De PAS op de plaats: PAS-maatregelen en hoogveenrestoratie in de Peel

Levend hoogveen is in Nederland een extreem zeldzaam landschapstype geworden. Zo'n 1000 jaar geleden bedekte het nog een derde deel van ons land, d.w.z. een miljoen hectare. Bijna alles is inmiddels verdwenen: verzwolgen door de oprukkende zee, ontgonnen tot landbouwgrond of afgegraven voor brandstof en turfstrooisel. Het landschap "levend hoogveen", dat door zijn geheimzinnigheid en ontoegankelijkheid zo tot de verbeelding spreekt, kunnen we in onze contreien nergens meer in zijn oorspronkelijkheid ervaren en bestuderen, niet hier en niet in de ons omringende landen. Thans vinden we nog maar 10.000 ha aan versnipperde hoogveenrestanten in ons land, die we koesteren als een laatste herinnering. De Peelrestanten behoren tot de grootste en belangrijkste van die restanten, maar ook daarvan is geen enkele vierkante meter gespaard gebleven voor afgraving of ontwatering. Terecht is het beleid erop gericht deze hoogveenrestanten te behouden en te herstellen, d.w.z. de hoogveenregeneratie te stimuleren.

Veen en veen

In de Nederlandse taal wordt de term "veen" gebruikt voor zowel een substantie (in gesneden en gedroogde vorm "turf" genoemd) als voor een type landschap. Veen als substantie is een "gesteente" bestaande uit plantenresten, die ten gevolge van remming van de microbiële activiteit slechts ten dele zijn afgebroken. Veen (als landschapstype) is een landschap dat gekenmerkt wordt door de aanwezigheid van veen (als gesteente) aan de oppervlakte.

Venen als landschappen waar veen gevormd wordt komen voor op plaatsen waar de afbraak van plantenmateriaal geremd wordt door de permanente aanwezigheid van water. Verzadiging van bodem en moslaag met water leidt dan tot een geringe beschikbaarheid van zuurstof, lage temperaturen, en een daardoor sterk verminderde activiteit van microorganismen die het afgestorven plantenmateriaal af zouden kunnen breken. Dientengevolge is de afbraak van plantenmateriaal geringer dan de productie en hoopt het dode plantenmateriaal zich op tot lagen, die in de loop van duizenden jaren meters dik kunnen worden. Plekken met actieve veengroei worden "levende venen" genoemd, dit in tegenstelling tot gedegradeerde (ook genoemd "afgetakelde") venen, waar de afbraak van veen (vooral ten gevolge van ontwatering) domineert over de nieuwvorming van veen.

De grootste uitdaging voor elk veenlandschap bestaat er in, zichzelf nat te houden. Binnendringen van lucht (zuurstof) in de bodem bevordert veenafbraak, die bij lage waterstanden 20 keer sneller gaat dan dat zich onder waterverzadigde omstandigheden nieuw veen vormt. Uiteindelijk dient een plek met actieve veenvorming dus zo'n 95% van de tijd waterverzadigd te zijn. Dat is niet zo'n groot probleem wanneer je als veen in een gesloten depressie ligt en bovendien nog grondwater uit de omgeving ontvangt. Maar wanneer - zoals meestal in onze contreien - het veen in open verbinding met de omgeving ligt, zoals in een rivier- of smelwaterdal, en al helemaal als hooggelegen hoogveen, kan de voor veenvorming noodzakelijke permanente hoge waterstand alleen gegarandeerd worden, wanneer de vegetatie en het daardoor gevormde veen weinig waterdoorlatend zijn en ze het te snel horizontaal wegstromen van het water verhinderen.
Maar ook als de zijdelingse waterverliezen geminimaliseerd zijn, blijft het veen water verliezen: door verdamping (naar boven) en wegzijging (naar onderen). Hoeveel de waterstand bij een bepaald

waterverlies daalt, is afhankelijk van de “effektieve bergingscapaciteit” van het veen, d.w.z. van het aandeel aan grote poren in het veen (fig. 1). Veen als landschap bestaat dus bij de gratie van een subtiel compromis tussen minimale doorlatendheid en maximale berging, een compromis dat door de bijzondere poreuze-maar-toch-weinig-doorlatende structuur van het veen (als gesteente) gerealiseerd wordt.

