

Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen

Eindrapportage OBN Hoogveenonderzoek 2009-2010

*Verlenging onderzoek naar effecten van
berkenopslag en dichtheid op
hoogveenvegetaties behorende tot het natte
zandlandschap*

J. Limpens



Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

© 2012 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2012/OBN158-NZ

Den Haag, 2012

Deze publicatie is tot stand gekomen met een financiële bijdrage van het
Ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie.

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap
onder vermelding van code 2012/OBN158-NZ en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling J. Limpens

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

Productie Bosschap, bedrijfsschap voor bos en natuur
Bezoekadres : Princenhof Park 9, Driebergen
Postadres : Postbus 65, 3970 AB Driebergen
Telefoon : 030 693 01 30
Fax : 030 693 36 21
E-mail : algemeen@bosschap.nl

Voorwoord

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

Bijna alle Nederlandse hoogvenen behoren tot het Natura 2000 netwerk. De Nederlandse en Noord Duitse hoogvenen zijn anders dan andere hoogvenen binnen Europa. Het zijn namelijk 'Atlantische lenshoogvenen' met een typische landschapsmorfologie. Het gaat om habitattypen H7120 Herstellende hoogvenen en H7140 Overgangs- en trilvenen.

Het oppervlakte hoogvenen in Nederland is in het verleden sterk afgenomen door ontginning, turfwinning, boekweitbrandcultuur en verdroging. De restanten worden nu bedreigd door verdroging en een te hoge stikstofdepositie. Om dit bijzondere habitat voor Nederland te behouden is er veel onderzoek gedaan en zijn er diverse herstelmaatregelen uitgevoerd. De resultaten laten zien dat, ondanks de bedreigingen, herstel van hoogveen ook de lange termijn in Nederland mogelijk is.

In het voorliggende rapport wordt dieper ingegaan op het effect van berken op het hoogveen en berken het beste verwijderd kunnen worden. De conclusies en aanbevelingen voor het beheer vindt u vanaf pagina 8.

Mocht u nog meer willen lezen, dan verwijs ik u naar het OBN rapport "Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen (OBN151-NZ)" en voor een samenvatting van het hoogveenonderzoek en handvatten voor de beheerder verwijs ik u naar het OBN rapport "Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland (OBN150-NZ)".

Daarnaast raadt ik u aan om het volgende rapport te lezen: "Evaluatie Hoogveengebieden in Nederland". Deze evaluatie is gezamenlijk uitgevoerd door Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Landschap Overijssel en het Ministerie van Defensie en in februari 2011 uitgebracht.

Ik wens u veel leesplezier.

Drs. E.H.T.M. Nijpels
Voorzitter Bosschap

Inhoudsopgave

Dankwoord	7
Conclusies en consequenties voor beheer	8
1 Algemene inleiding	12
1.1 Onderzoeksvragen	13
1.2 Onderzoekopzet algemeen	13
1.3 Deskundigenteam	14
2 Methoden	15
2.1 Wageningen – experiment met bakken veen	15
2.2 Metingen	17
2.3 Haaksbergerveen - veldexperiment	22
2.4 Ligging van de proefvlakken	23
2.5 Beschrijving proefvlakken	24
2.6 Metingen	25
3 Resultaten	28
3.1 Berken en waterbalans: oorzaak of gevolg	28
3.2 Berken en veenmosverdamping	33
3.3 Berken en vegetatie	36
3.4 Belemmeren Berken uitbreiding bultvormende veenmossen?	40
Literatuur	42

Dankwoord

Voor u ligt de eindrapportage van het vervolg van twee projecten: het OBN-onderzoeksproject *'Effecten van berkenopslag en dichtheid op hoogveenvegetaties behorende tot het natte zandlandshap'* en deelproject 7 van het OBN-onderzoeksproject *'Vervolg OBN Hoogveenonderzoek 2006-2008'*. Het eerste deel van het onderzoek is eerder in rapportvorm verschenen en vormt samen met het huidige rapport 1 geheel. In het eerste rapport lag het accent op de resultaten van de eerste twee jaar inclusief een literatuur bespreking. Het tweede, huidige, rapport gaat in op de resultaten van de laatste twee jaar en de conclusies die na 4 jaar onderzoek gedaan kunnen worden. Waar metingen over de volle vier jaar beschikbaar zijn worden deze besproken, maar een uitgebreide vergelijking met de literatuur is buiten wege gelaten om overlap met het vorige rapport zoveel mogelijk te voorkomen.

Het onderzoek in deze rapportage werd, in opdracht van de Directie Kennis van het ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, in zijn geheel uitgevoerd door Wageningen Universiteit (leerstoelgroep Natuurbeheer & Plantenecologie), door en onder leiding van Juul Limpens.

Een deel van het onderzoek is tot stand gekomen met extra financiering vanuit Staatsbosbeheer en de Nederlandse Stichting tot behoud van Ierse Venen.

Ik wil graag de volgende mensen bedanken die hun steen (of turfje) hebben bijgedragen aan het berkenonderzoek in deze rapportage. Allereerst dank aan studente Harriett Rhea die heel wat uurtjes heeft gestoken in de uitvoering van het verdampingsexperiment waarvan enkele foto's op de voorpagina staan. Ze concludeerde: *I really will take a lot from this experience..one thing being..moss is very unpredictable*. Nou ja dat klopt. Verder mijn dank aan Yasmijn van der Knaap, die naast een modelstudie aan berkengroei op veen ook heeft geholpen aan het verder uitwerken van de hoop verzamelde gegevens. Ook dank aan Roy Dear en Rick Ruis van Staatsbosbeheer voor het mogen werken in het mooie Haaksbergerveen en hun coulante opstelling wanneer ik weer eens was vergeten om voorafgaand aan een bezoek te bellen. Daarnaast dank aan André Janssen en Gerard Grimberg die mij hebben geholpen met de aanvraag voor uitstel van de eindrapportage. Als laatste alle lof voor Frans Möller die liters water uit de bakken in Wageningen heeft gepompt en een heroïsche hoeveelheid vegetatieopnamen heeft ingevoerd.

Conclusies en consequenties voor beheer

In de afgelopen twee jaar hebben we twee al langer lopende experimenten verder gevolgd om te zien of de effecten van berkendichtheid op verschillende onderdelen van een hoogveenecosysteem zouden veranderen door de tijd. We hebben de effecten van berkendichtheid op waterbalans en op vegetatiesamenstelling, inclusief mosgroei, onderzocht.

Berken en waterbalans

Onze eerdere verrassende resultaten werden bevestigd: bij een lage berkenbedekking verdampte veen met berkenopslag meer dan veen zonder berk, terwijl veen met een hoge berkendichtheid juist minder verdampte dan veen zonder berk. De grens tussen een negatief effect op de waterbalans en een positief effect ligt bij een Leaf Area Index (LAI = bladoppervlak per landoppervlak) van c. 1.7. Dit betekent dat al het blad bij elkaar een vierkante meter kan bedekken met een laag van bijna 2 berkenblaadjes dik. In praktijk is dit een berkenbos en geen opslag meer. Bij een LAI rond 0.5 hebben berken het meest negatieve effect op de waterbalans: veen met berk kan dan in de zomer tot 30% meer verdampen dan veen zonder berk. Het beschuttingseffect lijkt niet beïnvloed te worden door de samenstelling van de ondergroei (kruiden of mos) – in tegenstelling tot onze eerdere verwachtingen.

Bij een LAI van 1.7 of meer heeft verwijderen van berk een negatief effect op de waterbalans. In alle andere omstandigheden leidt verwijderen van berk tot positieve effecten op de waterbalans. Dit zou betekenen dat je voor de waterbalans in de meeste gevallen berken het beste van het veen af kunt halen, behalve wanneer je een berkenbos op veen wilt ontwikkelen. Of de effecten van berkendichtheid op de waterbalans zich vertalen tot verschillen in waterpeil, m.a.w. het meer of minder diep wegzakken van het water in de zomer, hangt af van de aanvoer van water. Zo zal voor berken op drijftillen of plekken met grote zijdelingse toestroming van water, het effect op de waterbalans niet weerspiegeld worden in lokale waterstandverschillen.

Het onderzoek richtte zich op kleine schaal. Dit heeft als consequentie dat de resultaten het best vertaalbaar zijn naar een vergelijkbare schaal, bijvoorbeeld op compartimentniveau in een veen. Op grotere schaal, bijvoorbeeld op de schaal van een heel veen, gaan veranderingen in windinvloed als gevolg van het kaal zagen van meerdere compartimenten het effect op de waterbalans mee bepalen. Zo zal bij gelijke bestandskenmerken, een schaakbordpatroon van gekapte en niet-gekapte compartimenten (I) een ander effect hebben dan een centrum van open gekapte compartimenten met niet-gekapte compartimenten aan de rand (II). In het eerste geval zullen de randeffecten groot zijn en waarschijnlijk verschillen in evapotranspiratie tussen gekapte vs. niet gekapte compartimenten nivelleren, terwijl in het tweede geval de verschillen tussen gekapte en niet gekapte compartimenten

toe zullen nemen. Hoe variaties in deze verdeling netto uitpakken voor de totale waterbalans kunnen we niet zeggen op basis van onze resultaten.

Berken en vegetatie

Bij hogere dichtheid beperken Berken de groei van grasachtigen zoals Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) en Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) door beschaduwning. Het verwijderen van berk leidt in deze omstandigheden tot uitbreiding van de bedekking van ondergroei door grasachtigen. Deze soorten profiteren van de verminderde beschaduwning van berk, vooral wanneer de waterstand in de zomer diep weg zakt. Wanneer de uitbreiding beperkt blijft (bij hoog waterpeil), kunnen de grasachtigen zorgen voor een gunstiger microklimaat voor het vestigen van de veenmossen (pollenbuffering).

Bultvormers en berken gaan niet goed samen: door de extra beschutting en de (fosfor rijke – zie eerdere rapportage) bladval hebben snel groeiende soorten zoals *Sphagnum fallax* en *Sphagnum fimbriatum* een voordeel boven de langzaam groeiende bultvormer *Sphagnum magellanicum*. Dit geldt vooral voor de vestigingsfase: wanneer *Sphagnum magellanicum* zich eenmaal gevestigd heeft, kan hij best lang stand houden.

Groei van Berk

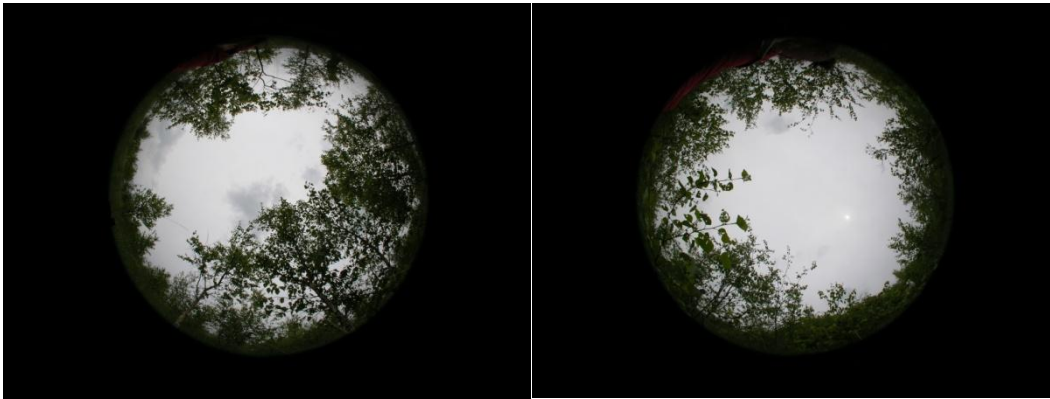
Berken kiemen goed op open veenmos en overleven het best op niet te erg beschaduwde, met veenmos begroeide, middelhoge bulten (vaak oude met veenmos begroeide pollen Eenarig wollegras). Groeisnelheid van eenmaal gevestigde berken is sterk gekoppeld aan waterstand (hoe lager ten opzichte van het veenmosoppervlak hoe beter), temperatuur (hoe warmer hoe beter) en, voor berken op vast veen, met regenval in het groeiseizoen (hoe meer regen hoe beter). Voor berken op drijftillen is de regenfrequentie in het groeiseizoen niet belangrijk.

Het opnieuw uitlopen van berken na kappen leidt tot een tijdelijke groeispuurt van uitlopende loten. De groeisnelheid van de loten buiten het eerste jaar volgt hetzelfde patroon als voor niet-gekapte berken. De biomassa van nieuw gevormde spruiten lijkt af te hangen van de dikte van de berken (hoe dikker, hoe meer of hoger) de nieuwe loten. De precieze relatie hebben we echter niet onderzocht.

Berken verwijderen

Voorkomen is beter dan genezen. In het Nederlandse veen kunnen we echter bar weinig doen tegen berkenkieming. De balans tussen veenmosgroei en groei van zaailingen ligt in het voordeel van de berken. Dit komt waarschijnlijk door een combinatie van hoge voedselbeschikbaarheid (stikstof en fosfor) voor de berk en plaatselijk ook door suboptimale condities voor veenmosgroei. Hoge waterstanden remmen de groei van berk echter aanzienlijk door het beperken van de doorwortelbare laag (en daarmee de hoeveelheid gemakkelijk opneembare voedingsstoffen) en het positieve effect op de veenmosgroei; bij zomerwaterstanden van maximaal 15-20 cm onder het veenmosniveau (zoals op drijftillen) groeien berken doorgaans erg traag. Deze hoge waterstanden zijn echter bij hoge voedselbeschikbaarheid en beschutting door hogere planten ook erg gunstig voor de snel groeiende *S. fallax*.

Wanneer tot berkenverwijdering wordt besloten, kan dit het beste gebeuren voordat hun negatieve effecten op de waterbalans het grootste is, dus zeker voordat de LAI rond de 0.5 ligt (zie foto's volgende pagina ter illustratie) en liever beneden LAI van 0.5.



Twee 8 mm fish-eye foto's van een berkenbestand met een LAI rond de 0.5 (c. kroonbedekking tussen 30 en 40%).

