



# Herstel van verdroogde beekdalvenen

## Effecten van vernatting op biogeochemie en vegetatie

Een eeuwenlange historie van antropogene ontwatering en versnippering heeft diepe sporen achtergelaten in het Europese beekdallandschap. Ongestoorde beekdalvenen komen nauwelijks meer voor, en de venen die nog reesteren hebben vaak grote veranderingen doorgemaakt in biogeochemie en vegetatie. Veenherstel door grootschalige vernatting is nu de enige weg voorwaarts, maar het is de vraag of deze maatregel toereikend is voor biogeochemisch herstel.

Ongestoorde beekdalvenen vertonen een grote ruimtelijke heterogeniteit in biogeochemie en vegetatie. Als we het klassieke dwarsprofiel van een beekvallei onderzoeken, dan zien we vaak een dominantie van algemene grote helofyten zoals moeraszegge (*Carex acutiformis*), riet (*Phragmites australis*) of grote lisdodde (*Typha latifolia*) in de nabijheid van de centrale beek of rivier. Deze eutrafente soorten profiteren van het voedselrijke slib dat bovenop het veen wordt afgezet tijdens periodieke overstromingen. Op wat grotere afstand van de beek, buiten het overstromingsgebied, wordt het ongestoorde veen voornamelijk beïnvloed door uittredend grondwater. Kenmerkend voor dit kwelmilieu is een lage beschikbaarheid van nutriënten zoals fosfor (P) en stikstof (N), een relatief hoge basenrijkdom en een stabiele waterstand.

De vegetatie in deze zone wordt gekenmerkt door een hoge abundantie van mesotrafente en basenminnende kleine zeggen, zoals ronde zegge (*Carex diandra*), draadzegge (*C. lasiocarpa*), schubzegge (*C. lepidocarpa*) of tweehuizige zegge (*C. dioica*). De moslaag bestaat meestal uit zeer zeldzame slaapmossen zoals viltnerfmos (*Tomentypnum nitens*), groen schorpioenmos (*Scorpidium cossonii*), sterrengoudmos (*Campylium stellatum*) of het in de Benelux uitgestorven harlekijnmos (*Paludella squarrosa*) (figuur 1). Veenmossen zijn doorgaans minder prominent aanwezig in het kwelmilieu, met uitzondering van lokale bultvormers of specialistische laagveensoor-

ten zoals trilveenveenmos (*S. contortum*) of sparrig veenmos (*S. teres*). Een dergelijke mosrijke kleine zeggenvegetatie is de 'kers op de taart' van het beekdalveen en wordt beschermd in de Natura 2000-wetgeving (habitattypen H7230 Alkalisch laagveen en H7140 Overgangstrilveen). De aanwezigheid van dit vegetatietype is belangrijk voor actieve veenvorming in het beekdallandschap.

Veenvorming treedt op wanneer de productie van vers organisch plantenmateriaal de snelheid van afbraak overtreft, wat alleen voorkomt onder zuurstofloze omstandigheden. Zolang een veensysteem waterverzadigd blijft kan het veenpakket doorgaans langdurig blijven groeien. Laagveenbodems bestaan voor ca. 30 - 50% uit koolstof (C) en de veenaccumulatiesnelheid is onder optimale omstandigheden niet hoger dan ca. 0,3 - 1 mm per jaar (Borren et al., 2004; Succow & Joosten, 2012). Dit betekent dat de metersdikke veenpakketten die we nog sporadisch aantreffen in beekvalleien duizenden jaren oud zijn. Figuur 3 laat een voorbeeld zien van een ongestoord veenprofiel tot op 30 cm diepte.

