

# Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland

## *Samenvatting onderzoek en handleiding hoogveenherstel 1998-2010*

Gert-Jan van Duinen  
Hilde Tomassen  
Juul Limpens  
Fons Smolders  
Sake van der Schaaf  
Wilco Verberk  
Dick Groenendijk  
Michiel Wallis de Vries  
Jan Roelofs



Radboud Universiteit Nijmegen



WAGENINGEN UNIVERSITEIT  
OMGEVINGSWETENSCHAPPEN



Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

© 2011 Directie Kennis en Innovatie, Ministerie van Economische Zaken,  
Landbouw en Innovatie

Rapport nr. 2011/OBN150-NZ  
Den Haag, 2011

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

Teksten mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

Deze uitgave kan schriftelijk of per e-mail worden besteld bij het Bosschap  
onder vermelding van code 2011/OBN150-NZ en het aantal exemplaren.

Oplage 150 exemplaren

Samenstelling Gert-Jan van Duinen, Hilde Tomassen, Juul Limpens, Fons  
Smolders, Sake van der Schaaf, Wilco Verberk, Dick  
Groenendijk, Michiel Wallis de Vries, Jan Roelofs

Druk Ministerie van EL&I, directie IFZ/Bedrijfsuitgeverij

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

# Voorwoord

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

Bijna alle Nederlandse hoogvenen behoren tot het Natura 2000 netwerk. De Nederlandse en Noord Duitse hoogvenen zijn anders dan andere hoogvenen binnen Europa. Het zijn namelijk 'Atlantische lenshoogvenen' met een typische landschapsmorfologie. Uit het onderzoek blijkt dat vooral het herstel van gradiëntmilieus in hoogveenecosystemen is van belang voor veel diersoorten.

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

Voor een samenvatting van het hoogveenonderzoek in OBN verband nodig ik u uit om het u voorliggende rapport open te slaan. Hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5 bieden u concrete handvatten voor het herstel van hoogveensystemen en veenvorming en perspectieven van maatregelen in hoogveenrestanten. Mocht u nog meer willen lezen, dan verwijst ik u naar het OBN rapport "Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen (OBN151-NZ)".

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

Ik wens u veel leesplezier.

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



# Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>Leeswijzer</b>	<b>10</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>11</b>
<b>2 Ontwikkeling en eigenschappen van intacte hoogveenlandschappen</b>	<b>13</b>
2.1 Ontwikkeling van hoogveenlandschappen	13
2.2 Schaalniveaus en ruimtelijke variatie in intacte hoogveenlandschappen	15
2.3 Beschikbaarheid van voedingsstoffen en mineralen	19
2.4 Waterhuishouding in intacte hoogvenen	21
<b>3 Effecten van aantastingen in hoogveenlandschappen</b>	<b>27</b>
3.1 Historisch gebruik: uitgangssituaties voor hoogveenherstel en secundaire habitats	27
3.2 Vermesting grote boosdoener in hoogveen	30
3.3 Verdroging van hoogveen: niet alleen watertekort	37
<b>4 Herstel van hoogveensystemen en veenvorming</b>	<b>41</b>
4.1 Herstel op micro-, meso- en macroschaal	41
4.2 Ontwikkeling van herstelstrategie	45
4.3 Herstel van acrotelmcondities	47
4.4 Kolonisatie en relictpopulaties van fauna	48
4.5 Terreinheterogeniteit en ruimtelijke samenhang van belang voor faunaherstel	50
4.6 Belang van de stijghoogte van grondwater in de minerale ondergrond	54
4.7 Tegengaan van de effecten van hoge atmosferische stikstofdepositie	55
<b>5 Perspectieven van maatregelen in hoogveenrestanten</b>	<b>57</b>
5.1 Herstelstrategie afhankelijk van uitgangssituatie	57
5.2 Bergingseigenschappen van het veen en vaststelling van het overloopeil	59

5.3	Vernatting van witveen tot aan het maaiveld	60
5.4	Plas-dras vernatting van zwartveen	61
5.5	Groei van submers (ondergedoken) veenmos na inundatie	64
5.6	Drijftilvorming na inundatie	66
5.7	Introductie van veensubstraat na inundatie	68
5.8	Introductie van "sleutelsoorten"	73
5.9	Tegengaan van Berken en vergrassing	75
5.10	Stappenplan	78
<b>6</b>	<b>Literatuur</b>	<b>81</b>

# Samenvatting

Het hoogveenareaal in Nederland is door ontginning, turfwinning, boekweitbrandcultuur en verdroging sterk gereduceerd. De water- en nutriëntenhuishouding van de hoogvenen zijn sterk verstoord door deze aantastingen en bovendien door de neerslag van atmosferisch stikstof (N). Verder is door deze aantastingen de variatie in terreincondities die aanwezig is in intacte hoogveenlandschappen, met name gradiënten van de zure, mineraalarme hoogveenkern naar de gebufferde, mineraalrijkere omgeving, afgenomen. Herstelmaatregelen in de hoogveenrestanten hadden wisselend succes: soms herstelden of ontwikkelden zich vegetaties met bultvormende veenmossen, meestal ontstond een drijvende laag Waterveenmos (*Sphagnum cuspidatum*) of een zure waterplas. Verder bleef Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*) over grote oppervlakten de vegetatie domineren en vestigden zich Berken (*Betula spec.*). In het kader van het kennisnetwerk 'Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit' (OBN) is onderzoek gedaan naar de perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland. Twee vragen stonden daarbij centraal:

1. Is hoogveenherstel mogelijk bij de huidige hoge atmosferische N-depositie?
2. Onder welke voorwaarden is succesvol herstel van de karakteristieke flora en fauna mogelijk?

De belangrijkste conclusies uit dit onderzoek worden in dit rapport beschreven.

Uit het onderzoek blijkt dat het in de Nederlandse hoogveenrestanten, ondanks de ingrijpende gevolgen van het vroegere gebruik van hoogvenen en de hoge N-depositie, mogelijk is karakteristieke planten- en diersoorten te behouden en hoogveenvorming weer op gang te brengen. Wel is door de afname van de terreinheterogeniteit en de hoge nutriëntenbeschikbaarheid herstel van het complete soortenspectrum van het hoogveenlandschap uitgesloten. Desondanks kunnen maatregelen worden uitgevoerd die relatief goede perspectieven bieden voor het herstel van de hoogveenvorming en karakteristieke soorten van het hoogveenlandschap.

Een hoge N-depositie tast een belangrijke pijler van het hoogveensysteem aan: de extreem lage beschikbaarheid van N, waaraan alle organismen uit hoogvenen zijn aangepast. Een verhoging van de N-beschikbaarheid zet een waar sneeuwbaaleffect in gang. Opname van N door veenmossen vindt plaats tot een bepaald niveau, daarna is het 'veenmosfilter' verzadigd. Het N komt dan in het bodemvocht beschikbaar voor hogere planten, zoals Pijpenstrootje en Berken. Deze zorgen voor toename van beschaduwing. Veenmossen worden positief beïnvloed door een lichte mate van beschaduwing, maar verdragen een sterkere beschaduwing slecht. De veenmossen groeien dan minder goed en nemen minder N op, waardoor meer N beschikbaar komt voor de vaatplanten. De nutriënten die dan dus worden vastgelegd in de vaatplanten, komen bovendien sneller opnieuw beschikbaar in het veen, omdat vaatplanten gemakkelijker afbreekbaar zijn dan veenmossen. Op deze manier ontstaat een terugkoppeling, die leidt tot een nog grotere dominantie van vaatplanten. Verder wordt veenmos, vooral Waterveenmos, bij een hoog N-gehalte gevoeliger voor de parasitaire Veenmosgrauwkopschimmel

(*Tephroclybe palustris*), die tot ontkleuring en sterfte van veenmossen leidt. Bovendien verandert de faunasamenstelling onder invloed van eutrofiëring. Vergrassing leidt tot afname van onder andere spinnen en loopkevers die leven op en in open, zonbeschenen veenmosbulten of mostapijten. Terugdringen van vergrassing en berkenopslag door kappen van berken, begrazing, door eenmalig maaien of door plaggen van de vegetatie kan tot verbetering van de veenmosgroei leiden. Door deze maatregelen gefaseerd in ruimte en tijd uit te voeren, is verlies van planten- en diersoorten in het terrein te voorkomen.

Voor het op gang komen van hoogveenvorming is het uiteraard essentieel dat veenmossen kunnen groeien. Daarvoor zijn niet alleen gedurende het hele jaar natte omstandigheden nodig, maar ook licht en een hoge concentratie van koolstofdioxide of methaan in de directe omgeving van de veenmossen. Veenmossen die in direct contact staan met de atmosfeer, kunnen daaruit koolstofdioxide opnemen. Dan moet de waterstand zich dicht onder het veenmosdek bevinden en zeer stabiel zijn, opdat de mossen 's zomers niet uitdrogen. Aan die voorwaarden wordt voldaan indien (1) het veenpakket waarop de mossen groeien, kan krimpen en zwellen met de fluctuatie van de waterstand, of (2) de grondwaterstand zich jaarrond nabij het maaiveld bevindt (plas-dras), wanneer de mossen groeien op een onbeweeglijke, stevige bodem. Wanneer de restveenlaag dun of waterdoorlatend is, kan een stijghoogte van het grondwater tot in de veenbasis belangrijk bijdragen aan een hoge en stabiele waterstand in het veen.

Voor de groei van veenmossen in open water moet niet alleen voldoende licht in het water kunnen doordringen, het water moet ook een hoge koolstofdioxide- of methaanconcentratie hebben. Enkel diffusie van koolstofdioxide vanuit de atmosfeer naar het water levert onvoldoende koolstof voor sterke veenmosgroei. Het is daarom noodzakelijk dat koolstofdioxiderijk water toestroomt vanuit de omgeving, of dat koolstofdioxide en/of methaan vanuit het onderliggende restveen de levende veenmossen bereikt.

Doordat witveen (weinig vergaan veenmosveen) zwelvermogen heeft, kan in verdroogde veenrestanten waar nog veel witveen aan het oppervlak ligt, worden volstaan met een vernatting tot aan het maaiveld. Is in een veenrestant echter alleen nog zwartveen (sterk vergaan veen) aanwezig en geen bolster (voormalige toplaag van het hoogveen) teruggestort, dan komt in plassen dieper dan 50 cm vaak geen veenvorming op gang. Doordat in het sterk gehumificeerde zwartveen te weinig decompositie plaatsvindt, blijven de kooldioxideconcentraties in de waterlaag erboven te laag om goede veenmosgroei mogelijk te maken. Ook dringt door de vaak sterke kleuring van het water met humuszuren te weinig licht (minder dan ongeveer 5% van het daglicht) door in de relatief diepe plassen. De optie om via opdrijvend restveen (drijftillen) tot veenvorming te komen, werkt bij zwartveen niet, omdat de productie van methaan (moerasgas) te gering is om het zwartveen drijfvermogen te geven. Onder deze omstandigheden is het plas-dras vernatten een betere optie. Is in het vergraven veen bolster teruggestort of is weinig verteerd (veen)plagsel beschikbaar, dan zijn er meer mogelijkheden. Als het gebufferde (regionale) grondwater tot in de veenbasis reikt, gaat het bolster of ingebracht plagsel als gevolg van methaangasvorming opdrijven. Hierdoor ontstaan drijftillen, waarop zich een veenvormende vegetatie kan vestigen. Is er geen kalkhoudend grondwater meer in de veenbasis en kan dit ook niet hersteld worden, dan zou een lichte bekalking voorafgaand aan vernatting of het storten van geschikt veensubstraat de noodzakelijke methaanvorming op gang kunnen brengen.



Het verdwijnen van gradiënten van een compleet hoogveenlandschap (met name overgangsvveen en lagg-zone) en de toename van de beschikbaarheid van nutriënten hebben een stempel gedrukt op de faunasamenstelling in de Nederlandse hoogveenrestanten. De meeste wateren die door vernattingsmaatregelen zijn ontstaan, herbergen een aantal zeldzame soorten watermacrofauna en een aantal meer algemene soorten die wel karakteristiek zijn voor hoogvenen. De zeldzamere soorten die karakteristiek zijn voor hoogveen zijn met name aangetroffen in oude relictsituaties zoals veenputten en greppels die niet aan grootschalige en plotselinge veranderingen onderhevig zijn geweest. Voor het behoud van deze soorten lijken grootschalige en plotselinge veranderingen, waardoor eenvormigheid in de hand wordt gewerkt, funest. In het herstelbeheer is het daarom van belang dat maatregelen worden genomen die gericht zijn op behoud en zo mogelijk versterking van de nog aanwezige populaties van karakteristieke en zeldzame soorten binnen de terreinen. Hierbij gaat het vooral om fasering van maatregelen in tijd en ruimte en behoud en herstel van heterogeniteit in terreincondities, zoals gradiënten in de invloed van basenrijk grondwater.

Op basis van de kennis die in het onderzoek is opgedaan, is een stappenplan opgesteld voor de uitvoering van herstel- en beheersmaatregelen in hoogveenrestanten. Het belangrijkste onderdeel van het herstelprogramma behelst een analyse van hoe het systeem in de huidige situatie functioneert en welke gebiedsdelen essentieel zijn voor huidige biodiversiteit. Door de relatief kleine schaal van de meeste restanten en het maatwerk dat bij het herstel daarvan komt kijken, is het bij de uitvoering van de maatregelen van belang om 'de vinger aan de pols te houden' door middel van een adequate monitoring. Hoewel de locale en regionale situatie van terrein tot terrein verschilt, is er meestal een herstelstrategie mogelijk die relatief goede perspectieven biedt voor herstel van hoogveenvorming en van de biodiversiteit van (onderdelen van) een compleet hoogveenlandschap.

# Leeswijzer

Complete, intacte hoogveenlandschappen zijn in Nederland niet meer aanwezig (hoofdstuk 1). Voor het hoogveenherstelbeheer is het echter essentieel een goed beeld te hebben van de natuurlijke ontwikkeling en het functioneren van intacte hoogveenlandschappen. In hoofdstuk 2 worden daarom de eigenschappen besproken van hoogveenlandschappen die in ongestoorde situatie verkeren. Veen wordt gevormd onder natte condities, hoogveenkernen zijn van nature extreem voedselarm en een compleet veenlandschap wordt gekenmerkt door gradiënten. Het vroegere menselijke gebruik, verdroging, ontginning en, meer recent, vermesting en verzuring, hebben dan ook grote consequenties voor het functioneren van veensystemen, voor het huidige voorkomen van soorten én voor de perspectieven van herstelmaatregelen in Nederlandse hoogveenrestanten. In de hoofdstukken 3 en 4 wordt ingegaan op de gevolgen van aantastingen in hoogveenlandschappen en op het herstelbeheer. In hoofdstuk 5 worden de perspectieven van verschillende herstelmaatregelen voor de verschillende uitgangssituaties in de Nederlandse hoogveenrestanten besproken en wordt een stappenplan voor de uitvoering van herstelprojecten gepresenteerd.

## **Definitie van hoogveen**

Levende hoogvenen zijn in de Ecosysteemvisie Hoogvenen (Van Wirdum 1993) gedefinieerd als zowel horizontaal als verticaal begrensde eenheden in het landschap, waarin:

- zich uit de lokale neerslag een veenwaterlichaam heeft gevormd boven de regionale grondwaterspiegel;
- de plantaardige productie in hoofdzaak berust op de aanvoer van voedingsstoffen uit de atmosfeer;
- de natte condities de afbraak van organisch materiaal zodanig remmen dat veen gevormd wordt.

Met als diagnostische kenmerken:

*Vegetatie:* Onaangetast hoogveen heeft een vegetatie waarvan de moslaag voornamelijk uit veenmossen bestaat (*Sphagnum*); de moslaag bedekt meer dan de helft van het veenoppervlak. Plantensoorten die wijzen op voeding met grond- of oppervlaktewater of op sterke mineralisatie van veen zijn in de vegetatie van hoogvenen in de minderheid.

*Bodem:* In een hoogveen is een minstens 50 cm dikke laag veen aanwezig die onder ombrotrofe omstandigheden gevormd is en waarvan ten minste de bovenste 20 cm niet tot weinig gehumificeerd is.

*Landschap:* Het complex is op natuurlijke wijze afgegrensd tegenover het omgevende landschap, of het wigt op natuurlijke wijze uit tegen het omgevende landschap.

# 1 Inleiding



*Figuur 1. In de ontwaterde en gedeeltelijk afgegraven hoogveenrestanten wordt soms al vanaf de jaren vijftig van de vorige eeuw door middel van vernatting getracht hoogveen te herstellen. Hier een gedeelte van de Mariapeel waar restveen is geïnundeerd door de aanleg van een stelsel van kades en compartimenten.*

In Nederland is naar schatting 1.000.000 ha hoogveen aanwezig geweest. Hiervan is ongeveer driekwart door de zee weggespoeld of afgedekt met klei. De ongeveer 250.000 ha hoogveen die Nederland in de tweede helft van de Middeleeuwen nog rijk was (Pons 1992), is grotendeels ontwaterd, vergraven ten behoeve van turfwinning en in cultuur gebracht. Minder dan 1% (ca. 8000 ha) van de vroegere oppervlakte is overgebleven en bestaat voornamelijk uit restanten van voorheen veel grotere veengebieden en een aantal veentjes in boswachterijen in het dekzandgebied. Hooguit enkele hectaren kunnen nog als 'levend' of 'actief' hoogveen worden aangemerkt; dat wil zeggen hoogveen waarin nieuw veen gevormd wordt. De rest bestaat uit ontwaterde en grotendeels vergraven hoogveenrestanten, die het karakter van een hoogveensysteem nagenoeg geheel hebben verloren en waarin geen veenvorming meer plaatsvindt. In veel hoogveenrestanten en hoogveentjes in boswachterijen is tevens sprake van een sterke nivellering van de vegetatie, waarbij een ongewenste dominantie optreedt van Pijpenstrootje (*Molinia caerulea*), Berk (*Betula*) en Fraai veenmos (*Sphagnum fallax*) (Schouten et al. 1998, Schouwenaars et al. 2002).

Uit het voorgaande mag duidelijk zijn dat het hoogveen in Nederland onder zeer grote druk staat. Dit is vanwege de zeer bijzondere floristische en faunistische waarden van dit landschapstype een zorgwekkende situatie. Afgraving van hoogveen vindt in Nederland niet meer plaats. In de verdroogde en gedeeltelijk afgegraven hoogveenrestanten wordt soms al vanaf de jaren vijftig van de vorige eeuw door middel van vernatting getracht hoogveen te herstellen (Schouten et al. 1998). De eerste herstelmaatregelen die uitgevoerd werden, - sloten dempen of afdammen, kades bouwen en bosopslag verwijderen - hadden wisselend succes: soms ontwikkelde zich in enkele jaren een fraai veenmostapijt met meerdere veenmossoorten, terwijl de ontwikkeling op andere plekken in meer dan tien jaren niet verder kwam dan open water met weinig veenmosgroei. Of herstel nog wel mogelijk was, en onder welke voorwaarden, was onduidelijk. Dit was voor de directie Kennis van het ministerie van LNV aanleiding om onderzoek op te starten naar de herstel mogelijkheden van hoogveensystemen in Nederland in het kader van het kennisnetwerk 'Ontwikkeling en Beheer Natuurkwaliteit' (voorheen Overlevingsplan Bos en Natuur, OBN). Als eerste stap is in 1996 alle op dat moment beschikbare kennis bijeengebracht in een preadvies (Schouwenaars et al. 1997), waarin tevens onderzoek is geformuleerd om te achterhalen wat de sleutelfactoren zijn die het herstel succesvol maken. Een enigszins bewerkte versie van dit preadvies verscheen in 2002 als OBN-rapport (Schouwenaars et al. 2002). Op basis van de informatie in dit preadvies zijn keuzes gemaakt voor de strategie, zodat de meest knellende kennislacunes konden worden geselecteerd en aangepakt in de eerste onderzoeksfase (1998-2002). In de eerste fase van het OBN-onderzoek lag de nadruk op de te herstellen standplaatscondities van de typische hoogveenvegetaties. Daarnaast is echter (voor het eerst binnen het OBN) meteen ook duidelijk aandacht besteed aan de faunacomponent.

In 2003 verscheen een eindrapport (Tomassen et al. 2003) dat de resultaten van de eerste fase van het OBN-hoogveenonderzoek samenvat, die zijn beschreven in tientallen publicaties. Van groot belang voor het herstelbeheer in hoogvenen in Nederland - én buitenland - zijn daarnaast de resultaten van tien jaar samenwerking van Ierse en Nederlandse organisaties voor natuurbeheer en Ierse en Nederlandse wetenschappers in hoogvenen, die zijn vastgelegd in het boek "Conservation and restoration of raised bogs" (Schouten 2002). De inzichten die deze Iers-Nederlandse samenwerking heeft opgeleverd - met name de resultaten van het onderzoek van Van der Schaaf en Streefkerk naar de hydrologie van hoogvenen - zijn ook verwerkt in het OBN-onderzoek. In de tweede fase van het OBN-hoogveenonderzoek (2004-2006) is de nadruk verschoven naar het vergroten van de schaal van de experimenten met herstelmaatregelen in hoogveen (Tomassen et al. 2011a). In 2006 is opdracht verleend om een aantal lopende experimenten uit de tweede fase te blijven volgen. Ook zijn nieuwe experimenten gestart. Zowel in verband met de sturende processen in hoogveensystemen, als in het functioneren van de fauna is in de afgelopen jaren de betekenis van de landschapsschaal steeds duidelijker naar voren gekomen. Na de verbreding van het OBN-kennisnetwerk, vanaf 2008, is onderzoek gestart waarin het herstel op landschapsschaal voorop staat (Verberk et al. 2009, Van Duinen et al. 2009).

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek van de periode 1998-2010 voor het herstelbeheer van hoogveenrestanten zijn in het hier voorliggende rapport bijeengezet. Het geeft bovendien een stappenplan voor het toekomstige herstelbeheer van hoogvenen.

## 2 Ontwikkeling en eigenschappen van intacte hoogveenlandschappen



*Figuur 2. Natuurlijke overgang van minerotroof overgangsveen (Veenmos-Rietland en Zeggemoeras; links) naar ombrotroof hoogveen met bulten en slenken (rechts) in Nigula, Estland.*

### 2.1 Ontwikkeling van hoogveenlandschappen

Hoogveen is een eindstadium of 'climaxstadium' van een opeenvolging in de vegetatie (een vegetatiesuccessie), die ooit begon op natte minerale bodem of in open water. Veenvorming wordt opgehoopt wanneer organische stof door de vegetatie sneller wordt geproduceerd dan dat deze wordt afgebroken. De snelheid van veenvorming is afhankelijk van de productiviteit van de vegetatie en van de afbraaksnelheid van het dode plantenmateriaal. De afbraaksnelheid vermindert als de omstandigheden op de groeiplaats zo nat zijn dat afgestorven plantenmateriaal door water langdurig van de buitenlucht (zuurstof) wordt afgesloten. Een vaak voorkomende aanvullende oorzaak voor langzame afbraak is een slechte afbreekbaarheid van het geproduceerde organische materiaal. Dit is onder meer het geval bij veel veenmossoorten, vooral wanneer zij onder voedselarme omstandigheden groeien. Geschikte natte omstandigheden voor veenvorming in brede zin - niet alleen door veenmossen, maar ook door bijvoorbeeld zeggen (*Carex* spp.) en zogenoemde 'bruinmossen', zoals schorpioenmossen (o.a. *Scorpidium* spp.)

en sikkelmossen (o.a. *Drepanocladus* spp.) - doen zich in hoofdzaak voor in de volgende situaties of combinaties daarvan:

- Ondiep stilstaand open water (verlandingsituatie).
- Kwel tot aan of op het maaiveld.
- Een neerslagoverschot in een terreinsituatie met beperkte afvoermogelijkheden voor water: substantiële afvoer van water treedt pas op bij een waterstand aan of boven het maaiveld.
- Een situatie met periodieke overstroming vanuit open water (beek, rivier of meer) en beperkte afbraakprocessen. Die situatie doet zich voor wanneer de afbraak niet teveel gestimuleerd wordt door afzettingen van mineraal sediment, zodat de vorming van organisch materiaal de overhand blijft houden.

Deze situaties deden zich in Nederland in het verleden op grote schaal voor langs de kust achter de kustduinen of strandwallen en in de delta. Op de hogere natte zandgronden deden zich gunstige omstandigheden voor (hoog)veenvorming voor in locale laagten die gevoed werden door uittredend water vanuit naastgelegen hogere gronden. Zo ontstonden bijvoorbeeld hoogvenen rondom het Drents Plateau, aan de flanken van de Utrechtse heuvelrug en op kleinere schaal naast dekzandruggen. Naast de geomorfologische omstandigheden zijn geologische of geohydrologische omstandigheden bepalend geweest voor de ontwikkeling van hoogvenen of veentjes. Op de hogere zandgronden was vooral de aanwezigheid van lagen in de bodem die water niet of slecht doorlaten, zoals leem, keileem, waterhardlaag, oerbank of een breuk, zoals in de Peel cruciaal. Deze omstandigheden zijn momenteel belangrijk voor de herstel- en ontwikkelingsmogelijkheden van hoogvenen.

In het veenpakket dat in de loop der tijd is opgebouwd, is de opeenvolging (successie) van de vegetatietypen van het veenlandschap terug te lezen. De zuurgraad en de beschikbaarheid van nutriënten en mineralen bij het begin van de veengroei worden weerspiegeld in de samenstelling van de onderste laag in het veenprofiel. De onderste, dus oudste laag kan duiden op voedselrijke en gebufferde omstandigheden; ze bestaat dan uit gyttja, bruinmosveen, rietveen en/of bosveen met vooral els (zie Figuur 3). Of de onderste laag wijst op matig voedselrijke en zwak gebufferde omstandigheden en bevat restanten van berk, den en/of zegge (zeggeveen). Ook komt het voor dat de onderste laag wijst op voedselarme omstandigheden. In dat geval bestaat het veenpakket al vanaf het begin van de veenontwikkeling hoofdzakelijk uit veenmossen (veenmosveen).

In een veenprofiel is de overgang van voedselrijker laagveen in de onderlaag naar voedselarm hoogveen in de bovenlaag meestal vrij scherp begrensd. Het veen dat zich in het successiestadium tussen de laagveen- en hoogveenfase bevindt, wordt overgangsveen genoemd. De overgang van laag- naar hoogveen vindt plaats wanneer het veen zich tot aan het peil van gebufferd grond- of oppervlaktewater heeft opgestapeld. Bij een jaarlijks neerslagoverschot, zoals in het Nederlandse klimaat het geval is, kan het veen uitgroeien boven het hoogste waterniveau in zijn omgeving. Dan ontstaat een hoogveen, waarin neerslag de voornaamste bron van water, nutriënten en mineralen wordt. Het veen is dan ombrotroof geworden. Door de lage concentraties van nutriënten en mineralen in neerslagwater is de kern van een hoogveenlandschap van nature extreem voedselarm en nutriënten en mineralen die vrijkomen bij de afbraak van organisch materiaal worden door de vegetatie op efficiënte wijze opgeslagen en hergebruikt. Het aantal soorten dat de levenscyclus kan voltooien in deze extreme omstandigheden van een hoogveenkern is relatief laag.

Een intact (hoog)veenlandschap omvat naast een of meer zure hoogveenkernen ook allerlei overgangen naar de omringende minerale bodem met een vegetatiesamenstelling die karakteristiek is voor tussenstadia in de successie naar hoogveen, zoals overgangsvenen. Zulke tussenstadia kunnen zeer stabiel zijn gedurende vele decennia. In overgangsvenen komen soorten die gewoonlijk als kenmerkend worden gezien voor laagveen of hoogveen naast elkaar voor. In Estland komen fraaie voorbeelden daarvan voor. Daar groeien op plekken waar óók een dek van veenmossen aanwezig is bijvoorbeeld Riet (*Phragmites australis*) en Slangenwortel (*Calla palustris*), waarvan de wortels in contact staan met basenhoudend grondwater en de stengels door het veenmosdek heen groeien (Figuur 2). Op andere plekken in overgangsvenen komen soorten als Wateraardbei (*Potentilla palustris*), Waterdrieblad (*Menyanthes trifoliata*) en Draadzegge (*Carex lasiocarpa*) in hoge dichtheden voor, en in Estland ook nog Slijkzegge (*Carex limosa*) en Veenbloembies (*Scheuchzeria palustris*). Door subtiele verschillen in beschikbaarheid van mineralen en nutriënten, kunnen op deze overgangen, die abrupt optreden of zich heel geleidelijk manifesteren, bonte schakeringen en soortenrijke gradiënten ontstaan.



Figuur 3. Elzenbroekbos met Slangenwortel (links) en overgangsveen (Veenmos-Rietland; rechts) met o.a. Veenbloembies, Draadzegge en Waterdrieblad in Nigula, Estland.

## 2.2 Schaalniveaus en ruimtelijke variatie in intacte hoogveenlandschappen

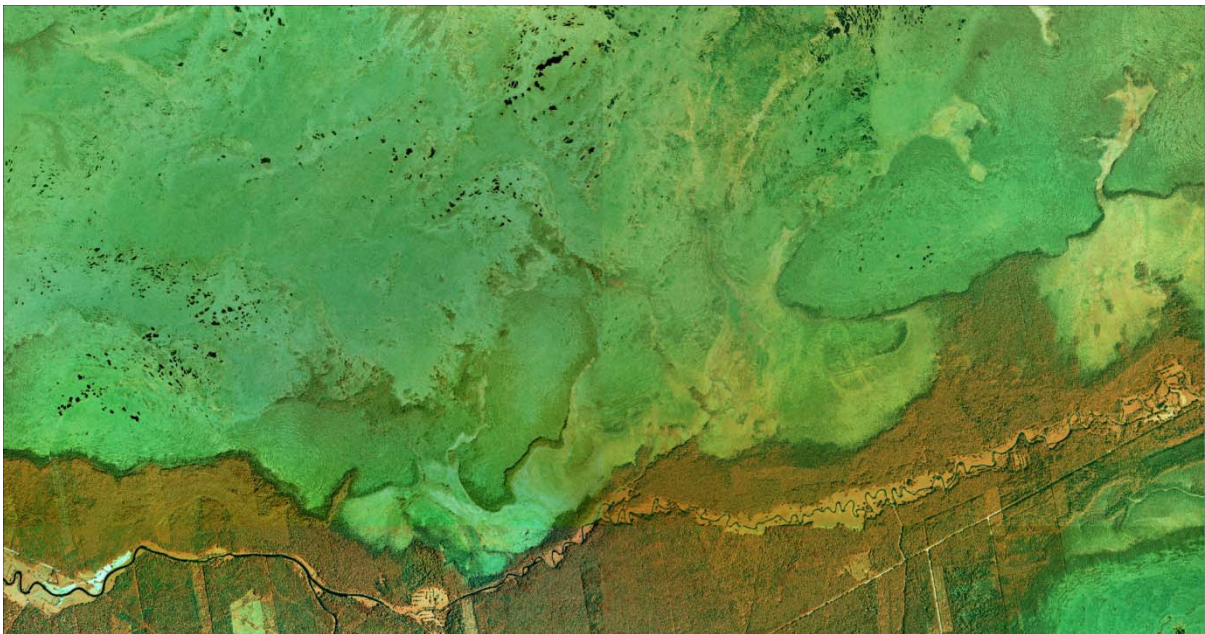
In het hoogveenlandschap kunnen drie verschillende schaalniveaus worden onderscheiden: macro-, meso- en microschaal. De macroschaal omvat ruwweg het hoogveen, het omringende landschap en de inbedding van het hoogveen daarin. De mesoschaal omvat alleen het hoogveen zelf en de microschaal beschrijft de variatie in structuren (bulten, slenken, poelen) binnen een hoogveenkern (Schouten et al. 1998, Schouwenaars et al. 2002).

### Macroschaal

In een ongestoord veenlandschap - dat in Nederland niet meer voorkomt - ligt rondom het eigenlijke hoogveen òfwel een laagveen en/of overgangsveen, òfwel een relatief smalle overgangszone naar de minerale omgeving, meestal aangeduid met de Zweedse term lagg. Eerstgenoemde situatie komt voor waar een of meer delen van een laagveen zich hebben ontwikkeld tot hoogveen en in complexen van verschillende hoogveenkernen met tussenliggende laagten of riviertjes (zoals in Figuur 4), die het afgestroomde

veenwater verder afvoeren. Daarbij heeft dan de overstromingslaagte of het beekdal het karakter van laagveen of overgangsvveen behouden. De verticale successie van minerotroof naar ombrotroof is in die situaties ook in horizontale richting als brede gradiëntzone zichtbaar (Figuur 2 en Figuur 4). In een lagg vermengen zich water dat vanuit de hoogveenkern afstroomt en (kwel)water uit de minerale omgeving. In een ongestoord landschap is de lagg vaak de voorloper van de zijdelingse uitbreiding van een hoogveen (Ivanov 1981).

Doordat in overgangszones een zeer grote variatie in standplaatscondities mogelijk is, kunnen hier bijzonder soortenrijke vegetaties en faunagemeenschappen voorkomen. De soortensamenstelling is mede afhankelijk van de samenstelling van bodem en ondergrond in de minerale omgeving, in het bijzonder van de kalk- en ijzerrijkdom. Het Korenburgerveen bijvoorbeeld werd vanouds gevoed met kalkrijk grondwater dat tot in het veen reikte, waardoor zich kalkmoerassen vormden en het gebied bijzonder soortenrijke contact- en overgangszones kende in zowel het groeiende veendek, als in aangrenzende schraalgraslanden. Waar hoogvenen grensden aan minder kalkrijke gronden zal de soortenrijkdom lager zijn geweest.