Afzagen van berken lijkt de meest praktische methode, al is trekken van berk en beschadiging van wortels in het groeiseizoen efficiënter. Bij afzagen is het beter om de stam wat hoger op (meer dan 50 cm) door te zagen: afzagen ter hoogte van de stambasis leidt tot meer uitbundige hergroei dan afzagen hoger op de stam. Ook kan de berkenstam beter niet te dik zijn om het aantal nieuwe loten dat gevormd wordt na afzagen te beperken. Het is moeilijk een bepaalde leeftijd aan deze stamdikte te koppelen: berken op veen met een stamdiameter van 4 cm kunnen tussen 6 en 30 jaar oud zijn, afhankelijk van waterstand en voedingsstoffen. Kortom niet zozeer leeftijd, maar een combinatie van boomdikte en bestandsopbouw zou bepalend moeten zijn voor berkenverwijdering: een bestand dat nog niet te dicht is (LAI kleiner dan 0.5) van berken met een nog vrij dunne stam (diameter 3-4 cm). Of beter in de nazomer of in de winter gezaagd kan worden blijft onduidelijk, beide zaagmomenten leidden tot hergroei van berk in onze proefvlakken in het Haaksbergerveen.

Verwijderen van berk kan het beste gebeuren in combinatie met extra hydrologische maatregelen zoals dempen van slootjes, en/of het kappen van grote oppervlakten tegelijk (liefst op compartiment niveau) om (her)groeisnelheid en de uitbreiding van grasachtigen te beperken. Wat het effect is van een verschil in ruimtelijke verdeling van gekapte dan wel niet-gekapte compartimenten kunnen we niet zeggen op basis van onze resultaten.

Verder onderzoek?

Het onderzoek richtte zich op kleine schaal. Dit heeft als consequentie dat de resultaten het best vertaalbaar zijn naar een vergelijkbare schaal, bijvoorbeeld op compartimentniveau. We kunnen dan ook geen uitspraak doen of er nog onderscheid moet worden gemaakt tussen de onderlinge positie van gekapte dan wel niet-gekapte compartimenten. Dit zou eventueel uitgezocht kunnen worden door gebruik te maken van (micro)meteorologische modellen in combinatie met enkele veldmetingen.

Uit 4 jaar onderzoek blijkt dat berken goed groeien bij relatief diep wegzakkende waterstanden in de zomer met een vochtig blijvende veenlaag erboven. Deze eisen komen verdacht goed overeen met de beste plek voor bultvormende veenmossen zoals *Sphagnum magellanicum*. Het omhoog brengen van de waterstand remt weliswaar de berkengroei, maar stimuleert juist de groei van snelgroeiende vochtminnende veenmossen, zoals *Sphagnum fallax*, die geen bulten vormen en die vestiging en uitbreiding van

de langzamer groeiende bultvormers, zoals *Sphagnum magellanicum* bemoeilijken. Het bovenstaande doet vermoeden dat bij we bij hoge voedselbeschikbaarheid (fosfor en stikstof) wel de jonge successiestadia zonder bultvormers terug kunnen krijgen, maar dat ontwikkeling en instandhouding van de latere successiestadia met bultvormers zonder aanvullend beheer (lees berken verwijderen) moeilijk wordt. Voor een deel lost het probleem van hoge voedselbeschikbaarheid zichzelf waarschijnlijk op termijn op. De hoge fosfor beschikbaarheid is in veel gebieden waarschijnlijk een na-ijlend effect van de vernatting van de ooit verdroogde veenlagen. Wanneer het fosfor weer in organisch materiaal (nieuw veen) wordt vastgelegd, zal de concentratie voor planten beschikbaar fosfor op termijn waarschijnlijk afnemen, al kunnen hogere planten, zoals berk, dit proces vertragen door als een soort fosforpomp te werken (ze kunnen dieper opgenomen fosfor weer terug in de kringloop te brengen via hun dode bladeren - vorige rapportage). Voor stikstof geldt een vergelijkbaar principe: stikstof kan op termijn in veen worden vastgelegd. Het verschil met fosfor echter is dat er nog steeds stikstof wordt toegevoerd via depositie uit de lucht. Of het hierboven geschetste beeld helemaal klopt, is niet helemaal zeker maar een ding is duidelijk: het duurzaam ontwikkelen van latere hoogveenstadia is het vinden van de juiste balans tussen beschikbaarheid van voedingsstoffen en water enerzijds en de competitie tussen bultvormers en andere, sneller groeiende mossen en hogere planten anderzijds. Hoe die balans precies uitpakt kunnen we op basis van ons berkenonderzoek niet zeggen: metingen aan voedselbeschikbaarheid en waterdynamiek in verschillende venen in goed en slecht ontwikkelde latere successiestadia kan hier opheldering in brengen.

1 Algemene inleiding

In het hoogveenbeheer bestaat al langere tijd de urgente vraag wat te doen met de berkenopslag in de hoogveenrestanten. Deze vraag is urgent, omdat nog steeds onvoldoende duidelijk is of en wanneer deze maatregel noodzakelijk is. Bovendien is het verwijderen van de berkenopslag in veenreservaten een zeer kostbare maatregel. Aan de ene kant kunnen berken een negatief effect op hoogveen(vegetatie) en het voor veenontwikkeling zo belangrijke veenmos hebben door interceptie (tegenhouden) van neerslag, sterke evapotranspiratie (totale verdamping) met als gevolg grotere waterstandsfluctuaties, beschaduwning van de ondergroei, toevoer van extra voedingsstoffen via bladval, en - in het geval van berken op drijftillen - oppervlakkige verdroging van het drijftiloppervlak door zich omhoogwerkende wortels of op de langere termijn beschadiging van de drijftil als de berken omvallen. Aan de andere kant kan beschutting door berk zorgen voor een stabiel en vochtiger microklimaat onder berken wat op zijn beurt gunstig kan uitpakken voor veenmosgroei, in het bijzonder gedurende periodes van droogte of hoge zoninstraling. Daarnaast brengt het verwijderen van berk zelf vaak een grote verstoring van het ecosysteem met zich mee. De hoge kosten en de versturende invloed van berkenverwijdering maken het belangrijk te weten of in het ecosysteem ingegrepen dient te worden of niet, en zo ja, wanneer (en hoe) dan wel.

Eerder onderzoek in het kader van OBN-hoogvenen eerste fase in de Tuspeel (door afdeling Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen) gaf indicatie dat verwijdering van een dichte berkenopstand positief kan werken op de lokale hydrologie. De zomerwaterstanden zonder verwijdering bedroegen -70 cm, na verwijdering nog maar -40 cm. Deze vernatting werkte door op de vegetatieontwikkeling. Na een massale uitbreiding van Eenarig wollegras, konden veenmossen zich tussen de pollen vestigen en uitbreiden. Engels ecohydrologisch onderzoek m.b.v. grote lysimeters laat zien dat de waterstand onder volwassen berken op veen c. 10-15 cm consistent lager ligt dan de waterstand in vergelijkbare vegetatie zonder berken (Bragg 2002). Het eerste deel van het OBN berkenonderzoek in de periode 2006-2008 (verplichtingnummers 3912167 en 3201922) liet zien dat berken weliswaar de hydrologie konden beïnvloeden, maar dat het effect afhing van de dichtheid van de berkenopstand: bakken veen met een lage berkendichtheid verdampten meer water dan open veen terwijl bakken met een hoge berkendichtheid juist minder water verdampten dan open veen. Hoewel de hoge berkendichtheid positief uitpakte voor de systeemverdamping, betekende de hogere beschaduwning en toegenomen bladval juist een extra aanslag op de ondergroei: veenmos ging ijler groeien. In 2009 werd besloten het onderzoek voort te zetten om nader uit te zoeken bij welke berkendichtheid het beschuttende berkeneffect de toegenomen verdamping zou compenseren en of de resultaten ook op langere termijn consistent zouden blijken.

Het uitgevoerde onderzoek had tot doel antwoord te geven op de onder de beheerders levende 2 hoofdkennisvragen over de effecten van berken op hoogveenvegetatie:

1. Wat voor effect heeft berkenopslag en de verwijdering ervan op hoogveenvegetatie?
2. Op welk moment in hun leeftijdsfase en op welke manier (trekken, zagen) kunnen berken het beste worden verwijderd?

1.1 Onderzoeksvragen

Voor het uitgevoerde onderzoek werden de twee op de vorige pagina genoemde hoofdkennisvragen verder onderverdeeld in de volgende onderzoeksvragen voor 2009-2010:

1. Heeft een hoge berkendichtheid ook op langere termijn een positief effect op de waterbalans?
2. Verandert de bergingscoëfficiënt van het veenmostapijt als gevolg van een hoge berkendichtheid?
3. Hebben berken (Wageningen) en het verwijdering van berkenopslag (Haaksbergerveen) een effect op de veenmosgroei en (soorten)samenstelling van de ondergroei?
4. Op welk moment in hun leeftijdsfase kunnen berken het beste worden verwijderd?

1.2 Onderzoeksopzet algemeen

Om de kennisvragen te beantwoorden werden een tweetal manipulatieve hoofdexperimenten opgezet. Een experiment onder gecontroleerde omstandigheden met bakken veenvegetatie in Wageningen en een veldexperiment met gekapte en niet-gekapte proefvlakken in het Haaksbergerveen.

Het experiment in Wageningen onderzocht de effecten van 3 dichtheden berk (geen berken, 0,2 berk per m² en 1 berk per m²) op de waterbalans van hoogveenvegetatie en op veenmosgroei. Dit onderzoek had tot doel te onderzoeken of de aanwezigheid van berk positief kan uitwerken voor de veenmosgroei door een vochtiger microklimaat te creëren en wat de gevolgen waren van verschillende berkendichtheid voor de waterhuishouding van het veen zelf.

Het veldexperiment in het Haaksbergerveen had tot doel de effecten van berkendichtheid, via berkenverwijdering, op verdamping en groei van veenmos en de hoeveelheid bladval te onderzoeken. Hiervoor werden op 14 locaties die verschillen in berkendichtheid (0.2 – 3.6 berk per m²) twee naast elkaar gelegen proefvlakken uitgezet, waarbij in 1 van de paren de berken waren verwijderd.

Zie het volgende hoofdstuk (methoden) voor een uitgebreidere omschrijving.

1.3 Deskundigenteam

Het onderzoek stond onder supervisie van het OBN-deskundigenteam Nat zandlandschap onder voorzitterschap van André Janssen.

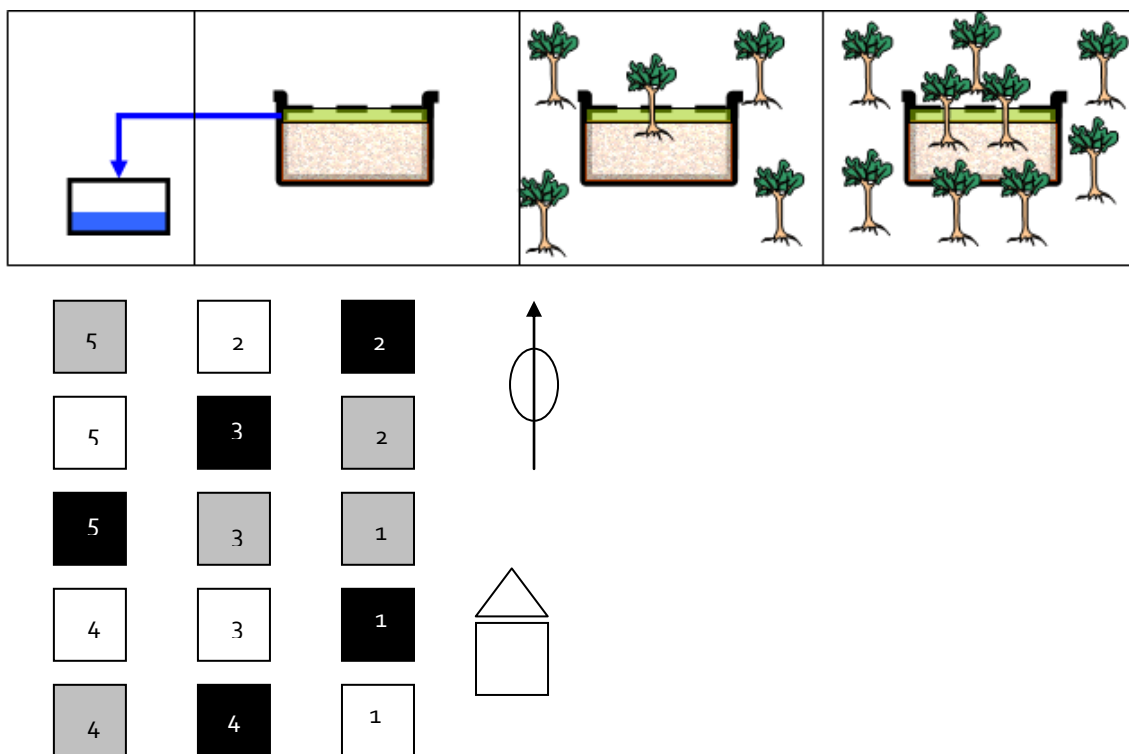
2 Methoden

2.1 Wageningen – experiment met bakken veen

Onderzoeksopzet

Het experiment onderzoekt de effecten van 3 dichtheden berk (geen berken, 0,2 berk per m² en 1 berk per m²) op de waterbalans van hoogveenvegetatie en op veenmosgroei.

Uit dit onderzoek moet blijken of de aanwezigheid van berk positief kan uitwerken voor de veenmosgroei door een vochtiger microklimaat te creëren en wat de gevolgen zijn van verschillende dichtheid van berkenopslag voor de waterhuishouding van het veen zelf.



Figuur 3.1: Schematisch overzicht van proefopzet (A) en de ligging van de proefvlakken (B). Proefvlakgrootte = 9 x 10 m. Tussen de proefvlakken lag in de lengterichting 1 meter en in de breedte 3 m. De bakken hadden een doorsnede van 1.2 m, waren 1 m diep en voorzien van een overloop die leidde tot een maximale winterwaterstand van 10 cm onder het mospniveau. De bakken waren in het midden van de proefvlakken ingegraven. De bodem tussen de bakken was bedekt met gras dat regelmatig werd gemaaid. Witte vierkantjes: geen berken. Grize vierkantjes: 0.2 berk m² en zwarte vierkantjes: 1 berk m². De cijfers geven de experimentele blokken weer die gebruikt zijn om te corrigeren voor positie (blok) effecten in de statische analyse. De volgorde was zo gekozen omdat aan de oostkant van het proefveld een boerderij met hogere bomen lag. In sommige jaren en perioden was het blok effect significant, maar nooit groter dan het behandelingseffect.