Gedurende het laatste millennium begon het tij echter langzaam te keren voor het veenlandschap, met name in de dichtbevolkte lage landen. De ontginning van turf en ijzeroer leidde tot het verdwijnen van een groot deel van de historische veengronden, terwijl de reesterende venen grotendeels werden omgezet tot akker- of hooi-

kleine zeggenvegetatie  
fosfor  
ijzer  
koolstof  
laagveen

### W.-J. (Willem-Jan) Emsens

Ecosysteembeheer,  
Departement Biologie,  
Universiteit Antwerpen,  
Universiteitsplein 1C, 2610  
Wilrijk, België  
willem-jan.emsens@uant-  
werpen.be

### R. (Rudy) van Diggelen

Ecosysteembeheer,  
Departement Biologie,  
Universiteit Antwerpen

### C.J.S. (Camiel) Aggenbach

KWR Water Research  
Institute

### A.J.P. (Fons) Smolders

Onderzoekcentrum B-WARE

Foto **Willem-Jan Emsens**.  
Beekdalveen in het  
zuiden van België, met  
een vegetatie bestaande  
uit kleine zeggen en  
slaapmossen.

**Figuur 1** Enkele kenmerkende en uiterst zeldzame soorten uit de kleine zeggen- en slaapmosgemeenschap die kenmerkend is voor ongestoorde, nutriëntenarme en basenrijke laagvenen. Van linksboven naar rechtsonder: tweehuielige zegge (*Carex dioica*), schubzegge (*C. lepidocarpa*), harlekijnmos (*Paludella squarrosa*; uitgestorven in de Benelux) en viltnerfmos (*Tomentypnum nitens*; uitgestorven in Nederland). Foto's: Willem-Jan Emsens.

**Figure 1** Some characteristic and extremely rare plant species of undisturbed, mesotrophic fen peatlands. From top left to bottom right: dioecious sedge (*Carex dioica*), long-stalked yellow-sedge (*C. lepidocarpa*), tufted fen-moss (*Paludella squarrosa*; extinct in the Benelux) and woolly feather moss (*Tomentypnum nitens*; extinct in the Netherlands). Photos: Willem-Jan Emsens.





land. Het beekdallandschap werd gedurende deze periode versnipperd, langdurig ontwaterd en soms zelfs bemest (figuur 2).

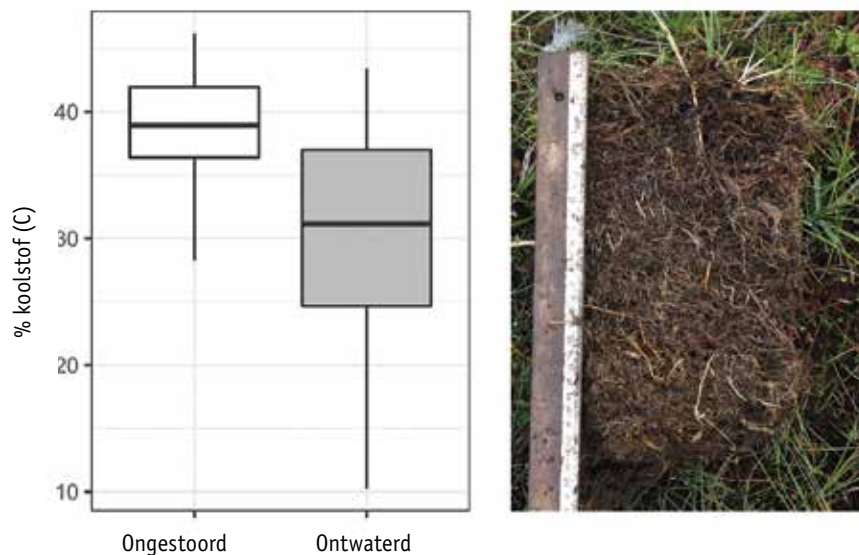
### **Gevolgen van ontwatering op biogeochemie en vegetatie**

