

# De rol van de berk bij herstel en beheer van hoogveen

*Gecombineerde resultaten van 'Vervolg OBN Hoogveenonderzoek' & 'Effecten van berkenopslag en dichtheid op hoogveenvegetaties behorende tot het natte zandlandschap'*

Juul Limpens



landbouw, natuur en  
voedselkwaliteit



ENVIRONMENTAL  
SCIENCES GROUP

WAGENINGEN **UR**

Directie Kennis, mei 2009

© 2009 Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit

Rapport DK nr. 2009/dk119-O  
Ede, 2009

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij de directie Kennis onder vermelding van code 2009/dk119-O en het aantal exemplaren.

Oplage	150 exemplaren
Samenstelling	Juul Limpens
Druk	Ministerie van LNV, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij
Productie	Directie Kennis Bedrijfsvoering/Publicatiezaken Bezoekadres : Horapark, Bennekomseweg 41 Postadres : Postbus 482, 6710 BL Ede Telefoon : 0318 822500 Fax : 0318 822550 E-mail : DKinfobalie@minlnv.nl

# Voorwoord

Op veel plaatsen in Nederland wordt gepoogd hoogveen te herstellen. Van oudsher waren die hoogveen voor een groot deel vrijwel boomloos. Tegenwoordig echter is in bijna alle hoogveengebieden, zowel met levend hoogveen als met afgetakeld hoogveen, sprake van veel berkenopslag als gevolg van verdroging en stikstofdepositie. Inmiddels worden grote inspanningen gepleegd om deze oorzaken van de 'verberking' te verminderen. Daarmee alléén zijn de berken zelfs nog lang niet altijd verdwenen. De vraag die daarbij steeds opdoemt is: hoe zinvol is het om berken te verwijderen om hoogveenregeneratie te bevorderen en levend hoogveen te behouden?

Het voorliggend rapport levert een belangrijke bijdrage aan een genuanceerd antwoord op deze vraag; bestrijding van berken blijkt veelal zinvol, maar niet altijd. Dit antwoord is belangrijk, omdat 'verberking' in de toekomst nog niet is afgelopen, doordat de stikstofdepositie – hoewel die zal afnemen - voorlopig een stimulerende rol zal blijven spelen voor berkenopslag. De vernattingsmaatregelen die op veel plaatsen met succes worden uitgevoerd, leiden tot situaties met initiële hoogveenvorming waarbij berkenopslag weinig kans heeft. Naarmate de successie voortschrijdt, kunnen de veenmostapijen echter alsnog geschikt worden voor de vestiging van berken over grote oppervlakten. Zeker als de depositie niet snel genoeg vermindert en gelet op de te verwachten na-ijl-effecten van de deposities uit het verleden. Dit rapport levert ook een belangrijke onderbouwing voor het beleid om stikstofdepositie zo snel en zo veel mogelijk te verminderen.

DE DIRECTEUR DIRECTIE KENNIS  
Dr. J.A. Hoekstra



# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Conclusies en consequenties voor beheer</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Algemene inleiding</b>	<b>9</b>
2.1	Onderzoeksvragen	9
2.2	Onderzoeksopzet algemeen	10
2.3	Deskundigenteam	10
<b>3</b>	<b>Methoden</b>	<b>11</b>
3.1	Wageningen – experiment met bakken veen	11
3.1.1	Onderzoeksopzet	11
3.1.2	Metingen	12
3.2	Haaksbergerveen - veldexperiment	14
3.2.1	Onderzoeksopzet	14
3.2.2	Ligging van de proefvlakken	14
3.2.3	Beschrijving proefvlakken	15
3.2.4	Metingen	16
<b>4</b>	<b>Resultaten</b>	<b>19</b>
4.1	Beïnvloedt berkendichtheid de waterbalans & veenmos- verdamping – Wageningen veenbakken experiment	19
4.2	Is er een relatie tussen berkendichtheid mosverdamping? – Haaksbergerveen	26
4.3	Relatie berk en waterstand in het Haaksbergerveen: kip of ei?	29
4.4	Belemmeren berken de groei van bultvormende veenmossen?	30
4.5	Heeft berkendichtheid een effect op de voedingsstoffenbalans?	32
4.6	Berkenverwijdering – dweilen met de kraan open?	37
<b>5</b>	<b>Literatuur</b>	<b>39</b>



# 1 Conclusies en consequenties voor beheer

In het afgelopen onderzoek hebben we gekeken naar de effecten van berkendichtheid op verschillende onderdelen van een hoogveenecosysteem. We hebben gekeken naar effecten van berkendichtheid op de waterbalans, op de waterstand, op mosverdamping, op mosgroei, het voorkomen van bultvormende veenmossoorten en de nutriëntenbeschikbaarheid. Daarnaast hebben we een samenvatting gegeven van studentenonderzoek naar factoren die kieming, opnieuw uitlopen en groei van berk in veen bepalen.

## Berken, waterbalans en mosverdamping

Tot onze verbazing zagen we dat een hoge berkendichtheid kan leiden tot een positievere waterbalans en het minder diep wegzakken van het water in de zomer als gevolg van beschutting van de mosondergroei. Dit positieve effect komt slechts onder bepaalde omstandigheden tot uiting. Een hoge berkendichtheid leidt tot een positievere waterbalans wanneer:

- 1) de bedekking door veenmos hoog is, maar de bedekking door kruid- of grasachtigen laag is (bv minder dan 40% - *precieze grens weten we nog niet*)
- 2) de kroonbedekking vrij hoog is (bv hoger dan 50% *precieze grens weten we nog niet*)
- 3) de berken lager zijn dan c. 2 meter. Een bestand met berken hoger dan 2 meter verliest meer water dan dat gecompenseerd wordt door de daling in mosverdamping. In de bovenstaande gevallen heeft verwijderen van berk een negatief effect op de waterbalans. In alle andere omstandigheden leidt kappen 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 kan halen, behalve wanneer je een **laagblijvend** 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 waterstandsverschillen.

## Berken en bultvormende veenmossoorten

Berken werken als nutriëntenpomp voor fosfor: via de jaarlijkse bladval komt evenveel tot dubbel zo veel fosfor op het veenoppervlak terecht als via neerslag. De relatief hoge nutriëntenbeschikbaarheid heeft in combinatie met beschutting tot gevolg dat mesotrafente veenmossoorten zoals *S. fallax* en *S. fimbriatum* ook bij diepere zomerwaterstanden (dieper dan -20 cm) harder kunnen groeien dan de trager groeiende bultvormers zoals *S. magellanicum* en *S. papillosum*. Dit betekent dat plekken met bultvormende veenmossoorten in een terrein zoveel mogelijk vrij van berk gehouden dienen te worden.

## 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 groeispurt van uitlopende loten. De groeisnelheid van de loten buiten het eerste jaar volgt hetzelfde patroon als voor niet-gekapt 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 (nog) 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 door een combinatie van hoge voedselbeschikbaarheid 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 zone en het positieve effect op de veenmosgroei; bij zomerwaterstanden van maximaal 15-20 cm onder het veenmosniveau (zoals op drijfkillen) groeien berken doorgaans erg traag. Wanneer tot berkenverwijdering wordt besloten, kan dit het beste gebeuren in combinatie met extra hydrologische maatregelen zoals dempen van slootjes, en/of het kappen van grote oppervlakten tegelijk (lieft op compartiment niveau) om (her)groeisnelheid te beperken. Afzagen van berken lijkt de meest praktische methode, al is trekken van berk en beschadiging van wortels in het groeiseizoen efficiënter. We hebben (nog) geen negatieve effecten van kappen op de ondergroei waargenomen.

Je kunt berken beter niet te dik laten worden in verband met het opnieuw uitlopen van de stobben: hierbij kan een hoogte van ongeveer 2 m en/of een diameter van 3 cm worden aangehouden. Afhankelijk van de groeisnelheid (bepaald door lokale verschillen in voedselrijkdom en waterstand) betekent dit een kapfrequentie van 1 keer per 5-15 jaar. Voor plekken met bultvormende veenmossoorten kan het best een kapfrequentie van 1 keer per 5 jaar worden aangehouden.

### **Toekomstig onderzoek**

Beide experimenten (in Wageningen en Haaksbergen), zullen met lage frequentie nog 2 jaar worden bijgehouden. Uit het Wageningse experiment moet duidelijk worden of het positieve berken dichtheidseffect op de waterbalans gehandhaafd blijft wanneer de berken groter worden. We verwachten dat wanneer berken hoger worden dan c. 2 meter de toename in verdamping door het extra berkenblad niet meer zal worden gecompenseerd door de vermindering in veenmosverdamping. Uit het Haaksbergerveen experiment hopen we af te leiden hoe de vegetatiesamenstelling zal reageren op de verwijdering van berk; vooral de groei (en uitbreiding) van de getransplanteerde bultvormende veenmossen is erg interessant. Daarnaast zullen we extra aandacht besteden aan de relatie tussen bestandstructuur en beschuttende werking: ik verwacht veel van kroonbedekking. Eindrapportage voor dit onderzoek is gepland voor maart 2011.

Buiten het OBN onderzoek om hoop ik in samenwerking met dr. Frank Sterck van de leerstoelgroep Boscologie van Wageningen Universiteit, directe metingen te doen aan berken en berkengroei in relatie tot waterstand en nutriënten beschikbaarheid. Daarnaast wil ik proberen om in samenwerking met prof. Dr. Sjoerd van der Zee een studentenonderwerp aan te bieden om te onderzoeken of we met behulp van een SWAP model kritische bestandskenmerken kunnen bepalen waarboven berken een negatief effect op de ecosysteemverdamping uitoefenen.



## 2 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 locale hydrologie. De zomerwaterstanden zonder verwijdering bedroegen -70-cm, na verwijdering nog maar -40cm. Deze vernatting werkte door op de vegetatieontwikkeling. Na een massale uitbreiding van Eenarig wollegras, konden veenmossen zich tussen de pollen vestigen en uitbreiden. Engels eco-hydrologisch onderzoek mbv 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 uitgevoerde onderzoek heeft 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?

### 2.1 Onderzoeksvragen

Voor het uitgevoerde onderzoek werden de eerder genoemde hoofdkennisvragen “Wat voor effect heeft berkenopslag en de verwijdering ervan op hoogveenvegetatie” en “Op welk moment in hun leeftijdsfase en op welke manier (trekken, zagen) kunnen berken het beste worden verwijderd?” verder onderverdeeld in de volgende zeven onderzoeksvragen:

1. Wat is het effect van berkenopslag op het waterverlies en de groei van veenmos?
2. Verschilt dit effect tussen de typische hoogveenveenmossen (*Sphagnum papillosum*) en de meer minerotrofe veenmossoorten (*S. palustre* en *S. fallax*)?

3. In hoeverre is dit effect afhankelijk van de dichtheid van de berkenopslag en van de hydrologische situatie (waterstandsfluctuatie: drijftil versus vast veen)?
4. In hoeverre kunnen deze effecten verklaard worden door effecten van berkendichtheid op stikstofdepositie, interceptie van neerslag en nutriënten input en beschaduwing door bladval?
5. Heeft verwijdering van de berkenopslag een effect op de veenmosgroei en (soorten)samenstelling van de ondergroei?
6. Op welk moment in hun leeftijdsfase kunnen berken het beste worden verwijderd?
7. Op welke manier, trekken of zagen, kunnen berken het beste worden verwijderd?

## **2.2 Onderzoekopzet algemeen**

Om de kennisvragen te beantwoorden zijn 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 onderzoekt de effecten van 3 dichtheden berk (geen berken, 0,2 berk per m<sup>2</sup> en 1 berk per m<sup>2</sup>) 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 zijn van verschillende dichtheid van berkenopslag 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 zijn op 14 locaties die verschillen in berkendichtheid (0.2 – 3.6 berk per m<sup>2</sup>) 2 naast elkaar gelegen proefvlakken uitgezet, waarbij in 1 van de paren de berken zijn verwijderd.

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

## **2.3 Deskundigenteam**

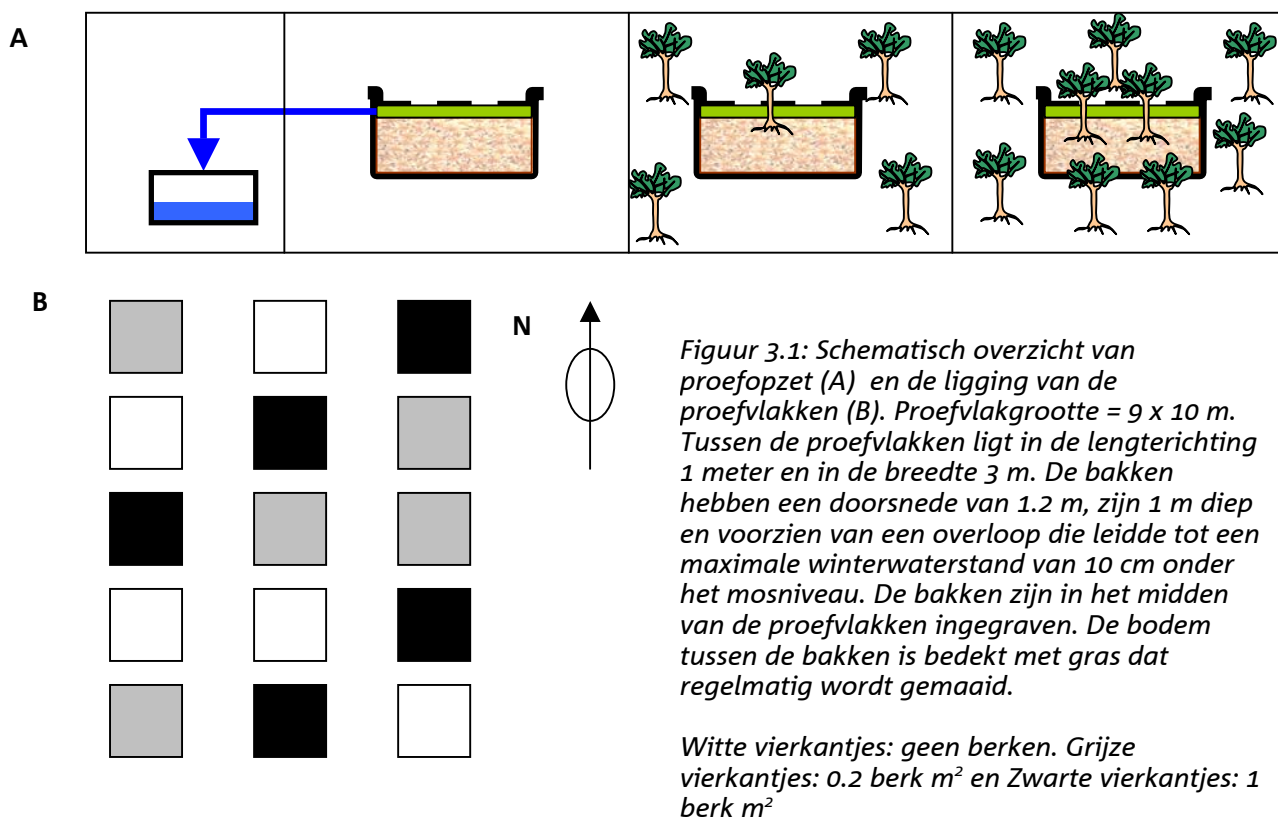
Het onderzoek stond onder supervisie van het OBN-deskundigenteam Nat zandlandschap onder voorzitterschap van André Jansen.

## 3 Methoden

### 3.1 Wageningen – experiment met bakken veen

#### 3.1.1 Onderzoekopzet

Het experiment onderzoekt de effecten van 3 dichtheden berk (geen berken, 0,2 berk per m<sup>2</sup> en 1 berk per m<sup>2</sup>) 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.