In 2007 werden 15 proefvlakken uitgezet van 10 x 9 meter. De proefvlakken werden beplant met Ruwe berk (*Betula pendula* - hoogte: 1.5 m, herkomst kweker) met de volgende dichtheden: 0, 0.2 en 1 berk per m² (Figuur 3.2), waardoor bosjes (Figuur 3.3 E-D) met variërende berkendichtheid werden gecreëerd. Er waren 5 herhalingen van elke berkendichtheid behandeling. Midden in de proefvlakken werden betonnen ringen (diameter 1.25 m, hoogte 1 m) ingegraven met daarin vijverfolie (deze veenvijvers worden in de rest tekst bakken of veenbakken genoemd). De bakken werden gevuld met onbemest turfstrooisel (witveen, herkomst Estland) met daarbovenop 30 cm acrotelm veen (herkomst Estland, Figuur 3.3 A-C). Na toevoegen van het turfstrooisel in maart 2007 waren de bakken binnen een maand volgelopen met regenwater. Vlak voor toevoeging van het echte veen in mei werd het regenwater vervolgens zover uit de bakken gepompt dat het acrotelmveen erin paste. De waterstand werd vervolgens met behulp van het water uit de overloop weer tot overloophoogte teruggebracht. Dominante veenmossoorten van het verzamelde acrotelmveen waren Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en Bruin veenmos (*Sphagnum fuscum*). De kruidenbedekking lag rond de 10-20%. In de bakken werd, in dezelfde dichtheid als het

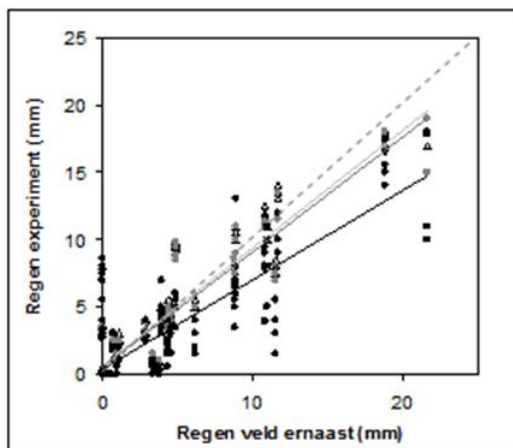
omringende proefvlak, Ruwe berk (herkomst: Bargerveen, NL, hoogte c. 1.75 m) geplant: 1 berk per bak voor de lage dichtheid en 2 berken per bak voor de hoge dichtheid. De berken werden twee keer in de bakken geplant. De eerste poging (mei 2007) mislukte, zeer waarschijnlijk omdat de berken al in blad stonden. De tweede poging (winter 2007-2008) lukte wel. De dode berken konden gemakkelijk met wortel en al uit de bakken worden verwijderd door het acrotelmveen lichtjes op te lichten met een riek. In de bakken zonder berk werd het acrotelmveen ook lichtjes opgelicht om de verstoring gelijk te houden. Elke bak werd uitgerust met een overloop die uitmondde in een afdekbare 50 l ton om het overtollige water te kunnen opvangen. De maximale waterstand kwam daarmee op ongeveer 10 cm onder het mosoppervlak (positie overloop).

2.2 Metingen

Water

Waterstand: de waterstand in de bakken (Figuur 3.3 E-1) werd wekelijks op maandag gemeten gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008). In 2009 en 2010 werd vervolgens enkel in het zomerseizoen (mei-september) gemeten. Extra (gedemineraliseerd) water werd aan de bakken toegevoegd indien de waterstand langdurig onder het acrotelmveen dreigde te zakken en de bovenste laag veenmos uitgedroogd was. Dit gebeurde in: juni 2008 (1x 25 liter), juni & augustus 2009 (2 x 25 liter) en juli 2010 (85 liter) – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.

Regen: regenval werd bijgehouden met 15 regenvangers (Nortene, pluvius 2), 1 regenvanger per proefvlak. De regenvangers hadden een verbrede opening (doorsnede 8 cm) op een hoogte van c. 30 cm boven mosniveau maar onder de berkenkroon vlak naast de veenbakken. Dit betekent dat meteen werd gecorrigeerd voor interceptie van neerslag door de berkenkronen. De regenvangers werden wekelijks geleegd en het volume opgemeten op maandag gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008). In 2009 en 2010 werd vervolgens enkel in het zomerseizoen (mei-september) op maandag gemeten. Vergelijking met meer geavanceerde regenvangers (tipping bucket systeem) laat zien dat de gemeten regensommen goed met elkaar overeenkomen (Figuur 3.2) en dat de spreiding beperkt is (de R^2 van de regressie lijnen ligt dicht bij 1). In de figuur is ook mooi de interceptie van de regen door de berken te zien (de zwarte lijn ligt het verste van de 1:1 lijn). – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.

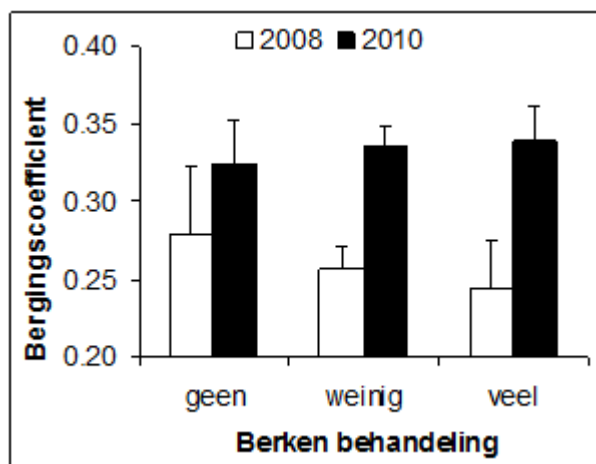


	Haarweg	Veld ernaast
geen berk	0.83	0.86
weinig berk	0.83	0.87
veel berk	0.77	0.75

R^2 regressie tussen regen gemeten in experimentele behandelingen, meteo-station Haarweg en 200 m verderop (lijnen in de grafiek refereren naar "veld ernaast")

Figuur 3.2: Nauwkeurigheid gebruikte regenvangers. Relatie tussen regen in experiment en regen gemeten met meer geavanceerde regenvanger op c. 200 meter ten oosten het experiment (grafiek) in 2009. De onderbroken lijn is de 1:1 ratio (het ideaal). De doorgetrokken lijnen geven regressielijnen van de regen in de verschillende behandelingen weer. Licht grijs is controle zonder berk, donkergrijs is weinig berk en zwart is de regen in de dichte proefvlakken. Conclusie: de gebruikte regenvangers doen prima hun werk: zware buien werden mogelijk licht onderschat – maar onderschatting kan ook gevolg zijn van sterk lokale buien. Verschillen in regressielijnen tussen berkenbehandelingen zijn gevolg van verschillen in interceptie van regen door het berkenbladerdek.

Overloopwater: De overloopvaten werd wekelijks op maandag geleegd en het volume bepaald gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008). In 2009 en 2010 werd vervolgens enkel in het zomerseizoen (mei-september) gemeten – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.



Figuur 3.3: Gemiddelde bergingscoëfficiënt per berkenbehandeling en jaar. Voor berekening van de verdamping per veenbak werd de bergingscoëfficiënt van beide jaren gemiddeld. In 2010 werd een hogere bergingscoëfficiënt gemeten (ANOVA, $p < 0.05$).

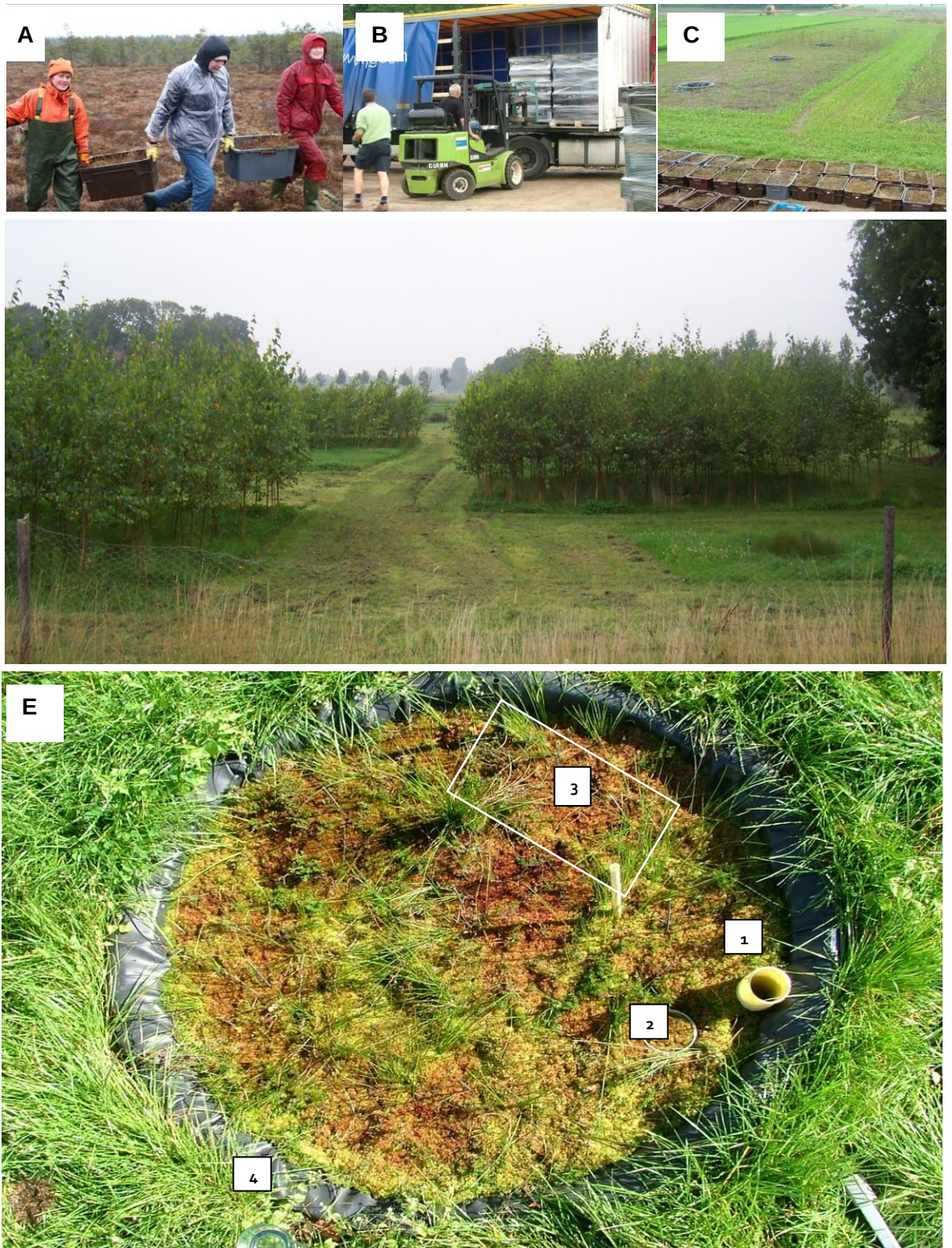
Berging bakken: in april 2008 en 2010 werd de bergingscoëfficiënt van elke veenbak bepaald door 30 l water in stappen van 5 liter met tussenpozen van minimaal 4 uur uit de bakken te pompen. De waterstand werd telkens vlak voor het pompen gemeten. De bergingscoëfficiënt van 2010 was systematische hoger (0.30-0.35) dan die uit 2008 (0.25-0.30) voor alle berkenbehandelingen, al was het effect het grootste in de bakken met berk (Figuur 3.3). Het is niet duidelijk of dit verschil ligt aan de manier van meten, of aan de groei van veenmos in de tussenliggende jaren. Voor het berekenen van de zomer evapotranspiratie uit de bakken (2008 t/m 2010), hebben we gekozen de bergingscoëfficiënt van beide jaren te middelen.

Mosverdamping: Er zijn in totaal 2 verschillende experimenten met mosverdamping uitgevoerd. In het eerste experiment werd het effect van berkenbeschutting op de verdamping van verschillende soorten veenmos getest (zie vorige rapportage). In het tweede experiment werd onderzocht of nat en droog mos hetzelfde reageren op berkenbeschutting. In deze rapportage laten we enkele resultaten van het tweede experiment zien. Zomer 2009. Twee soorten potten met Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en een pot open water werden ingegraven in de veenbakken in Wageningen (Figuur 3.5). In een pot (diameter 9.5 cm, diepte 12.5 cm) werd de waterstand na iedere meting teruggebracht tot 10 cm onder het mosoppervlak). De andere pot bestond uit twee dezelfde op elkaar geplaatste potten (2x diameter 9.5 cm, diepte 12.5 cm). Het bovenste potje van het paar had een geperforeerde bodem, waardoor overtollig regenwater door het mos druppelde maar wel kon worden opgevangen, en na het meten weggegooid (Figuur 3.5). Tussen 12 juni en 31 augustus werd de gewichtsverandering door verdamping en regen gemiddeld om de 2 dagen gemeten met een keukenweegschaal (nauwkeurigheid 0.1 g). De hoge meetfrequentie is te danken aan een Engelse stage studente Fiona Preston.

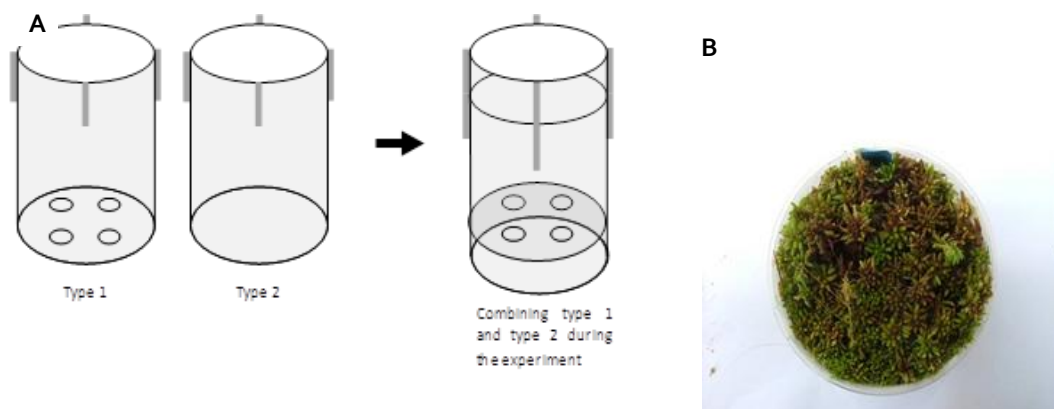
Groei en vegetatie

Veenmosgroei: Tussen 2007 en 2010 werd de hoogtegroeï op 5 punten per bak in het voor- en najaar gemeten met cranked wires (in het veen verankerde stokjes).

