

**Hierna volgend  
artikel is  
afkomstig uit:**

# De **Levende Natuur**

**Doelstelling van  
'De Levende Natuur'**  
Het informeren over  
ontwikkelingen in onderzoek,  
beheer en beleid op het  
gebied van natuurbehoud  
en natuurbeheer,  
die van belang zijn voor  
Nederland en België.  
De artikelen zijn vooral  
gebaseerd op eigen  
ecologisch onderzoek,  
ervaring of waarneming  
van de auteurs.

De Levende Natuur  
verschijnt 6x per jaar,  
waaronder tenminste  
één themanummer.

***U kunt zich abonneren  
via onze website:***

[www.delevendenatuur.nl/  
lezersservice.php](http://www.delevendenatuur.nl/lezersservice.php)

***of deze bon opsturen  
naar:***

Abonnementenadministratie  
De Levende Natuur  
Antwoordnummer 7086  
3700 TB Zeist

Tel. 085 0407400  
[klantenservice@virtumedia.nl](mailto:klantenservice@virtumedia.nl)

**JA** ik wil graag een abonnement  
op *De Levende Natuur*

naam: \_\_\_\_\_

adres: \_\_\_\_\_

postcode: \_\_\_\_\_

woonplaats: \_\_\_\_\_

telefoon: \_\_\_\_\_

e-mail: \_\_\_\_\_

**Ik machtig *De Levende Natuur* om het abonnementsgeld  
af te schrijven van rekening:**

bank/giro: \_\_\_\_\_

naam: \_\_\_\_\_

plaats: \_\_\_\_\_

datum: \_\_\_\_\_ handtekening:

**Graag aankruisen:**

- proefabonnement** – € 13,- (drie nummers)
- particulier** – € 38,- (NL + B) – overige landen € 45,-
- instelling/bedrijf** – € 60,-
- student/promovendus** – € 13,50\*

\* (max. vier jaar; graag kopie college- of PhD kaart bijvoegen)  
Na vier jaar gaat dit abonnement automatisch over in een regulier abonnement.

De prijsontwikkeling kan het stichtingsbestuur dwingen de tarieven  
aan te passen. Tevens bent u gerechtigd om uw bank opdracht te geven  
het bedrag binnen 30 dagen terug te boeken.

# Risico's en kansen bij behoud en herstel van **basenrijke trilvenen**

Basenrijke trilvenen behoren tot de meest soortenrijke Natura 2000-habitattypen van Nederland, maar ook tot de meest bedreigde. De Levende Natuur presenteert in dit nummer recent onderzoek naar de factoren die bepalend zijn voor behoud en herstel. In dit inleidende artikel leggen we uit hoe trilvenen in de laagveenmoerassen van Laag-Nederland ontstaan, waar ze voorkomen en waarom ze zo belangrijk zijn, maar ook waarom verminderde kwel van grondwater, slechte kwaliteit van het oppervlaktewater en hoge stikstofdepositie zo'n probleem zijn. Tegelijkertijd zijn er ook kansen voor behoud en herstel en onverwachte successen.

*Annemieke Kooijman, Casper Cusell, Camiel Aggenbach & Gijs van Dijk*



Basenrijke trilvenen behoren tot de beschermde Natura 2000 habitattypen (H7140A) en vormen een van de ontwikkelingsstadia in de verlanding van open water in sloten, plassen en petgaten (zie kader). Ze komen in Nederland vooral voor in voormalige petgaten in laagveengebieden, maar ook op niet vergraven veen in beekdalen en de overgangen van zandgronden naar het laagveengebied. Dit artikel gaat over de toestand, duurzaamheid en herstel mogelijkheden van trilvenen in kraggeverlandingen in Laag-Nederland. Basenrijke trilvenen behoren hier tot de jonge verlandingsstadia, die al wel deels boven de waterspiegel uitkomen, maar nog in contact staan met basenrijk grondwater of oppervlaktewater. Hierdoor blijft de

Trilveen nabij het Naardermeer.  
(Foto: Gijs van Dijk)



veenbodem goed gebufferd tegen verzuring met hoge concentraties aan calcium en bicarbonaat in het bodemvocht en de pH is neutraal. De vegetatie bestaat uit basenminnende soorten als waterdrieblad, holpijp, paddenrus en ronde zegge, die een al dan niet drijvende wortelmat vormen. De moslaag vormt een belangrijk onderdeel van basenrijke trilvenen en bestaat in goed ontwikkelde vormen vooral uit slaapmossen als rood, groen en geel schorpioenmos en sterrengoudmos.

De soortenrijkdom van basenrijke trilvenen kan erg hoog zijn en een goed ontwikkeld trilveen kon in het verleden meer dan zeventig plantensoorten bevatten (Westhoff et al., 1971). Vaak zijn dit Rode Lijstsoorten en ook EU-habitatrichtlijnsoorten als geel schorpioenmos en groenknolorchis (foto 1). Basenrijke trilvenen leveren hiermee een belangrijke bijdrage aan de diversiteit aan plantensoorten van de gehele verlandingserie.

Basenrijke trilvenen zijn óók heel kwetsbaar: ze kunnen door verzuring, eutrofiëring en/of verdroging snel overgaan in door veenmos gedomineerde vegetatie. Hierbij zakt de pH naar veel lagere waarden, waardoor de kenmerkende basenminnende soorten verdwijnen. Ook is de vorming van nieuwe trilvenen door verlanding in open water de laatste decennia nog vrijwel nergens goed op gang gekomen (Loeb et al., 2018). Dit betekent dat basenrijke trilvenen een sterke signaalfunctie hebben: als deze in een bepaald gebied ontwikkeld en/of behouden kunnen worden, is dat een teken dat de waterhuishouding en de waterkwaliteit in ieder geval lokaal op orde zijn. Als dat niet (meer) lukt, is er een probleem.

#### Achteruitgang basenrijke trilvenen

De oppervlakte aan basenrijk trilveen is in heel Europa de afgelopen decennia sterk achteruitgegaan. In Nederland wordt het trilveenareaal geschat op 10 tot 100 ha, maar van de goed ontwikkelde variant met rood, groen of geel schorpioenmos is op dit moment waarschijnlijk minder dan 7 ha te vinden (Cusell et al., 2013). Het grootste deel hiervan ligt in Noordwest-Overijssel en Friesland; ook in de Weerribben-Wieden is de oppervlakte aan basenrijk trilveen sterk verminderd ten opzichte van enkele decennia geleden (Kooijman et al., 2016). In de Oostelijke Vechtplassen zijn bijna alle basenrijke trilvenen rond 1990 verdwenen (Kooijman &

#### Verlandingsreeks in petgaten

In het Nederlandse laagveenlandschap is tot het begin van de vorige eeuw op grote schaal veen gewonnen voor brandstof. Dit werd gedaan in lange brede sloten van ongeveer 30 m breed, de zogeheten petgaten, die van elkaar gescheiden werden door smalle legakkers of ribben, waarop het uitgebaggerde veen te drogen werd gelegd. Als de legakkers te smal werden kon een reeks van petgaten zich verbreden tot een plas, zoals in de Loosdrechtse Plassen en de Wieden. Als het petgat in stand bleef, kon het weer geheel begroeid raken.

De verlandingsreeks begint met ondergedoken waterplanten. Afhankelijk van de diepte van het petgat worden deze opgevolgd door deels boven het water uitstekende planten als holpijp, of door drijvende vegetatie met krabbenscheer. Daarna komen er soorten die een drijvende wortelmat vormen, de kragge, waarin ook schorpioenmossen zich kunnen vestigen. Dit stadium heet basenrijk trilveen, waarin de vegetatie nog in contact staat met het basenrijke water in het petgat. Bij verdere successie wordt de kragge dikker en neemt veenmos het over. Als er geen maaibeheer wordt uitgevoerd, groeit het petgat uiteindelijk dicht met moerasbos.

Paulissen, 2006) en zijn er nog maar een paar kleine plekjes over. Ook in de Nieuwkoopse Plassen zijn alleen nog vlekjes te vinden (Van Dijk et al., 2021a). De staat van instandhouding van het habitatype is dan ook zeer ongunstig wat betreft oppervlak en matig ongunstig wat betreft kwaliteit. Toch lukt het hier en daar om basenrijk trilveen te herstellen (Koks et al., dit nummer).

Veel trilvenen zijn de afgelopen decennia verzuurd als gevolg van een verminderde toestroming van grondwater, of doordat basenrijk oppervlaktewater niet meer bij het trilveen kan komen. In veel gebieden wordt het peil van het oppervlaktewater sterk gereguleerd, waardoor overstroming met basenrijk water is verdwenen. Verzuring is echter ook een natuurlijk verouderingsproces, doordat de kragge in de loop van de tijd steeds dikker wordt. Verzuring kan dan ook optreden in trilvenen die grenzen aan basenrijk oppervlaktewater. Het basenrijke water kon hier vroeger door de dunne kragge heen het oppervlak bereiken, maar nu vaak niet meer. Na het ontstaan van

trilveen kan een kragge in vijftig jaar zo'n 20-34 cm dikker worden (Faber et al., 2016). Hierdoor kan een regenwaterlens ontstaan in de toplaag, waardoor deze verzuurd raakt. Ook hebben we in Nederland een neerslagoverschot, waardoor in combinatie met verzurende processen een deel van de bufferstoffen wordt afgevoerd. De verzuring wordt sterker zodra veenmossen zich vestigen, omdat deze zelf zuur produceren. Vooral snelgroeiende soorten als hakig en fraai veenmos zijn hier goed in (Kooijman & Paulissen 2006; Kooijman, 2012). De verzuring werd in het verleden aangewakkerd door zwaveldepositie, en wordt nog steeds versterkt door de hoge atmosferische stikstofdepositie, die leidt tot sterkere zuurafgifte van veenmossen (Kooijman et al., 2012; Van Dijk et al., 2021b). Ook eutrofiëring kan een rol spelen bij verzuring. Basenrijke trilvenen zijn van nature arm aan voedingsstoffen als fosfaat (P), dat voor de plantengroei vaak een limiterende factor is (Van Dijk et al., 2021b).

Bij een hogere trofiegraad komen er meer eutrofe soorten en gaan de hogere planten harder groeien, waardoor de moslaag te weinig licht krijgt. In een eutroof trilveen kan het echter ook gebeuren dat een grote veenmossoort als hakig veenmos zich vestigt (Kooijman & Paulissen, 2006; Kooijman, 2012). Deze soort kan zich al bij relatief hoge pH vestigen, vooral onder eutrofe condities. Hakig veenmos is een snelgroeiende soort die veel zuur produceert en kan gaan woekeren. Daardoor zijn veel trilveenvegetaties in het Vechtplassen-gebied verdwenen.

Zoals eerder aangegeven is ook de gebrekkige vorming van nieuwe trilvenen vanuit open water een probleem voor het duurzaam voorkomen van dit habitattype. Door de slechte waterkwaliteit zijn in de afgelopen decennia de waterplantenvegetaties sterk achteruitgegaan. Inmiddels gaat het met de waterkwaliteit in veel gebieden veel beter, maar verlanding komt in de meeste gebieden niet goed op gang. Deels is dit waarschijnlijk een kwestie van tijd. Aan het begin van de vorige eeuw duurde het ook zo'n zestig jaar voordat basenrijk trilveen vanuit open water was gevormd (Faber et al., 2016). In de Weerribben-Wieden zijn op dit moment goede ontwikkelingen te zien, hoewel echte trilvenen nog niet zijn gevormd (Loeb et al., 2018).

Het kan ook zijn dat de ontwikkeling van nieuwe trilvenen in veel gebieden wordt belemmerd door de oprukkende Ameri-



**Foto 1.** Groenknolorchis op nieuw ontwikkeld trilveen in de Nieuwkoopse Plassen. (Foto: Ronald Messemaker)

kaanse rivierkreeft, die krabbenscheerplanten kan slopen (Kanters et al., in prep). Dat betekent dat op dit moment de aandacht vooral uitgaat naar behoud van bestaande trilvenen.

#### **Bevloeiing als herstelmaatregel?**

Hoewel verzuring in basenrijke trilvenen ten dele een natuurlijk proces is dat leidt tot de vorming van het Natura 2000-habitattype veenmosrietlanden (H7140B), kan basenrijk trilveen ook langdurig aanwezig zijn. In de Weerribben blijft een flink deel van een basenrijk trilveen al meer dan 25 jaar in stand en heeft de zone met rood schorpioenmos, die aan de slootkant van het perceel ligt, zich zelfs uitgebreid door verbetering van de waterkwaliteit (Kooijman et al., 2016). Het basenrijke deel van het trilveen blijkt regelmatig te inunderen met water, dat bij hoge waterstanden in de boezem vanuit de sloot de kragge in stroomt. In de Wieden blijken kleine greppeltjes in basenrijke trilvenen bij hoge

waterstanden in de boezem het basenrijke water naar het trilveen te leiden, dat lokaal onder water komt te staan, wat zorgt voor een aanrijking met calcium (Cusell et al., 2013). In de geïnundeerde zones aan het einde van de greppels blijven schorpioenmosvegetaties langdurig in stand.

In deze special komen verschillende voorbeelden aan de orde van verhoogde invloed van oppervlaktewater. Bij een veldexperiment in de Wieden met bevoeiing in de zomer trok basenrijk water de veenbodem in (Aggenbach et al., dit nummer). In de Rottige Meente bleek een tijdelijk actief verhoogde waterstand in de winter en het voorjaar te leiden tot inundaties en uitbreiding van basenrijk trilveen met rood schorpioenmos (Koks et al., dit nummer). Ook een experiment in Nieuwkoop met inundatie na oppervlakkig plaggen bood hoopgevende resultaten (Van Dijk et al., 2021c). Bevloeiing met oppervlaktewater is dus mogelijk een belangrijke maatregel om basenrijk trilveen

te behouden en te herstellen.

Voordat het zover is moeten echter nog veel vragen worden beantwoord over hoe het proces precies werkt en hoe bevoeiing en peilverhoging het beste kunnen worden toegepast. Van groot belang is in elk geval dat het trilveen echt onder water komt te staan, inclusief de moslaag. Om veenmos weg te krijgen moet deze volledig onder basenrijk water komen te staan (Vicherova et al., 2015). Ook is van belang dat het water voldoende voedselarm is, omdat met bevoeiing niet alleen bufferstoffen als calcium en bicarbonaat worden toegediend, maar ook nutriënten. Ook mag er niet te veel sulfaat in het water zitten, omdat dit P in de bodem kan mobiliseren. Daarnaast is nog niet goed duidelijk hoe belangrijk de ijzerrijkdom van de bodem is. Ijzerrijke venen bevatten van nature (veel) meer P in de bodem dan ijzerarme (Kooijman et al., 2020), dat bij inundatie mogelijk vrij kan komen.

De volgende vraag is hoelang inundatie met oppervlaktewater moet duren. Dit is nog niet goed bekend. De duur hiervan moet lang genoeg zijn om de zuurbuffercapaciteit van de veenbodem op peil te brengen en de successie richting veenmosdominantie af te remmen, zonder de plantengroei te belemmeren. In de Oostelijke Binnenpolder van Tienhoven staan de trilveren sinds kort door peilverhoging vrijwel de hele winter onder water. De gevolgen daarvan worden op dit moment onderzocht, maar veenmos lijkt op grote schaal af te sterven en rood schorpioenmos lokaal uit te breiden. Wel is de vraag of deze inundatieduur niet te lang is, omdat de vegetatie er niet erg florissant bij staat. Aan de andere kant staan basenrijke (tril)venen in buitenlandse referentiegebieden vaak de hele winter onder water (Vicherova et al., 2015).