In 2007 zijn 15 proefvlakken uitgezet van 10 x 9 meter. De proefvlakken zijn beplant met Ruwe berk (hoogte: 1.5 m, herkomst kweker) met de volgende dichtheden: 0, 0.2 en 1 berk per m<sup>2</sup> (Figuur 3.1), waardoor bosjes (Figuur 3.2 E-D) met variërende berkendichtheid zijn gecreëerd. Er zijn 5 herhalingen van elke berkendichtheid behandeling. Midden in de proefvlakken zijn betonnen ringen (diameter 1.25 m, hoogte 1 m) ingegraven met daarin vijverfolie (deze veenvijvers zijn in de rest tekst bakken of veenbakken genoemd). De bakken zijn gevuld met onbemest turfstrooisel (witveen, herkomst Estland) met daarbovenop 30 cm acrotelm veen (herkomst Estland, Figuur 3.2 A-C). Na toevoegen van het turfstrooisel in maart 2007 zijn de

bakken binnen een maand volgelopen met regenwater. Vlak voor toevoeging van het echte veen in mei is het regenwater vervolgens zo ver uit de bakken gepompt dat het acrotelmveen erin pastte. De waterstand is vervolgens met behulp van het water uit de overloop weer tot overloophoogte teruggebracht. Dominante veenmossoorten van het verzamelde acrotelmveen zijn hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) en Bruin veenmos (*Sphagnum fuscum*). De kruidenbedekking ligt rond de 10-20%. In de bakken zijn, in dezelfde dichtheid als het omringende proefvlak, zachte berken (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 zijn 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) is wel gelukt. 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 is het acrotelmveen ook lichtjes opgelicht om de verstoring gelijk te houden. Elke bak is uitgerust met een overloop die uitmondt in een afdekbare 50 l ton om het overtollige water te kunnen opvangen. De maximale waterstand komt daarmee op ongeveer 10 cm onder het mosoppervlak (positie overloop). We hebben eenmalig 25 liter gedemineraliseerd water per bak toegevoegd in mei 2008 omdat de waterstand dieper dan 30 cm onder het mos dreigde weg te zakken.

### 3.1.2 Metingen

#### Water

*Waterstand:* de waterstand in de bakken (Figuur 3.2 E-1) is wekelijks op maandag gemeten gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008). We hebben eenmalig in mei 2008 25 liter gedemineraliseerd water per bak toegevoegd omdat de waterstand tot onder het acrotelmveen dreigde te zakken. – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.

*Regen:* de regenvangers (Nortene, pluvius 2) zijn wekelijks geleegd en het volume opgemeten op maandag gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008). – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.

*Overloopwater:* De overloopvaten zijn wekelijks op maandag geleegd en het volume bepaald gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008). – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.

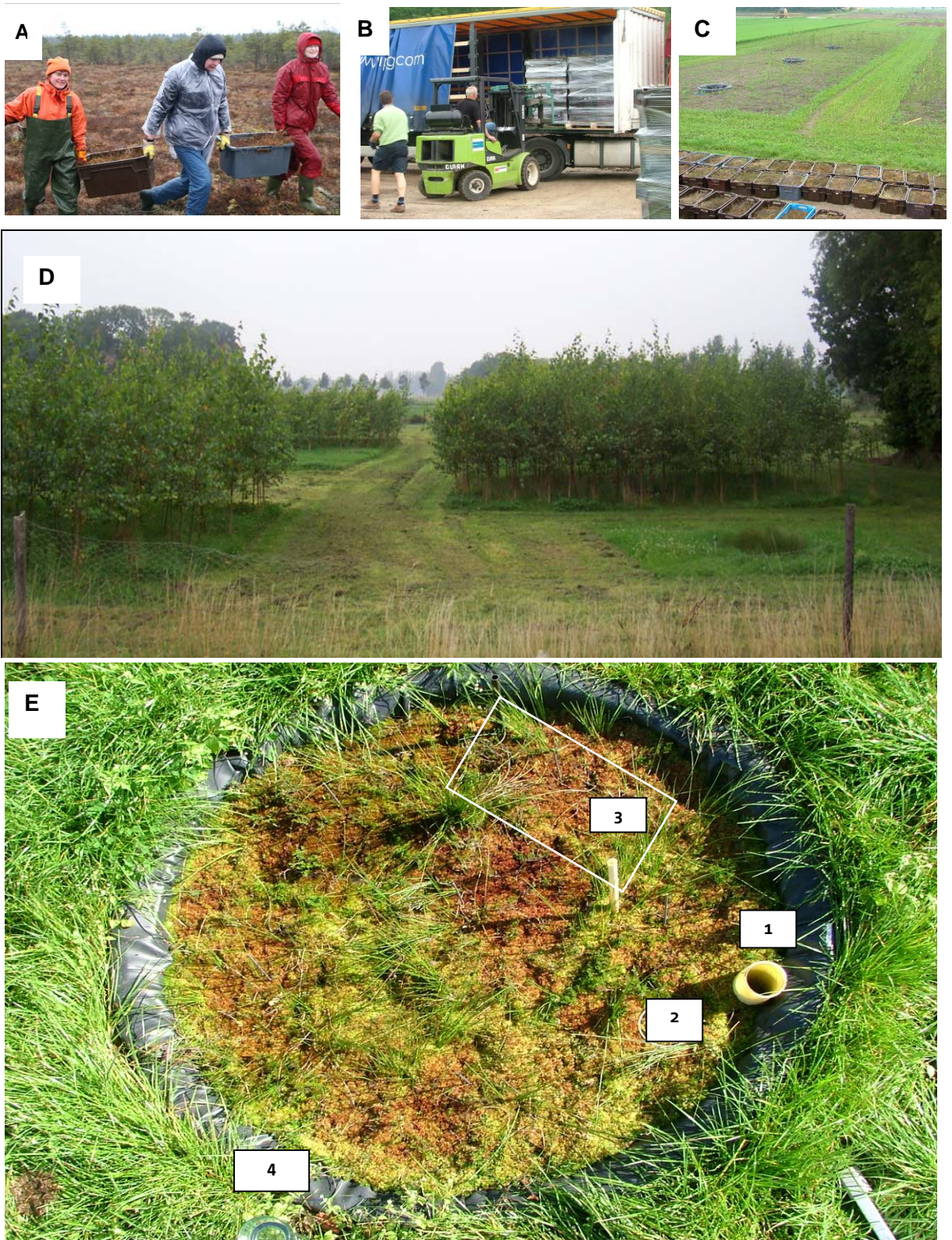
*Berging bakken:* in april 2008 is de bergingscoëfficiënt van elke veenbak bepaald door 30 l water in stappen van 5 liter met tussenpozen van minimaal 4 uur uit de bakken te pompen. De waterstand werd telkens vlak voor het pompen gemeten. – Data gebruikt voor berekenen waterbalans.

*Mosverdamming:* Potjes met veenmos (diameter 9 cm, diepte 12.5 cm) zijn ingegraven in de bakken (Figuur 3.2 E-2) en de gewichtsverandering door verdamping is wekelijks op maandag gemeten met een keukenweegschaal. De verdamping door Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) is 1 jaar lang (september 2007 – september 2008) gevolgd en de verdamping door Fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) is 3 maanden lang (juli-september) bijgehouden. Wanneer de waterstand hoger dan 10 cm onder het mosoppervlak kwam, is deze na iedere meting teruggebracht tot 10 cm onder het mosoppervlak. We hebben geen minimumwaterstand aangehouden. Wel hebben we 1 keer in mei 2008 150 ml gedemineraliseerd water per potje toegevoegd omdat het veenmos toen erg sterk dreigde uit te drogen. Wanneer het mos te ver boven de potjes uit dreigde te groeien is de hoogte teruggebracht door een stuk van de stengels af te snijden.

*Meteorologische gegevens:* Om te bekijken welke weersfactoren van belang zijn voor de mosverdamming zijn klimaatsgegevens gebruikt van het weerstation aan de Haarweg in Wageningen (via <http://www.met.wau.nl>). Vervolgens zijn de daggegevens omgerekend naar weekgegevens.

*Volumetrisch watergehalte:* in juli 2008 is door een student (Fiona Preston) het volumetrisch watergehalte van het mostapijt op 5 plekken per bak gevolgd m.b.v. een theta probe (Delta T instruments).





*Figuur 3.2 A: Veën halen in Estland – Soosaare, B: Veën 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*



## Groei en vegetatie

*Veenmosgroei*: de hoogtegroei is op 5 punten per bak in het voor- en najaar gemeten m.b.v. cranked wires.

*Vegetatiesamenstelling*: de vegetatiesamenstelling wordt jaarlijks in juli bijgehouden in permanente kwadraten (Figuur 3.2 E-3). Vanwege de trage vegetatierespons, hebben we resultaten van vegetatiesamenstelling buiten de rapportage gelaten (er viel niet veel te melden).

## Nutriënten

*Nutriëntenbalans*: van het regen- en overloopwater is 1 keer per week gedurende een jaar (september 2007 – september 2008) een monster apart gehouden voor chemische analyse van mineraal stikstof (N) in de vorm van nitraat (NO<sub>3</sub>) en ammonium (NH<sub>4</sub>), fosfor in de vorm van orthofosfaat (P-PO<sub>4</sub>) en Kalium (K).

*Nutriënten in veenmos*: stikstof, fosfor en kalium concentraties van veenmos zijn 1 keer per jaar in augustus bepaald. Hiervoor zijn telkens 20 hoofdjes van Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) verspreid over de bakken verzameld, het drooggewicht bepaald, gedestruerd en geanalyseerd.

*Nutriënten in berkenblad*: het berkenblad is iedere winter uit de bakken verwijderd, gewogen en dezelfde hoeveelheid is uit het Haaksbergerveen verzameld en terug op het mos aangebracht. Dit is gedaan omdat het blad van de berken in de proefvlakken rond de bakken (voormalige akkergrond) een andere chemische samenstelling heeft als het blad van berken uit het Haaksbergerveen.

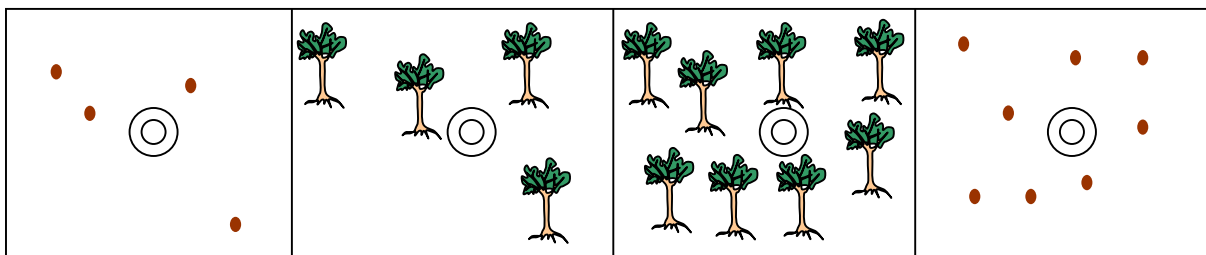
*Regen*: na het meten van het volume, is telkens een mengmonster per behandeling gemaakt voor verdere analyse gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008).

*Overloopwater*: na het meten van het volume, is telkens een mengmonster per behandeling gemaakt voor verdere analyse gedurende 1 jaar (september 2007 – september 2008).

## 3.2 Haaksbergerveen - veldexperiment

### 3.2.1 Onderzoekopzet

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<sup>2</sup>) twee naast elkaar gelegen proefvlakken uitgezet, waarbij in 1 van de paren de berken zijn verwijderd (Figuur 3.3).



*Figuur 3.3: Schematisch overzicht van 2 proefvlakparen. Proefvlakgrootte = c. 10 x 10 m. De kleine rondjes geven verwijderde berken aan. De grote circels geven de punten aan veenmosverdamping aan kleine lysimeters is onderzocht. De onderlinge positie van de gekapte en niet-gekapte proefvlakken is telkens afgewisseld ivm hydrologische gradiënt in meetgebied.*

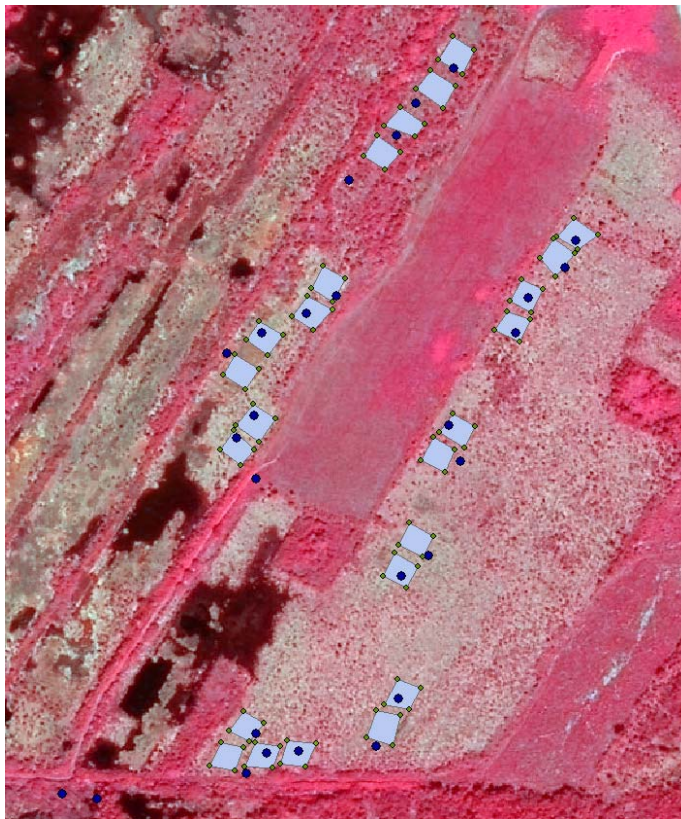
### 3.2.2 Ligging van de proefvlakken

Begin oktober 2007 is na een tweetal veldbezoeken (Fochteloerveen en Haaksbergerveen), het Haaksbergerveen als onderzoekslocatie uitgezocht omdat daar een groter bereik was in berkendichtheid. Na uitkiezen van 28 proefvlakken op 14 locaties verschillend in bestandskenmerken, is vanaf oktober 2007 telkens van één proefvlak per paar de berken afgezaagd en opgemeten (hoogte en diameter). In de

winter/voorjaar van 2008 zijn vervolgens het aantal en de diameter van de niet-gekapte berken gemeten. Zie voor overzicht proefvlakken en proefvlakparen figuren 3.4 en 3.5 op de volgende pagina.



Figuur 3.4: Overzicht van het Haaksbergerveen met proefvlaklocaties 1 t/m 14. Locatie (plot) 14 ligt verder naar het noorden. Bron: Google Earth.



Figuur 3.5: 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).

### 3.2.3 Beschrijving proefvlakken

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

De berkenopstanden van de 14 locaties blijken een goede spreiding te vertonen in verschillende opstand karakteristieken zoals cumulatief stamoppervlak, hoogteverdeling en dichtheid (Tabel 3.1). Daarnaast bleken de proefvlakparen, op enkele uitzonderingen na, aardig met elkaar overeen te komen. De minste overeenkomst tussen de proefvlakparen is 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.

**Tabel 3.1.** Karakterisering proefvlakken. Aangegeven staan de locatienummers, het oppervlakte (na nauwkeurige inmeting), het aantal berken per m<sup>2</sup>, de som van alle stamoppervlakten (in m<sup>2</sup> per 100m<sup>2</sup>), de meest gemeten hoogte per proefvlak in m en de waterstand onder het mosoppervlak in augustus (cm). rcorr geeft de Pearson correlatie coëfficiënt aan. Hoe dichter bij 1 hoe beter de metingen per proefvlakpaar met elkaar gecorreleerd zijn. De lage waarde bij het oppervlak komt omdat de oppervlakte van alle proefvlakken ongeveer gelijk is. 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 m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup> voor de lage berkendichtheid en 0.01 m<sup>2</sup>/100m<sup>2</sup> voor de hoge berkendichtheid. De meest gemeten hoogte van de berken varieerde tussen 1.8-2.4 m/plot.