Vegetatiesamenstelling: Tussen 2008 en 2010 werd de vegetatiesamenstelling jaarlijks in augustus-september bijgehouden in permanente kwadraten (Figuur 3.4 E-3). Hiervoor maakten we gebruik van de point-quadrat methode. Een frame werd telkens op een vaste plek boven de permanente kwadraten geplaatst. Vervolgens werd op 150 punten een naald verticaal naar de onderliggende vegetatie neergelaten. Elke soort die geraakt werd door de naald werd genoteerd. Deze methode levert herhaalbare en nauwkeurige schattingen van verschuivingen in bedekking en biomassa.



Figuur 3.4 A: Veen halen in Estland – Soosaare, B: Veen wordt uitgeladen in Wageningen, C: Overzicht van de kratjes met veenvegetatie met de bakken waar het veen in wordt geplaatst, D: Overzicht experiment in zomer 2008, wat opvalt, zijn de proefvlakken met hoge berkendichtheid, E: Een van de vijvers – 1 = drainagebuis leidend naar overloop, 2 = lysimeterbakje met veenmos, 3 = permanent kwadraat, 4 = regenmeter

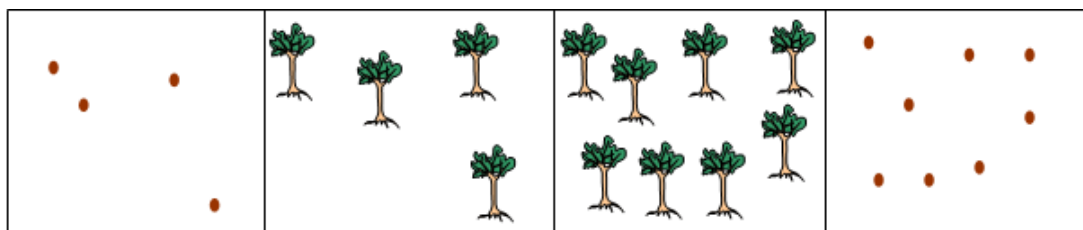


Figuur 3.5: **A** In 2009 werden in de proefvlakken in Haaksbergen (*Sphagnum fallax*) en in de Wageningse veenbakken (*Sphagnum magellanicum*) 3 verschillende potten mos geplaatst om het effect van berkendichtheid en waterbeschikbaarheid op veenmosverdamping te testen. De opzet bestond uit een potje gevuld met water (controle), 1 enkele dichte pot (type 2, alleen Wageningen) met mos en twee op elkaar gestapelde potten (type 1 in type 2, Wageningen en Haaksbergerveen). **B:** Bovenaanzicht potje met *Sphagnum magellanicum* (Hoogveenveenmos) – gezet in het experiment in Wageningen. © tekening potjes: Bingxi Li.

2.3 Haaksbergerveen - veldexperiment

Onderzoeksopzet

Het veldexperiment in het Haaksbergerveen onderzoekt de effecten van berkendichtheid, via berkenverwijdering, op verdamping en groei van veenmos en de hoeveelheid bladinvall. Hiervoor zijn op 14 locaties die verschillen in berkendichtheid ($0.2 - 3.6$ berk per m^2) twee naast elkaar gelegen proefvlakken uitgezet, waarbij in 1 van de paren de berken zijn verwijderd (Figuur 3.6).



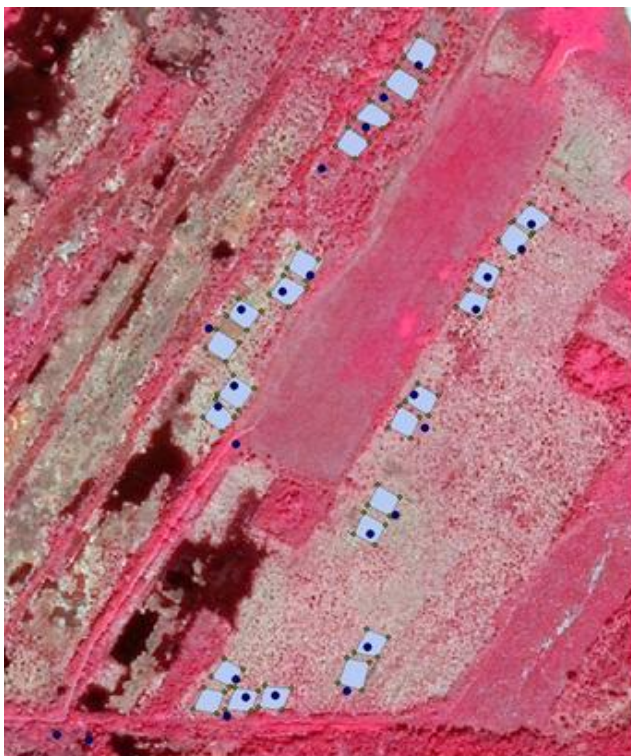
Figuur 3.6: Schematisch overzicht van 2 proefvlakparen. Proefvlakgrootte = c. 10×10 m. De kleine rondjes geven verwijderde berken aan. De grote cirkels geven de punten aan veenmosverdamping aan kleine lysimeters is onderzocht. De onderlinge positie van de gekapte en niet-gekapte proefvlakken is telkens afgewisseld i.v.m. hydrologische gradiënt in meetgebied.

2.4 Ligging van de proefvlakken

Begin oktober 2007 werden na een tweetal veldbezoeken (Fochteloerveen) en Haaksbergerveen), het Haaksbergerveen als onderzoek locatie uitgezocht omdat daar een groter bereik was in berkendichtheid. Na uitkiezen van 28 proefvlakken op 14 locaties verschillend in bestandskenmerken, werden vanaf oktober 2007 telkens van één proefvlak per paar de berken afgezaagd en opgemeten (hoogte en diameter). In de winter/voorjaar van 2008 werden vervolgens het aantal en de diameter van de niet-gekapte berken gemeten. Zie voor overzicht proefvlakken en proefvlakparen figuren 3.7 en 3.8. Uitgelopen en nieuw gekiemde berken werden in de daaropvolgende winters (2008-2009 en 2009-2010) opnieuw verwijderd.



Figuur 3.7: Overzicht van het Haaksbergerveen met proefvlaklocaties 1 t/m 14. Locatie (plot) 14 lag verder naar het noorden. Bron: Google Earth.



Figuur 3.8: Overzicht van de proefvlakparen 1 t/m 13 met (2007) als achtergrond. Proefvlakken van 10 x 10 m zijn uitgezet met een meetlint en

achteraf ingemeten m.b.v. de Garmin methode (op 2 cm nauwkeurig), en een Leica GPS systeem (blauwe punten, op 10 m nauwkeurig). Na berekening van de oppervlakten m.b.v. ARC GIS, is de definitieve oppervlakte en berkendichtheid van de proefvlakparen vastgesteld (Tabel 3.1).

2.5 Beschrijving proefvlakken

De 28 uitgezette proefvlakken omvatten zowel situaties met drijvend veen als met vast zwartveen, al is het niet gelukt een gelijke verdeling te vinden tussen de twee typen veen. De meeste locaties lagen op zwart veen, terwijl we 2 locaties hadden die volledig op een (jonge) drijftil lagen met lage berkendichtheid (locaties 13 en 9). Desondanks was er een goede spreiding in de zomerwaterstanden ten opzichte van het mosoppervlak (Tabel 1). Daarnaast was de ondergroei van de proefvlakken grotendeels vergelijkbaar met Fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) dominant in de moslaag en Eenarig wollegras (*Eriophorum vaginatum*) dominant in de kruidlaag. De locaties met erg dichte berkenopslag hadden naast Eenarig wollegras ook vrij veel Pijpestrootje (*Molinia caerulea*) en plekken met Gewone dopheide (*Erica tetralix*).

De berkenopstanden van de 14 locaties bleken een goede spreiding te vertonen in verschillende opstand karakteristieken zoals cumulatief stamoppervlak, hoogteverdeling en dichtheid (Tabel 3.1). Daarnaast bleken de proefvlak paren, op enkele uitzonderingen na, aardig met elkaar overeen te komen. De minste overeenkomst tussen de proefvlak paren was de meest gemeten hoogte (mode hoogte). Waarschijnlijk komt dit doordat bij het opmeten van de niet-verwijderde berken, de veel voorkomende kleine exemplaren makkelijker over het hoofd worden gezien.

Locatie	Opp proefvlak		Dichtheid		Som stamopp		Hoogte		Wstand tov mos		LAI 2009
Berk	aanw	weg	aanw	weg	aanw	weg	aanw	weg	aanw	weg	aanw
1	106	102	0.7	0.8	0.024	0.056	0.8	2.3	31	25	0.46
2	98	97	1.0	1.1	0.054	0.070	0.9	1.2	33	30	1.01
3	107	102	1.0	1.3	0.043	0.067	0.7	0.9	33	28	0.76
4	106	109	1.1	1.4	0.016	0.056	0.6	1.2	11	14	0.45
5	91	99	1.7	1.7	0.017	0.027	0.7	0.5	19	19	0.34
6	101	105	1.7	1.2	0.030	0.039	0.9	1.7	26	26	0.53
7	125	105	0.9	1.7	0.008	0.035	0.9	0.8	26	26	0.24
8	122	95	0.9	1.3	0.016	0.038	0.4	0.4	20	16	0.37
9	102	105	0.3	0.6	0.005	0.006	0.9	0.9	11	12	0
10	114	103	1.1	2.2	0.030	0.075	0.9	1.0	25	21	0.71
11	97	106	3.6	1.8	0.056	0.032	0.9	1.0	24	25	0.94
12	124	115	2.0	3.0	0.040	0.053	1.0	1.0	21	25	0.85
13	104	116	0.2	0.4	0.003	0.005	0.6	0.6	3	13	0
14	123	117	2.2	2.1	0.087	0.162	1.2	2.1	29	21	1.19
rcorr	0.34		0.61		0.82		0.54		0.87		

Tabel 3.1. Karakterisering proefvlakken. Aangegeven staan de locatienummers, de oppervlakte van de proefvlakken (na nauwkeurige inmeting), voor de proefvlakken met berk (aanw) en verwijderde berk (weg), het aantal berken per m² in 2007, de som van alle stamoppervlakten (in m² per 100m²), de meest gemeten hoogte per proefvlak in m en de (diepste) waterstand onder het mosoppervlak in augustus (cm) 2008. rcorr geeft de Pearson correlatie coëfficiënt aan. Hoe dichter bij 1 hoe beter de metingen per proefvlakpaar met elkaar gecorreleerd waren. De lage waarde bij het oppervlak komt omdat de oppervlakte van alle proefvlakken ongeveer gelijk was. Dik gedrukte cursieve waarden geven proefvlakparen weer die niet goed op elkaar lijken.

Wageningse experiment -ter vergelijking- in zomer 2008 was de som van de stamoppervlakten van de berken 0.001 m²/100m² voor de lage berkendichtheid en 0.01 m²/100m² voor de hoge berkendichtheid. De meest gemeten hoogte van de berken varieerde tussen 1.8-2.4 m/plot.

2.6 Metingen

Daar waar dezelfde metingen zijn gedaan als in het experiment in Wageningen zijn dezelfde methoden gebruikt.

Water

Regen: In 2008 en 2009 werd de hoeveelheid regen per proefvlak m.b.v. een regenvanger (Nortene, pluvius 2) wekelijks gedurende 3 maanden (juli-september) bijgehouden. De opening van de regenvanger stond op 30-50 cm boven mosniveau. De hoogte hing een beetje af van de kruidlaag. We wilden dat de opening van de regenvanger boven het grootste deel van de kruidlaag uitstak.

Mosverdamming: Er zijn in totaal 2 verschillende experimenten met mosverdamming uitgevoerd. In het eerste experiment werd het effect van berkenbeschutting op de verdamping van verschillende soorten veenmos getest (zie vorige rapportage). In het tweede experiment werd onderzocht in hoeverre het effect van berkenbeschutting op veenmosverdamming teniet zou kunnen worden gedaan door versneld watertekort in de losse tapijtstructuur

van *Sphagnum fallax*. In deze rapportage laten we enkele resultaten van het tweede experiment zien. In de zomer van 2009 werden potten Fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) en een potje open water ingegraven in de proefvlakken in Haaksbergen (Figuur 3.4). De potten met veenmos bestond uit twee dezelfde op elkaar geplaatste potten (2x diameter 9 cm, diepte 12.5 cm). Het bovenste potje van het paar had een geperforeerde bodem, waardoor overtollig regenwater door het mos druppelde maar wel kon worden opgevangen, en na het meten weggegooid (Figuur 3.5). Tussen 16 juni en 9 september werd de gewichtsverandering door verdamping en regen wekelijks op maandag gemeten met een keukenweegschaal (nauwkeurigheid 0.1 g).

Waterstand: vlak naast de getransplanteerde moskernen is een (peil)buis van c. 70 cm lengte het veen ingedrukt om de waterstand en de afstand van de waterspiegel tot het mosoppervlak te kunnen meten.

Groei en vegetatie

Veenmosgroei: In februari 2008 werden in elk proefvlak moskernen (diameter 9 cm, lengte 12.5 cm) van Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*) getransplanteerd. In elk transplantaat en op 3 plekken in het mos eromheen, werd vervolgens een cranked wire geplaatst om de hoogtegroeï te kunnen meten. Tussen 2008 en 2010 werd de hoogtegroeï van het veenmos telkens in het voor- en najaar gemeten. Op dezelfde data werd ook een (digitale) foto genomen om de oppervlakteveranderingen vanaf te kunnen herleiden. De laatste meting heeft plaatsgevonden in september 2010. Oppervlakteverandering tussen mei 2008 en september 2010 werden bepaald door de omtrek van de getransplanteerde veenmossen na te trekken met behulp van een tekenprogramma (ImageJ). Het aantal pixels binnen de omtrek werd vervolgens omgerekend naar cm² met behulp van een (ernaast gefotografeerd) object met bekend oppervlak.

Vegetatiesamenstelling: Tussen 2008 en 2010 werd de vegetatiesamenstelling jaarlijks in augustus-september bijgehouden in permanente kwadraten. Hiervoor maakten we gebruik van de point-quadrat methode. Een frame werd telkens op een vaste plek boven de permanente kwadraten geplaatst. Vervolgens werd op 150 punten een naald verticaal naar de onderliggende vegetatie neergelaten. Elke soort die geraakt werd door de naald werd genoteerd. Deze methode levert herhaalbare en nauwkeurige schattingen van verschuivingen in bedekking en biomassa.



