soort veenmos, al lijken Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en een mix van bultvormende veenmossoorten het beter te doen dan Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) of Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*). Keuze van

veenmossoort wordt hiermee een pragmatische beslissing: de meest beschikbare soort bultvormend veenmos kan gebruikt worden voor herintroductie.

In 2022 was het effect van soort veenmos duidelijker dan in 2021, en leek meer op 2020 (Figuur 15). In deze jaren deed Hoogveenveenmos en een mix van soorten bultvormers het beter dan Wrattig veenmos of Gewoon veenmos. Mogelijk wordt het succes van Hoogveenveenmos (en de mix) nog deels beïnvloedt door het type jaar: in de natte zomer van 2021 leken soorten anders te reageren dan in de droge zomers van 2020 en 2022. De variatie tussen de proefvlakken is echter te groot om hier met zekerheid iets over te zeggen.



Figuur 15. Uitbreiding van bultvormende veenmossen in slenkvegetatie verschilt per terrein en veenmossoort. Uitbreiding per geïntroduceerde veenmossoort voor de Peelvenen: A) Mariapeel (MP), introductie in Fraai veenmos en B) Deurnsche Peel (DP1), introductie in Waterveenmos. Rood: Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*, Smag), Blauw: Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*, Spal), Groen: Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*, Spap) en Oranje: een mix van deze drie soorten (Mix). De twee verschillende dichtheden (36 en 156 individuen per m²) 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 introductiedichtheid aan. Let op: de schaal van de y-as verschilt tussen de terreinen.

Figure 14. Expansion of hummock-building peat mosses in hollow vegetation varies by site and peat moss species.

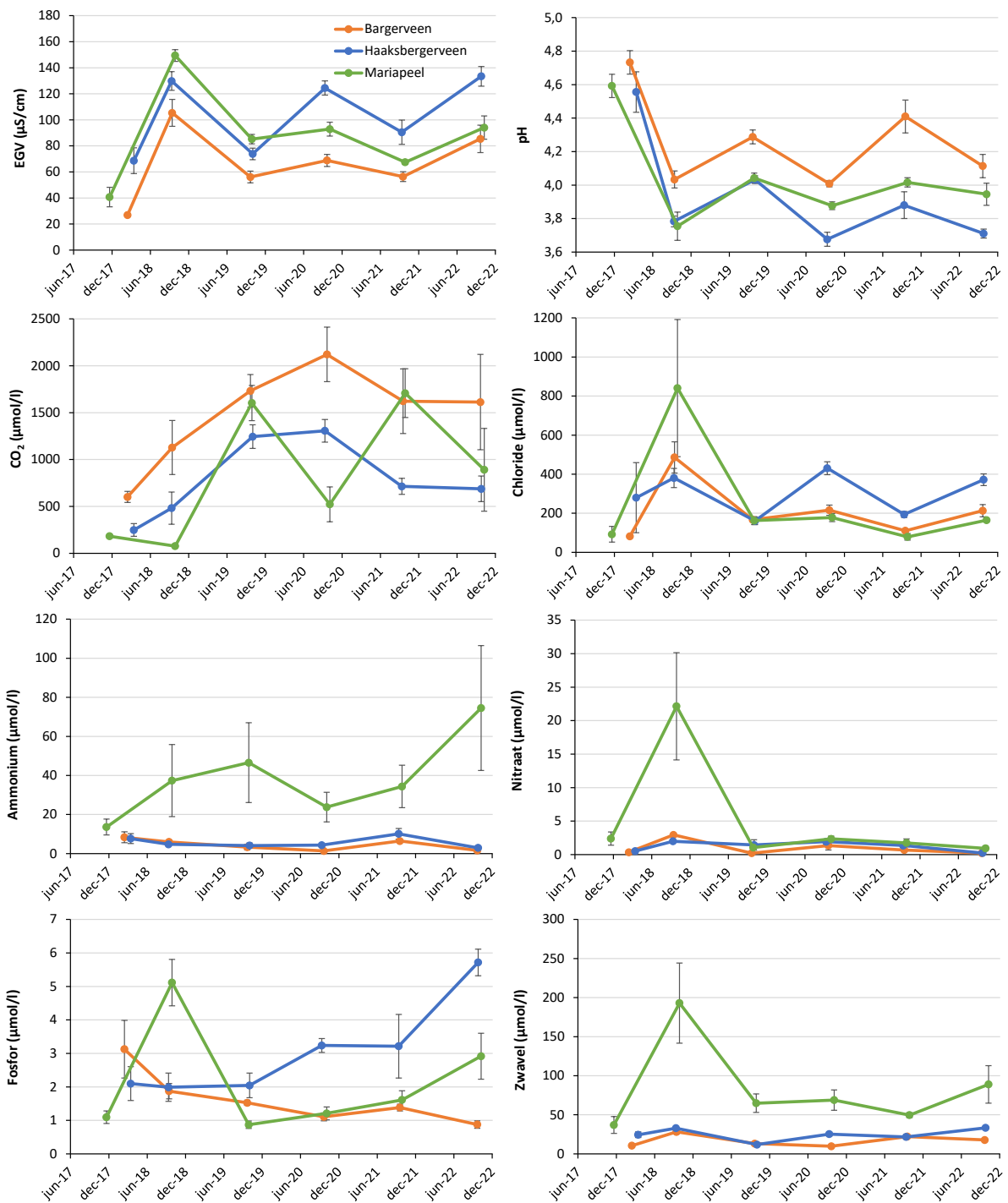
Expansion by introduced peat moss species for the Peelvenen: A) Mariapeel bog (MP), introduction in *Sphagnum fallax* and B) Deurnsche Peel bog (DP1), introduction in *Sphagnum cuspidatum*. Red: *Sphagnum magellanicum* (Smag), Blue: *Sphagnum palustre* (Spal), Green: *Sphagnum papillosum* (Spap) and Orange: a mix of these three species (Mix). The two different densities (36 and 156 individuals per m²) are averaged. 'Plag' is excluded here because it was only tested in the Mariapeel bog, but not in the Deurnsche Peel bog. Numbers above 1 indicate expansion relative to introduction density. Note that the scale of the y-axis differs between sites.