Eeuwenlange ontwatering heeft grote gevolgen voor het veen. Wanneer zuurstof de veenbodem binnendringt, leidt dit nagenoeg onmiddellijk tot een verhoogde veenafbraak. Macro- en mesofauna, die doorgaans nauwelijks overleven in een permanent nat milieu, vinden hun weg in het verdroogde veen en fragmenteren het organisch materiaal (Wu *et al.*, 2017). Tegelijkertijd neemt de microbiële biomassa toe en wordt een consortium van aerobe saprofyten geactiveerd (Jaatinen *et al.*, 2008), waaronder diverse schimmelgroepen die in staat zijn om recalcitrant organisch materiaal af te breken (Rupp *et al.*, 2021). Tijdens dit versnelde afbraakproces wordt bodemorganisch koolstof omgezet tot CO<sub>2</sub>, wat vrijkomt in de atmosfeer en daar bijdraagt aan het broeikaseffect (Smolders *et al.*, 2019). De veenbodem zakt vervolgens

als een kaartenhuis in elkaar, waardoor de bulkdichtheid van de bodem toeneemt en het waterdoorlatend vermogen afneemt. Onder sterk ontwaterde en zuurstofrijke omstandigheden klinkt de veenbodem enkele millimeters tot 1 cm per jaar in, zeker gedurende de eerste jaren (Van den Born *et al.*, 2016). Dit staat in schril contrast met de maximale veenopbouw van ca. 1 mm per jaar onder waterverzadigde omstandigheden (figuur 3). Het verlies van koolstof uit de bodem is niet de enige biogeochemische verandering die plaatsvindt onder invloed van ontwatering. Door de aerobe veenoxidatieprocessen komt zuur (H<sup>+</sup>) vrij, terwijl de invloed van baserijk grondwater afneemt. Als gevolg wordt de veenbodem zuurder. Daarnaast leidt de verhoogde afbraaksnelheid tot het vrijkomen van fosfor (P), zwavel (S), stikstof (ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)) en diverse mineralen uit het veen, waarmee de beschikbare voorraad van deze stoffen wordt vergroot (Aggenbach *et al.*, 2013; Smolders *et al.*, 2019). In ontwaterde venen wordt het vrijgemaakte NH<sub>4</sub><sup>+</sup> doorgaans snel genitrificeerd door bacteriën, wat zichtbaar is als een sterke toename in nitraatconcentra-

**Figuur 2** Links: Rospudavallei, Polen: een relatief ongestoord beekdalveen. Rechts: Zwarte Beekvallei, België: een beekdalveen dat eeuwenlang sterk beïnvloed is geweest door turf- en ijzeroerwinning, versnippering, ontwatering, verbossing en landomvorming. Foto's: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens.

**Figure 2** Left: Rospuda Valley, Poland: a relatively undisturbed fen peatland. Right: Zwarte Beekvallei, Belgium: a peatland that has been heavily influenced for centuries by peat and iron extraction, fragmentation, drainage, reforestation and land conversion. Photos: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens



**Figuur 3** Ontwatering van veen leidt tot het verlies van koolstof uit de veenbodem, met name uit de geoxideerde toplaag (data uit 13 relatief ongestoorde en 13 ontwaterde beekdalvenen in Europa).

**Figure 3** Drainage of peat triggers the loss of carbon from the peat soil, especially from the oxidized top layer (data from 13 relatively undisturbed and 13 drained fen peatlands in Europe).

ties ( $\text{NO}_3^-$ ) (figuur 4). Onder permanent waterverzadigde omstandigheden zou dit stikstof in het veen in organische vorm vastgelegd blijven, en dus niet of nauwelijks beschikbaar zijn voor opname door planten of microben. Ontwatering van veen leidt daarmee, naast het verlies aan koolstof, ook tot een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten.