*Beschaduwing door dichte berkenopstand houdt bedekking Eriophorum vaginatum en Molinia caerulea laag.
Foto: Juul Limpens*

3 Resultaten

3.1 Berken en waterbalans: oorzaak of gevolg

Heeft een hoge berkendichtheid ook op langere termijn een positief effect op de waterbalans?

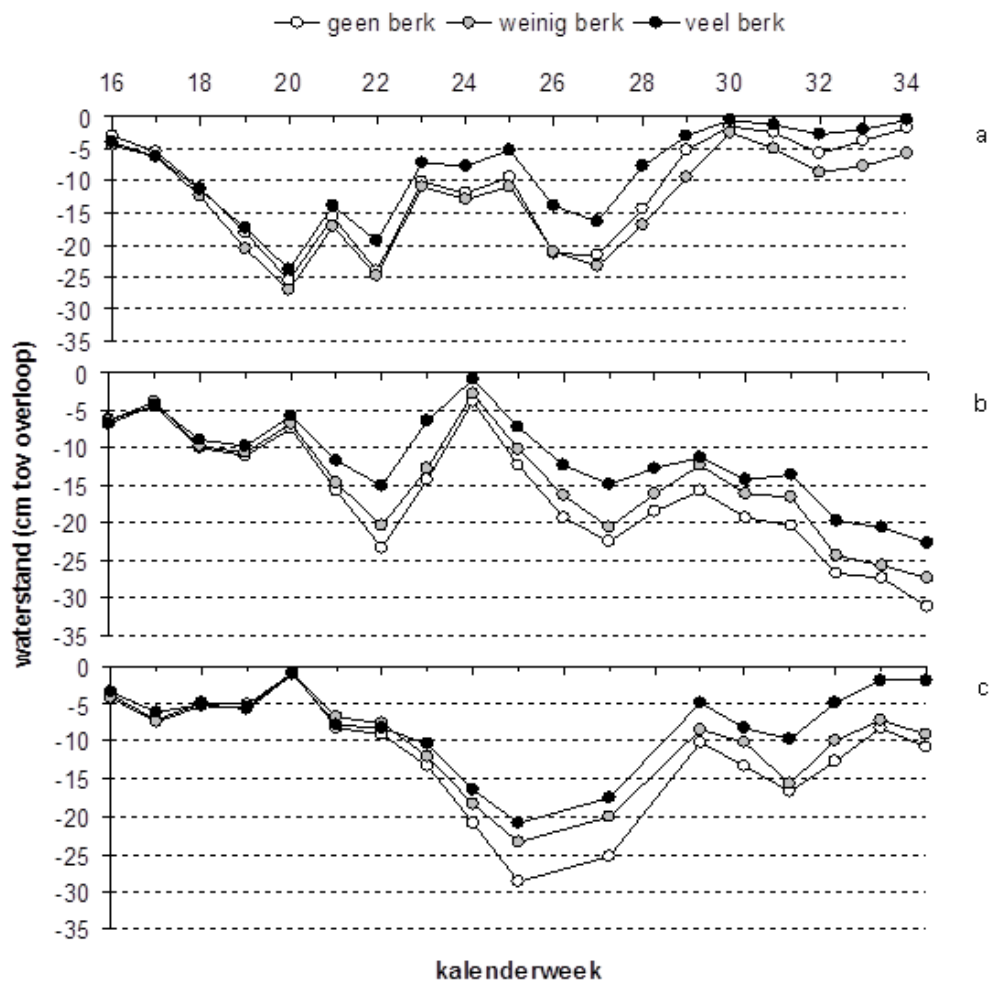
Waterstanden 2008, 2009 & 2010 bakkenexperiment Wageningen

Net als in 2008, bleek een hoge berkenbedekking in 2009 en 2010, ondanks de hogere interceptie van neerslag (Figuur 3.2), niet te leiden tot dieper wegzakkende waterstanden in de zomer (Figuur 4.1). In tegendeel, de waterstand zakte juist minder diep weg dan in de veenbakken zonder berk. Het gedrag van de behandeling met slechts enkele berken verschilde tussen de jaren. In 2008 zakte de waterstand in deze behandeling het diepste weg, terwijl in 2009 en 2010 de behandeling met een lage bedekking juist een waterstand vertoonde die lager was dan de dichte berkenbehandeling, maar hoger dan die van de veenbakken zonder berk. Dit afwijkende patroon door de jaren heen kan verklaard worden door het dichter wordende bladerdek: de berkendichtheid veranderde weliswaar niet, maar de kroon van de berken werd groter, waardoor de beschuttende werking ook veranderde.

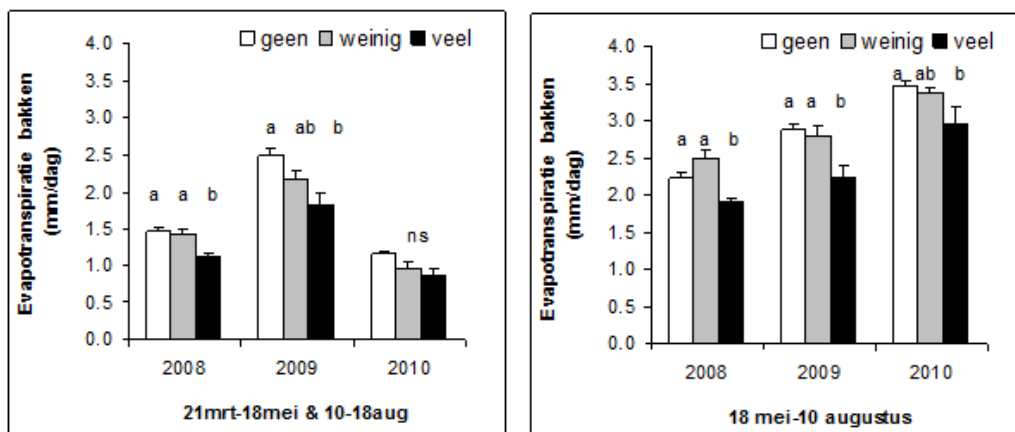
De verdamping uit de bakken liet hetzelfde patroon zien als voor de waterstanden (Figuur 4.2). De bakken met een hoge berkenbedekking verdampten minder dan de bakken zonder berk. Dit effect was onafhankelijk van jaar. Het verschil tussen de behandelingen kwam het duidelijkst naar voren in tijden van hoge verdamping in de zomer, wanneer ook het bladerdek optimaal ontwikkeld was. In de maanden dat er geen blad aan de bomen zat, verschilde de evapotranspiratie niet tussen de behandelingen (gemeten in 2008, vorige rapportage). De verdamping uit de bakken met een lage berkendichtheid verschilde tussen de perioden en jaren. In de meeste gevallen was de verdamping gelijk (of lager) dan die uit de bakken zonder berk. Een uitzondering hierop was de zomer van 2008. Toen verdampte het meeste water uit de behandeling met een lage berkendichtheid - een patroon vergelijkbaar als gevonden voor de zomerwaterstand.

Hoogstwaarschijnlijk komt het verschuivende gedrag door de jaren van de bakken met weinig berk door de groei van de berken zelf. Naarmate de dichtheid van het bladerdek (de LAI) toenam van 2008 naar 2010, compenseerde het beschuttende effect van de berken de verdamping. Deze verklaring wordt bevestigd wanneer we zomerverdamping uit de berkenbehandelingen uitdrukken als fractie van de verdamping uit de boomloze controle bakken. Hoewel de spreiding aanzienlijk is, kunnen we zien dat bij toenemende dichtheid van het bladerdek de bakverdamping eerst sterk toeneemt (tot 30 % meer dan de bakken zonder berk) om daarna snel af te nemen (Figuur 4.3). De grens tussen toe- of afname ten opzichte van veen zonder berk ligt ongeveer op een LAI tussen 1.7 en 2, terwijl het grootste

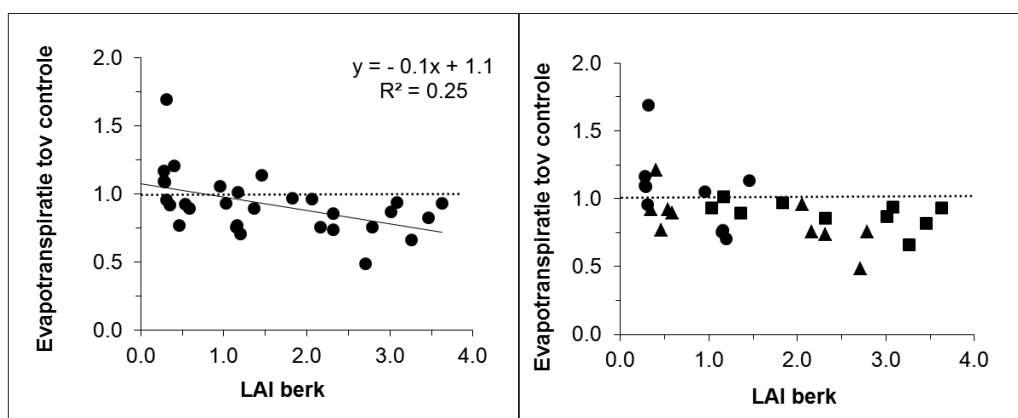
negatieve effect op de waterbalans (dus het meeste waterverlies door evapotranspiratie) rond een LAI van 0.5 ligt. De grens van 1.7-2 is aanzienlijk hoger dan aangegeven in de vorige rapportage en betekent dat de huidige berkenbedekking in het Haaksbergerveen (maximum LAI van 1.2 in proefvlak 14) een netto negatief effect op de waterbalans van het veen uitoefent. Voor wat betreft de waterbalans kun je dus beter of een zeer lage berkenbedekking hebben (met LAI kleiner dan 0.5) of juist een zeer hoge (met LAI groter dan 2).



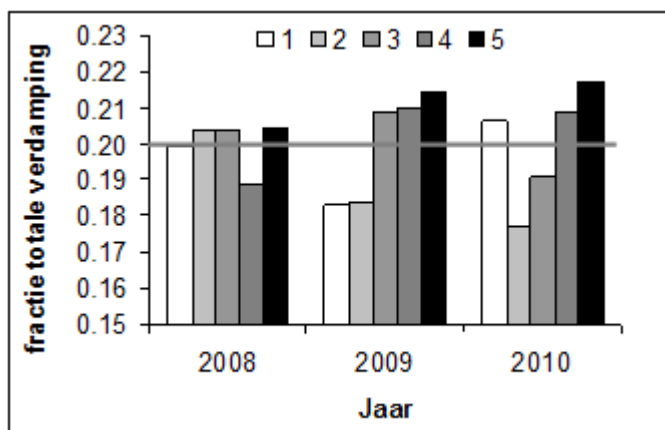
Figuur 4.1: Waterstand ten opzichte van overloop in bakken met veenmosvegetatie. Meetperiode van kalenderweek 16 (= half april) t/m 34 (eind augustus). In april lopen de eerste berkenblaadjes uit – in september vallen ze van de bomen. a,b,c is 2008, 2009 & 2010. Metingen zijn gemiddelden van vijf bakken. Foutmarges zijn voor de leesbaarheid van de figuur weggelaten.



Figuur 4.2: Evapotranspiratie gedurende het groeiseizoen in mm per dag. Metingen zijn gemiddelden van vijf herhalingen + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante ($p < 0.05$, ANOVA) verschillen tussen de behandelingen weer. SE = standaardfout



Figuur 4.3: Relatie tussen evapotranspiratie en dichtheid bladerdek (LAI) van de berkenbakken in Wageningen. De punten geven de gemiddelde zomerevapotranspiratie (18 mei - 10 augustus) voor elke bak gedeeld door de evapotranspiratie van de dichtsbijzijnde controle bak. De rechterfiguur laat zien uit welke jaren de gegevens komen: cirkels = 2008, driehoeken = 2009 en vierkanten = 2010. Punten boven de horizontale lijn geven bakken weer die meer verdampen dan de boomloze controlebakken.



Figuur 4.4: Verdamping per experimenteel blok per zomer. Een blok is een (ruimtelijk geclusterde groep van 3 verschillende behandelingen (zie Figuur 3.1). De horizontale lijn geeft de verwachte verdeling weer wanneer ruimtelijke positie van het blok niets uit zou maken voor de totale verdamping. Het sterk beschutte blok 2 had de laagste totale verdamping, vooral voor de proefvlakken met berk.

Wind of zoninstraling als sturende factoren evapotranspiratie?

Om een idee te krijgen van het beschuttingseffect van de berkenbosjes werd in juni 2010 met een anemometer de windsnelheid gemeten buiten de met berken beplante proefvlakken, net boven de hogere planten en net boven het veenmos. De wind bleek vooral gebroken te worden door de hogere planten: de windsnelheid net boven het veenmos verschilde niet tussen de berkenbehandelingen (grafieken niet opgenomen).

Hoewel windbeschutting niet zozeer het verschil tussen de behandelingen binnen een blok lijkt te bepalen, kan het wel een deel van de verschillen in evapotranspiratie tussen de blokken verklaren (Figuur 4.4), al lijken de effecten in het experiment in Wageningen beperkt. In 2010 was het effect van blok voor sommige maanden statistisch significant (ANOVA), al was dit niet (meer) het geval wanneer waterverliezen over de hele zomer werden bekeken (Figuur 4.4, χ^2 toets). Het meest beschut (tegen wind) gelegen blok 2 (Figuur 3.1) leek in 2010 een iets lagere verdamping te hebben dan het meest vrij gelegen blok 5. In hoeverre dit nu daadwerkelijk door windbreking komt door de omringende proefvlakken met berk, of door de iets beter ontwikkelde bladkronen van de berken in dit blok valt niet te zeggen.