*Figuur 4. Natuurlijk patroon van een hoogveen (groen op deze foto) met aangrenzend dennen-, berken- en elzenbroekbos (bruin op deze foto) en kronkelend riviertje in het Nationaal park Soomaa in Estland. Dit hoogveen bestaat uit verschillende hoogveenkernen met tussenliggende afvoerlaagtes (lichtgroen-geel). De donkerder groene randen in het hoogveen zijn de met grotere bomen begroeide randen van hoogveenkernen. De zwarte stippen in het hoogveen zijn veenpoelen met open water.*

De vegetatie in de overgangszone is gevoelig voor veranderingen in de omgeving van het veen. Grondwaterstandsverlagingen van welke oorzaak ook leiden tot een afname en uiteindelijk het verdwijnen van de invloed van basenrijk grondwater in de randzone, waardoor de soortensamenstelling drastisch verandert. Een lagg is aanzienlijk gevoeliger voor effecten van menselijk ingrijpen in de waterhuishouding dan het bijbehorende hoogveen zelf, zelfs als dat voor vervening gespaard is gebleven. Vervening begint



bovendien aan de rand van het veen en leidt samen met de waterhuishoudkundige veranderingen tot vernietiging van elke nabijgelegen lagg. Intacte lagg zijn in Europa dan ook zeer zeldzaam geworden. Behalve in de contactzone met de minerale omgeving, kunnen ook binnen het veensysteem zelf de extreem zure, voedselarme condities plaatselijk worden 'afgezwakt' door veenbeken, opduikingen van de minerale ondergrond en door lokale invloed van baserijk(er) grondwater. Ook kan het droogvallen van een watertje mineralisatie in de hand werken en daardoor een korte mineralen-puls opleveren. Al met al kennen ongestoorde situaties een heterogeen veenlandschap met gradiënten: van hoogveenkernen - met hun interne variatie - via een overgangsvveen naar laggzones, veenbeekjes en laagveensituaties met zeggengemeenschappen of broekbossen. Deze variatie is van grote betekenis voor de natuurwaarde: elk onderdeel en de gradiënten tussen onderdelen bezitten eigen omgevingscondities, zodat het complete hoogveenlandschap gekarakteriseerd wordt door een grote rijkdom ('beta-diversiteit') aan planten- en diersoorten (Smits et al. 2002, Van Duinen et al. 2002).

Diverse diersoorten zijn afhankelijk van de combinatie van hoogveenkernen en voedselrijkere, meer gebufferde condities aan de randen van het hoogveensysteem, bijv. Korhoen (*Tetrao tetrix*), Goudplevier (*Pluvialis apricaria*) en Kraanvogel (*Grus grus*). Deze vogels broeden of overnachten in natte hoogveenkernen of overgangsvvenen, waar roofdieren nauwelijks komen, en foerageren in de voedsel- en mineralenrijkere randzone of op landbouwpercelen in de buurt (Heckenroth 1994, Niewold 1993 & 1996). Ook voor watermacrofauna lijkt dit op te gaan. In een vergelijking tussen meer en minder gevarieerde hoogveenrestanten bleek dat veenwateren in de hoogveenkern soortenrijker waren wanneer het omringende landschap heterogener was (Verberk et al. 2006a). Verder zijn verschillende soorten die als karakteristiek voor (hoog)veen worden beschouwd, sterk gebonden aan de gradiënten van het hoogveen naar de andere onderdelen van het landschap, omdat daar de extreme condities van het hoogveen deels worden afgezwakt (zie paragraaf 2.3).

### **Mesoschaal**

De variatie in groeiomstandigheden voor veenmossen en andere planten binnen een hoogveenkern wordt sterk bepaald door de vochthuishouding ter plekke. De vochthuishouding is uiteraard in de eerste plaats afhankelijk van de klimaatzone, waarin het hoogveen ligt. In de klimaatzone waarin Nederland ligt, hebben we te maken met lenshoogvenen. Dit type hoogveen komt voor in oceanisch, suboceanisch- en subcontinentaal klimaat; in gebieden met een hoge effectieve vochtigheid, die vooral een relatief hoge neerslagintensiteit met een neerslag van ca. 700 en 1150 mm/jaar kennen. Kenmerkend voor de lenshoogvenen is dat de vegetatie op de lens van het hoogveen overwegend uit veenmossen bestaat. De vochthuishouding binnen de hoogveenkern wordt verder bepaald door de berging en aan- en afvoer van water. Het karakter van het watertransport op een bepaald punt wordt sterk bepaald door de terreinhelling en de positie van dat punt ten opzichte van de interne waterscheiding (het hoogste punt van een hoogveenkern) van het veen (Ivanov 1981). Hoe verder een punt in het veen verwijderd is van de interne waterscheiding (langere stroombaanlengte; Van der Schaaf 2002b), des te groter is de hoeveelheid water die op dit punt wordt aangevoerd. Dit geldt uiteraard mits de afstroming van water niet onderweg wordt onderbroken door obstakels of greppels. Hoe steiler de helling van het veen, des te gemakkelijker wordt het water afgevoerd en des te droger de condities ter plekke. Dit komt ook in de soortensamenstelling van de vegetatie tot uiting: bijvoorbeeld in een hogere bedekking van Struikhei en bultvormende

veenmossen bij drogere omstandigheden. Mede bepalend voor het stromingspatroon is de microtopografie (of microstructuur) die poelen en veenmosbulten en slenken omvat. Tegelijkertijd wordt deze microtopografie weer mede bepaald door de hiervoor genoemde twee factoren -terreinhelling en positie ten opzichte van de interne waterscheiding- en daarnaast door klimaatomstandigheden: hoeveelheid en spreiding van neerslag over het jaar en verdamping (Van der Schaaf en Streefkerk 2002).

Vooraf in vlakkere delen en depressies in hoogveenkernen, waarvandaan water niet of nauwelijks kan worden afgevoerd, nemen slenken en veenmostapigten een groot deel van de oppervlakte in. Hier kunnen ook complexen van modderige slenken met kleine veenmosbultjes voorkomen en hier bevinden zich in grotere intacte hoogvenen ook uitgebreide poelcomplexen of meerstallen.

In grote hoogvenen, waar de stroombaan tussen waterscheiding (of hoogste punt in de kern) en de rand van de hoogveenkern lang is, kan nabij de randen de samenstelling van de vegetatie wijzen op minerotrofe omstandigheden. Ditzelfde gebeurt soms waar afvoer van water van een groot deel van een hoogveen over een beperkte randlengte via een laagte of een beek afstroomt. Het is mogelijk dat het optreden van minerotrafente soorten of vegetatie veroorzaakt wordt door invloed van mineraalrijker water, maar dat kan ook veroorzaakt worden door een hogere verversingsnelheid van water in zo'n deel van een hoogveen (Overbeck 1975, Rydin en Jeglum 2006). Door een hogere verversingsnelheid worden per tijdseenheid meer mineralen aangevoerd, een verschijnsel dat ook wel bekend is onder de naam rheotrofie (voeding door waterbeweging). In dergelijke aangerijkte situaties kunnen planten- en diersoorten voorkomen, die we ook in overgangsvenen aantreffen, maar niet in het ombrotrofe hoogveen.

### **Microschaal**

In intacte hoogveenkernen is een microtopografie te onderscheiden van veenmosbulten en/of ruggen, slenken, veenmostapigten en poelen (Figuur 5). De microtopografie is afhankelijk van het klimaat. In Atlantische hoogvenen bestaat de microtopografie voornamelijk uit veel relatief kleine elementen (bulten, slenken en verspreide poelen), terwijl in meer continentale klimaten de elementen veel groter, langgerechter en minder in aantal zijn en veelal dwars op de hoogtegradiënt liggen. In vlakke delen van hoogvenen, waar water minder snel afstroomt, overheersen veelal slenken en veenmostapigten. Bulten of ruggen gaan overheersen naarmate de terreinhelling groter is en water sneller wordt afgevoerd (dat kan bijvoorbeeld het geval zijn aan de randen van een hoogveenkern) en naarmate het neerslagoverschot kleiner wordt. Met de microtopografie is een variatie in vochtigheid verbonden: de bulten en ruggen liggen permanent boven het waterniveau, de slenken bevatten alleen in winter en voorjaar water en poelen bevatten permanent water.

De variatie in vochtigheid wordt weerspiegeld in het voorkomen van planten- en diersoorten. Bultvormende veenmossoorten als Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*) en Rood veenmos (*Sphagnum rubellum*) bedekken de hogere plekken. Op de bulten groeit o.a. Struikhei (*Calluna vulgaris*) en kunnen we ook vaak Veenhaarmos (*Polytrichum juniperum* var. *affine*) aantreffen. Diverse diersoorten, zoals de Veenmier (*Formica picea*), spinnen en loopkevers, leven in en op deze bulten of nemen er hun toevlucht om boven de waterspiegel te overwinteren. Hoogveenveenmos (*Sphagnum magellanicum*) kan iets vochtiger plekken innemen. In de natte slenken groeien o.a. Waterveenmos (*Sphagnum cuspidatum*), Witte snavelbies

(*Rhynchospora alba*) en Zonnedaau (*Drosera* spp.); daar leven waterdieren tussen het veenmos en 's zomers spannen er kleine spinnensoorten hun webjes tussen de veenmoskopjes. Loopkevers, zoals de karakteristieke Turfloopkever (*Agonum ericeti*), overwinteren in de droge top van bulten en foerageren 's zomers op en tussen het vochtige veenmos in de slenken (Främbs 1994).



*Figuur 5. Bulten (met onder andere Struikheide) en slenken (met onder andere rood aangelopen blad van Witte snavelbies) in de kern van het Estlandse hoogveenreservaat Nigula.*

## **2.3 Beschikbaarheid van voedingsstoffen en mineralen**

Een hoogveenvegetatie bevindt zich boven het peil van mineraalrijk grond- of oppervlaktewater en wordt hoofdzakelijk door neerslag gevoed. Daardoor is de toevoer van mineralen van nature extreem laag. Dat geldt ook voor de voor planten beschikbare vormen van stikstof (N) en fosfor (P). In ongestoord hoogveen zijn de concentraties van de voor planten beschikbare vormen van stikstof (N) en fosfor (P) dus erg laag, maar de hoogveenplanten zijn daaraan aangepast. Ze gaan er zuinig mee om, bijvoorbeeld door deze stoffen efficiënt te recyclen, langlevende bladeren te produceren. Sommige hoogveenplanten boren alternatieve voedingsbronnen aan door insecten te vangen en te verteren, zoals het vangen en verteren van insecten bijvoorbeeld door Zonnedaau en Blaasjeskruid (*Utricularia* spp.). Het merendeel van het in hoogveen aanwezige fosfaat is gebonden aan het organische materiaal of aan zwavel- of ijzerverbindingen. Voor de veenmossen is de hoofdbron van stikstof in hoogveen de depositie vanuit de lucht, terwijl de hogere planten die onder het veenmos wortelen stikstof putten uit de afbraak van organisch materiaal. Bij lage stikstofdepositieniveaus (onder 5 kg N/ha/jaar, bijvoorbeeld in Noord-Scandinavië), beperkt de lage beschikbaarheid van stikstof de plantengroei. Men spreekt dan van 'stikstoflimitatie'.

Naast stikstof en fosfor speelt de beschikbaarheid van een andere voedingsstof, koolstof, een belangrijke rol bij de groei van met name veenmossen (minimaal 400  $\mu\text{mol CO}_2$  per liter). Planten kunnen kooldioxide ( $\text{CO}_2$ ) uit de atmosfeer opnemen, maar onder natte omstandigheden, zoals die in hoogveenlenken en poelen voorkomen, is die opname vaak minder goed mogelijk. Onder zeer natte condities worden veenmossen bedekt met een laagje water, een waterfilm. De diffusiesnelheid van kooldioxide in water is vele malen (100.000 keer) trager dan in lucht en water dat in evenwicht is met lucht bevat slechts lage concentraties kooldioxide, ca. 15  $\mu\text{mol CO}_2$  per liter. Deze concentraties zijn te laag voor een optimale fotosynthese door veenmossen. Veenmossen hebben namelijk een relatief hoog  $\text{CO}_2$ -verzadigingspunt (Bloemendaal en Roelofs 1988). In een hoogveen wordt koolstof echter net zo als stikstof en fosfor efficiënt gerecycled. De groei van veenmos is niet geheel afhankelijk van atmosferische koolstof, omdat veenmos ook het koolstof kan gebruiken dat weer vrijkomt bij de afbraak van het onderliggende veen, het 'bentische' koolstof (Smolders et al. 2001 & 2004, Ragoobarshing et al. 2005). Met name voor veenmos dat onder natte omstandigheden moet groeien, is de toevoer (flux) van koolstof bepalend voor de productiviteit. Deze toevoer wordt bepaald door toestroming van water dat is aangerijkt met  $\text{CO}_2$ , hetzij vanuit andere delen van het hoogveen of de omgeving, hetzij door lokale productie van methaan en  $\text{CO}_2$  door afbraak van het veenpakket onder het levende veenmosdek. Deze productie is afhankelijk van de mate van zuurbuffering in het onderliggende veenpakket: bij lage pH vindt vrijwel geen afbraak plaats, maar wanneer de veenbasis in contact staat met gebufferd grondwater wordt de geleidelijke afbraak van het onderliggende veenpakket gestimuleerd (Lamers et al. 1999).

Overigens blijkt bentisch  $\text{CO}_2$  niet alleen voor de groei van ondergedoken veenmos van belang te zijn. Ook voor bultvormende veenmossoorten geldt dat een deel van het vastgelegde  $\text{CO}_2$  van bentische oorsprong is (Rydin en Clymo 1989, Turetsky en Wieder 1999). Laboratoriumexperimenten tonen aan dat de groei van Hoogveenveenmos onder zeer natte, niet geïnundeerde condities, sterk wordt gestimuleerd door hoge  $\text{CO}_2$ -concentraties in het acrotelmwater (vergelijkbaar met concentraties die gemeten worden in het veld) (Smolders et al. 2001). Daarbij trad bij zeer lage  $\text{CO}_2$ -concentraties in het acrotelmwater, waarbij de veenmossen dus volledig afhankelijk waren van atmosferisch  $\text{CO}_2$ , minder groei op (Smolders et al. 2001) en bleef bultvorming achterwege. Het belang van bentisch  $\text{CO}_2$  voor veenmossen blijkt ook uit het feit dat vaak een sterke veenmosgroei kan worden waargenomen op minerale bodems waar  $\text{CO}_2$ -rijk water uittreedt, zoals in het Verbrande Bos bij Staverden. Het effect van  $\text{CO}_2$ -rijk water op veenmosgroei neemt af naarmate het veenmos verder boven water uitsteekt en het effect verschilt per veenmossoort en groeivorm. Zo werd in een laboratoriumexperiment nog wel een licht stimulerend effect van  $\text{CO}_2$ -rijk water gevonden op Waterveenmos dat 5 cm of meer boven het water groeide, maar alleen wanneer het Waterveenmos samengroeide met een gelijk oppervlak aan Hoogveenveenmos. De groei van Hoogveenveenmos in hetzelfde mengsel werd echter niet (meer) door het  $\text{CO}_2$  gestimuleerd (Tomassen et al. 2007). Waarschijnlijk leidde de dichtere groeivorm van Hoogveenveenmos ertoe dat het bentische  $\text{CO}_2$  beter door het veenmospakket werd vastgehouden en dus gemakkelijker gebruikt kon worden voor de groei van Waterveenmos.

Zoals reeds in paragraaf 2.2 is beschreven, varieert de beschikbaarheid van voedingsstoffen en mineralen binnen een hoogveenlandschap. In de gradiënten vanuit de hoogveenkern naar de andere onderdelen van het landschap worden de extreme condities van de hoogveenkern (zuur, voedselarm) deels afgezwakt. Met toenemende invloed van baserijk

grondwater of de minerale bodem nemen in de gradiënt de zuurbuffering en beschikbaarheid van mineralen toe. Daarmee nemen ook de productiviteit van planten en de afbraaksnelheid van organisch materiaal toe en komt meer en beter voedsel beschikbaar voor herbivoren, detritivoren en hun predatoren. De waardplanten van bijvoorbeeld Veenhooibeestje (*Coenonympha tullia*), Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) en Veenbesblauwtje (*Plebeius optilete*) komen zowel in de hoogveenkern als in de randen en overgangsvenen voor. Toch zijn deze vlinders vrijwel alleen buiten de hoogveenkern te vinden. Vermoedelijk is dat zo omdat alleen daar hun waardplanten de vereiste voedingswaarde en concentraties van mineralen of vitaminen bevatten (Van Duinen et al. 2006a). Ook de Hoogveenglanslibel (*Somatochlora arctica*) komt in intacte veenlandschappen vooral voor in gradiëntsituaties, zoals overgangsvenen en randen van hoogveenkernen. Voor slakken, pissebedden en de meeste gewervelde dieren is de beschikbaarheid van calcium in de hoogveenkern te laag om hun in- of uitwendige skelet op te bouwen. Alleen gewervelde dieren die slechts langzaam groeien en dus een trage botgroei hebben, zoals de Levendbarende hagedis (*Lacerta vivipara*), kunnen mogelijk vanwege hun trage groei in hoogvenen overleven ondanks een lage beschikbaarheid van calcium en andere mineralen.



*Figuur 6. Dwarsdoorsnede door de toplaag van een hoogveenbult, met van boven naar beneden de levende, groene en roodbruine veenmoskopjes en weinig (lichtbruin) tot sterker (donkerbruin) afgebroken veenmos.*

## **2.4 Waterhuishouding in intacte hoogvenen**

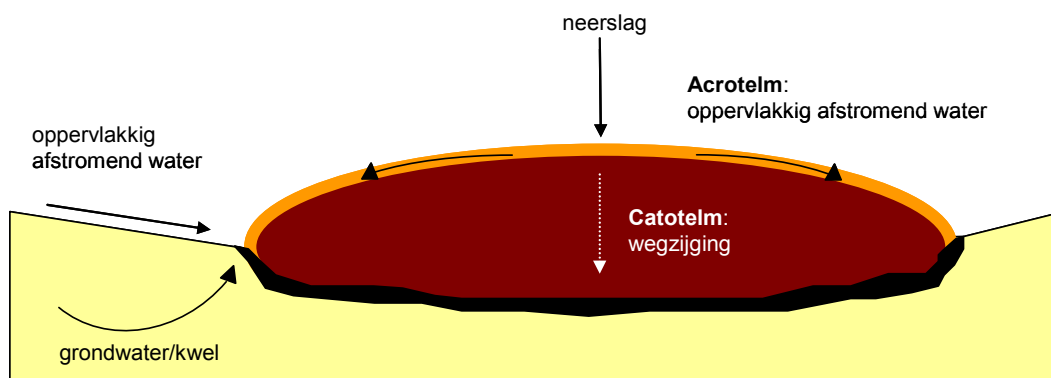
### **Opbouw van het veenpakket**

In een intact hoogveen zorgt de sponswerking van het veenpakket ervoor dat de seizoensfluctuatie van de waterstand beperkt wordt. Dit is essentieel voor de veenvorming in hoogveenkernen, waarbij de groei van veenmossen een hoofdrol speelt. Veenmossen groeien alleen daar waar de beschikbaarheid van

vocht voldoet aan hun eisen. Voor een levend, veenvormend hoogveen zijn vooral de hydrologische eigenschappen van de bovenste laag (10-40 centimeter) essentieel. Deze laag bestaat uit levend en recent afgestorven veenmos en wordt acrotelm genoemd (Figuur 6). Het veenpakket dat onder de acrotelm ligt, aangeduid met de term catotelm, is voor de sponswerking veel minder belangrijk dan de acrotelm, maar speelt wel een rol in het beperken van de wegzijging (Ivanov 1965 & 1975, Ingram 1978 & 1983, Hayward en Clymo 1982, Proctor 1995).

Een veenpakket bestaat voor een groot deel uit poriën, gevuld met water. In de acrotelm kan dit wel 98-99% zijn. In de daaronder liggende catotelm, ligt de volumefractie van poriën vaak tussen 90 en 95%. Deze verschillen in porositeit lijken op het eerste gezicht wellicht niet groot, maar dit verschil van 90% en 98% water komt in veen neer op een volumeverschil van 10% in de catotelm en 2% in de acrotelm, een factor 5 (!).

Ten opzichte van de acrotelm heeft het veen in de catotelm een verdergaande afbraak ondergaan en is het sterker samengedrukt. In intacte hoogvenen is dit oudere, dieper gelegen veen veel donkerder en compacter dan het jongere veen hoger in het veenpakket. Het oudere veen wordt daarom in Nederland vanouds aangeduid als zwartveen en het jongere veen als witveen. De afbraaksnelheid is het sterkst in het bovenste deel van de acrotelm, enerzijds omdat in dit deel het vaakst lucht toetreedt en anderzijds omdat het meest recent afgestorven materiaal het hoogste gehalte aan gemakkelijk afbreekbaar materiaal bevat. De gedeeltelijke afbraak die in het veen optreedt leidt tot verlies aan veerkracht in de vezels en tot omzetting van grotere naar kleinere deeltjes. Deze factoren leiden tot de afname van het volume van poriën. Daardoor neemt de doorlatendheid in het veenpakket van boven naar beneden sterk af. In de bovenste 50 cm van een intact hoogveenpakket (de acrotelm) kan de doorlatendheid van boven naar beneden met vier of vijf orden van grootte afnemen (=10.000 tot 100.000 maal). Verder naar beneden gaand, over de gehele dikte van de catotelm, kunnen daar nog enkele orden van grootte bijkomen.



*Figuur 7. Schematische weergave van waterstromen in de minerale omgeving en de acrotelm en catotelm van een intact lenshoogveen.*

Als gevolg van deze afname in doorlatendheid kan een intact hoogveen worden opgevat als een waterstromingssysteem met de acrotelm als dunne, maar over het algemeen zeer doorlatende watervoerende laag aan en direct onder het oppervlak en daaronder de catotelm als scheidende laag tussen acrotelm en minerale ondergrond. Het horizontale watertransport (zie ook paragraaf 2.2 onder mesoschaal) vindt daarbij hoofdzakelijk plaats in de

acrotelm, terwijl het - relatief zeer geringe - verticale watertransport (wegzijging) plaatsvindt in de catotelm (Figuur 7).

### **Neerslag, verdamping, horizontale afstroming, berging en 'veenademhaling'**

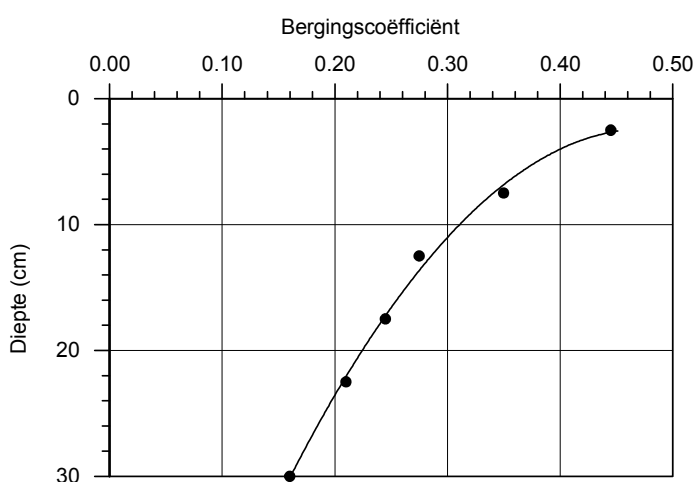
In een levend hoogveen zijn neerslag, verdamping, horizontale afstroming en berging van water vrijwel altijd de belangrijkste componenten van de waterbalans. Zoals eerder opgemerkt, kan een hoogveen als neerslaggevoed, nat en veenvormend ecosysteem alleen bestaan bij de gratie van een jaarlijks neerslagoverschot. Dat was er in Nederland (De Bilt) in de afgelopen eeuw maar één keer niet, namelijk in het extreem droge jaar 1976. Gedurende een gemiddeld groeiseizoen is in Nederland echter sprake van een verdampingsoverschot (=neerslagtekort). Dit periodieke tekort moet worden gecompenseerd door water van het neerslagoverschot in het voorafgaande winterseizoen. Voor die compensatie moet een levend hoogveen dus een voldoende groot deel van dat neerslagwater kunnen vasthouden.

Het mechanisme achter het vasthouden van water is vooral gebaseerd op de van boven naar beneden sterk afnemende doorlatendheid van de acrotelm. De afvoercapaciteit van de acrotelm (horizontale afstroming) wordt bepaald door het doorlaatvermogen van de laag onder de waterspiegel. Naarmate de waterspiegel stijgt, wordt het doorlaatvermogen groter; niet alleen doordat de doorstroomde veenlaag dikker wordt, maar vooral doordat de stroming dichterbij de veenoppervlakte in steeds doorlatender materiaal kan plaatsvinden. Omgekeerd zal de horizontale afstroming bij dalende waterstand steeds trager verlopen. Dit leidt tot een kenmerkend stromingsbeeld van de afvoer van water uit hoogvenen: relatief hoge afvoerpieken bij veel neerslag die na het ophouden van de neerslag snel tot onbeduidende hoeveelheden afnemen (Uhlen 1967, Bay 1969, Verry & Boelter 1975, Verry et al. 1988, Nicholson et al. 1989, Burt et al. 1990). Daardoor loopt een hoogveen, ondanks zijn hoge ligging ten opzichte van de grondwaterstand in zijn omgeving, niet leeg. Overigens is het daarbij ook van belang dat de helling van de hoogveenkern klein is, zodat de afvoersnelheid van water niet te hoog is en niet alleen drogere plekken met vegetatietypen aanwezig zijn die kenmerkend zijn voor hoogveenbulten, maar ook natte slenken (zie ook paragraaf 2.2 onder mesoschaal; Van der Schaaf en Streefkerk 2002).

De veenmosplanten zelf spelen door hun bijzondere eigenschappen ook een cruciale rol in de hydrologie. Door hun holle 'hyaliene' cellen en opeengepakte groeiwijze zijn veenmossen in staat veel water op te nemen en als een spons vast te houden. Een veenmostapijt kan voor meer dan 95 % uit water bestaan. Door deze sponswerking kunnen intacte hoogvenen boven het niveau van grond- en oppervlaktewater uitgroeien en daarbij toch nat blijven. Daarnaast heeft een levend veenmosdek een regulerende invloed op de verdamping, doordat de capillaire nalevering van water naar de verdampende veenmoskopjes aanzienlijk vermindert wanneer het waterniveau in de acrotelm daalt. In zeer droge perioden drogen de veenmoskopjes uit en worden ze wit waardoor de verdamping verder vermindert (hogere reflectie van licht). Bij de eerstvolgende regenbui nemen de veenmoskopjes meteen weer water op. Bij grotere neerslaghoeveelheden worden ook de grotere poriën en ruimte tussen veenmosplanten weer gevuld en zwelt de acrotelm.

Het hoge aandeel van grote poriën in de acrotelm heeft ook invloed op de waterberging van een hoogveen. De bergingscoëfficiënt (de verhouding tussen de verandering in de hoeveelheid opgeslagen water en de

bijbehorende verandering in grondwaterstand<sup>1)</sup> is hoog en daardoor zijn de schommelingen van de waterstand beperkt. Door de afname van poriënvolume en poriëngrootte met de diepte zijn de bergingseigenschappen van veen diepteafhankelijk. Naarmate poriën kleiner zijn, houden ze water sterker vast. Daardoor neemt bij een lagere waterstand in het veenpakket de bergingscoëfficiënt af: hoe dieper in het veenpakket, hoe sterker de stijging of daling van het waterpeil bij toe- of afvoer van 1 mm water. Figuur 8 geeft een verband tussen bergingscoëfficiënt en diepte, zoals gevonden in het veen Lamminsuo op de Karelische landengte (Vorobiev 1963). Vergelijkbare verbanden zijn gevonden voor goed ontwikkelde acrotelms in Ierse hoogvenen (Van der Schaaf 1999). In een gemiddelde zomer blijft in intacte Atlantische hoogvenen de waterstand in de zone met relatief hoge bergingscoëfficiënten, de bovenste ±30 cm.



*Figuur 8. Verloop van de bergingscoëfficiënt (het quotiënt van de verandering in berging en de bijbehorende verandering van de waterstand) met de diepte in de toplaag (acrotelm) van het hoogveen Lamminsuo (Vorobiev 1963).*

Door het grote volume van water in het poreuze veenpakket en de elasticiteit van het materiaal leidt onttrekking van water tot het enigszins in elkaar zakken van het veenpakket. Dit uit zich in daling van het veenoppervlak in droge perioden. Bij variaties in het watervolume in het veenpakket in de loop van de seizoenen is de daling van het veenoppervlak meestal beperkt tot enkele cm tot circa een dm. Door de betrekkelijk korte duur van droge perioden is de daling van het veenoppervlak grotendeels omkeerbaar in het natte seizoen. Het verschijnsel wordt internationaal aangeduid met de Duitse term Mooratmung ('veenademhaling'). Mooratmung draagt op deze manier in droge perioden bij aan het beperken van de afstand tussen de vegetatielaag en de waterspiegel in het veen. In natte perioden draagt Mooratmung enigszins bij aan het boven de waterspiegel houden van veenmoskopjes.

### **Wegzijing en inklinking**

In een hoogveen bevindt zich de waterstand op een hoger niveau dan in zijn directe omgeving; dat hoort bij de definitie. Dat geldt meestal, maar niet noodzakelijkerwijs, ook voor de hoogteligging van het maaiveld. Voor de stijghoogte van het grondwater in de minerale ondergrond onder een

<sup>1</sup> Als de toevoer van 1 mm water leidt tot een stijging van de grondwaterstand met 10 mm, is de bergingscoëfficiënt gelijk aan 0,1. De bergingscoëfficiënt van open water is 1.



hoogveen zijn zowel de stijghoogte in het veen bepalend, als de stijghoogte in de omgeving van het veen. Welke van beiden de stijghoogte in de ondergrond het meeste beïnvloedt, hangt af van de geohydrologische situatie en van de verticale stromingsweerstand in de catotelm. Deze stromingsweerstand is afhankelijk van de veendikte en de verticale doorlatendheid in de catotelm. Zeer lokale en tijdelijke uitzonderingen daargelaten, ligt de stijghoogte van het (regionale) grondwater in de minerale ondergrond onder een hoogveen beneden het niveau van de waterstand in het veen. Daardoor is in een min of meer natuurlijk hoogveen de gemiddelde verticale stromingscomponent neerwaarts en treedt wegzijging op.

Wegzijging uit intacte hoogvenen in Europa ligt meestal rond 10-35 mm per jaar (Van der Schaaf 1999). Dergelijke verliezen (2-5% van de jaarneerslag) zijn van beperkt belang voor waterstandschommelingen in een hoogveen, omdat alleen al de verdamping zeker 10 maal hoger ligt. Wegzijging uit een hoogveen is afhankelijk van de dikte en doorlatendheid van het veenpakket en van de stijghoogte van het water in de minerale ondergrond direct onder het veen ('tegendruk' tegen wegzijging). De verticale weerstand is mede afhankelijk van de veendikte, maar een eenvoudig verband is er niet. Dit feit hangt in belangrijke mate samen met de mate van zetting (samendrukking) die het veen heeft ondergaan en de relatie tussen veendichtheid en doorlatendheid. In ieder natuurlijk hoogveen treedt vooral onderin het veenpakket een zekere mate van zetting op, wat de hiervoor genoemde betrekkelijk geringe wegzijging uit hoogvenen verklaart.



### 3 Effecten van aantastingen in hoogveenlandschappen



*Figuur 9. In het Schoonebeekerveld (Bargerveen) is turf gewonnen in een patroon van langgerekte stroken. Op de hogere, drogere stroken groeien nu vooral Dophei en Struikhei. Op de lagere, nattere stroken domineert - mede onder invloed van stikstofdepositie - Pijpenstrootje.*

#### 3.1 Historisch gebruik: uitgangssituaties voor hoogveenherstel en secundaire habitats

Een groot deel van de hoogvenen in het westen en noorden van Nederland zijn door zeespiegelstijging verdrinken of door zeewater weggeslagen. De rest van het hoogveenareaal is in de laatste eeuwen aangetast door ontwatering, ontginning en turfwinning. De huidige natuurreservaten vormen slechts een klein deel van de oorspronkelijke veenlandschappen die zich vaak vele kilometers uitstrekten over gebieden waar nu landbouwgronden en bebouwing zijn. Deze natuurreservaten waar hoogveenherstel tot doel is gesteld, zijn dus sterk aangetaste resterende veensnippers waar nu aan herstel wordt gewerkt. De uitgangssituatie voor het hoogveenherstel verschilde tussen en binnen de restanten; ze is afhankelijk van de wijze van verving en de samenstelling en dikte van het resterende veenpakket (zie kader) en bovendien van de huidige landschapsecologische setting.

(Hoog)veenvorming werd in de laatste eeuwen door ontwatering van het hoogveen zelf, maar ook van het omringende landschap sterk beperkt en vond voor het begin van de herstelperiode nog slechts zeer lokaal op kleine oppervlakten plaats, bijvoorbeeld in veenputten. De vervening en ontginning van de venen startte vanuit de rand van het veen, waar eerst de lagg-zones, laag- en overgangsvenen in gebruik werden genomen. Gradiënten en de daarvan afhankelijke planten- en diersoorten zijn door vervening en ontginning dan ook in de meest hoogveengebieden verdwenen. Alleen in een aantal kleinere (kom)venen zijn gradiënten nog in beperkte mate aanwezig (bijvoorbeeld Wooldse Veen, Korenburgerveen, Witte Veen en hoogveentjes in het Dwingelerveld), hoewel ze daar ook zeker niet onaangetast zijn. De delen van hoogveenrestanten waar geen turfwinning heeft plaatsgevonden, zoals gedeelten van de Engbertsdijksvenen, het Meerstalblok en het Fochteloërveen, zijn aangetast door de boekweitteelt. Daar is de bovenste laag van het veenpakket verbrand ten behoeve van die teelt. Bovendien vond ook in deze onvergraven veenrestanten drainage en mineralisatie en inklinking van het restveen plaats door het afgraven van het rondom het restant gelegen veenpakket.

#### **Uitgangssituaties hoogveenrestanten na vervening**

Na vervening had de terreinbeheerder van hoogveenrestanten te maken met de volgende uitgangssituaties. Tussen haakjes zijn voorbeeldgebieden genoemd. Binnen de restanten kwamen verschillende uitgangssituaties veelal naast elkaar voor.