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

### 3.2.4 Metingen

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

#### Water

*Regen:* De hoeveelheid regen is per proefvlak m.b.v. een regenvanger (Nortene, pluvius 2) wekelijks gedurende 3 maanden (juli-september) bijgehouden

*Mosverdamming:* Afgesloten potjes met veenmos (diameter 9 cm, diepte 12.5 cm) zijn in het midden van proefvlakken ingegraven (Figuur 2E-2). De gewichtsverandering door verdamping is wekelijks op dinsdag gemeten met een keukenweegschaal. De verdamping door Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*), Fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) en Moerasveenmos (*Sphagnum palustre*) is 3 maanden lang (juli-september) bijgehouden. Wanneer de waterstand hoger dan 10 cm onder het mosoppervlakte kwam, is deze na iedere meting teruggebracht tot 10 cm onder het mosoppervlak. We hebben geen minimumwaterstand aangehouden. Wanneer het mos te ver boven de potjes uit dreigde te groeien is de hoogte teruggebracht door een stuk van de stengels af te snijden.

*Waterstand:* vlak naast de getransplanteerde moskernen is een (peil)buis van c. 70 cm lengte het veen ingedrukt om de waterstand in te kunnen meten. Deze is een keer in februari en vervolgens een paar keer in het zomerseizoen gemeten. Tijdens de wintermeting en de laatste meting (september 2008) is ook de afstand van de waterspiegel tot het mosoppervlak gemeten.

*Waterstandfluctuatie dag-nacht:* Op 4 locaties (13, 4, 6 en 14) zijn in samenwerking met Marieke Oosterhout in het midden van de proefvlakparen 8 ondiepe



grondwaterbuizen geïnstalleerd met het filter boven de waterkerende laag. In deze peilbuizen zijn m.b.v. divers de schommelingen in de waterstand tussen 12 juni en 23 september 2008 per kwartier geregistreerd. De geregistreeerde waterstanden werden maandelijks geijkt aan handwaarnemingen van de waterstand in de buizen. Daarnaast werd in een lege peilbuis een negende barro-diver geïnstalleerd om de gegevens van de andere divers te kunnen corrigeren voor schommelingen in de luchtdruk. Na correctie voor schommelingen in luchtdruk werden verschillen in dag-nacht fluctuaties berekend met het idee te testen of we op deze manier het effect van berk op lokale waterstand konden meten.

*Volumetrisch watergehalte:* in juli 2008 is door een student (Fiona Preston) het volumetrisch watergehalte in en rondom de veenmostransplanten gemeten m.b.v. een Theta probe (Delta T instruments).



*Overzicht van locatie 2 in het Haaksberger-veen op de rand van het gekapte proefvlak. In de verte is de regenvanger nog net herkenbaar.*



*Opstelling om mosverdamping te volgen in het Haaksbergerveen. Te zien zijn de regenvanger (op de voorgrond) en 3 potjes gevuld met *S. magellanicum*, *S. fallax* en *S. palustre*. Het gewicht van de potjes werd wekelijks op dinsdag bepaald tussen juli en september*



*De meeste zaailingen van berk stonden op middelhoge, vrij open pollen van *Eriophorum vaginatum* bedekt met *S. fallax*. Op deze plekken is er meer ruimte voor de berkenwortels, biedt het *Sphagnum*laagje een goed nat kiembed maar groeit het veenmos minder hard dan tussen de pollen. Deze combinatie van factoren zorgt ervoor dat de berken goed kiemen en minder snel worden overgroeid door mos.*

### Groei en vegetatie

*Veenmosgroei:* In elk proefvlak zijn moskernen (diameter 9 cm, lengte 12.5 cm) van *Sphagnum magellanicum* en Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*) getransplanteerd in februari 2008. In elk transplantaat en op 3 plekken in het mos eromheen, is vervolgens een cranked wire geplaatst om de hoogtegroeï te kunnen meten. De hoogtegroeï van het veenmos is telkens in het voor- en najaar gemeten. Op dezelfde data is ook een foto genomen om de oppervlakteveranderingen vanaf te kunnen herleiden.

*Vegetatiesamenstelling:* de vegetatiesamenstelling wordt jaarlijks in juli bijgehouden in permanente kwadraten. Op het moment van rapportage hebben we dat eenmaal gedaan. De komende 2 jaar zal duidelijk worden of, en hoe, de vegetatiesamenstelling zal veranderen.

### Nutriënten

*Berkenblad:* in 2008 is berkenblad uit de proefvlakken verzameld, gewogen en geanalyseerd op stikstof, fosfor en kalium. Hiervoor zijn in september 2 bladvallen per proefvlak (met berken) geplaatst. De bladvallen waren gemaakt van geplastificeerd gaas, hadden een opstaande rand en hadden een oppervlakte van c. 0.5 m<sup>2</sup> (cm). Blad dat eerder in augustus is gevallen, is onder de bladvangsers vandaan verzameld.

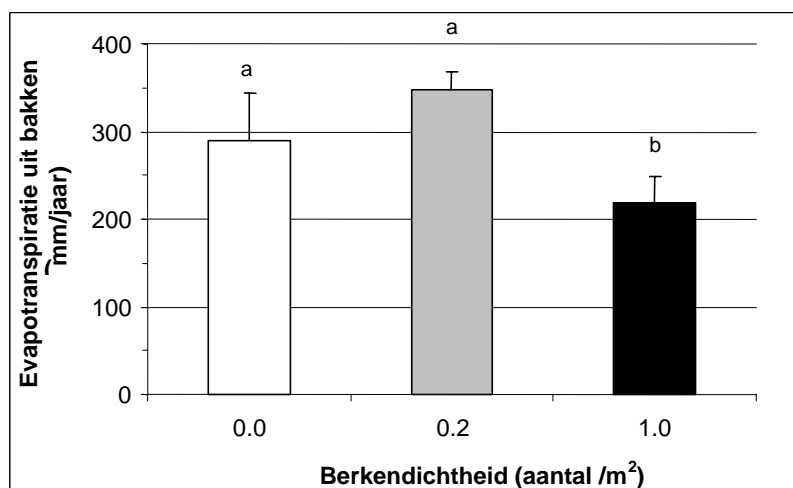
## 4 Resultaten

### 4.1 Beïnvloedt berkendichtheid de waterbalans & veenmosverdamping – Wageningen veenbakken experiment

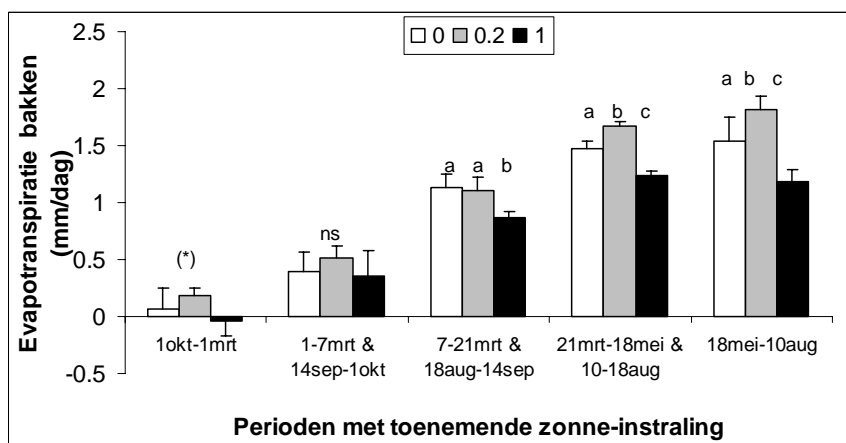
#### Berken en evapotranspiratie mini veentjes in bakken

Tegen de verwachting in, vonden we in onze namaakveentjes dat een hoge berkendichtheid de totale waterbalans van de namaakveentjes positief beïnvloedde (Figuur 4.1). Veenbakken met een hoge berkendichtheid (1 berk / m<sup>2</sup>) verloren per jaar gemiddeld 9% **minder** water dan de veenbakken zonder berk, dit ondanks de 6% interceptie van neerslag door de berkenkroon. Veenbakken met een lage berkendichtheid (0.2 berk/m<sup>2</sup>) echter, leken juist **meer** te verdampen, terwijl interceptie minder dan 1% bedroeg. Hoewel dit effect op jaarbasis niet statistisch significant was, maakte het wel degelijk uit in de periode 21 maart – 18 augustus (Figuur 4.2, grijze kolommen).

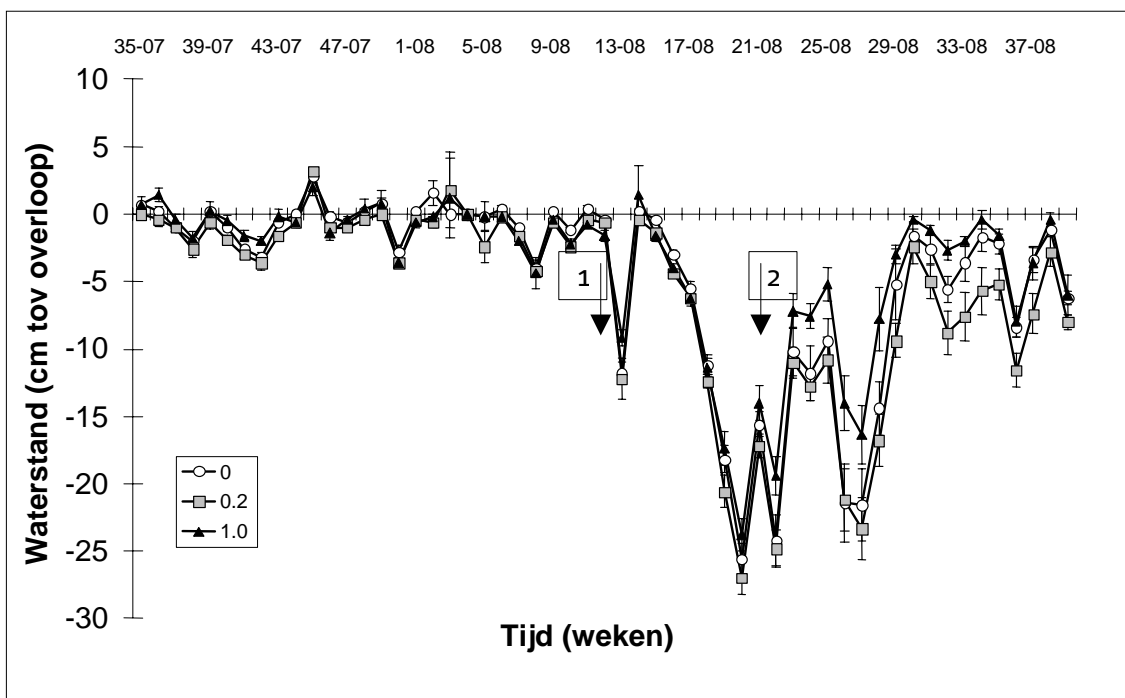
Het verlagende effect van hoge berkendichtheid op de bakevapotranspiratie is duidelijk gerelateerd aan het vegetatiesezoos wanneer het blad aan de berken zit (maart t/m september), en is het meest uitgesproken in perioden met hoge zonneinstraling (21 maart – 18 augustus). In deze laatste periode valt ook op dat bakken met een lage berkendichtheid (grijze kolommen) juist de hoogste evapotranspiratie hebben. De evapotranspiratie die wij in onze bakken hebben gemeten valt voor de bakken zonder en met lage dichtheid berk binnen de range gegeven voor venen (Lafleur et al. 2005, tabel 2), al liggen ze aan de lage kant. De metingen aan de bakken met hoge berkendichtheid zijn zeer laag voor venen. De verschillen in evapotranspiratie tussen de bakken leiden tot een verschil in waterstand tussen de berkenbehandelingen (Figuren 4.3 & 4.4). De bakken met een hoge berkendichtheid hadden een hogere zomerwaterstand dan de bakken zonder berk, terwijl de waterstand in augustus het diepste wegzakte in de bakken met een lage berkendichtheid.



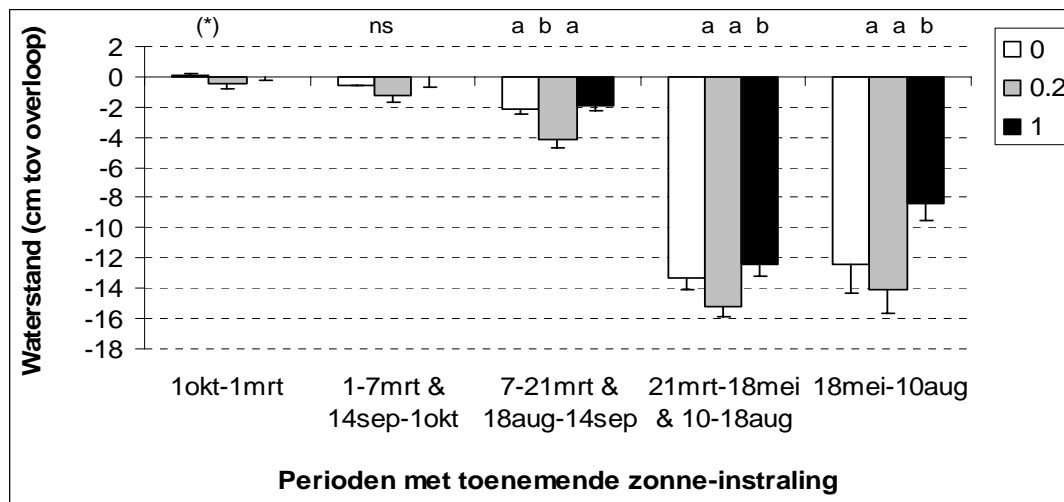
*Figuur 4.1: Evapotranspiratie uit bakken met veenmosvegetatie beplant met en omringd door 3 berken dichtheden. Metingen zijn gemiddelden van vijf bakken + 1 SE. Evapotranspiratie is afgeleid uit neerslag, bergingscoëfficiënt, waterstand en uitstroomwater. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante ( $p < 0.05$ , ANOVA) verschillen weer.*



*Figuur 4.2: Evapotranspiratie uit bakken met veenvegetatie. Metingen zijn gemiddelden van vijf bakken + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante ( $p < 0.05$ , ANOVA) verschillen tussen de behandelingen weer. Perioden zijn ingedeeld op basis van zonne-instraling gemeten op meteorostation Haarweg, Wageningen*



Figuur 4.3: Verloop van de waterstand in de veenbakken van september 2007-september 2008. 1 = 21 maart, het dal direct erna komt door het wegpompen van 30 liter water voor het bepalen van de bergingscoëfficiënt. 2 = in mei 25 l toegevoegd aan elke bak om te voorkomen dat waterstand te diep zou wegzakken. Metingen zijn gemiddelden van vijf herhalingen  $\pm$  1 SE.



Figuur 4.4: Waterstand tov overflow in bakken met veenmosvegetatie. Metingen zijn gemiddelden van vijf bakken  $\pm$  1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante ( $p < 0.05$ , ANOVA) verschillen tussen de behandelingen weer. Perioden zijn ingedeeld op basis van zonne-instraling gemeten op meteorostation Haarweg, Wageningen.