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 0). 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 Eenrig wollegras in Fraai veenmos indiceren in lage dichtheden een waterhuishouding die geschikt zou 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.



Figuur 16. EGV, pH, CO₂, chloride-, ammonium-, nitraat-, 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), 4 jaar (oktober 2021) en 5 jaar (oktober 2022). Weergegeven zijn gemiddelden van de 4 blokken ± standaardfout (n = 4).

Figure 15. EGV, pH, CO₂, chloride, ammonium, nitrate, phosphorus and sulphur concentrations in the pore water of the experiments in a vegetation dominated by *Sphagnum 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), 4 years (October 2021) and 5 years (October 2022). Means of the 4 blocks ± standard error (n = 4) are shown.

3.3.2 Chemische samenstelling bodemvocht

Introducties in Fraai veenmos

In het Bargerveen, Haaksbergerveen en de Mariapeel werden bultvormers geïntroduceerd in een drijvende vegetatie gedomineerd door Fraai veenmos. In Bijlage 1 worden de resultaten van de wateranalyses in tabelvorm gegeven.

Vergelijkbaar met de droge eerste jaren van het onderzoek (2018 t/m 2020), werd in 2022 weer een hogere EGV gemeten en een afname van de pH als gevolg van verzurende oxidatieprocessen (Figuur 16). Voor de ontwikkeling van veenmossen zijn hoge CO₂-concentraties in het bodemvocht van groot belang. De CO₂-concentraties in het bodemvocht in de Mariapeel fluctueert sterk, waarschijnlijk als gevolg van wisselende waterstanden. De CO₂-concentraties in het bodemvocht in het Bargerveen en Haaksbergerveen in het najaar van 2022 zijn vergelijkbaar met het voorgaande jaar (Figuur 16). De hoogste CO₂-concentraties (> 1500 µmol/l) werden weer gemeten in het Bargerveen (Figuur 16).