- Relatief licht ontwaterde, niet afgegraven hoogveenrestanten, bestaande uit witveen op zwartveen (delen van Bargerveen, De Witten, onvergraven kern van de Engbertsdijksvenen en Fochteloërveen)
- Sterk ontwaterde, niet afgegraven hoogveenrestanten, bestaande uit sterk verdroogd en gehumificeerd witveen<sup>1</sup> op zwartveen (delen van Peelvenen)
- Deels afgegraven hoogveenrestanten, waar witveen is verwijderd en bolster<sup>2</sup> is teruggestort op zwartveen (delen van Bargerveen)
- Deels afgegraven hoogveenrestanten, waar witveen is verwijderd en zwartveen nagenoeg niet is aangetast (delen van Engbertsdijksvenen, Peelvenen en Aamsveen)
- Tot dunne restveenlaag afgegraven hoogveenrestanten, bestaande uit zwartveen, waarop bolster is teruggestort (delen van Bargerveen, Peelvenen)
- Tot dunne restveenlaag afgegraven hoogveenrestanten, bestaande uit zwartveen, zonder bolster (delen van Engbertsdijksvenen, Peelvenen, Haaksbergerveen en Wierdense Veld)
- Complexen van veenputjes (Haaksbergerveen, Wooldse Veen, Korenburgerveen, Mariapeel)

Naast de grote hoogvenen kwamen in het landschap ook veel kleinere hoogvenen voor in lokale depressies, zoals pingoruïnes, afgesnoerde beekdalen (blokkade door instuivend zand) en stuifkuilen, en eveneens in hangwaterveentjes (verkitte zandlaag, harde ijzerbank) en depressies op (kei)leem. Ook in deze veentjes is het oorspronkelijke veenpakket geheel of gedeeltelijk verwijderd.

<sup>1</sup>) Sterk gehumificeerd (of veraard) witveen is donker gekleurd; de kleur varieert van flets geel tot (rood)bruin of zwart.

<sup>2</sup>) Bolster is de toplaag van het veen, die bij veenwinning opzij werd gezet.

Terwijl enerzijds de randzones met gradiënten verloren gingen, ontstonden anderzijds door het menselijk gebruik van hoogvenen secundaire habitats, zoals de greppels die ten behoeve van de boekweitbrandcultuur zijn gegraven en de één-mans-verveningsputten (Figuur 10). Dit zijn habitats die niet voorkomen in zich natuurlijk ontwikkelende hoogveenlandschappen (zie Hoofdstuk 2). Uit het OBN-onderzoek is gebleken dat verschillende zeldzame en karakteristieke diersoorten een toevluchtsoord vonden in dergelijke secundaire habitats (Tomassen et al. 2003, Van Duinen et al. 2003 & 2004b, Verberk en Esselink 2006c). Blijkbaar hebben deze soorten het geleidelijke proces van degradatie van het hoogveengebied hier kunnen overleven. Waar kleinschalige turfwinning plaatsvond kon in kleine veentjes de invloed van grondwater op het oppervlaktewater en de vegetatie toenemen, terwijl door mineralisatie van restveen en lichte vermessing omgevingscondities ontstonden die enigszins overeenkomen met de condities in overgangsvenen of randzones van intacte veenlandschappen (iets minder zuur, iets hogere mineralenrijkdom, iets hogere beschikbaarheid van nutriënten dan in de oorspronkelijke hoogveenkernen). Hiervan konden verschillende dier- en plantensoorten profiteren, waaronder soorten die karakteristiek zijn voor de randen van hoogvenen. Door de ontwikkeling van zulke 'randcondities' in de voormalige hoogveenkern waren deze soorten in staat zich in lokale populaties te handhaven en soms in aantal toe te nemen in veenputten en greppels.



*Figuur 10. Een deel van de karakteristieke diersoorten van hoogveenlandschappen heeft in secundaire habitats, zoals greppels en veenputten, een toevluchtsoord gevonden. Bij een geleidelijk proces van aantasting van het veenlandschap konden ze daar overleven.*

Mede als gevolg van toenemende waterstandsfluctuaties zijn in afgetakelde hoogvenen tijdelijke wateren ontstaan. Verschillende voor (hoog)venen karakteristieke en zeldzame soorten komen in Nederlandse hoogveenrestanten vooral voor in deze tijdelijke wateren (Van Duinen et al. 2004a, 2008a, 2008b). Ook in intacte hoogvenen zijn tijdelijke wateren aanwezig: de slenken in hoogveenkernen en overgangsvenen en poelen in lagg-zones vallen veelal 's zomers droog.

Naast hoogveenrestanten kunnen ook vennen een secundaire habitat vormen voor karakteristieke soorten van het hoogveenlandschap. Veel vennen zijn ontstaan door turfwinning en een aantal daarvan kent zeer oligotrofe omstandigheden. Verschillende soorten die in intacte Europese venen vooral in dergelijke omstandigheden in de hoogveenkern voorkomen, zoals de Venwitsnuitlibel (*Leucorrhinia dubia*) en de waterkever *Laccophilus poecillus*, hebben in Nederland nog relictpopulaties in deze voedselarme vennen. In andere vennen, waar een lichte aanrijking plaatsvindt door baserijk grondwater of door oppervlakkige afstroming van water, vormen de

verschillende verlandingsvegetaties en variatie in de mate van buffering biotopen die vergelijkbaar zijn met het overgangsveen of de lagg in een intact veenlandschap. Dergelijke condities en bijbehorende soorten zijn gedeeltelijk ook nog terug te vinden in de kleinere (kom)venen (Verberk en Esselink 2004 & 2006c, Van Kleef 2010).

Dat zich een aantal soorten wisten te handhaven in dergelijke secundaire habitats, heeft te maken met de geleidelijkheid van het plaatsvindende veranderingsproces. Met name in gebieden waar zich geen snelle of grootschalige veranderingen hebben voorgedaan, konden zich relatief veel karakteristieke soorten handhaven door geschikte secundaire habitats te koloniseren en zo mee te schuiven naar het huidige leefgebied. Dit houdt in dat de vele verschillende kwaliteiten die huidige veenrestanten nog kunnen herbergen, vaak in een onnatuurlijke mozaïek voorkomen. De verschillende soorten namen veelal een andere positie in het oorspronkelijke veenlandschap in (en vaak buiten het huidige restant). Doordat soorten in staat waren zich vanuit hun oorspronkelijke habitats in secundaire habitats te vestigen, kunnen in veenrestanten ondanks de sterke aantasting nu nog relictpopulaties van karakteristieke soorten voorkomen. De aanwezigheid van relictpopulaties blijkt daarbij nauwelijks samen te hangen met de botanische kwaliteit (Van Duinen et al. 2003 & 2004b). Het voorkomen van karakteristieke soorten in terreindelen waar het veranderingsproces geleidelijk plaatsvond geldt overigens niet alleen voor de aquatische fauna, maar ook voor terrestrische fauna; zo werden de voor hoogvenen en natte heiden karakteristieke Turfloopkever en Veenmier in de Engbertsdijksvenen alleen in de onvergraven hoogveenkern aangetroffen en niet in de sterker vergraven en vernatte delen van dit veenrestant (Van Duinen et al. 2008c).

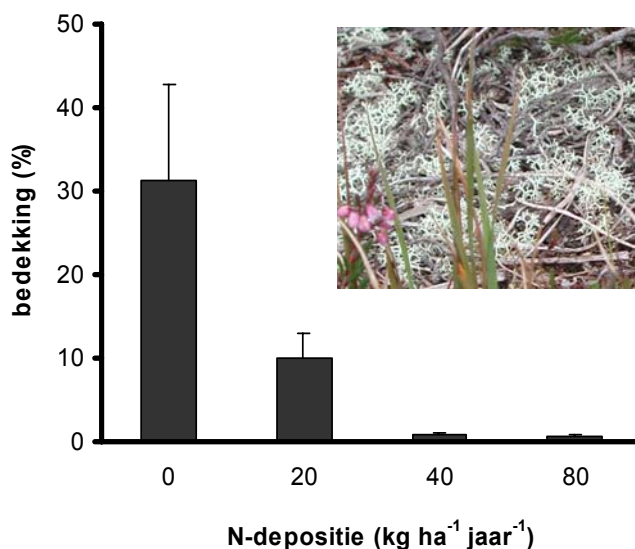
### **3.2 Vermesting grote boosdoener in hoogveen**

Hoewel de stikstofdepositie in de afgelopen jaren is gedaald, wordt het niveau van de kritische depositie voor hoogveenvegetaties in Nederland van 5 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (400 mol N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>; Van Dobben en Van Hinsberg 2008) overal in het land nog fors overschreden. Omdat levend hoogveen voor zijn voedingsstoffen geheel afhankelijk is van toevoer via neerslag en recycling binnen het systeem, heeft een verandering van de chemische samenstelling van de neerslag directe gevolgen. De hoge stikstofdepositieniveaus in het verleden hebben geleid, en leiden nog steeds, tot een sterke toename van vaatplanten – met name Pijpenstrootje en Berken – in de Nederlandse hoogveenrestanten. Ook het verdwijnen van korstmossen (*Cladonia* soorten) in Nederlandse hoogvenen is een gevolg van de luchtvervuiling: deze korstmossen zijn gevoelig voor hoge stikstofdepositie in combinatie met hoge depositie van zwavelverbindingen (Figuur 11).

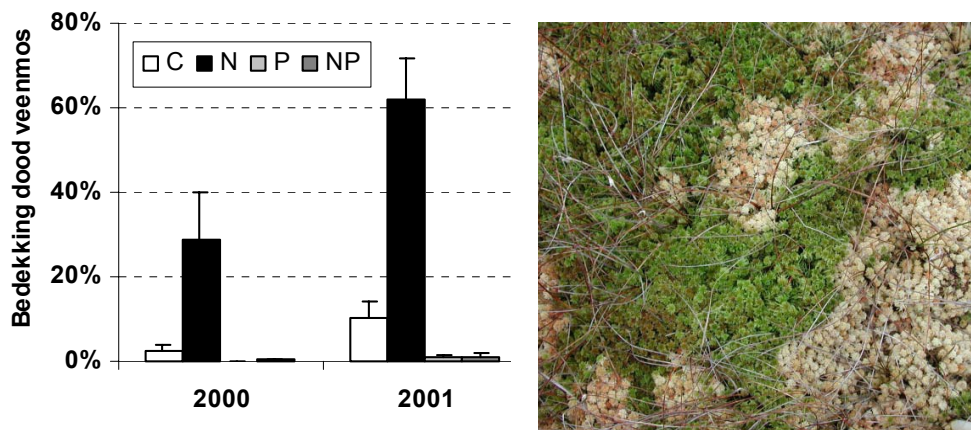
Als gevolg van de langdurige hoge depositie van stikstof in Nederland wordt de groei van de veenmossen niet meer door stikstof, maar vaak door fosfor (en in natte omstandigheden ook door koolstof) beperkt. De beschikbaarheid van fosfor is in de Nederlandse hoogveenrestanten ook beduidend hoger dan in intacte hoogvenen in minder vervuilde gebieden (Figuur 13, Van Duinen et al. 2006b). Het overschot aan stikstof en ook de limitatie door fosfor zijn in de veenmossen goed te meten aan de ophoping van stikstofrijke aminozuren (Limpens en Berendse 2003a, Tomassen et al. 2003b). Deze worden in planten gevormd wanneer meer stikstof binnenkomt dan kan worden gebruikt voor groei en onderhoud. Als gevolg van een hoger stikstofgehalte worden de

veenmossen ook gevoeliger voor een verhevigde vorm van infectie door de Veenmosgrauwkop (Figuur 12). Deze grijsbruine paddenstoel komt in venen van nature voor. Meestal blijft het gevolg van de infectie beperkt tot plaatselijke ontbladering van stengel en zijtakken, ongeveer 3 cm onder de top van het veenmos. Echter, bij hoge concentraties van ammonium in het water dat zich tussen de veenmossen bevindt, zoals die bijvoorbeeld gedurende de droge zomerperiode van 2003 optraden, kan de infectie zich uitbreiden tot de groeipunten van het veenmos, de 'capitula', waardoor deze afsterven en wit kleuren. In het veenmostapijt ontstaan duidelijk herkenbare witte plekken. Het afsterven en witkleuren door de infectie kan optreden bij alle in Nederland voorkomende veenmossoorten, maar komt vooral voor bij boven water uitgroeiend Waterveenmos. De dode plekken kunnen na verloop van tijd weer verdwijnen doordat ze vanuit de niet aangetaste omringende veenmosvegetatie weer opnieuw met veenmos begroeid raken.

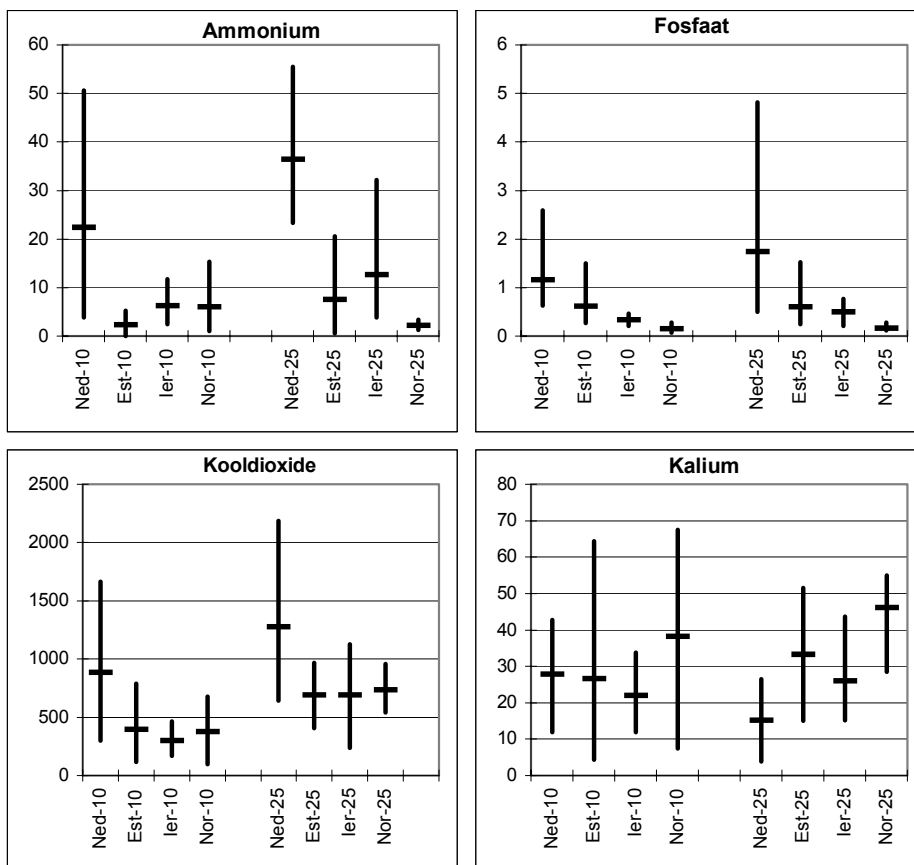
De stikstofdepositie is in ons land zo hoog opgelopen dat de veenmossen niet meer in staat zijn om al het binnenkomende stikstof op te nemen. Het zogenoemde 'veenmosfilter' is verzadigd, waardoor zich stikstof ophoopt in het veenvocht en beschikbaar komt voor hogere planten (Lamers et al. 2000). Vooral Pijpenstrootje en Berk zijn (mede) als gevolg daarvan zo gaan overheersen dat dit voor de beheerders een belangrijk probleem vormt. Deze soorten doen het vooral goed bij minder stabiele waterstanden, waarbij de grondwaterspiegel regelmatig dieper wegzakt. Echter, ook op drijftillen die met de waterstand op en neer bewegen, slaan Pijpenstro en Berk op, waarbij de vestigingskans sterk bepaald wordt door de groeisnelheid van de veenmossen en de beschikbaarheid van stikstof en, bij Berk, ook van fosfaat (zie vervolg). In permanent natte systemen (stabiel hoge grondwaterspiegel) nemen ook soorten als Kleine veenbes (*Oxycoccus palustris*) en Witte snavelbies zeer sterk toe bij een verhoogde stikstofdepositie.



Figuur 11. Bedekking van proefvlakken in een verdroogd deel van Clara bog (Ierland) door het korstmos *Cladonia* na drie jaar blootstelling aan verschillende stikstofdepositieniveaus. De foto toont *Cladonia* groeiend op een verdroogd deel van Clara bog.



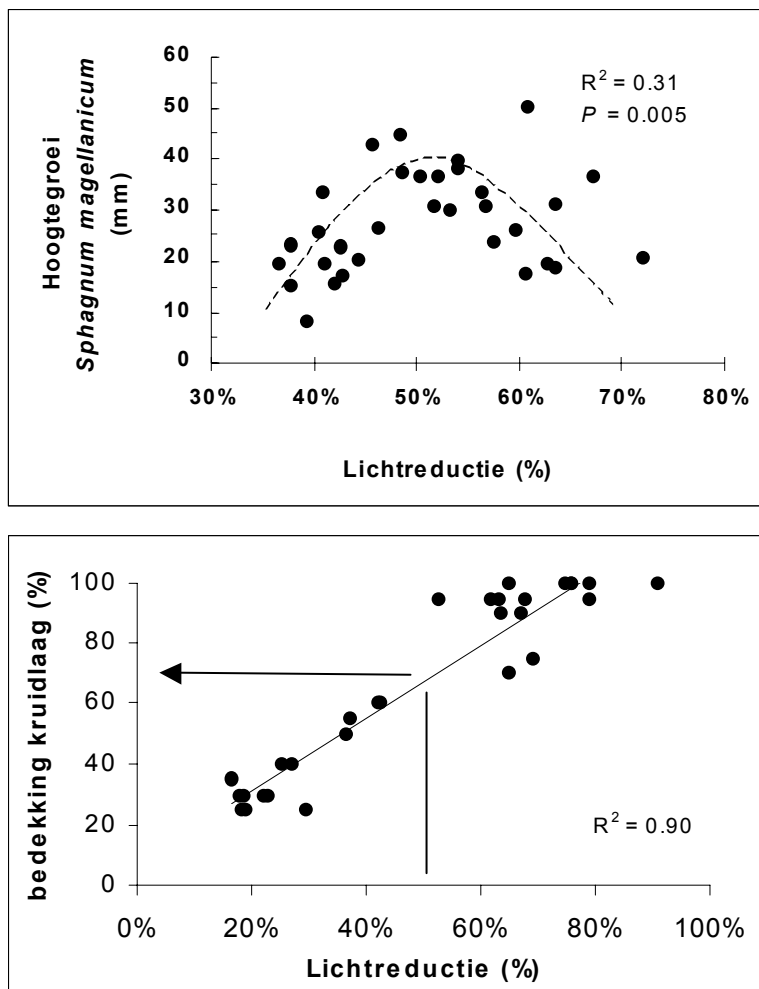
Figuur 12. Oppervlakte dood veenmos ( $\pm 1$  SE) per bemestingsbehandeling in de jaren 2000 en 2001 als gevolg van infectie door de Veenmosgrauwkop (*Tephroclype palustris*), een paddenstoel die dode plekken in het veenmostapijt kan veroorzaken. C staat voor de controlebehandeling, N voor stikstofbemesting, P voor fosfaatbemesting en NP voor stikstof + fosfaat bemesting.



Figuur 13. Concentraties van ammonium, fosfaat, koolstofdioxide en kalium ( $\mu\text{mol l}^{-1}$ ) in het bodemvocht van verschillende vennen in Nederland, Estland, Ierland en Noorwegen op 10 en 25 cm diepte. Weergegeven zijn gemiddelden en de minimale en maximale gemeten concentraties.

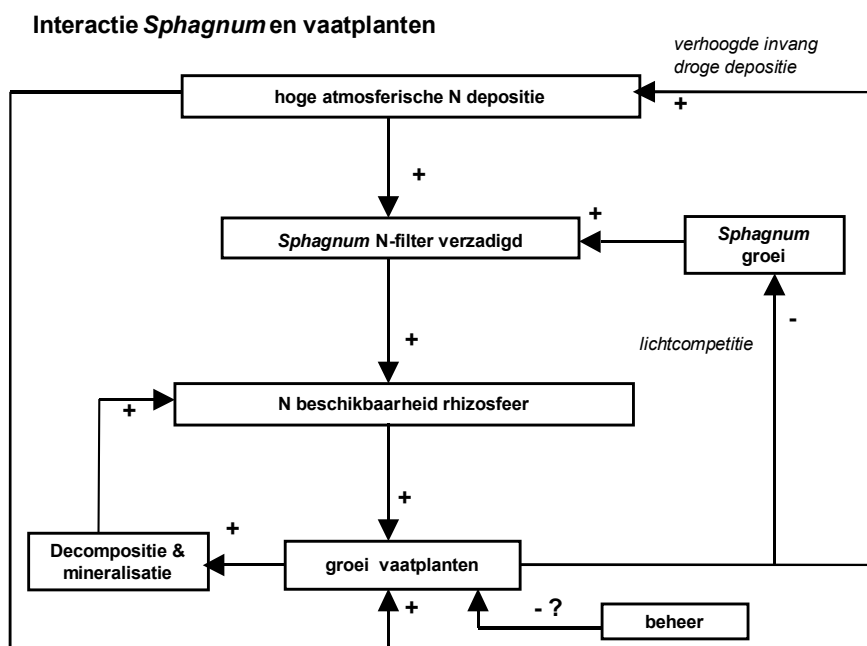


Uit laboratoriumexperimenten blijkt dat Berk alleen kan profiteren van een verhoogde stikstofbeschikbaarheid wanneer er tevens voldoende fosfaat beschikbaar is (Tomassen et al. 2003b, 2004b). In Nederlandse hoogvenen is de fosfaatbeschikbaarheid over het algemeen hoger dan in buitenlandse hoogvenen (Figuur 13, Van Duinen et al. 2006a). Dit kan verklaren waarom in (verdroogde) Nederlandse hoogvenen veel vaker een sterke toename van berken ('verberking') wordt waargenomen dan in relatief 'schone' landen als Ierland en Estland. Pijpenstrootje is in staat te profiteren van een verhoogde stikstofbeschikbaarheid zonder dat de fosfaatbeschikbaarheid toeneemt (Tomassen et al. 2003b). Pijpenstrootje kan zeer efficiënt fosfaat opnemen (Kirkham 2001) en uit experimenten bleek dat zelfs bij een depositieniveau van  $40 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  de groei van Pijpenstrootje nog steeds werd gelimiteerd door stikstof (Tomassen et al. 2003b).

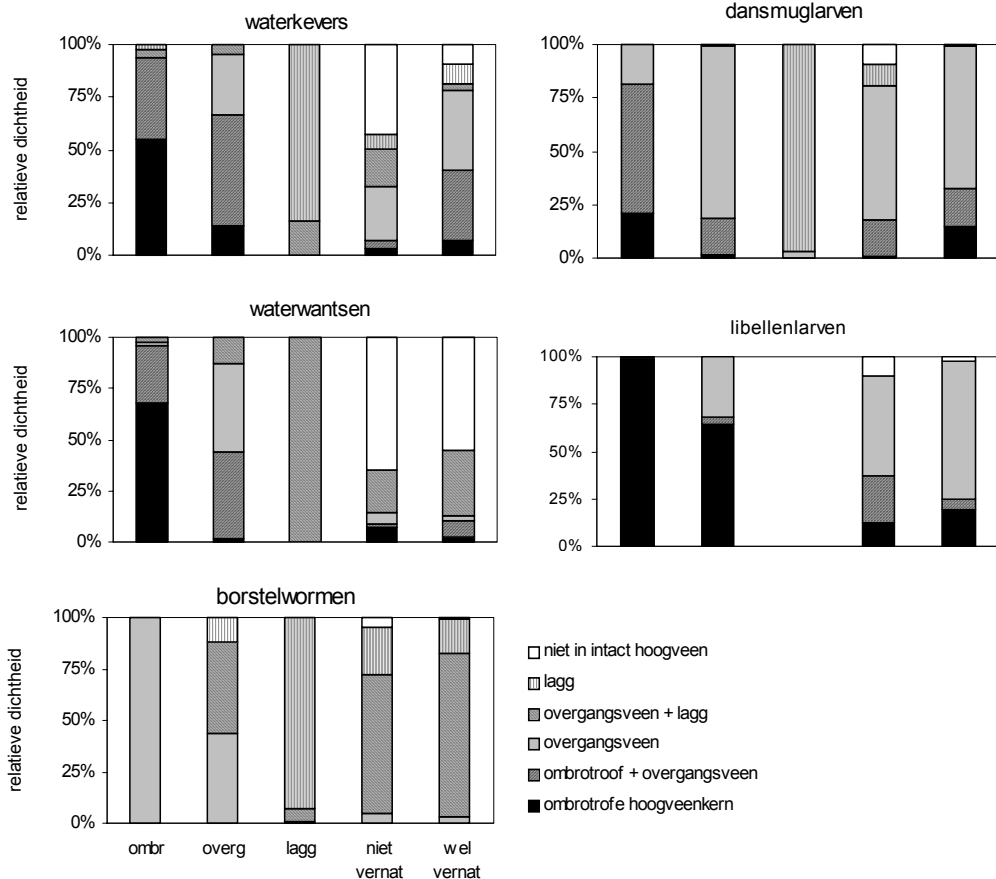


Figuur 14. Boven: De relatie tussen lichtreductie door de kruidlaag en hoogtegroei van Hoogveenveenmos. Onder: De relatie tussen lichtreductie door de kruidlaag en de geschatte bedekking van een Gewone dophei vegetatie. De punten zijn gemiddelden van 2 metingen net boven de veenmoslaag met behulp van een lichtmeter (lichtgevoelig oppervlak van  $1 \text{ m} \times 2 \text{ cm}$ , DeltaT).

Veenmossen worden positief beïnvloed door een lichte mate van beschaduwing, maar verdragen een sterkere beschaduwing door een toename van hogere planten slecht. Veenmosgroei wordt geremd, wanneer de beschaduwing hoger wordt dan 50%, wat overeenkomt met een kruidlaagbedekking van  $\pm 70\%$  (Figuur 14; Limpens et al. 2003c). Een sterke beschaduwing van het veenmosdek blijkt bij een hoge stikstofbelasting ook te leiden tot een toename van de groei van algen, wat ongunstig is voor veenmosgroei (Limpens et al. 2003d). De verminderde groei van veenmossen als gevolg van beschaduwing en algengroei leidt tot een lagere stikstofopname, waardoor meer stikstof beschikbaar komt voor de vaatplanten. De nutriënten die dan dus worden vastgelegd in de vaatplanten, komen bovendien sneller opnieuw beschikbaar in het veen omdat vaatplanten gemakkelijker afbreekbaar zijn dan veenmossen (Limpens en Berendse 2003b). Meer vaatplanten zullen ook meer droge depositie invangen, waardoor de stikstofbelasting nog verder toeneemt. Dit kan resulteren in een verhoogde beschikbaarheid van stikstof voor berken en Pijpenstrootje. Bovendien komt via de jaarlijkse bladval van Berken evenveel tot dubbel zo veel fosfor op het veenoppervlak terecht als via de neerslag (Limpens 2009). Daarnaast hebben hogere planten door de interceptie van neerslag (met blad neerslag opvangen voordat het de bodem bereikt) en een hogere verdamping ook een negatief effect op de waterhuishouding, waardoor de decompositie nog verder gestimuleerd wordt. Op deze manier ontstaat een positieve terugkoppeling die leidt tot een almaar grotere dominantie van vaatplanten. De interacties tussen Veenmos en vaatplanten worden weergegeven in Figuur 15.



*Figuur 15. Schema van de interacties tussen veenmossen en vaatplanten bij een hoge atmosferische stikstofdepositie. Voor een verklaring van het schema zie de tekst.*



Figuur 16. Relatieve dichtheden van waterkevers, dansmuglarven, waterwantsen, libellenlarven en borstelwormen, waarbij de soorten zijn ingedeeld in zes klassen op basis van hun preferentie voor de ombrotrofe hoogveenkern, overgangsvveen en lagg in de intacte Estlandse hoogvenen. De monsterpunten in de Estlandse hoogvenen zijn gegroepeerd in ombrotrofe wateren (ombr.; n=12), wateren in overgangsvveen (overg.; n=18) en de lagg (n=4). De monsterpunten in de Nederlandse hoogveenrestanten zijn onderverdeeld in wateren die wel (n=27) en niet (n=19) zijn gevormd door vernattingsmaatregelen.

Onder invloed van eutrofiëring blijken in de hoogvenen ook de basis van de aquatische voedselketen (Van Duinen et al. 2006c) en de soortensamenstelling van de fauna (Van Duinen et al. 2004b) te verschuiven. In de watermacrofauna van de Nederlandse hoogveenwateren overheerst een deel van de soorten die in een intact hoogveenlandschap in Estland vooral in de overgangsvveen voorkomen, waar de beschikbaarheid van voedingsstoffen van nature groter is dan in de hoogveenkern (Figuur 16). Tussen intacte Estlandse en aangetaste Nederlandse hoogvenen zien we verschuivingen in dominantie tussen verwante soorten. Zo is in de poelen in de Estlandse hoogveenkern de Venwitsnuitlibel de meest abundante libellenlarve, terwijl de Noordse witsnuitlibel (*Leucorrhinia rubicunda*) in Estland alleen in de overgangsvveen voorkomt. In Nederlandse hoogveenwateren is de Noordse witsnuitlibel talrijk, terwijl de Venwitsnuitlibel weinig wordt aangetroffen (Van Duinen et al. 2008b). Deze laatste soort vindt in Nederland vooral een refugium in voedselarme vennen (NVL 2002), een secundaire habitat (zie paragraaf 3.1) die qua omgevingscondities sterker overeenkomt met wateren in intacte hoogveenkern dan de meeste van de wateren in

hoogveenrestanten. Bij o.a. waterkevers en borstelwormen zien we vergelijkbare verschuivingen in dominantie tussen verwante soorten. De verklaring schuilt waarschijnlijk in fysiologische verschillen tussen deze verwante soorten, waarbij mogelijk de soorten die goed in staat zijn om hun biomassa op te bouwen uit voedsel met een laag nutriëntengehalte, hun concurrentievoordeel hebben verloren in de nutriëntenrijke situatie (Elser et al. 2000) zoals die in de Nederlandse hoogveenrestanten aanwezig is. Andersom is voor soorten die hier niet toe in staat zijn, de belangrijkste beperking voor hun voorkomen in intacte hoogveenkernen, in Nederlandse hoogveenrestanten opgeheven. Het opheffen van een beperkende factor betekent dat soorten die voorheen niet in hoogvenen voorkwamen, zich nu wel kunnen vestigen in hoogvenen (Burmeister 1980, Wheeler en Shaw 1995, Irmeler et al. 1998). Zo komt de duikerwants *Cymatia coleoptrata* wel in Estland voor, maar niet in de intacte hoogvenen, terwijl deze soort de meest talrijke wantsensoort is in de wateren van Nederlandse hoogveenrestanten. Minder concurrentiekrachtige soorten, waarvan de levensstrategie aangepast is op de beperkingen, zijn in de nutriëntenrijkere omstandigheden in het nadeel en kunnen onder deze omstandigheden verdwijnen.

Zoals in het voorgaande vermeld, neemt door de verhoogde beschikbaarheid van voedingsstoffen de groei van algen toe, waardoor het voorkomen van algenetende soorten wordt beïnvloed. Door de verhoogde atmosferische depositie neemt het gehalte van voedingsstoffen die zijn opgeslagen in de planten toe. Doordat voedselrijker plantenmateriaal gemakkelijker wordt afgebroken dan voedselarm materiaal, is ook de kwaliteit en afbraaksnelheid van het afgestorven plantenmateriaal veranderd. Dit heeft weer gevolgen voor de dieren die van dood plantenmateriaal leven. Verder wordt bij de afbraak van organisch materiaal zuurstof geconsumeerd. Een sterkere afbraak kan daardoor leiden tot het vaker en langduriger optreden van periodieke zuurstoftekorten. Dit levert problemen op voor dieren die leven in natte omstandigheden en zuurstof uit het water moeten opnemen, zoals larven van dansmuggen, libellen en kokerjuffers. Dit geldt ook voor bijvoorbeeld de kokerjuffer *Rhadicoleptus alpestris*, waarvan bekend is dat deze geen organische vervuiling (met als gevolg sterke zuurstoftekorten) verdraagt (Higler 2005).

In tegenstelling tot de beschikbaarheid van stikstof en fosfaat neemt de beschikbaarheid van mineralen zoals calcium en nikkel niet toe; mogelijk is deze zelfs afgenomen onder invloed van zure neerslag en door afname van de invloed van basenrijk grondwater als gevolg van ontwatering van de omgeving. Voor plantenetende insecten kan dit grote gevolgen hebben. Mogelijk hebben de veranderingen in kwaliteit van het plantaardige materiaal geleid tot de afname en het verdwijnen van karakteristieke soorten in hoogvenen. Bij onderzoek naar Sperwers in droge bossen komt naar voren dat de toename van nutriënten en de afname van de beschikbaarheid van mineralen of micronutriënten mogelijk problemen oplevert in de ontwikkeling van embryo's (Van den Burg 2006, Siepel et al. 2009). Hetzelfde kan gelden voor de ongewervelde fauna. Uit het OBN-onderzoek in heiden (Vogels et al. 2011) en stuifzanden (Nijssen & Siepel 2010) komt naar voren dat hogere concentraties van stikstof in andere verbindingen dan aminozuren (of eiwitten) leiden tot een verminderde groei en een verhoogde sterfte bij insecten (onderzocht bij vlinderrupsen en sprinkhanen). Rupsen van de Veenbesparelmoervlinder blijken beter te groeien wanneer zij jonge blaadjes van Kleine Veenbes uit een hoogveen in de Belgische Ardennen te eten krijgen dan wanneer zij jonge veenbesblaadjes krijgen uit een Drents hoogveentje, waar de invloed van gebufferd grondwater veel geringer is (Van Duinen et al. 2011). Welke verschillen in bladkwaliteit hiervoor

verantwoordelijk zijn, is nog niet opgehelderd. De huidige onderzoeksresultaten geven wel een extra aanleiding om te werken aan reductie van de stikstofdepositie én herstel van de invloed van (regionaal) grondwater waar dit door drainage dusdanig is afgenomen dat geen aanrijking met mineralen meer plaatsvindt. Juist de soorten die in intacte veensystemen in de licht door grondwater gevoede overgangsvenen voorkomen, zoals Veenbesparelmoervlinder, Veenbesblauwtje en Veenhooibeestje (Van Swaay & Wallis de Vries 2001, Van Duinen et al. 2006a), hebben zeer waarschijnlijk sterk geleden onder de afname van grondwaterinvloed en het daarmee gepaard gaande verlies van aanrijking met mineralen.