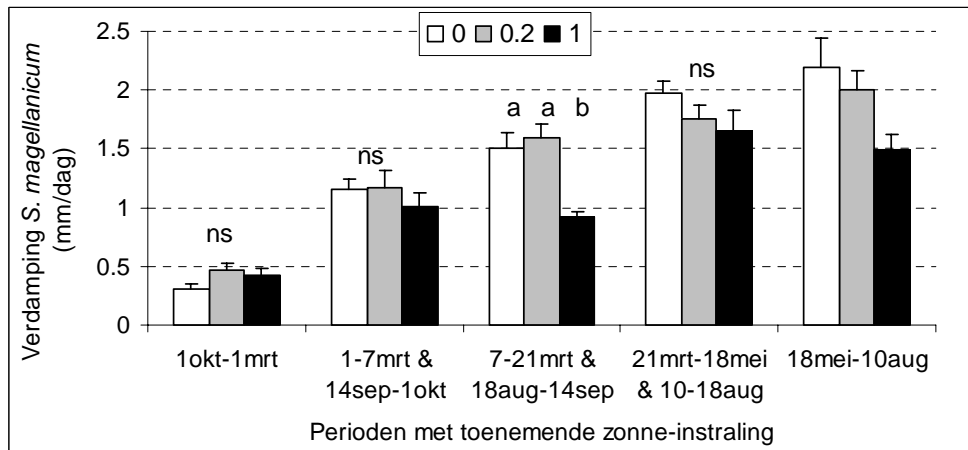


*Deel van de spreiding in de meetgegevens uit de proefvlakken met een hoge berkendichtheid komt door verschillen in kroonsluiting tussen de individuele proefvlakken. De foto's zijn genomen direct boven het mosoppervlak met een 10mm breedhoeklenz.*

### **Berken en mosverdamping**

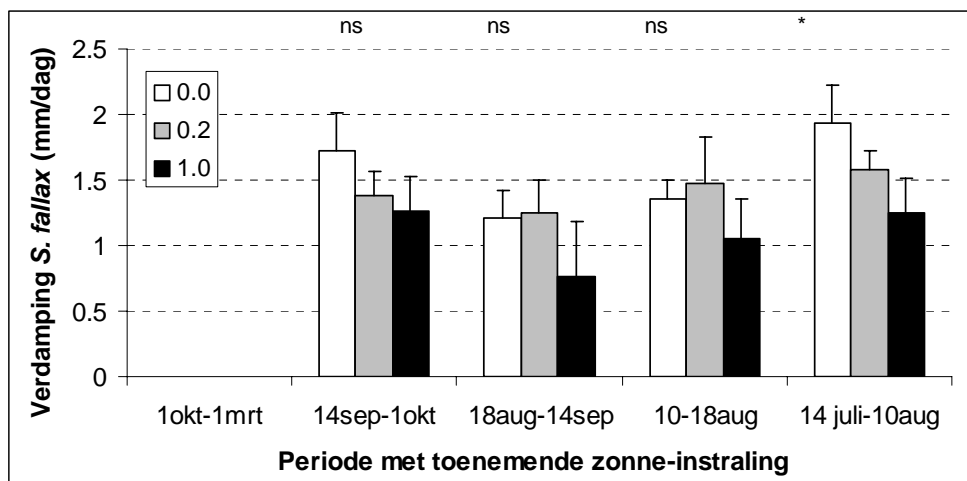
Kennelijk is het effect van berk op evapotranspiratie en waterstand niet rechtlijnig, en wordt waarschijnlijk verklaard door de tegengestelde effecten van berkendichtheid op hun eigen evapotranspiratie enerzijds (toename) en de evapotranspiratie van de ondergroei (afname) anderzijds. Het effect op veenmosondergroei zien we in Figuur 4.5. Wanneer de berkendichtheid toeneemt, neemt de verdamping door het veenmos af: waarschijnlijk breken de berken de wind en verminderen de zonne-instraling op het mosoppervlak. Hoe dichter het berkenbestand hoe sterker het effect lijkt te worden. De veenmosverdamping in de bakken met een lage berkendichtheid was even groot tot lager dan in de bakken zonder berk.

Het lijkt erop dat in de hoogste berkendichtheid de lagere veenmosverdamping compenseert voor de evapotranspiratie door de 2 berken in de bak, terwijl bij lage berkendichtheid de beschuttende werking van berk afwezig is en de evapotranspiratie door de berk in de bak niet gecompenseerd wordt.

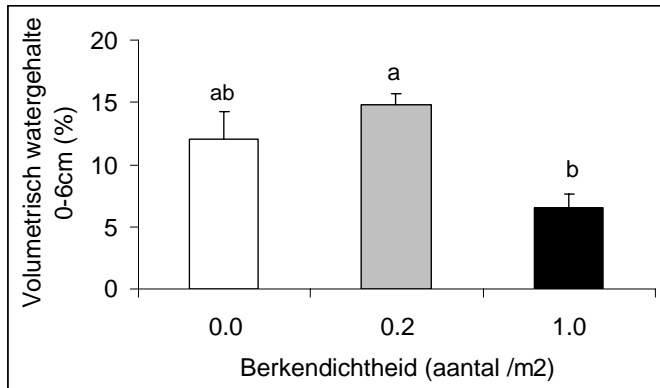


Figuur 4.5: Verdamping uit potjes met *Sphagnum magellanicum*, gestoken en teruggeplaatst in de grotere veenbakken. Metingen zijn gemiddelden van vijf herhalingen + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante ( $p < 0.05$ , ANOVA) verschillen tussen de behandelingen weer. (\*) geeft een trend weer ( $p < 0.10$ , ANOVA). Perioden zijn ingedeeld op basis van zonne-instraling gemeten op meteostation Haarweg, Wageningen. *S. magellanicum* is ook dominant in de grotere veenbakken.

De sterkte van het effect van berkenbeschutting op veenmosverdamping lijkt verder ook af te hangen van de veenmossoort. Van half juli tot 1 oktober hebben we ook verdamping gemeten aan potjes gevuld met *S. fallax*, die naast de *S. magellanicum* potjes in de grote veenbakken waren geplaatst (Figuur 4.6). Hoewel het effect van berkendichtheid nog steeds zichtbaar was, reageerde de verdamping van *S. fallax* niet of nauwelijks op de toename in zonne-instraling gedurende het groeiseizoen. In plaats daarvan vertoonde *S. fallax* verdamping een dip tussen 18 augustus en 14 september. Door de lage regenfrequentie in deze periode, is *S. fallax* waarschijnlijk oppervlakkig uitgedroogd waardoor minder water beschikbaar was voor verdamping.

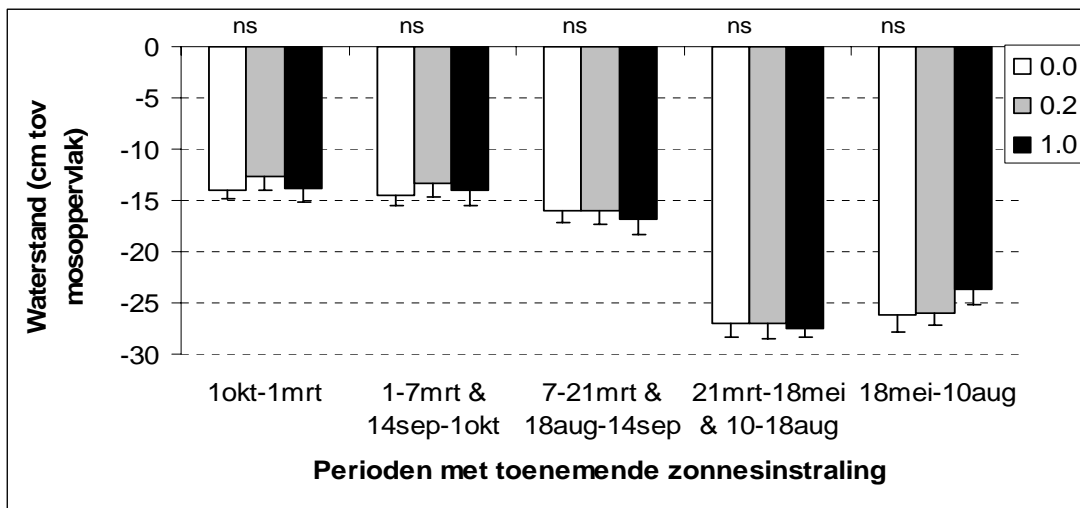


Figuur 4.6: Verdamping uit potjes met *Sphagnum fallax*, verzameld uit het Bargerveen op 14 juli 2008 in de grotere veenbakken geplaatst. Metingen zijn gemiddelden van vijf herhalingen + 1 SE. Ns = behandelingen binnen periode verschillen niet statistisch significant van elkaar. \* Er is een statistisch significant behandelingseffect (berkendichtheid maakt uit), maar spreiding is te groot om verschillen tussen de behandelingen onderling te onderscheiden. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante ( $p < 0.05$ , ANOVA) verschillen tussen de behandelingen weer. (\*) geeft een trend weer ( $p < 0.10$ , ANOVA). Perioden zijn ingedeeld op basis van zonne-instraling gemeten op meteostation Haarweg, Wageningen.



*Figuur 4.7: Volumetrisch watergehalte van Sphagnum magellanicum. Waarden zijn gemiddelden van 5 herhalingen + 1 SE. Alleen dagen zonder neerslag zijn geselecteerd.*

De lagere veenmosverdamping onder berk kan voor een belangrijk deel verklaard worden door de lagere hoeveelheid zonne-energie en wind die het mos bereiken. Daarnaast verminderen de interceptie van neerslag door de berken en de lossere structuur van het veenmostapijt bij hoge berkendichtheid waarschijnlijk het water dat beschikbaar is voor verdamping. Dit laatste is mooi te zien aan het volumetrisch watergehalte (Figuur 4.7). Een eenmalige destructieve meting van het watergehalte in de capitula (25 per bak) in dezelfde week lieten een vergelijkbaar patroon zien: het versgewicht werd voornamelijk bepaald door het drooggewicht van de capitula (ANCOVA Fdf1 = 33,  $p < 0.001$ ), maar daarnaast had de berkenbehandeling ook invloed (ANCOVA Fdf2 = 3.7,  $p = 0.06$ ). Het berkeneffect op het (volumetrisch) watergehalte is overigens niet het gevolg van verschillen in waterstand tov de top van het veenmos, maar lijkt puur een effect van verschillen in veenmosgroei en daarmee samenhangende tapijtstructuur tussen de behandelingen: ondanks de effecten van de berken op de absolute waterstand (Figuur 4.4), verschilde de waterstand tov het mosoppervlak niet tussen de behandelingen (Figuur 4.8).



*Figuur 4.8: Waterstand tov mosoppervlak in bakken met veenmosvegetatie. Metingen zijn gemiddelden van vijf bakken - 1 SE. ns = behandelingen verschillen niet statistisch significant van elkaar ( $p > 0.10$ , ANOVA) Perioden zijn ingedeeld op basis van zonesinstraling gemeten op meteostation Haarweg, Wageningen.*

#### **Onverwachte resultaten of niet?**

Deze resultaten lijken eerder werk tegen te spreken waarin negatieve effecten van berkendichtheid op de waterstand wordt gemeld. Veel hangt waarschijnlijk af van de structuur (dichtheid, hoogte) van het berkenbestand, of de ondergroei bestaat uit veenmos of niet, van de lokale hydrologie (stroomt er water toe vanuit het omringend



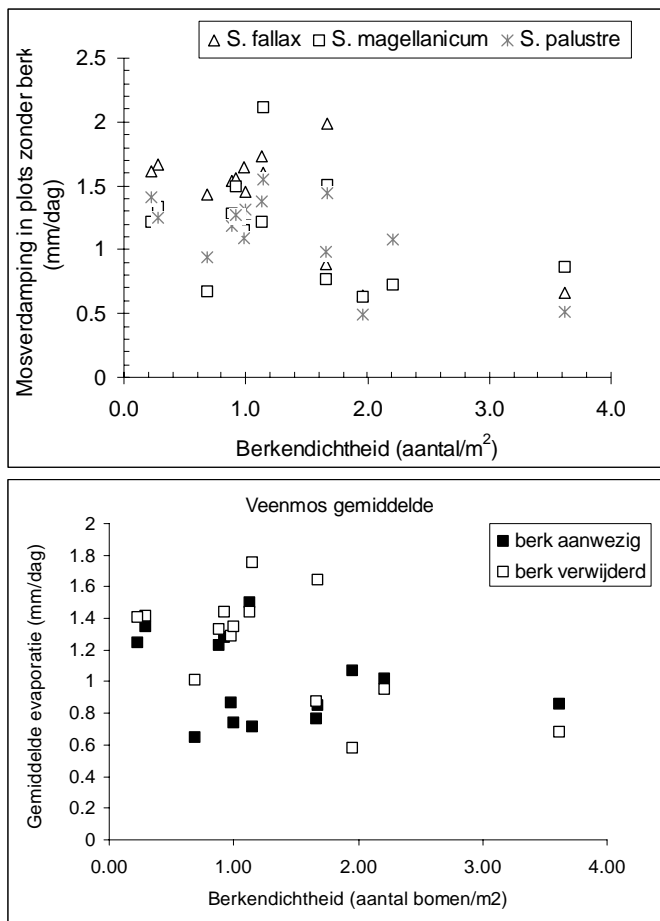
veen) en de veraardheid van het veen (sterk veraard betekent grotere schommelingen). Eerder onderzoek in het kader van OBN-hoogvenen eerste fase in de Tuspeel (door afdeling Milieubiologie, Radboud Universiteit Nijmegen) gaf juist indicatie dat berken voor waterstandverlaging zorgden: de zomerwaterstanden zonder verwijdering bedroegen -70 cm, na verwijdering nog maar - 40 cm. Maar de veenmosbedekking onder de berken was erg laag en het veen sterk veraard. In dit geval hoef je geen rekening te houden met mosverdamping en in sterk veraard veen leiden kleine verschillen in verdamping al tot grote verschillen in waterstand. Engels echohydrologisch onderzoek mbv grote lysimeters liet ook zien dat de waterstand onder volwassen berken op veen c. 10-15 cm consistent lager ligt dan de waterstand in vergelijkbare vegetatie (Bragg 2002). Maar de lysimeters bestonden uit grote afgesloten blokken veen met 1 geïsoleerde berk erin, zonder andere berken eromheen, waardoor de beschutting tegen bv wind door de berk minimaal moet zijn geweest. Dan krijg je vergelijkbare effecten als in de laagste berkenbehandeling in het Wageningse berkenexperiment: de berkenevapotranspiratie wordt niet gecompenseerd door lagere mosverdamping van een beschut mosoppervlak. Eenzelfde verklaring gaat waarschijnlijk ook op voor de resultaten van Boggie (1972) en Åberg (1992), die liet zien dat eenmaal gevestigde (solitaire) Berken hun eigen groei positief beïnvloedden door de waterstand te verlagen. Niet al het bestaande onderzoek laat overigens een effect van berk op de evapotranspiratie van veen zien. Cross (1987) en Diamond e.a. (2003) vonden beiden geen effect en Humphreys e.a. (2006) konden ook geen verschillen vinden tussen de evapotranspiratie van venen met en zonder bomen. In het geval van Cross kan dit maken hebben met de specifieke locatie van de berken in zijn studie. Die waren voornamelijk geassocieerd met soaks die een hoge mate van wateraanvoer hebben. Een hoge aanvoersnelheid van water, van welke kant (boven, onder of opzij) dan ook, kan een (berken)verdamping signaal maskeren.

#### **Welke berkendichtheid?**

Het bovenstaande laat mooi de complexiteit zien van het effect van berken: bij hoge berkendichtheid heb je weliswaar meer evapotranspiratie door berk, maar afname van veenmosverdamping kan dit compenseren. Waar dit compensatiepunt precies ligt, blijft nog onduidelijk. We verwachten dat wanneer de berken in de veenbakken groter worden en het bladoppervlak toeneemt (Murakami et al. 2000), de berkenevapotranspiratie meer toeneemt dan de veenmosverdamping afneemt. Het experiment zal nog 2 jaar worden voortgezet om hier meer duidelijkheid over te krijgen. Dan staan ook directe metingen aan de berkenevapotranspiratie zelf op het programma.

Wanneer we aannemen dat de maximale vermindering van de veenmosevaporatie door beschutting 1 mm per dag bedraagt (Figuren 4.5, 4.6), kunnen we een schatting maken van de hoeveel berkenblad (en daarmee de hoogte van de berk) die eenzelfde waterverlies zou opleveren. Voor onze schatting hebben we gebruik gemaakt van de relatie tussen berkenhoogte en bladbiomassa voor kleine berken (Dekker 2008), de relatie tussen bladbiomassa en bladoppervlakte (SLA, Aspelmeier & Leuschner 2006) en de relatie tussen bladoppervlakte en verdamping voor Ruwe berk (Fay & Lavoie, ongepubliceerde data). Op basis van deze schattingen komen we op een kritische berkenhoogte van c. 2 meter voor gemiddelde waarden van SLA en berekend over een gemiddelde Canadese zomer (30 mei-18 augustus 2005). Wanneer we dezelfde relaties toepassen op onze proefvlakken in het Haaksbergerveen, komen we op een gemiddelde boomdichtheid van 1 berk per vierkante meter en/of een totaal stamoppervlak van 0.025 m<sup>2</sup> per plot. De spreiding in de gegevens is echter enorm, vooral de relatie tussen berkenverdamping en bladoppervlak die, afhankelijk van de zonne-instraling, met een factor 10 varieerde. Nu is de instraling van de zon op een breedtegraad van 46° wel wat sterker dan de 51-53° noorderbreedte in Nederland, en zal het berkeneffect op mosverdamping ook verschillen afhankelijk van het weer (Figuren 4.5 en 4.6), dus zal de gevoeligheid van onze schatting voor de weersomstandigheden in Nederland wel een stuk minder zijn dan een factor 10. Waarschijnlijk kunnen de schattingen verbeterd worden door gebruik van een SWAP model, iets dat we voor de komende jaren van plan zijn.