Niet alle mineralen die in de bodem accumuleren als gevolg van veenafbraak en bodeminklinking komen uit het veen zelf. Een relevant voorbeeld is ijzer (Fe). Opgelost ijzer wordt in beekdalvenen vaak langdurig aangevoerd door het grondwater. Het ijzer wordt vervolgens in de veenbodem vastgehouden door diverse chemische processen zoals de vorming van sideriet en vivianiet, of de vorming van ijzer-organischestofcomplexen (Kooijman et al., 2020). Door de eeuwen heen is ijzer zo van nature geaccumuleerd in het veenpak-

ket. Wanneer een veenpakket wordt ontwaterd, oxideren gereduceerde ijzermineralen en slaat het ijzer neer in kristallijne mineralen waaronder ijzer(hydr)oxide: ‘roest’ (Smolders et al., 2019). Dit neerslaan van geoxideerde mineralen vindt met name plaats in de toplaag van het ontwaterde veen omdat deze laag het sterkst wordt beïnvloed door oxidatie. In deze toplaag is ook het verlies van bodemorganisch koolstof het grootst, waardoor het ijzer zich nog sterker concentreert. Dit heeft op zijn beurt gevolgen voor de beschikbaarheid van fosfor. Onder zuurstofrijke omstandigheden is het ijzer namelijk in staat om het - door veenafbraak vrijgemaakte - anorganische fosfor sterk te adsorberen zodat het niet uitspoelt (Smolders et al., 2013; Smolders et al., 2019). Netto leidt ontwatering daarom vaak tot een verhoging van de ijzer- en fosforgehaltes in de aerobe toplaag van het veen, wat weer positief correleert met de fosforbeschikbaarheid (Emsens et al., 2017). De meest ijzerrijke venen, zoals bijvoorbeeld de Drentsche Aa in Nederland of de Zwarte Beekvallei in België, hebben in het verleden vaak de grootste hoeveelheden fosfor geaccumuleerd (Emsens et al., 2019).

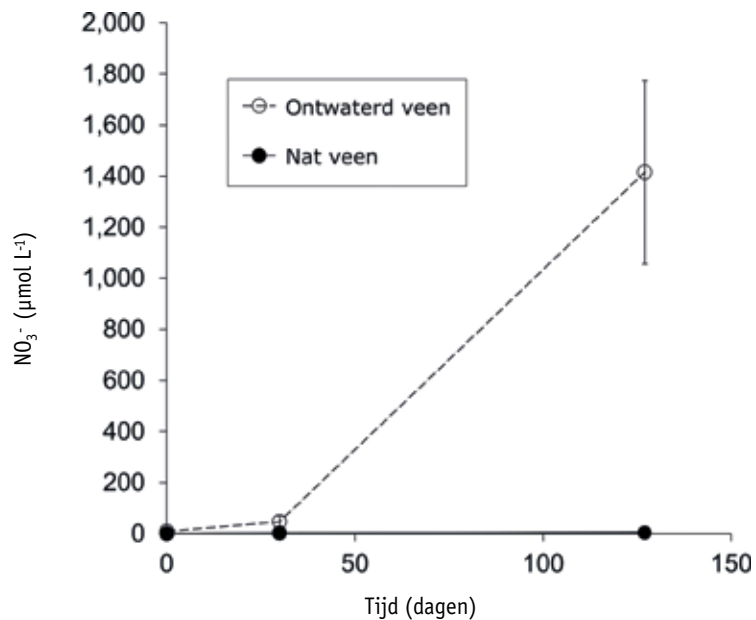
Ontwatering heeft ook grote gevolgen voor de veenvormende kleine zeggengemeenschap. Nagenoeg alle soorten uit de kleine zeggengemeenschap hebben zich evolutionair aangepast aan de stabiele, nutriëntenarme, basenrijke en permanent waterverzadigde omstandigheden van het laagveen. Onder dergelijke omstandigheden, die buitengewoon stresserend zijn voor de meeste andere plantensoorten, zijn de soorten uit de kleine zeggengemeenschap heer en meester. Echter, door verdroging, verzuring en eutrofiëring onder invloed van ontwatering verliezen deze soorten hun concurrentievoordeel ten opzichte van snelgroeiende en meer droogtetolerante, vaak algemene, plantensoorten. De productivi-

teit van de kruidlaag neemt vervolgens toe, wat leidt tot een sterke lichtbeperking aan het maaiveld (Emsens et al., 2018). De vegetatie evolueert dan zeer snel in de richting van een meer productieve grasland- of ruigtevegetatie (figuur 5). Bij een zwakke ontwatering kan zich ook dotter- of soms blauwgrasland ontwikkelen, maar deze vegetatietypen houden vaak niet duurzaam stand in een veensysteem met voortschrijdende veenafbraak.