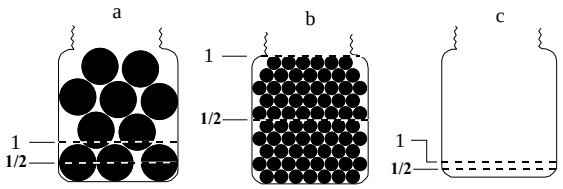

Fig. 1: Het principe van de “bergingscapaciteit” verklaard aan de hand van een pot met knikkers (hetzelfde verhaal geldt overigens ook voor “whiskey on the rocks”…). Een veenlichaam kan voorgesteld worden als bestaande uit plantenmaterial and water, of als (een pot gevuld met) knikkers en water. De waterstand bij een vaste hoeveelheid water wordt aangegeven met 1, de waterstand bij de halve hoeveelheid met ½. Als de knikkers groot zijn (a), is er veel meer lege (poren)ruimte tussen de knikkers en zijn de waterstandsfluctuaties gering. Als de knikkers klein zijn (b), is er minder lege (poren)ruimte en zullen de waterstandsfluctuaties groter zijn. Zonder knikkers (c) is er enkel porenruimte en zijn de waterstandsfluctuaties het geringst (uit Couwenberg & Joosten 1999).

Hoogveen

Een “levend hoogveen” is een heel bijzonder type veenlandschap: het wordt enkel door de neerslag gevoed en het is hoger gelegen dan zijn omgeving (vandaar *hoog*veen). Het combineert dus twee eigenschappen, die normaliter niet samengaan: “hoog” en “nat”' (niet voor niks hebben we de uitdrukking “hoog en droog”). Een hoogveen kan zich alleen vormen wanneer er goed over het jaar verdeeld voldoende neerslag valt en als er niet teveel verticale waterverliezen – via verdamping naar boven naar de atmosfeer en via wegzijging naar onderen naar de ondergrond - plaatsvinden.
Onder zulke omstandigheden verheft het hoogveen zich over de omgeving, omdat de hoogveenvegetatie en het daardoor gevormde oppervlakkige veen de horizontale afstroming van het neerslagwater vertragen, waardoor bij voldoende neerslag de waterstand langzaam maar zeker stijgt en het organisch materiaal tot een steeds hoger niveau geconserveerd wordt. Het hoogveen groeit aldus in de hoogte en breidt zich – als het ruimte gegeven wordt – tegelijkertijd over de omgeving uit: net als een hoger wordende druppel water. Op en over de oude ondergrond wordt een nieuw landschap (of misschien beter gezegd een “water-schap”) opgebouwd, dat – met een watergehalte van 90-95% - proportioneel meer water bevat dan melk. Een hoogveen is dus in essentie een grote waterbel, die bijeengehouden wordt door een weefsel van (resten van) veenmossen en wat hogere planten en hun wortels.

Een hoogveen te worden en te blijven is niet makkelijk. Het vereiste om 95% van de tijd waterverzadigd te zijn is geen sinecure wanneer je als een bult in het landschap ligt en enkel door de neerslag gespijst wordt. Want de neerslag is bij ons (en bijna overal op de wereld) zeer ongelijkmatig over het jaar verdeeld. En lekverliezen treden altijd op: verdamping is in een nat gebied altijd een belangrijke verliespost en ook wegzijging is uit een hoog gelegen gebied nooit helemaal te vermijden.

Hoe zorgt een hoogveen ervoor dat de waterstand permanent dicht rond het maaiveld blijft in een wereld waar neerslag en verdamping elk jaar, elk seizoen, elke dag, ja bijna elk uur variëren? Hoe verandert een hoogveen de ongelijkmatige "wisselstroom" van neerslag en verdamping in een stabiele "gelijkstroom" die het veenlichaam gelijkmatig voedt en de voortdurende lekverliezen compenseert?

Zelfregulatie

Een levend hoogveen beschikt daartoe over een stelsel van "zelfregulatie-mechanismen", die ieder voor zich op een bepaalde schaal in ruimte en tijd funktioneren en gezamenlijk alle denkbare wisselingen van weer en klimaat afdekken. Sommige mechanismen werken op hele korte termijn en kleine schaal en reguleren daarmee de effecten van het type "hier en daar een bui". Andere werken over lange tijdsperioden en op grote schaal en stabiliseren daarmee de effecten van meer geleidelijke grootschalige klimaatsveranderingen. Een overzicht van deze zelfregulatie-mechanismen wordt gepresenteerd door Joosten (1993).