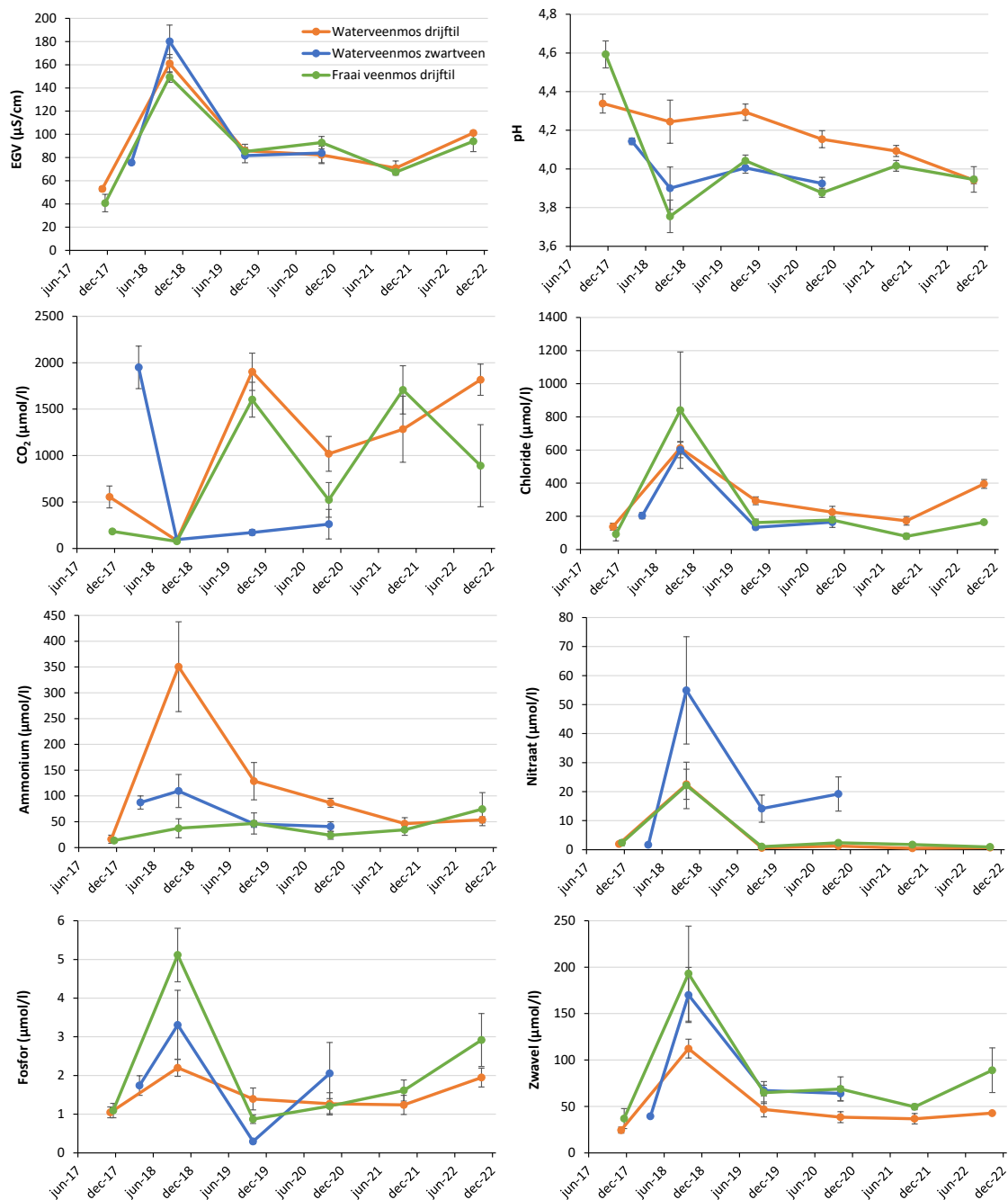
Een opvallend verschil tussen de drie gebieden is de hoge concentratie ammonium in het bodemvocht in de Mariapeel. In 2022 werden zelfs nog hogere ammoniumconcentraties gemeten dan in andere jaren, maar de spreiding is wel groot (Figuur 16). De hoge ammoniumconcentraties zijn deels het gevolg van de decennialange hoge atmosferische stikstofdepositie in deze regio, maar kunnen ook duiden op een verhoogde mineralisatie van veen als gevolg van de droogte. De hoge sulfaatconcentraties in het bodemvocht in de Mariapeel duiden ook op drogere condities. De hoge beschikbaarheid van ammonium heeft nog geen duidelijke invloed op de uitbreiding van de geïntroduceerde bultvormende veenmossen, maar bij een voortgaande successie worden mogelijk snelgroeiende hogere planten, zoals Pijpenstrootje, gestimuleerd.