### Vernatting als oplossing?

Vernatting is noodzakelijk om het resterende koolstof in de veenbodem zoveel mogelijk vast te houden en de mobilisatie van in het organisch materiaal opgeslagen nutriënten te remmen. Daarbij bestaat de hoop dat vernatting, door vernieuwde veenopbouw, weer zal leiden tot actieve netto accumulatie van koolstof en immobilisatie van nutriënten.

Op dit moment is nog onduidelijke of vernieuwde veenopbouw ook effectief plaatsvindt na vernatting van langdurig verdroogde venen. Wel staat vast dat vernatting minimaal leidt tot een flinke reductie van de uitstoot van  $\text{CO}_2$  (Günther et al., 2020). Vaak wordt in dit kader de vrees geuit dat de winst door  $\text{CO}_2$  in de bodem te houden teniet wordt gedaan door de aan vernatting gekoppelde toename in de uitstoot van methaangas ( $\text{CH}_4$ ). Recente berekeningen hebben echter aangegeven dat op langere termijn de eindbalans voor het klimaat altijd in het voordeel is van vernatting, onder meer vanwege de relatief korte levensduur van  $\text{CH}_4$  in de atmosfeer (Günther et al., 2020). Naast de koolstofwinst leidt vernatting ook tot de activatie van andere biogeochemische processen. Zodra zuurstof uit de veenbodem is verdwenen, worden een reeks microbiel gestuurde reductieprocessen in gang gezet. Zo worden respectievelijk nitraat, ijzer en sulfaat gereduceerd. Tijdens deze reductiereacties wordt veel bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) gepro-



**Figuur 4** Ontwatering van veenbodems leidt vaak al binnen enkele maanden tot zeer hoge nitraatconcentraties in het porievocht, wat het gevolg is van de verhoogde veenafbraak en de daaropvolgende nitrificatie van het vrijgekomen ammonium. Resultaten uit een kolomexperiment (Emsens et al., 2016).

duceerd (Aggenbach et al., 2013) waardoor de pH van de veenbodem snel stijgt. Het vernatting van verdroogd laagveen is dus een effectieve maatregel tegen verzuring.

Bovengenoemde reductieprocessen gaan echter ook gepaard met een verdere afbraak van organisch materiaal (Smolders et al., 2013; 2019), de elektrondonor in deze reacties. Gedurende de eerste maanden tot jaren na vernatting kan de snelheid van veenafbraak daardoor nog steeds vrij hoog zijn. In sterk gedegradeerde venen gaat dit anaerobe afbraakproces soms gepaard met hoog oplopende concentraties ammonium (Emsens et al., 2016), wat door de waterverzadigde omstandigheden nog maar nauwelijks wordt omgezet in nitraat. Ammonium kan bij zeer hoge concentraties ( $> \text{ca. } 1 \text{ mmol L}^{-1}$  porievocht) toxisch worden voor gevoelige plantensoorten.

**Figure 4** Drainage of peat soils often leads to nitrate accumulation in the pore water, which is the result of increased peat mineralization rates and the subsequent nitrification of ammonium. Results from a mesocosm experiment (Emsens et al., 2016).