De laatste vraag is hoe bevoeiing op praktijkschaal het beste kan worden toegepast. Daar is ook nog weinig over bekend. In grotere boezemsystemen als de Weerribben-Wieden zou incidenteel een hoger waterpeil dan nu is toegestaan tot uitbreiding van de inundaties kunnen leiden. Tenslotte kan met een pomp lokaal water worden opgezet. Een complicerende factor daarbij is dat kraggen bij het bevoeien mee omhoog kunnen drijven of dat het water te snel wegstroomt. In de Weerribben loopt op dit moment een onderzoek naar grootschalige bevoeiing, maar dat is nog niet afgerond.

## Conclusie

Basenrijke trilveren behoren tot de meest soortenrijke Natura 2000 habitattypen in Nederland, en hebben een signaalfunctie wat betreft de kwaliteit van afzonderlijke laagveengebieden. Als het lukt om basenrijke trilveren met een goed ontwikkelde moslaag in stand te houden, is dat een goed teken voor de waterhuishouding en waterkwaliteit van het hele gebied. Basenrijke trilveren zijn van nature gevoelig voor verzuring en dominantie door veenmos, wat wordt versterkt door verminderde aanvoer en eutrofiëring van basenrijk grond- en/of oppervlaktewater, in combinatie met de hoge stikstofdepositie. De ontwikkeling van nieuwe trilveren vanuit verlanding komt onvoldoende op gang, waardoor het extra belangrijk is om de bestaande basenrijke trilveren te behouden. Dit is minder moeilijk dan op het eerste gezicht het geval lijkt, mits er basenrijk en voedselarm (oppervlakte) water beschikbaar is. Bevoeiing en inundatie met basenrijk en voedselarm oppervlaktewater kunnen helpen om de zuurbuffercapaciteit en de pH van de kragge te verhogen, de dominantie van veenmossen uit te schakelen en daarmee te zorgen voor instandhouding en herstel van basenrijke trilveren. Hoewel een volledige analyse en beheersadvies nog niet mogelijk zijn, geven de hierna komende verhalen meer inzicht in de risico's en kansen voor herstel.

## Literatuur

**Aggenbach, C., G. Cirkel, C. Cusell, G. van Dijk & A.M. Kooijman, 2021.** Trilveenvegetatie herstellen met oppervlaktewaterbevoeiing. De Levende Natuur 122: 96-101.

**Dijk, G. van, S. Stofberg, J. Mandemakers, M. van Schie, C. Cusell, A.M. Kooijman & F. Smolders, 2021a.** Teloorgang én ontwikkeling van trilveen in de Nieuwkoopse plassen. De Levende Natuur 122: 88-93.

**Dijk, G. van, J. van Diggelen, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van de Broek, R. Bobbink, I. Mettrop, L. Lamers, F. Smolders, 2021b.** Chemische condities in trilveen en effecten van stikstofdepositie. De Levende Natuur 122: 84-87.

**Dijk, G. van, M. van Schie, A. Koks, W. van Steenis, 2021c.** Visgraatplaggen als redmiddel voor trilveren. De Levende Natuur 122: 94-95.

**Kanters, S., M. Schrama, C. Cusell, in prep.** Uitblijven krabbenscheervelden gevolg van verknipping door rode Amerikaanse rivierkreeft?

**Koks, A., G. van Dijk, C. Cusell, S. Kanters, A.M. Kooijman, A. Smolders, W. Molenaar & H. Hut, 2021.** Trilveenherstel door terugkeer van inundatie met basenrijk oppervlaktewater. De Levende Natuur (122): 102-106.

**Kooijman, A.M., 2012.** 'Poor rich fen mosses': atmospheric N-deposition and P-eutrophication in base-rich fens. *Lindbergia* 35: 42-52

**Kooijman, A.M., M.P.C.P. Paulissen, 2006.** Acidification rates in wetlands with different types of nutrient limitation. *Applied Vegetation Science* 9: 205-212.

**Kooijman, A.M., C. Cusell, I.S. Mettrop, L.P.M. Lamers, 2016.** Recovery of rich-fen bryophytes in floating rich fens over the past 25 years by improvement of nutrient status and inundation with base-rich surface water. *Applied Vegetation Science* 19: 53-65.

**Kooijman, A.M., C. Cusell, L. Hedenäs, L.P.M. Lamers, I.S. Mettrop, T. Neijmeijer, 2020.** Nieuwe kijk op fosfaatbeschikbaarheid in kalkrijke en ijzerrijke venen. *Vakblad voor natuur, bos en landschap* 167: 23-25.

**Loeb, R., J. Geurts, L. Bakker, R. van Leeuwen, J. van Belle, J. van Diggelen, A-H. Faber, A.M. Kooijman, O. Brinkkemper, B. van Geel, W. Weijs, G. van Dijk, L. Loermans, C. Cusell, W. Rip, W. & L.P.M. Lamers, 2016.** Verlanding in laagveenpetgaten: Speerpunt voor natuurherstel in laagvenen. 2016/OBN208-LZ, Driebergen. VBNE.

**Mettrop, I.S., C. Cusell, A.M. Kooijman, L.P.M. Lamers, 2015.** Short-Term Summer Inundation as a Measure to Counteract Acidification in Rich Fens. *PLoS ONE* 10: e0144006.

**Vicherova, E., M. Hajeck, T. Hajek, 2015.** Calcium intolerance of fen mosses: physiological evidence, effects of nutrient availability and successional drivers. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* 17: 347-359.

**Westhoff V., P. A. Bakker, C.G. van Leeuwen, E.E. van der Voo & R. Westra, 1971.** Wilde planten – Flora en vegetatie in onze natuurgebieden – deel 2. 's-Gravenland. Vereniging tot Behoud van Natuurmonumenten.

Annemieke Kooijman  
Universiteit van Amsterdam  
A.M.Kooijman@science.uva.nl

Casper Cusell  
Witteveen+Bos

Camiel Aggenbach  
KWR Water Research Institute

Gijs van Dijk  
Onderzoekscentrum B-WARE/  
Radboud Universiteit

# Chemische condities in trilveen en effecten van stikstofdepositie

Nederlandse laagveengebieden vormen voor het habitatype overgangs- en trilvenen een zwaartepunt in Noordwest-Europa. In veel van deze gebieden wordt een negatieve trend van verzuring, verdroging en vermessing waargenomen. Hoe deze systemen precies functioneren en welke bijdrage een verhoogde atmosferische stikstofdepositie heeft op de vegetatiesuccessie in kraggenverlandingen, is echter onbekend. In een OBN-onderzoek zijn 110 locaties met overgangs- en trilvenen in 21 Nederlandse laagvenen bemonsterd voor standplaatsfactoren en vegetatiesamenstelling.

**Gijs van Dijk, José van Diggelen, Casper Cusell, Jasper van Belle, Annemieke Kooijman, Tom van den Broek, Roland Bobbink, Ivan Mettrop, Leon Lamers & Fons Smolders**

Nederlandse laagvenen kennen een grote verscheidenheid aan plant- en diersoorten. Veel van de grotere Nederlandse laagvenen zijn dan ook aangewezen als Natura 2000-gebied, onder andere voor de subhabitattypen trilvenen en veenmosrietlanden. Voor veel gebieden dreigt een verslechtering als gevolg van verzuring, verdroging en vermessing. Ook de hoge atmosferische stikstofdepositie in Nederland draagt daar aan bij, maar de manier waarop en de mate waarin zijn niet precies bekend. Inzicht in deze processen is echter noodzakelijk voor het uitvoeren

van adequate behoud- en herstelmaatregelen.

In het OBN-onderzoek *Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- en trilvenen, ten behoeve van het behoud en herstel van habitatype H7140 (Natura 2000)* zijn 110 verschillende locaties onderzocht in overgangs- en trilveen, verspreid over 21 laagvenen (foto 1). De meeste daarvan liggen in Laag-Nederland en een kleiner deel in grondwatergevoede laagten (fig. 1). Het merendeel van de locaties betreft kraggenverlandingen. Bij de selectie is er naar gestreefd om binnen elk gebied zowel

trilveen als veenmosrietland mee te nemen, van zowel goede als matige kwaliteit en met verschillende stikstofdepositieniveaus (de locatie specifieke stikstofdepositie is bepaald met de AERIUS-Monitor in 2015). In 2015 en 2016 zijn alle 110 locaties eenmalig bezocht en bemonsterd in de periode mei t/m augustus. Op elke locatie is een homogeen representatief proefvlak van 2x2 m geselecteerd, waarvan een vegetatieopname (vaatplanten en mossen) gemaakt werd. Daarna zijn monsters van de bodem en van het bodemporiewater verzameld voor chemische analyses. De resultaten zijn gebruikt om een classificatie te maken op basis van vegetatiesamenstelling en correlaties te zoeken met belangrijke factoren, waaronder de stikstofdepositie, nutriëntenhuishouding (stikstof én fosfor) en de basenhuishouding.

## De vegetatiesamenstelling

Met behulp van een TWINSPAN clusteranalyse zijn de onderzochte locaties ingedeeld in zes vegetatiegroepen. Deze vallen uiteen in twee slaapmosgedomineerde groepen van jonge successiestadia, behorend tot het subhabitatype Trilveen (groep 5 en 6), en vier veenmosgedomineerde groepen van oudere successiestadia, behorend tot het subhabitatype Veenmosrietland (groep 1 t/m 4; fig. 2).

De trilveengroep met de beste ecologische kwaliteit (groep 6; mesotroof trilveen) wordt gekenmerkt door veenknikmos, sterrengoudmos, reuzenpuntmos, rood en groen schorpioenmos en gewoon puntmos, en vele zeggensoorten waaronder ronde zegge. De andere trilveengroep met een meer eutrofe vegetatie (groep 5; eutroof trilveen) wordt vooral getypeerd door een dominantie van gewoon puntmos en het ontbreken van schorpioenmossen.

De veenmosgedomineerde vegetaties vallen uiteen in vier vegetatiegroepen. Groep 1 is de meest zure groep (verzuurd veenmosrietland), die wordt gedomineerd wordt door riet, gewoon veenmos en fraai veenmos. Groep 3 betreft basenarm



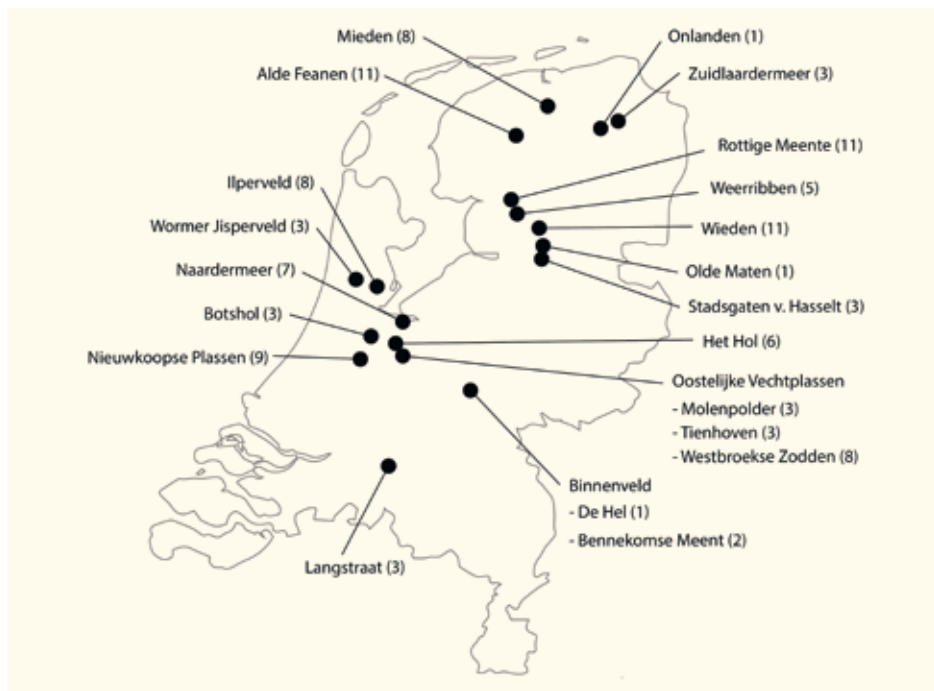
**Foto 1.** Trilveenvegetatie in de Mieden (Friesland) met onder andere waterdriëblad, ronde zegge en rood schorpioenmos waarin met keramische cups bodemporiewater op verschillende diepte verzameld werd. (Foto: Gijs van Dijk)

veenmosrietland, dat wordt gekenmerkt door de soorten van groep 1 in combinatie met een aantal basenminnende, eutrafente soorten zoals koninginnenkruid, moeraszegge en wolfspeen. De laatste twee groepen zijn tussenvormen, met vooral verzurende trilvenen. Groep 2 (verzuurd overgangsveen) wordt getypeerd door gewoon veenmos, moerasstruisgras en gewone waternavel en groep 4 (basenarm overgangsveen) door een hoge bedekking van fraai veenmos samen met gewoon veenmos en riet, in combinatie met meer basenrijke soorten zoals wateraardbei en watermunt. Zie ook het kader in het inleidende artikel (Kooijman et al., dit nummer) voor een beschrijving van de vegetatieve successie in kraggenverlandingen in het Nederlandse laagveenlandschap.

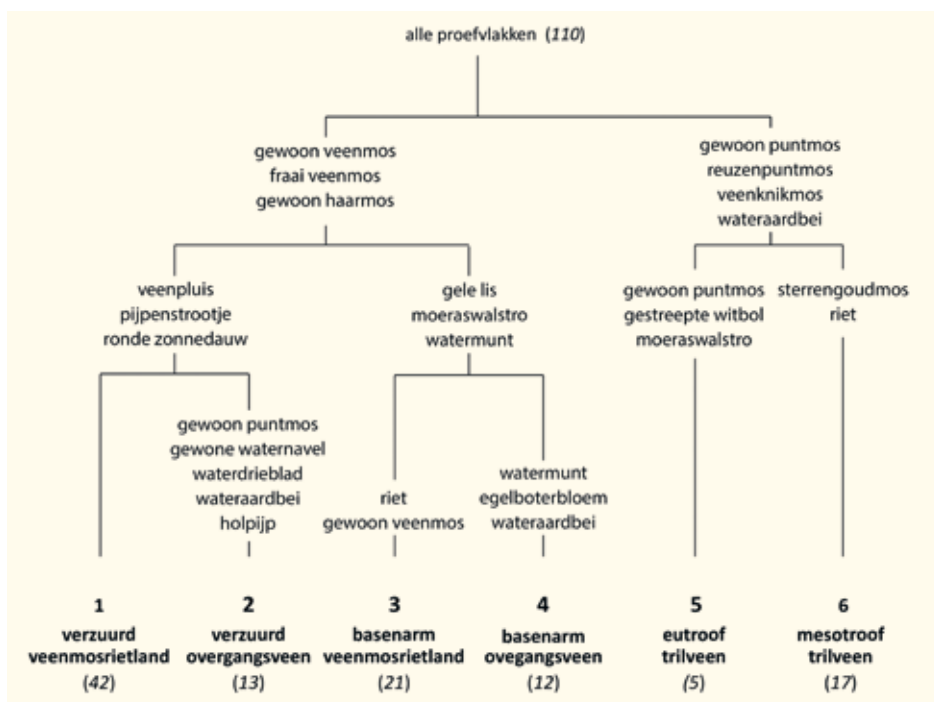
Grof samengevat is de gemiddelde biomassa van mossen hoger in veenmosrietland (groep 1 en 3) en zuur overgangsveen (2) dan in trilveen (5 en 6) en basenarm overgangsveen (4). Er is een duidelijke dominantie van slaapmosses in de trilvenen, een dominantie van veenmosses in de basenarme vegetaties en een groter aandeel van haarmosses in de meest zure groepen. De totale vaatplantenbedekking neemt toe van verzuurd veenmosrietland tot eutroof trilveen (groep 1 t/m 5), en is in mesotroof trilveen (6) weer iets lager. Bij de grasachtigen verschilt het aandeel grassen en cypergrassen tussen de groepen: trilveen en basenarm overgangsveen kennen een hogere bedekking van cypergrassen, terwijl veenmosrietland en beide groepen overgangsveen een hogere bedekking van grassen kennen. Het basenarm veenmosrietland wordt gekenschetst door een hogere bedekking van grassen dan alle andere groepen. De bedekking van russen verschilt niet tussen de groepen.