Een levend hoogveen bouwt deze zelfregulerende strukturen en processen in de loop der tijd zelf op en uit. Een hoogveen wordt zo naarmate het ouder wordt steeds minder gevoelig voor de wisselvalligheden van weer en klimaat, net zoals een mens in zijn ontwikkeling van kind naar volwassene ook steeds meer "zelfstandig" wordt en minder kwetsbaar voor invloeden van buitenaf. Bijna al deze zelfregulatie-mechanismen (d.w.z. hun structuur en de daaruit resulterende processen) worden door de hoogveenvegetatie gevormd en gedragen en zijn na ingrijpende ontwatering, veenoxidatie en afgraving, zoals in de Peel, niet meer voorhande. Hoogveenregeneratie betekent dus dat het systeem zich in regulatorisch opzicht opnieuw "vanuit het niets" moet opbouwen. Dit betekent ook dat juist in deze nieuwe beginperiode ideale randvoorwaarden geschapen moeten worden om te komen tot een hoge en stabiele waterstand en de best werkzame zelfregulatie-mechanismen nieuw te laten ontstaan. Dit met het doel het veen zijn "kindertijd" ongeschonden door te laten komen en het tijd te gunnen nieuwe zelfregulatie-mechanismen op te bouwen die op den duur het nieuw onstane levend hoogveen weer minder kwestbaar maken voor wisselingen van weer en klimaat.

De acrotelm

Het belangrijkste hydrologische regulatie-mechanisme (de belangrijkste "transformator" van wissel- naar gelijkstroom) van een levend hoogveen is de "acrotelm" (Grootjans et al. 2012). Dit mechanisme is zo cruciaal voor het bestaan en de regeneratie/restoratie van hoogveen, omdat het

- "basaal" is: echte hoogveenvormende vegetaties (zie onder) kunnen zich slechts vestigen wanneer de wegzijging naar onderen beperkt is en wanneer er een "acrotelm-achtig" milieu voorhande is. Dit is een situatie met beperkte horizontale waterverliezen en een hoge bergingscapaciteit (Joosten 1993) zoals die door sommige voorloper-ecosystemen (bijvoorbeeld verlandings- en doorstroomvenen) gecreëerd wordt;
- "fundamenteel" is, d.w.z. de andere zelfregulatie-mechanismen bouwen – letterlijk en figuurlijk - op de acrotelm op;
- vlakdekkend opereert: andere zelfregulatie-mechanismen functioneren slechts lokaal of in beperkte delen van het hoogveen;

- waterstanden stabiliseert op de ideale tijdschaal van dagen/weken tot enkele opeenvolgende jaren: andere mechanismen werken veel kortstondiger of hebben veel meer tijd nodig zich te ontplooien. De reactietijd van de acrotelm staat nog in redelijke verhouding tot de tijd die nodig is hem op te bouwen (zie volgende punt). Minder frequente maar meer "extreme" waterstandsdalingen kunnen dan aanvankelijk nog steeds catastrofaal uitwerken, maar men moet hopen dat het regenererende hoogveen voldoende lang daarvan verschoond blijft om daartegen zelfregulatie-weerstand op te bouwen);
- binnen enkele tientallen jaren nieuw gevormd kan worden: andere grootschalige (inclusief snelwerkende) regulatiemechanismen kunnen slechts over veel langere tijd opgebouwd worden.

Vorming en werking van de acrotelm

De acrotelm bestaat uit de bovenste paar decimeter van het levende veen, d.w.z. uit de groeiende veenmosvegetatie en de daardoor gevormde jongste/bovenste veenlagen. De belangrijkste eigenschap van de acrotelm in het licht van de zelfregulatie is de sterk gedifferentiëerde horizontale doorlatendheid voor water. Van de bovenkant van de acrotelm neemt die doorlatendheid snel met de diepte af, en wel met een faktor 100.000 over de paar decimeters diepte die de acrotelm omvat (fig. 2).