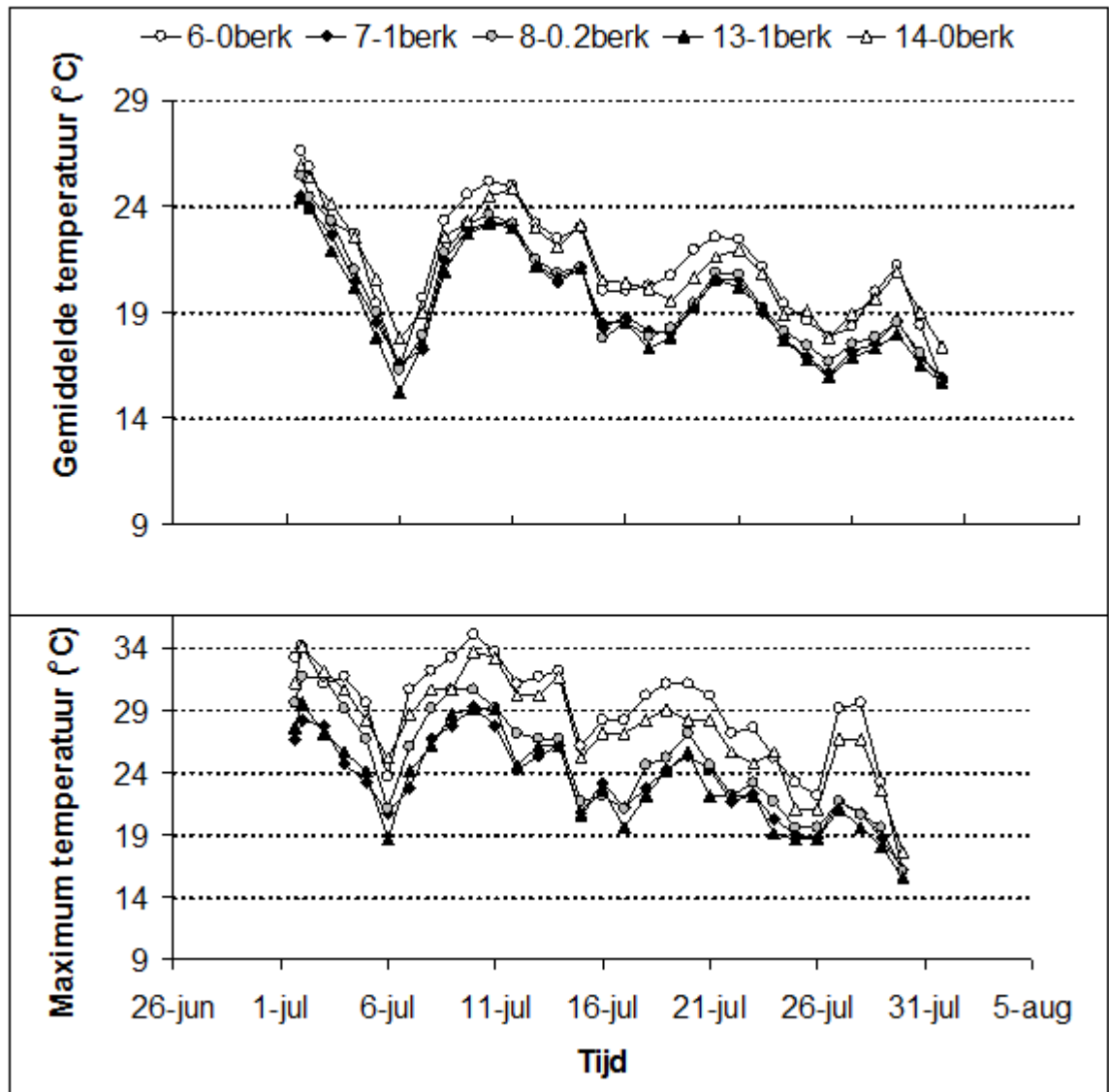
In juli 2010 werden temperatuursensoren in een 5-tal bakken geplaatst. Het bleek dat de temperatuur in de boomloze bakken gemiddeld 2 °C hoger lag dan die in de bakken met veel berk (Figuur 4.5). Het hogere gemiddelde werd bepaald door het verschil in maximum temperatuur: de minimumtemperatuur verschilde niet tussen de behandelingen (grafiek niet opgenomen). Dit is een extra bevestiging van het idee dat het beschuttingseffect in ons experiment vooral een gevolg was van beschaduwing: berken beschermen de ondergroei tegen directe zoninstraling en verlagen zo de verdamping van deze laag.

Modelwerk aan veenverdamping laat zien dat het gevonden gedrag typisch is voor beschutte vegetatielagen en/of vegetaties met lage windweerstand, lees uniforme structuur (Spieksma et al. 1997). De evapotranspiratie van beschutte vegetatielagen wordt bepaald door zoninstraling, terwijl voor niet-beschutte vegetatielagen met hoge windweerstand het waterverlies meebepaald wordt door de wind. De sterkte van de windinvloed hangt op zijn

beurt weer af van het vochtgehalte van de lucht (droge of natte lucht) en de strijklengte (fetch: de afstand waarover wind vrij spel heeft). Aangezien veenvegetaties in hoogveenrestanten vaak uit meerdere vegetatielagen bestaan: boom, kruid en moslaag met bovendien nog sterke ruimtelijke afwisseling in de bedekking tussen deze lagen wordt het een complex verhaal (Mc Naughton et al. 1983, Drexler et al. 2004). Wanneer we aannemen dat de kruidlaag het veenmos tegen wind beschermd (vorige rapport, Figuur 4.10), dan zou het waterverlies van veenmos vooral gestuurd moeten worden door zoninstraling (Lafleur & Roulet 1992). Welk proces de verdamping van de kruidlaag stuurt, hangt op zijn beurt af van windbreking door omringende berken en windbreking door de kruidlaag zelf (Kellner 2001). Bij veel windbreking door omringende berk, een beperkte strijklengte van de wind en/of lage windbreking door kruiden wordt de verdamping van de kruidlaag met name bepaald door zoninstraling. Daarentegen wordt bij lage windbreking door berk, grote strijklengte van de wind en/of veel windbreking door de kruiden de verdamping van de kruidlaag sterk mee bepaald door wind. Voor berkenverdamping geldt opnieuw hetzelfde principe. Bij relatief lage windbreking per berk (bijvoorbeeld dichte, uniforme bestanden zal de zon sturend zijn voor de berkenverdamping, terwijl bij relatief hoge windbreking per berk (open berkenbestanden) de wind mee een rol gaat spelen voor de berkenverdamping. Hoe het oppervlak en de ruimtelijke verdeling van de verschillende vegetaties uitpakt voor de waterbalans van een heel veen zoekt de grens van de wetenschap op en kan met onze resultaten niet beantwoord worden.

Interceptie van neerslag bakkenexperiment Wageningen

Een dichter bladerdek betekent naast meer interceptie van licht en zoninstraling ook meer interceptie van regen (Dolman 1988). Door de regenvangers onder de berkenkroon te plaatsen in de proefvlakken met berk corrigeerden we onze waterbalansen meteen voor het verschil in aanvoer van water als gevolg van interceptie. Toch geeft deze interceptie data interessante extra informatie. Wanneer wij de interceptie van neerslag (verschil tussen neerslag gemeten in proefvlak zonder berk en proefvlakken met berk) in het Wageningen experiment uitzetten tegen de LAI zien we dat vanaf een LAI van 2 hogere intercepties worden gemeten (grafiek niet opgenomen). Het interessante hieraan is dat deze waarde ook ongeveer overeenkomt met de grenswaarde gevonden voor de waterbalans. Eenzelfde waarde van een LAI rond de 2 werd door Moors (in prep) gevonden voor interceptie door loofbos. Zijn resultaten laten zien dat er tot c. een LAI van 2 een rechtlijnig verband bestaat tussen LAI en interceptie, bij hogere waarden voor LAI zwakt het verband af, waarschijnlijk omdat de blaadjes dan in toenemende mate overlap vertonen en dus relatief minder neerslag tegenhouden dan je op basis van hun bladoppervlak zou verwachten. Kennelijk vertegenwoordigt een LAI van 2 een bepaalde kroonmorfologie waarbij meerdere interceptie processen veranderen (licht, neerslag).



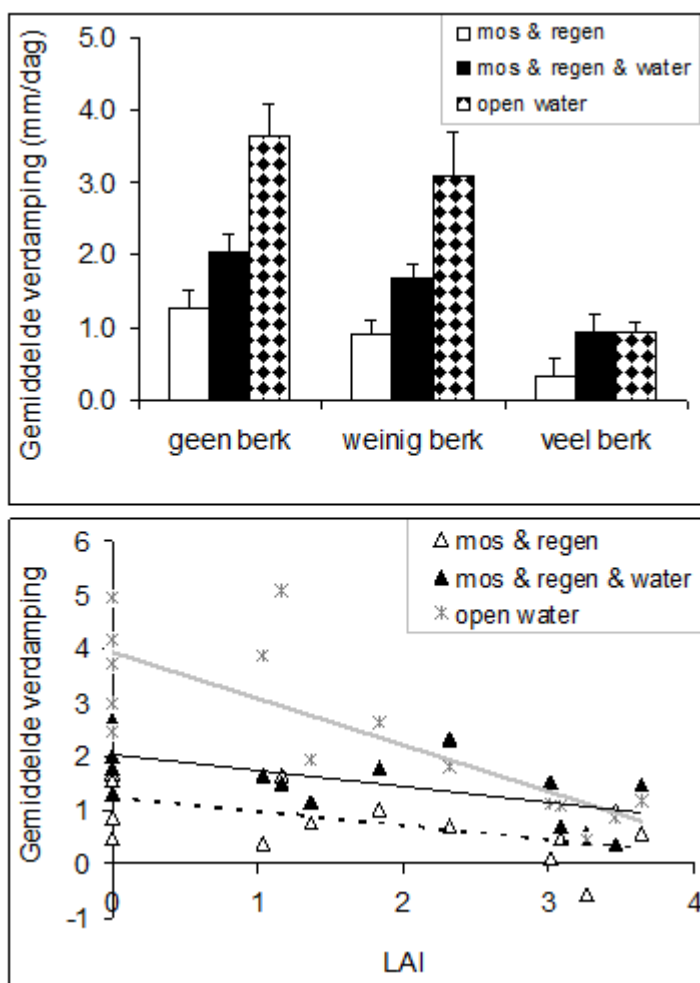
Figuur 4.5: Gemiddelde en maximum etmaal bodemtemperatuur (0-2 cm) in Wageningen in juli 2010. Metingen zijn van 2 controlebakken zonder berk (witte symbolen, bakken 6 en 14), 1 bak met lage berkendichtheid (grijze symbolen, bak 8) en 2 bakken met een hoge berkendichtheid (zwarte symbolen, bakken 7 en 13). Er is niet in alle bakken gemeten vanwege beperkt aantal temperatuursensoren. De temperatuursensoren werden net onder het veenmos geplaatst. De gemeten bakken bevonden zich in dezelfde blokken. Juli valt in kalenderweken 26 t/m 30.

3.2 Berken en veenmosverdamping

Wageningen

Eerdere metingen (2007-2008) aan de verdamping van potjes met *Sphagnum magellanicum* (dominant in bakken) en *Sphagnum fallax* (dominant in Haaksbergerveen) lieten zien dat veenmosverdamping afhing van de veenmossoort, de zoninstraling en de berkendichtheid (rapportage 2006-2008, figuren 4.5 & 4.6). Hoewel beide soorten gemiddeld evenveel

verdampten, was de verdamping van *Sphagnum magellanicum* veel constanter door de tijd en reageerde duidelijker op toenemende zoninstraling. Verdamping van *Sphagnum fallax* was variabelere door de tijd waardoor effecten van zoninstraling en berkenbeschutting veel minder duidelijk naar voren kwamen: vermoedelijk zorgde de inferieure zuigkracht en/of lossere groeivorm van *S. fallax* ervoor dat het water dieper in de potjes niet beschikbaar was voor verdamping. Als gevolg was verdamping meer gelimiteerd door waterbeschikbaarheid dan zoninstraling. Daarnaast werd voor *S. magellanicum* in de (grote) bakken gevonden dat het volumetrisch watergehalte in de bovenste veenmoslaag het laagste was bij hoge berkendichtheid (rapportage 2006-2008, Figuur 4.7).



Figuur 4.6: Gemiddelde zomerverdamping van *Sphagnum magellanicum* in de zomer van 2009 in experiment Wageningen (boven) en Relatie tussen veenmosverdamping en LAI (onder). Metingen zijn gemiddelden van vijf potjes wekelijks gemeten over het zomerseizoen + 1 SE (boven) en gemiddelde per potje (onder). Mos & regen: potjes *Sphagnum magellanicum* met vrije drainage die enkel regenwater ontving (droog mos; $r_s = -0.60^*$). Mos & regen & water: *S. magellanicum* die regenwater kreeg, maar waarvan ook de waterstand werd bijgevuld (nat mos; $r_s = -0.60^*$), open water: bakjes met water zonder mos ($r_s = -0.83^{**}$). Lijnen zijn regressielijnen voor de verschillende mosbehandelingen. Lijnen zijn regressielijnen, maar $r_s =$ correlatie coëfficiënt: Spearman's rho, * = $p < 0.05$, ** = $p < 0.01$.

De bovenstaande resultaten riepen de vraag op of de lagere verdamping in de bakken met veel berk misschien mede veroorzaakt werd door een verlaging van de hoeveelheid water die door de bovenste veenmoslaag vastgehouden kon worden. Immers een lagere beschikbaarheid van water zou netto een lagere totale verdamping kunnen betekenen. Om dit effect te testen werd in 2009 een extra experiment uitgevoerd met potjes *S. magellanicum* in Wageningen en *S. fallax* in Haaksbergen (zie methoden).

In dit experiment werd de waterbeschikbaarheid voor de mossen gevarieerd: in een behandeling had het mos (pot met geperforeerde bodem) enkel beschikking over regenwater dat in het mos werd vastgehouden, in een andere behandeling bleef het teveel aan regenwater dat niet door het mos werd vastgehouden gewoon in de pot staan (pot met dichte bodem), waardoor het wel nog ter beschikking was voor de mosverdamping. Naast deze twee behandelingen hadden we als controle nog een pot met open water.