## 4.2 Is er een relatie tussen berkendichtheid mosverdamping? – Haaksbergerveen



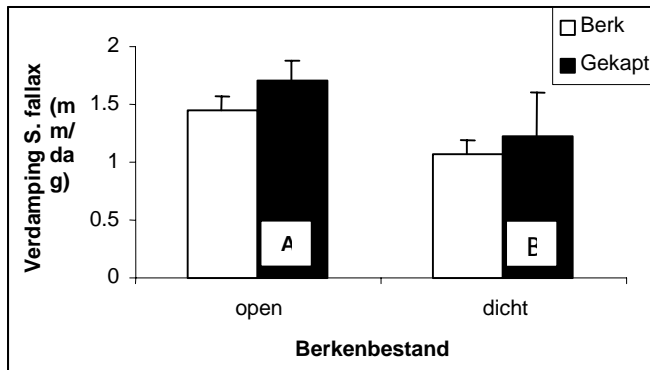
Figuur 4.9: Mosverdamping tussen juli en september van potjes gevuld met verschillende veenmossoorten geplaatst in het Haaksbergerveen. A) in gekapte plots, B) in niet-gekapte plots C) gemiddelde van 3 soorten veenmos voor gekapte (witte symbolen) en niet-gekapte proefvlakken (zwarte symbolen). Zie Tabel 1 voor statistiek

Het experiment in het Haaksbergerveen is opgezet om meer inzicht te krijgen in het effect van verschillende berkenbestanden op de mosverdamping. De meetfrequentie en methoden waren vergelijkbaar met het Wageningse experiment, al is de meetduur een stuk korter. Verdamping van 3 soorten veenmos: *S. magellanicum*, *S. fallax* en *S. palustre* zijn tussen half juli en half september gevolgd.

Het bleek erg lastig consistente verbanden tussen mosverdamping en karakteristieken van het berkenbestand te vinden. De gemiddelde verdamping over de meetperiode vertoonde slechts een zwak verband met de berkendichtheid vanwege de enorme spreiding in verdamping tussen de plots. Zo bleek de invloed van de vegetatie direct rondom de potjes vaak groter dan die van het wel of niet kappen van berk (Figuur 4.9, Tabel 4.1). Toch is wel een verband te ontdekken tussen berkendichtheid en mosverdamping. Wanneer we naar Figuur 9C kijken zien we grofweg twee groepen. 1 groep heeft een gemiddelde verdamping boven 1.2 mm/dag, de ander zit rond 1mm en lager. De paar proefvlakken met berk in de groep met hoge verdamping zijn omringd door lage berken en hebben zelf vrij veel maar wel lage berkjes.

Wanneer we deze 2 groepen voor *S. fallax* toetsen zien we dat deze voor zowel de gekapte als de niet-gekapte proefvlakken statistisch significant van elkaar verschillen (Figuur 4.10). Dit betekent dat een hoge berkendichtheid weliswaar leidt tot beschutting van het mos en verminderde verdamping van het mos, maar dat het weghalen van de berken niet noodzakelijkerwijs leidt tot toegenomen mosverdamping, afhankelijk van de omringende vegetatie: wanneer deze dicht genoeg is biedt deze voldoende beschutting voor het mos, en zal weghalen van berk

niet leiden tot toegenomen systeem evapotranspiratie. Het belang van de beschuttende werking van omringende vegetatie valt in lijn met eerder onderzoek waarin het positieve effect van pollenbuffering op mosgroei werd aangetoond (Smolders et al. 2003, Grosvernier & Buttler 1995). Het pollenbufferingseffect wordt door de auteurs in verband gebracht met het minder snel uitdrogen van het mos.



Figuur 4.10: Gemiddelde *S. fallax* verdamping tussen juli en september (+ 1 SE) in het Haaksbergerveen. Open = berkenbestand dat vrij open oogt: meeste berken lager dan 1m, of indien hoger, meer afstand tussen berken (5 plots). Dicht = berkenbestand dat vrij dicht oogt: meeste berken hoger dan 1 m, of indien lager zijn erg dicht op elkaar (9 plots). Verdamping verschil significant tussen deze groepen (t-test,  $p < 0.05$ ). Berken kappen hoeft niet te leiden tot meer mosverdamping.

#### Het effect van mossoort en tapijtstructuur

De relatie tussen bestandskenmerken en mosverdamping leek af te hangen van veenmossoort en de weersomstandigheden. Gemiddelde mosverdamping kon in de proefvlakken met berk voor alle soorten het best verklaard worden door de beschuttende werking (gemeten n.a.v. de biomassa) van de vegetatie rondom de potten. In de gekapte proefvlakken was de biomassa van de omringende vegetatie opnieuw de beste voorspeller voor *S. fallax* en *S. palustre*, terwijl de hoogte van de omringende bomen voor *S. magellanicum* belangrijk bleek. *S. fallax* verdamping bleek het gevoeligste te reageren op verschillende bestandskenmerken en leek in perioden zonder regen ook af te hangen van de bergingscoëfficiënt van de potjes. De reden voor dit verband is waarschijnlijk dat hoe hoger de bergingscoëfficiënt (hoe ijler het mos), hoe minder water beschikbaar is voor verdamping gedurende droge perioden. *S. fallax* is dan ook geen bultvormer, terwijl *S. magellanicum*, en in mindere mate *S. palustre*, lage bulten kunnen vormen: deze soorten kunnen door hun dichtere tapijtstructuur beter water vasthouden en water omhoog zuigen uit dieper en natter veen. De bergingscoëfficiënt van de potjes zelf vertoonde ook een relatie met de biomassa van de omringende vegetatie en met de berkendichtheid (Tabel 4.2): hoe meer beschaduwing, hoe ijler de groeiwijze van het mos, vooral voor *S. fallax*. Dat dit geen artefact is van de potjes is ook te zien in Figuur 4.11 waarin het volumetrisch watergehalte in het veenmos buiten de potjes is gemeten door Fiona Preston op 17 juli 2008. Eenzelfde verband tussen berkendichtheid en volumetrisch watergehalte, zagen we ook in het experiment in Wageningen (Figuur 4.7).

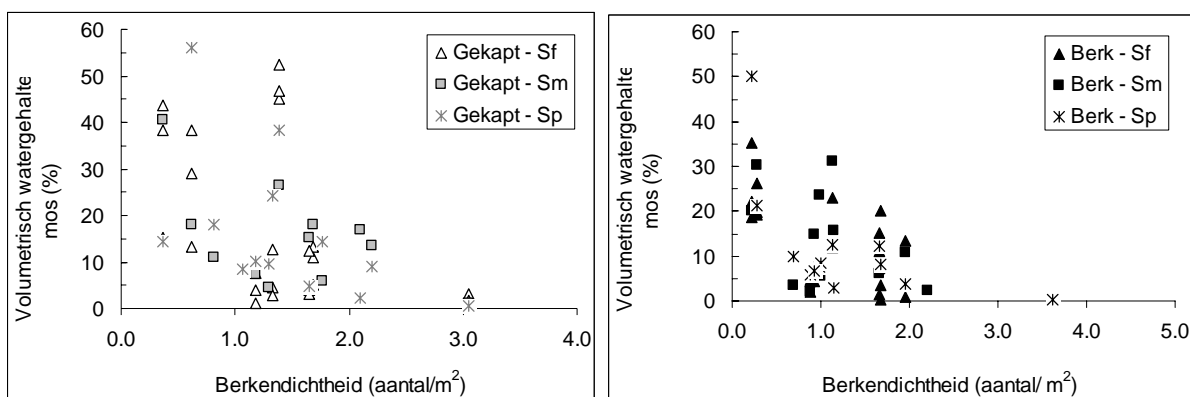
Deze interacties tussen bestandskenmerken van de boomlaag, bedekking van de kruidlaag, mosstructuur en het relatief klein aantal waarnemingen maken het erg lastig om de data te analyseren. Om exacte relaties uit de veldwaarnemingen te krijgen zal moeilijk worden, zeker gezien vegetatiestructuur slechts een indirecte sturing op mosverdamping heeft, via zijn effecten op abiotische factoren zoals windsnelheid, luchtvochtigheid en zonne-instraling. Desondanks kunnen we wel zeggen dat de resultaten uit de veldproef de uitkomsten uit het Wageningse experiment bevestigen. Beschuttende effecten van berk op mosverdamping treden alleen op bij vrij dichte berkenbestanden en zullen alleen gunstig op de totale waterbalans uitpakken wanneer de bedekking van de kruidlaag onder de berken verwaarloosbaar is. Dit zou betekenen dat je voor de waterbalans in de meeste gevallen berken het beste van het veen af kan halen, behalve wanneer je een berkenbroek wilt ontwikkelen.

Tabel 4.1. Pearson correlaties tussen mosverdamping en enkele bestandkenmerken van de proefvlakken voor gekapte en niet-gekapte proefvlakken in het Haaksbergerveen. Bergingscoëfficiënt mos: maat voor groeiwijze, hoe hoger, hoe ijler het mos. Aangegeven staan de Omringende vegetatie: biomassa (in g/m<sup>2</sup>) van de vegetatie in een vierkant van 50x50 cm direct rond de veenmospotjes. Berkendichtheid in aantal berken per m<sup>2</sup>, de som van alle stamoppervlakten (in m<sup>2</sup> per 100m<sup>2</sup>) en de meest gemeten hoogte (mode) per proefvlak. Ns = verband statistisch niet significant, (\*) = p < 0.10, \* = p < 0.05. Negatieve correlatiecoëfficiënten geven een negatief verband aan. Gemiddelde verdamping = periode 15 juli-23 september, Maximum verdamping = 22 juli-14 aug. Rest verdamping: verdamping vanaf 14 aug. Geen regen: verdamping gedurende 3 weken met 0-5 mm neerslag.

	Bergingscoëfficiënt		Omringende vegetatie		Berkendichtheid		Som stamopp		Hoogte (mode)	
	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt
<b>S. fallax</b>										
Gemiddelde verdamping	- 0.18 ns	- 0.06 ns	- 0.49 (*)	- 0.54 *	- 0.27 ns	- 0.49 (*)	- 0.42 ns	- 0.23 ns	0.29 ns	- 0.34 ns
Maximum verdamping	- 0.08 ns	- 0.31 ns	- 0.20 ns	- 0.34 ns	- 0.06 ns	- 0.32 ns	- 0.46 (*)	- 0.22 ns	- 0.33 ns	- 0.37 ns
Rest verdamping	- 0.51 (*)	0.21 ns	- 0.62 *	- 0.53 (*)	- 0.47 (*)	- 0.34 ns	- 0.21 ns	- 0.24 ns	- 0.22 ns	- 0.40 ns
Verdamping geen regen	- 0.60 *	0.11 ns	- 0.66 *	- 0.35 ns	- 0.57 (*)	- 0.23 ns	- 0.54 *	- 0.28 ns	- 0.47 (*)	- 0.46 (*)
<b>S. magellanicum</b>										
Gemiddelde verdamping	- 0.21 ns	- 0.30 ns	- 0.49 (*)	- 0.53 (*)	- 0.41 ns	- 0.07 ns	- 0.46 ns	- 0.20 ns	- 0.26 ns	- 0.60 *
Maximum verdamping	- 0.01 ns	- 0.41 ns	- 0.05 ns	- 0.62 *	- 0.35 ns	- 0.07 ns	- 0.51 (*)	- 0.01 ns	- 0.16 ns	- 0.60 *
Rest verdamping	- 0.35 ns	- 0.32 ns	- 0.64 *	- 0.49 (*)	- 0.37 ns	- 0.23 ns	- 0.36 ns	- 0.43 ns	- 0.32 ns	- 0.66 *
Verdamping geen regen	- 0.28 ns	- 0.22 ns	- 0.40 ns	- 0.37 ns	- 0.31 ns	- 0.02 ns	- 0.45 ns	- 0.35 ns	- 0.40 ns	- 0.66 *
<b>S. palustre</b>										
Gemiddelde verdamping	- 0.33 ns	- 0.41 ns	- 0.55 *	- 0.66 *	- 0.19 ns	- 0.40 ns	- 0.33 ns	- 0.06 ns	- 0.36 ns	- 0.30 ns
Maximum verdamping	- 0.37 ns	- 0.01 ns	- 0.38 ns	- 0.80 *	- 0.08 ns	- 0.05 ns	- 0.43 ns	- 0.17 ns	- 0.42 ns	- 0.36 ns
Rest verdamping	- 0.18 ns	- 0.50 (*)	- 0.55 *	- 0.51 (*)	- 0.27 ns	- 0.32 ns	- 0.19 ns	- 0.15 ns	- 0.30 ns	- 0.36 ns
Verdamping geen regen	- 0.10 ns	- 0.44 ns	- 0.47 (*)	- 0.54 *	- 0.13 ns	- 0.27 ns	- 0.26 ns	- 0.22 ns	- 0.44 ns	- 0.52 (*)

Tabel 4.2. Pearson correlaties tussen de bergingscoëfficiënt van de potjes met veenmos en enkele bestandkenmerken van de proefvlakken voor gekapte en niet-gekapte proefvlakken. Bergingscoëfficiënt mos: maat voor groeiwijze, hoe hoger, hoe ijler het mos. Aangegeven staan: Omringende vegetatie: biomassa (in g/m<sup>2</sup>) van de vegetatie in een vierkant van 50x50 cm direct rond de veenmospotjes. Berkendichtheid in aantal berken per m<sup>2</sup>, de som van alle stamoppervlakten (in m<sup>2</sup> per 100m<sup>2</sup>) en de meest gemeten hoogte (mode) per proefvlak. Ns = verband statistisch niet significant, (\*) = p < 0.10, \* = p < 0.05.