Door de toename van de dichtheid van de kruidlaag neemt de beschaduwing toe (zie boven). Als gevolg daarvan wordt het microklimaat meer gebufferd. Met andere woorden: er is minder sterke instraling van de zon en er zijn kleinere temperatuurschommelingen. Dit heeft gevolgen voor de dieren die op de bodem of net onder het veenmosoppervlak leven, zoals spinnen, loopkevers en kortschildkevers. De kruidlaag is tot een 'deken' verdicht door de stikstofdepositie en zo is ook een vervlakking van de oorspronkelijke ruimtelijke variatie opgetreden. Vergrassing zorgt voor een meer homogene vegetatiestructuur. Diersoorten die open, zonbeschenen veenmostapijten of – bulten of ruimtelijke variatie nodig hebben om in hun levensbehoeften te voorzien, komen daardoor in de problemen (Van Duinen et al. 2008c).

### **3.3 Verdroging van hoogveen: niet alleen watertekort**

De overgebleven snippers actief hoogveen in Nederland komen voor op plekken waar verdroging lokaal beperkt is gebleven. Het gaat om hoogveen dat hydrologisch relatief geïsoleerd ligt van de ondergrond en omgeving, of om hoogveen dat op kleinere systeemchaal hydrologisch nog enigszins functioneert, zoals dat bijvoorbeeld bij een aantal hoogveenvennen het geval is. Verdroging kan ruwweg op twee verschillende niveaus ingrijpen: lokaal en regionaal.

Op lokaal niveau belemmert verdroging in hoogvenen de groei van veenmossen en leidt het tot een grotere biologische afbraak van het veen. De afbraak wordt gestimuleerd doordat zowel de temperatuur als de zuurstofbeschikbaarheid in het veenpakket toenemen. Dit afbraakproces heeft invloed op de bergingscapaciteit van het veen. Wanneer de afbraak/humificatie van het veen vordert, neemt de bergingscapaciteit van het veen af (zie paragraaf 2.4). Als gevolg hiervan nemen de waterstandfluctuaties in het veenpakket toe. Dit is gunstig voor Pijpenstrootje en Berk, maar ongunstig voor veenmossen. Veenmosgroei is sterk afhankelijk van het watergehalte dat de mossen in hun groeipunt, het 'capitulum', kunnen handhaven. De mate waarin veenmosgroei belemmerd wordt door droogte, hangt sterk af van de veenmossoort: bultvormende veenmossoorten hebben minder last van droogte dan soorten die in slenken groeien, hoewel de laatste na volledige uitdroging wel een sneller herstel laten zien. Wanneer het watergehalte zakt beneden een bepaald niveau, stopt de veenmosgroei en worden hogere planten minder snel overgroeid. Groei van hogere planten wordt in het hoogveen zelden door watertekort beperkt; beperkend zijn bij hogere planten vooral de hoeveelheid beschikbare voedingsstoffen. Bij het zakken van de waterspiegel wordt het afbraakproces gestimuleerd en komen extra voedingsstoffen vrij. Op deze manier werkt verdroging groei van hogere

planten dubbel in de hand: enerzijds door remmen van de veenmosgroei, anderzijds door stimulering van de veenafbraak.

Afname van de stabiliteit van de vochtuithouding leidt verder tot een verandering in de soortensamenstelling van de fauna die in en op de veenmostapigten leeft (o.a. kortschildkevers, loopkevers, spinnen en langpootmuggen) en kan tot afname of verdwijnen van kenmerkende soorten leiden (Schikora 2002, Van Duinen et al. 2008c). Door lagere waterstanden en/of een sterkere fluctuatie van waterstanden kunnen (afhankelijk van de doorlatendheid van het veenpakket onder veenpoelen) permanente wateren veranderen in tijdelijke wateren en vallen tijdelijke wateren in droge perioden eerder droog. Voor de ongewervelde waterfauna is het droogvalregime uiteraard een belangrijke sturende factor (Van Duinen et al. 2004a, 2008b). Door verdroging kunnen meer tijdelijke poelen ontstaan, waarvan de waterhoudende periode te kort is voor de ontwikkeling van carnivore ongewervelden en alleen nog geschikt is voor ongewervelden met een snelle ontwikkeling, zoals steekmuggen (Verdonschot et al. 1988, Verdonschot 2009). Voor vogels die foerageren in natte situaties in hoogvenen, zoals Watersnip (*Gallinago gallinago*), betekent afname van de oppervlakte van natte plekken een afname van de oppervlakte geschikt foerageergebied.

Verandering in neerslagpatronen kunnen tot vergelijkbare effecten leiden. Langdurige voorjaars- en zomerdroogten hebben een nadelige uitwerking op de veenmosgroei en een voordelige uitwerking op de groei van hogere planten.

Indirect leidt verdroging, via afname van de veenmosgroei, tot afname van de vastlegging van stikstof door veenmossen. De beschikbaarheid van stikstof voor vaatplanten neemt hierdoor toe en daarmee ook de bedekking door ongewenste soorten als Pijpenstrootje en Berk. Deze verruiging van de vegetatie leidt tot een toename van de interceptie van regenwater en daarmee tot een verdere verlaging van de waterstand. Daarnaast neemt de verdamping door de vegetatie toe bij een toename van de berkendichtheid (Limpens 2011).

Op regionaal niveau kan door ingrepen in de (grond)waterhuishouding, waaronder drinkwaterwinning en drainage voor de landbouw, de toestroming van grondwater naar de ondiepe ondergrond van (hoog)venen sterk verminderen of de grondwaterstand onder het veenpakket dalen. Dit grondwater is in meer of mindere mate gebufferd en aangerijkt met mineralen en is essentieel voor het functioneren van een hoogveenlandschap in drie aspecten.

Ten eerste heeft het grondwaterpeil direct invloed op de waterstanden in het hoogveen, wanneer het resterende veenpakket dun, doorlatend of gescheurd is. Verlaging van het grondwaterpeil leidt dan tot sterkere fluctuaties van de waterstand in het veenpakket en daardoor ook in de vochtvoorziening voor de vegetatie en fauna die zich op het veenpakket bevindt, zoals hierboven is beschreven.

Ten tweede speelt grondwater een belangrijke rol in de koolstofvoorziening van veenmossen. Via het ondiepe grondwater kan kooldioxide (CO<sub>2</sub>) aangevoerd worden, dat een grote rol speelt in de groei van veenmossen (zie paragraaf 2.3), vooral in vroege successiestadia en onder natte omstandigheden – bij inundatie – en dus ook in herstellende hoogvenen. De veenmosgroei wordt sterk gestimuleerd door hoge concentraties kooldioxide in de waterlaag (400-500 µmol CO<sub>2</sub> per liter). Veenmossen hebben net als alle

andere planten koolstof nodig voor hun groei en nemen dit op in de vorm van CO<sub>2</sub> uit de lucht in het geval ze daarmee in direct contact staan, of uit het water in de vorm van CO<sub>2</sub> of methaan (CH<sub>4</sub>). In het laatste geval zetten met het veenmos samenlevende 'methanotrofe' bacteriën het methaan om in CO<sub>2</sub>, dat vervolgens door de veenmossen gebruikt wordt in de fotosynthese en groei (Raghoebarsing et al. 2005). Om voor veenmosgroei voldoende koolstof in de waterlaag te hebben, is aanvoer van koolstof nodig: dit kan koolstof zijn die is vrijgekomen bij afbraak van het onderliggende organisch materiaal (benthisch koolstof), of koolstof die toegevoerd wordt met kwelwater of oppervlakkig en ondiep toestromend water, bijvoorbeeld vanaf aangrenzende dekzandruggen (Verschoor et al. 2003, Tomassen et al. 2011b). De productie van benthisch koolstof in het restveenpakket wordt gestimuleerd wanneer gebufferd grondwater tot in de veenbasis reikt (zie paragraaf 2.3). Afname van grondwaterinvloed in de veenbasis van de omgeving kan dus leiden tot een afname van de koolstofbeschikbaarheid voor veenmosgroei in het hoogveen.

Ten derde is de invloed van gebufferd grondwater essentieel voor de instandhouding en het herstel van gradiënten vanuit hoogveenkernen naar meer gebufferde en mineralenrijkere omstandigheden (afvoerlaagtes, overgangsvenen, lagg-zones) en leefcondities voor karakteristieke en in Nederland zeldzame soorten. Dan gaat het met name om soorten die van dergelijke gradiënten afhankelijk zijn, zoals Plat blaasjeskruid (*Utricularia intermedia*), Kleinste egelskop (*Sparganium natans*), Gevlekte glanslibel (*Somatochlora flavomaculata*), Hoogveenglanslibel (*Somatochlora arctica*), Speerwaterjuffer (*Coenagrion hastulatum*) en de kokerjuffer *Hagenella clathrata* (Van Kleef 2010, Van Duinen et al. 2011).

Omdat de problemen als gevolg van aantasting van het grotere hydrologisch systeem, waar een hoogveen deel van uitmaakt, verder reiken dan verdroging – en ook vermesting en afname van beschikbaarheid van koolstof en mineralen omvatten – moet de oplossing van die problemen ook verder reiken dan vernatting. Een adequate aanpak van het hoogveenherstel vereist inzicht in het functioneren van het systeem op landschapsschaal in relatie tot het voorkomen van planten- en diersoorten. In hoofdstuk 4 wordt daar verder op ingegaan.





## 4 Herstel van hoogveensystemen en veenvorming



*Figuur 17. In de afgelopen decennia zijn vele kilometers kade aangelegd in Nederlandse hoogveenrestanten om daarmee compartimenten te creëren waarbinnen een voor hoogveenvorming zo gunstig mogelijk waterregime gehanteerd kan worden.*

### 4.1 Herstel op micro-, meso- en macroschaal

Herstel van hoogveenen kan op verschillende schaalniveaus plaatsvinden: micro-, meso- en macroschaal (paragraaf 2.2). Om onduidelijkheden en verwarring over (mogelijke) toekomstbeelden bij hoogveenherstel te voorkomen, is het van wezenlijk belang scherp voor ogen te hebben wat verwacht wordt bij een herstelproject. In het onderstaande kader zijn de mogelijke doelen met hun eigen schaalniveau genoemd. Op welk schaalniveau herstel kan optreden en welke doelen passend en realistisch zijn, is afhankelijk van de Ausgangssituatie van het betreffende veenrestant. Bij het formuleren van passende doelen en de ontwikkeling van een passende herstelstrategie is het van belang inzicht te hebben in de volgende aspecten:

- 1) de ontwikkeling en het functioneren van het oorspronkelijke veenlandschap in zijn landschapsecologische setting,

- 2) de verschillende aantastingen en het huidige functioneren van het landschap in relatie tot het voorkomen van planten- en diersoorten binnen het restant en
- 3) de mogelijkheden en beperkingen voor herstel.

### **Doelen voor hoogveenherstel met hun ruimtelijke schaalniveaus**

#### *1. Herstel van standplaatscondities voor hoogveensoorten of -gemeenschappen (microschaalniveau)*

Dit kan op kleine schaal gebeuren waar het veenoppervlak weer voldoende vernat kan worden voor het behoud of de vestiging van hoogveensoorten. Dit doel kan in delen van de veenrestanten bereikt worden met lokale maatregelen, maar voor herstel van standplaatscondities over grotere oppervlakten zijn vaak herstelmaatregelen in het grotere hydrologische systeem noodzakelijk, vooral gericht op een hoge stijghoogte van het grondwater onder het veenrestant.

#### *2. Herstel van een levend hoogveensysteem (mesoschaalniveau)*

Hierbij gaat het naast het behoud en herstel van populaties van kenmerkende planten- en diersoorten vooral om herstel van ecologische en hydrologische processen, zodat zich weer een actief veenvormend en zichzelf handhavend veensysteem kan vormen. De schaal waarop hierbij maatregelen moeten worden genomen, is meestal beduidend groter dan bij herstel op microschaal, hoewel voor beide in de meeste situaties maatregelen in het grotere hydrologische systeem noodzakelijk zijn.

#### *3. Herstel van hoogveenlandschappen (macroschaalniveau)*

In de oorspronkelijke Nederlandse hoogveenlandschappen was een veelheid aan gradiënten aanwezig: van voedselarm naar voedselrijker, van zuur naar enigszins gebufferd, van nat naar droog. Dit had een rijke schakering aan vegetaties tot gevolg. Wanneer men gehele hoogveenlandschappen wenst te herstellen, betekent dit meestal een aanzienlijke vergroting van het bij de maatregelen te betrekken gebied. Het is duidelijk dat herstel van de uitgestrekte venen, zoals het vroegere Bourtangerveen of de Peel, niet mogelijk is op de oorspronkelijke landschapsschaal. Echter, in en om de restanten van deze uitgestrekte venen kan het nog wel mogelijk zijn onderdelen van het veenlandschap en daarbij horende gradiënten te behouden of te ontwikkelen die ook ecologisch functioneel zijn. Dit vergt uiteraard herstelmaatregelen in het grotere hydrologische systeem waar het hoogveenrestant deel van uitmaakt.

(Met wijzigingen overgenomen uit: Schouwenaars et al. 2002)

De meeste hoogveenrestanten in Nederland omvatten alleen een restant van de vroegere hoogveenkern. Restanten van gradiënten van hoogveenkern naar de mineraalrijkere omgeving zijn vrijwel alleen in kleinere (kom)venen nog aanwezig. Overigens kunnen ook in laagveensystemen dergelijke gradiënten en overgangsvenen (bijv. veenmosrietland) aanwezig zijn. Op plekken waar regenwater gaat domineren over gebufferd grond- of oppervlaktewater vinden in laagveensystemen soms spectaculaire ontwikkelingen in de richting van hoogveen plaats. In de meeste hoogveenrestanten is herstel op macroschaal van (een deel van) het hoogveenlandschap met een gradiënt op de oorspronkelijke locatie niet meer mogelijk. Waar dit herstel op de oorspronkelijke locatie niet meer mogelijk is, kan rondom het huidige restant

(bijv. op voormalige landbouwgronden) mogelijk wel een overgangszone ontwikkeld worden, die voor het functioneren van het hoogveensysteem en voor de biodiversiteit van groot belang is. Het Korenburgerveen, Haaksbergerveen, Wooldse Veen en enkele kleine veentjes in boswachterijen bieden mogelijkheden voor het herstel van een lagg of overgangsveen, maar er is nog wel nader onderzoek nodig naar de processen die landschapsecologisch van belang zijn voor de ontwikkeling en het functioneren ervan.

De wijze van inrichting en potenties voor het herstel van biodiversiteit van te ontwikkelen overgangszones zijn uiteraard afhankelijk van de huidige landschapsecologische setting van het hoogveenrestant: de geomorfologie en het geohydrologische systeem waar het veenrestant deel van uitmaakt. Dat geldt ook voor hydrologische bufferzones die ten behoeve van hoogveenherstel worden ingericht. Overigens kan zo'n bufferzone meer kansen voor herstel van biodiversiteit bieden dan enkel een hydrologische buffer ter ondersteuning van het herstel in het bestaande reservaat. De Nederlandse veenrestanten hebben meestal harde grenzen, zowel aan de randen als intern. Dat komt door de vroeger gebruikelijke bloksgewijze verving en inrichting in kavels met aanleg van dammen. In o.a. Estland zijn de gradiënten weliswaar gedeeltelijk aangetast, maar liggen ze in veel terreinen nog wel op de oorspronkelijke plek in de functionele context. Voor herstel van vereiste kwaliteiten in gradiënten bieden meer intacte veenlandschappen zoals in Estland en enkele Ierse venen, maar ook bijvoorbeeld langs de westkust van Canada, de oostkust van Rusland, of het West-Siberisch laagland waardevolle leerobjecten. Daar is het hydrologische en biologische functioneren van natuurlijke gradiënten nog te achterhalen.

Door het vroegere gebruik van venen, de mineralisatie van restveen en de vermesting zijn in de huidige veenrestanten secundaire habitats aanwezig waar omgevingscondities heersen die gedeeltelijk overeenkomen met de condities in overgangsvenen of randzones van complete natuurlijke veenlandschappen (zie paragraaf 3.1). Deze secundaire habitats kunnen momenteel als toevluchtsoord functioneren (refugiumfunctie) voor karakteristieke soorten die in het oorspronkelijke hoogveenlandschap voorkwamen in een overgangsveen, veenbeek of lagg-zone. Weliswaar is de variatie in standplaatscondities door het vroegere gebruik en de uitvoering van herstelmaatregelen nu vaak aanwezig in een onnatuurlijk mozaïek in plaats van op een natuurlijke plek in een gradiënt, maar dat maakt de bestaande variatie niet minder belangrijk voor het behoud en herstel van de soortendiversiteit van complete hoogveenlandschappen. Ook binnen een klein veenrestant is behoud of herstel van (een deel van) de variatie in standplaatscondities veelal mogelijk en aan te bevelen (Verberk et al. 2009).

In de meeste vergraven en verdroogde hoogveenrestanten was toen ze natuurgebied werden veenmosgroei beperkt tot veenputten en natte laagten. Daarom werden daar in de afgelopen decennia maatregelen genomen met als doel over grotere oppervlakten de juiste standplaatscondities te creëren voor hoogveensoorten of hoogveengemeenschappen. Dit betekende in de praktijk dat vernattingsmaatregelen genomen werden om regenwater langer en op een hoger peil vast te houden met behulp van dammen en stuwen en door het dempen van ontwateringssloten in het veen. Herstel van standplaatscondities voor hoogveensoorten of hoogveengemeenschappen wordt gezien als herstel op microschaalniveau. Het is de bedoeling dat zich een acrotelm ontwikkelt die begint met kleine kernen die zich uitbreiden. Gaat een acrotelm uiteindelijk een grotere oppervlakte innemen, dan komt de hydrologische zelfregulering tot stand die voor het functioneren van het

hoogveensysteem zo van belang is en waarbij zich de microtopografie van bulten en slenken (paragraaf 2.2) ontwikkelt. Wanneer dat het geval is, heeft het herstel zich uitgebreid naar mesoschaalniveau. In die fase van het herstel gaan de eigenschappen van een functionerende hoogveenkern op mesoschaal een steeds grotere rol spelen. De stroombaanlengte (zie paragraaf 2.2 onder mesoschaal) en helling van het veen worden dan mede sturend in de ontwikkeling van bultvormende vegetaties en de variatie in standplaatscondities binnen de hoogveenkern. In hoogveenreservaten met een systeem van compartimentering die zich bevinden in die fase van herstel is het van bijzonder belang peilverschillen tussen aangrenzende compartimenten beperkt te houden of geleidelijk kleiner te maken, zodat het herstel op mesoschaal door kan zetten. Dan gaat het er dus niet meer alleen om dat de condities binnen elk compartiment op zichzelf optimaal zijn voor herstel van de veenvorming en behoud en herstel van populaties van soorten, maar ook de onderlinge samenhang is een belangrijk aandachtspunt.



*Figuur 18. In vergraven en verdroogde hoogveenrestanten was toen ze natuurgebied werden veenmosgroei beperkt tot veenputten en natte laagten. Dat is nog steeds het geval in delen van de restanten waar (nog) geen vernattingsmaatregelen zijn genomen of waar door hun hoge ligging ten opzichte van de omringende delen de waterstand niet aan het maaiveld komt.*

Begint het hoogveensysteem op mesoschaal eenmaal te functioneren, dan zou dit op de langere termijn ook de omgeving van het hoogveen kunnen gaan beïnvloeden. Het bevorderen van effecten op microschaalniveau kan zo uiteindelijk leiden tot effecten op meso- tot macroschaalniveau. Door deze van-klein-naar-groot herstelstrategie zouden op de lange termijn gradiëntsituaties kunnen ontstaan aan de randen van het veen, waar het zure, voedselarme water uit het veen zich vermengt met voedselrijker, gebufferd water uit de omgeving. Voorwaarde is dan wel dat de inrichting van het landschap en de inbedding van het veen in het landschap ruimte bieden aan de ontwikkeling van dergelijke overgangen. Momenteel zijn de grenzen tussen hoogveenrestanten, waarin het beheer gericht is op ontwikkeling van voedselarme veenmosvegetaties, en omringend agrarisch gebied meestal scherp en hard. Vaak vormen dammen de begrenzing.

Andersom bekeken, is het voor het herstel van condities voor hoogveenherstel op micro- of mesoschaalniveau veelal noodzakelijk maatregelen te nemen op macroschaalniveau. Deze van-groot-naar-klein herstelstrategie, bijvoorbeeld door in te grijpen in het grotere hydrologische systeem, kan ervoor zorgen dat het grondwaterpeil onder het veenrestant stijgt en zo de wegzijging en waterstandsfluctuatie vermindert. Tegelijk kan hierdoor lokaal toestroom van CO<sub>2</sub>-rijk water versterkt worden en zo de veenmosgroei worden gestimuleerd en de hoogveenregeneratie worden versneld. Tenslotte kan meer invloed van gebufferd grondwater bijdragen aan het herstel van gradiënten in zuurbuffering en mineralenbeschikbaarheid. Deze herstelstrategie – het vergroten van de grondwaterinvloed - maakt in het hoogveenreservaat een geleidelijke vernatting mogelijk die waarschijnlijk kansen biedt voor herstel van een grote variatie in terreincondities. Echter, een deel van de gewenste ingrepen in het grotere (regionale) hydrologische systeem is vanwege maatschappelijke redenen erg moeilijk en hooguit op lange termijn te realiseren, zodat ook maatregelen op korte termijn nodig blijven. Een landschapsecologische systeemanalyse (Van der Molen et al. 2010) van het te herstellen hoogveenreservaat en zijn wijdere omgeving biedt inzicht in hoe de sturende processen functioneren en welke combinatie van ingrepen in dat geval nodig en al dan niet kansrijk zijn om herstel van het hoogveenlandschap –of onderdelen daarvan- op gang te brengen.

## 4.2 Ontwikkeling van herstelstrategie

Bij het opstellen van de herstelstrategie is het van belang gestructureerd te werk te gaan en daarbij de kennis vanuit verschillende disciplines te benutten. Het 'Handvat voor de gestructureerde aanpak van herstelprojecten' (zie kader) biedt een eerste algemeen hulpmiddel voor de ontwikkeling van een herstelstrategie in een natuurgebied. Voor hoogveenherstel is meer nodig dan in een afgetakeld hoogveen een aantal kenmerkende condities van een intact hoogveensysteem te herstellen (bijvoorbeeld zure en natte omstandigheden in een hoogveenkern, met een bepaalde afvoer van het neerslagoverschot en een bepaalde maximale fluctuatie van de waterstand). Hoogvenen herstellen komt vooral neer op het zo goed mogelijk herstellen van de processen die sturend zijn in het op gang brengen van de veenvorming en de verdere ontwikkeling van het systeem: bijvoorbeeld toestroming van koolstofdioxidierijk water of invloed van gebufferd grondwater in de veenbasis. Welke processen op welke schaalniveaus voor een bepaald terrein belangrijk zijn, kan door middel van een landschapsecologische systeemanalyse (Van der Molen et al. 2010) opgehelderd worden. Deze analyse biedt inzicht in welke factoren en processen het meest belangrijk zijn geweest in zowel de natuurlijke ontwikkeling van het systeem, als in de aftakeling. Op basis van dit inzicht kan een passend, realistisch én ambitieus doel voor het herstel in het betreffende terrein vastgesteld worden. Hoogveenherstel gaat niet alleen om toename van de oppervlakte veenmos; daar hoort ook bij dat zoveel mogelijk van de oorspronkelijke terreinheterogeniteit en soortenrijkdom behouden blijft en verder hersteld wordt.

Bij de keuze van de doelen en de herstelstrategie is het belangrijk ook rekening te houden met de uitgangssituatie in het veenrestant en de ligging ervan in het grotere hydrologische systeem. In Hoofdstuk 5 worden de perspectieven voor verschillende herstelmaatregelen voor verschillende uitgangssituaties besproken. Bij de keuze van de doelen en herstelstrategie is het van belang te letten op de huidige beperkingen en welk herstel van het

## **Handvat voor de gestructureerde aanpak van herstelprojecten**

In het kader van een LIFE Nature project is in samenwerking met terreinbeheerders en onderzoekers vanuit verschillende disciplines en Europese landen de onderstaande PROMME-benadering ontwikkeld en uitgewerkt.

### *Problemen (Problems)*

Definieer de problemen van het gebied in termen van achteruitgang of verdwijnen van planten- en diersoorten. Wees zo volledig mogelijk en besteed aandacht aan verschillende schaalniveaus (standplaats - landschap) en diverse planten- en diergroepen. Gebruik daarbij referentie in tijd (historische situatie) of ruimte (meer intacte situatie elders in binnen- of buitenland).

### *Oorzaken (Reasons)*

Identificatie van de biologische, hydrologische en chemische sleutelprocessen die geleid hebben tot de waargenomen veranderingen. Besteed aandacht aan verschillende disciplines en aan condities en processen binnen en buiten de grenzen van het gebied. Voer waar nodig onderzoek uit om belangrijke kennisleemten met betrekking tot het vroegere en huidige functioneren van het gebied in te vullen.

### *Doelen (Objectives)*

De instandhoudingsdoelen voor N2000-gebieden zijn geformuleerd. Bij het formuleren van doelen is het van belang deze te specificeren naar planten- en diersoorten en gemeenschappen om inzicht te krijgen in de vereiste terreincondities. Omschrijf de mogelijke en gewenste ontwikkelingsroutes en besteed daarbij aandacht aan de sturende processen, mate van herstel, schaal, perioden voor tussentijdse doelen en het voorkomen van soorten. Bedenk daarbij wat wel/niet mogelijk is bij de huidige en voor de toekomst op kortere en langer termijn voorziene nutriëntenbeschikbaarheid, grondwaterregime en terreinomvang.

### *Maatregelen (Measures)*

Op basis van de geformuleerde doelen en analyse van het systeem (sturende processen, verschillende schaalniveaus; Van der Molen et al. 2010) wordt een combinatie van herstelmaatregelen in en buiten de reservaatsgrenzen geselecteerd. Omschrijf de effecten van afzonderlijke (bron- en effectgerichte) maatregelen en geef aan welke interactie er is tussen maatregelen; welke combinatie van maatregelen is optimaal voor het betreffende terrein met zijn huidige omstandigheden? Besteed daarbij ook aandacht aan tijdelijke of permanente neveneffecten van maatregelen of het uitblijven van maatregelen (ongewenste afname van niet-doelsoorten, ongewenste verstoring van het functioneren van het ecosysteem). Zorg voor afstemming van de combinatie, schaal, intensiteit en/of timing van maatregelen op de terreincondities en het voorkomen van soorten.

### *Monitoring*

Bepaling van parameters die (gebrek aan) herstel van het ecosysteem en soorten aangeven en van de frequentie en periode van metingen.

### *Uitvoering (Execution)*

Uitvoering van de monitoring en de gekozen maatregelen, volgens de gekozen fasering in tijd en ruimte. Tijdige, regelmatige terugkoppeling tussen monitoringresultaten, doelstelling en maatregelen gedurende de uitvoering van de herstelstrategie.

oorspronkelijke landschap en zijn soortenrijkdom in de huidige omstandigheden niet meer mogelijk is. Ook het herkennen van de mogelijkheden voor ontwikkeling van natuur rondom het hoogveenrestant biedt kansen. Het gaat daarbij niet persé om ontwikkeling van hoogveennatuur die geheel overeenkomt met wat op die plek vroeger aanwezig was. In de huidige landschapsecologische setting kan 'nieuwe natuur' grenzend aan bestaande hoogveenreservaten een belangrijke ondersteunende rol spelen in het herstel van het hoogveensysteem en de biodiversiteit. Het inrichten van bufferzones, die nodig kunnen zijn voor het herstel van hydrologische randvoorwaarden (Bönsel en Sonneck 2011), biedt wellicht meer mogelijkheden dan uitsluitend het verhogen of stabiliseren van de waterstand in het hoogveenrestant.

Als voor een bepaald terrein de doelen zijn geformuleerd en kennis is verzameld over de sturende processen en factoren, kan vervolgens op basis daarvan bepaald worden welke ingrepen het meest kansrijk zijn om in het betreffende terrein het herstel op gang te brengen. Verlies van natuurwaarde is te voorkomen door bij de keuze en uitwerking van de te volgen herstelstrategie vast te leggen dat maatregelen op een zodanige manier worden uitgevoerd, dat de in het terrein nog aanwezige biodiversiteit die hoort bij het hoogveenlandschap behouden blijft en soorten zich in de loop van het herstelproces kunnen uitbreiden. In de meeste situaties is daarvoor een fasering van de uitvoering van maatregelen in tijd en ruimte nodig. Om ervoor te zorgen dat de opeenvolging van maatregelen in tijd en ruimte in de pas blijft met de ontwikkelingen in de vegetatie en fauna, is het belangrijk dat de uitvoering van maatregelen en de uitvoering van de monitoring goed samengaan en er regelmatige terugkoppeling plaatsvindt.

### 4.3 Herstel van acrotelmcondities

Een absolute voorwaarde voor het herstel van hoogveenvorming is het herstel van een situatie waarin veenmoskopjes gedurende het overgrote deel van het jaar vochtig zijn en de productie van veenmossen groter is dan de afbraak. In intacte hoogvenen zorgt de toplaag van levend en recent afgestorven veenmos (acrotelm) zelf voor deze stabiele hydrologische situatie (paragraaf 2.4). Een veenmosbegroeiing heeft dus een belangrijke invloed op het functioneren van het systeem. Niet alle veenmossoorten beschikken over de juiste eigenschappen om een acrotelm te vormen. Wrattig veenmos (*Sphagnum papillosum*), Hoogveenveenmos (*S. magellanicum*), Kamveenmos (*S. imbricatum*), Bruin veenmos (*S. fuscum*) en Rood veenmos (*S. rubellum*) zijn de belangrijkste 'sleutelsoorten' (Joosten 1995). Dominantie van de sleutelsoorten moet als een absolute voorwaarde voor hoogveenherstel worden beschouwd en dat heeft vooral te maken met de resistentie van deze soorten tegen afbraak. Slenksoorten als Waterveenmos en in mindere mate Fraai veenmos (*S. fallax*) worden daarmee vergeleken beter biologisch afgebroken, waardoor deze soorten in tegenstelling tot de sleutelsoorten geen toplaag met een groot waterbergend vermogen ontwikkelen. Terreindelen waar alleen slenksoorten aanwezig zijn, blijven voor hun hydrologie afhankelijk van hun omgeving. Het herstel van een min of meer zelfregulerend hoogveenvormend systeem kan dan ook pas op gang komen indien één of meer van de 'sleutelsoorten' over grotere oppervlakten tot dominantie zijn gekomen en een veenlaag vormen. Een hogere CO<sub>2</sub>-concentratie in het water in en onder de levende veenmoslaag stimuleert de hoogtegroei van veenmos in de eerste successiestadia en dat leidt ertoe dat

eerder het punt bereikt wordt waarop de groei van Waterveenmos of Fraai veenmos wordt geremd door een suboptimale vochtvoorziening ter hoogte van de capituli (veenmoskopjes) en 'sleutelsoorten' het stokje kunnen overnemen.

Voor het herstel van een goed functionerende acrotelm in hoogveenreservaten met een systeem van compartimentering is het belangrijk dat uiteindelijk een veenmosdek gevormd wordt dat afzonderlijke compartimenten overstijgt. Nadat de veenvorming in afzonderlijke compartimenten op gang is gekomen door voor veenmossoorten gunstige condities binnen elk compartiment, is het van bijzonder belang dat peilverschillen tussen aangrenzende compartimenten beperkt zijn of geleidelijk kleiner worden gemaakt, zodat het herstel door kan zetten. Dan gaat het er dus niet meer alleen om dat de condities binnen elk compartiment op zichzelf optimaal zijn voor herstel van de veenvorming en behoud en herstel van populaties van soorten, maar is ook de onderlinge samenhang een belangrijk aandachtspunt (zie ook paragraaf 4.1).



*Figuur 19. Nadat de veenvorming in afzonderlijke compartimenten op gang is gekomen, is het van belang dat peilverschillen tussen aangrenzende compartimenten beperkt zijn of geleidelijk kleiner worden gemaakt, zodat het herstel op grotere schaal door kan zetten.*

#### **4.4 Kolonisatie en relictpopulaties van fauna**

Uit het vergelijkende onderzoek tussen Nederlandse hoogveenrestanten en intacte hoogvenen in Estland naar de aquatische ongewervelden blijkt dat het verdwijnen van gradiënten en de toename van de beschikbaarheid van nutriënten een stempel hebben gedrukt op de faunasamenstelling in de Nederlandse hoogveenrestanten. Desondanks komen in de wateren van onze hoogvenen een aantal voor hoogvenen karakteristieke en in Nederland zeldzame watermacrofaunasoorten voor. Wanneer het waterlichaam is gevormd door vernatting (inundatie) van een grootschalige verving, zoals het Amsterdamseveld en Schoonebeekerveld, is de vestiging van deze soorten honderd procent winst. Echter, wateren die al lange tijd bestaan en niet aan



grootschalige en plotselinge veranderingen onderhevig zijn geweest, blijken meer karakteristieke hoogveensoorten en zeldzame macrofaunasoorten te herbergen dan wateren die na recente grootschalige verveningen zijn ontstaan. Een aanzienlijk aantal van de karakteristieke en zeldzame soorten is binnen de hoogveenrestanten zelfs alleen aangetroffen in dit soort 'relict-wateren', zoals veenputten in het Korenburgerveen, greppels van de boekweitbrandcultuur in het Meerstalblok, in hoogveenvennen (veentjes) in het Dwingelerveld en niet in (grootschalig) vernatte situaties. Ook 'relict-wateren' die wat de vegetatiesamenstelling betreft niet erg waardevol lijken, blijken vaak nog relatief veel karakteristieke en (zeer) zeldzame soorten te kunnen herbergen (Van Duinen et al. 2003). Ook voor (semi)terrestrische habitats geldt dat terreindelen waar zich gedurende het proces van aantasting geen grootschalige en schoksgewijze veranderingen hebben voorgedaan – en die nu door Pijpenstrootje gedomineerd kunnen zijn – refugia voor bedreigde diersoorten, zoals de Veenmier, kunnen zijn (Van Duinen et al., 2008).