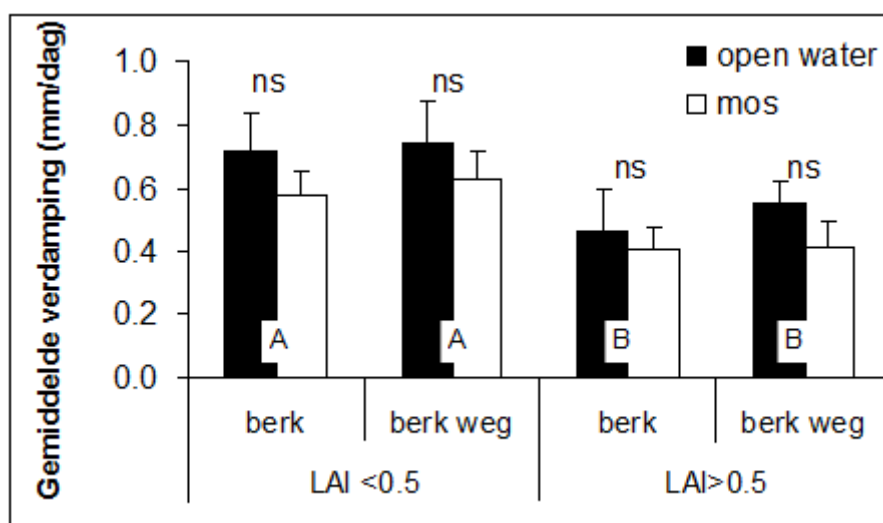
Het experiment leverde de volgende interessante resultaten op. Verdamping was het laagste in veenmos met enkel hangwater tot beschikking, gevolgd door verdamping van veenmos met hoge waterbeschikbaarheid en dan open water met de hoogste verdamping (Figuur 4.6, boven). Dit patroon laat zien dat veenmos in de zomer duidelijk minder verdampt dan open water: het water moet eerst door de capillairen naar boven gezogen worden, waardoor er per tijdseenheid minder water overblijft om verdampt te worden. Bovenop dit effect van waterbeschikbaarheid komt het beschuttingseffect van berk: voor elke behandeling geldt dat er minder verdampt naarmate de berkendichtheid toeneemt (Figuur 4.6, onder). Wat het meest interessant is, is dat het effect van de waterbeschikbaarheid van de ondergroei (droog mos, nat mos, open water) bij hoge berkenbedekking geen rol meer speelt (Figuur 4.6, onder): kennelijk is hier niet het water de limiterende factor, maar de zoninstraling. Dit betekent voor het veld dat naarmate het berkenbestand dichter wordt het voor de verdamping steeds minder uitmaakt wat voor ondergroei je hebt.

Haaksbergen

In Haaksbergen was de response van de veenmosverdamping en de relatie met berkenbedekking veel minder duidelijk dan in Wageningen (Figuur 4.7). De verdamping bij hoge berkendichtheid (uitgedrukt in LAI) was weliswaar lager dan bij lage berkendichtheid, net als in Wageningen, maar de spreiding was groot. Waarschijnlijk moeten bestanden aanzienlijk van elkaar in dichtheid verschillen om in het veld consistente verschillen in verdamping te meten. Daarnaast maakte het verwijderen van berk niets uit voor de mosverdamping wat het beschuttende effect van de omringende *Eriophorum* en *Molinia* illustreert. Dit laatste zagen we overigens ook in 2008 (vorige rapport, Figuur 4.10): hier zagen we dat meer omringende vegetatie een lagere mosverdamping betekende. Het belang van omringende vegetatie voor mosverdamping wordt ook in de literatuur vermeld (Heijmans e.a. 2004) en is ook het principe achter de pollenbuffering (Grosvernier et al. 1995, Smolders et al. 2003).

Anders dan in Wageningen verschilde de open water verdamping niet van mosverdamping en was in vergelijking in Haaksbergen überhaupt erg laag: werd in Wageningen gemiddeld 4 mm/dag gemeten, in Haaksbergen lag het gemiddelde voor open water rond de 0.7 mm, ongeveer net hoog als in de dichtste berkenplots in Wageningen. Dit kan een aantal oorzaken hebben. (I) Mogelijk verschilde het weer tussen beide locaties. In Wageningen (station Wageningen-Haarweg) werd over de meetperiode 159 mm neerslag gemeten

en 611 uur zonuren, terwijl in Haaksbergen (station Hupsel) 162 mm werd gemeten en 647 zonuren. Dit komt aardig overeen, en lijkt niet de verklarende factor. (II) De meetfrequentie in Wageningen was dubbel t.o.v. die in Haaksbergen: misschien verdampte hierdoor in Haaksbergen meer water uit de regenvangers tussen de opeenvolgende metingen waardoor lagere gemiddelden werden berekend. Deze verklaring lijkt ook onwaarschijnlijk: immers wanneer er meer water uit de regenvangers zou verdampen, verdampt ook meer water uit de potten met veenmos. Dit zou netto geen verschil moeten opleveren. (III) De relatieve luchtvochtigheid in het Haaksbergerveen was mogelijk hoger dan in Wageningen wat de verdamping uit de potjes dempte. Kan – hier hebben we geen metingen van (IV) De open gekapte proefvlakken in het Haaksbergerveen waren meer beschermt tegen wind (hetzij door de omringende vegetatie, hetzij door de berkenopslag in het omringende veen) dan de proefvlakken in Wageningen. Een combinatie van III en IV lijkt waarschijnlijk.



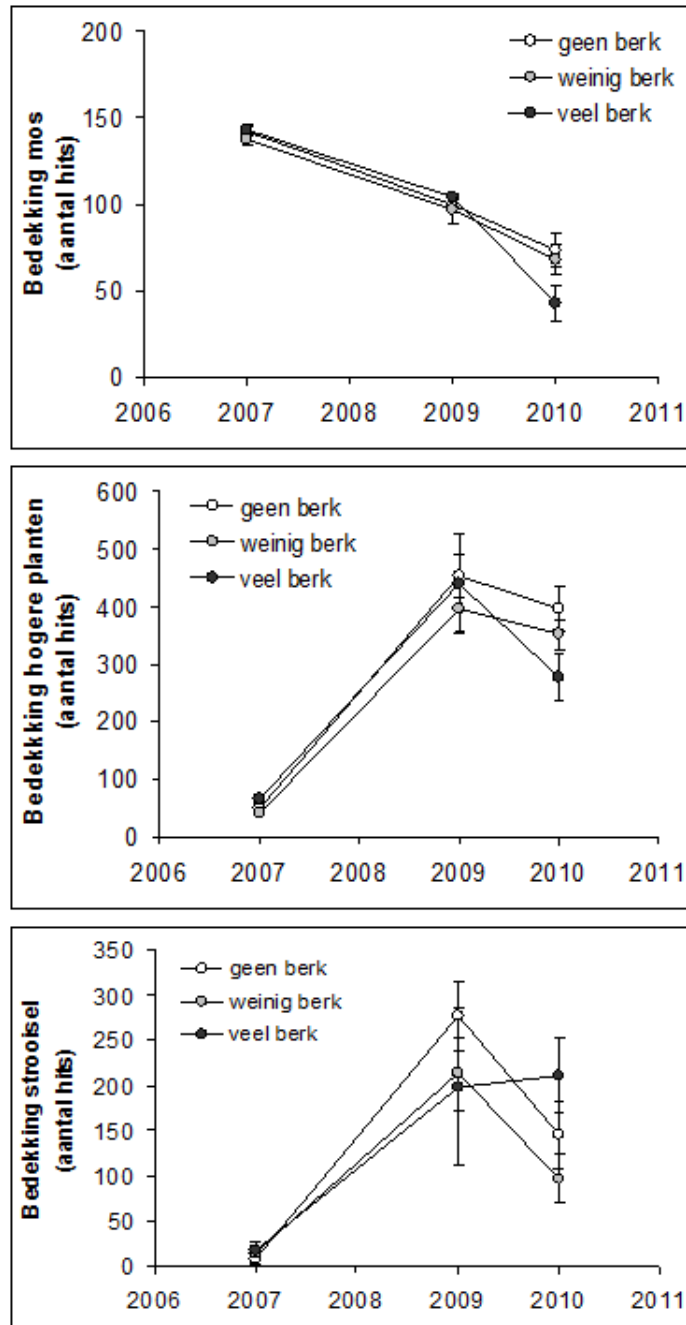
Figuur 4.7: Gemiddelde zomerverdamping van *Sphagnum fallax* in Haaksbergen in 2009. Metingen zijn gemiddelden (+ 1 SE) van potjes wekelijks gemeten tussen 16 juni – 9 september. LAI = Leaf Area Index, een maat voor de berkenbedekking. LAI < 0.5, omvat 14 proefvlakken met een LAI variërend van 0 tot 0.46 waarvan in 7 de berken waren verwijderd. LAI > 0.5 omvat 14 proefvlakken met een LAI van 0.53-1.19, waarvan in 7 proefvlakken de berken waren verwijderd. Verschillende hoofdletters geven statistisch significante verschillen tussen groepen weer (3-weg ANOVA, $p < 0.05$).

3.3 Berken en vegetatie

Vegetatieveranderingen Wageningen

Bij aanvang van het experiment in 2007 was de vegetatie in de bakken erg open (Figuur 4.8), met een lage kruidenbedekking en een hoge bedekking veenmos. In 2008 breidde *Eriophorum vaginatum* zich explosief in alle behandelingen uit, en nam de veenmos bedekking af. Het succes van *E. vaginatum* komt waarschijnlijk omdat de wortels van deze diepwortelende soort het diepere, met turfmoel gevulde deel van de bakken bereikte. Om te voorkomen dat *E. vaginatum* het veenmos zou verdringen, besloten we om het wollegras in alle bakken weg te knippen. Dit deden we in het najaar van

2008, het voorjaar van 2009 en het najaar van 2009. Het lijkt erop of deze knipbehandeling ertoe leidde dat de bedekking in 2010 weer afnam. De afname was het sterkste in de bakken met de hoogste berkendichtheid, vermoedelijk omdat het te donker werd voor *E. vaginatum*. Het wegknippen van *E. vaginatum* kon de afname in veenmosbedekking echter niet voorkomen: in 2010 was de veenmosbedekking met 30-60% afgenomen.

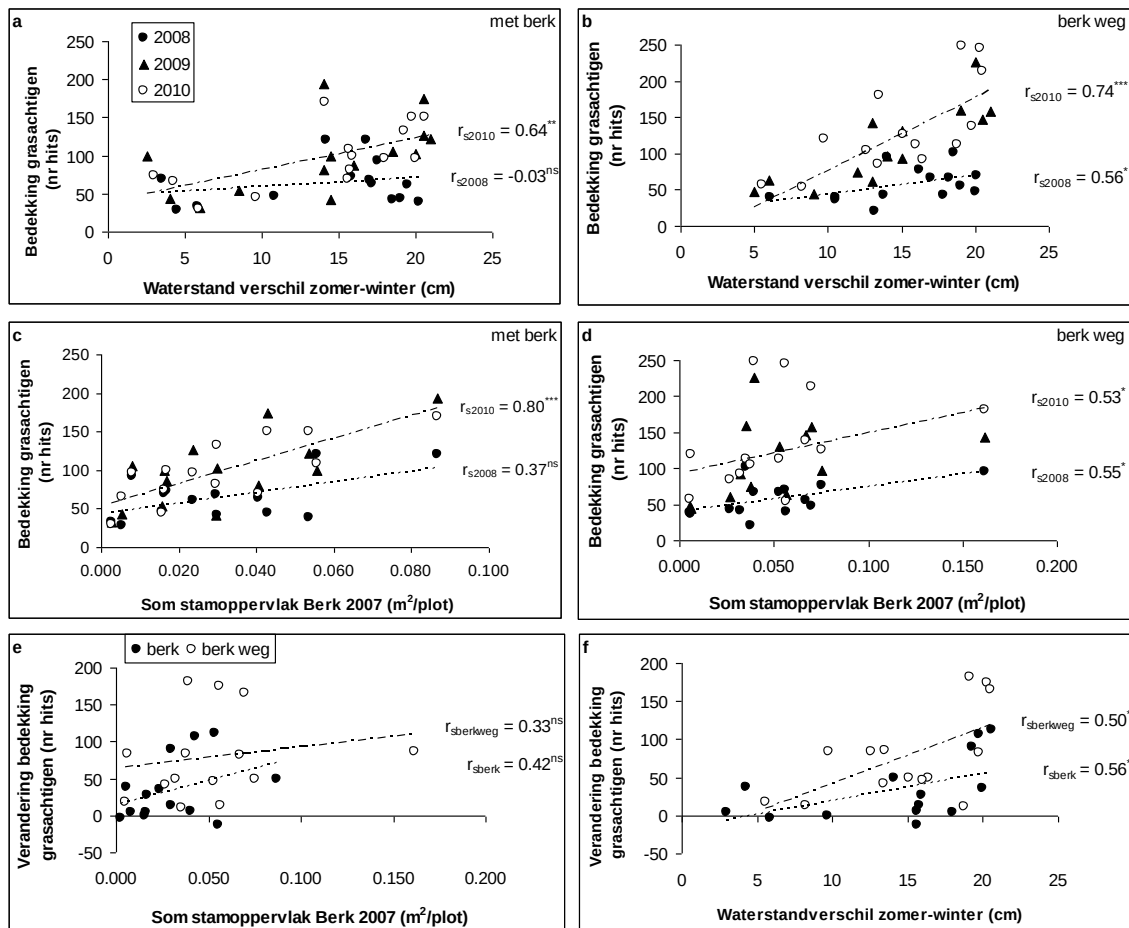


Figuur 4.8: Veranderingen in veenmosbedekking, bedekking hogere planten en strooisel tussen 2007 en 2010 in Wageningen. Bedekkingen zijn uitgedrukt in aantallen hits: het aantal keer dat een soort geraakt is met de naald van een point-quadrat frame. Het frame telt 150 punten. Metingen zijn gemiddelden van vijf herhalingen + 1 SE. * = statistisch significant verschil tussen berkenbehandelingen (ANOVA laatste jaar).

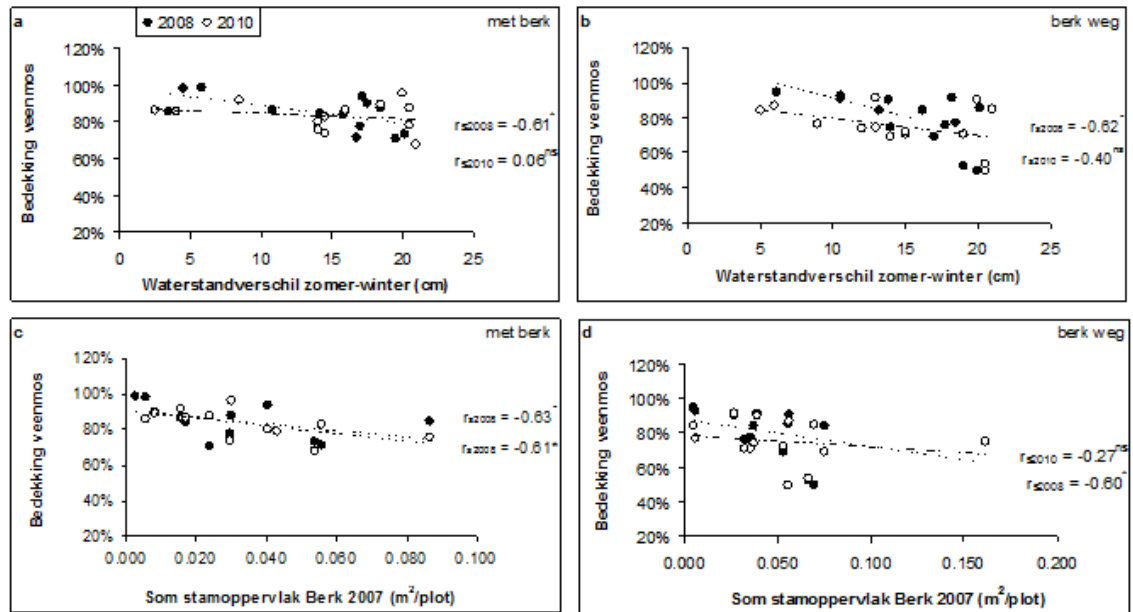
Veenmos nam het sterkste af in de bakken met de hoogste berkendichtheid, waarschijnlijk als gevolg van extra beschaduwing door het berkenbladerdek en bedekking door strooisel.