Bijkomende fyto-toxiciteitseffecten kunnen nog verder versterkt worden door de plotselinge accumulatie van sulfide of van opgelost tweewaardig ijzer in het porievocht. Een hele reeks plantensoorten die niet zijn aangepast aan een dergelijk gereduceerd toxisch milieu, waaronder vele dominante grassen maar ook een reeks rode-lijstsoorten, kunnen dus snel verdwijnen na vernatting. Ondertussen is ook duidelijk geworden dat het vernatting van langdurig verdroogd veen zelden leidt tot een snel herstel van een lage nutriëntenrijkdom: vernatte venen

blijven vaak nog lange tijd veel nutriëntenrijker dan vóór hun historische ontwatering. Door de langdurige ontwatering zijn stikstof en fosfor in grote hoeveelheden aanwezig in voor planten makkelijk beschikbare anorganische vorm. Deze nutriëntenproblematiek wordt verder versterkt wanneer er ook nog sprake is van een landbouwkundig verleden met bemesting. Hoewel de overmaat aan anorganisch fosfor onder ontwaterde en zuurstofrijke omstandigheden nog relatief sterk gebonden werd aan ijzer, komt het na vernat-

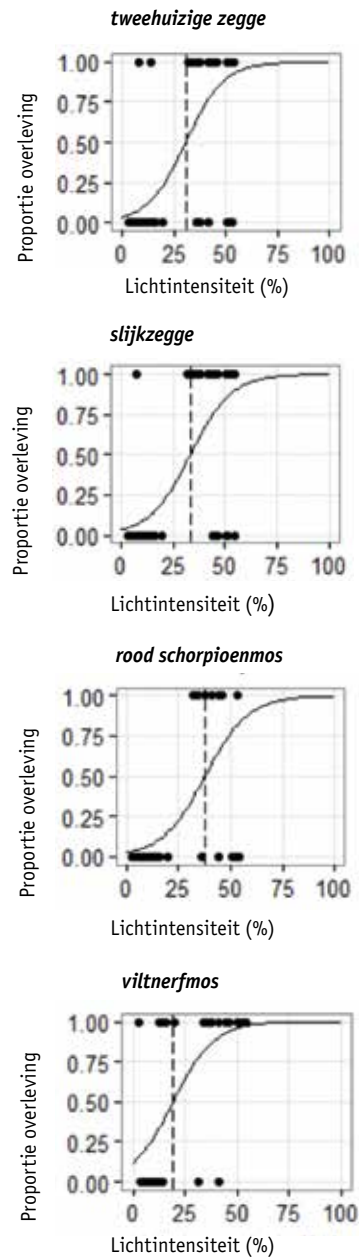
**Figuur 5** Links: laagproductieve kleine zeggen- en slaapmosgemeenschap in een relatief ongestoord laagveen (Biebrza, Polen). Rechts: Gesloten verzuuringsvegetatie in een ontwaterd en verstoord laagveen (Zwarte Beek, België). Foto's: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens.

**Figure 5** Left: Small sedge and brown moss community in a relatively undisturbed fen peatland (Biebrza, Poland). Right: productive vegetation in a drained and degraded fen peatland (Zwarte Beek, Belgium). Photos: Camiel Aggenbach & Willem-Jan Emsens.



ting massaal vrij door ijzerreductie en fosfordesorptie (Smolders *et al.*, 2019). In het gros van de vernatte beekdalvenen is momenteel, in tegenstelling tot in veel (maar zeker niet alle) ongestoorde venen, dus geen sprake meer van fosforlimitatie (Emsens *et al.*, 2017). Hierdoor blijft ondanks vernatting de productiviteit van de kruidlaag relatief hoog. De strijd om licht wordt in dergelijke voedselrijke veensystemen stevast gewonnen door de grotere en snelgroeiende plantensoorten, terwijl de kenmerkende traaggroeiende soorten uit de kleine zeggen-gemeenschap zich niet opnieuw kunnen vestigen door lichtgebrek (figuur 6). Vernatte venen hebben mede daardoor vaak een slecht ontwikkelde en soortenarme moslaag, terwijl juist die moslaag belangrijk is voor hernieuwde veenvorming. Ten slotte zijn vele kenmerkende soorten die door de langdurige ontwatering en veende-gradatie verdwenen zijn niet meer in staat om de vernatte venen op eigen kracht te herkoloniseren.