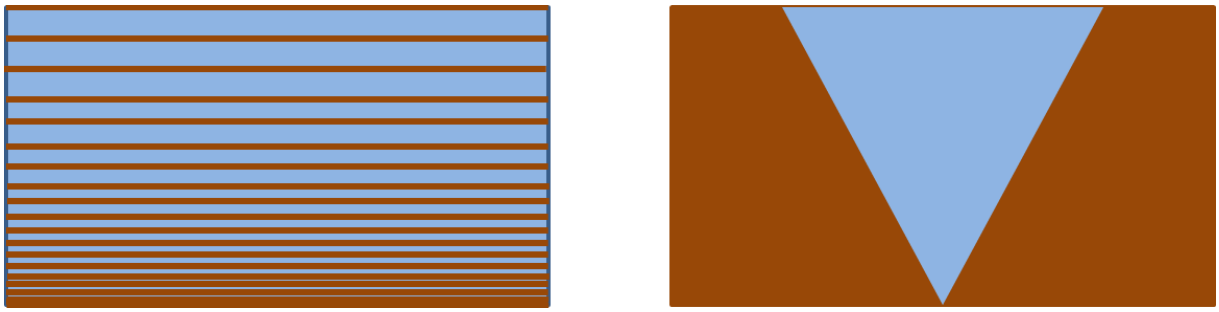

Fig. 2: Schematische struktuur van de acrotelm met een horizontale doorlatendheid die snel met de diepte afneemt (links), d.w.z. een struktuur die in zijn werking vergelijkbaar is met die van een V-vormige stuw (rechts).

Deze sterke differentiatie met de diepte leidt ertoe, dat bij stijgende waterstanden het water meer en meer in lagen met een steeds hogere doorlatendheid komt, waardoor een teveel aan water snel maar diffuus (d.w.z. zonder erosie te veroorzaken) afstroomt. Bij dalende waterstanden wordt de horizontale wateruitstroom meer en meer geconcentreerd in lagen met een geringere doorlatendheid. Is de waterstand diep genoeg gezakt, dan stop de horizontale waterafvoer dientengevolge zelfs volledig. De zeer effektieve regulatorische effektiviteit van de acrotelm wordt wel het beste geïllustreerd door het feit, dat "acrotelm-hoogvenen" in een zeer breed areaal aan klimaatstypen – van sterk oceanisch tot licht continentaal en van subarctisch tot nemoraal - voorkomen. Dit in tegenstelling tot andere hoogveentypen, zoals sprei- en doorstroomhoogvenen, wiens ruimtelijke verbreiding zeer beperkt is en die enkel voorkomen in regios waar de neerslag zeer overvloedig en regelmatig is (Moen et al. 2017).

De effectieve structuur van de acrotelm met zijn snelle verticale afname van de doorlatendheid wordt veroorzaakt door twee processen. De acrotelm vermindert weliswaar de

waterstandsfuctuaties maar kan ze niet helemaal vermijden. Door die onvermijdelijke waterstandsdalingen komt het plantenmateriaal in de acrotelm toch regelmatig in contact met zuurstof en wordt het ten dele afgebroken: grovere plantenresten worden afgebroken tot fijnere plantenresten en daardoor wordt de structuur van de betreffende bodemlaag in de loop der jaren steeds fijner en dichter.
De bovenste lagen van de acrotelm vallen weliswaar over het jaar het meest frequent en langdurig "droog", maar omdat de diepste lagen van de voortdurend omhooggroeiende acrotelm het oudst zijn (d.w.z. cumulatief het meeste droogte heeft beleefd), is het afbraakproces diep in de acrotelm het verst voortgeschreden. Bovendien worden de diepere lagen steeds verder samengeperst onder het gewicht van het veen, dat aan de bovenkant nieuw aangroeit.

Om een acrotelm te vormen en in stand te houden, moet de vegetatie aan de oppervlakte voortdurend nieuw grof, open plantenmateriaal toevoegen, moet het hoogveen dus blijven groeien. In een hoogveen zonder actieve veengroei vallen de bovenste veenlagen immers cumulatief langer droog dan de diepere, waardoor de doorlatendheidsgradiënt omgekeerd zou gaan verlopen. Dit zou catastrofale gevolgen hebben voor het behoud van het veen: bij hoge waterstanden zou het water dan moeilijker weglopen (totdat het over de oppervlakte gaat stromen en het daar door het ontstaan van preferente stroombanen en de hoge stroomsnelheid het veen zou doen eroderen), terwijl bij diepe waterstanden het water makkelijker weg zou stromen. De omgekeerde wereld: geen negatieve terugkoppeling (zoals dat in de cybernetica heet), die een systeem stabiliseert, maar een positieve, die het systeem uiteindelijk te gronde richt (het probleem van de gedegenereerde venen).