Bergingscoëfficiënt	Omringende vegetatie		Berkendichtheid		Som stamopp		Hoogte (mode)	
	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt	Berk	Gekapt
S. fallax	0.62 *	0.23 ns	0.63 *	0.14 ns	0.61 *	- 0.25 ns	0.37 ns	- 0.04 ns
S. magellanicum	0.29 ns	0.87 *	0.65 *	0.22 ns	0.26 ns	- 0.10 ns	0.17 ns	0.37 ns
S. palustre	0.38 ns	0.34 ns	0.50 (*)	0.42 ns	0.68 *	- 0.02 ns	0.05 ns	- 0.06 ns

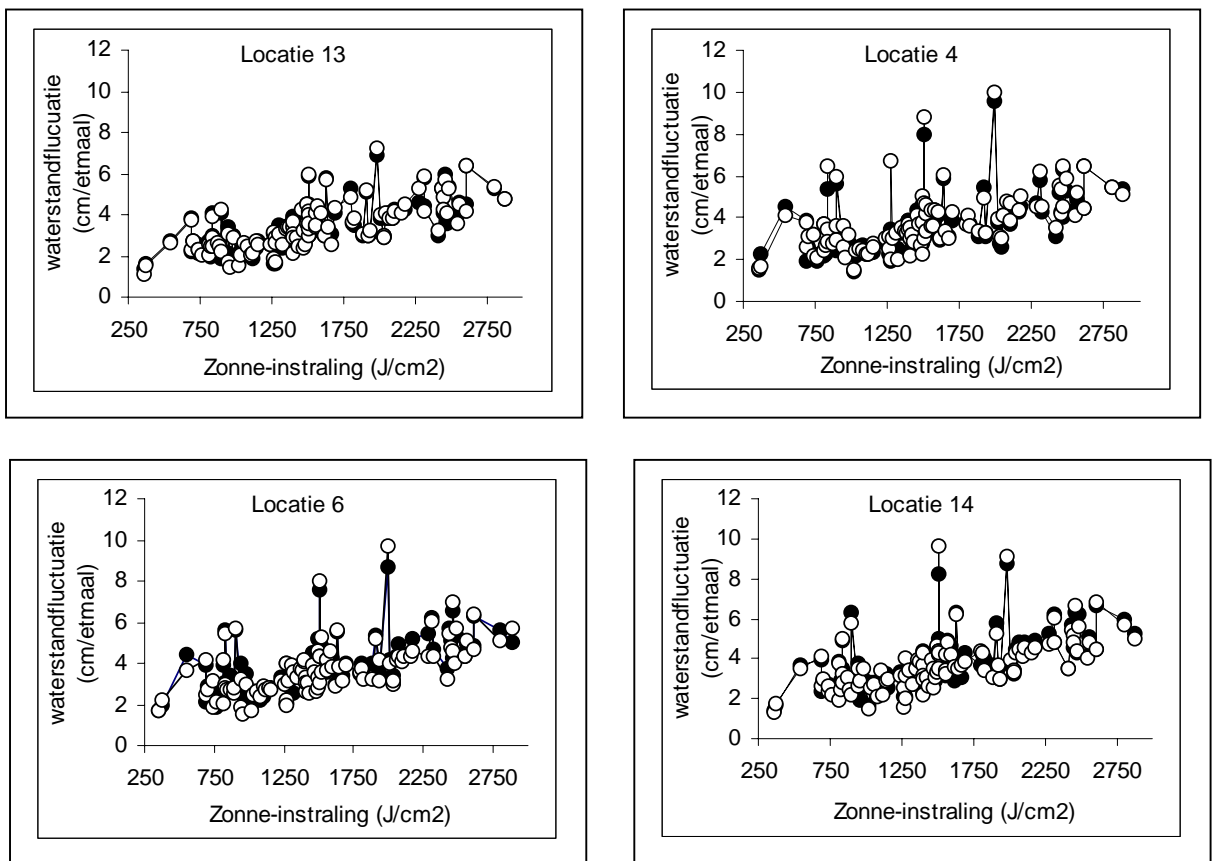


Figuur 4.11: Relatie tussen berkendichtheid en volumetrisch watergehalte gemeten per mossoort in gekapte (links) en niet-gekapte (rechts) proefvlakken in het Haaksbergerveen. Relatie wordt deels bepaald door berkendichtheid en deels door waterstand. ANCOVA met som stamomtrek, mode hoogte, berkendichtheid en waterstand als co-variabelen & kappen en soort als fixed factor laat zien dat alleen waterstand ( $F_{df1} = 38.3, p < 0.001$ ) en berkendichtheid ( $F_{df1} = 9.4, p < 0.01$ ) statistisch significant effect op Volumetrisch watergehalte te hebben. Bij deze metingen is de biomassa omringende vegetatie niet bepaald.

### 4.3 Relatie berk en waterstand in het Haaksbergerveen: kip of ei?

In de voorgaande paragrafen hebben we gezien in het Wageningse experiment dat een hoge berkendichtheid via beschutting van het onderliggende mos kan leiden tot minder systeem evapotranspiratie en daarmee hogere waterstanden. Het beschuttende effect van berk op veenmos werd bevestigd in het veldexperiment in het Haaksbergerveen, hoewel het moeilijk bleek de vinger te leggen op welke structureigenschappen van een berkenopstand het meest sturend zijn. Daarnaast speelde bij afwezigheid van berk, de beschutting van omringende vegetatie een grote rol.

Het effect van berkendichtheid op waterstand konden we niet terugvinden in het Haaksbergerveen (Figuur 4.12). Hoewel de fluctuaties in de waterstand tussen dag- en nacht aanzienlijk waren (2-6 cm, afhankelijk van de zonne-instraling) verschilden ze niet tussen de proefvlakken met of zonder berk. De fluctuaties geven aan de toestroom van het water naar de peilbuizen door het omringende veen lager was dan het verlies van water door verdamping, wat zou impliceren dat een berkeneffect, mits sterk genoeg, lokaal meetbaar zou moeten zijn.



*Figuur 4.12: Effect van aan- (zwarte bolletjes) en afwezigheid (witte bolletjes) van berken op de waterstandfluctuatie per etmaal in het veen voor locaties 13 (drijftil, geen berken), 4 (vast veen, open berkenbestand), 6 (vast veen, vrij dicht berkenbestand) en 14 (hoogste berkendichtheid, vast veen) in Haaksbergen. De waterstandfluctuatie is gemeten als het verschillen tussen de laagste en de hoogste waterstand per etmaal. De informatie van de zonne-instraling is van weerstation Hupsel. De fluctuaties op alle locaties kwamen vrijwel volledig met elkaar overeen en werden vooral bepaald door de zonne-instraling ( $F = 648, p < 0.05$ ), de hoeveelheid regen gemeten op station Hupsel ( $F = 118, p < 0.05$ ) en een beetje door de locatie ( $F = 6.9, p < 0.05$ ). Verwijderen van berk, ook getest binnen de proefvlakken, had geen effect. ANCOVA.*

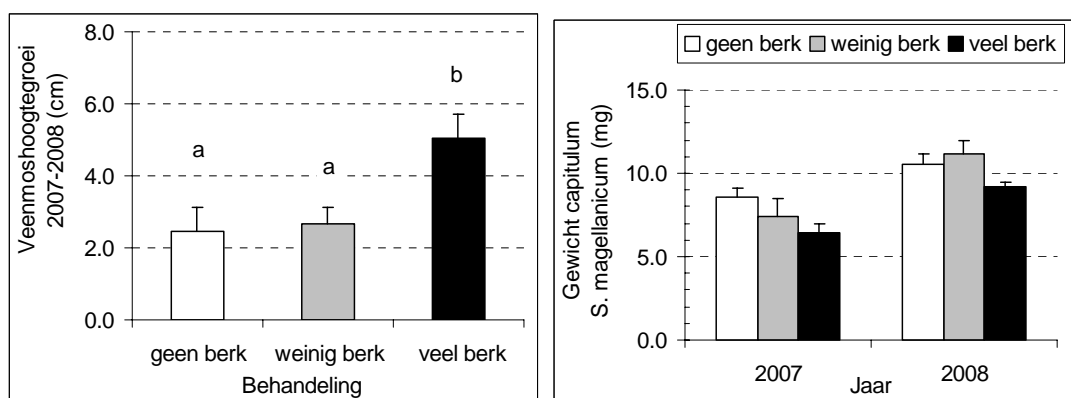
De (erg) hoge verschillen tussen dag en nacht geven echter ook aan dat niet al het water in het veen meedoet aan peilschommelingen en een belangrijk deel vastgehouden wordt in het veen. Waarschijnlijk is de hoeveelheid water die meedoet aan de peilschommelingen vele malen kleiner is dan de totale hoeveelheid water in het veen: een verschijnsel dat bekend is van bijvoorbeeld scheuren in kleibodems (pers. med. Prof. Dr. Sjoerd van der Zee).

Hoewel we geen verschillen vonden tussen de proefvlakparen, vonden we wel geringe, maar statistisch significante, verschillen tussen de locaties (ANCOVA,  $p < 0.05$ ). Of deze verschillen liggen aan verschillen in totale verdamping door de vegetatie ter plaatse, of bepaald worden door verschillen in veenstructuur valt niet uit de resultaten af te leiden.

Wat wel duidelijk blijkt uit studentenonderzoek (Theunissen 2008), is een relatie tussen waterstand en berkengroei. Hoe dieper de waterstand wegzakt in de zomer, hoe hoger de radiale groei, waarschijnlijk vanwege het grotere volume bodem dat geschikt is voor berkenwortels en stimulering van de veenafbraak onder zuurstofrijke omstandigheden.

#### 4.4 Belemmeren berken de groei van bultvormende veenmossen?

We hebben in het voorgaande gezien dat berkendichtheid een effect heeft op de mosstructuur: bij toenemende dichtheid, en de daarmee gepaard gaande beschaduwing, wordt het tapijt luchtiger van structuur, krijgt een hogere bergingscoëfficiënt, maar houdt juist minder goed water vast, waardoor het minder goed verdamping in stand kan houden gedurende perioden van droogte. De ijlere tapijtstructuur komt omdat bij toenemende beschaduwing en/of hogere luchtvochtigheid meer geïnvesteerd wordt in hoogtegroeï van het tapijt dan in de dichtheid van het veenmostapijt (Figuur 4.13). Vooral nog lijkt deze hoogtegroeï nog niet te leiden tot een afname van het capitulumgewicht. In tegendeel, het capitulumgewicht is waarschijnlijk als gevolg van het rijkere groeimilieu t.o.v. Estland toegenomen in 2008. De nutriëntgehalten in het mos laten dan ook een toename in zowel de stikstof (N) als fosfor (P) concentraties zien, maar juist een daling in de Kalium (K) concentraties t.o.v. 2007 (resultaten niet getoond). Fosfor concentraties namen relatief meer toe dan de stikstof concentraties, waardoor de N:P ratio van het mos van 15-20 zakte naar waarden onder de 10. Alle nutriënten, stikstof, fosfor en kalium, bereikten hun hoogste concentraties en de N:P ratio de laagste waarde in de hoogste berkenbehandeling. Of dit een gevolg is van verhoogde invang van droge N depositie door de berken of van toegenomen mineralisatie van het veen als gevolg van berkendoorworteling is (nog) niet duidelijk.



Figuur 4.13: Effect van berkendichtheid op hoogtegroeï veenmos (links) en het capitulum gewicht (rechts) in de bakken met veen in Wageningen. Kolommen zijn gemiddelden + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante effecten van berkendichtheid weer (ANOVA,  $p < 0.05$ ).

De resultaten laten zien dat de dominante mossoort in de bakken, *S. magellanicum*, goed kan groeien onder beschaduwde condities. Dit is op zich niet verrassend – *S. magellanicum* staat bijvoorbeeld ook in veel bosvenen in Estland, en zelfs wanneer loofbomen in de boomlaag dominant zijn zoals in Wit Rusland. Ook in Nederland zijn overigens (historische) beschrijvingen bekend van bultvormers onder berk (Barkman 1992).

Maar of een soort zich kan handhaven of niet, wordt meestal meebepaald door de concurrentie die hij van de hem omringende vegetatie ondervindt. Voor veenmos is het verschil in hoogtegroeit tussen twee soorten, meestal een goede voorspeller voor de uitkomst van de competitie: de soort die het hoogst wordt, breidt zich uit ten koste van de ander (Robroek et al. 2007). In het Haaksbergerveen werd het effect van berkendichtheid op mosgroei volledig overschaduwd door het sterkere effect van waterstand op de mosgroei (Tabel 4.3). Gezien het sterke positieve verband tussen diepte van de waterstand en berkendichtheid (Theunissen 2008), viel dit te verwachten.

Wanneer we naar het verschil in de hoogtegroeit van getransplanteerd *S. magellanicum* (Figuur 4.13, vierkantjes) en *S. palustre* (Figuur 4.13, kruisjes) in een *S. fallax* en/of *S. fimbriatum* tapijt kijken, zien we dat *S. magellanicum* het moet afleggen (negatieve hoogtegroeit) tegen de sneller groeiende *S. fallax* bij hoge waterstand en *S. fimbriatum* bij lagere waterstand. *S. palustre* weet zich echter in de meeste gevallen uit te breiden (positieve hoogtegroeit).

Het antwoord op de vraag of berken de groei van bultvormende veenmossen remmen kan met ja, zei het indirect, worden beantwoord. Het directe probleem is de aanwezigheid van de sneller groeiende soorten *S. fallax* en *S. fimbriatum*. De redenen dat deze mesotrafente soorten het zo goed doen (zowel buiten als onder berk) is waarschijnlijk een gevolg van de vrij hoge nutriëntconcentraties in de huidige Nederlandse venen. Bij voldoende nutriënten en voldoende water, winnen *S. fallax* en *S. fimbriatum* het ruimschoots van *S. magellanicum*. Op zijn beurt is de waterbeschikbaarheid echter een functie van de waterstand en, bij lage waterstanden, de mate van bescherming tegen uitdrogen. Mos kan voor uitdrogen worden beschermd door omringende vegetatie ... of door berken.

Tabel 4.3. Uitkomst toets die test welke factoren de groei van het getransplanteerde *S. magellanicum* en *S. palustre* beïnvloeden. ANCOVA model: afhankelijke factor = hoogtegroeit transplantaten. Factoren = soort mos (*S. magellanicum* of *S. palustre*), proefvlak gekapt of niet. Co-variabelen zijn groei omringende *S. fallax* of *S. fimbriatum* (matrix), de berkendichtheid in of rondom de proefvlakken en waterstand t.o.v. het mosoppervlak in februari 2008.

Bron variantie	df	F	Sig.
Statistisch model	1	3.7	<0.01
<b>Groei matrix</b>	1	29.5	<0.01
<b>Winterwaterstand</b>	1	7.3	0.01
Berkendichtheid	1	2.7	0.11
Kappen berken	1	<0.1	0.97
<b>Mossoort</b>	1	8.6	<0.01
Berk*species	1	<0.1	0.84

#### ***S. palustre* als alternatieve bultvormer onder mesotrofe condities?**

Het succes van *S. palustre* in de transplantatieproeven is interessant omdat de soort twee eigenschappen van *S. magellanicum* en *S. fallax* combineert. Het is een snellere groeier dan *S. magellanicum* en kan door zijn dichtere tapijtstructuur, beter water vasthouden dan *S. fallax*, wat hem concurrentiekrachtiger maakt in onbeschutte en drogere omstandigheden. Onder natuurlijke omstandigheden zien we *S. palustre* het meest in veenmosrietland, in open Elzenbroekbos en soms in vennen, bijvoorbeeld de Gerritsfles op de Veluwe.

In veenvernattingsprojecten met een relatief hoge fosfor beschikbaarheid kan *S. palustre* wellicht een goede overgangsoort zijn tussen *S. fallax* en *S. magellanicum*. Zo zou je misschien sneller een acrotelm met betere eigenschappen dan die van *S. fallax* kunnen opbouwen.



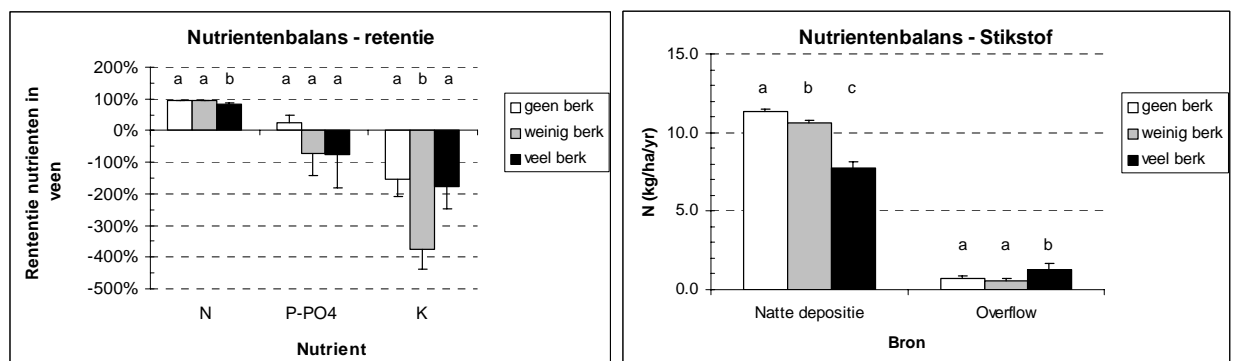
Getransplanteerde *S. magellanicum* (boven) en *S. palustre* (onder) net na transplantatie in februari 2008 (links) en in juli 2008 (rechts) op locatie 8 met berken. De getransplanteerde *S. magellanicum* nam in de meeste gevallen in oppervlakte af, terwijl *S. palustre* zich veel beter wist te handhaven tussen de sneller groeiende *S. fallax* en *S. fimbriatum*. De kaartjes op de rechter foto's zijn ongeveer even lang als de diameter van het lensdopje op de fotos links.