Concreet zien we in vernatte beekdalvenen dan vaak een ontwikkeling richting (middel)grote zeggenvegetatie met algemene soorten zoals snavelzegge (*Carex rostrata*) of moeraszegge (*C. acutiformis*), zoals op dit moment bijvoorbeeld waar te nemen is in de Zwarte Beekvallei (Emsens *et al.*, 2019). De moslaag wordt meestal gedomineerd door robuuste en algemene mossoorten zoals gewoon puntmos (*Calliergonella cuspidata*) of hartbladig puntmos (*Calliergon cordifolium*). De ontwikkeling richting dergelijke meer productieve vegetatietypen is zeker waardevol en zonder meer een verbetering ten opzichte van de verdroogde situatie, maar het herstel van een soortenrijke kleine zeggenvegetatie blijkt op korte termijn vaak te stagneren. Het is afwachten wat er zal gebeuren op de langere termijn. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat nutriënten gradueel weer worden vastgelegd in het veen dankzij hernieuwde veenvorming, of dat de nutriënten na verloop van tijd uitspoelen met het opnieuw



**Figuur 6** Logistisch verband tussen de relatieve lichtintensiteit (%) aan maaiveld en de overlevingskansen van enkele typische kleine zeggen en slaapmossoorten uit voedselarme laagvenen. Resultaten uit een introductie-experiment met o.a. tweehuizige zegge (*Carex dioica*), slijkzegge (*C. limosa*), rood schorpioenmos (*Scorpidium scorpioides*) en viltnerfmos (*Tomentypnum nitens*) (Emsens *et al.*, 2018). De verticale stippellijn geeft het omslagpunt van minimale lichtintensiteit aan maaiveld weer waarbij de kans op overleven ca. 50% is.

**Figure 6** Logistic relationship between relative light intensity (%) at soil surface level and survival probabilities of some typical small sedge and brown moss species from mesotrophic fen peatlands. Results are from an introduction experiment with, among others, dioecious sedge (*Carex dioica*), bog sedge (*C. limosa*), hooked scorpion moss (*Scorpidium scorpioides*) and woolly feather moss (*Tomentypnum nitens*) (Emsens *et al.*, 2018). Vertical dashed lines indicate the inflection points (i.e. light intensity at which survival probability equals 50%).



---

doorstromende grondwater. Wanneer dit niet gebeurt kan overwogen worden om meer rigoureuze maatregelen te nemen. Er zijn bijvoorbeeld veelbelovende resultaten geboekt met het afgraven van de sterk veraarde en geëutrofiëerde toplaag van het veen (Emsens *et al.*, 2015, Klimkowska *et al.*, 2015). Een dergelijke ingreep moet wel met de nodige voorzichtigheid gebeuren, aangezien de hydrologische gevolgen voor het omliggende landschap groot kunnen zijn. Tenslotte kan men, na abiotisch herstel, overwegen om lokaal uitgestorven soorten weer gericht te herintroduceren.

*Dit onderzoek werd mede gefinancierd door BiodivERSA/BELSPO (BR/175/A1), OBN (OBN178-BE), en FWO (1214520N). We danken twee anonieme reviewers voor hun kritische blik op een eerdere versie van het artikel.*

---

## Summary

Restoration of drained peatlands. Effects of rewetting on biogeochemistry and vegetation  
**Willem-Jan Emsens, Rudy van Diggelen, Camiel Aggenbach & Fons Smolders**

Small sedge vegetation, phosphorus, iron, carbon, fens

Rewetting is a first crucial step in the restoration of long-term drained groundwater-fed peatlands (fens). However, a complete recovery of local biogeochemical conditions and vegetation is unlikely within the short term (< few decennia). Drainage has triggered the irreversible loss of soil organic matter, the mobilization of nutrients, and the loss of target species of small sedge and brown moss communities. Although rewetted fens are often dominated by tall sedges and reeds rather than low-productive small sedge communities, this is already an improvement compared to the vegetation under drained conditions. Currently, it remains uncertain whether species-rich

small sedge and brown moss communities will recover over a longer time span of several decades to centuries. More rigorous restoration measures, including removal of the degraded top soil or species re-introduction, may be required to facilitate recovery.