Om een effectieve hoogveenacrotelm op te kunnen bouwen, moeten plantensoorten, die aan de bovenkant het niewe materiaal moeten toevoegen, aan een serie tegenstrijdige eisen voldoen:

- ze moeten <u>niet te snel</u> vergaan, omdat er anders geen veen geaccumuleerd wordt,
- ze moeten <u>niet te langzaam</u> vergaan, opdat de doorlatendheidsgradiënt zich over de juiste diepte kan ontwikkelen,
- ze moeten een zodanig <u>fijnporig substraat</u> vormen, dat het water bij neerslagtekort horizontaal zo langzaam mogelijk afstroomt,
- ze moeten een zodanig <u>grofporig substraat</u> vormen, dat ze bij neerslagtekort zoveel mogelijk water in voorraad hebben, zodat de waterstand maar in beperkte mate zakt (fig. 1),
- en last but not least: ze moeten kunnen "<u>leven van de wind</u>", d.w.z. enkel van wat de neerslag ze biedt.

Het is gezien deze eisen geen wonder, dat er (op het noordelijk halfrond) maar zes plantensoorten bestaan, allemaal Veenmossoorten, die het "kritische compromis" tussen deze tegenstrijdige eigenschappen kunnen vormgeven en een levend hoogveenlandschap kunnen opbouwen en in stand houden (Joosten 1993). Deze exquise groep "ecosystem engineers" omvat *Sphagnum austinii*, de Veenmossoort die het grauwveen in de Peel grotendeels gevormd heeft, maar thans in Nederland uitgestorven is. De tweede, meer continentale soort, *Sphagnum fuscum*, was en is in heel Nederland extreem zeldzaam, en kwam vroeger slechts op één hoogveenstandplaats, en wel in het Bargerveen (Drente), voor, maar is daar sinds 1990 niet meer teruggevonden. De andere vier soorten (*Sphagnum magellanicum*, *S. papillosum*, *S. capillifolium* en *S. rubellum*) komen in de Peel zeer pleksgewijze voor.

Hoe interfereert ammoniumdepositie met acrotelm-ontwikkeling?

De extreem hoge atmosferische depositie van stikstof in de Peel frustreert de ontwikkeling van een effectieve acrotelm op meerdere wijzen (Berendse et al. 2001, Limpens & Berendse 2003, Tomassen et al. 2003, Breeuwer et al. 2009, Bragazza et al. 2012, Granath et al. 2012):

- De overmaat aan stikstof vermindert de groeisnelheid en daarmee concurrentiekracht van de acrotelmvormende veenmossoorten, terwijl snelgroeiende niet-acrotelmvormende veenmossoorten en hogere planten (grassen, dwergstruiken) zich sneller ontwikkelen. Daardoor verschuift de soortensamenstelling in de richting van niet acrotelm-vormende soorten, en wordt de nieuwvestiging, uitbreiding en noodzakelijke dominantie van acrotelmvormende veensoorten bemoeilijkt/verhinderd.
- Wanneer de acrotelmvormende veenmossoorten zich kunnen handhaven (of zelfs bij uitzondering zich zelfs nieuw vestigen) is het door hen geproduceerde plantenmateriaal rijker aan stikstof en wordt het onder invloed van waterstandswisselingen sneller afgebroken, waardoor de doorlatendheidsgradiënt zich over een geringere diepte ontwikkelt en niet meer zo effectief is.

Hydrologische randvoorwaarden voor acrotelmonwikkeling

Om de acrotelm-ontwikkeling het juiste “fundament” te geven en daarmee hoogveenregeneratie mogelijk te maken, moet de waterstand in het veen op een hoog niveau gestabiliseerd worden. Cruciaal daarbij is het verminderen van de wegzijging uit en het vergroten van de bergingscapaciteit in de hoogveenreservaten. De vergroting van de bergingscapaciteit is in een gedegenereerd hoogveen eigenlijk alleen mogelijk door de waterstanden in de hoogveenrestanten op te stuwen tot een niveau boven het maaiveld. Daarbij moet echter bedacht worden, dat het verhogen van de waterstand in een reservaat ter *verhoging* van de bergingscapaciteit leidt tot een *vergroting* van de wegzijging, en niet tot de noodzakelijke verkleining, zodat er – zonder verdere maatregelen – een conflict optreedt tussen de beide vereisten. Tegelijk met het verhogen van de waterstand dient dus de wegzijging uit het veengebied verminderd te worden. Dit kan enkel gebeuren door

- het opsporen en dichten (of isoleren) van de anthropogene lekken naar de ondergrond in het veengebied (vergroting van de weerstand);
- het verhogen van de waterstand onder het veen door de waterstand in de wijde omgeving van het veengebied te verhogen (verkleining van de drukverschillen).