## 4.5 Heeft berkendichtheid een effect op de voedingsstoffenbalans?

### Retentie van nutriënten

In de veenbakken in Wageningen, zijn gedurende 1 jaar wekelijks de hoeveelheid voedingsstoffen in neerslag (natte depositie) en in het uit de bakken stromend water gemeten. Met behulp van deze gegevens is het mogelijk een balans op te stellen van de voedingsstoffen die het veen binnenkomen via de neerslag en het veen verlaten via uitstromend water. Wanneer we kijken naar deze voedingsstoffenbalans (Figuur 4.14 A), zien we dat stikstof netto (efficiëntie van 98-99%) werd vastgehouden: kennelijk was het veen nog niet verzadigd door stikstof. Dit laatste is niet zo vreemd gezien de Estse herkomst van het veen: de depositie is daar vele malen lager dan in Nederland (maximaal  $5 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ ). Retentie van stikstof (Figuur 4.14 B) was het minst efficiënt in de bakken met de hoogste berkendichtheid. Fosfor retentie verschilde per bak (Figuur 4.14 A), maar leek ongeveer in balans (input = output), al leek het erop dat de bakken met berk (zowel lage als hoge dichtheid) beiden meer fosfor verloren dan ze binnen kregen. Wat kalium betreft, verloren alle bakken meer kalium via het uitstroomwater dan ze binnen kregen via neerslag. Het netto verlies van kalium was het hoogst voor de bakken met lage berkendichtheid (Figuur 4.14 A).





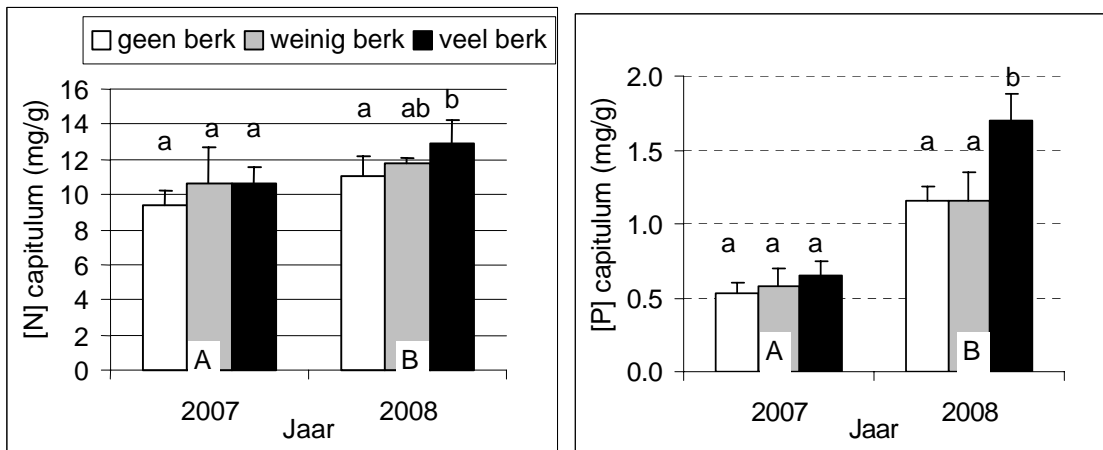
Figuur 4.14: A) Effect van berkendichtheid op retentie van nutriënten (N, P, K) uit neerslag in het veen van de veenbakken en B) hoeveelheid N die via natte depositie de veenbakken inkomt en de hoeveelheid N die via het uitstromend water de veenbakken verlaat. Kolommen zijn gemiddelden + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante effecten van berkendichtheid weer (ANOVA,  $p < 0.05$ ). Natte depositie en overflow zijn gedurende 1 jaar wekelijks gemeten. N = stikstof, P-PO4 is P in vorm orthofosfaat en K = Kalium

De hoeveelheid stikstof die via natte depositie op de bakken terecht kwam (gemeten onder de berkenkroon), was het laagste bij de hoogste dichtheid aan berken (Figuur 4.14 B). Dit was enigszins onverwachts, omdat bomen bekend staan om hun grote vermogen om stikstof (gebonden aan kleine stofdeeltjes) uit de lucht in te vangen waardoor de totale hoeveelheid stikstof onder bossen vaak veel hoger is dan erbuiten. Mogelijk is ons tegenstrijdig resultaat een artefact van de gevolgde meetmethode: we hebben gewone regenvangers gebruikt, en geen bulkvangers, wat leidt tot een onderschatting van de droge depositie. Gezien de lage totale hoeveelheid gemeten stikstof (12 kg/ha/jaar), is deze verklaring erg waarschijnlijk. Alternatieve verklaringen zijn 1) dat de hard groeiende berken rondom de veenbakken de stikstof weliswaar opvingen maar via hun blad opnamen, waardoor we onder de kroon minder stikstof maten dan verwacht. 2) onder de kroon minder neerslag viel waardoor bij omrekening naar hoeveelheden het totaal lager uitkwam. Gezien de interceptie van neerslag door de berken maar 6% was, kan ook dit niet de hoofdverklaring zijn.

De concentraties fosfor en kalium in de neerslag volgden een ander patroon als stikstof: we maten het minste fosfor en kalium in de bakken met de laagste berkendichtheid en het meest in de bakken zonder berken. De fosfor en kalium concentraties in het uitstroomwater volgden eenzelfde patroon als stikstof: de hoogste hoeveelheden werden gemeten in water uit de bakken met de hoogste berkendichtheid.

### Nutriënten in veenmos

Berkendichtheid verhoogde de nutriëntenconcentraties van veenmos. *S. magellanicum* uit de veenbakken bereikte de hoogste concentraties stikstof, fosfor en kalium in de hoogste berkenbehandeling (Figuur 4.15). Daarnaast waren de concentraties stikstof en fosfor alle dichtheden in 2008 hoger dan in 2007, voornamelijk voor fosfor (Tabel 4.4). Hiervoor kunnen verschillende oorzaken zijn. De nutriëntenconcentratie van veenmos wordt meestal voor het grootste gedeelte bepaald door de samenstelling van het neerslagwater, de mate van verdunning door mosgroei en voor een klein deel door de concentratie van het veenwater zelf. Waarschijnlijk ligt in dit geval de beste verklaring in een combinatie van neerslagsamenstelling en de kwaliteit van het veenwater. Gezien de kleine verschillen in neerslagkwaliteit tussen de berkenbehandelingen, wordt het jaareffect waarschijnlijk veroorzaakt door afbraak van de turf onder het acrotelmveen. Het berkeneffect kan worden verklaard door een efficiëntere invang van droge depositie door een dichtere berkenkroon, door stimulering van veenafbraak door berkenwortels en door afbraak van berkenbladstrooisel. De interactie tussen jaar en fosfor concentratie wijst op het belang van de twee laatste verklaringen (Tabel 4.4).



Figuur 4.15: Effect van berkendichtheid en jaar op de concentratie N (links) en P (rechts) in capitula van *S. magellanicum* verzameld in de veenbakken in augustus. Kolommen zijn gemiddelden + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante effecten van berkendichtheid (kleine letters) en jaar (hoofdletters) weer (ANOVA,  $p < 0.05$ ). Zie Tabel 4 voor meer statistische informatie.

Tabel 4.4: Uitkomst toets die test welke factoren de nutriëntenconcentraties van *S. magellanicum* beïnvloeden. ANOVA model: afhankelijke factor = nutriëntenconcentratie. Factoren = Jaar en Berkenbehandeling

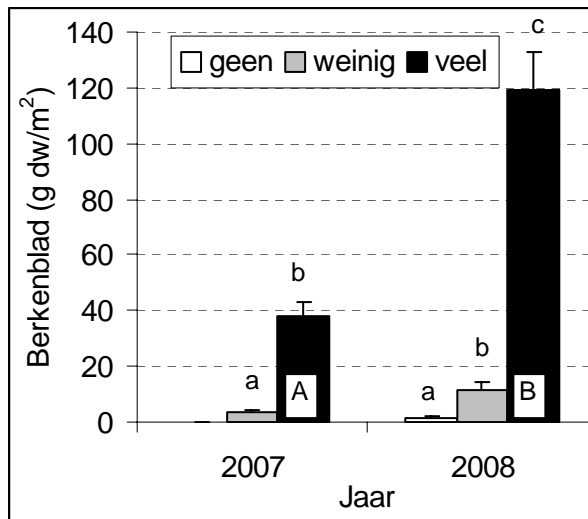
Bron variantie	df	N		P		K	
		F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
Statistisch model	5	5.1	<0.01	58.3	<0.01	2.8	0.04
Jaar	1	15.3	<0.01	236.1	<0.01	0.1	0.82
Berkendichtheid	2	4.4	0.02	18.5	<0.01	6.2	0.01
Jaar*Berkendichtheid	2	0.6	0.54	9.1	<0.01	0.7	0.49

Het enorm grote effect op de fosfor concentratie is uitermate relevant. Uit eerder internationaal en OBN onderzoek (onderzoek nav bekalking en introductie restsubstraat) is bekend dat bij vernatting van verdroogd veen een sterke mobilisatie van fosfor (en ammonium) kan plaatsvinden. Wat echter niet bekend was, is dat berkendichtheid dit effect stimuleert. Dit is een belangrijk gegeven omdat een verhoogde concentratie fosfor op zijn beurt groei van Berk (Tomassen et al. 2004, Theunissen 2008), Pitrus, Pijpenstrootje en mesotrafente veenmossoorten als *S. fallax* (Limpens et al. 2003) kan stimuleren, waardoor een zichzelf versterkend proces in gang kan worden gezet.

#### Invloed van berkenblad

De inval van berkenblad kan zorgen voor beschaduwing van veenmos en door afbraak een extra bron van nutriënten voor het mos betekenen. De hoeveelheid blad die per jaar op het mos terecht komt is behoorlijk hoog: c. 40 g/m<sup>2</sup> in 2007 en 120 g/m<sup>2</sup> in 2008 (omgerekend 400 en 1200 kg/ha/jaar respectievelijk) voor de hoogste berkenbehandeling in het experiment in Wageningen (Figuur 4.16). De verdriedubbeling van de bladval van 2007 naar 2008 is een afspiegeling van de groei van de berken rondom de veenbakken.

Het is opvallend dat in de bakken zonder berk nauwelijks blad terug te vinden was: kennelijk valt het meeste blad niet ver van de boom af. De bladval in het experiment in Wageningen was vele malen hoger dan die in Haaksbergen voor dezelfde stamoppervlakte: de structuur (vooral kroonbedekking) van het berkenbestand in het Wageningse experiment was kennelijk veel dichter (en homogener) dan in de proefvlakken van het Haaksbergerveen (Figuur 4.17 A). Dit laatste is niet zo vreemd, aangezien de berken *rond* de Wageningse bakken in het zand stonden. Hiermee dient bij het vervolgonderzoek rekening te worden gehouden door de bestanden in Wageningen te snoeien.



*Figuur 4.16: Effect van berkendichtheid op de hoeveelheid blad die op het veenmos terecht komt. Kolommen zijn gemiddelden + 1 SE. Verschillende letters boven de kolommen geven statistisch significante effecten van berkendichtheid (kleine letters) en jaar (hoofdletters) weer (ANOVA,  $p < 0.05$ ).*

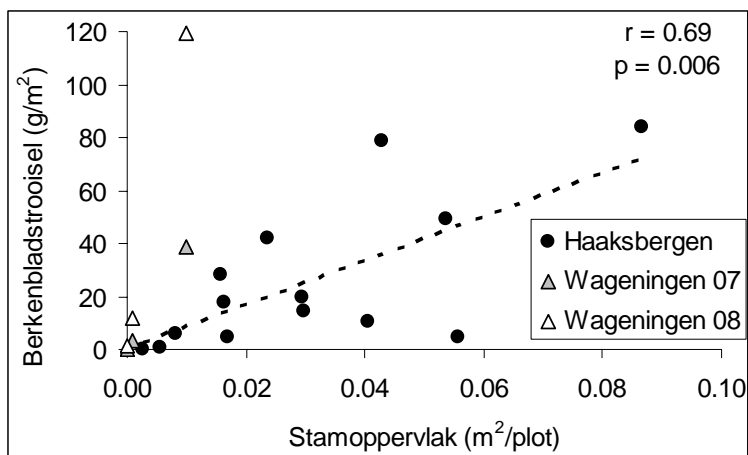
De hoogst gemeten bladval in het Haaksbergerveen was  $80 \text{ g/m}^2$  ( $800 \text{ kg/ha}$ ) en werd gemeten in proefvlak 4.14.

Bladval in het Haaksbergerveen werd het best verklaard door de som van het stamoppervlak, al was de spreiding hoog (Figuur 4.17 A, Tabel 4.5). Het belang van blad als bron van stikstof, fosfor en kalium verschilde per nutriënt. De input van stikstof via berkenblad was maximaal  $1.5 \text{ kg/ha/jaar}$ , wat verwaarloosbaar is t.o.v. de jaarlijkse stikstofdepositie (data niet getoond). Voor fosfaat echter varieerde de input tussen 1 en  $1.5 \text{ kg fosfor /ha/jaar}$  (Figuur 4.17 B), wat even groot tot dubbel zo groot is als normaal via depositie op het mos terecht komt. Voor kalium was de input via blad weer verwaarloosbaar t.o.v. van de input via depositie (data niet getoond).

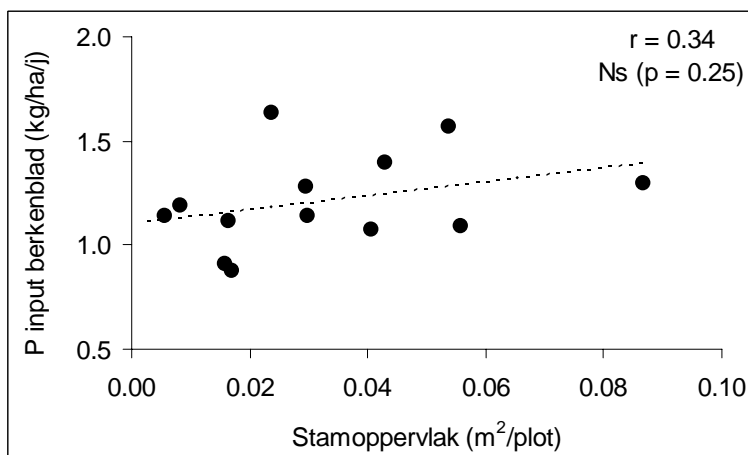
Hoeveel stikstof via blad op het mos terecht kwam, werd voornamelijk bepaald door de hoeveelheid blad (concentratie vertoonde weinig variatie tussen de proefvlakken), terwijl de hoeveelheid fosfor en kalium vooral bepaald leken door de concentratie in het blad (Tabel 4.5). Op hun beurt waren de concentraties fosfor en kalium positief gecorreleerd met het totale stamoppervlak: proefvlakken met veel berken hadden hogere concentraties. Deze resultaten suggereren de volgende verklaring. Door de hoge stikstofdepositie, is stikstof in overvloed aanwezig. Als gevolg varieert de stikstofconcentratie in het bladmateriaal nauwelijks, en is de totale input van stikstof via blad vooral een functie van de hoeveelheid blad. De fosfor concentratie lijkt het hoogst in proefvlakken met veel (en goed groeiende berken), maar is slechts zwak gecorreleerd met het totale stamoppervlak (Figuur 4.17, Tabel 4.5). Dit suggereert de invloed van een derde factor die zowel fosfor beschikbaarheid als berkengroei stimuleert. Een goede kandidaat is waterstand. Op de plekken waar de waterstand 's zomers het diepste wegzakt staat veel berk. Daarnaast leiden wisselende waterstanden in venen meestal tot mobilisatie van fosfor, waarvan de berken waarschijnlijk dankbaar gebruik maken.