In het bodemvocht in het Haaksbergerveen werden in oktober 2022 hogere fosforconcentraties gemeten (Figuur 16). Het fosfor is waarschijnlijk vrijgekomen bij de mineralisatie van het veen als gevolg van de droogte in 2022.

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 al geen bultvormers meer waargenomen, zodat vanaf 2021 geen bodemvocht meer is bemonsterd. In Bijlage 1 worden de resultaten van de wateranalyses in tabelvorm gegeven.

In het droge jaar 2022 zijn de EGV en chlorideconcentraties weer (licht) toegenomen (Figuur 17). De CO₂-concentraties zijn weer afgenomen in de drijftillen met Fraai veenmos, terwijl de CO₂-concentraties juist zijn toegenomen in de drijftillen met Waterveenmos (Figuur 17). De sterke fluctuatie in CO₂-concentratie indiceert dat de waterstand in de veenputten met Fraai veenmos in de Mariapeel sterker fluctueert dan in de veenputten met Waterveenmos in de Deurnsche Peel. In het droge jaar 2022 zijn de verschillen in bodemvochtchemie, o.a. ammonium, fosfor en sulfaat, tussen de drijvende vegetaties van Waterveenmos in de Deurnsche Peel en Fraai veenmos in de Mariapeel weer groter geworden.



Figuur 17. EGV, pH, kooldioxide-, chloride-, ammonium-, nitraat-, 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), 4 jaar (oktober 2021; niet meer voor introductie op zwartveen) en 5 jaar (oktober 2022). Voor de nulmeting van het experiment met Waterveenmos is pas in april 2018 bodemvocht bemonsterd. Weergegeven zijn gemiddelden \pm standaardfout ($n = 4$).

Figure 16. EGV, pH, carbon dioxide, chloride, ammonium, nitrate, 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), 4 years (October 2021; except solid peat) and 5 years (October 2022; except solid peat). For the zero measurement of the *S. cuspidatum* experiments, pore water was only sampled in April 2018. Means \pm standard error ($n = 4$) are shown.

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 sterk. De hoge ammoniumconcentraties in de Mariapeel zijn waarschijnlijk mede het gevolg van de decennialange hoge stikstofdepositie. In het droge jaar 2022 zijn de verschillen in bodemvochtchemie tussen de drijvende vegetaties van Waterveenmos in de Deurnsche Peel en Fraai veenmos in de Mariapeel weer groter geworden.

3.4 Conclusies herintroducties in vegetaties gedomineerd door Fraai veenmos of Waterveenmos

- Herintroductie van bultvormende veenmossen in slenkveenmos kan het beste gebeuren met een 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.
- Het herintroductiesucces lijkt beperkt gevoelig te zijn voor het soort veenmos. De keuze voor de 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. De hoge ammoniumconcentraties in de Mariapeel zijn waarschijnlijk het gevolg van de decennialange hoge stikstofdepositie.