Verhoging van de waterstand in de omgeving tot een niveau dat er daar nieuwe moerassen ontstaan heeft als bijkomend voordeel dat de verdamping daar toeneemt, de regionale lucht vochtiger wordt, en daardoor de verdamping uit de hoogveenrestanten vermindert. Een zodanige vernatting hoeft niet te betekenen dat het landbouwkundig gebruik moet worden opgegeven, omdat de gronden ook in paludicultuur (natte landbouw, zie Wichtmann et al. 2016) kunnen worden gebruikt.

Hoe werken interne PAS-maatregelen uit op de acrotelm-ontwikkeling?

De Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) wil de vermindering van de stikstofdepositie, die wordt bereikt door de stikstofuitstoot aan de bron te verminderen, ten dele inzetten voor activiteiten met nieuwe stikstofemissies, om zo investeringen in emissie-arme stallen mogelijk te maken.

De dan nog steeds m.b.t hoogveenbehoud en -regeneratie te hoog blijvende depositie van stikstof moet dan gecompenseerd worden door “technische maatregelen” (“Aanpassen frequentie en fasering beheermaatregelen om negatieve effecten van te hoge stikstofdepositie tegen te gaan”).
Bij hoogveenbehoud en –regeneratie in de Peel denkt de PAS bij zulke “effectgerichte maatregelen” dan aan “verwijderen van berken en trosbosbes, omvormen van bos, begrazen, maaien en plaggen” (DLG & Staatsbosbeheer 2015).
Deze maatregelen kunnen echter de in het licht van de gewenste hoogveenontwikkeling te hoge stikstofdepositie niet compenseren.
Enerzijds frustreert de te hoge stikstofdepositie direkt de ontwikkeling van de voor hoogveenregeneratie noodzakelijke acrotelm door de verdringing van acrotelm-vormende veenmosssoorten door niet-acrotelmvormende soorten en door de versnelde afbraak van het nieuw gevormde veen zodat een effectieve doorlatendheidsgradient niet tot stand kan komen (zie boven).
Anderzijds leidt de ten behoeve van de doorvoering van de beheersmaatregelen noodzakelijke herhaalde betreding/berijding van de door de stikstofdepositie al verzwakte veenmos/veenstruktuur ertoe dat de acrotelmontwikkeling in statu nascendi in de kiem gesmoord wordt doordat de vegetatie en het daardoor gevormde recente veen te sterk gecompacteerd wordt om een effectieve doorlatendheidsgradient te vormen. (M.b.t. “plaggen” is het onmiddelijk duidelijk dat dat de acrotelmvorming verhindert).
Daarbij moet niet vergeten worden, dat een levend hoogveen een natuurlijk landschap is, dat –in tegenstelling tot bijvoorbeeld een heide - geen intern beheer behoeft. Een levend hoogveen wordt vanwege zijn geringe productie (er is “niks te halen”, er zijn geen grotere organismen die veenmos eten) bovendien van nature ook heel weinig door grotere dieren betreden.
Het feit, dat een levend hoogveen een natuurlijk landschap is, wat “van nature” geen (intern) beheer behoeft, impliceert ook dat elk intern beheer een wezenlijke eigenschap van het hoogveen aantast en dat je daar zo snel mogelijk mee op moet houden.

Met intensief beheer kun je best een hoogveen*achtige* levensgemeenschap creëren en in stand houden. Dat tonen wij met onze grootschalige veenmosteelt overtuigend aan (Gaudig et al. 2014, Temmink et al. 2016). Deze “veenmosakkers” hebben echter veelal de verkeerde veenmosssoorten en vertonen een te snelle veenafbraak en –compactie, die de opbouw van een acrotelmstruktuur frustreren. Bij hoogveenregeneratie gaat het er niet alleen om kleinschalige hoogveen-*levensgemeenschappen*, maar ook om een hoogveen*landschap* in zijn samenhang en functionaliteit te restoreren, (zie de beschrijving van de prioritaire habitattypen in Natura 2000). Daarvoor zijn acrotelmeigenschappen noodzakelijk, die je met hoge stikstofdepositie en intensief beheer niet kunt opbouwen.
PAS-klare “intensieve veenteelt”om de intensieve veeteelt in de Peel te faciliteren is dus wat betreft levend hoogveen een doodlopende weg.