Voor de aquatische microfauna (Radardieren, Watervlooien en Eénoogjes) bestaan deze verschillen in soortensamenstelling tussen 'relict-wateren' en grootschalig vernatte situaties niet (Van Duinen et al. 2006d). Ook de schaalmoebenfauna herstelt snel en volledig, ongeacht het verschil in de uitgangssituatie van het verveende terrein (Buttler et al. 1996). Het snellere herstel van de microfauna in hoogveen hangt waarschijnlijk samen met de gemakkelijke verspreiding van microfauna (met wind of vogels; Cáceres en Soluk, 2002) en de in vergelijking met macrofaunasoorten (bijv. waterkevers en libellen) minder complexe levenscyclus (Van Duinen et al. 2006d). De watermacrofauna stelt meer eisen aan de leefomgeving, waarbij verschillen in vegetatiestructuren en de stabiliteit van de waterhuishouding van belang zijn (Verberk et al. 2005).

In de watermacrofauna vindt in de loop van jaren weliswaar vaak een lichte toename plaats van zeldzame, minder karakteristieke soorten en karakteristieke, meer algemene soorten, maar dit betreft toch een beperkt aantal soorten. Al met al hebben de vernattingsmaatregelen tot nu toe op de verschillende locaties in de verschillende terreinen een sterk overeenkomende samenstelling van de macrofauna opgeleverd. Juist de terugkeer en uitbreiding van karakteristieke én zeldzame soorten blijft achter (Van Duinen et al. 2003, Verberk 2008). Vernattingsmaatregelen kunnen al dan niet tijdelijk een ongunstig effect op de macrofauna hebben; bijv. in het Korenburgerveen waar bleek dat in het terrein algemeen voorkomende soorten twee tot vier jaar na de uitvoering van vernattingsmaatregelen nog algemener waren; schaarse soorten waren juist nog schaarser geworden (Verberk et al. 2006b). Tot nu toe hebben herstelmaatregelen in de hoogveenrestanten nog niet geleid tot herstel van een compleet soortenspectrum van de hoogveenfauna (Van Duinen et al. 2002, Van Duinen 2008b). Daarvoor zijn twee redenen te noemen: (1) het ontbreken van herstel van de variatie in terreincondities die thuishoren in een compleet hoogveenlandschap (zie paragraaf 2.2) en (2) de grootschaligheid en snelheid van de uitvoering van herstelmaatregelen. Wanneer in een hoogveenrestant nog oude veenputten aanwezig zijn, kunnen met name grootschalige ingrepen averechts uitpakken voor populaties van zeldzame en karakteristieke soorten in deze veenputten. Dit gebeurt als de vernatting dermate snel plaatsvindt dat soorten niet tijdig op de veranderingen kunnen reageren. Hun habitat wordt plotseling en op een voor deze soorten ongunstige wijze beïnvloed. In venen waar een geleidelijk aantastingsproces plaatsvond, dat decennia duurde, konden soorten meeschuiven naar nieuwe geschikte plekken (secundaire habitats, zie paragraaf 3.1). Dat kunnen zij niet bij een plotselinge verandering door vernatting die zich binnen een of enkele seizoenen voltrekt.

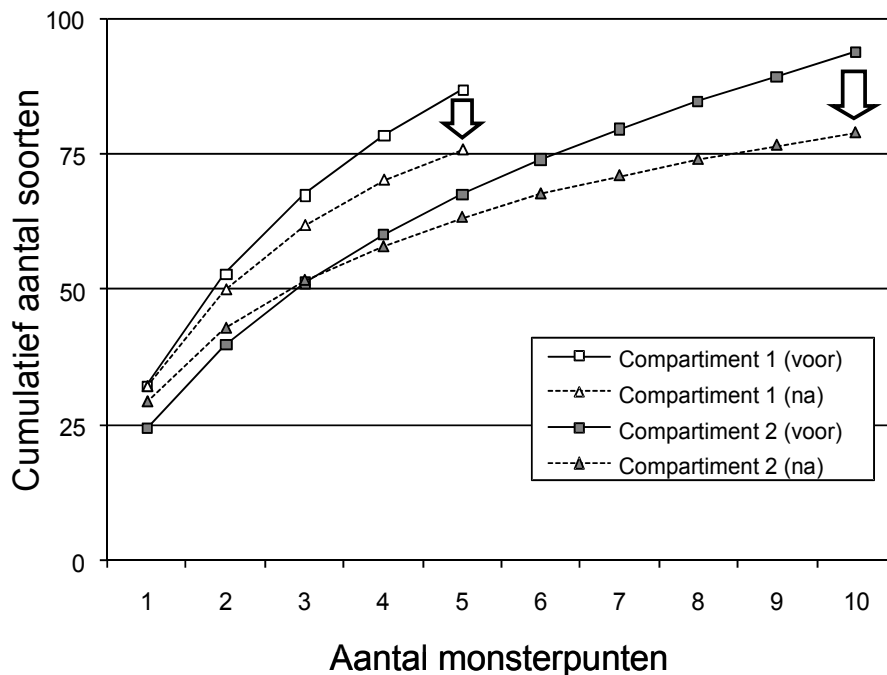
Is de verandering bovendien grootschalig, dan volgt een afname in habitatvariatie (Verberk et al. 2010; zie ook paragraaf 4.5), waardoor –in ieder geval op korte termijn - voor een deel van de hoogveensoorten geen alternatieve geschikte locaties voorhanden zijn. Voor veel macrofaunasoorten verloopt herkolonisatie moeizaam, zeker in de huidige situatie, waarin eventuele bronpopulaties vaak op relatief grote afstand liggen. In het herstelbeheer is het dus erg belangrijk dat de schaal en snelheid van veranderingen door maatregelen gericht zijn op behoud en zo mogelijk versterking van de aanwezige populaties van karakteristieke en zeldzame soorten binnen de terreinen.

Zowel voor de aquatische als voor de terrestrische fauna geldt dat het vastleggen van de uitgangssituatie voorafgaand aan de uitvoering van maatregelen erg belangrijk is. Alleen dan kan bij maatregelen werkelijk rekening gehouden worden met het voorkomen van populaties van karakteristieke en zeldzame faunasoorten. Fasering van maatregelen en de schaal waarop ingrepen plaatsvinden, kan dan mede afgestemd worden op het voorkomen van de diersoorten en de ontwikkelingsmogelijkheden voor de fauna binnen het terrein. Nadat is vastgesteld dat belangrijke soorten zich in andere terreindelen gevestigd hebben als gevolg van herstelmaatregelen, kan overwogen worden ook maatregelen te nemen in een deel van het terrein waar nog relictpopulaties voorkomen. Naast het creëren van optimale condities voor bultvormende vegetaties, is het voor het behoud en herstel van faunadiversiteit essentieel dat ook andere elementen en gradiënten die kenmerkend zijn voor complete hoogveensystemen (paragraaf 2.2 en 4.5) aanwezig blijven en waar mogelijk gecreëerd worden.

## **4.5 Terreinheterogeniteit en ruimtelijke samenhang van belang voor faunaherstel**

De verschillende hoogveensoorten stellen verschillende eisen aan hun habitat. Onderzoek in hoogvenen in Ierland en Estland – die meer intact zijn gebleven dan in ons land - laat zien dat de overgangszones (gradiënten) tussen de hoogveenkern en andere landschapstypen, evenals de verschillende watertypen binnen de hoogveenkern allen bijdragen aan de totale faunadiversiteit, inclusief het voorkomen van karakteristieke soorten (Smits et al. 2002). In het herstelbeheer is het dus van belang dat habitatvariatie op landschapsschaal behouden en hersteld wordt. Momenteel is in de hoogveenrestanten de variatie in omgevingscondities veelal in een (onnatuurlijk) mozaïekpatroon gerangschikt als gevolg van het vroegere gebruik van hoogvenen. Het huidige voorkomen van faunasoorten is afhankelijk van deze variatie en dit mozaïekpatroon (Verberk et al. 2006a). Grootschalige maatregelen hebben veelal een nivellerende werking en dragen daardoor niet bij aan het behoud en herstel van de variatie in standplaatstypen en faunadiversiteit (Figuur 20, Verberk 2008). Naast de fysieke variatie in wateren (grootte, diepte, droogval), blijkt ook de variatie in voeding door gebufferd grondwater van belang voor een groot aantal watermacrofaunasoorten die karakteristiek zijn voor hoogveenlandschappen (paragraaf 3.1; Verberk et al. 2010, Van Kleef 2010). Herstel van de stijghoogte van het gebufferde grondwater tot in de veenbasis kan dus sterk bijdragen aan het versterken van de heterogeniteit van een gebied. Door de veranderingen in de hoogveenrestanten kunnen er nu ook soorten voorkomen, die niet tot de oorspronkelijke hoogveenfauna behoren (Göttlich 1980, Wheeler en Shaw 1995, Irmiler et al. 1998). De oorspronkelijke habitat

van een aantal van deze soorten is nu aangetast, waardoor zij momenteel voor hun voortbestaan in Nederland voor een belangrijk deel van hoogveenrestanten afhankelijk zijn (Akkermann 1982, Schouwenaars et al. 2002). Ook daarom vraagt het behoud en herstel van karakteristieke en zeldzame faunasoorten een goed vooronderzoek en een goed doordachte fasering van herstelmaatregelen.



*Figuur 20. Cumulatieve curves van de soortenrijkdom voor twee compartimenten in het Korenburgerveen voor en na de uitvoering van vernattingsmaatregelen (Verberk 2008).*

De minimale oppervlakte van geschikt leefgebied die nodig is voor de instandhouding van duurzame populaties van planten en dieren verschilt van soort tot soort. Soorten die lokaal grotere populaties kunnen opbouwen, kunnen op een kleiner gebied duurzaam voortbestaan (mits het gebied voldoende geschikt is en blijft). Dit hangt vaak samen met een gering verspreidingsvermogen van de soort. Voor uitwisseling tussen deze populaties betekent een gering verspreidingsvermogen tegelijkertijd dat geschikte plekken niet te ver van elkaar verwijderd mogen liggen. Voor een duurzame populatie Veenhooibeestjes bijvoorbeeld worden de volgende maten aangehouden: minstens 10 ha voor de totale oppervlakte geschikt leefgebied en niet meer dan één kilometer afstand tussen afzonderlijke plekken van minimaal 1 ha groot (Dennis en Eales 1997). Door het geringe formaat van geschikte veentjes zijn de afzonderlijke vindplaatsen op zichzelf te klein voor een duurzame populatie. Voor een duurzame populatie Veenbesparelmoervlinders is naar schatting minstens 15 ha geschikt leefgebied nodig met minimale oppervlakten van 0,5 ha per veentje (Schtickzelle et al. 2005); voor het Veenbesblauwtje geldt vermoedelijk ongeveer hetzelfde. Voor Veenbesparelmoervlinder en Veenbesblauwtje lijkt het erop dat duurzame populaties kunnen voorkomen als er diverse veentjes op afstanden van niet meer dan enkele kilometers bij elkaar liggen, zodat uitwisseling van vlinders kan plaatsvinden.

## Soortbeschermingsplannen voor hoogveenfauna

Hoewel aanbevolen wordt het herstel van hoogvenen vanuit het functioneren van het systeem te benaderen en maatregelen hoofdzakelijk gericht moeten zijn op herstel van sturende processen op systeemniveau, is het nuttig daarbij ook na te gaan of de karakteristieke soorten van het systeem voldoende kunnen profiteren van het herstel, of dat bepaalde, voor deze soorten belangrijke randvoorwaarden niet worden vervuld. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn wanneer de soorten een zekere ruimtelijke samenhang van leefgebieden behoeven of wanneer ze voorkomen in onderdelen van het systeem die geen hoge prioriteit hebben voor het op het systeem gerichte beheer. Bovendien moet bij de uitvoering van systeemgerichte maatregelen rekening worden gehouden met zeldzame soorten, om te voorkomen dat deze door herstel onbedoeld verdwijnen! De afgelopen jaren is voor hoogvenen ervaring opgedaan met uitvoering van soortgerichte beschermingsmaatregelen in het kader van de soortbeschermingsplannen voor de 'veenvlinders' (Van Swaay en Wallis de Vries 2001) en de Hoogveenglanslibel (Ketelaar et al. 2005).



### **Veeenvlinders**

De 'veenvlinders' zijn drie soorten dagvlinders die in Nederland gebonden zijn aan hoogveenlandschappen: Veenhooibeestje (*Coenonympha tullia*), Veenbesblauwtje (*Plebeius optilete*) en Veenbesparelmoervlinder (*Boloria aquilonaris*) (van links naar rechts in bovenstaande foto's). Alle drie de soorten zijn in Nederland ernstig bedreigd en komen tegenwoordig vrijwel alleen nog maar in Drenthe voor; alleen het Veenbesblauwtje wordt ook nog in Zuidoost Groningen gevonden. Vooral het Veenhooibeestje kwam vroeger overal op de natte delen van de hogere zandgronden in ons land voor en, hoewel veel zeldzamer, kwamen ook de andere twee soorten wijder verbreid voor (Bos et al. 2006).

Deze drie vlindersoorten komen in intacte hoogvenen niet in het centrale, voedselarmste deel voor, maar aan de randen waar enige aanrijking met mineralen en nutriënten optreedt. Kenmerkend voor het leefgebied van het Veenhooibeestje is een mozaïekvegetatie met een polvormige groeiwijze van Eenarig wollegras – de belangrijkste waardplant voor de soort in onze streken. Voor de Veenbesparelmoervlinder en het Veenbesblauwtje is de aanwezigheid van vitaal groeiende Kleine veenbes en Lavendelhei essentieel. De vlinders voeden zich met nectar van Gewone dophei, maar vooral Veenbesparelmoervlinders worden foeragerend ook wel buiten het hoogveen aangetroffen. Is er Wateraardbei aanwezig, dan zijn de vlinders geregeld hierop te vinden. Een stabiel waterpeil is essentieel om verdrinking van de rupsen te voorkomen.

Het Veenhooibeestje heeft baat gehad bij de stabilisatie van het waterpeil in het Fochteloërveen en het Hingstevveen. Het Veenbesblauwtje is toegenomen na hoogveenherstel in een ven waar vroeger een Kokmeeuwenkolonie broedde. Voor de Veenbesparelmoervlinder zijn helaas nog geen successen te melden.

### **Hoogveenglanslibel**

Van de Hoogveenglanslibel (*Somatochlora arctica*) zijn in Nederland momenteel slechts vijf populaties bekend (Groenendijk en Bouwman 2006), terwijl de soort vroeger vermoedelijk over een relatief groot gebied in het oostelijke en zuidelijke deel van Nederland voorkwam. Een belangrijk probleem bij de bescherming van de Hoogveenglanslibel is dat veel kennis ontbreekt rond de ecologie en de verspreiding. In het soortbeschermingsplan is kennisontwikkeling en -overdracht een van de hoofddoelen (Ketelaar et al. 2005). Uiteindelijk moet informatie over verspreiding en ecologie van de Hoogveenglanslibel worden geïntegreerd in systeemvisies over hoogvenen en hydrologische herstelplannen.



Het meest opvallende aan de voortplantingslocaties van de Hoogveenglanslibel is het vrijwel ontbreken van open water. De locaties bestaan uit kleine veenputjes of veenslenkjes van circa een meter diep, die gevuld zijn met water en voor het grootste deel bedekt zijn met veenmos (meer dan 90%). De veenputjes zien er dus op het eerste gezicht niet uit als een voor libellen geschikte voortplantingslocatie. Bovendien zijn er meestal watertjes van verschillende dimensies aanwezig (bulten-slenken patroon), hetgeen mogelijk van belang is voor de larven om bij droogte een nabijgelegen ander onderkomen op te zoeken. In dergelijke veenputjes bevinden zich geen andere grotere predatoren of libellenlarven van andere soorten. De larven van de Hoogveenglanslibel zijn langzame groeiers en de afwezigheid van concurrenten die snel doorgroeien tot predatoren lijkt een voorwaarde voor de larven van de Hoogveenglanslibel om te overleven (Groenendijk en Bouwman 2008). Een lichte aanrijking door mineralen of rheotrofie (zie paragraaf 2.2) lijken gunstig, mogelijk omdat deze de groei van de larven versnellen (van 3 naar 2 jaar). De meeste terreinen waar de Hoogveenglanslibel voorkomt, kenmerken zich verder door opslag van verspreid staande bomen en vrij veel beschutting.

De belangrijkste algemene bedreigingen voor de Hoogveenglanslibel zijn verdroging, verlies van variatie in wateren, afname van lichte aanrijking met grondwater en verbossing van de hoogveengebieden. Deze bedreigingen treden grootschalig op en om deze te keren, is meestal een volledig systeemherstel nodig, wat meer tijd kost dan de looptijd van vijf jaar van het soortbeschermingsplan. Om de tijd tot volledig systeemherstel te overbruggen, zijn voor verschillende vlieggebieden kleinschalige maatregelen geformuleerd, speciaal gericht om de voortplantingslocaties van de Hoogveenglanslibel te beschermen en uit te breiden.

Er is nog geen ervaring opgedaan met de effecten van dit type maatregelen op de populatie van de Hoogveenglanslibel, maar dergelijke maatregelen zijn recent uitgevoerd en de effecten worden door middel van monitoring bijgehouden. Deze maatregelen laten zich als volgt samenvatten:

- Bestrijden van oppervlakkige ontwatering: het dichtens van greppels en slootjes die bijdragen aan de ontwatering van veengebieden.
- Kleinschalig kappen: het vrijmaken van belangrijke met veenmosbegroeide veenputjes, zodat deze geschikt blijven of worden voor voortplanting van de Hoogveenglanslibel.
- Graven van veenputjes: het creëren van putjes van maximaal circa 10 m<sup>2</sup>, waarin hoogveenvorming kan gaan optreden. Deze nieuwe putjes moeten het hele jaar door water kunnen houden. Om daar zicht op te houden, is het belangrijk dat de graafwerkzaamheden aan het eind van de zomer plaatsvinden. Ook eventuele aanwezige peilgegevens kunnen hierbij worden gebruikt. Belangrijk is verder dat voorafgaand aan het graven van putjes de dikte van de veenlaag wordt bepaald en dat onder de putjes nog een onvergraven veenlaag aanwezig blijft. De veendikte kan met een guts worden vastgesteld.

Tegelijkertijd is het belangrijk om vernatting en andere herstelmaatregelen geleidelijk en voorzichtig uit te voeren, met name in gebieden waar de Hoogveenglanslibel (en wellicht ook andere karakteristieke soorten) al een populatie heeft. Een te snelle vernatting kan het hoogveen deels onder water zetten, waardoor situaties ontstaan, waarin andere libellensoorten zich gemakkelijk kunnen vestigen.

## **4.6 Belang van de stijghoogte van grondwater in de minerale ondergrond**

Al decennia lang is een discussie gaande over het belang van een stijghoogte van het regionale grondwater tot in de veenbasis voor de groei van veenmossen. In het kader van OBN loopt nog onderzoek om voor diverse terreinsituaties een antwoord te vinden op deze vraag (Von Asmuth et al. 2011). Een lage grondwaterstijghoogte onder het hoogveen kan wegzijging en verdroging bevorderen. Echter, indien alleen de kwantitatieve hydrologie wordt beschouwd, is tot nu toe geen enkele aanwijzing gevonden dat een stijghoogte van het grondwater die onder de veenbasis blijft een ongunstig effect heeft op de doorlatendheid (verticale weerstand) van het restveenpakket. Een daling van de grondwaterstand kan in eerste instantie leiden tot een toename van de wegzijging, maar in het restveenpakket vinden processen van samendrukking en afname van de doorlatendheid plaats die het effect van de grondwaterdaling verminderen. Men zou kunnen zeggen dat een intact hoogveen zich door die processen op natuurlijke manier vrij effectief afsluit van veranderingen in de waterhuishouding van zijn omgeving. Het is echter niet zo, dat met het huidige onderzoek is aangetoond dat daling van de grondwaterstand in de minerale ondergrond tot onder de veenbasis nooit leidt tot een onevenredig sterke toename van de wegzijging in hoogveenrestanten. De mate van wegzijging is ook afhankelijk van de dikte van het restveenpakket. Indien nog maar een dunne veenlaag aanwezig is (met mogelijk scheuren en greppels) en de wegzijging groot is, wordt door een hoge grondwaterstand de wegzijging in het hoogveenrestant sterk gereduceerd, wat gunstig is voor het realiseren van een stabiele waterstand in het veen.

Wanneer ook de kwalitatieve hydrologie wordt beschouwd, dan zal in hoogveenrestanten een stijghoogte van het regionale grondwater die tot in de veenbasis rijkt vaak gunstige effecten hebben op de groei van veenmossen. Buffering van de veenbasis met regionaal grondwater leidt namelijk direct en indirect via een lichte stimulatie van de veenafbraak tot een verhoogde beschikbaarheid van kooldioxide en methaan. Dit heeft gunstige effecten op de groei van veenmossen (zie paragraaf 2.3). Het effect van het regionale grondwater zal groter zijn indien nog maar een dunne laag restveen aanwezig is. Ten eerste omdat er dan vaak alleen nog sterk gehumificeerd zwartveen aanwezig is waar nog nauwelijks afbraak in plaats vindt en ten tweede omdat het geproduceerde koolstof gemakkelijker bij het veenoppervlak kan komen, waar het veenmos groeit.

Samenvattend kan gezegd worden dat het belang van de stijghoogte van het regionale grondwater tot in de veenbasis groter is naarmate de laag restveen dunner is. In het Bargerveen bijvoorbeeld zijn de effecten van een verhoging van het regionale grondwater op de oude veenkern in het Meerstalblok geringer dan de effecten die zulk een verhoging heeft op de baggervelden in het Amsterdamse- en Schoonebeekerveld. Overigens spreekt het voor zich dat voor het herstel van gradiënten tussen zure hoogveenkernen en door grondwater beïnvloede onderdelen van het veenlandschap (en de van deze gradiënten afhankelijke soorten!) een hoge grondwaterstand noodzakelijk is.

## **4.7 Tegengaan van de effecten van hoge atmosferische stikstofdepositie**

Gelukkig zijn de stikstofdepositieniveaus in Nederland de laatste 15 jaar sterk gedaald en zullen deze naar verwachting in de toekomst nog verder afnemen (Boxman 2002). Dit betekent dat de kansen voor een succesvol herstel van hoogveenvegetaties in Nederland in de komende decennia zullen verbeteren. Het kritische stikstofdepositieniveau ligt voor hoogveenvegetaties tussen de 5 en 10 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (Bobbink en Roelofs 1995) en vanwege het beperkte neerslagoverschot in Nederland ligt de kritische depositie voor hoogveenvegetaties hier op 5 kg N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> (400 mol N ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup>; Van Dobben en Van Hinsberg 2008). Voorlopig zitten we daar in Nederland met 20-40 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> nog fors boven en hebben we bovendien nog te maken met de erfenis van de stikstofdepositie uit het verleden. Daarom zal in de nabije toekomst zogenoemd aanvullend beheer nodig blijven of op zijn minst wenselijk zijn, om de overmatige groei van vaatplanten te beperken. Dit zal zeker gelden voor de wat drogere terreindelen, die nog wel nat genoeg zijn voor veenmosgroei. Het beheer zou er op gericht moeten zijn om de bedekking van de kruidlaag niet hoger te laten worden dan 70%. Bij een hogere kruidlaagbedekking zal door een te sterke beschaduwning de groei van de veenmossen worden geremd (paragraaf 3.2).

Het negatieve effect van stikstof op hoogveenvegetaties kan gedeeltelijk worden ondervangen met hydrologische maatregelen. Zoals in paragraaf 2.3 is omschreven, stimuleert een hoge grondwaterstand de productie van methaan en CO<sub>2</sub> in het veenpakket en kan deze ook zorgen voor toestroming van CO<sub>2</sub>-rijk water. Een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie in de waterlaag stimuleert de veenmosproductie en daarmee stijgt de hoeveelheid atmosferisch stikstof die in veenmos wordt opgenomen en in veen wordt vastgelegd. Door een verhoging van de veenmosproductie wordt de hoeveelheid atmosferisch stikstof dat ter beschikking komt van vaatplanten verminderd. Een hoge

grondwaterstand en een hoge CO<sub>2</sub>-concentratie in de waterlaag kunnen zo dus de negatieve effecten van stikstofdepositie op de hoogveenvegetatie verminderen.

Verder is uit een kasexperiment gebleken dat de groeistimulans van voornamelijk Pijpenstrootje bij een hoge stikstofbeschikbaarheid achterwege bleef bij een hoge constante waterstand. Ook in het veld bleek dat op de locaties met een sterk schommelende, dan wel lage zomerwaterstand, de gemeten effecten van stikstof duidelijker naar voren kwamen dan op de locaties met een meer constant hoger waterpeil. De hoogte van de zomerwaterstand had in het experiment nauwelijks invloed op de totale hoeveelheid stikstof die door de vegetatie werd opgenomen, hoewel grotere peilfluctuaties vermoedelijk veenafbraak en denitrificatie stimuleren. De zomerwaterstand beïnvloedt echter wel welke vaatplantensoort het stikstof opneemt. Bij een hoge zomerwaterstand neemt Witte snavelbies de stikstof op, bij een lage zomerwaterstand doen dit de heideachtige planten, zoals Gewone dophei. Voor het beheer van hoogvenen is dit van betekenis. De effecten van stikstofdepositie op de dichtheid van vaatplanten in een veenmosvegetatie kunnen dus niet worden verminderd door een extra verhoging van de zomerwaterstand, maar de soortensamenstelling kan zo worden aangestuurd. Om extra veenafbraak te voorkomen is het wel aan te raden de peilfluctuatie in de zomer zo beperkt mogelijk te houden.

De problemen die zijn gesignaleerd bij fauna met betrekking tot voedselkwaliteit voor herbivoren en diersoorten hoger in de voedselketen (paragraaf 3.2), worden momenteel nader onderzocht. De oorzaken zijn vermoedelijk veranderingen in de beschikbaarheid van micronutriënten of de (on)balans tussen macro- en micronutriënten. Waarschijnlijk zijn deze problemen op te lossen door herstel van de invloed van gebufferd, mineraalrijk grondwater die door drainage is afgenomen.

Naast hydrologische maatregelen kunnen in de hoogveenrestanten maatregelen als verwijderen van Berken, maaien of plaggen de opslag van Berken en de ongewenste dominantie van met name Pijpenstrootje terugdringen. In paragraaf 5.9 wordt hier verder op ingegaan. Niet overal kunnen de hydrologische omstandigheden voldoende verbeterd worden en delen van hoogveenrestanten zullen in het beste geval en bij een herhaald vegetatiebeheer een matige kwaliteit blijven houden.



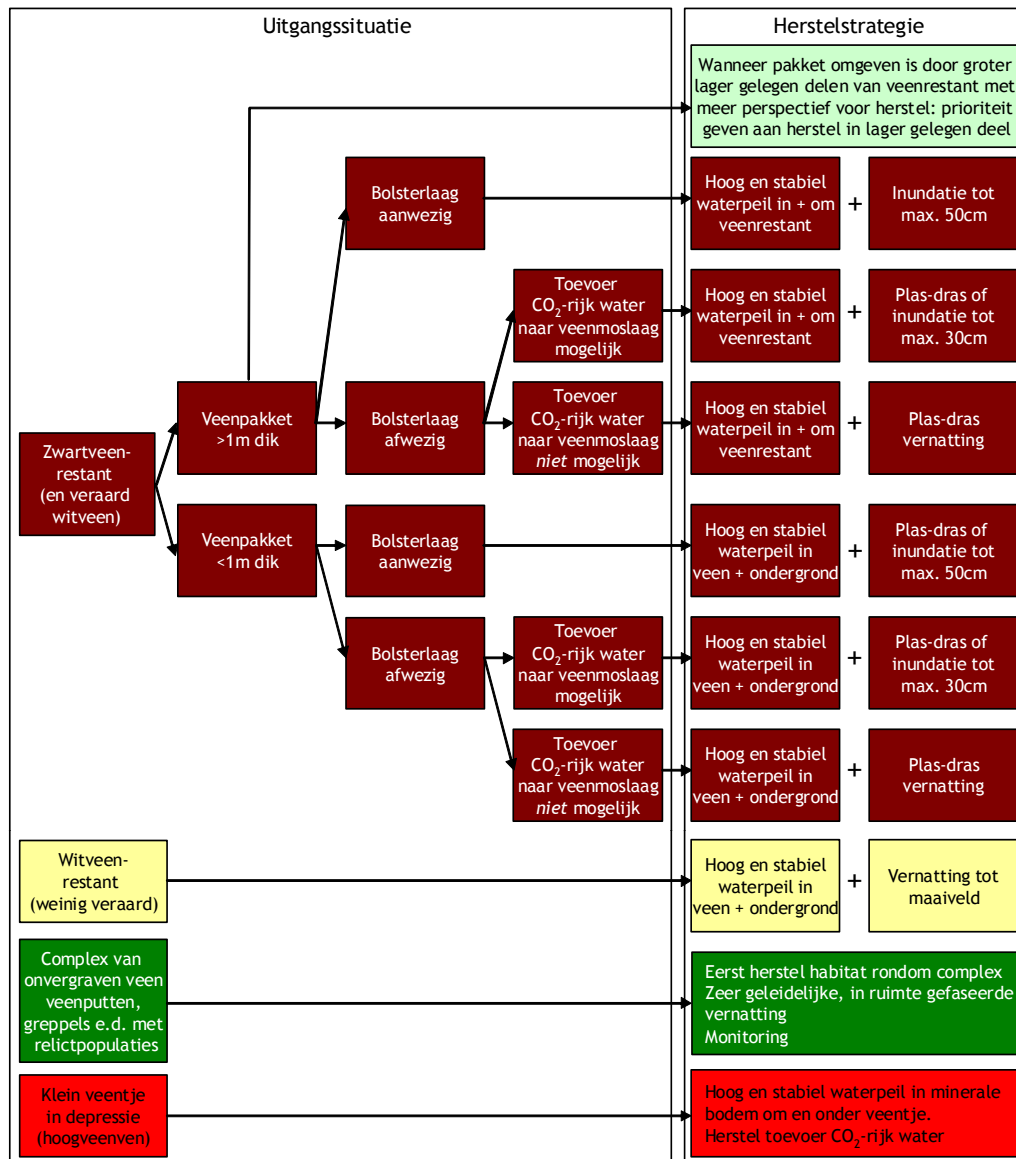
## 5 Perspectieven van maatregelen in hoogveenrestanten



*Figuur 21. De optimale herstelstrategie voor een hoogveenrestant is afhankelijk van de uitgangssituatie, met name het type restveen, de hydrologische situatie in en om het restant en de nog aanwezige populaties van karakteristieke planten- en diersoorten.*

### 5.1 Herstelstrategie afhankelijk van uitgangssituatie

Herstelmaatregelen in hoogveenrestanten zijn gewoonlijk in eerste instantie gericht op de vorming van een nieuw veenmosdek, waarin vanaf het begin of na verloop van tijd bultvormende veenmossoorten een substantieel deel van de oppervlakte innemen. Naast voldoende licht en koolstof zijn stabiele waterstanden nabij maaiveld voor de ontwikkeling van een veenmosvegetatie essentieel. De mogelijkheden voor het realiseren van stabiele natte condities zijn van meerdere factoren afhankelijk. Aan de ene kant wordt de stabiliteit van de waterstand bepaald door de mate waarin het water uit het gebied verdwijnt via wegzijging en laterale afvoer. Aan de andere kant hebben de eigenschappen en dikte van het nog aanwezige veenpakket ook een grote invloed. Witveen voorzover het niet in sterke mate is veraard (weinig vergaan



Schema 1. Samenvatting van verschillende strategieën voor hoogveenherstel in de verschillende uitgangssituaties. Bespreking van de maatregelen in hoofdstuk 5 en meer algemene aanbevelingen en informatie over randvoorwaarden voor een succesvolle herstelstrategie in hoofdstuk 4.

veen) heeft een relatief groot poriënvolume en daardoor een hoge bergingscoëfficiënt en 'buffert' hiermee als het ware waterstandsfluctuaties. Sterk veraard veen (aangeduid als zwartveen, maar ook sterk veraard witveen) heeft daarentegen een relatief klein poriënvolume en daardoor een lage bergingscoëfficiënt. Een stabiel waterpeil rond maaiveld is hierdoor op veraard veen veel lastiger te realiseren dan op weinig veraard witveen. Verder verschillen witveen en zwartveen in de mate waarin nog afbraak van het restveen plaatsvindt en daarmee in de productie van koolstofdioxide en methaan, dat vooral in natte omstandigheden belangrijk is voor de groei van veenmossen boven het restveen. De dikte en waterdoorlatendheid van het restveenpakket bepaalt of de stijghoogte van (regionaal) grondwater in de minerale ondergrond invloed heeft op het waterpeil in het veenpakket en op de kwaliteit van het veenwater (zuurbuffering en concentratie en productie van CO<sub>2</sub> en CH<sub>4</sub>) en daarmee sturend is in de ontwikkeling van het

veenmosdek en de planten- en diersoortensamenstelling bovenop het restveenpakket. Hoe dunner het restveenpakket, hoe sterker de invloed van het grondwater kan zijn (zie paragraaf 4.6). In dit hoofdstuk worden de verschillende herstelmaatregelen op basis van eigenschappen van het nog aanwezige veenpakket en de waterkwaliteit besproken.

Schema 1 geeft een samenvatting van verschillende herstelopties, die in de hierna volgende paragrafen worden besproken. In dit schema worden ook de hoogveenvennen of kleine veentjes in depressies genoemd zoals die bijvoorbeeld aanwezig zijn in het Dwingelerveld. Voor verdere informatie over het herstelbeheer van deze veentjes wordt verwezen naar Verschoor et al. (2003). Zij concluderen uit onderzoek naar hoogveenherstel in het Dwingelerveld dat de snelle hoogveenontwikkeling in een groot aantal veentjes die gelegen zijn binnen erosiegeulen in het gebied, samenhangt met het voorkomen van oude gliedelagen en inspoelingshorizonten. Waterstroming over deze oude organische lagen lijkt van belang te zijn voor de veenmosgroei in de regeneratieprojecten. Het (grond)water dat over de organische lagen de veentjes binnenstroomt is rijk aan CO<sub>2</sub> en lijkt de veenmosgroei sterk te stimuleren. Voor het omgaan met complexen van onvergraven veen, oude veenputten en greppels met relictpopulaties van zeldzame en karakteristieke soorten wordt verwezen naar paragraaf 4.4.