### Standplaatsfactoren

De standplaatsfactoren van alle proefvlakken zijn onderzocht door middel van het bemonsteren en analyseren van de chemische samenstelling van de bodem en het bodemporiewater op 10 cm diepte in de bodem. Bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) blijkt een veel hogere concentratie te hebben in mesotroof trilveen dan in de andere groepen (fig. 3), daarnaast zijn de pH, grondwaterstand, de zuurbuftercapaciteit van de bodem en de Ca-concentratie in het bodemvocht belangrijke differentië-



**Figuur 1.** De in het onderzoek onderzochte laagveengebieden met tussen haakjes het aantal bemonsterde proefvlakken.



**Figuur 2.** Cluster dendrogram waarin de 110 proefvlakken op basis van de vegetatiesamenstelling zijn ingedeeld in zes verschillende successiestadia, van trilvenen naar veenmosrietlanden; groep 1 t/m 6, met het aantal proefvlakken per groep tussen haakjes. Tevens zijn hier de soorten waar de groepen zich door onderscheiden opgenomen bij de desbetreffende tak van een splitsing.

rende factoren voor de vegetatiegroepen. Trilvenen hebben een relatief hoge pH en zuurbuftercapaciteit en veenmosrietlanden een lagere pH en lagere zuurbuftercapaciteit. Daarnaast speelt ook de toename van veenmosses een belangrijke rol vanwege de actieve bijdrage aan verzuring (Kooijman & Bakker, 1994).

### Effecten van stikstofdepositie

De atmosferische stikstofdepositie in Nederland is sinds de jaren negentig flink

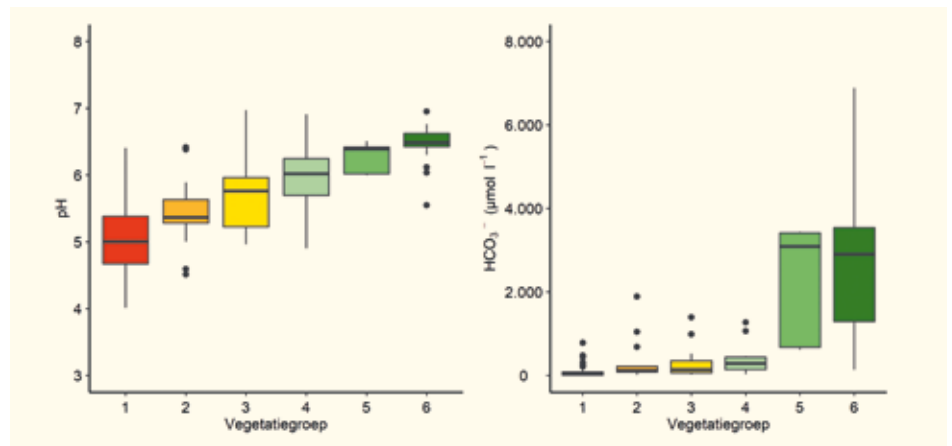
gedaald. Op dit moment neemt deze echter niet meer verder af, terwijl het huidige niveau nog steeds (fors) te hoog is voor veel gevoelige habitattypen. De kritische depositiewaarden (KDW) die voor de subhabitattypen trilveen en veenmosrietland zijn vastgesteld (respectievelijk 17 kg N/ha/jaar (1.214 mol N/ha/j) en 10 kg N/ha/j (714 mol N/ha/j)) worden nog ruimschoots overschreden, met name voor veenmosrietland (Bobink, 2021). De negatieve effecten van

atmosferische stikstofdepositie kunnen zich op verschillende manieren manifesteren. Direct of indirect kan de depositie leiden tot verzuring van de bodem, maar ook tot vermessing door de verhoogde beschikbaarheid van ammonium en zelfs tot ammonium-toxiciteit voor de vegetatie (Paulissen et al., 2016).

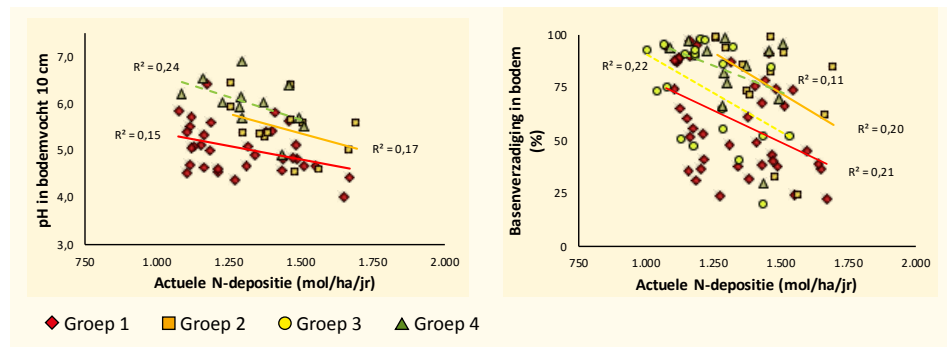
De basenrijkdom van de bodem en hiermee de gevoeligheid voor verzuring wordt door meerdere factoren beïnvloed. Eén van de belangrijke factoren is de grondwaterstand: een lagere grondwaterstand leidt tot verzuring. Voldoende aanvoer van basenrijk grond- of oppervlaktewater is cruciaal voor de instandhouding van basenrijke condities. Naast de grondwaterstand beïnvloedt ook de verzurende werking van een hoge stikstofdepositie op termijn de basenrijkdom van de bodem. In basenrijke trilvenen is de zuurbuffercapaciteit (de concentratie  $\text{HCO}_3^-$ ) (nog) hoog genoeg om een hoge zuurlast te compenseren. Een hogere stikstofdepositie leidt hierdoor niet direct tot een meetbaar lagere pH in trilveen, terwijl dit in de overgangsvenen met een lagere zuurbuffercapaciteit wel het geval is (fig. 4). In figuur 4 zijn alleen de overgangsvenen en veenmosrietlanden (groep 1 t/m 4) weergegeven, omdat hier significante correlaties zijn aangetroffen met lagere pH en basenverzadiging bij hogere stikstofdepositie. In de trilveengroepen (groep 5 en 6) is geen verband aangetroffen. Ook neemt bij een hogere stikstofdepositie de gemiddelde veenmosbedekking toe, wat vervolgens weer een versterkend effect heeft op de verzuring van het systeem. In vergelijking met buitenlandse trilvenen hebben Nederlandse trilvenen bij een vergelijkbare basenverzadiging wel een lagere pH. Dit wijst op een verzuring

### Nederlandse trilvenen en overgangsvenen in Europees perspectief

De vegetatiesamenstelling van de onderzoeklocaties in Nederland is ook vergeleken met Europese referentievegetaties (kraggenverlandingen en grondwatergevoede venen). Vergeleken met venen in Polen, Zweden en Ierland blijken ook de 'goede' Nederlandse trilvenen (groep 6, mesotroof trilveen) van relatief mindere kwaliteit. Dit wordt vooral veroorzaakt door de relatief hoge bedekkingen van gewoon puntmos en een lagere bedekking van karakteristieke soorten als geel en groen schorpioenmos, schubzegge en armbloemige waterbies. In buitenlandse referentiegebieden met rood schorpioenmos en een lage stikstofdepositie ligt de pH rond de 7 bij een calciumgehalte van 40 mg/l. In Nederland is de pH bij 40 mg/l calcium maar 6,3 (Kooijman, 2012). Voor pH 7 is in de Nederlandse trilvenen een calciumgehalte nodig van 60 mg/l, wat betekent dat in Nederland de aanvoer van bufferstoffen aanmerkelijk hoger moet zijn. Voor veenmosrietlanden kon geen goede vergelijking met buitenlandse referenties worden gemaakt, omdat die daar vrijwel niet voorkomen.



**Figuur 3.** Boxplots van links de pH en rechts de bicarbonaatconcentratie ( $\text{HCO}_3^-$ ) in het bodemporiewater op 10 cm diepte in de bodem. De proefvlakken zijn ingedeeld in vegetatiegroepen op basis van figuur 2. Per groep zijn de resultaten weergegeven in een blok, het blok geeft de range weer waarin 50 % van de waarnemingen vallen. De zwarte lijn is de mediane waarde, uitschieters zijn opgenomen met zwarte punten. Links is een duidelijke patroon zichtbaar met een toenemende pH van de veenmosrietlanden en overgangsvenen (groep 1 t/m 4) tot de trilvenen (groep 5 en 6). In het figuur rechts is duidelijk te zien dat vooral in de beide trilveengroepen (groep 5 en 6) hogere bicarbonaatconcentraties voorkomen. Die zijn daardoor beter gebufferd tegen verzuring.



**Figuur 4.** De relatie tussen de actuele stikstofdepositie in Nederland (in mol/hectare/jaar) en de pH (links) en de basenverzadiging (rechts) in de toplaag van de bodem met correlatiecoëfficiënten ( $R^2$ ) per groep. De proefvlakken zijn ingedeeld in groepen op basis van figuur 2, groep 1 in rood, groep 2 in oranje, groep 3 in geel en groep 4 in licht groen. De figuren laten zien dat in veenmosrietlanden en overgangsvenen de pH en basenverzadiging lager zijn bij hogere N-depositie niveaus.

en een grote noodzaak voor de aanvoer en bodeminfiltratie van (fosfor-arm) basenrijk water in Nederlandse trilvenen. Omdat Nederland een hoog aandeel aan verzuurde trilvenen en overgangsvenen heeft in vergelijking met andere Europese landen, is het zeer aannemelijk dat de successie versneld is door de hoge atmosferische stikstofdepositie. Omdat

de nog bestaande trilvenen goed gebufferd zijn tegen verzuring, leidt hoge stikstofdepositie hier niet direct tot een meetbaar lagere pH. In de overgangsvenen en veenmosrietland is de zuurbuffercapaciteit laag. Hierdoor leidt de verzuring daar wel tot een directe afname van de pH. Per 100 mol N/ha/jaar (1,4 kg N/ha/jaar) vindt er een gemiddelde afname van 6 % van de basenverzadiging in de overgangsvenen plaats (fig. 4). De beschikbaarheid van nutriënten blijkt sterk bepalend voor de kwaliteit van de aanwezige vegetatiegroepen (Van Diggelen et al., 2018). De trilvenen van goede kwaliteit, met karakteristieke slaapmossen, worden gekenmerkt door een lage fosforbeschikbaarheid met fosfor als limiterende voedingsstof voor de productie (Cusell et al., 2013). Doordat fosfor limiterend is voor de vaatplantengroei in de Nederlandse mesotrofe trilvenen, zijn ze minder gevoelig voor het eutrofiërende effect van een hoge stikstofdepositie. Dit betekent echter niet dat de verhoogde

stikstofdepositie geen effect heeft op mesotroof trilveen. Een essentiële voorwaarde is dat de lage fosforbeschikbaarheid in stand wordt gehouden door (1) fosforconcentraties (en vrachten) in aan te voeren oppervlaktewater laag te houden en (2) de mineralisatie van veenmateriaal te beperken door waterstanden tot in maaiveld te houden (Mettrop et al., 2014). Ook stimuleert de aanvoer van calciumrijk en fosforarm water de fosforlimitatie in laagvenen (Kooijman et al., 2020). Het verzurende effect van een hoge N-depositie speelt wel een rol in Nederlandse trilvenen en verhoogde stikstofbeschikbaarheid kan tot ammoniumtoxiciteit leiden (fig. 4; Van Diggelen et al., 2018; Paulissen et al., 2016). In de overgangsvenen (groep 1 t/m 4) is fosfor over het algemeen niet meer beperkend, waardoor naast het verzurende effect, ook het eutrofiërende aspect van een hoge N-depositie een rol gaat spelen in de productiviteit van de vegetatie (Van Diggelen et al., 2018). Dit leidt tot een hoge biomassa van veenmossen en meer eutrafente vaatplanten.

### Conclusies

De Nederlandse trilvenen en overgangsvenen in kraggenverlandingen zijn op basis van vegetatiesamenstelling in te delen in zes verschillen groepen. De bicarbonaatconcentratie, pH, grondwaterstand, de zuurbuffercapaciteit van de bodem en de Ca-concentratie in het bodemvocht zijn belangrijke differentiërende factoren voor de vegetatiegroepen. Het is zeer aannemelijk dat in de Nederlandse situatie bij onvoldoende aanvoer van basenrijk en fosforarm oppervlakte- of grondwater de successie van trilveen naar (verzuurd)veenmosrietland wordt versneld door een verhoogde atmosferische stikstofdepositie, verzuring en verdroging. Een versnelde successie in kraggenverlandingen is niet alleen een bedreiging voor behoud en ontwikkeling van goede kwaliteit jonge successiestadia van trilveen maar ook voor het behoud van de oudere successiestadia zoals de overgangsvenen (waarvan het zwaartepunt van West-Europa voor wat betreft veenmosrietland, in Nederland ligt). Het is dan ook belangrijk dat de huidige te hoge atmosferische stikstofdepositieniveaus in Nederland op korte termijn verder worden gereduceerd door brongerichte maatregelen in combinatie met duurzaam hydrolo-

gisch herstel van de Nederlandse laagveengebieden.

Voor behoud van slaapmosgedomineerd mesotroof trilveen (groep 6) in Nederland is het, zeker bij de huidige hoge N-depositie, essentieel dat de hydrologische omstandigheden goed zijn of geoptimaliseerd worden, zodat er voldoende aanvoer en infiltratie van gebufferd (Ca- en HCO<sub>3</sub>-rijk) en fosforarm oppervlakte- of grondwater is en verdroging wordt voorkomen. Trilveenvegetaties hebben een continue aanvoer van basen nodig om duurzaam voor te komen en door de extra verzuring door N-depositie is extra aanvoer nodig.