Literatuur

Berendse, F., Van Breemen, N., Rydin, H., Buttler, A., Heijmans. M. et al. 2001. Raised atmospheric CO2 levels and increased N deposition cause shifts in plant species composition and production in *Sphagnum* bogs. Global Change Biology 7: 591-598.

Bragazza, L., Buttler, A., Habermacher, J., Brancaleoni, L., Gerdol, R., Fritze, H., Hanajík, P., Laiho, R. & Johnson, D. 2012. High nitrogen deposition alters the decomposition of bog plant litter and reduces carbon accumulation. Global Change Biology 18: 1163-1172.

Breeuwer, A., Heijmans, M.P.D., Gleichman, M., Robroek, B.M. & Berendse, F. 2009. Response of *Sphagnum* species mixtures to increased temperature and nitrogen availability. Plant Ecology 204: 97-111.

Couwenberg, J. & Joosten, H. 1999. Pools as missing links: the role of nothing in the being of mires. In: Standen, V., J. Tallis & R. Meade (eds.): Patterned mires and mire pools - Origin and development; flora and fauna. British Ecological Society, Durham, pp. 87-102.

DLG & Staatsbosbeheer 2015. PAS-analyse herstelmaatregelen voor de Natura 2000-gebieden 139 Deurnsche Peel & Mariapeel en 140 Groote Peel. Den Haag, ministerie EZ.

Gaudig, G., Fengler, F., Krebs, M., Prager, A., Schulz, J., Wichmann, S. & Joosten, H. 2014. *Sphagnum* farming in Germany – a review of progress. Mires and Peat 13: Art. 8. (Online: http://www.mires-and-peat.net/volumes/map13/map1308.php)

Granath, G., Strengbom, J. & Rydin, H. 2012. Direct physiological effects of nitrogen on *Sphagnum*: a greenhouse experiment. Functional Ecology 26: 353-364.

Grootjans, A.P., van Diggelen, R., Joosten, H. & Smolders, A.J.P. 2012. Restoration of mires. In: Van Andel, J. & Aronson, J (eds.): Restoration ecology: the new frontier. 2nd edition. Blackwell Publishing, Oxford, pp. 203-213.

Joosten, H., 1993. Denken wie ein Hochmoor: Hydrologische Selbstregulation von Hochmooren und deren Bedeutung für Wiedervernässung und Restauration. Telma 23: 95-115.

Limpens, J. & Berendse, F. 2003. Growth reduction of *Sphagnum magellanicum* subjected to high nitrogen deposition: the role of amino acid nitrogen concentration. Oecologia 135: 339-345.

Moen, A., Joosten, H. & Tanneberger, F. 2017. Mire diversity in Europe: mire regionality. In: Joosten, H, Tanneberger F. & Moen A. (eds.): Mires and peatlands of Europe: Status, distribution, and nature conservation. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, pp. 101-153.

Temmink, R. J.M., Fritz, C., van Dijk, G., Hensgens, G., Lamers, L. P.M., Krebs, M., Gaudig, G. & Joosten, H. 2016 (in press). *Sphagnum* farming in a eutrophic world: the importance of optimal nutrient stoichiometry. Ecological Engineering. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.069

Tomassen, H.B.M., Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M. & Roelofs, J.G.M. 2003. 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.

Wichtmann, W., Schröder, C. & Joosten, H. (eds.) 2016. Paludiculture – productive use of wet peatlands. Climate protection − biodiversity − regional economic benefits. Schweizerbart Science Publishers, Stuttgart, 272 p.

Prof. Dr. Dr. h.c. Hans Joosten
Professor of Peatland Studies and Palaeoecology
Secretary-General International Mire Conservation Group www.imcg.net
Greifswald Mire Centre http://greifswaldmoor.de/
Institute of Botany and Landscape Ecology http://t3-temp.botanik.uni-greifswald.de/2534.html?&L=1
Soldmannstrasse 15, D-17487 Greifswald, Germany
joosten@uni-greifswald.de