## **5.2 Bergingseigenschappen van het veen en vaststelling van het overloopeil**

Stabiele waterstanden op of net onder het maaiveld zijn optimaal voor de groei van veenmossen. De maximale fluctuatie die nog veenmosgroei toelaat is met name afhankelijk van het krimp- en zwelvermogen en de capillaire werking van het veenpakket. In intacte acrotelms is de fluctuatie van de waterstand maximaal 30 cm. Wanneer we te maken hebben met veenmosontwikkeling in een plas-dras situatie op sterk veraard zwartveen kan een langdurige zomerwaterstand van 20 tot 30 cm onder maaiveld het herstel echter ernstig belemmeren.

Het verticale verloop van de eigenschappen van het veenpakket blijkt van grote invloed te zijn op de relatie tussen het niveau van de grondwaterstand in het veen en de fluctuatie ervan. In veel hoogveenrestanten bevindt zich bij een lage grondwaterstand de waterspiegel in relatief sterk gehumificeerd en samengedrukt veen (zwartveen). Dit veen heeft een relatief gering poriënvolume (lage bergingscoëfficiënt). In hoogveenrestanten waar bij een hoger waterpeil het water in minder gehumificeerd veen (witveen) aan het veenoppervlak komt te staan (dit kan in een intact hoogveen de acrotelm zijn), worden de waterstandfluctuaties kleiner, doordat weinig gehumificeerd materiaal een groot poriënvolume heeft (hoge bergingscoëfficiënt). Wanneer het water tot aan het maaiveld gaat stijgen, zodat plekken met open water beginnen te ontstaan, heeft de bergingscoëfficiënt de neiging sterk toe te nemen bij een verder stijgend waterpeil tot de bergingscoëfficiënt van 1 (=bergingscoëfficiënt van open water) is bereikt. De waterstand waarbij deze sterke toename van de bergingscoëfficiënt optreedt, is het overloopeil van een compartiment: daarbij treedt de plas-dras situatie op die gunstig is voor de groei van veenmossen.

Voor een doelmatige vernatting is het dus belangrijk om de relatie tussen de verandering van de bergingscoëfficiënt en het waterpeil goed te kennen. Men

moet zich hierbij realiseren dat na de vernatting de bergingseigenschappen van de toplaag van het veen en zelfs de hoogteligging van het maaiveld geleidelijk kunnen veranderen door opzwellen van het restveen. Hierdoor kan het wenselijk zijn het waterpeil na verloop van tijd daaraan aan te passen.

Uit het hydrologische onderzoek is gebleken dat het verband tussen bergingscoëfficiënt en waterpeil goed kan worden afgeleid uit een synchrone waarnemingsreeks van grondwaterstanden en neerslag, mits het maximale waarnemingsinterval niet meer dan enkele uren bedraagt. Op grond van dit soort metingen kunnen gewenste overloopeilen beter worden vastgesteld dan tot nu toe het geval is met de gebruikelijke 14-daagse metingen. Dit betekent in de praktijk echter wel dat er geheel of gedeeltelijk moet worden overgestapt op geautomatiseerd waarnemen van waterpeilen door zogenoemde divers in peilbuizen te plaatsen.

### **5.3 Vernatting van witveen tot aan het maaiveld**

In niet of nauwelijks vergraven hoogveenrestanten, waar nog onvergraven, weinig gehumificeerd witveen aanwezig is en in feite sprake is van een verdroging van de toplaag van het veen (bijvoorbeeld in grote delen van het Fochteloërveen en het Meerstalblok), vond voor de uitvoering van herstelmaatregelen nauwelijks nog veenmosgroei plaats door te droge omstandigheden. Meestal zijn de sleutelsoorten (met name Wrattig veenmos en Hoogveenveenmos) in die situaties nog wel verspreid in het terrein aanwezig. Verder worden deze terreinen, door een combinatie van droogte en hoge stikstofdepositie, vaak gedomineerd door Pijpenstrootje, Berk en heidesoorten (Struikhei en Dophei). Vernatting van dit soort terreinen tot een niveau waarbij het water in ieder geval gedurende grote delen van het jaar aan het maaiveld staat, leidt tot een zeer positieve ontwikkeling van de vegetatie. Witveen heeft als gunstige eigenschap dat het opzwellt bij vernatting en inkrimpt bij verdroging, waardoor waterstandfluctuaties, althans gemeten ten opzichte van het maaiveld, worden gedempt. In een laboratoriumexperiment waarbij witveen werd vernat, leidde een tijdelijke waterstand van 10 cm onder het maaiveld of tijdelijke inundatie van 10 cm boven maaiveld dan ook niet tot verschillen in veenmosbiomassa aan het einde van het experiment (Figuur 22). Dit in tegenstelling tot zwartveen (zie paragraaf 5.4).

De positieve resultaten van vernatting van witveen tot een niveau waarbij het water in ieder geval gedurende grote delen van het jaar aan het maaiveld staat, zijn ook te zien in delen van het Fochteloërveen, waar in de eerste jaren na vernatting (in 1999) de bedekking door heidesoorten sterk is afgenomen, terwijl veenmossen, Veenpluis en Eenarig wollegras zich sterk konden uitbreiden. Experimenten in het laboratorium laten hetzelfde zien: in de bakken met vernatte witveen plaggen uit andere verdroogde terreinen (Tuspeel, Mariapeel, Bargerveen en Clara Bog) traden dezelfde veranderingen op. Een zekere uitbreiding van pollen Eenarig wollegras is gunstig in hoogveenrestanten (Wheeler en Shaw 1995, Buttler et al. 1998). Het microklimaat wordt door de aanwezigheid van pollen Eenarig wollegras gunstig beïnvloed, waardoor de vestigingscondities voor andere vaatplanten, maar ook mossen, beter zijn (Lavoie et al. 2003). De pollen bieden een goede beschutting voor de veenmossen in de drogere zomerperiode en bovendien een structuur waar de veenmossen bij wat hogere waterstanden tegenop kunnen groeien (zogenoemde pollenbuffering). De mate waarin Eenarig

wollegras zich uitbreidt na vernatten blijkt onder andere af te hangen van de nutriëntenrijkdom van het systeem. Bij een zeer sterke uitbreiding kan Eenarig wollegras door overmatige beschaduwning de veenmosgroei belemmeren.

Wat de terrestrische fauna betreft, kan een veenmosrijke plas-dras situatie binnen enkele decennia gekoloniseerd worden door diverse karakteristieke soorten loopkevers, spinnen en mieren. De diersoortensamenstelling wordt bepaald door de vochtigheid en vegetatiestructuur, maar ook door het kolonisatievermogen van soorten en het voorkomen van bronpopulaties in het terrein (Van Duinen et al. 2008c). Zoals in paragraaf 4.4 beschreven, is het van groot belang dat relictpopulaties van soorten in het terrein behouden blijven. Daarvoor kan het nodig zijn dat de vernatting niet over de gehele oppervlakte tegelijkertijd wordt uitgevoerd, maar in ruimte en tijd gefaseerd wordt.

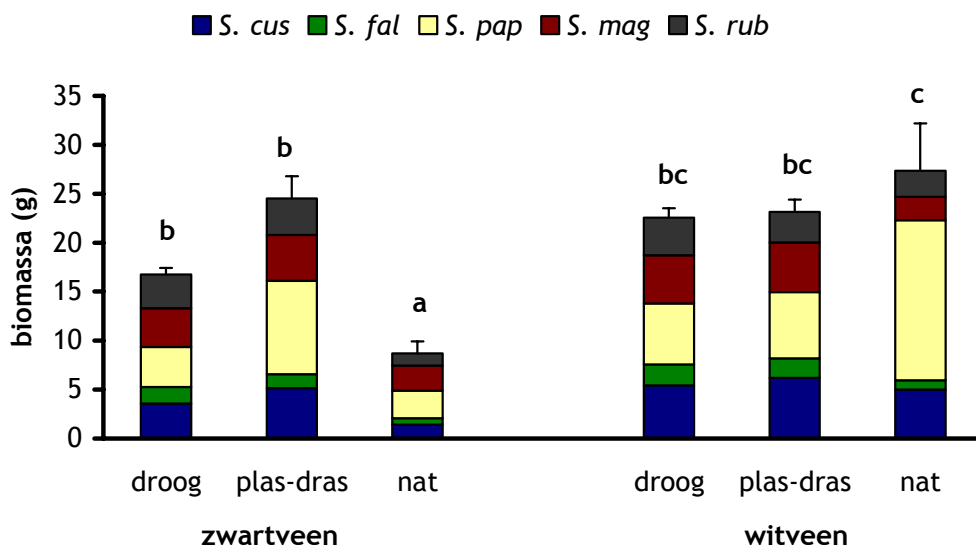
Om een plas-dras situatie te creëren in een witveenrestant is vrijwel altijd de aanleg van dammen noodzakelijk, omdat het witveenrestant boven zijn omgeving uitsteekt als gevolg van het afgraven van het omringende veenpakket. Rondom de witveenrestanten in het Meerstalblok, de onvergraven kern van de Engbertsdijkvenen en De Witten zijn dammen aangelegd; niet op witveen, maar bovenop zwartveen dat zeer slecht waterdoorlatend is. In het Fochteloërveen zijn met behulp van houten damwanden compartimenten gemaakt. Voorwaarde voor het in stand houden van een plas-dras situatie is dat de wegzijging van water uit het hoogveenrestant gering is. Dit vereist de aanwezigheid van een zeer slecht waterdoorlatende laag zwartveen of een (schijn)grondwaterspiegel in de minerale ondergrond die tot in de veenbasis van het veenrestant reikt.

## **5.4 Plas-dras vernatting van zwartveen**

In veel hoogveenrestanten waar het veenoppervlak uit zwartveen bestaat, zijn grote delen door opstuwing van neerslagwater geïnundeerd met het oog op hoogveenherstel. Inmiddels is gebleken dat de inundatie van zwartveenrestanten meestal weinig perspectieven biedt voor het ontstaan van drijftillen en/of voor een uitbundige groei van ondergedoken veenmossen (zie de volgende paragraaf). Als we te maken hebben met zwartveenrestanten waar geen bolster is teruggestort, biedt plas-dras vernatting (vermorsing) de beste kansen voor een goede ontwikkeling van veenmossen (Smolders et al. 2003). Uit een laboratoriumexperiment is gebleken dat tijdelijke (maximaal enkele maanden) droogte en/of tijdelijke inundatie door alle veenmossoorten goed wordt doorstaan en de ontwikkeling van de veenmosvegetatie op de langere termijn niet hoeft te schaden (Figuur 22). Een belangrijke conclusie uit het experiment is dat de veenmosleutelsoorten het onder de natte plas-dras condities net zo goed of beter doen dan de slenksoorten Waterveenmos en Fraai veenmos. Ook uit ander onderzoek komt naar voren dat in het geval van zwartveen, plas-dras vernatting de beste kansen biedt voor een goede ontwikkeling van veenmossoorten (Money 1995, Wheeler en Shaw 1995).

Evenals bij vernatting van witveen kan het microklimaat door de aanwezigheid van een structuur van pollen van bij voorkeur Eenarig wollegras in de kruidlaag gunstig beïnvloed worden. De pollen bieden een goede beschutting voor de veenmossen in de drogere zomerperiode en bovendien bieden ze de veenmossen houvast bij wat hogere waterstanden: ze kunnen er

tegenaan omhoog groeien. Gezien de positieve ontwikkeling van veenmossen op plas-dras vernat zwartveen werd in de tweede fase van het OBN-onderzoek deze potentiële herstelmaatregel op veldschaal onderzocht. Hiervoor werden in het Schoonebeekerveld (Bargerveen) en de Engbertsdijksvenen proefvelden ingericht. In het Schoonebeekerveld werd dit gerealiseerd door in een compartiment met zwartveen het waterpeil iets te verlagen en de bestaande verruigde vegetatie te chopperen. In de Engbertsdijksvenen werd de waterstand van een compartiment met geïnundeerd zwartveen verlaagd door een extra afvoerbuis aan te leggen. Deze experimenten zijn echter niet goed verlopen doordat het in de praktijk technisch lastig bleek te zijn om in de veldexperimenten voldoende stabiele waterstanden rond maaiveld te creëren (Figuur 23). In het Schoonebeekerveld waren de waterstandsschommelingen voor veenmosgroei te groot (> 1 meter) en in de Engbertsdijksvenen steeg het water te zeer. Daar bleek de afvoercapaciteit van de afvoerbuis te klein, omdat ook water vanuit naastgelegen compartimenten naar het plas-dras compartiment stroomde. Voor een goede veenmosontwikkeling is het van groot belang dat tijdens het groeiseizoen het waterpeil niet te ver wegzakt of te ver stijgt. Bij ongunstige hydrologische omstandigheden komt de veenmosgroei vrijwel geheel stil te liggen. Buiten het groeiseizoen is het minder van belang dat het waterpeil rond maaiveld staat en kan een ondiepe inundatie van het zwartveen juist gunstig zijn, omdat het veen in droge perioden dan minder snel droogvalt.



*Figuur 22. Biomassaproductie van vijf verschillende veenmossoorten groeiend in een laboratoriumexperiment op zwart- of witveen en bij verschillende initiële waterstanden: droog (-10 cm), plas-dras (0 cm) en nat (+10 cm). Na een half jaar werd de waterstand in alle behandelingen ingesteld op plas-dras niveau (0 cm). Weergegeven zijn gemiddelde droge biomassa's per m<sup>2</sup> anderhalf jaar na het inzetten van het experiment. Codering veenmossen: *S. cus* = Waterveenmos, *S. fal* = Fraai veenmos, *S. pap* = Wrattig veenmos, *S. mag* = Hoogveenveenmos en *S. rub* = Rood veenmos. Verschillende letters geven verschillen weer in totale biomassa van de vijf veenmossoorten samen per behandeling.*



*Figuur 23. Experimentele plas-dras vernatting van zwartveen in het Bargerveen (Schoonebeekerveld) waarbij in de helft van de proefvlakken Eenarig wollegras is aangeplant (pollenbuffering). In april 2006 stond het waterpeil ongeveer plas-dras en toonde het proefvlak een goede ontwikkeling van het geïntroduceerde veenmos (links). In juli 2006 was het waterpeil ver weggezakt en het veenmos sterk uitgedroogd (rechts). Uitdroging van het veen was op dat moment niet te voorkomen omdat ook de watervoorraad in de naastgelegen compartimenten was opgedroogd door drastisch zakken van het waterpeil.*

Door de problemen rondom de uitvoering van de veldexperimenten is duidelijk geworden dat dit deel van het Schoonebeekerveld speciaal ingericht zou moeten worden om zwartveen jaarrond plas-dras te kunnen vernatten. Door de lage bergingscoëfficiënt van zwartveen zal hier tijdens droge perioden het waterpeil snel wegzakken en weer snel stijgen tijdens een flinke regenbui. Om in hoogveenrestanten waar alleen nog sterk gehumificeerd zwartveen aanwezig is de gewenste stabiele plas-dras vernatting te kunnen realiseren, is het verhogen van de stijghoogte van het regionale grondwater de beste en meest duurzame oplossingsrichting. Dit biedt bovendien mogelijkheden voor herstel van biodiverse overgangszones met de minerale omgeving. Daarnaast kan een compartimentering van het terrein nodig zijn, waarbij de inrichting zodanig is dat optimaal water kan worden vastgehouden, indien mogelijk ook met compartimenten die als waterreservoir kunnen dienen voor toevoer van water naar nabijgelegen plas-dras compartimenten, wanneer daar een watertekort optreedt. Bovendien is het belangrijk dat water vanuit het plas-dras compartiment snel kan worden afgevoerd, wanneer het waterpeil te sterk stijgt (zie bijv. het experiment in Engbertsdijksvenen). Het kan verder zinvol zijn om voorafgaand aan de uitvoering van een plas-dras vernattingsproject het terrein machinaal voor te bewerken (eventueel ondiep plaggen) met als doel te dichte vegetatie te verwijderen en te grote hoogteverschillen in het terrein enigszins te egaliseren. Het advies hierbij is om vergraste zwartveenrestanten niet grootschalig van gras te ontdoen, maar met een kleinschaliger mozaïekpatroon te werken. Windwerking en het wegdrijven van veenmossen worden dan beperkt en afbraak van dood bladmateriaal kan dan mogelijk zorgen voor een hogere beschikbaarheid van kooldioxide voor veenmossen en voor een groter aanbod van geschikt dood organisch materiaal voor de detritivore fauna die aan de basis staat van de aquatische voedselketen. In zwartveenrestanten zal het overigens meestal nodig zijn om de veenmossleutelsoorten te introduceren, omdat deze doorgaans niet (of in een zeer lage abundantie) in het terrein aanwezig zullen zijn.



*Figuur 24. In de geïnundeerde, grootschalig verveende zwartveenrestanten beperkt de groei van waterveenmossen zich over het algemeen tot de ondiep geïnundeerde delen van het terrein met een waterlaag van minder dan een halve meter. In de dieper geïnundeerde delen vindt nauwelijks veenmosgroei plaats, terwijl de droogvallende delen meestal door Pijpenstrootje worden gedomineerd.*

## **5.5 Groei van submers (ondergedoken) veenmos na inundatie**

Vaak is in het verleden bij herstelprojecten in hoogveengebieden vanwege de lage bergingscoëfficiënt van zwartveen (grote waterstandfluctuaties) gekozen voor inundatie van grote delen van zwartveenrestanten: voor vernatting tot een niveau waarbij het water gedurende het hele of grote delen van het jaar boven het maaiveld kwam te staan. Verlanding van geïnundeerde zwartveenrestanten kan slechts plaatsvinden indien de waterlaag dichtgroeit met in het water groeiende veenmossen of wanneer zich drijftillen



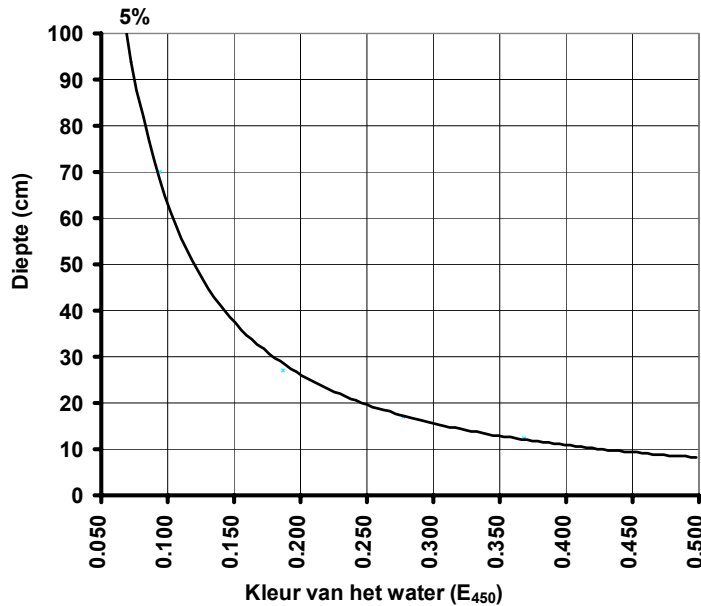
ontwikkelen (zie paragraaf 5.6). Over het algemeen beperkt de groei van waterveenmossen zich tot de (zeer) ondiep geïnundeerde delen van het terrein met een waterlaag van hooguit een halve meter (Money 1995, Lamers et al. 1999). Dit komt doordat het water in veenrestanten bijna altijd dystroof is, dat wil zeggen: gekleurd door humuszuren. Deze humuszuurkleuring verhindert dat dieper in het water nog voldoende licht doordringt voor de groei van veenmossen (Smolders et al. 2003). Een goede en gemakkelijk te bepalen maat voor de kleuring door humuszuren is de extinctie voor licht met een golflengte van 450 nm ( $E_{450}$ ).

Figuur 25 geeft de relatie tussen de diepte waarop nog 5% van het daglicht doordringt en de  $E_{450}$ -waarde van het water. Voor de meeste open wateren in hoogvenen ligt de  $E_{450}$  tussen de 0,1 en 0,4. Dit betekent dat in het gunstigste geval de diepte waarop nog 5% van het daglicht doordringt ongeveer een halve meter bedraagt; dus meestal minder dan een halve meter. Deze 5% van het daglicht is bij benadering de minimale hoeveelheid licht die veenmossen nodig hebben om te kunnen groeien. Dit betekent dat in water dat dieper is dan een halve meter de veenmosgroei alleen al door lichtgebrek slecht verloopt. Een minimale absolute lichtsterkte is trouwens niet te geven omdat veenmossen een periode met minder licht best kunnen overleven. Ook de temperatuur en daglengte spelen een rol, waardoor de jaarrond lichtsterkte een betere indicatie geeft.

Daarnaast is onder water groeiend veenmos voor de kooldioxidevoorziening volledig afhankelijk van kooldioxide ( $CO_2$ ) dat door afbraak van organisch materiaal op de bodem in de waterlaag terechtkomt (benthisch  $CO_2$ ) (Paffen en Roelofs 1991, Riis en Sand-Jensen 1997). In geïnundeerd sterk gehumificeerd zwartveen is de afbraak vaak zo gering dat ook de nalevering van  $CO_2$  naar de waterlaag te klein is om een sterke groei van veenmos mogelijk te maken (Smolders et al. 2003). Een stijghoogte van het regionale gebufferde grondwater tot in de veenbasis kan onder deze omstandigheden resulteren in een verhoogde beschikbaarheid van kooldioxide in de waterlaag, tenzij het zwartveenpakket zo dik en slecht doorlatend is dat het methaan of  $CO_2$  -dat onder invloed van gebufferd grondwater onderin het veenpakket wordt gevormd- niet de bovenkant van het restveenpakket kan bereiken.

In de compartimenten met geïnundeerd zwartveen in hoogveenrestanten met een diepe waterlaag zijn de omstandigheden vaak niet goed genoeg om groei van veenmossen onder water mogelijk te maken. In verzurende of van nature zure vennen met een minerale bodem zien we vaak wel een zeer snelle groei van veenmossen, waardoor in korte tijd het ven volledig dicht kan groeien. Dit komt omdat op minerale bodems het water veel minder wordt gekleurd door humuszuren, waardoor licht niet beperkend is voor de veenmosgroei. Daarnaast worden vele vennen vanuit hun naaste omgeving (infiltratiegebied) gevoed met  $CO_2$ -rijk water, zodat in dergelijke gevallen ook  $CO_2$  niet beperkend is. Veenmosgroei in dit soort vennen kan zelfs nog worden gestimuleerd door de omgeving van waaruit het water wordt aangevoerd (het vanggebied) licht te bekalken, waardoor er meer  $CO_2$  oplost in het infiltrerende water (Dorland et al. 2000). Ook ondiepe poelen en slenken in intacte hoogvenen hebben de neiging snel dicht te groeien met Waterveenmos. Dit komt doordat hier veel  $CO_2$  uit het omringende veen wordt aangevoerd. Aanvoer van  $CO_2$  kan ook verantwoordelijk zijn voor de ontwikkeling van veenmossen in terreindelen binnen een groter hoogveenrestant. Door microreliëf in het terrein kunnen door oppervlakkige toestroming van water bepaalde delen van het terrein worden aangerijkt met  $CO_2$ . Het is belangrijk bij eventueel te nemen maatregelen rekening te houden met zulk een oppervlakkige waterstroming, zodat de maatregelen niet leiden

tot het wegvallen ervan, maar zo mogelijk de toestroming juist wordt versterkt of wordt uitgebreid naar andere delen van het gebied.



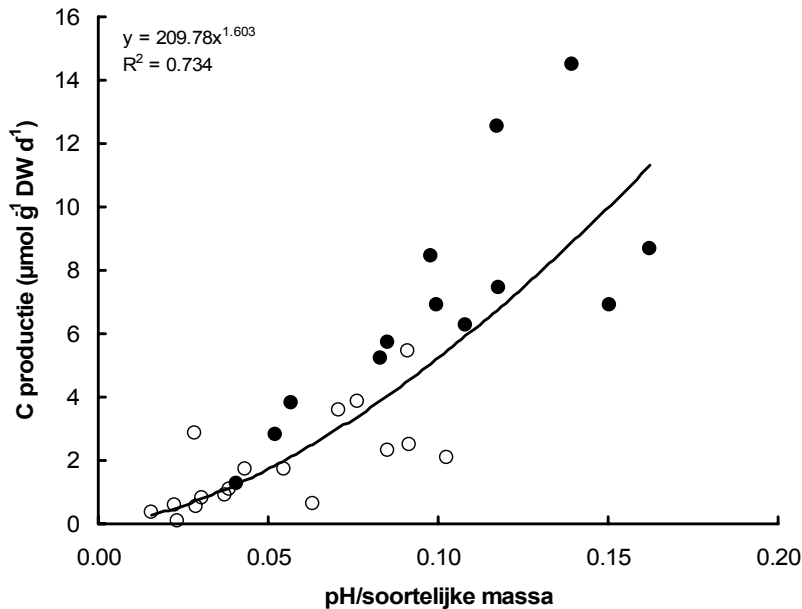
Figuur 25. Verband tussen de kleuring van het water ( $E_{450}$  = extinctie bij 450 nm) en de diepte waarop nog 5% van het daglicht doordringt.

## 5.6 Drijftilvorming na inundatie

Na inundatie van zwartveen kan in hoogveenrestanten drijftilvorming optreden wanneer nog een toplaagje van weinig gehumificeerd veen aanwezig is (dit kan bijvoorbeeld de teruggestorte bolster zijn). Dit weinig gehumificeerde veen komt dan na de inundatie los van het zwartveen en vormt een drijvende laag waarop zich vervolgens veenmossen kunnen vestigen (Lamers et al. 1999, Smolders et al. 2002). Methaangas (moerasgas) speelt bij het ontstaan van deze drijftillen een belangrijke rol. Methaan wordt door bacteriën gevormd uit de afbraakproducten (met name acetaat en kooldioxide) die vrijkomen bij de anaërobe afbraak van organisch materiaal (Segers 1998). Dit impliceert dat methaan slechts geproduceerd wordt wanneer het veen nog voldoende 'afbreekbaar' is en dat er dus nog voldoende relatief jong, weinig gehumificeerd, organisch materiaal aanwezig moet zijn (Smolders et al. 2002, Tomassen et al. 2003a, 2004a).

Drijvend veen heeft een hogere potentiële methaanproductie en een lager volumegewicht (soortelijke massa) dan niet drijvend geïnundeerd veen (Tomassen et al. 2004a). Verder is het over het algemeen rijker aan fosfor (P) en stikstof (N) en armer aan moeilijk afbreekbare organische verbindingen zoals lignine en fenolen. Het hogere volumegewicht en de hogere lignineconcentraties van het niet drijvende veen duiden op een sterkere mate van humificatie en dus geringere afbreekbaarheid. Ook de pH van veenvocht beïnvloedt de potentiële methaanproductie in belangrijke mate. Zure omstandigheden, die meestal in het veen overheersen, remmen de microbiële activiteit en dus de methaanproductie (Segers 1998). Wanneer echter enige buffering optreedt, wordt door de hogere pH de methaanproductie gestimuleerd (Smolders et al. 2002, Tomassen et al. 2003a). Hierbij is een verhoging van pH 4 tot pH 5 voldoende om de methaanproductie sterk te

laten toenemen. Gebleken is dat de ratio tussen de pH van het uitknijpvocht en het volumegewicht van het veen goed correleert met de potentiële methaanproductie (Figuur 26). Beide eigenschappen zijn relatief eenvoudig te bepalen zonder ingewikkelde chemische analyses. Een hoge ratio gaat meestal samen met een relatief hoge methaanproductie en dus met een grote kans dat het veen komt opdrijven na inundatie (Tomassen et al. 2004a).

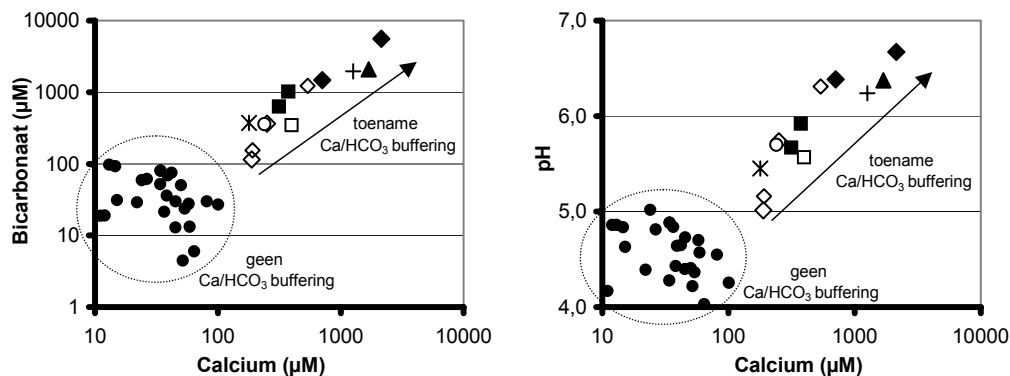


*Figuur 26. Relatie tussen de koolstofproductie (CO<sub>2</sub> plus CH<sub>4</sub>) bij zuurstofloze (anaërobe) incubatie van het veen en de verhouding tussen de pH en soortelijke massa (volumegewicht) van het veen. Het onderzochte veenmateriaal was afkomstig van verschillende locaties in Nederland. De drijvende veensubstraten zijn weergegeven met de zwarte bolletjes en de niet-drijvende geïnundeerde veensubstraten met de witte bolletjes.*

De pH van het veenpakket kan sterk worden beïnvloed door de nabijheid van gebufferd grondwater. In een groot deel van de hoogveenrestanten is de veenlaag die bewaard is gebleven erg dun, minder dan 1 m dik, en bevindt de veenbasis zich dus dicht aan het veenoppervlak. Indien gebufferd grondwater tot in de veenbasis reikt, kan in deze restveenpakketten een buffering optreden, waardoor de afbraakprocessen en dus de methaanproductie worden gestimuleerd. Dit is bijvoorbeeld het geval in het Vragenderveen (onderdeel van het Korenburgerveen) en het Haaksbergerveen. In het Haaksbergerveen heeft de bufferende invloed van het grondwater na inundatie op een aantal plaatsen geleid tot een snelle ontwikkeling van drijftillen door het opdrijven van restveen (Lamers et al. 1999). De invloed van gebufferd grondwater kan worden vastgesteld aan de hand van de analyses van het veenvocht in de veenbasis (Figuur 27). Een hoge calciumconcentratie (>100 µmol l<sup>-1</sup>) in combinatie met een hoge pH (pH>5,0) en een hoge bicarbonaatconcentratie (>100 µmol HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> l<sup>-1</sup>) duiden op een buffering van de veenbasis. De mate waarin de buffering van de veenbasis doorwerkt op het veen zal afhangen van de mate waarin het grondwater is gebufferd en van de dikte en doorlatendheid van het veenpakket.

Indien zich drijftillen van opdrijvend restveen ontwikkelen, bepaalt de structuur van het veen of de drijftillen permanent blijven drijven of dat ze een seizoensdynamiek vertonen, waarbij ze in de winter zinken. De productie van

methaan is als microbiel proces sterk afhankelijk van de temperatuur (Segers 1998). De methaanproductie zal in de zomer dan ook veel hoger zijn dan in de winter. Omdat methaan slecht in water oplosbaar is, blijft het methaangas in de vorm van belletjes hangen in het veen. Wanneer het veen los van structuur is, zal methaan relatief gemakkelijk ontsnappen. In de winter, wanneer de methaanproductie laag is, daalt de methaanconcentratie sterk en verliest het veen zijn drijfvermogen. Zodra in de loop van het voorjaar weer voldoende methaan is geaccumuleerd en gasbelletjes zijn gevormd, komt de drijftil weer omhoog. Deze seizoensdynamiek kan bijvoorbeeld worden waargenomen bij een aantal drijftillen in het Haaksbergerveen (Tomassen et al. 2004a).



*Figuur 27. Verband tussen de calciumconcentratie en de bicarbonaatconcentratie (links) en de pH (rechts) van het veenvocht verzameld in de veenbasis van verschillende locaties. Verklaring van de symbolen: locaties zonder  $\text{Ca}/\text{HCO}_3$  buffering ( $\bullet$ ; vnl. Nederlandse locaties); locaties met  $\text{Ca}/\text{HCO}_3$  buffering: Lough Roe (driehoekjes) en Scragh Bog (+) in Ierland, Hautes Fagnes in België (\*), Nigula in Estland (o), Korenburgerveen (zwarte ruitjes), Haaksbergerveen ( $\diamond$ ), Zwart water (provincie Limburg) ( $\square$ ) en Weerribben ( $\cdot$ ) in Nederland.*

## 5.7 Introductie van veensubstraat na inundatie

Op zwartveenlocaties die ten gevolge van de topografie van het terrein permanent geïnundeerd blijven en waar (dientengevolge) de perspectieven voor hoogveenontwikkeling niet erg goed zijn, kan worden overwogen de vestiging van veenmossen op drijftillen te stimuleren door introductie van veensubstraat. Het gaat daarbij om organisch materiaal uit de toplaag van hoogveen- of uit veenheidegebieden (Smolders et al. 2003, Tomassen et al. 2003a). Deze laag bevat veen, bestaat uit relatief makkelijk afbreekbaar organisch materiaal en kan zorgen voor voldoende methaangasproductie. Echter, een probleem vormt hierbij het feit dat deze toplaag in veel veenrestanten sterk is verzuurd (tot een pH 4 – 4,5), door sterke verdroging en oxidatieprocessen. Onder zure omstandigheden wordt de productie van methaangas sterk geremd en blijft het geïntroduceerde veensubstraat niet drijven. Door het te introduceren veen licht te bekalken blijkt drijftilvorming gestimuleerd te worden.