### Literatuur

- Bobbink, R., 2021.** Effecten van stikstofdepositie nu en in 2030: een analyse. RP-20.135.21.35. Onderzoekcentrum B-WARE, Nijmegen.
- Cusell, C., A.M. Kooijman, L.P.M. Lamers & I. Mettrop, 2013.** Natura 2000 Kennislacunes in de Wieden en de Weerribben. 2013/OBN171-LZ. Directie Agro-kennis, Ministerie van Economische Zaken, 356 pp.
- Diggelen, J.M.H. van, G. van Dijk, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, I.S. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders, 2018.** Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangsvenen, ten behoeve van het behoud en herstel van habitatype H7140 (Natura 2000). 2018/OBN000-LZ. VBNE, Driebergen.
- Kooijman, A.M. & C. Bakker, 1994.** The acidification capacity of wetland bryophytes as influenced by clean and polluted rain. *Aquatic Botany* 48: 133-144.
- Kooijman, A.M. 2012.** 'Poor rich fen mosses': atmospheric N-deposition and P-eutrophication in base-rich fens. *Lindbergia* 35: 42-52
- Kooijman, A.M., C. Cusell, L. Hedenäs, L.P.M. Lamers, I.S. Mettrop & T. Neijmeijer, 2020.** Re-assessment of phosphorus availability in fens with varying contents of iron and calcium. *Plant and Soil* 447(1): 219-239.
- Mettrop, I.S., C. Cusell, A.M. Kooijman & L.P.M. Lamers, 2014.** Nutrient and carbon dynamics in peat from rich fens and Sphagnum-fens during different gradations of drought. *Soil Biology and Biochemistry* 68: 317-328.
- Paulissen, M.P., R. Bobbink, S.A. Robat & J.T. Verhoeven, 2016.** Effects of reduced and oxidised nitrogen on rich-fen mosses: a 4-year field experiment. *Water, Air, & Soil Pollution* 227(1): 1-14.

### Summary

#### Chemical characteristics of Dutch poor and rich fens and effects of atmospheric nitrogen deposition

The vegetation composition of Dutch poor and rich fens of terrestrialization peatlands can be divided into six groups, from mesotrophic brownmoss dominated rich fens to acidic sphagnum moss dominated poor fens. The porewater bicarbonate concentration, pH, calcium concentration, groundwater level, and the acid buffering capacity in the soil are important differentiating factors for the vegetation groups. It is very likely that in the Dutch situation, with insufficient supply of base-rich and low-phosphorus surface or groundwater, the succession of rich fens to poor fens is accelerated by increased atmospheric nitrogen deposition, acidification, and desiccation. Accelerated succession is not only a threat to the preservation and development of good quality young succession stages of rich fens, but also to the preservation of the older succession stages such as the (acidified) poor fens and transitional fens. It is therefore important that the current high atmospheric nitrogen deposition levels in the Netherlands are further reduced in the short term.

### Dankwoord

Onze dank gaat uit naar de beheerders van alle onderzoeksgebieden voor de mogelijkheid om onderzoek te verrichten en gebiedskennis, naar OBN en de VBNE voor de financiering en naar Adam Koks voor hulp met een figuur.

Gijs van Dijk, José M.H. van Diggelen, Roland Bobbink, Leon P.M. Lamers, Alfons J.P. Smolders  
Onderzoekcentrum B-WARE/Radboud Universiteit  
g.vandijk@b-ware.eu

Casper Cusell  
Witteveen + Bos

Jasper van Belle  
Van Hall Larenstein

Annemieke M. Kooijman  
Universiteit van Amsterdam

Tom van den Broek  
Royal HaskoningDHV

Ivan Mettrop  
Altenburg & Wymenga ecologisch onderzoek

# Teloorgang én ontwikkeling van trilveen in de Nieuwkoopse Plassen

In de afgelopen jaren is een van de laatste stukjes goed ontwikkelde trilveenvegetatie in West-Nederland verdwenen. Tegelijkertijd leidde herstelbeheer in hetzelfde gebied op kleine schaal tot de ontwikkeling van nieuwe trilveenvegetaties. In dit artikel bespreken we deze beide ontwikkelingen, de achterliggende oorzaken en kansen voor toekomstig behoud en herstel van dit gebied.

**Gijs van Dijk, Sija Stofberg, Jeroen Mandemakers, Martijn van Schie, Casper Cusell, Annemieke Kooijman & Fons Smolders**

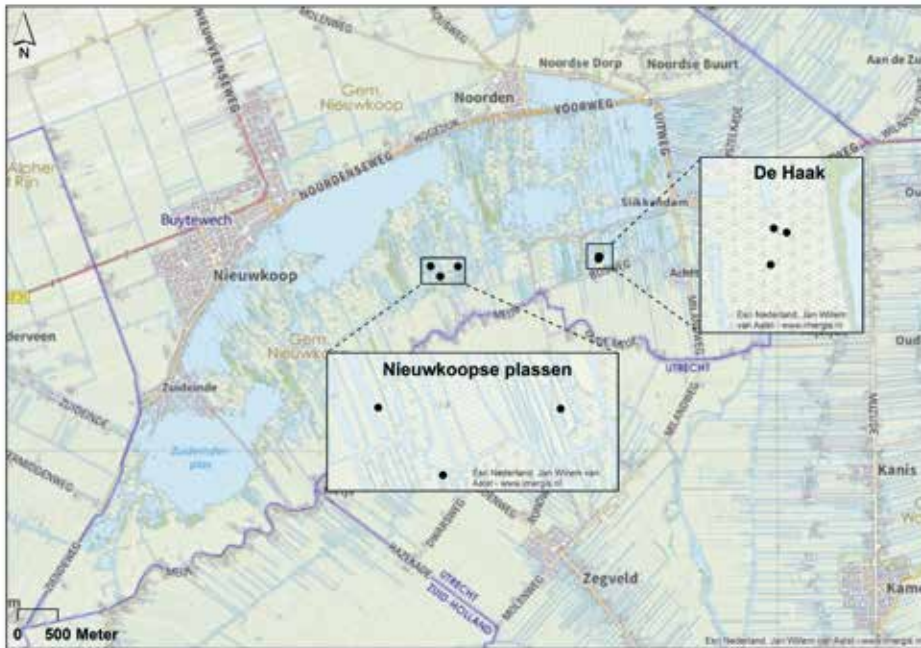
De laagveenmoerassen van laag-Nederland zijn belangrijke gebieden voor basenrijke trilveenvegetaties met kleine zeggen en slaapmossen en de overgangen naar zuurdere, door veenmossen gedomineerde veenmosrietlanden. Het areaal van goed ontwikkelde trilvenen en veenmosrietlanden is de laatste decennia hard achteruitgegaan (Van Diggelen et al., 2018; Kooijman et al., dit nummer). Zowel landelijk als in de Provincie Zuid-Holland zijn doelen gesteld om de achteruit-

gang in kwaliteit tegen te gaan en het areaal aan trilveen uit te breiden (Provincie Zuid-Holland, 2015). Een van de weinige locaties in westelijk laag-Nederland waar recent nog goed ontwikkelde basenrijke trilveenvegetaties voorkwamen is De Haak, grenzend aan de Nieuwkoopse Plassen (fig. 1). Rond 2010 was hier nog een perceel met een relatief natte en basenrijke trilveenvegetatie aanwezig, met belangrijke kensoorten, zoals rood schorpioenmos, groenknolorchis en sterregoudmos. Om

de langzame verzuring van deze vegetatie tegen te gaan, is het afgelopen decennium actief beheer toegepast in de vorm van bevloeiing met nabijgelegen oppervlaktewater, met behulp van een waterpomp en begreppeling. In eerste instantie leek dit beheer een positief effect te hebben op het behoud van de trilveenvegetaties. Maar gedurende de uitvoering van deze maatregelen ontstond er echter ook algenbloei in de greppels, waarna dit bevloeiingsbeheer is gestopt om potentiële eutrofiëring te



Foto 1. Klein blaasjeskruid. (Foto: Martijn van Schie)



**Figuur 1.** Kaart van de Nieuwkoopse Plassen en De Haak met uitsneden waarop in meer detail de verschillende onderzoekslocaties zijn aangegeven in beide deelgebieden.

voorkomen. Daarna is de trilveenvegetatie verder verzuurd, waardoor de vegetatie van het trilveen sterk achteruit is gegaan. Ook de algenbloei in de greppels hield aan. De achteruitgang van trilveen in De Haak staat in schril contrast met het doel van instandhouding van een klein stukje trilveen en ontwikkeling van nieuwe trilveenvegetaties in de aangrenzende Nieuwkoopse Plassen. In deze studie zijn drie gedegradeerde trilveenlocaties in De Haak bestudeerd en twee referentielocaties in de Nieuwkoopse Plassen, waaronder een relict trilveen en een locatie waar in de afgelopen jaren nieuw trilveen is ontwikkeld na oppervlakkig afplaggen en de introductie van kenmerkende plantensoorten. Naast het onderzoek aan de water- en bodemchemie op en nabij de trilveenvegetaties, is er een watersysteemanalyse van beide laagveengebieden uitgevoerd om te achterhalen hoe deze gebieden hydrologisch gevoed worden en wat de waterkwaliteit is.

### Teloorgang in De Haak versus nieuwe ontwikkeling in de Nieuwkoopse Plassen

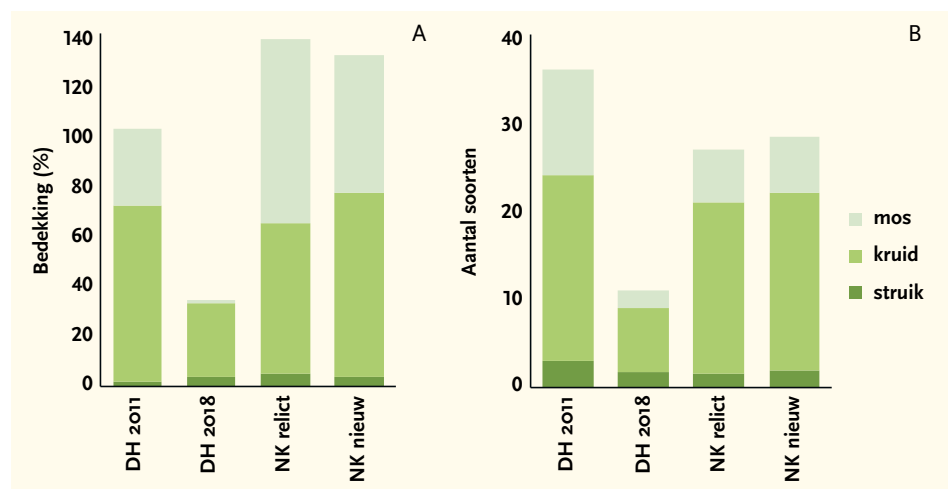
In 2011 was het trilveen in De Haak nog een van de laatste kwalitatief goed ontwikkelde trilvenen van West-Nederland (Mettrop et al., 2018; Kooijman et al., 2020). Uit een vergelijking tussen de abiotische standplaatsfactoren in 2011 en 2018 blijkt dat deze zijn verslechterd. Het bodemvocht is in het afgelopen decennium zuurder en basenarmer geworden, de invloed van

oppervlaktewater is afgenomen, de percelen zijn droger geworden en er is een lichte stijging van de fosforconcentraties in het bodemvocht opgetreden, wat zorgelijk is voor een fosfor-gelimiteerd vegetatietype als trilveen.

Deze ongewenste trend uit zich ook in de vegetatiesamenstelling. De bedekking van de kruidlaag, de moslaag en van doelsoorten is tussen 2011 en 2018 sterk afgenomen. De afname aan kruidbedekking is bijna 60 % en de afname aan mosbedekking

95 %. Daarbij was een deel van de bodem in 2018 helemaal kaal. Ook zijn er veertien soorten vaatplanten en tien soorten mos verdwenen (fig. 2). Zo waren er in 2011 nog veel voor trilveen karakteristieke mossen aanwezig als sterrengoudmos, rood schorpioenmos (in 2011 10 % bedekking), veenknikmos, reuzenpuntmos en moerasbuidelmos. Deze zijn in de periode tussen 2011 en 2018 verdwenen. Twee veenmossen van relatief basenrijke habitats hebben zich nog weten te handhaven, namelijk trilveenveenmos en glanzend veenmos. Ook is op de oever van het nabijgelegen petgat nog een klein plukje rood schorpioenmos aangetroffen. Van de karakteristieke vaatplanten is de groenknolorchis verdwenen. Daarnaast zijn soorten als wateraardbei, moerasvaren en klein blaasjeskruid (foto 1) sterk in bedekking achteruitgegaan. De bedekking van soorten van zuurdere condities, zoals gewone dophei, ronde zonnedauw en kamvaren zijn sterk toegenomen. De meest voorkomende soorten in het voormalige stuk trilveen zijn nu paddenrus, riet, ronde zonnedauw, wilde gagel en pijpenstrootje. De moslaag bestaat met name uit gewoon veenmos en glanzend veenmos.

In het aangrenzende gebied de Nieuwkoopse Plassen is het echter mogelijk gebleken om in dezelfde periode een klein relict met trilveenvegetatie langs een greppel in stand te houden, door deze vegetatie via de aanleg van een lange greppel aan het oppervlaktewater aan te sluiten. Hier groeien nog soorten



**Figuur 2.** A: De gemiddelde bedekking van de moslaag, kruidlaag en struiklaag. B: Het gemiddeld aantal soorten mossen, kruiden en stuiken. In het figuur zijn opgenomen de opname van De Haak in 2011 (n = 1, nog goed ontwikkeld trilveen; DH 2011), de gemiddelde bedekking in het voormalige trilveen in De Haak in 2018 (n = 3), en gemiddelde opname van een relict trilveen en een nieuw ontwikkeld trilveen in de Nieuwkoopse plassen (gemiddelde opname van 2015 & 2018); data: Mettrop et al., 2015; Van Diggelen et al., 2018; Stofberg et al., 2019).



Foto 2. Rood schorpioenmos (l) en veenknikmos (r). Beide foto's zijn genomen op het nieuw ontwikkelde trilveen in de Nieuwkoopse Plassen. (Foto's: Gijs van Dijk)

als rood schorpioenmos (40 %), ronde zegge, moeraskartelblad, wateraardbei en klein blaasjeskruid. Daarnaast heeft in de Nieuwkoopse Plassen actief beheer door middel van oppervlakkig plaggen in combinatie met de introductie van doelsoorten geleid tot een verhoogde invloed van basenrijk oppervlaktewater en succesvolle ontwikkeling van nieuw trilveen. De trilveenvegetatie is hier in 2013 ontstaan na introductie van doelsoorten (onder andere rood schorpioenmos) en handhaaft zich sindsdien; het is momenteel het grootste stuk trilveen in het gebied. Hier zijn onder andere ronde zegge, groenknolorchis, rood schorpioenmos, sterrengoudmos, veenknikmos en kleine valerian aangetroffen (foto 2). De chemische condities op de trilveenlocaties in de Nieuwkoopse Plassen zijn in 2018 duidelijk beter dan die in het voormalige trilveen in De Haak. Zo zijn hier de pH, de basenrijkdom, bicarbonaatconcentratie en de calciumconcentratie hoger (fig. 3). De nutriëntconcentraties zijn vergelijkbaar. In vergelijking met de vegetatiesamenstelling van het trilveen in De Haak in 2011 zijn de zones met trilveen in de Nieuwkoopse Plassen wel soortenarmer en

hebben deze gemiddeld een hogere bedekking aan veenmossen (fig. 2).