---

## Literatuur

- Aggenbach, C.J.S., H. Backx, W.J. Emsens *et al.*, 2013.** Do high iron concentrations in rewetted rich fens hamper restoration? *Preslia* 85:405-420.
- Borren, W., W. Bleuten & E.D. Lapshina, 2004.** Holocene peat and carbon accumulation rates in the southern taiga of western Siberia. *Quaternary Research* 61: 42-51.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, A.J. Smolders *et al.*, 2015.** Topsoil removal in degraded rich fens: can we force an ecosystem reset? *Ecological Engineering* 77: 225-232.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, C. Dictus *et al.*, 2019.** Laagveenherstel door vernatting. Terug naar oernatuur in de vallei van de Zwarte Beek. *Natuur Focus* 18: 60-65.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, H. Rydi, *et al.*, 2018.** Competition for light as a bottleneck for endangered fen species: an introduction experiment. *Biological Conservation* 220: 76-83.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, K. Schoutens *et al.*, 2016.** Soil iron content as a predictor of carbon and nutrient mobilization in rewetted fens. *PLoS one* 11(4): e0153166.
- Emsens, W.J., C.J.S. Aggenbach, A.J.P. Smolders *et al.*, 2017.** Restoration of endangered fen communities: the ambiguity of iron-phosphorus binding and phosphorus limitation. *Journal of Applied Ecology* 54: 1755-1764.
- Günther, A., A. Barthelmes, V. Huth *et al.*, 2020.** Prompt rewetting of drained peatlands reduces climate warming despite methane emissions. *Nature Communications* 11(1): 1-5.
- Jaatinen, K., R. Laiho, A. Vuorenmaa *et al.*, 2008.** Responses of aerobic microbial communities and soil respiration to water level drawdown in a northern boreal fen. *Environmental microbiology* 10: 339-353.
- Klimkowska, A., D.J. van der Elst & A.P. Grootjans, 2015.** Understanding long term effects of topsoil removal in peatlands: overcoming thresholds for fen meadows restoration. *Applied Vegetation Science* 18: 110-120.
- Kooijman, A.M., I.S. Mettrop, T. Neijmeijer *et al.*, 2020.** Nieuwe kijk op fosfaatbeschikbaarheid in kalkrijke en ijzerrijke venen. *Vakblad Natuur Bos Landschap* 17: 23-25.
- Rupp, D.L., L.J. Lamit, S.M. Techtmann *et al.*, 2021.** The rhizosphere responds: rich fen peat and root microbial ecology after long-term water table manipulation. *Applied and Environmental Microbiology* 87: e00241-00221.
- Smolders, A.J.P., B. van de Riet, J.H.M. van Diggelen *et al.*, 2019.** De toekomst van ons veenweidelandschap. Over vernatten, optoppen en veenmosteelt. *LANDSCHAP* 36(3): 133-141.
- Smolders, A.J.P., J. Verhoeven, H. Tomassen *et al.*, 2013.** Waterberging en veenvorming als klimaatbuffer. Kansen en valkuilen vanuit biogeochemisch perspectief. *LANDSCHAP* 30(4):197-206.
- Succow, M. & H. Joosten, 2012.** *Landschaftsökologische Moorkunde*. Stuttgart. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Van den Born, G., F. Kragt, D. Henkens *et al.*, 2016.** Dalende bodems, stijgende kosten: mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied. Beleidsstudie. Den Haag. Planbureau voor de Leefomgeving, PBL-publicatienummer 1064.
- Wu, X., R. Cao, X. Wei *et al.*, 2017.** Soil drainage facilitates earthworm invasion and subsequent carbon loss from peatland soil. *Journal of Applied Ecology* 54: 1291-1300.