Uit de resultaten van een kasexperiment (Figuur 28) blijkt dat een éénmalige bekalking voldoende is om de pH te verhogen naar circa 5, waarbij de methaanproductie op gang komt (gegevens 2001 in Figuur 29). Aangezien

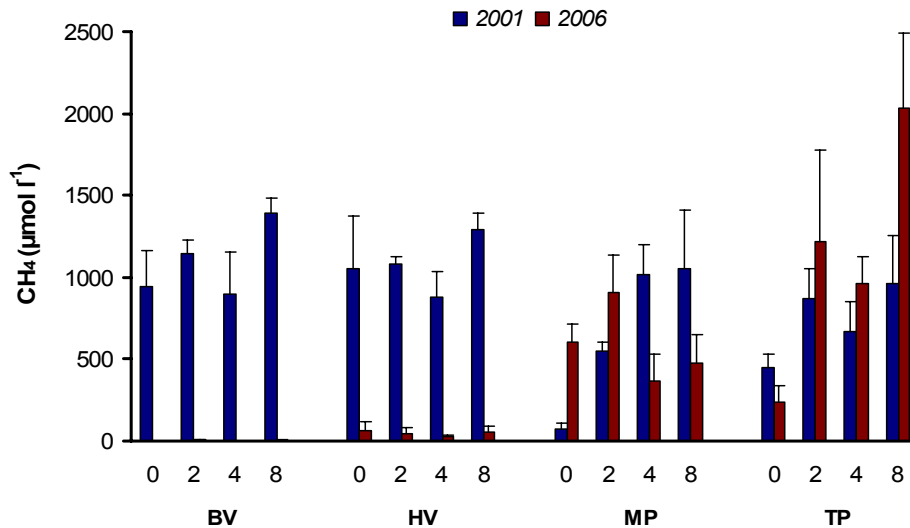
methaanproductie een zuurconsumerend proces is, zal de pH niet meer dalen zodra de methaanproductie op gang is gekomen. In het kasexperiment is ook plagsel uit een vergraste veenheide (van het Bargerveen) 'getest' en dit materiaal blijkt snel te komen opdrijven. Op deze manier zouden twee vliegen in één klap kunnen worden geslagen, omdat plagsel dat bij het plaggen van terreinen vrijkomt meteen een goede bestemming vindt. Een aandachtspunt hierbij is wel de voedselrijkdom van het plagsel. Wanneer het materiaal te rijk is aan voedingsstoffen bestaat de kans dat de drijftil snel dichtgroeit met soorten als Pijpenstrootje en Pitrus (Figuur 31). Dit heeft sterke negatieve gevolgen voor de veenmosontwikkeling en methaanproductie en kan leiden tot het afzinken van de drijftil. Het verdient aanbeveling het materiaal op voedselrijkdom te screenen voor introductie. Er zijn nog geen maximale nutriëntenconcentraties die experimenteel zijn onderbouwd aan te geven, maar het is vastgesteld dat zich op veensubstraten met een P-concentratie hoger dan  $20 \mu\text{mol l}^{-1}$  en een N-concentratie hoger dan  $1000 \mu\text{mol l}^{-1}$  een dichte Pitrusvegetatie ontwikkelde.



*Figuur 28. Overzichtsfoto van een drijftilexperiment (links) waarbij in iedere vijver elke cilinder gevuld is met veen afkomstig van een verschillende locatie. Het materiaal is allemaal gaan opdrijven na bekalking. De hoge fosfaat- en ammoniumconcentraties in het Bargerveenmateriaal hebben geleid tot sterke groei van Pitrus. Op de drijvende veenplaggen uit de Mariapeel en Tuspeel werd in april 2004 Wrattig veenmos (Sp), Hoogveenveenmos (Sm) en Waterveenmos (Sc) geïntroduceerd. Van iedere soort werden 10 plantjes (10 cm lengte) bij elkaar gezet (rechtsboven). Rechtsonder staat een foto van een controlebehandeling van veen uit de Tuspeel waarop de geïntroduceerde veenmossen zich goed ontwikkeld hebben.*

Het is bij een introductie van veensubstraat belangrijk ook veenmossen te introduceren zo snel mogelijk nadat het veen is komen opdrijven. Drijftillen blijven namelijk drijven bij de gratie van de aanwezigheid van organisch

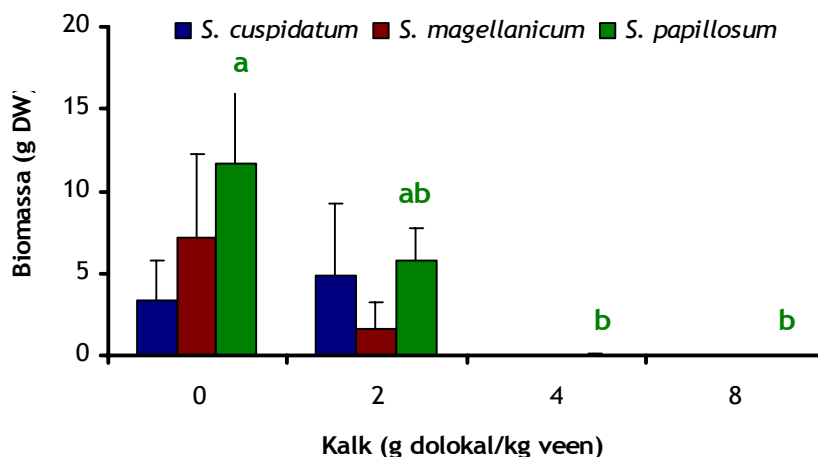
materiaal dat nog afbreekbaar is en zo methaangas kan opleveren. Op de langere termijn zal er nieuw afbreekbaar organisch materiaal moeten worden gevormd door afgestorven resten van veenmossen of eventueel andere plantensoorten die op de drijftil gaan groeien. Lange-termijn onderzoek naar het drijfvermogen van drijftillen geeft duidelijk aan dat de methaanproductie sterk vermindert wanneer er geen vorming van nieuw afbreekbaar veen is (Figuur 29).



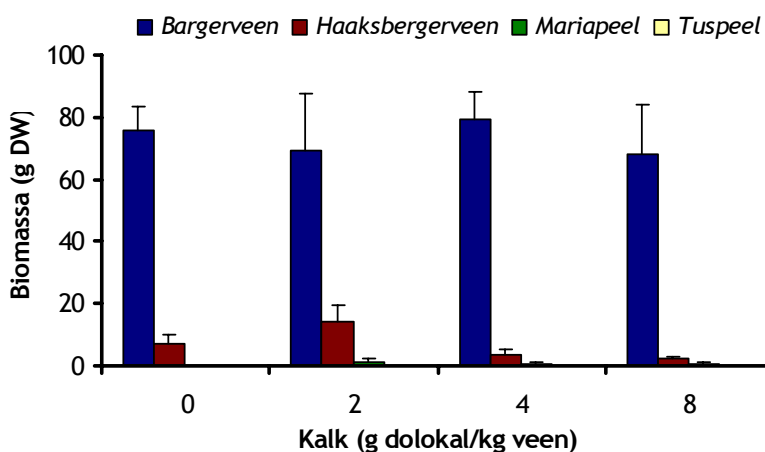
*Figuur 29. Methaanconcentratie in het veenwater in oktober 2001 (6 maanden na de start van het experiment) en in december 2006 (bijna 6 jaar na de start van het experiment) bij verschillende bekalkingsniveaus (0, 2, 4 & 8 g dolokal kg<sup>-1</sup> vers veen) in veen afkomstig van vier locaties. Weergegeven zijn gemiddelde + 1 SE (n = 4); BV = Bargerveen, HV = Haaksbergerveen, MP = Mariapeel en TP = Tuspeel. Duidelijk te zien is dat bij de veensubstraten waarbij de methaanproductie snel op gang kwam (Bargerveen en Haaksbergerveen) vijf jaar later de methaanconcentraties juist het laagste zijn (uitputting van het veen).*

Bekalking bevordert het drijven van geïntroduceerd witveen, maar bij toediening van kalk in hoge concentraties stopt de veenmosgroei (Figuur 30). Hoge calcium- en bicarbonaatconcentraties in het veenwater zijn namelijk giftig voor veenmossen (Money 1995, Sliva en Pfadenhauer 1999). Een lage kalkadditie (maximaal 2 g dolokal per kg vers veen) geeft echter voldoende drijfeffect en vormt geen probleem voor de veenmosontwikkeling. Een hoge kalkadditie is overigens ook uit het oogpunt van de methaanproductie niet wenselijk (te sterke stimulatie van de afbraak met het risico op snelle uitputting van het veen).

Evenals het plas-dras vernatten van zwartveen is de introductie van veensubstraat als potentiële herstelmaatregel in de tweede OBN-onderzoeksfase opgeschaald naar veldschaal. In het Bargerveen werden hiervoor in 2004 zwartveenputten gegraven waarin veensubstraat werd gestort (Figuur 32). Ondanks de sterke toename van de methaanproductie (Figuur 33) is het veen, tot op heden, niet komen opdrijven. Een verklaring hiervoor zou kunnen zijn dat de structuur van het geïntroduceerde witveen te weinig samenhang had om drijftillen te vormen waarin methaanbelletjes worden vastgehouden.



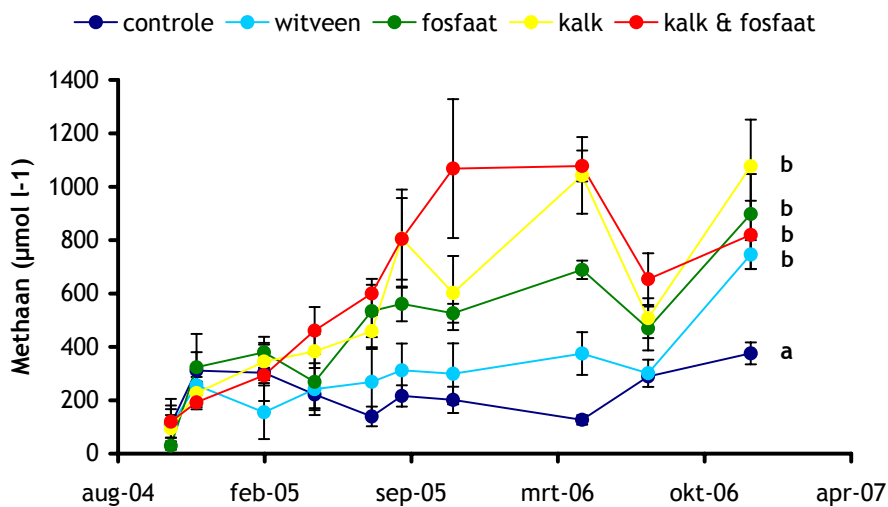
Figuur 30. Biomassa (gemiddelde  $\pm$  1 SE) van Waterveenmos, Hoogveenveenmos en Wrattig veenmos op plaggen uit de Tuspeel in december 2006, 2,5 jaar na introductie. Het veen is vermengd met verschillende hoeveelheden kalk en per soort zijn 10 capitula ingezet (ca. 0.5 gr drooggewicht). Alleen de biomassa van Wrattig veenmos verschilt significant (ANOVA) en deze verschillen worden aangegeven met verschillende letters.



Figuur 31. Biomassa (g drooggewicht) van Pitrus (*Juncus effusus*) op de plaggen uit het Bargerveen, Haaksbergerveen, Mariapeel en Tuspeel met verschillende hoeveelheden kalk in december 2006, ongeveer 6 jaar na de start van het experiment. Weergegeven zijn gemiddelde + 1 SE.



Figuur 32. Opschaling van experimentele drijftilvorming via de introductie van veensubstraat: in februari 2004 zijn hiervoor in het verveende deel van het Meerstalblok (Bargerveen) vijf zwartveenputten gegraven van 5 bij 10 meter (links) waar in september 2004 witveen is ingebracht (rechts).



Figuur 33. Methaanconcentratie in het veenvocht bij verschillende kalk- en/of fosfaatbehandelingen bij het witveenintroductie-experiment in het Bargerveen tussen oktober 2004 en december 2006. Verschillende letters geven significante verschillen aan tussen de behandelingen in december 2006 (éénweg ANOVA).



## 5.8 Introductie van "sleutelsoorten"

Voor de ontwikkeling van een functionerende acrotelm is de dominantie van veenmossleutelsoorten een randvoorwaarde. Deze sleutelsoorten, waaronder Wrattig veenmos, Hoogveenveenmos en Rood veenmos, beschikken over de juiste eigenschappen om een goede acrotelmstructuur te vormen. In hoogveenrestanten waar nog witveen aanwezig is, worden de sleutelsoorten na herstelmaatregelen vaak weer teruggevonden. Deze soorten zijn dan waarschijnlijk in zeer kleine aantallen nog aanwezig geweest en waren in staat vanuit het relatief jonge witveen te regenereren. In hoogveenrestanten waar witveen ontbreekt en overwegend zwartveen aanwezig is, zullen de sleutelsoorten doorgaans nog maar zeer sporadisch of niet meer aanwezig zijn. Er zijn vele locaties waar herstpogingen hebben geresulteerd in de ontwikkeling van veenmostapijten die gedomineerd worden door Waterveenmos en/of Fraai veenmos. Voor deze slenksoorten lijkt het eenvoudig om nieuwe groeiplaatsen te koloniseren. Wanneer de voedingsstoffenconcentratie in de omgeving afneemt, neemt de groei van deze twee veenmossoorten navenant af en krijgen andere veenmossoorten, zoals bultvormers, pas een kans om zich te vestigen en uit te breiden. Wanneer de bultsoorten echter niet of nauwelijks meer in het betreffende hoogveengebied voorkomen, is de kans klein dat deze soorten zich spontaan op nieuwe geschikte groeiplaatsen in herstellend hoogveen vestigen. Ook uit paleobotanisch onderzoek is gebleken dat spontane vestiging van deze soorten honderden jaren op zich kan laten wachten (Joosten 1995), waarschijnlijk afhankelijk van de omstandigheden op de betreffende plek wat verspreiding en relictvoorkomens van de veenmossoorten betreft. Gezien de hoge kosten en grote inspanningen die met hoogveenherstelprojecten gemoeid zijn en de sleutelrol van bultvormende veenmossen, is het soms moeilijk verdedigbaar zo lang op natuurlijke vestiging te wachten. Om de vorming van een functionerende acrotelm te versnellen, kan overwogen worden de sleutelsoorten te introduceren. Introductie van veenmossen wordt in Canada bijvoorbeeld op grote schaal met succes toegepast om herstel van afgegraven hoogvenen mogelijk te maken of te versnellen (o.a. Rochefort et al. 2003). Ook in Europese landen wordt experimenteel gewerkt met veenmosintroducties bij hoogveenherstelmaatregelen (Wheeler en Shaw 1995, Sliva en Pfadenhauer 1999, Tuittila et al. 2004, Gunnarsson en Söderström 2007).

Er bestaat veel onduidelijkheid over de verspreidings- en vestigingsmogelijkheden van veenmossen. Vestiging van veenmossen vanuit sporen (generatieve voortplanting) wordt vrijwel nergens waargenomen (Daniels en Eddy 1990, Sundberg en Rydin 2002) en de verspreiding van veenmossen is dus voornamelijk afhankelijk van vegetatieve voortplanting. Dit laatste kan plaatsvinden op vier manieren: 1. vertakking van de hoofdstengel, 2. vorming van innovaties vanuit stengel of tak, 3. fragmentatie van takken of 4. de vorming van speciale cellen (protonema) (Cronberg 1991). In de praktijk speelt verspreiding en vestiging vanuit fragmenten een belangrijke rol. Via fragmenten kunnen veenmossen zich echter alleen over relatief kleine afstanden verspreiden en gezien de sterke versnippering van hoogveenvegetaties in Nederland zal het moeilijk zijn om nieuwe locaties via fragmenten te koloniseren. Naast verspreiding is de vestiging van veenmossen onder de huidige condities mogelijk ook een probleem. Uit de literatuur is bekend dat een hoge stikstofdepositie, zoals in Nederland, de (spontane) vestiging van Hoogveenveenmos vanuit fragmenten negatief kan beïnvloeden (Li en Vitt 1994). Dit alles maakt actieve introductie van sleutelsoorten in herstelprojecten verdedigbaar.

Bij introductie van veenmossen moet allereerst onderscheid gemaakt worden tussen introductie op kaal veen en introductie binnen een bestaande veenmosvegetatie. Op kaal veen is de vochtuishouding van cruciaal belang. Het veenmos kan zich alleen dan uitbreiden wanneer de waterbeschikbaarheid in de veenmoskopjes voldoende is. In de praktijk betekent dit dat ze in de zomer niet te veel mogen uitdrogen. Enige beschutting van aanwezige vegetatie in de vorm van grasachtigen (pollenbuffering) of bomen, het afdekken van geïntroduceerde veenmosfragmenten met stro (zoals in Canada gebeurt), het introduceren van veenmosplaggen of een plas-dras situatie in de zomer kunnen er voor zorgen dat veenmos niet te sterk uitdroogt en zich kan uitbreiden in het groeiseizoen. Wanneer het veenmos een aaneengesloten mat heeft gevormd die in dikte toeneemt, kan het zijn eigen waterhuishouding steeds beter reguleren en worden de bovenstaande zaken geleidelijk minder nodig.

Introductie in een bestaande veenmosvegetatie levert andere problemen op, aangezien het geïntroduceerde mos te maken krijgt met competitie van de al aanwezige mossoort (Robroek et al. 2009). Succesvolle uitbreiding van de getransplanteerde soort kan alleen wanneer hij over een langere tijd gezien harder groeit dan het mos in zijn omgeving. Bij introductie van bultvormende sleutelsoorten in vegetaties van slenksoorten als Waterveenmos en Fraai veenmos speelt vooral de waterbeschikbaarheid, en waarschijnlijk de frequentie van kort uitdrogen, weer een grote rol. Onder een constant hoge vochtvoorziening kunnen slenksoorten harder groeien dan bultsoorten en zal van getransplanteerde bultsoorten niet veel overblijven. Transplanteren van sleutelsoorten in een open, natte Waterveenmos vegetatie heeft dan ook weinig kans op succes, tenzij er een relatief droge zomer volgt. In het algemeen heeft introductie van bultvormers in een vegetatie van Waterveenmos of Fraai veenmos pas zin wanneer de veenmosvegetatie minder open is geworden en de slenksoorten minder hard zijn gaan groeien, niet harder dan ongeveer 4 cm per jaar. Ongeveer in deze fase verschijnen ook de heideachtigen zoals Kleine veenbes en Gewone dophei in de veenmosvegetatie; dit moment kan wellicht als indicatie gebruikt worden voor de tijd van transplanteren van bultvormende veenmossen.

Uit transplantatieproeven blijkt verder dat het introduceren van grotere plaggen veenmos meer succes heeft dan kleine fragmenten (Figuur 34). De kleine stukjes raken vaak te snel overgroeid, terwijl de in grotere plaggen getransplanteerde veenmossen direct na de introductie enige hinder ondervinden van het verplaatsen, zelfs in een geschikte locatie, maar zich daarna wel kunnen uitbreiden (Robroek et al. 2009). Indien gekozen wordt voor de introductie van bultvormende veenmossen kan het beste gekozen worden voor gebiedseigen en anders streekeigen materiaal. Zoals bij het uitvoeren van alle maatregelen is het van belang de introductie goed te documenteren en te monitoren.



*Figuur 34. Uitbreiding van Hoogveenveenmos in een Waterveenmosvegetatie in de Mariapeel in december 2006. In het midden van het proefvlak zijn in maart 2004 40 kopjes van Hoogveenveenmos geïntroduceerd. Na twee groeiseizoenen is het aantal kopjes meer dan verdubbeld.*

## **5.9 Tegengaan van Berken en vergrassing**

Naast hydrologische maatregelen kunnen in de hoogveenrestanten maatregelen als verwijderen van Berken, maaien of plaggen de opslag van Berken en de ongewenste dominantie van met name Pijpenstrootje terugdringen. Niet overal kunnen de hydrologische omstandigheden voldoende verbeterd worden en in delen van hoogveenrestanten zal een herhaald vegetatiebeheer nodig blijven, zeker ook zolang de stikstofdepositie nog boven de  $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$  ligt.

In het hoogveenbeheer speelt de vraag of en wanneer het verwijderen van berkenopslag in hoogveenreservaten noodzakelijk is. Het verwijderen van de Berken brengt vaak een verstoring van het ecosysteem met zich mee. Bovendien is het in hoogvenen een arbeidsintensieve en dus zeer kostbare maatregel. 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. Het OBN-onderzoek daarnaar heeft enkele belangrijke conclusies en adviezen opgeleverd (Limpens 2009 en 2011).

Berken kiemen door de hoge voedselbeschikbaarheid goed in het Nederlandse veen en instabiele of lage waterstanden in het veen stimuleren de groei van de Berken (Limpens 2011, Tomassen et al. 2003c en 2004b). Ze kunnen een negatief effect hebben op hoogveen(vegetatie) en het voor veenontwikkeling zo belangrijke veenmos door interceptie van neerslag, sterke verdamping met

als gevolg grotere waterstandfluctuaties, beschaduwning van de ondergroei en toevoer van extra voedingsstoffen via bladval. In het geval de Berken op drijftillen opslaan, kunnen ze op de langere termijn leiden tot beschadiging van de drijftil als de berken omvallen. Anderzijds kunnen Berken ook een positief effect op hoogveenontwikkeling hebben: beschutting door Berken kan zorgen voor een stabiel en vochtiger microklimaat onder de bomen en remt door beschaduwning de groei van grasachtigen. Dit kan gunstig uitpakken voor veenmosgroei, maar dan vooral voor snelgroeiende soorten zoals Fraai veenmos en Kamveenmos (*Sphagnum fimbriatum*) en niet voor bultvormers. Dan hebben we wel te maken met de ontwikkeling van een berkenbos op veen; is dat ongewenst, dan is verwijderen van Berken nodig (Limpens 2009 en 2011). In de Tuspeel had het verwijderen van een dichte berkenopstand een positieve uitwerking op de lokale hydrologie. De zomerwaterstanden stegen daar: voor verwijdering bevonden ze zich 70 cm onder het maaiveld, na verwijdering nog maar 40 cm. Deze vernatting werkte door op de vegetatieontwikkeling. Na een massale uitbreiding van Eenarig wollegras, konden zich hier veenmossen tussen de pollen van deze soort vestigen en uitbreiden. Engels eco-hydrologisch onderzoek met behulp van grote lysimeters laat zien dat de waterstand onder volwassen berken op veen consistent ca. 10-15 cm lager ligt dan de waterstand in vergelijkbare vegetatie (Bragg 2002).

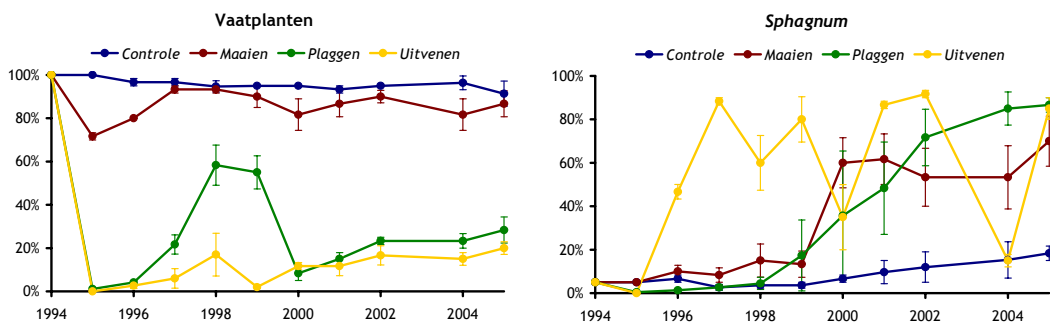
Uit een verkennend jaarringonderzoek naar de leeftijdsopbouw van berkenbestanden op drijftillen op vier locaties (Barendse 2007) komt naar voren dat berkenopslag in Nederlandse hoogveenreservaten een jaarlijks terugkerend fenomeen is, zelfs bij stabiel hoge waterstanden zoals die in drijftillen optreden. Het onderzoek laat zien dat elk jaar nieuwe Berken kiemen en overleven, ondanks de –voor Berken- ongunstige hydrologische omstandigheden, en dat de opslag vooral plaatsvindt gedurende warme jaren met een droogteperiode in het voorjaar of bij het begin van de zomer. Verder bleek de groeisnelheid van berken hoog; de meeste berken doen er 4-5 jaar over om 1 meter hoogte te bereiken en de snelst groeiende berk groeide zelfs 40cm in het eerste jaar. Daarbij was de leeftijd van de berken niet nauwkeurig af te leiden van hoogte en dikte van de bomen. Wat verder opviel was dat de ondergroei op de onderzochte locaties met relatief hoge berkendichtheid gedomineerd werd door de meer minerotrofe veenmossoorten die typisch zijn voor berkenbroek: Kamveenmos, Fraai veenmos en Gewoon veenmos (*Sphagnum palustre*). De hoogveenvormende veenmossoorten zoals Wrattig veenmos en Hoogveenveenmos waren afwezig. De laatste soorten kunnen wel gevonden worden in combinatie met berkenopslag, maar alleen bij een lage dichtheid van Berk.

Het verwijderen van Berken kan het beste gebeuren door het kappen van grote oppervlakten tegelijk (liefst op compartimentniveau) om de (her)groeisnelheid te beperken. Voor zover nog aanwezig, kan het verwijderen van Berken het best worden gecombineerd met het dempen van greppels en sloten. Hoge waterstanden remmen de groei en bij stabiele waterstanden op ca. -15 onder het veenmosniveau groeien Berken nauwelijks en zal hun bijdrage aan de systeemevapotranspiratie vrij laag blijven. Het afzagen van Berken lijkt de meest praktische methode, al is trekken van berk en beschadiging van wortels in het groeiseizoen efficiënter. Berken lopen na het kappen meestal opnieuw uit. Bij afzagen is het beter de stam op wat grotere hoogte door te zagen: afzagen ter hoogte van de stobbe lijkt de vorming van nieuwe spruiten te bevorderen. Verder kan het opnieuw uitlopen van gekapte berken worden beperkt of voorkomen door ze niet te dik te laten worden: maximaal tot een hoogte van 2 m en/of een diameter van 3 cm. Afhankelijk van de groeisnelheid, die bepaald wordt door lokale verschillen in

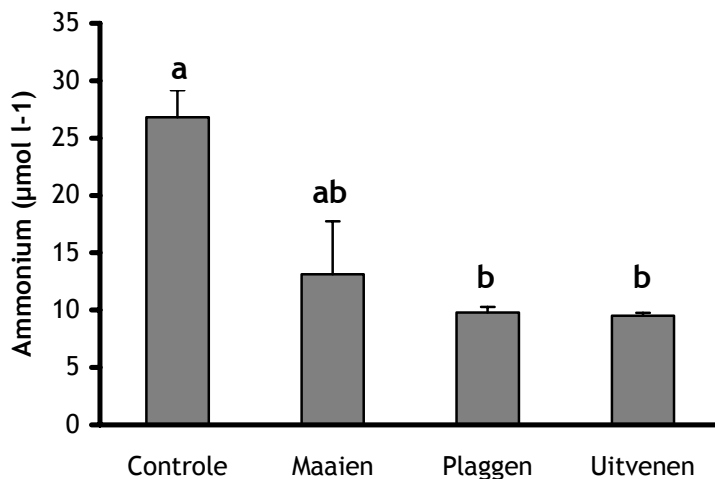
voedselrijkdom en waterstand, betekent dit een kapfrequentie van een keer per 5-15 jaar. Voor plekken met bultvormende veenmossoorten kan het best een kapfrequentie van een keer per 5 jaar worden aangehouden (Limpens 2009). Verder blijkt in de praktijk dat schapen- en geitenbegrazing effectief is na het afzetten van Berken. De dieren vreten de uitlopers van de berkenstobben, die dan na 2 of 3 jaar afsterven (Van Tooren et al. 2011).

Wat het omvormen van sterk vergraste situaties betreft, laten beheerexperimenten in het Pikmeeuwenwater (De Maasduinen) zien dat eenmalig maaien van de vegetatie, plaggen (oppervlakkig), of uitvenen (waardoor ondiep veenputje ontstaat) met afvoer van het materiaal reeds tot een spectaculaire verbetering van de veenmosgroei kan leiden (Figuur 35). Als gevolg van de toegenomen veenmosgroei neemt de beschikbaarheid van ammonium in het bodemvocht af (Figuur 36). Door de efficiënte opname van stikstof door veenmossen is de beschikbaarheid van stikstof voor vaatplanten lager. Het verdient wel aanbeveling deze werkzaamheden (met name plaggen) zodanig te faseren in ruimte en tijd, dat de aanwezige veenmossen en andere planten- en diersoorten in het terrein behouden blijven. Is sprake van een beschadigde slecht doorlatende laag, dan is plaggen echter af te raden.

In hoogveenrestanten worden ook schapen en soms koeien of geiten ingezet om vergrassing en opslag van berken tegen te gaan. Deze maatregel is effectief gebleken in enkele witveenrestanten waar tijdelijk intensief begraaasd werd en de maatregel in combinatie met hydrologisch herstel werd ingezet. Begrazing kan echter ook resulteren in moddervlakten en verlies aan biodiversiteit. Het in stand houden of herstellen van een open vegetatiestructuur en veenmostapijten (of veenmosbulten en slenken) is in principe positief voor het behoud en herstel van de kenmerkende fauna van hoogvenen. Over de effecten van de uitvoering van maaien en de inzet van grazers op de hoogveenfauna is echter weinig bekend.



Figuur 35. Verloop van de bedekking van de vaatplanten en veenmossen (Sphagnum) in het Pikmeeuwenwater tussen 1994 en 2005. Het grillige verloop van de veenmosbedekking in de uitgeveende plots is te verklaren doordat dit ondergedoken Waterveenmos betreft waarvan het opdrijven temperatuurafhankelijk is. Weergegeven zijn gemiddelden  $\pm$  standaardfout ( $n = 3$ ).



Figuur 36. Concentratie van ammonium in het bodemvocht na uitvoering van verschillende beheersexperimenten (in 1994), situatie 2005. Weergegeven zijn gemiddelde  $\pm$  standaardfout ( $n = 3$ ). Verschillende letters geven significante verschillen weer tussen behandelingen (ANOVA,  $p < 0.05$ ).

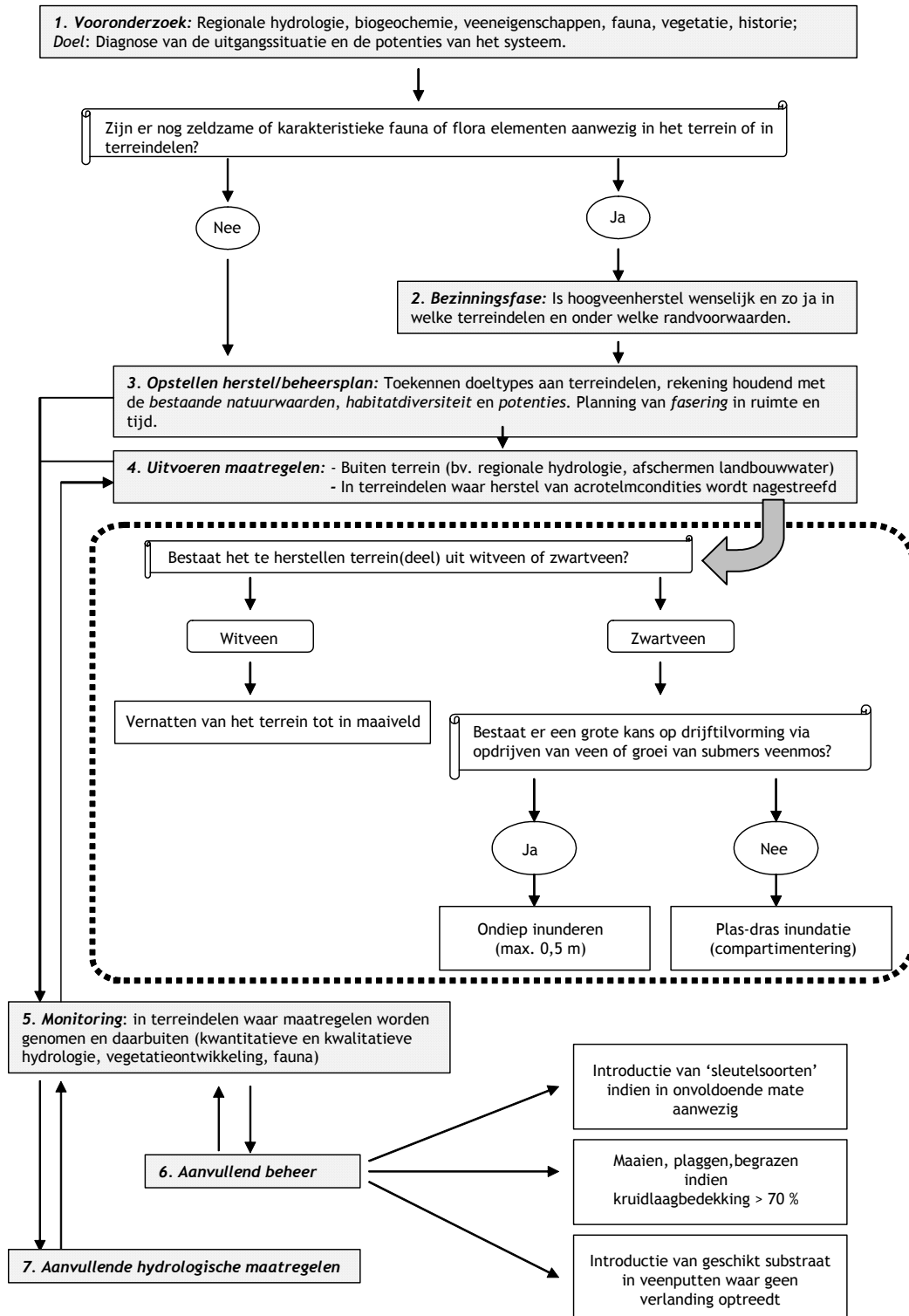
## 5.10 Stappenplan

Op basis van de kennis die in het OBN-hoogveenonderzoek is opgedaan, kunnen een aantal aanbevelingen worden gegeven, die zijn verwerkt in een stappenplan voor het ontwikkelen van een herstelstrategie en de uitvoering van herstel- en beheersmaatregelen in hoogveenrestanten (schema 2). Uit het onderzoek blijkt dat het in de Nederlandse hoogveenrestanten, ondanks de ingrijpende gevolgen van het vroegere gebruik van hoogvenen en de hoge stikstofdepositie, mogelijk is karakteristieke planten- en diersoorten te behouden en hoogveenvorming weer op gang te brengen. Afhankelijk van de bestaande lokale en regionale situatie van de terreinen, kan gekozen worden uit drie beproefde herstelstrategieën (schema 1), die relatief goede perspectieven bieden voor herstel van hoogveenvorming: vernatting tot aan maaiveld en inundatie met of zonder vorming van drijftillen. Welke strategie optimaal is en welke interne en externe maatregelen nodig zijn, is afhankelijk van de uitgangssituatie.