#### Hydrologisch functioneren

De trilveenlocaties in De Haak en de Nieuwkoopse Plassen zijn, net al het merendeel van de nog goed ontwikkelde trilvenen in andere Nederlandse laagvenen, sterk afhankelijk van de invloed van basenrijk en nutriëntenarm oppervlaktewater (Cusell et al., 2013; Van Diggelen et al., 2018). Inzicht in (eco-) hydrologisch functioneren van beide gebieden, zowel wat betreft oppervlaktewaterkwaliteit als -kwaliteit, kan hiermee van grote waarde zijn voor behoud van de geschikte standplaatsfactoren. Het is van groot belang dat het trilveen niet te droog, basenrijk en nutriëntarm genoeg is. Daarom is met behulp van water- en stofbalansberekeningen en langjarige waterkwaliteitsmetingen bekeken in hoeverre recente hydrologische wijzigingen de teloorgang van trilveen in De Haak en de ontwikkeling van nieuw trilveen in de Nieuwkoopse Plassen verklaren. Voor De Haak is de afsluiting van de aanvoer-route vanuit de Meije in 2012 belangrijk, waardoor het gebied meer door de centrale

plassen van de Nieuwkoopse Plassen gevoed wordt. Er is niet significant meer of minder water ingelaten in De Haak, maar deze afsluiting heeft wel geleid tot veranderingen in de aanvoer van stoffen via het inlaatwater. Zo daalde de aanvoer van sulfaat, stikstof en fosfor. De fosfoeraanvoer nam met zelfs 73 % af, wat positief is voor de instandhouding en ontwikkeling van trilvenen. Maar tegelijkertijd nam de aanvoer van calcium en bicarbonaat ook met 10 à 20 % af. Dat zorgde voor een daling van de basenrijkdom van het oppervlaktewater, wat nadelig is voor trilveen, zeker als het water al relatief basenarm is. Voor de Nieuwkoopse Plassen is een analyse verricht naar de effecten van twee recente veranderingen in de waterhuishouding (vergroten van het wateroppervlak door het graven van nieuwe petgaten en het afkoppelen van de Meije en Meijegraslanden) in de afgelopen tien jaar. Hieruit blijkt dat het afkoppelen van de Meije vooral de aanvoer van fosfor heeft verlaagd met 30 à 50 %, wat positief is voor de instandhouding en ontwikkeling van trilveen. Ook hier nam echter de calciumaanvoer af, met circa 5 %, wat minder gunstig is. De aanvoer van

bicarbonaat naar de trilveenlocaties in de Nieuwkoopse Plassen echter nagenoeg niet veranderd.

Deze verlaging van de calciumaanvoer is overigens niet alleen een gevolg van de hydrologische maatregelen, maar hangt samen met een afname van de calciumconcentratie in het aanvoerende water (dus ook in de Rijn) en een afname van de waterinlaat. De verminderde waterinlaat heeft als positief effect dat de inlaat van sulfaat, fosfaat en stikstof verlaagd wordt, maar heeft ook dalende calciumconcentraties als nadelig neveneffect.

### Oorzaken telooftgang en kansen voor herstel

Om meer inzicht te krijgen in de mogelijke oorzaken van de telooftgang van het trilveen in De Haak en de kansen voor toekomstig herstel en ontwikkeling van trilveen in De Haak en Nieuwkoopse Plassen, zijn de condities in de wortelzone van beide gebieden vergeleken met referentiegegevens uit trilvenen in andere Nederlandse laagveen-gebieden (foto 4).

In het voormalige trilveen in De Haak zijn de basenrijkdom (onder andere calcium- en bicarbonaatconcentraties) en de pH lager dan in de goed ontwikkelde trilveenlocaties in de Nieuwkoopse Plassen, en beduidend lager dan in andere goed ontwikkelde mesotrofe trilvenen in Nederlandse laagvenen (fig. 3). Het perceel in De Haak is geheel verzuurd en op de referentielocaties in de Nieuwkoopse Plassen is dit maar voor een deel van de locatie het geval. In andere Nederlandse laagvenen

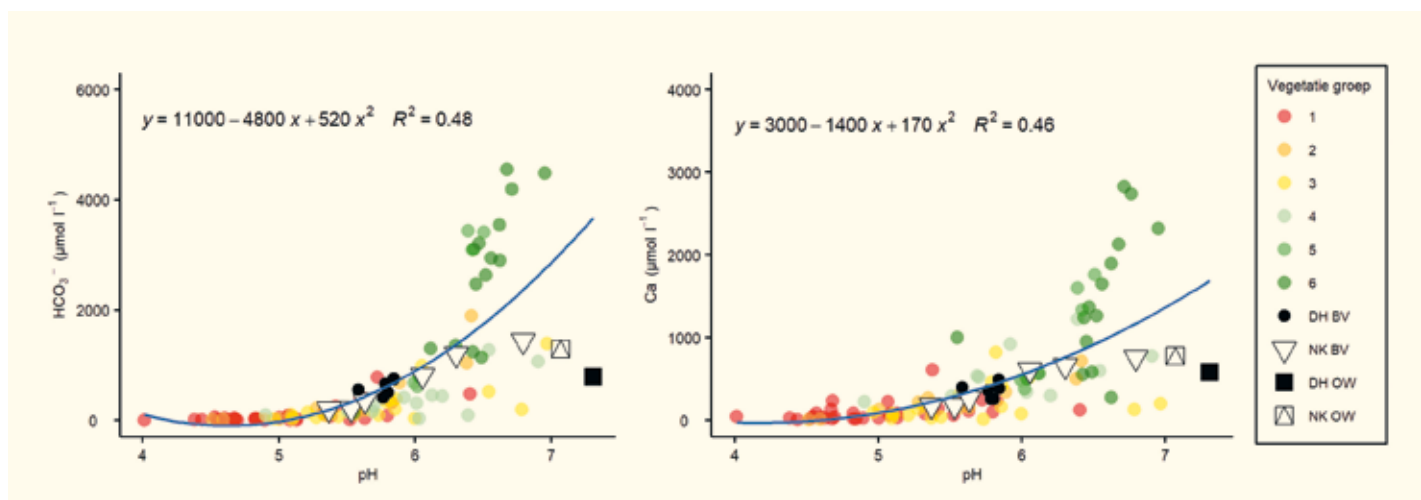
		Oppervlaktewater				Bodemporiewater (0-15 cm – m.v.)			
		pH	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>(tot)</sub>	pH	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P <sub>(tot)</sub>
			μmol/l	μmol/l	μmol/l		μmol/l	μmol/l	μmol/l
De Haak	2011	-	-	-	-	6,2	623	-	0,2
De Haak	2018	7,4	631	939	0,9	5,8	603	1,8	
Nieuwkoopse Plassen	2018	7,2	865	1.477	1,3	5,9	704	1,9	

Tabel 1. De gemiddelde chemische samenstelling (pH, calcium-, bicarbonaat- en totale fosforconcentratie in μmol/l) in het oppervlaktewater en het bodemporiewater op 0-15 cm beneden maaiveld nabij en op de locaties met trilveenvegetatie in De Haak en de Nieuwkoopse Plassen. Voor zover beschikbaar zijn zowel de gegevens van 2011 als 2018 opgenomen.

hebben de nog aanwezige goed ontwikkelde trilvenen een hogere pH van gemiddeld 6,5 en ze zijn basenrijker, met hogere concentraties aan bicarbonaat en calcium in het bodemvocht (Kooijman & Paulissen, 2006; Cusell et al., 2013; Van Diggelen et al., 2018). De huidige condities in De Haak komen overeen met die in verzuurd overgangsvveen, basenarm overgangsvveen en basenarm veenmosrietland. De condities in het best ontwikkelde trilveen in de Nieuwkoopse Plassen komen overeen met het meer basenrijke eutrofe en mesotrofe trilveen. De minder goed ontwikkelde trilvenen in de Nieuwkoopse Plassen zijn ook aan de basenarme kant van het spectrum en vertonen dezelfde overlap als de locaties in De Haak.

Ook het oppervlaktewater heeft in zowel De Haak als in de Nieuwkoopse Plassen lage calcium- en bicarbonaatconcentraties (fig. 3). Deze lage en nog steeds afne-

mende basenrijkdom van het oppervlaktewater is een belangrijke oorzaak van de telooftgang van het trilveen in De Haak. Verdergaande successie en isolatie van het trilveen ten opzichte van het oppervlaktewater ter plekke heeft waarschijnlijk ook een rol gespeeld, maar bevoeiing met het relatief basenarm oppervlaktewater kon dit niet verhelpen. De praktijk bewijst dat de condities in de Nieuwkoopse Plassen de ontwikkeling van nieuw trilveen nog mogelijk maken indien de invloed van oppervlaktewater groot genoeg is in de ruimte en tijd, maar dit komt heel nauw (zie Van Dijk et al., dit nummer). Ook hier is het oppervlaktewater relatief basenarm in vergelijking met andere laagveengebieden met goed ontwikkelde trilvenen. Een grote invloed van basenrijk, bicarbonaatrijk oppervlaktewater blijkt de vitaliteit van veenmossen sterk te remmen (Koks et al., 2019; Aggenbach et al., dit nummer; Koks



Figuur 3. Links de pH uitgezet tegen de bicarbonaatconcentratie. Rechts de pH uitgezet tegen de calciumconcentratie. In beide figuren zijn metingen in 2018 van de onderzochte locaties in De Haak (DH) en de referentielocaties in de Nieuwkoopse Plassen (NK) weergegeven, met onderscheid voor bodemvocht (BV) en oppervlaktewater (OW). Als referentie zijn metingen van Diggelen et al. 2018 weergegeven (zie ook Van Dijk et al., dit nummer). De referentiegegevens zijn ingedeeld in verschillende successiestadia van trilvenen naar veenmosrietlanden: groep 1 (verzuurd veenmosrietland), groep 2 (verzuurd overgangsvveen), groep 3 (basenarm veenmosrietland), groep 4 (basenarm overgangsvveen), groep 5 (eutroof trilveen) en groep 6 (mesotroof trilveen).

et al., dit nummer; foto 3). Verhoogde invloed van basenrijk oppervlaktewater kan hiermee de concurrentiekracht en het verzurende vermogen van veenmossen verlagen, waardoor de voor trilveen kenmerkende basenrijke condities langer in stand blijven.

De nutriëntenconcentraties lijken een minder groot probleem te zijn. Na vergelijking met referentiegebieden van Nederlandse trilvenen blijken deze in de wortelzone en het oppervlaktewater van De Haak en de Nieuwkoopse Plassen niet te hoog voor behoud en ontwikkeling van trilveen. Het porievocht van trilvenen is in principe fosforarm ( $< 1 \mu\text{mol/l}$ ), en fosfor is hier een limiterende nutriënt voor de plantengroei, waardoor de vegetatie laag blijft (Kooijman et al., 2016; Cusell et al., 2014; Van Diggelen et al., 2018). De hydrologische maatregelen, die de fosfoeraanvoer in beide gebieden hebben verlaagd, hebben wat dat betreft dus een positieve bijdrage geleverd aan de instandhouding van trilveen. De hydrologische maatregelen hebben dus enerzijds een positief effect op de nutriëntenhuishouding, maar anderzijds, vooral voor De Haak, een negatief effect op de basenhuishouding, waardoor behoud en ontwikkeling van trilveen alsnog worden bemoeilijkt. Dit is een dilemma waar steeds meer Nederlandse laagveengebieden mee te maken hebben (onder andere Cusell et al., 2013; Mettrop et al., 2015). Ondanks de beperktere fosfoeraanvoer in De Haak, is er in het gedegradeerde trilveen van De Haak een stijging van de



**Foto 3.** Afgestorven (verbleekt) gewoon veenmos naast vitaal groen veenmos aan de rand van een petgat in de Nieuwkoopse Plassen, als gevolg van invloed van bicarbonaatrijk oppervlaktewater. (Foto: Gijs van Dijk)

fosforconcentratie in het porievocht opgetreden. Het is niet helemaal duidelijk hoe dit komt, maar mogelijk spelen versterkte mineralisatie na wisselende en dalende waterstanden en de daling van de pH een rol. Ondanks deze stijging blijkt uit chemische analyses dat de vegetatie in het voormalige trilveen nog steeds fosfor-gelimitteerd is. Deze P-limitatie wordt echter ten dele veroorzaakt door de te hoge aanvoer van stikstof in De Haak vanuit atmosferische stikstofdepositie (Van Diggelen et al., 2018). In zowel De Haak als de Nieuwkoopse Plassen overschrijdt de stikstofdepositie de kritische depositiewaarde voor trilveen en veenmosrietland. Daarnaast blijkt uit recente metingen van het RIVM in 2018 en 2019 dat de ammoniakconcentratie van de lucht in De Haak 35 % hoger is dan in het centrale deel van de Nieuwkoopse Plassen (bron: man.rivm.

nl), wat mogelijk een extra verklaring is voor de versnelde achteruitgang van het trilveen in De Haak door versnelde verzuring. De combinatie van verdroging en of wisselende grondwaterstanden, een te hoge stikstofdepositie en dalende invloed van basenrijk oppervlaktewater leidt in veel systemen tot de achteruitgang van trilveen (Van Diggelen et al., 2018).

#### Hoe nu verder

De teloorgang van het trilveen in De Haak is ernstig te noemen en komt helaas overeen met de achteruitgang die in veel trilvenen in het Nederlandse laagveengebied gevonden wordt. De ontwikkeling van nieuw trilveen in de Nieuwkoopse Plassen wekt echter hoop voor het behoud en herstel van trilveen, hoewel de calcium- en bicarbonaatconcentraties in het oppervlaktewater aan de lage kant zijn. We zien dat her en der in de Nieuwkoopse Plassen veenmossen verdwijnen ten faveure van de voor trilveen kenmerkende schorpioenmossen, als gevolg van contact met dit oppervlaktewater. Mogelijkheden voor herstel van het trilveen in De Haak zullen in de toekomst nader onderzocht moeten worden. Versnelde successie naar door veenmossen gedomineerde vegetaties en verzuring ligt door de lage basenrijkdom van het oppervlaktewater echter zowel in De Haak als in de Nieuwkoopse Plassen op de loer. Dit risico wordt versterkt in gebieden die te maken hebben met een nog steeds hoge atmosferische stikstofdepositie die verzurend werkt (onder andere Van Diggelen et al., 2018; Van Dijk et al., dit nummer). In veel laagveengebieden in laag-Nederland is herstel en ontwikkeling van trilveen alleen haalbaar indien de nutriëntenconcentraties in het oppervlaktewater laag worden of blijven, zonder dat de



**Foto 4.** Onderzoekers bezig met het uitvoeren van metingen van het elektrisch geleidend vermogen en het bemonsteren van bodemporiewater in de wortelzone van een trilveenvegetatie in de Nieuwkoopse Plassen. (Foto: Gijs van Dijk)

basenaanvoer daarmee beperkend wordt. In veel gevallen betekent dit dat de invloed van het oppervlaktewater zo groot mogelijk gemaakt dient te worden, maar dat dit dan wel echt fosforarm dient te zijn. Het vergroten van de invloed van dit oppervlaktewater biedt dan ook kansen om verzuring, verdroging en eutrofiëring tegen te gaan en herstel en ontwikkeling van trilveen mogelijk te maken. Het oppervlaktewater in De Haak, en in iets mindere mate in de Nieuwkoopse Plassen, is momenteel zwak gebufferd en is daarmee niet echt ideaal, waardoor het vergoten van de invloed ervan des te belangrijker is. Het is wellicht mogelijk de calcium- en bicarbonaatconcentraties van het oppervlaktewater actief te verhogen door middel van een kalkdosering, maar dit moet eerst op kleine schaal experimenteel uitgetest worden. Op dit moment kan de ongewenste invloed van verzurende processen worden verlaagd door middel van het slim aanleggen van greppels op korte afstand van de hoofdwatertgang en door lokaal kleine stukken aangrenzend aan de greppels af te plaggen, waardoor de vegetatie met oppervlaktewater wordt bevoeid. Hierdoor zijn er ook in De Haak en de Nieuwkoopse Plassen onder de huidige condities nog kansen voor instandhouding en ontwikkeling van trilveen en overgangen naar basenrijk veenmosrietland. In de Nieuwkoopse Plassen wordt hier momenteel al mee geëxperimenteerd met plaggen in visgraatstructuur (Van Dijk et al., dit nummer). Op langere termijn zullen de (nog te herstellen en te ontwikkelen) trilvenen echter kwetsbare systemen blijven, aangezien de kans op verzuring en eutrofiëring in deze gebieden aanwezig blijft, zeker wanneer de te hoge stikstofdepositie niet wordt tegengegaan. Actief beheer en monitoring zullen hierom nodig zijn, om duurzame instandhouding te waarborgen.