4. Literatuur

- 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.
- Campeau, S. & L. Rochefort (1996) *Sphagnum* regeneration on bare peat surfaces: field and greenhouse experiments. *Journal of Applied Ecology* **33**: 559-608.
- 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. Stenøien, 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.
- 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.
- Ministerie van LNV (2006) *Natura 2000 doelendocument*. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.
- Rademaker, M. (2019) Sheltering by straw mulch and cottongrass can increase soil moisture in degraded peat bogs during drought. MSc. thesis. Wageningen University & Research.
- 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.

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.

Sliva, J. & J. Pfadenhauer (1999) Restoration of cut-over raised bogs in southern Germany – a comparison of methods. *Applied Vegetation Science* **2**:137-148.

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.B.M., J. Limpens, J. Nijp, G.A. van Duinen & A.J.P. Smolders (2022) Stimuleren van acrotelmontwikkeling in hoogveenrestanten – Eindrapportage OBN-17-87-NZ en onderzoek Noord-Brabant. Rapportnummer OBN-2017-87-NZ, VBNE, Driebergen.

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.

5. Bijlagen

Bijlage 1. Chemische samenstelling bodemvocht

Tabel 3. 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), na 3 groeiseizoenen (oktober 2021) en 4 groeiseizoenen (oktober 2022). 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 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), after 3 growing seasons (October 2021) and after 4 growing seasons (October 2022). 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
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
2022																		
17-10-2022	natuurlijk	controle	3,61	134	0	229	0,112	162,6	37,4	1,3	250	1	499	6,7	85	88	1,6	121
17-10-2022	natuurlijk	E. wollegras	3,68	118	0	.	0,107	176,2	77,3	1,4	225	0	364	10,3	91	70	3,0	106
17-10-2022	natuurlijk	stro	3,54	129	0	152	0,150	16,5	66,8	1,4	208	42	423	23,5	78	54	2,4	93
17-10-2022	gecontroleerd	controle	3,94	642	2	117	0,138	1,1	20,6	1,0	324	1	427	27,1	42	39	1,9	59
17-10-2022	gecontroleerd	E. wollegras	3,84	973	3	119	0,139	1,0	3,5	1,3	324	0	387	41,2	40	38	3,2	56
17-10-2022	gecontroleerd	stro	3,72	531	1	142	0,093	0,9	3,3	1,3	315	1	509	32,3	63	47	3,0	60

Tabel 4. 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), na 3 groeiseizoenen (oktober 2021) en na 4 groeiseizoenen (oktober 2022). Hydrologie: natuurlijk is zonder aanvoer van water en gecontroleerd is met wateraanvoer.

Table 4. 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), after 3 growing seasons (October 2021) and after 4 growing seasons (October 2022). Hydrology: natural is without water supply and controlled is with water supply.

Datum	Hydrologie	Beschutting	pH	CO ₂ μmol/l	HCO ₃ μmol/l	EGV μS/cm	E ₄₅₀	NO ₃ μmol/l	NH ₄ μmol/l	PO ₄ μmol/l	Na μmol/l	K μmol/l	Cl μmol/l	Ca μmol/l	Mg μmol/l	P μmol/l	S 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
2022																	
31-10-2022	natuurlijk	controle	3,41	754	1	196	0,063	140,7	36,8	0,31	392	2	471	26	79	1,5	102
31-10-2022	natuurlijk	E. wollegras	3,55	556	1	153	0,076	80,1	88,0	0,35	352	6	427	23	60	1,0	84
31-10-2022	natuurlijk	stro	3,45	408	0	174	0,089	2,2	12,1	0,91	371	22	486	27	71	2,0	100
31-10-2022	gecontroleerd	controle	3,92	994	3	96	0,125	0,7	70,2	2,88	333	0	344	21	30	5,3	28
31-10-2022	gecontroleerd	E. wollegras	3,88	1048	3	103	0,075	0,7	54,5	1,74	381	1	448	20	42	2,7	27
31-10-2022	gecontroleerd	stro	3,87	1859	6	91	0,074	0,4	46,1	1,44	339	1	342	16	32	1,9	25

Tabel 5. 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 2022.