Afstudeeronderzoek van Marieke Theunissen (2008) in dezelfde proefvlakken liet eerder zien dat de beschikbare hoeveelheid fosfor (gemeten volgens Olsen methode) op 20 cm diepte in de bodem samenhangt met het verschil tussen zomer- en winterwaterstand. Daarnaast bepaalde de waterstand, samen met fosfor beschikbaarheid, de diktegroei van de berkenstammen, hoewel de sterke afhankelijkheid tussen waterstand en fosfor statistische analyse moeilijk maakte.

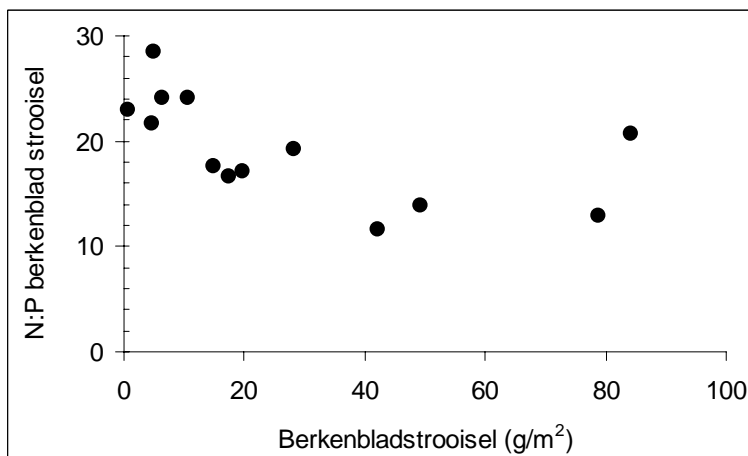
Wanneer we de N:P ratio van het berkenblad uitzetten tegen de totale hoeveelheid blad (als maat voor berkenproductie) zien we eerst een daling en daarna, bij hoge berkenproductiviteit een afvlakking (Figuur 4.17, onderste grafiek). Mogelijk wordt berkengroei bij hoge productiviteit ook weer door stikstof (co)gelimiteerd. Hoewel erg speculatief, zou dit kunnen betekenen dat hoewel fosfor beschikbaarheid het belangrijkste lijkt voor jonge bestanden, bij toenemende berkenproductie stikstof weer een belangrijke rol gaat spelen.



Figuur 4.17: A) Relatie tussen hoeveelheid berkenstrooisel voor niet-gekapte proefvlakken en de stamoppervlakte van berk in het Haaksbergerveen (circels) en voor het experiment in Wageningen (driehoeken)  
 $r$  = Pearson correlatie coëfficiënt (zie Tabel 5)



B) Relatie tussen hoeveelheid P die via bladmateriaal op mos terecht komt en de stamoppervlakte van berk  
 $r$  = Pearson correlatie coëfficiënt (zie Tabel 5)



C) Relatie tussen N:P ratio van het berkenblad strooisel en de hoeveelheid berkenblad.

In Haaksbergen werd het berkenblad verzameld van augustus-december mbv twee bladvangers per proefvlak. In Wageningen werd al het blad uit de veenbakken verwijderd.

Tabel 4.5. Pearson correlaties tussen hoeveelheid bladval, nutriënten concentraties in het blad mosverdamping en enkele bestandkenmerken van de proefvlakken voor niet-gekapte proefvlakken in het Haaksbergerveen. De som van alle stamoppervlakten (in m<sup>2</sup> per 100m<sup>2</sup>), Berkendichtheid in aantal berken per m<sup>2</sup>, en de meest gemeten hoogte (mode) per proefvlak. Ns = verband statistisch niet significant, (\*) = p < 0.10, \* = p < 0.05. Negatieve correlatiecoëfficiënten geven een negatief verband aan.

	Som stamoppervlak	Berkendichtheid	Hoogte (mode)	Blad (g/m <sup>2</sup> )
Blad (g/m <sup>2</sup> )	<b>0.69 *</b>	0.04 ns	0.21 ns	-
N (mg/g)	0.32 ns	0.50 (*)	<b>0.68 *</b>	-0.24 ns
P (mg/g)	0.16 ns	-0.44 ns	-0.05 ns	<b>0.61 *</b>
K (mg/g)	-0.15 ns	<b>-0.60 *</b>	-0.13 ns	0.35 ns
N:P	0.01 ns	<b>0.58 *</b>	0.28 ns	<b>-0.57 *</b>
P:K	<b>0.59 *</b>	<b>0.73 *</b>	0.25 ns	0.14 ns



*Figuur 4.18: Berkenstobbe. In sommige proefvlakken waarvan de berken al een keer eerder (zo'n 10 jaar geleden) waren weggehaald, zag je talrijke nieuwe loten uit of naast de oude stam komen*

## 4.6 Berkenverwijdering – dweilen met de kraan open?

Hoe kun je berken het beste verwijderen? Het meest effectief is de boompjes met wortel en al uit het veen te trekken. Dit is echter zo arbeidsintensief dat het praktisch niet haalbaar is. Beschadiging van het wortelstelsel wanneer de berken net beginnen uit te lopen in het voorjaar (april-mei) werkt ook prima. Dit laatste bleek wel uit onze poging berken te transplanteren in onze veenbakken in Wageningen. Transplantatie van Berk in mei 2007 mislukte; 10% van de ingezette berken overleefden de transplantatie, terwijl 100% het overleefde toen we hetzelfde deden in januari 2008. De nadelen van deze methode is de arbeidsintensiviteit (hoog), de toegankelijkheid van het veen (erg nat, dus moeilijk) en het begin van het broedseizoen. Vervolgens blijft het afzagen van de berken over. Het grote probleem bij deze laatste methode is het opnieuw uitlopen van berk.

### Uitlopen van berk

In najaar of winter afgezaagde stobben krijgen in het voorjaar talrijke nieuwe loten die in het eerste jaar 2-4 keer zo snel groeien in dikte als zaailingen (Theunissen 2008); radiale groei per loot in de daaropvolgende jaren is even groot tot iets lager dan zaailingen. Omdat je voor elke berkenstobbe meerdere nieuwe loten terugkrijgt (Figuur 4.18), verandert de structuur van het berkenbestand...je krijgt berkenhakhout. Hoewel we het niet hebben opgemeten lijkt het aantal nieuwe loten samen te hangen met de dikte van de berkenstammetjes: hoe dikker de stam, hoe meer loten. Daarmee samenhangend vindt de meeste uitloop ook plaats op plekken met een diep wegzakkende zomerwaterstand. Onderzoek naar het gebruik van berk als hakhout laat bovendien zien dat de hoogte waarop een stammetje wordt afgezaagd ook de hoeveelheid loten beïnvloedt: hoe lager de berk wordt afgezaagd, hoe minder loten uit zullen lopen (Boer

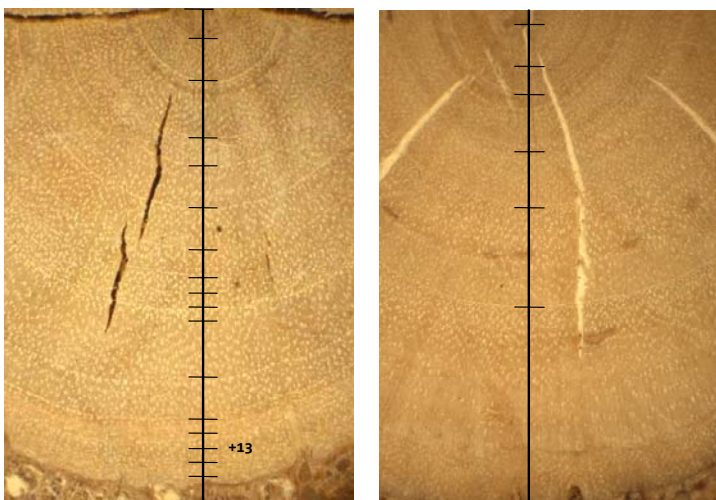
1857). Daar staat overigens tegenover dat het kleinere aantal loten waarschijnlijk wel harder groeit.

### Kieming van berk

Extra aanwas van nieuwe berken als gevolg van berken verwijdering lijkt vooralsnog mee te vallen: gekapte proefvlakken met dicht berkenbestand, vrij lage zomerwaterstand en vrij hoge kruidenbedekking zijn geen goede plekken voor de vestiging van nieuwe berken. Kappen van open bestanden levert niet extra meer kiemplanten op dan in vergelijkbare plekken waar je de berken laat staan. Overleving van kiemplanten lijkt in het veld vooral plaats te vinden op niet te erg beschaduwde, met veenmos begroeide, middelhoge bulten (vaak oude met veenmos begroeide pollen Eenarig wollegras). In het veld vind je dan ook nauwelijks kiemplanten in dichtere opstanden, terwijl je er juist wel veel tegenkomt in proefvlakken met een lage berkendichtheid, waar veel licht op de bodem komt. Deze voorkeur komt overeen met studentenonderzoek van Heleen Broier en Annisa Satyanti. Zij vonden in kasexperimenten dat voor kieming lichtbeschikbaarheid en waterbeschikbaarheid cruciaal waren, terwijl voor overleving van de jonge kiemplant een combinatie van waterbeschikbaarheid, voldoende voedingsstoffen en lage hoogtegroe van veenmos bepalend waren (Satyanti 2006, Broier 2007). Zweeds onderzoek aan Grove den laat ook zien dat bomen graag kiemen op een veenmosbedje (lekker vochtig), maar de hoogste overlevingskansen hebben op veenmosbulten waar het veenmos minder hard omhoog groeit dan de boom (Gunnarsson & Rydin 1998) en in warme zomers (Barendse 2007).

### Waterstand en groei berk

Uit groeirings-analyse van de gekapte berken (Theunissen 2008), blijkt radiale groei van de berken sterk gekoppeld aan waterstand (hoe lager hoe beter), temperatuur (hoe warmer hoe beter) en regenval in het groeiseizoen (hoe meer regen hoe beter). Het effect van waterstand en regen in het groeiseizoen lijken tegenstrijdig totdat je je realiseert dat berkengroei in veen sterk gelimiteerd wordt door beschikbaarheid van nutriënten. Veen is en blijft een moeilijke groeiomgeving voor berk. Dit is mooi te zien in de twee foto's hieronder (Figuur 4.19), waarin groeiringen te zien zijn van 2 berken uit het Haaksbergerveen. De linker wortelend in veen, de ander wortelend in zand. De veenberken kunnen slechts oppervlakkig wortelen vanwege het tekort aan zuurstof in het diepere veen, een fenomeen dat ook bekend is van andere boomsoorten op veen (Liefers & Rothwell 1987). Als gevolg moeten ze al hun voedingsstoffen uit de bovenste veenlaag halen. Dat maakt berken meteen gevoelig voor uitdroging van deze laag. Bij (te) droge zomers droogt de bovenlaag van het veen waarschijnlijk teveel uit, waardoor microbiële afbraak afneemt en minder nutriënten ter beschikking staan voor de berk. Regelmatige regenval echter voorkomt uitdroging, zonder te leiden tot zuurstoftekort.



*Figuur 4.19. Groeiringen berk in veenberk (links) en zandberk (rechts) uit Haaksbergerveen. De veenberk was 30 jaar oud met stamdiameter van 1.19 cm, de zandberk was 6 jaar oud met een stamdiameter van 3.49 cm. Horizontale strepen geven jaarringen aan. Radiale groei van een paar Deense (Portland Mose) en Ierse (Cain Park) veenberken was gemiddeld 2x laag dan van veenberken uit het Haaksbergerveen. Stammetjes waren verzameld door Gert-Jan van Duijnen. Foto en gegevens: Marieke Thenissen*

## 5 Literatuur

Åberg E. 1992. Tree colonisation of three mires in Southern Sweden. In: Bragg OM, Hulme PD, Ingram HAP, Robertson RA. (eds) 1992. *Peatland Ecosystems and Man: An Impact Assessment*. Department of Biological Sciences, University of Dundee, UK.

Aspelmeijer S, Leuschner C. 2006. Genotypic variation in drought response of silver birch (*Betula pendula* Roth): leaf and root morphology and carbon partitioning. *TREES* 20: 42–52.

Barendse S. 2007. Birches in Bogs, when did they come there? Birch germination and establishment in relation to climatological conditions. MSc thesis Wageningen University, Nature Conservation and Plant Ecology Group.

Barkman JJ. 1992. Plant communities and synecology of bogs and heath pools in The Netherlands. In: Verhoeven JTA (ed) 1992. *Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation*. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht etc. (1992) 173-235.

Bragg OM. 2002. Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland. *The Science of the Total Environment* 294: 111-129

Boer RW. 1857. *Bijdragen tot de kennis der houtteelt*. Tjeenk Willink, Zwolle.

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

Broier H. 2007 Factors influencing germination, survival and growth of Birch (*Betula pubescens*) on living *Sphagnum*. MSc Thesis Wageningen University, Nature Conservation and Plant Ecology Group.

Cross JA. 1987. Unusual stands of birch on bogs. *Irish Naturalist Journal* 22: 305-310.

Dekker M, Verkerk PJ, den Ouden J. 2008. Target species identity is more important than neighbour species identity. *Forest Ecology and Management* 255:203-213

Diamond J, Browning M, Williams A, Middleton J. 2003. Lack of evidence for impact of the European White Birch on the Hydrology of Wainfleet bog, Ontario. *Canadian Field-Naturalist* 117 (3), pp. 393-398

Fay E, Lavoie C (unpublished). The impact of birch on Evapotranspiration of a mined peatland: an experimental study in southern Quebec, Canada

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.

Gunnarsson U, Rydin H. 1998. Demography and recruitment of Scots pine on raised bogs in eastern Sweden and relationships to microhabitat differentiation. *Wetlands* 18: 133-141

- Humphreys ER, Lafleur PM, Flanagan LB, Hedstrom N, Syed KH, Glenn AJ, Ganger R. 2006. Summer carbon dioxide and water vapor fluxes across a range of northern peatlands. *Journal of Geophysical research* 111: 16 p.
- Lafleur PM 1990. Evapotranspiration from sedge-dominated wetland surface. *Aquatic Botany* 37: 341-353.
- Lafleur PM, Hember RA, Admiral SW, Roulet NT. 2005. Annual and seasonal variability in Evapotranspiration and water table at a shrub covered bog in southern Ontario, Canada. *Hydrological processes* 19(8): 3533-3550
- Lieffers VJ, Rothwell RL. 1987. Rooting of peatland black spruce and tamarack in relation to depth of water table. *Canadian Journal of Botany* 65: 817-821.
- Limpens J, Tomassen HBM, Berendse F. 2003. Expansion of *S. fallax* in bogs: striking the balance between N and P availability. *Journal of Bryology* 25: 83-90.
- Marakami S, Tsuboyama Y, Shimizu T, Fuijeda M, Noguchi S. 2000. Variation of Evapotranspiration with stand age and climate in a small Japanese forested catchment. *Journal of Hydrology* 227: 114-127.
- Penttilä T. 1991. Growth response of peatland stands to drainage in northern Finland. p 70-77. In: Jeglum JK, Overend RP. (eds) Peat and peatlands – Diversification and Innovation. Canadian Society for Peat and Peatlands 1. Quebec City, Quebec, Canada.
- 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.
- Schouwenaars JM. 1988. The impact of water management upon groundwater fluctuations in a disturbed bog relict. *Agricultural Water management* 14: 439-449
- Satyanti A. 2006. Birch (*Betula pubescens*) germination and seedling growth on raised bogs: role of substrate types and nutrient availability. MSc Thesis Wageningen University, Nature Conservation and Plant Ecology Group.
- 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
- Theunissen M. 2008 What makes birches grow? Relating environmental factors to the growth of birch in raised bogs. MSc Thesis Wageningen University, Nature Conservation and Plant Ecology Group.
- Tomassen HBM, Smolders AJP, Lamers LPM, Roelofs JGM. 2003. Stimulated growth of *Betula pubescens* and *Molinia caerulea* on ombrotrophic bogs: Role of high levels of atmospheric nitrogen deposition. *Journal of Ecology* 91(3): 357-370.