## Literatuur

**Aggenbach, C., G. Cirkel, C. Cusell, G. van Dijk & A. Kooijman, 2021.** Trilveenvegetatie herstellen met oppervlaktewaterbevoeiing. DLN (122): 96-101.

**Cusell, C., A.M. Kooijman, L.P.M. Lamers & I. Mettrop, 2013.** Natura 2000 Kennislacunes in de Wieden en de Weerribben. 2013/OBN171-LZ. Directie Agrokennis, Ministerie van Economische Zaken.

**Cusell, C., A.M. Kooijman & L.P.M. Lamers, 2014.** Nitrogen or phosphorus limitation in rich fens? Edaphic differences explain contrasting

results in vegetation development after fertilization. *Plant and Soil* 384: 153-168.

**Diggelen, J.M.H. van, G. van Dijk, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders, 2018.** Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- en trilvenen, ten behoeve van het behoud en herstel van habitatype H7140 (Natura 2000). 2018/OBN000-LZ. VBNE, Driebergen.

**Dijk, G. van, J.M.H. van Diggelen, C. Cusell, J. van Belle, A. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, I. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders, 2021.** Chemische condities in trilveen en effecten van stikstofdepositie. DLN 122: 84-87.

**Koks, A.H.W., G. Van Dijk, A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & C. Fritz, 2019.** The effects of alkalinity and cations on the vitality of *Sphagnum palustre* L. *Mires and peat*, 24, 1-14.

**Kooijman, A.M. & M.P.C.P. Paulissen, 2006.** Acidification rates in wetlands with different types of Nutrient limitation. *Applied Vegetation Science* 9: 205-212.

**Kooijman, A.M., C. Cusell, L. Hedenäs, L.P.M. Lamers, I.S. Mettrop & T. Neijmeijer, 2020.** Re-assessment of phosphorus availability in fens with varying contents of iron and calcium. *Plant and Soil*, 447(1): 219-239.

**Kooijman A.M., C. Cusell, C. Aggenbach & G. van Dijk, 2021.** Risico's en kansen bij behoud en herstel van basenrijke trilvenen. DLN 122: 80-83.

**Mettrop, I.S., A.M. Kooijman, L.P.M. Lamers & C. Cusell, 2015.** Peilfluctuaties in het laagveenlandschap: relaties tussen hydrologie, ecosystemedynamiek en Natura 2000-habitattypen, rapport fase 2. Vereniging van Bos- en Natuureigenaren, Driebergen.

**Mettrop, I.S., T. Neijmeijer, C. Cusell, L.P.M. Lamers, L. Hedenäs & A.M. Kooijman, 2018.** Calcium and iron as key drivers of brown moss composition through differential effects on phosphorus availability. *Journal of Bryology*, 40(4): 350-357.

**Stofberg, S., G. van Dijk, J. Mandemakers, C. Cusell, T. Muijen & A. Kooijman, 2019.** Verzuring en ontwikkeling van trilveenvegetaties in De Haak, KWR 2019.038.

**Provincie Zuid-Holland, 2015.** Beheerplan Natura 2000-gebied. Nieuwkoopse plassen en De Haak, periode 2015 - 2021.

## Summary

### Loss and new development of rich fens in the Nieuwkoopse Plassen

The habitat type rich fens (H7140A) has become a rarity in the Netherlands and is under pressure of acidification and eutrophica-

tion. The natural area De Haak harboured the last well developed rich fen vegetation in the west of the Netherlands. This rich fen vegetation seemed to have disappeared, while in the neighboring area, the Nieuwkoopse Plassen, management measures seemed to be able to restore and develop rich fen vegetation. This study aimed at finding the causes for decreasing quality of the rich fen vegetation in De Haak. Site conditions in De Haak were compared with the restored and newly developed rich fen vegetations in the Nieuwkoopse Plassen and reference vegetations in other Dutch fens. The results showed that the soil moisture in De Haak, and to a lesser extent in the Nieuwkoopse Plassen, are too weakly buffered. Former water management measures showed both positive effects (decreased phosphorus loads) and negative effects (decreased calcium loads). The present well developed rich fen vegetation shows that restoration and development of rich fen vegetation is possible within the area. However, it was also shown that the surface water is very weakly buffered. Future restoration and development of rich fen vegetation is therefore only possible when the vegetation stays in contact with the (nutrient poor and weakly buffered) surface water to counteract acidification, ecological succession, and atmospheric nitrogen deposition.

## Dankwoord

Wij danken Provincie Zuid-Holland voor de financiering van deze studie. Tevens danken we Nikki Dijkstra van Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en Bruce Michielsen van Hoogheemraadschap van Rijnland voor hun medewerking aan deze studie en het ter beschikking stellen van gegevens. Wij danken Adam Koks en Moni Poelen voor hulp met het opstellen van figuren.

Gijs van Dijk, Fons Smolders  
Onderzoekcentrum B-WARE,  
Radboud Universiteit  
g.vandijk@b-ware.eu

Sija Stofberg  
KWR Water Research Institute

Jeroen Mandemakers, Casper Cusell  
Witteveen+Bos

Martijn van Schie  
Natuurmonumenten

Annemieke Kooijman  
Universiteit van Amsterdam



Foto 1. Luchtfoto van de plagstroken in de Nieuwkoopse Plassen. (Foto: Martijn van Schie)

## Visgraatplaggen als redmiddel voor trilvenen

Trilvenen staan erg onder druk in Nederland, zo ook in Natura 2000-gebied de Nieuwkoopse Plassen. Praktijkervaring en experimenteel beheer van rietlanden met pijpenstrootje en verzuurde veenmosrietlanden in dit gebied leidden tot een nieuwe, kleinschalige manier van plaggen als herstelmaatregel. In 2019 is een mozaïek van kleine, geplagde stroken aangelegd, in visgraatstructuur, om zo de invloed van gebufferd oppervlaktewater te vergroten. De monitoring is gestart en successen zijn al zichtbaar!

Gijs van Dijk, Martijn van Schie, Adam Koks & Wouter van Steenis

Veel Nederlandse tril- en overgangsvennen zijn in de afgelopen decennia verzuurd door een verminderde aanvoer van basenrijk oppervlaktewater of een verminderde kwel van basenrijk grondwater, in combinatie met een verhoogde stikstofdepositie. Daarnaast speelt ook verdroging als gevolg van toegenomen wegzijging en isolatie van de kragge van het oppervlaktewater gedurende de

successie een rol. In de Nieuwkoopse Plassen is deze trend van versnelde successie naar verzuurde en verdroogde condities duidelijk zichtbaar: het areaal met goed ontwikkeld trilveen neemt sterk af. Deze trend van verzuring en verdroging uit zich in een toename van rietlanden met pijpenstrootje (verdroging) en verzuurde veenmosrietlanden en moerasheide (verzuring).

### Plaggen als redmiddel

Aanvullend beheer is dan ook noodzakelijk om de invloed van basenrijk oppervlaktewater langdurig te behouden. In de afgelopen jaren heeft oppervlakkig plaggen in de Nieuwkoopse Plassen op enkele locaties tot enig herstel van trilveenvegetaties geleid. Op de meeste geplagde percelen sloeg echter al snel weer verzuring toe, doordat de kragge hoger op het water kwam te liggen. Daarom hebben we een plaggemethode bedacht die dit opdrijven van de geplagde kragge zoveel mogelijk voorkomt. We plaggen steeds vlakjes van 6-18 m<sup>2</sup> aan een petgat of aan weerszijden van een greppel. Tussen de geplagde stukjes laten we ook 5 m ongeplagd. Binnen de plagplekken plaggen we aan de waterkant iets dieper dan aan de landzijde. De diepere delen van de kragge blijven intact en zorgen er samen met de ongeplagde delen voor dat het opdrijven van de geplagde delen zo veel mogelijk wordt voorkomen. De verwachting is dat een deel van de geplagde vlakjes geschikt blijkt voor herstel van basenrijke vegetatietypen, zoals trilveen en basenrijk veenmosrietland. In de winter van 2018/2019 zijn op zes percelen plagwerkzaamheden

uitgevoerd met graafmachines. Door het aanleggen van een visgraatstructuur van honderden kleine (2,5 m x 2,5 m tot 2,5 m x 7 m), oppervlakkig schuin afgeplagde (20-0 cm diep geplagd; van 10 cm onder tot 10 cm boven het gemiddelde waterpeil) vakken is het oppervlak aan overgangen van basenrijke naar basenarme condities vergroot (foto 1). Op enkele percelen liggen de plagstroken aan een gegraven greppel die in contact staat met het oppervlaktewater (bijvoorbeeld transecten A, B en D in fig. 1). Bij een van de percelen grenzen de plagstroken direct aan een petgat (transect C in fig. 1).

Voor het plaggen bestonden deze percelen grotendeels uit rietland met veel pijpenstrootje. Basenrijkere condities en bijbehorende vegetatietypes waren niet aanwezig. Na het plaggen ontstond er een groot aantal kale, kleine plagstroken. Door deze maatregel werd het contact met het basenrijkere oppervlaktewater vergoot. Dispersielimitatie van doelsoorten (vaatplanten en mossen) kan de ontwikkeling van basenrijke vegetatietypen belemmeren. Daarom zijn in tientallen plagstroken verspreid over de percelen doelsoorten van basenrijkere omstandigheden geïntroduceerd zoals rood schorpioenmos, veenknikmos, klein blaasjeskruid, ronde zegge en waterdrieblad. Deze doelsoorten zijn als zaad of als fragment ingebracht en zijn grotendeels afkomstig van nabijgelegen percelen. Een deel van het materiaal komt uit de Kamerikse Nessen of uit de Wieden.

### Vinger aan de pols

Het zal enkele jaren duren voordat de vegetatie zich goed ontwikkelt en voordat definitief duidelijk wordt in hoeverre deze maatregel tot succesvolle ontwikkeling van basenrijke vegetatietypen heeft geleid. Om dit te volgen is een eenvoudige monitoring opgezet. Natuurmonumenten en onderzoekencentrum B-WARE volgen de ontwikkeling van de geïntroduceerde, spontaan opkomende soorten en de chemische samenstelling van standplaatscondities in de greppels en een deel van de plagstroken. Met behulp van metingen van het EGV (elektrisch geleidend vermogen, als maat voor de invloed van basenrijk oppervlaktewater) in het oppervlaktewater wordt gemonitord hoe de basenrijkdom door ruimte en tijd verschilt.

Zo blijkt bijvoorbeeld dat bij een van de percelen (transect A in fig. 1) het EGV snel afneemt met toenemende afstand vanaf het omringende oppervlaktewater. Terwijl bij percelen met plagstroken die grenzen aan een petgat (transect C) of aan een greppel met korte afstand tot de omringende watergangen (transect B) het EGV op hetzelfde niveau blijft als in het omringende oppervlaktewater. De basenrijkdom in de greppels en plagstroken neemt dus sterk af met toenemende afstand tot het omringende oppervlaktewater.

Uit eerder onderzoek in de Nieuwkoopse Plassen is gebleken dat trilveenontwikkeling mogelijk is met het aanwezige oppervlaktewater met een EGV boven de

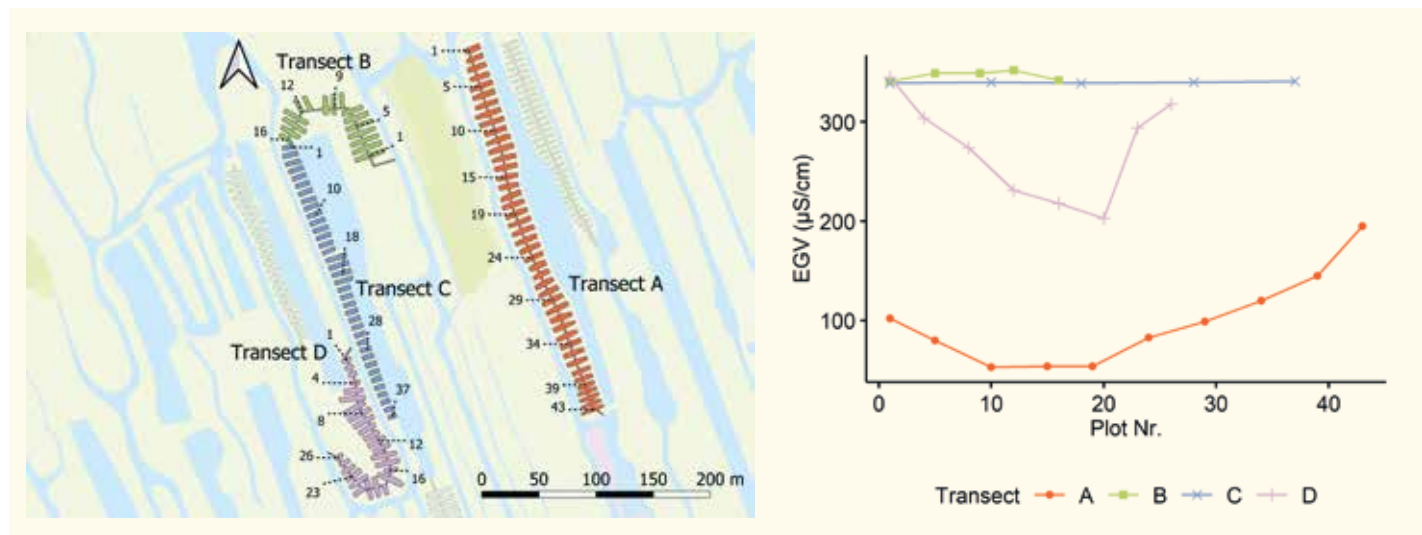
300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Uit de eerste resultaten blijkt dat een succesvolle ontwikkeling van geïntroduceerde soorten sterk afhangt van de invloed van basenrijk oppervlaktewater. De ontwikkeling kan per plagstrook en perceel sterk verschillen; zo drijft hier en daar de bodem op waardoor er droge condities ontstaan. Dit heeft een groot effect op de toekomstige basenrijkdom van de geplagde kragge, temeer omdat de basenrijkdom in het omliggende oppervlaktewater al aan de lage kant is voor instandhouding van trilveen.

De geïntroduceerde soorten handhaven zich op korte termijn (het eerste jaar) vooral in plagstroken die in contact staan met basenrijk oppervlaktewater. De geïntroduceerde fragmenten van rood schorpioenmos blijken daar goed aan te slaan. Klein blaasjeskruid heeft zich in bijna alle plagstroken, óók waar de soort niet geïntroduceerd is, uitgebreid naar een bijna vlakdekkende vegetatie. Ook bleek groenknolorchis zich in 2020 spontaan gevestigd te hebben.

De komende jaren blijven we de ontwikkeling van de plagstroken en de sturende factoren volgen, deels met inzet van studenten.

Gijs van Dijk & Adam Koks  
Onderzoekencentrum B-WARE/  
Radboud Universiteit  
g.vandijk@b-ware.eu

Martijn van Schie & Wouter van Steenis  
Natuurmonumenten  
m.vanschie@natuurmonumenten.nl



**Figuur 1.** Links een kaart met de visgraatplagstroken op de verschillende percelen. Rechts het gemiddelde verloop van het elektrisch geleidend vermogen (EGV) in het oppervlaktewater aangrenzend aan de plagstroken. De kleuren en nummers in de grafiek corresponderen met de kaart.