Table 5. 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 2022.

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		
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
13-10-2022	1	4,25	2508	21	62	0,017	0,3	1,9	0,6	234	0	139	16,0	16,5	0,9	18,0
13-10-2022	2	4,15	617	3	113	0,013	0,3	1,8	0,7	265	16	198	20,6	40,7	1,1	19,5
13-10-2022	3	4,12	855	5	81	0,019	0,2	1,7	0,8	301	0	224
13-10-2022	4	3,92	2472	9	85	0,022	0,1	1,0	0,3	308	0	291	12,5	23,9	0,6	15,8

Tabel 6. 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 2022.

Table 6. Chemical composition of 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 2022.

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
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
17-10-2022	1	3,69	752	2	113	0,032	0,1	1,8	4,0	312	35	285	17,0	21,0	5,9	29,0
17-10-2022	2	3,73	988	2	143	0,058	0,2	2,6	4,1	419	31	386	16,5	35,2	6,6	35,5
17-10-2022	3	3,65	329	1	132	0,043	0,2	2,7	3,6	385	38	388	24,0	23,9	4,7	35,1
17-10-2022	4	3,78	680	2	.	0,057	0,5	4,6	3,5	396	24	427	39,4	36,6	5,6	33,6

Tabel 7. 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 2022.

Table 7. 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 2022.

Datum	Blok	pH	CO ₂ μmol/l	HCO ₃ μmol/l	EGV μS/cm	E ₄₅₀	NO ₃ μmol/l	NH ₄ μmol/l	Na μmol/l	K μmol/l	Cl μmol/l	Ca μmol/l	Mg μmol/l	P μmol/l	S 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
31-10-2022	Blok 1	3,94	2162	8	99	0,091	0,6	52,8	348	0	345	58	55	1,7	39
31-10-2022	Blok 2	3,99	1762	7	101	0,102	0,7	65,7	349	1	423	73	61	1,8	41
31-10-2022	Blok 3	3,93	1970	7	106	0,102	0,7	58,1	396	3	456	76	64	1,7	44
31-10-2022	Blok 4	3,90	1374	5	98	0,102	0,8	38,1	347	0	358	69	51	2,7	47
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

Vervolg Tabel 7.

Continued Table 7.

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. 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
31-10-2022	Blok 1	3,97	2124	8	77	0,100	0,5	16,7	226	3	144	40	31	4,9	36
31-10-2022	Blok 2	3,96	482	2	99	0,112	0,6	84,2	241	15	170	65	55	1,9	123
31-10-2022	Blok 3	4,08	877	4	83	0,126	0,6	160,6	260	6	181	51	39	2,2	61
31-10-2022	Blok 4	3,77	80	0	117	0,109	2,0	36,6	255	0	163	60	50	2,7	136

Bijlage 2. 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, NH_4^+ , NO_3^- , Na^+ , K^+ , Cl^- en PO_4^{3-}).

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-elementenanalyser (EA NA 1500 en EA100 van Carlo Erba-Thermo Fisher Scientific) werd geanalyseerd.

Destructie

Door het plantmateriaal te destrueren (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 (HNO_3 , 65%) en 1 ml waterstofperoxide (H_2O_2 , 30%) toegevoegd en geplaatst in een destructiemagnetron (Milestone microwave type mls 1200 mega). De monsters werden vervolgens gedestruerd 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 °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 (NO₃⁻) en ammonium (NH₄⁺) werden colorimetrisch bepaald met een Bran+Luebbe auto-analyzer III met behulp van respectievelijk salicylaatreagens en hydrazinesulfaat.



Ministerie van Landbouw,
Natuur en Voedselkwaliteit



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



Alle publicaties en producten van OBN Natuurkennis zijn te vinden op
www.natuurkennis.nl