Vegetatieveranderingen Haaksbergen

De samenstelling van de vegetatie in Haaksbergen werd vooral bepaald door de zomerwaterstand (Figuur 4.9). Na een droge zomer (2009) nam de bedekking van *E. vaginatum* toe, terwijl hij stabiliseerde in 2010. Het verwijderen van berken leidde tot een lichte uitbreiding van *E. vaginatum*: waarschijnlijk wordt de groei van deze soort geremd door lichtgebrek (zoals ook te zien in het Wageningse bakkenexperiment). Na verwijderen van de berken, kon het wollegras profiteren van het gunstiger lichtklimaat en reageren op de lagere waterstand. Deze verklaring wordt ondersteund door de resultaten uit het Wageningse experiment en het feit dat alleen het verwijderen van dichtere berkenopstanden leidde tot uitbreiding van *E. vaginatum*: in de meest open berkenbestanden werd geen uitbreiding na kappen waargenomen.



Figuur 4.9: Relaties tussen dichtheid berken bestanden en diepte zomerwaterstand en de bedekking van grasachtigen in Haaksbergen voor 14 proefvlakken met berk (a,c,e) en 14 proefvlakken waar berk werd verwijderd (b, d, f). Bedekkingen zijn uitgedrukt in aantallen hits: het aantal keer dat een soort geraakt is met de naald van een point-quadrat frame. Het frame telt 150 punten. R_s = Spearman's rho (correlatie coëfficiënt).



Figuur 4.10: Relaties tussen dichtheid berken bestanden en diepte zomerwaterstand en de bedekking van veenmos (*S.fallax* & *S. fimbriatum*) in Haaksbergen voor 14 proefvlakken met berk (a,c,e) en 14 proefvlakken waar berk werd verwijderd (b, d, f). Bedekkingen zijn uitgedrukt in percentage levend mos van de 150 punten van het point-quadrat frame. R_s = Spearman's rho (correlatie coëfficiënt).



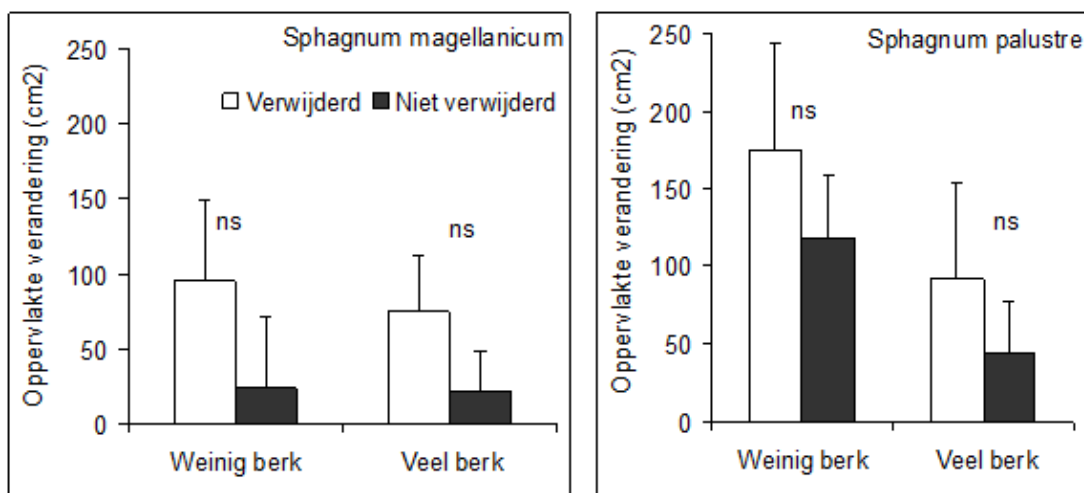
Eriophorum vaginatum profiteerde van verwijderen dichte opslag berk. Foto: Juul Limpens.

3.4 Belemmeren Berken uitbreiding bultvormende veenmossen?

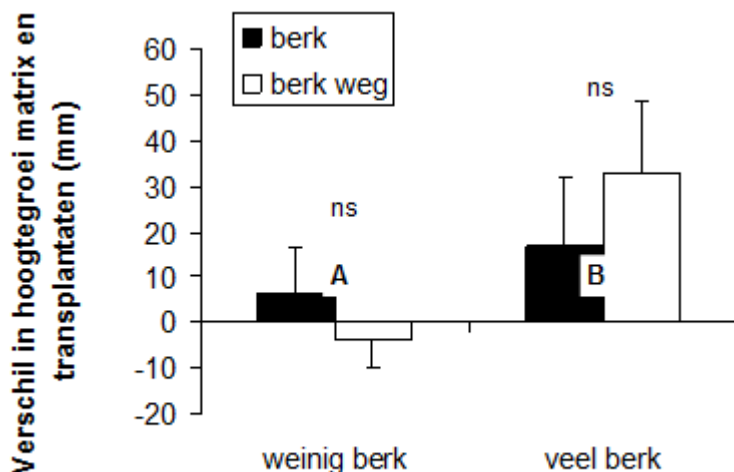
De getransplanteerde *Sphagnum magellanicum* en *Sphagnum palustre* wisten zich, na een initiële afname, wonderlijk wel te handhaven (Figuur 4.11). In slechts 3 proefvlakken (met berk) verdwenen de soorten volledig en werden overgroeid door *S. fallax* of *S. fimbriatum*. In de meeste proefvlakken echter breidden zowel *S. magellanicum* als *S. palustre* zich uit, behalve voor *S. magellanicum* in de proefvlakken met berk: hier wist de soort zich weliswaar te handhaven – maar uitbreiden deed hij niet (uitbreiding niet statistisch verschillend van 0). De uitbreiding van de soorten varieerde sterk van plek tot plek en werd niet duidelijk door 1 factor (waterstand, berkendichtheid, groei omringende mossen) bepaald.

Wanneer de proefvlakken werden gerangschikt op berkendichtheid vonden we wel enkele interessante verbanden. De getransplanteerde mossen deden het beter in proefvlakken met weinig berk dan in proefvlakken met veel berk (3-weg ANOVA, $F_{df1}=5.1$, $p = 0.029$). Dit komt waarschijnlijk doordat *S. fallax* en *S. fimbriatum* over de hele meetperiode gezien relatief harder groeiden in de proefvlakken met veel berk (Figuur 4.12). Hier was het verschil in hoogtegroei tussen *S. fallax* en *S. fimbriatum* en de transplantaten groter dan dat van de getransplanteerde mossen (1-weg ANOVA, $F_{df1} = 7.0$, $p=0.013$). Het opvallende was echter dat dit verschil vooral duidelijk was in de proefvlakken waar berk werd verwijderd.

Verder leek *Sphagnum palustre* zich gemiddeld meer uit te breiden dan *S. magellanicum* (Figuur 4.11, 3-weg ANOVA, $F_{df1}=2.7$, $p = 0.011$). Waarschijnlijk kon deze soort door zijn hogere groeisnelheid beter concurreren met de omringende *S. fallax* en *S. fimbriatum*. Verder leken beide getransplanteerde soorten het beter te doen in de proefvlakken waar berk werd verwijderd (3-weg ANOVA, $F_{df1}=2.9$, $p = 0.10$).



Figuur 4.11: Uitbreiding getransplanteerd veenmos tussen 2008 en 2010 in Haaksbergerveen. Weinig berk zijn de 7 proefvlakparen met de laagste berkenbedekking, Veel berk de 7 proefvlakparen met de hoogste berkenbedekking (Tabel 3.1). Metingen zijn gemiddelden van zeven herhalingen + 1 SE. Ns = niet statistisch significant (ANOVA).



Figuur 4.12: Verschil in hoogtegroei tussen omringende en getransplanteerd veenmossen tussen 2008 en 2010 in Haaksbergerveen. Een groot positief verschil betekent dat *S. fallax* (of *S. fimbriatum*) harder groeiden dan de getransplanteerde *S. magellanicum* en *S. paluste*. Weinig berk zijn de 7 proefvlakparen met de laagste berkenbedekking, Veel berk de 7 proefvlakparen met de hoogste berkenbedekking (Tabel 3.1). Metingen zijn gemiddelden van zeven herhalingen + 1 SE. Ns = niet statistisch significant (ANOVA). Verschillen in letters (A, B) geven statistisch significant verschil tussen kolomgroepen weer.

Belemmeren berken in Nederlandse venen nu de uitbreiding van bultvormende veenmossen? Bij lage dichtheden niet, bij hogere dichtheden wel. Hoe precies de causale verbanden lopen blijft onbekend: de hoofdrolspelers worden gevormd door waterstand, beschikbaarheid van voedingsstoffen en competitie met sneller groeiende soorten. De hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen bepaalt waarschijnlijk of je een door mos of hogere planten (inclusief bomen) gedomineerd ecosysteem krijgt (Tomassen et al. 2004, Limpens et al. 2011). De beschikbaarheid van vocht bepaalt echter hoofdzakelijk welke soort mos dominant wordt (slenksoort of bultsoort, Robroek et al. 2007). Door met de waterstand te variëren beïnvloedt je beide factoren: een hogere waterstand betekent een hogere beschikbaarheid van vocht (Robroek et al. 2009), maar ook een kleiner volume zuurstofrijke bodem waar veel planten (waaronder berk) hun voedingsstoffen halen (Boggie 1992, Breeuwer et al. 2008). In hoeverre een verlaging of verhoging van de waterstand een verandering in de totale hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen betekend hangt weer af van de geschiedenis van het gebied. Vernatting van verdroogd veen levert lange tijd een grote hoeveelheid fosfor na (Olde Venterink et al. 2002, Schlichting et al. 2002, vorige rapportage), terwijl het vernatten van vochtig gebleven witveen minder problemen lijkt op te leveren. Hoe het ook zij, het ontwikkelen en in stand houden van bultvormende vegetaties bij hoge nutriëntenconcentraties is precisiewerk en kan niet zonder aanvullend beheer (lees verwijderen van berk).

Literatuur

Boggie R. 1972. Effect of water-table height on root development of *Pinus contorta* in deep peat in Scotland. *Oikos* 23: 304-312.

Breeuwer A, Robroek BJM, Limpens J, Heijmans MMPD, Schouten MGC, Berendse F. 2009. Decreased summer water table depth affects peatland vegetation. *Basic and Applied Ecology* 10(4): 330-339.

Dolman H. 1988. Predicting forest transpiration from climatological data. *Agriculture and Forest Meteorology* 42: 339-353.

Drexler JZ, Snyder RL, Spano D, Tha Oaw KU. 2004. A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration. *Hydrological Processes* 18: 2071-2101.

Grosvernier Ph, Matthey Y, Buttler A. 1995. Microclimate and physical properties of peat: new clues to the understanding of bog restoration process p 435-450. In: *Restoration of temperate wetlands*. Eds Wheeler BD, Shaw SC, Robertson RA. John Wiley & Sons Ltd.

Kellner E. 2001. Surface energy exchange and hydrology of a poor *Sphagnum* mire. *Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the faculty of Science and Technology* 657 5-37.

Lafleur & Roulet. 1992. A comparison of evaporation rates from two fens of the Hudson Bay lowland. *Aquatic Botany* 44: 59-69.

Limpens J, Granath G, Gunnarsson U, Aerts R, Bayley S, Bragazza L, Bubier J, Buttler A, van den Berg LJL, Francez A-J, Gerdol R, Grosvernier P, Heijmans MMPD, Hoosbeek MR, Hotes S, Ilomets M, Leith I, Mitchell EAD, Moore T, Nilsson MB, Nordbakken J-F, Rochefort L, Rydin H, Sheppard LJ, Thormann M, Wiedermann MM, Williams BL, Xu B. 2011. Climatic modifiers of the response to N deposition in peat-forming *Sphagnum* mosses: a meta-analysis. *New Phytologist* doi: 10.1111/j.1469-8137.2011.03680.x.

Mc Naughton KG, Jarvis PG. 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In: *Water deficits and Plant growth VII*. Ed TT Kozlowski. Academic press, New York 1-47.

Moors, EJ. unpublished. Wet canopy evaporation (chapter 7 of thesis at Wageningen University).

Olde Venterink H, Davidsson TE, Kiehl K, Leonardson L. 2002. Impact of drying and re-wetting on N, P and K dynamics in a wetland soil. *Plant and Soil* 243: 119-130.

Roboek BJM, Limpens J, Breeuwer A, Crushell PH, Schouten MGC. 2007. Interspecific competition between Sphagnum mosses at different water tables. *Functional Ecology* 21: 805-812.

Robroek BJM, Schouten MGC, Limpens J, Berendse F, Poorter H. 2009. Interactive effects of water table and precipitation on net CO₂ assimilation of three co-occurring Sphagnum mosses differing in distribution above the water table. *Global Change Biology* 15(3): 680-691.

Schlichting A, Leinweber P, Meissner R, Altermann M. 2002. Sequentially extracted phosphorus fractions in peat-derived soils. *Journal of plant nutrition and soil science* 165: 290-298.

Smolders AJP, Tomassen HBM, Lamers LPM, Lomans BP, Roelofs JGM. 2003. Mechanisms involved in the re-establishment of Sphagnum-dominated vegetation in rewetted bog remnants. *Wetlands Ecology and Management* 11: 403-418.

Spieksma JFM, Moors EJ, Dolman AJ, Schouwenaars JM .1997. Modelling evaporation from a drained and rewetted peatland. *Journal of Hydrology* 199: 252-271.

Tomassen HBM, Smolders AJP, Limpens J, Lamers LPM, Roelofs JGM. (2004). Expansion of invasive species on ombrotrophic bogs: desiccation or high N deposition levels? *Journal of Applied Ecology* 41:139-150.