# Trilveenvegetatie herstellen met oppervlaktewaterbevloeiing

Door verzuring veranderen zeldzame basenminnende trilveenvegetaties in vegetaties met dominantie van veen- en haarmossen. Bevloeiing met baserijk en nutriëntenarm oppervlaktewater kan een kansrijke optie zijn voor behoud en herstel van trilveenvegetatie. We beschrijven de effecten van bevloeiing in een veld-experiment en geven een analyse van de duur van bevloeiing die nodig is om een hoge baserijkdom te behouden en herstellen.

**Camiel Aggenbach, Gijsbert Cirkel, Casper Cusell, Gijs van Dijk & Annemieke Kooijman**



Foto 1. Bevloeiingsexperiment op locatie De Vlake in de Wieden. (Foto: Camiel Aggenbach)

In de kraggeverlandingen in laag-Nederland is verzuring een dominante trend in basenrijke en nutriëntenarme kraggeverlandingen, die behoren tot het habitatype H7140A: overgangs- en trilvenen (trilvenen). Naast verdroging en eutrofiëring is verzuring de belangrijkste reden dat dit habitatype zeldzaam is geworden (Kooijman et al., dit nummer). De verzuring is een natuurlijk proces in de successie van kraggeverlandingen, dat optreedt als gevolg van dikker wordende kraggen en isolatie van het oppervlaktewater, maar het proces wordt de laatste decennia versneld als gevolg van atmosferische stikstofdepositie, verdroging en vermindering van kwel (Van Diggelen et al., 2018).

Hierdoor zijn typische vegetatietypen en bepaalde soorten van trilvenen versneld verdwenen, waarbij vooral soorten kenmerkend voor de associatie van schorpioenmos en ronde zegge (09B3a) er niet goed voor staan in Nederland. Deze vegetatietypen behoren echter tot de meest soortenrijke leefgemeenschappen van het Nederlandse laagveenlandschap en bevatten zeer veel beschermde soorten. Versnelde successie van bestaande trilvenen is dan ook ongewenst, waarbij het uitblijven of

zeer langzaam op gang komen van nieuwvorming van trilvenen in nieuw gegraven petgaten het probleem in veel Nederlandse laagveengebieden versterkt (Kooijman et al., 2018).

Trilveenvegetaties hebben basenrijke omstandigheden nodig, waarbij het kationadsorptiecomplex veel calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) bevat en de bicarbonaat-concentraties ( $\text{HCO}_3^-$ ) en de pH in het bodemvocht hoog zijn. Verzuring treedt op binnen enkele decennia en gaat gepaard met afname van de calciumbezetting van de veenbodem (Van Wirdum, 1991). Door kunstmatige overstroming (bevloeiing) met baserijk en nutriëntarm oppervlaktewater zouden trilveenvegetaties langduriger in stand kunnen worden gehouden (Cusell et al., 2013). Ook zou bevloeiing als herstelmaatregel toegepast kunnen worden voor het herstel van trilveenvegetaties en basenrijke vormen van veenmosrietlanden vanuit al sterker verzuurde stadia. Dit alles met het doel om de resterende bronpopulaties van trilveensoorten in stand te houden en waar mogelijk wat uit te breiden, zodat er voldoende bronlocaties beschikbaar zijn zodra nieuwe trilveenvegetaties in nieuw gegraven petgaten daadwerkelijk ontstaan

(een proces dat decennia kan duren). De verwachting is dat aanvoer van baserijk oppervlaktewater over het maaiveld zal leiden tot hogere calcium- en bicarbonaatconcentraties in het porievocht van de toplaag van de kragge. Daardoor kunnen de calciumbezetting en de pH van de bodem toenemen. Het bevloeiingswater voert echter ook stikstof, sulfaat en fosfaat aan en vormt daarmee ook een risico voor eutrofiëring. Om inzicht te krijgen in het netto-effect van de potentiële voor- en nadelen, en daarmee een beeld te krijgen van de effectiviteit van de maatregel, is bevloeiing van trilvenen onderzocht in een OBN-studie (Aggenbach et al., 2020). Allereerst is in de Wieden een experiment uitgevoerd in trilveenvegetatie met beginnende verzuring en sterker verzuurd veenmosrietland. Daar zijn de effecten van vier jaar bevloeiing op de basen- en nutriëntenhuishouding en vegetatie geëvalueerd. Op deze manier kon echter geen inzicht verkregen worden in de potentiële langetermijneffecten van bevloeiing op trilvenen. Daarom is tevens met stofbalansberekeningen voor uiteenlopende situaties uitgerekend hoe lang bevoeid moet worden om een hoge

basenrijkdom te herstellen in verzuurde kraggen, waarbij ook berekend is hoeveel stikstof, fosfaat en sulfaat door bevloeiing wordt aangevoerd.

### Bevloeiingsexperiment in de Wieden

Gedurende 2016 tot en met 2019 vond in twee percelen aan de zuidoostkant van de Wieden (De Vlake en Boers) een bevoeiings-experiment plaats (foto 1). In beide percelen werd lokaal oppervlaktewater naar twee bevoeiingsunits gepompt (fig. 1). Elke bevoeiingsunit bestond uit een geperforeerde slang van 20 tot 30 m lengte (een dripslang) in een al bestaande overgang van trilveenvegetatie met schorpioenmos-

sen (09B3a) naar veenmosrietland. Deze slangen zorgden voor aanvoer van basenrijk oppervlaktewater gedurende circa 160 dagen per jaar in het zomerhalfjaar. Het aanvoerdebiet was dusdanig ingesteld dat aan weerszijden van de slang via de gaatjes een zone met bevoeiingswater van 1 m breedte zou kunnen ontstaan, met een bruto infiltratiehoeveelheid van circa 1.000 mm/jaar. Door technische problemen (onder andere verstopte filters) werd dit debiet in 2016 en 2017 niet gehaald (respectievelijk 320 en 740 mm/jaar), maar na aanpassing van de pompinstallatie werd dit in 2018 en 2019 ruimschoots gehaald (respectievelijk 1.750 en 1.650 mm/jaar). Daarmee werd gedurende vier jaar gemiddeld 1.120 mm/jaar geïnfiltrerd. Al dit water infiltreerde in een zone van circa 0,5 – 1 m rondom de slangen. Elke bevoeiingsunit had twee transecten van 4 m lengte loodrecht op de bevoeiingslang voor het volgen van effecten van bevloeiing op de chemie en vegetatie: het ene transect in de zone met een zwak verzuurde trilveenvegetatie en het andere in de zone met een sterk verzuurd veenmosrietland. Deze opzet van het experiment maakte het mogelijk om vast te stellen tot welke afstand van de slang de bevloeiing invloed had voor beide vegetatiestadia.

Metingen vonden plaats vlak voor de start van de bevloeiing (2016) en in de zomers van 2017, 2018 en 2019 tijdens de bevloeiing. In deze transecten werden de chemische samenstelling van het porievocht en de voorraad van stoffen in de bodemtoplaag (0 – 10 cm) gevolgd, evenals de ontwikkelingen in de vegetatie. In de transecten werden ook met een prikstok diepteprofielen van het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) gemeten om de verspreiding van het mineraalrijke bevoei-

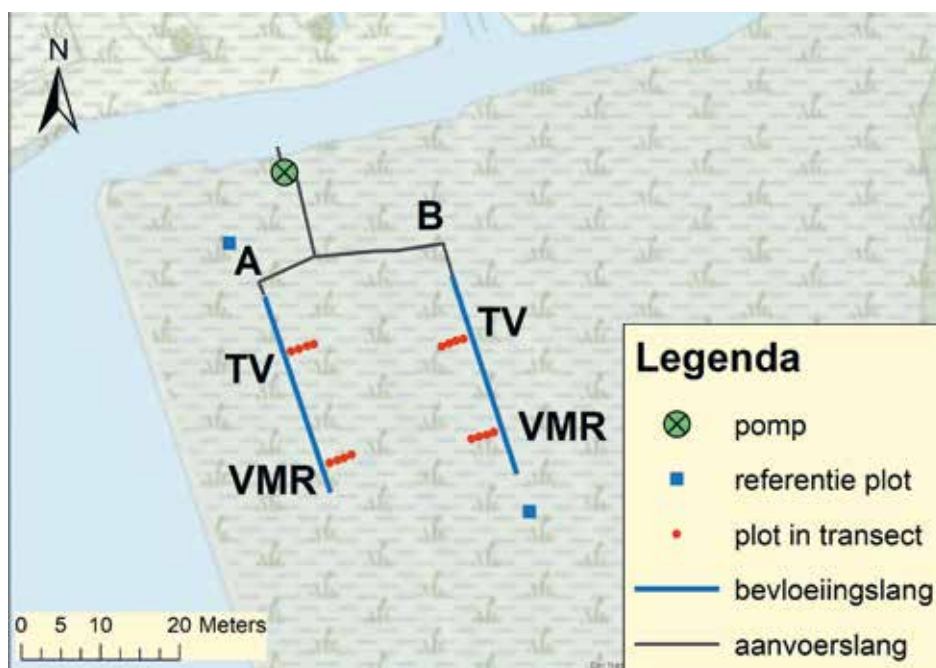
ingswater te volgen (het EGV heeft een sterke positieve correlatie met de calciumconcentratie). In beide percelen werden op enige afstand controlemetingen uitgevoerd in trilveen en veenmosrietland zonder invloed van bevoeiingswater. De chemische samenstelling van het aangevoerde oppervlaktewater werd eveneens gemeten ten behoeve van de berekeningen van stofbelastingen. Voor de berekening van de stofbelastingen (waterflux vermenigvuldigd met stofconcentratie) is aangenomen dat al het aangevoerde oppervlaktewater in een zone van 1 m breed aan weerszijden van de slang infiltreerde. Tenslotte werden in de meetraaien ook plukjes rood schorpioenmos ingebracht, waarvan de vitaliteit na één jaar in het veld met fluorescentiemetingen werd bepaald.

### Gunstig en snel effect op de basenrijkdom

De diepteprofielen van het EGV laten zien dat vooraf aan de bevloeiing het water in de kragge relatief lage EGV-waarden heeft en dus een lage calciumconcentratie (fig. 2). Na vier jaar is het patroon sterk veranderd en is in beide vegetatiezones boven in de kragge een lens van calciumrijk bevoeiingswater aanwezig. In de zone met trilveenvegetatie strekt deze lens zich 4 m uit vanaf de bevoeiingslang en in de zone met veenmosrietland ca. 2 m. Dieper in het profiel is het EGV ook toegenomen, maar dat hoeft niet noodzakelijkerwijs alleen

invloed van bevoeiingswater te zijn. De controlelocatie in de trilveenvegetatie zonder invloed van bevloeiing heeft namelijk ook verhoogde EGV-waarden dieper in het profiel. Dit is vermoedelijk bij zowel de controles als bevoeide locaties een effect van lateraal toestromend basenrijk oppervlaktewater onder de kragge, dat in de onderkant van de kragge dringt als gevolg van een sterk neerslagtekort, waarvan sprake was in de periode vóór de meting.

In de zone met trilveenvegetatie nam de calciumconcentratie in het porievocht van de bodemtoplaag toe tot op 4 m afstand van de slang, met de sterkste stijging dicht bij de slang (fig. 3). De hoeveelheid geadsorbeerd calcium in de bodem nam hier echter niet aantoonbaar toe, waarschijnlijk omdat deze vooraf aan de bevloeiing nog vrij hoog was. Wel was er een lichte stijging van de pH. In de veenmosrietlandzone was de calciumconcentratie in het porievocht voor dat de bevloeiing startte, zeer laag (73  $\mu\text{mol/l}$ ) en deze steeg sterk, eerst op 1 m en in 2019 ook op 2 m afstand (fig. 3). De calciumconcentratie bereikte dicht bij de bevoeiingslang een waarde van 1.200  $\mu\text{mol/l}$ , die vergelijkbaar is met de mediane waarde van goed ontwikkelde trilvenen in Nederland (1.240  $\mu\text{mol/l}$ ; Van Diggelen et al., 2018). In de meetplots buiten de bevloeiing bleef de calciumconcentratie in de veen-



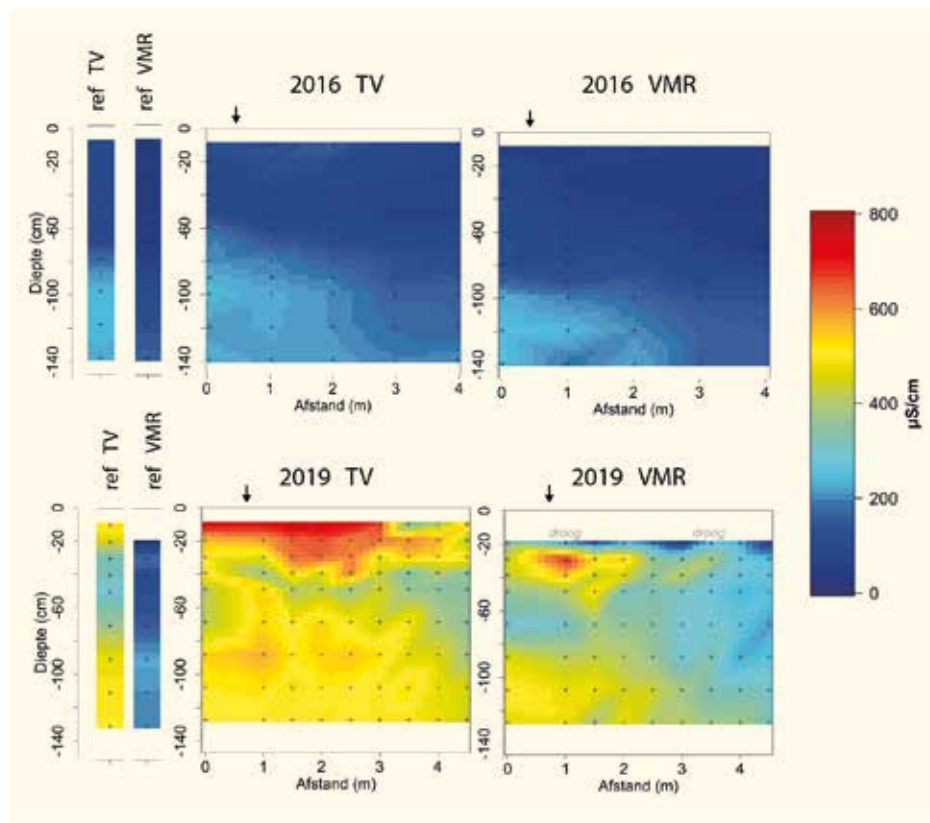
**Figuur 1.** Opzet van het bevoeiingsexperiment in de Wieden. Hier wordt perceel De Vlake weergegeven met twee bevoeiingsunits (A en B) die in een gradiënt van trilveenvegetatie (TV) naar veenmosrietland (VMR) liggen.

mosrietlanden zeer laag ( $40 \mu\text{mol/l}$ ). Dicht bij de slang traden bij de veenmosrietland-plots, in tegenstelling tot de trilveenplots, ook in de basenrijkdom van de bodem veranderingen op. Bij aanvang van het experiment waren de hoeveelheid geadsorbeerde calcium en de pH in de veenmoszone laag, maar deze namen als gevolg van de bevloeiing duidelijk toe. Dat betekent dat in de situatie van de Wieden, waar de calciumconcentratie van het oppervlaktewater relatief hoog is ( $1.160 \mu\text{mol/l}$ ), met een relatief beperkt bevoeiingsdebiet (gemiddeld  $1.120 \text{ mm/jaar}$ ) op een korte termijn (vier jaar) een merkbare verhoging van de basenrijkdom in een sterk verzuurde kragge kan worden gerealiseerd.