Het belangrijkste onderdeel van het herstelprogramma in hoogvenen is het vooronderzoek. Dit vooronderzoek levert een diagnose van de uitgangssituatie. Het geeft een uitgebreide en zo accuraat mogelijke beschrijving van de aanwezige vegetatietypen en fauna-elementen. Daarnaast omvat het een analyse van de hydrologie van het hoogveenrestant en van de relaties met het grotere (regionaal) hydrologisch systeem. Het vooronderzoek geeft antwoord op belangrijke vragen zoals: speelt wegzijging een belangrijke rol of is er aanvoer van grondwater en vindt afstroming over het veenoppervlak plaats? En: wat zijn de bergingseigenschappen van de nog aanwezige veenlagen? Daarnaast is vooral ook het vastleggen van de eigenschappen van het nog aanwezige veen van belang, bijvoorbeeld om te kunnen beoordelen of na eventuele overstroming drijftilvorming te verwachten valt. Verder kan het gehalte aan beschikbare voedingsstoffen van de toplaag een indicatie geven van de te verwachten vegetatieontwikkeling bij de huidige stikstofdepositieniveaus.

Een goed vooronderzoek waarin de huidige situatie wordt geanalyseerd (problemen en oorzaken in het kader bij paragraaf 4.2) vormt de beste basis voor een doeltreffend herstel- en beheersplan. Daarbij worden voor de verschillende terreindelen doelen geformuleerd, rekening houdend met de mogelijkheden die deze terreindelen vertegenwoordigen. Vervolgens wordt dan op basis van de lokale situatie en het geheel aan ervaringen en kennis een vernattingsstrategie uitgewerkt die in hoofdzaak gericht is op de ontwikkeling van een acrotelm in de daarvoor meest kansrijke terreindelen. Wanneer in het onderzoek naar voren komt dat in het gebied nog zeldzame of karakteristieke planten- of diersoorten voorkomen is het belangrijk om in de voorbereiding van het herstelproject de afweging te maken waar in het gebied hoogveenontwikkeling inderdaad wenselijk is, en hoe deze in het terrein het beste op gang gebracht kan worden in verband met de generale doelstelling om zeldzame en karakteristieke soorten te beschermen. In deze bezinningsfase moet worden onderzocht in hoeverre eventuele maatregelen in het terrein het voortbestaan van deze soorten in gevaar zouden brengen en moeten randvoorwaarden worden geformuleerd die bij het opstellen van het herstel/beheersplan in acht moeten worden genomen om dit te voorkomen.

Een monitoringprogramma, een programma voor het volgen van de verandering die door de vernattingsmaatregelen optreden, zorgt voor de nodige terugkoppeling. Belangrijk is de resultaten van de monitoring regelmatig te toetsen aan de doelstellingen die zijn geformuleerd in het herstel/beheersplan. Op basis van deze terugkoppeling kunnen nieuwe maatregelen worden genomen of kan aanvullend beheer plaatsvinden. Zo nodig zijn ook aanvullende hydrologische maatregelen uit te voeren. Ook de effecten van deze maatregelen worden vervolgens weer vastgelegd. De monitoring vormt dus de basis voor het bijsturen en voor het vervolgbeheer na de uitvoering van de ingrepen die de vernatting bewerkstelligen. Het is belangrijk om in alle verschillende onderdelen van het hoogveenrestant de veranderingen te volgen - niet alleen in die, waar herstel van acrotelmcondities wordt nagestreefd. Op die manier is na te gaan in hoeverre de vernattingsmaatregelen de overige terreindelen en het systeem als geheel beïnvloeden.



*Schema 2. Stappenplan voor uitvoering van herstel- of beheersmaatregelen op basis van de resultaten verkregen in de eerste en tweede fase van het hoogveenonderzoek. De stappen in het vak met de stippellijn staan in meer detail in schema 1. Bij 'zwartveen' gaat het behalve om zwartveen ook om in sterke mate veraard witveen.*



## 6 Literatuur

- Akkermann, R. (1982) Möglichkeiten und Zielsetzungen für eine Regeneration von Hochmooren – zoologisch betrachtet. In: Akkermann, R. (ed.). Regeneration von Hochmooren. Informationen zu Naturschutz und Landschaftspflege in Nordwestdeutschland. Band 3. pp. 151-163.
- Asmuth J. von, A.P. Grootjans & S. van der Schaaf (2011) Over de dynamiek van peilen en fluxen in vennen en veentjes - Eindrapport deel 2, OBN-onderzoek 'Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap'. O+BN rapport 147-2-NZ.
- Barendse, S. (2007) Birches in bogs, when did they come there? Birch germination and establishment in relation to climatological conditions. Thesis Wageningen University, Nature Conservation and Plant Ecology Group.
- Bay, R.R. (1969) Runoff from small peatland watersheds. Journal of Hydrology 9: 90-102.
- Bloemendaal, F.H.J.L. & J.G.M. Roelofs (1988) Waterplanten en waterkwaliteit. KNNV Uitgeverij, Utrecht.
- Bobbink, R. & J.G.M. Roelofs (1995) Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: The empirical approach. Water Air and Soil Pollution 85: 2413-2418.
- Bönsel, A. & A. Sonneck (2011) Effects of a hydrological protection zone on the restoration of a raised bog: a case study from Northeast-Germany 1997–2008. Wetlands Ecology and Management (in druk).
- Bos, F., M. Bosveld, D. Groenendijk, C. van Swaay, I Wynhoff, De Vlinderstichting (2006) De dagvlinders van Nederland. Nederlandse Fauna 7. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij & EIS-Nederland.
- Boxman, A.W. (2002) Effecten van verminderde stikstofdepositie op een grove dennenopstand in natuurgebied "De Rouwkuilen", Limburg. Tussenrapport 2001, Afdeling Aquatische Oecologie en Milieubiologie, Universiteit van Nijmegen.
- Bragg, O.M. (2002). Hydrology of peat-forming wetlands in Scotland. The Science of the Total Environment 294: 111-129
- Burg, A.B. van den (2006) The abundance of essential vitamins in food chains and its impact on avian reproduction. Acta Zoologica Sinica 52 (suppl.), 276-279.
- Burmeister, E.G. (1980) Die Tierwelt der Moore. In: K. Göttlich, Moor- und Torfkunde, pp. 21-38. Schweitzerbart, Stuttgart.
- Burt, T.P., A.L. Heathwaite & J.C. Labadz (1990) Runoff production in peat covered catchments. In: Anderson, M.G. & T.P. Burt (Eds). Process Studies in Hillslope Hydrology. Wiley & Sons.
- Buttler, A., B.G., Warner, P. Grosvernier & Y. Matthey (1996) Vertical patterns of testate amoebae (Protozoa: Rhizopoda) and peat-forming vegetation on cutover bogs in the Jura, Switzerland. New Phytologist 134: 371-382.

- Buttler, A., P. Grosvernier & Y. Matthey (1998) Development of *Sphagnum fallax* diaspores on bare peat with implications for the restoration of cut-over bogs. *Journal of Applied Ecology* 35: 800-810.
- Cáceres, C.E. & D.A. Soluk (2002) Blowing in the wind: a field test of overland dispersal and colonization by aquatic invertebrates. *Oecologia* 131: 402-408.
- Cronberg, N. (1991) Reproductive biology of *Sphagnum*. *Lindbergia* 17: 69-82.
- Daniels, R.E. & A. Eddy (1990) *Handbook of European Sphagna*. HMSO, London.
- Dennis, R.L.H. & H.T. Eales (1997) Patch occupancy in *Coenonympha tullia* (Muller, 1764) (Lepidoptera: Satyrinae): habitat quality matters as much as patch size and isolation. *Journal of Insect Conservation* 1: 167-176.
- Dobben, H.F. van & A. van Hinsberg (2008) Overzicht van kritische depositiewaarden voor stikstof, toegepast op habitattypen en Natura 2000 typen. Alterra rapport 1654, Alterra, Wageningen UR.
- Dorland, E., R. Bobbink, E. Brouwer, C.J.H. Peters, P.J.M van der Ven, P. Vergeer, G.M. Verheggen & J.G.M. Roelofs (2000) Herintroductie en bekalking van het inziggebied. Aanvulling bij effectgerichte maatregelen tegen eutrofiering en verzuring in heischrale milieus. Leerstoelgroep Landschapsecologie, Universiteit Utrecht en Afdeling Aquatische Oecologie en Milieubiologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Duinen, G.A. van, A.M.T. Brock, J.T. Kuper, T.M.J. Peeters, M.J.A. Smits, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink (2002) Important keys to successful restoration of characteristic aquatic macroinvertebrate fauna of raised bogs. In: Schmilewski, G. & L. Rochefort (Eds.). *Proceedings of the International Peat Symposium – Peat in Horticulture – Quality and Environmental Changes*, pp. 292-302.
- Duinen, G.A. van, A.M.T. Brock, J.T. Kuper, R.S.E.W. Leuven, T.M.J. Peeters, J.G.M. Roelofs, G. van der Velde, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink (2003) Do restoration measures rehabilitate fauna diversity in raised bogs? A comparative study on aquatic macroinvertebrates. *Wetlands Ecology and Management* 11: 447-459.
- Duinen, G.A. van, A.J. Dees & H. Esselink (2004a) Importance of permanent and temporary water bodies for aquatic beetles in the raised bog remnant Wierdense Veld. *Proceedings Experimental and Applied Entomology (NEV)* 15: 15-20.
- Duinen, G.A. van, H.H. van Kleef, M. Nijssen, C.A.M. van Turnhout, W.C.E.P. Verberk, J. Holtland & H. Esselink (2004b) Schaal en intensiteit van herstelmaatregelen: Hoe reageert de fauna? In: G.A. van Duinen et al. (Eds.) *Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit – 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het overlevingsplan bos en natuur*. Rapport EC-LNV nr. 2004/305, Ede. Pp.189-240.
- Duinen, G.A. van, F. Bink, H. Esselink, B. Roelevink & M. Wallis de Vries, 2006a. Verslag Veenvlinderexcursie Denemarken en Duitsland, 4-8 juli 2005. Rapport Staatsbosbeheer, De Vlinderstichting, Stichting Bargerveen & Radboud Universiteit Nijmegen.
- Duinen, G.A. van, T. Timm, A.J.P. Smolders, A.M.T. Brock, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink (2006b) Differential response of aquatic oligochaete species to increased nutrient availability - a comparative study between Estonian and Dutch raised bogs. *Hydrobiologia* 564: 143-155.
- Duinen, G.A. van, K. Vermonden, A.M.T. Brock, R.S.E.W. Leuven, A.J.P. Smolders, G. van der Velde, W.C.E.P. Verberk & H. Esselink

- (2006c) Basal food sources for the invertebrate food web in nutrient poor and nutrient enriched raised bog pools. *Proceedings Experimental and Applied Entomology (NEV)* 17: 37-44.
- Duinen, G.A. van, Y. Zhuge, W.C.E.P. Verberk, A.M.T. Brock, H.H. van Kleef, R.S.E.W. Leuven, G. van der Velde & H. Esselink (2006d) Effects of rewetting measures in Dutch raised bog remnants on assemblages of aquatic Rotifera and microcrustaceans. *Hydrobiologia* 565: 187-200.
  - Duinen, G.A. van, A.J. Dees & H. Esselink, 2008a. Hoogveen-karakteristieke en zeldzame watermacrofaunasoorten in het Bargerveen. Eindrapport. Stichting Bargerveen, Nijmegen.
  - Duinen, G.A. van (2008b) Evaluatie Hoogveenherstel in Mariapeel & Deurnese Peel: Watermacrofauna. Eindrapport. Stichting Bargerveen, Nijmegen.
  - Duinen, G.A. van, A.J. Dees & H. Esselink (2008c) Engbertsdijksvennen: Effecten van hervernatting hoogveenkern op ongewervelde fauna. Eindrapport. Stichting Bargerveen, Nijmegen.
  - Duinen, G.A. van, E. Brouwer, A.J.M. Jansen, J.G.M. Roelofs & M.G.C. Schouten (2009) Van hoogveen- en venherstel naar herstel van een 'compleet' nat zandlandschap. *De Levende Natuur* 110: 118-123.
  - Duinen, G.A. van, H.H. van Kleef, M.F. Wallis de Vries & A.B. van den Burg (2011) Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap. Deelrapport 4: Betekenis van milieugradiënten en waardplantenkwaliteit voor herstel van de fauna van het natte zandlandschap. O+BN rapport 147-4-NZ.
  - Elser, J.J., W.F. Fagan, R.F. Denno, D.R. Dobberfuhl, A. Folarin, A. Huberty, S. Interlandi, S.S. Kilham, E. McCauley, K.L. Sculz, E.H. Sieman & R.W. Sterner (2000) Nutritional constraints in terrestrial and freshwater food webs. *Nature* 408: 578-580.
  - Främbis, H. (1994) The importance of habitat structure and food supply for carabid beetles (Coleoptera, Carabidae) in peat bogs. *Memoirs of the Entomological Society of Canada* 169:145-159.
  - Groenendijk, D. & J.H. Bouwman (2006) Ecologische status van de hoogveenglanslibel in Gelderland. De Vlinderstichting, Rapport VS2006.036, Wageningen.
  - Groenendijk, D. & J.H. Bouwman (2008) SBP Hoogveenglanslibel: uitvoering en coördinatie 2008. De Vlinderstichting, Rapport VS2008.044, Wageningen.
  - Gunnarsson U. & L. Söderström (2007). Can artificial introductions of diaspore fragments work as a conservation tool for maintaining populations of the rare peatmos *Sphagnum angermanicum*? *Biological conservation* 135: 450.
  - Hayward, P.M. & R.S. Clymo (1982) Profiles of water content and pore size in *Sphagnum* and peat and their relation to peat bog ecology. *Proceedings of the Royal Society of London, series B* 215: 229-325.
  - Heckenroth, H. (1994) Zur Fauna der Hochmoore (Kurzfassung). *NNA Berichte* 7(2): 48.
  - Higler, L.W.G. (2005) De Nederlandse kokerjufferlarven. Uitgeverij KNNV, Utrecht.
  - Ingram, H.A.P. (1978) Soil layers in mires: function and terminology. *Journal of Soil Science* 29: 224-227.
  - Ingram, H.A.P. (1983) Hydrology. In: Gore, A.J.P. (Ed.), 1983. *Ecosystems of the world. 4A. Mires: Swamp, Bog, Fen and Moor. General Studies.* pp. 67-158. Elsevier.
  - Irmeler, U., K. Müller & J. Eigner (1998) Das Dosenmoor – Ökologie eines regenerierenden Hochmoores. Faunistisch-ökologische Arbeitsgemeinschaft, Kiel.

- Ivanov, K.E. (1965) Fundamentals of the theory of swamp morphology and hydromorphological relationships. *Soviet Hydrology, Selected Papers* 4: 224-258.
- Ivanov, K.E. (1975) Hydrological stability criteria and preservation of bogs and bog/lake systems. In: *Hydrology of Marsh-ridden Areas. Proc. Minsk Symp. June 1972*, pp. 343-353. The Unesco Press, Paris.
- Ivanov, K.E. (1981) *Water Movement in Mirelands*. Academic Press.
- Joosten, J.H.J. (1995) Time to regenerate: long-term perspectives of raised bog regeneration with special emphasis on palaeoecological studies. In: Wheeler, B.D., S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson (eds.) *Restoration of Temperate Wetlands*, pp. 379-404. J. Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Ketelaar, R., D. Groenendijk & P. Joop (2005) Soortbeschermingsplan Hoogveenglanslibel. Directie Kennis, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Rapport DK nr. 2005/033.
- Kleef, H.H. van. (2010) Identifying and crossing thresholds in managing moorland pool macroinvertebrates. Proefschrift Radboud Universiteit Nijmegen.
- Kirkham, F.W. (2001). Nitrogen uptake and nutrient limitation in six hill moorland species in relation to atmospheric nitrogen deposition in England and Wales. *Journal of Ecology* 89: 1041-1053.
- Lamers, L.P.M., C. Farhoush, J.M. van Groenendael & J.G.M. Roelofs (1999) Calcareous groundwater raises bogs; the concept of ombrotrophy revisited. *Journal of Ecology* 87: 637-648.
- Lamers, L.P.M., R. Bobbink & J.G.M. Roelofs (2000) Natural nitrogen filter fails in raised bogs. *Global Change Biology* 6: 583-586.
- Lavoie, C., P. Grosvernier, M. Girard & K. Marcoux (2003) Spontaneous revegetation of mined peatlands: An useful restoration tool? *Wetlands Ecology and Management* 11:97-107.
- Li, Y. & D.H. Vitt (1994) The dynamics of moss establishment: Temporal responses to nutrient gradients. *Bryologist* 97: 357-364.
- Limpens J & Berendse F. (2003a). Growth reduction of *Sphagnum magellanicum* subjected to high nitrogen deposition: the role of amino acid nitrogen concentration. *Oecologia* 135: 339-345
- Limpens J. & F. Berendse (2003b). How litter quality affects mass loss and N loss from decomposing *Sphagnum*. *Oikos* 103: 537-547.
- Limpens J., Berendse F. & Klees H. (2003c). N deposition affects N availability in interstitial water, growth of *Sphagnum* and invasion of vascular plants in bog vegetation. *New Phytologist* 157: 339-347.
- Limpens, J., J.T.A.G. Raymakers, J. Baar, F. Berendse & J.D. Zijlstra (2003d) The interactions between epiphytic algae, a parasitic fungus and *Sphagnum* as affected by N and P. *Oikos* 103: 59-68.
- Limpens, J. (2009) 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'. Rapport DK nr. 2009/dk119-O, Ministerie van LNV, Ede.
- Limpens, J. (2011) Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Concept eindrapportage OBN Hoogveenonderzoek 2009-2010; Verlenging onderzoek naar effecten van berkenopslag en dichtheid op hoogveenvegetaties behorende tot het natte zandlandschap. Rapport Wageningen Universiteit in opdracht van het ministerie van LNV.
- Molen, P.C. van der, G.J. Baaijens, A. Grootjans & A. Jansen (2010) LESA – Landschapsecologische systeemanalyse. Werkkader Regiebureau Natura 2000.

- Money, R.P. (1995) Re-establishment of a Sphagnum-dominated flora on cut-over lowland raised bogs. In: Restoration of Temperate Wetlands (eds B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson), pp. 405-422. J. Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Nederlandse Vereniging voor Libellenstudie (2002) De Nederlandse libellen (Odonata). Nederlandse Fauna 4. Nationaal Natuurhistorisch Museum Naturalis, KNNV Uitgeverij en EIS-Nederland, Leiden.
- Nicholson, I.A., R.A Robertson & M. Robinson (1989) The effects of drainage on the hydrology of a peat bog. International Peat Journal 3:59-83.
- Niewold, F.J.J. (1993) Raamplan voor behoud en herstel van de leefgebieden van Korhoenders (*Tetrao tetrix*) in Midden-Brabant. IBN-rapport 011, Wageningen.
- Niewold, F.J.J. (1996) Das Birkhuhn in den Niederlanden und die Problematik des Wiederaufbaus der Population. NNA-Berichte 1: 11-20.
- Nijssen, M. & H. Siepel (2010) The characteristic fauna of drift sands. In: Fanta, J. & H. Siepel. Inland drift sand landscapes. KNNV-Uitgeverij, Driebergen. Pp. 255-278.
- Overbeck F. & H. Happach (1957). Über das Wachstum und den Wasserhaushalt einiger Hochmoorsphagnen. Flora Jena 144: 335.
- Paffen, B.G.P. & J.G.M. Roelofs (1991) Impact of carbon dioxide and ammonium on the growth of submerged Sphagnum cuspidatum. Aquatic Botany 40: 61-71.
- Pons, L. J. (1992) Holocene peat formation in the lower parts of the Netherlands. In: Verhoeven, J.T.A. (Ed.) Fens and bogs in the Netherlands: vegetation, history, nutrient dynamics and conservation. Kluwer Academic Press, Dordrecht.
- Proctor, M.C.F. (1995) The ombrogenous bog environment. In: Restoration of Temperate Wetlands (eds B.D. Wheeler, S.C. Shaw, W.J. Fojt & R.A. Robertson). J. Wiley and Sons, Chichester, UK. Pp. 287-303.
- Raghoebarsing, A., A.J.P. Smolders, M.C. Schmid, W.I.C. Rijpstra, M. Wolters-Arts, J. Derksen, M.S.M. Jetten, S. Schouten, J.S. Sinninghe Damste, L.P.M. Lamers, J.G.M. Roelofs, H.J.M. Op den Camp & M. Strous (2005) Methanotrophic symbionts provide carbon for photosynthesis in peat bogs. Nature 436: 1153-1156
- Riis, T. & K. Sand-Jensen (1997) On the ecological and evolutionary significance of branch and leaf morphology in aquatic Sphagnum (Sphagnaceae). American Journal of Botany 82: 833-846.
- Robroek, B.J.M. J. van Ruijven, M.G.C. Schouten, A. Breeuwer, P.H. Crushell, F. Berendse & J. Limpens (2009) Sphagnum re-introduction in degraded peatlands: The effects of aggregation, species identity and water table. Basic and Applied Ecology 10: 697-706.
- Rochefort, L., F. Quinty, S. Campeau, K. Johnson & T. Malterer (2003) North American approach to the restoration of Sphagnum dominated peatlands. Wetlands Ecology and Management 11: 3-20.
- Rydin, H. & R.S. Clymo (1989) Transport of carbon and phosphorous compounds about Sphagnum. Proceedings of the Royal Society of London 237: 63-84.
- Rydin H. & J. Jeglum (2006) The biology of peatlands. Oxford University Press.
- Schaaf, S. van der (1999) Analysis of the hydrology of raised bogs in the Irish Midlands. A case study of Raheenmore Bog and Clara Bog. PhD Thesis, Wageningen University.
- Schaaf, S. van der (2002b) Bog Hydrology. In: Schouten, M.G.C. (Ed.). Conservation and Restoration of Raised Bogs. Geohydrological and

- Ecological Studies, pp. 54-109. Dúchas, Dublin, Staatsbosbeheer Driebergen, Geol. Survey of Ireland, Dublin.
- Schaaf, S. van der & J.G. Streefkerk (2002) Relationships Between Biotic and Abiotic Conditions. In: Schouten, M.G.C. (ed.) Management and Restoration of Raised Bogs. Geological, Hydrological and Ecological Studies. pp. 186-209. Dúchas, the Heritage Service of the Department of the Environment and Local Government, Staatsbosbeheer, Geological Survey of Ireland, Dublin.
  - Schikora, H.-B. (2002) Spinnen (Arachnida, Araneae) nord- und mitteleuropäischer Regenwassermoore entlang ökologischer und geographischer Gradienten. Thesis Universität Bremen.
  - Schouten, M.G.C. (Ed.) (2002) Conservation and restoration of raised bogs. Geological, hydrological and ecological studies. Dúchas, the Heritage Service of the Department of the Environment and Local Government, Staatsbosbeheer, Geological Survey of Ireland, Dublin.
  - Schouten, M.G.C., J.M. Schouwenaars, H. Esselink, L.P.M. Lamers & P.C. van der Molen (1998) Hoogveenherstel in Nederland – droom en werkelijkheid. In: Bobbink, R., J.G.M. Roelofs & H.B.M. Tomassen (red.) Effectgerichte maatregelen en behoud biodiversiteit in Nederland. Symposiumverslag. Aquatische Oecologie en Milieubiologie, Katholieke Universiteit Nijmegen. Pp. 93-113.
  - Schouwenaars, J.M., H. Esselink, L.P.M. Lamers & P.C. van der Molen (1997) Hoogveenherstel in Nederland. Pre-advies Hoogvenen. I.K.C., Wageningen.
  - Schouwenaars, J.M., H. Esselink, L.P.M. Lamers & P.C. van der Molen (2002) Ontwikkelingen en herstel van hoogveensystemen – bestaande kennis en benodigd onderzoek. Expertisecentrum LNV, Wageningen.
  - Schtickzelle N., M.F. WallisDeVries & M. Baguette (2005) Using surrogate data in population viability analysis: the case of the critically endangered cranberry fritillary butterfly. *Oikos* 109: 89-100.
  - Segers, R. (1998) Methane production and methane consumption: a review of processes underlying wetland methane fluxes. *Biogeochemistry* 41: 23-51.
  - Siepel, H., H. Siebel, T. Verstrael, A. van den Burg & J. Vogels (2009) Herstel van lange termijn effecten van verzuring en vermisting in het droog zandlandschap. *De Levende Natuur* 110: 124-129.
  - Sliva, J. & J. Pfadenhauer (1999) Restoration of cut-over raised bogs in southern Germany – a comparison of methods. *Applied Vegetation Science* 2:137-148
  - Smits, M.J.A., G.A. van Duinen, J.G. Bosman, A.M.T. Brock, J. Javoiš, J.T. Kuper, T.M.J. Peeters & H. Esselink (2002) Species richness in a species poor system: aquatic macroinvertebrates of Nigula raba, an intact raised bog system in Estonia. In Schmilewski, G. & L. Rochefort (eds), *Proceedings of the International Peat Symposium – Peat in Horticulture – Quality and Environmental Changes*. Pp. 283-291.
  - Smolders, A.J.P., H.B.M. Tomassen, H.W. Pijnappel, L.P.M. Lamers, & J.G.M. Roelofs (2001) Substrate-derived CO<sub>2</sub> is important in the development of Sphagnum spp. *New Phytologist* 152: 325-332.
  - Smolders, A.J.P., H.B.M. Tomassen, L.P.M. Lamers, B.P. Lomans & J.G.M. Roelofs (2002) Peat bog restoration by floating raft formation: the effects of groundwater and peat quality. *Journal of Applied Ecology* 39: 391-401.
  - Smolders A.J.P., H.B.M. Tomassen, M. van Mullekom, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2003) Mechanisms involved in the re-establishment of Sphagnum-dominated vegetation in rewetted bog remnants. *Wetlands Ecology and Management* 11: 403-418.

- Smolders, A.J.P., H.B.M. Tomassen, J. Limpens, G.A. van Duinen, S. van der Schaaf & J.G.M. Roelofs (2004) Perspectieven voor hoogveenherstel in Nederland. In: G.A. van Duinen et al. (eds.) Duurzaam natuurherstel voor behoud van biodiversiteit – 15 jaar herstelmaatregelen in het kader van het overlevingsplan bos en natuur. Rapport EC-LNV nr. 2004/305, Ede, pp. 71-107
- Sundberg, S. & H. Rydin (2002) Habitat requirements for establishment of Sphagnum from spores. *Journal of Ecology* 90: 268-278.
- Swaay, C.A.M. van & M.F. Wallis de Vries (2001) Beschermingsplan Veenvlinders 2001-2005. Rapport Directie Natuurbeheer nr. 52, Ministerie van LNV, 's Gravenhage.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J.M. van Herk, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2003a) Restoration of cut-over bogs by floating raft formation: An experimental feasibility study. *Applied Vegetation Science* 6: 141-152.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2003b) Stimulated growth of *Betula pubescens* and *Molinia caerulea* on ombrotrophic bogs: role of high levels of atmospheric nitrogen deposition. *Journal of Ecology* 91: 357-370.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, G.J. van Duinen, S. van der Schaaf, J.G.M. Roelofs, F. Berendse, H. Esselink & G. van Wirdum (2003c) Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage 1998-2001. (Rapport EC-LNV nr. 2003/139). Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Ede/Wageningen.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2004a) Development of floating rafts after the rewetting of cut-over bogs: the importance of peat quality. *Biogeochemistry* 71: 69-87.
- Tomassen, H.B.M., A.J.P. Smolders, J. Limpens, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs (2004b) Expansion of invasive species on ombrotrophic bogs: desiccation or high N deposition? *Journal of Applied Ecology* 41: 139-150.
- Tomassen, H.B.M., G.J. van Duinen, J. Limpens, S. van der Schaaf, A.J.P. Smolders, H. Esselink & J.G.M. Roelofs (2007) Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapportage overbrugging OBN hoogvenen. Expertisecentrum LNV, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij. Ede/Wageningen.
- Tomassen, H., F. Smolders, J. Limpens, S. van der Schaaf, G. van Duinen, G. van Wirdum, H. Esselink & J. Roelofs (2011a) Onderzoek ten behoeve van herstel en beheer van Nederlandse hoogvenen. Eindrapport 2004-2006. O+BN rapport 151-NZ.
- Tomassen, H.B.M., A.B. Grootjans & A.J.P. Smolders (2011b) Herstel van biodiversiteit en landschapsecologische relaties in het natte zandlandschap - Herkomst van CO<sub>2</sub> voor hoogveengroei en basenverzadiging in hoogveentjes. Eindrapport deel 3. O+BN rapport 147-3-NZ.
- Tooren, B. van, E. de Hoop, B. van den Boom, J. Holtland, M. Nooren, L. van Tweel, A. van den Berg, A. & I. de Ronde (2010) Evaluatie van het beheer van de hoogvenen van Natuurmonumenten, Staatsbosbeheer, Landschap Overijssel en Ministerie van Defensie. 's-Graveland.
- Tuittila, E-S., H. Vasander & J. Laine (2004) Sensitivity of C sequestration in reintroduced Sphagnum to water-level variation in a cutaway peatland. *Restoration Ecology* 12: 483-493.
- Turetsky, M.R. & R.K. Wieder (1999) Boreal bog Sphagnum refixes soil-produced and respired <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>. *Ecoscience* 6: 587-591.

- Uhden, O. (1960) Das Grosse Moor bei Ostenholz. Schriftenreihe des Kuratoriums für Kulturbauwesen. Heft 9. Verlag Wasser und Boden, Hamburg.
- Verberk, W.C.E.P. & H. Esselink (2004) Invloed van aantasting en maatregelen op de faunadiversiteit in een complex landschap. Case studie: Korenburgerveen (eindrapportage 1e fase). Rapport EC-LNV nr 2004/234-O Ede.
- Verberk, W.C.E.P., van Kleef, H.H., Dijkman, M., van Hoek, P., Spierenburg, P. & Esselink, H. (2005) Seasonal changes on two different spatial scales: response of aquatic invertebrates to water body and microhabitat. *Insect Science* 12: 263-280.
- Verberk, W.C.E.P., van Duinen, G.A., Brock, A.M.T., Leuven, R.S.E.W., Siepel, H., Verdonschot, P.F.M., van der Velde, G. & Esselink, H. (2006a) Importance of landscape heterogeneity for the conservation of aquatic macroinvertebrate diversity in bog landscapes. *Journal for Nature Conservation* 14: 78-90.
- Verberk, W.C.E.P., J.T. Kuper, G.A. van Duinen & H. Esselink (2006b) Changes in macroinvertebrate richness and diversity following large scale rewetting measures in a heterogeneous bog landscape. *Proceedings Experimental and Applied Entomology (NEV)*: 17: 27-36.
- Verberk, W.C.E.P. en H. Esselink (2006c) Invloed van aantasting en maatregelen op de faunadiversiteit in een complex landschap. Case studie: Korenburgerveen (2e fase). Rapport Directie Kennis, Ministerie van LNV nr 2006/dk135-O.
- Verberk, W.C.E.P. (2008) Matching species to a changing landscape – Aquatic macroinvertebrates in a heterogeneous landscape Thesis, Radboud University, Nijmegen
- Verberk, W.C.E.P., Grootjans, A.P. & Jansen, A.J.M. (2009) Natuurherstel: van standplaats naar landschap. *De Levende Natuur* 110: 105-110.
- Verberk W.C.E.P., R.S.E.W. Leuven, G.A. van Duinen & H. Esselink (2010) Loss of environmental heterogeneity and aquatic macroinvertebrate diversity following large-scale restoration management. *Basic and Applied Ecology* 11: 440-449.
- Verdonschot, P.F.M., G. Schmidt, P.H.J. van Leeuwen & J.A. Schot (1988) Steekmuggen (Culicidae) in de Engbertsdijksvenen. RIN, Leersum, rapport 88/31.
- Verdonschot, P.F.M. (2009) Verkenning van de steekmuggen- en knuttenproblematiek bij klimaatverandering en vernatting. *Alterra-rapport* 1856.
- Verry, E.S. & D.H. Boelter (1975) The influence of bogs on the distribution of streamflow from small bog-upland catchments. *Hydrology of Marsh-ridden areas. Proceedings of the Minsk Symposium, June 1972. Unesco Press, IAHS, Paris.*
- Verry, E.S., K.N. Brooks & P.K. Barten (1988) Streamflow response from an ombrotrophic mire. *Symposium on the Hydrology of Wetlands in the temperate and cold regions, Joensuu, Finland 6-8 June 1988. Vol 1:52-59. Publ. Acad. Finl. 4/1988.*
- Verschoor, A.J., G.J. Baaijens, F.H. Everts, A.P. Grootjans, W. Rooke, S. van der Schaaf & N.P.J. de Vries (2003) Hoogveenontwikkeling in veentjes en kleinschalige hoogveencomplexen op het Dwingelerveld; een landschapsbenadering. Deel 2: landschapsontwikkeling en hydrologie. Rapport EC-LNV nr. 2003/227 O, Ede.
- Vogels, J.J., A. van den Burg, E. Remke & H. Siepel (2011) Effectgerichte maatregelen voor het herstel en beheer van faunagemeenschappen van heideterreinen – Evaluatie en ontwerp van bestaande en nieuwe herstelmaatregelen. Rapport O+BN 152-DZ.



- Vorobiev, P.K. (1963) Investigations of water yield of low lying swamps of Western Siberia. Soviet Hydrology: Selected Papers 2:226-252. (English translation of original paper published in "Transactions of the State Hydrologic Institute" (Trudy GGI) 105:45-79).
- Wheeler, B.D. & S.C. Shaw (1995) Restoration of damaged peatlands. Dept. of the Environment, H.M.S.O., London, U.K.
- Wirdum, G. van (1993) Ecosysteemvisie Hoogvenen. IBN-rapport 035. Wageningen.