#### Weinig effect op de nutriëntenhuishouding

In vergelijking tot het porievocht van mesotrofe trilvenen, bevat het oppervlaktewater in de Wieden hoge concentraties van minerale stikstof ( $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ ) (circa  $8 \mu\text{mol/l} = 0,1 \text{ mg/l}$ ). In ons experiment is echter weinig van dat aangevoerde stikstof terug te vinden in het poriewater en de bodem. De nitraat- ( $\text{NO}_3^-$ ) en ammonium ( $\text{NH}_4^+$ )-concentraties in het porievocht zijn in het vierde bevoeiingsjaar laag (respectievelijk  $0,3$  en  $0,8 \mu\text{mol/l}$ ) en vallen in de range van goed ontwikkelde Nederlandse trilvenen (medianen waarde  $0,6 \mu\text{mol/l NO}_3^-$  en  $2,4 \mu\text{mol/l NH}_4^+$ ; Van Diggelen et al., 2018). Vermoedelijk komt dit doordat de belasting met minerale stikstof door bevloeiing met  $1,1$  tot  $1,5 \text{ kg N/ha/jaar}$  relatief laag is. Deze N-belasting is ook laag in vergelijking met de lokale atmosferische depositie van  $19,6 \text{ kg N/ha/jaar}$  en de afvoer die met maaien van trilvenen ongeveer optreedt ( $8-66 \text{ kg N/ha/jaar}$ ; Koerselman, 1990; data Universiteit Antwerpen).

Trilveenvegetaties zijn fosfor-gelimiteerde systemen (Cusell et al., 2014). Daardoor kan aanvoer van fosfor door bevloeiing op een langere termijn een risico vormen voor behoud van fosforarme condities. De fosforconcentraties in het oppervlaktewater waren echter vrij laag. De totale fosforbelasting in het experiment bedroeg  $0,19-0,27 \text{ kg P/ha/jaar}$ . Deze waarden zijn circa tweemaal zo hoog als de atmosferische fosfordepositie ( $0-0,12 \text{ kg P/ha/jaar}$ ), maar lager dan de hoeveelheid die in trilvenen door maaien kan worden afgevoerd ( $0,4-5,7 \text{ kg/ha/jaar}$ ; Koerselman, 1990; data Universiteit Antwerpen). Ook de



**Figuur 2.** Diepte-profielen van het elektrische geleidingsvermogen (EGV) van het water in de kragge vlak voor de bevloeiing (2016) en tijdens het vierde bevoeiingsseizoen (2019) in een transect met trilveenvegetatie (TV) en met veenmosrietland (VMR). Een hoge EGV duidt op invloed van calciumrijk oppervlaktewater. De zwarte pijl geeft de positie van de bevoeiingsslang. Links worden de diepte-profielen van de locaties zonder invloed van bevoeiingswater weergegeven in beide vegetatiezones (ref TV en ref VMR).

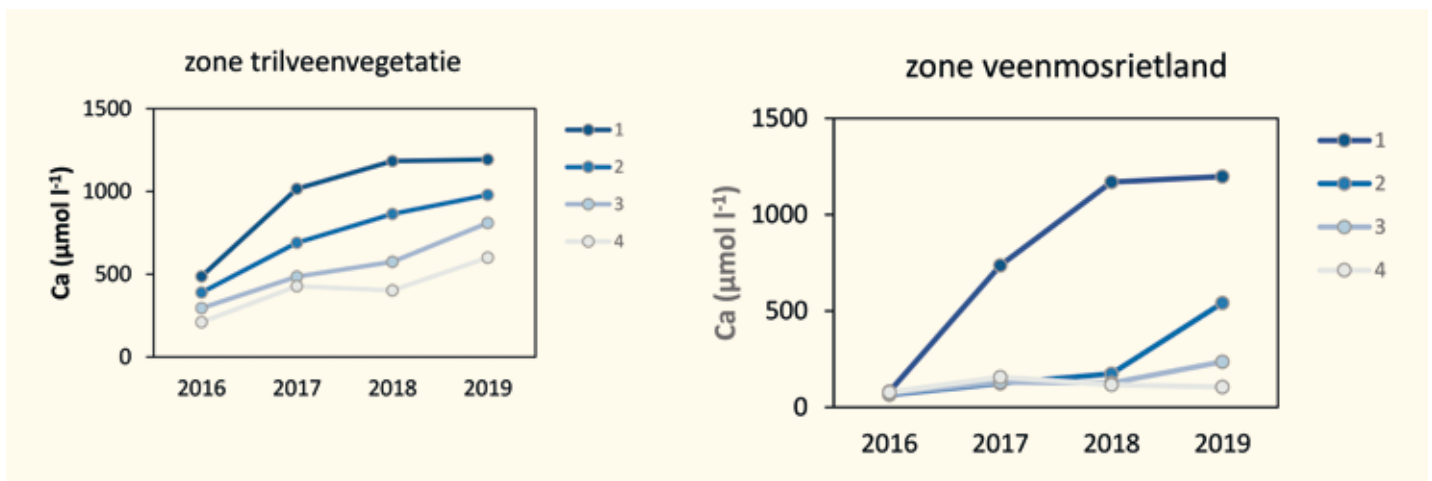
fosforconcentraties in het bodemvocht in de wortelzone waren in zowel trilveen als veenmosrietland laag ( $0,4 \mu\text{mol/l} = 0,01 \text{ mg P/l}$ ) in het vierde bevoeiingsjaar. Deze fosforconcentraties zijn lager dan voorafgaand aan de bevloeiing en komen goed overeen met de lage fosforconcentratie in goed ontwikkelde Nederlandse trilvenen en zijn laag in vergelijking met goed ontwikkelde Nederlandse veenmosrietlanden (Van Diggelen et al., 2018). De belasting met sulfaat was hoog ( $44-61 \text{ kg S/ha/jaar}$ ) en veel hoger dan de actuele atmosferische depositie (ca.  $14 \text{ kg S/ha/jaar}$ ).

#### Geen herstel van trilveenvegetatie

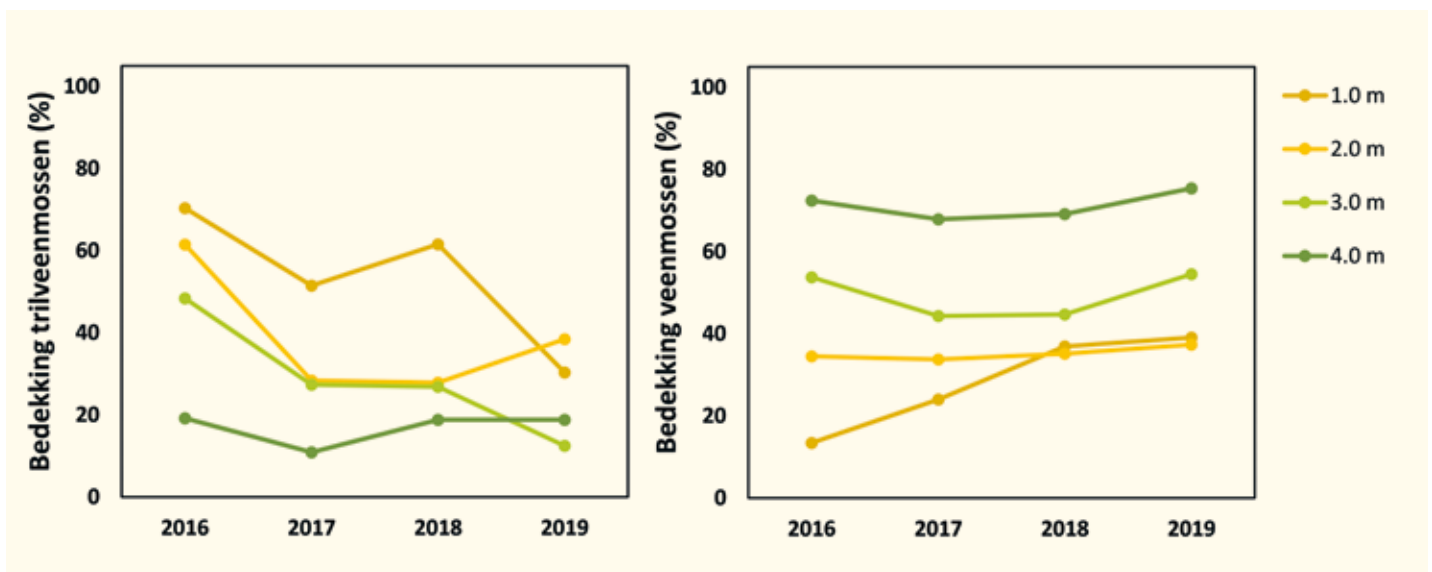
Hoewel de basenrijkdom van het veen door de bevloeiing toenam, waren de ontwikkelingen in de vegetatie minder gunstig. In de trilveenzone nam de bedekking van trilveenmossen als sterrengoudmos en rood schorpioenmos af, ook dicht bij de bevoeiingsslang (fig. 4 en foto 2). Groen en geel schorpioenmos vertonen geen eenduidige trend. In de zone met veenmosrietland trad helemaal geen herstel van trilveenmossen op. De ingebrachte exemplaren van rood schorpioenmos stierven binnen één jaar af, of hadden een geringe vitaliteit. De bedekking van veenmossen nam juist toe in de trilveenzone, ook dicht bij de bevoeiingsslang.



**Foto 2.** Rood schorpioenmos en goudsterrenmos in een trilveenvegetatie in de Wieden. (Foto: Gijs van Dijk)



Figuur 3. Ontwikkeling van de calciumconcentratie (Ca) in het porievocht in de bodemtoplaag in relatie tot de afstand (m) van de bevoeiings slang.



Figuur 4. Bedekking van trilveenmossen en veenmossen in de zone met trilveenvegetatie in relatie tot afstand (m) van de bevoeiings slang.

Geconcludeerd kan worden dat de concurrentie voor licht en ruimte door veenmossen hoog bleef en uitbreiding van de trilveenmossensoorten belemmerde. Voor vaatplantsoorten van trilveenvegetaties waren de trends variabel. Ronde zegge, moeraskartelblad en waterdrieblad (foto 3) namen af en parnassia en groenknoororchis namen toe. Paddenrus – een soort van matig nutriëntenrijke rietlanden – nam toe, wat mogelijk duidt op een eutrofiëringseffect.

De belangrijkste factor voor de geringe reactie van de trilveenmossen bij dit bevoeiingsexperiment met de dripslangen is dat de levende delen van de moslaag niet werden geïnundeerd met het basenrijke bevoeiingswater. Onderzoek aan de gevoeligheid voor inundatie van gewoon veenmos, de meest voorkomende veenmossoort in het huidige experiment, laat zien dat deze soort pas sterk in vitaliteit afneemt bij een volledige inundatie met bicarbonaatrijk water (2.000 µmol/l; Koks et al., 2019). Als bij bevoeiing de moslaag zelf niet (volledig) geïnundeerd raakt,

worden de veenmossen niet benadeeld. Kenmerkende basenminnende mossen van trilvenen zouden van volledige inundatie kunnen profiteren, omdat én basenrijke condities ontstaan én de concurrentie door snelgroeiende veenmossen wordt uitgeschakeld. Daarmee zou in de moslaag een verschuiving richting die van basenrijk trilveen kunnen worden geïnitieerd.

#### Analyse verwachte bevoeiingsduur

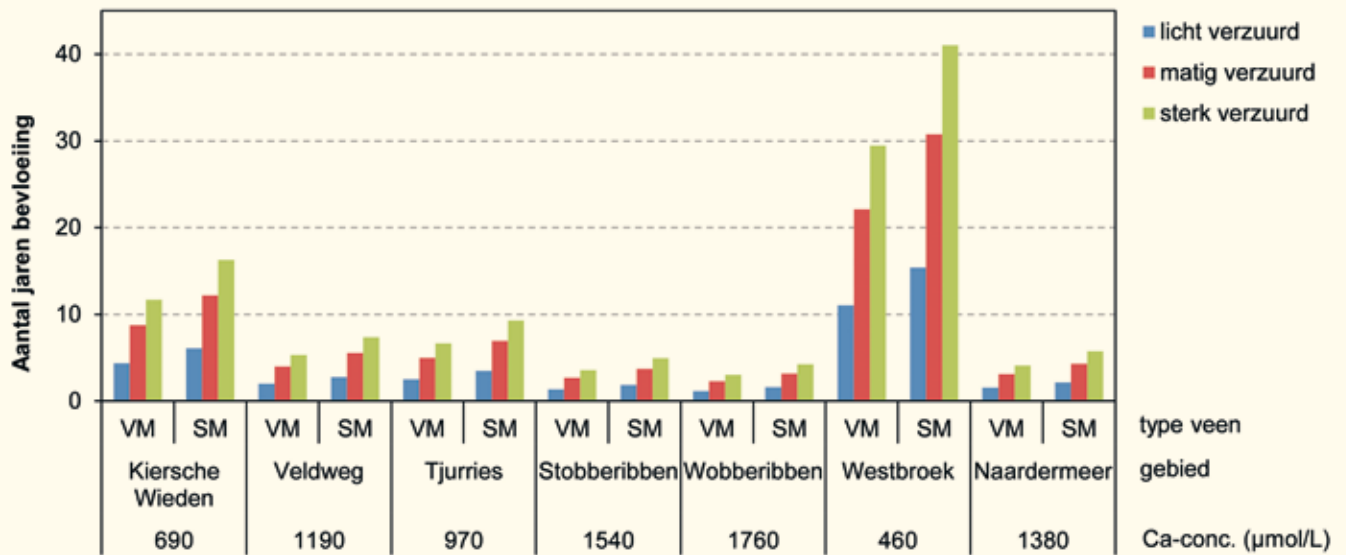
Aangezien langetermijneffecten niet in beeld worden gebracht met een veldexperiment van vier jaar, is besloten om met behulp van eenvoudige stofbalansberekeningen te bepalen hoeveel bevoeiingswater op de lange termijn moet infiltreren om een hoge basenrijkdom in de bodem te bewerkstelligen. Er is berekend hoeveel jaar bevoeid moet worden om de basenrijkdom te verhogen, waarbij ook is berekend hoeveel stikstof, fosfor en sulfaat worden aangevoerd.

De analyse is uitgevoerd voor uiteenlopende situaties in enkele Nederlandse laagveenmoerassen (de Kiersche Wieden en de

Veldweg in de Wieden, het Tjurries, de Stobbenribben en de Wobberribben in de Weerribben, Westbroek en het Naardermeer), waarbij in de berekeningen is uitgegaan van gemiddelde stofconcentraties in het lokale oppervlaktewater. Er is tevens vanuit gegaan dat gedurende het hele jaar wordt bevoeid en dat jaarlijks circa 1.000 mm bevoeiingswater de kragge kan indringen. Er is uitgerekend hoe lang bevoeid zou moeten worden voor herstel van een hoge calciumverzadiging van 85 % in de bovenste 20 cm van de kraggen vanuit licht, matig en sterk verzuurde situaties met een calciumverzadiging van respectievelijk 65, 35 en 5 %. Ook is rekening gehouden met aanvoer van calcium die nodig is voor (a) compensatie van verzuring door atmosferische depositie, (b) een hoge bezetting met calcium van nieuwe adsorptieplekken voor kationen als gevolg van veengroei en (c) afvoer van calcium als gevolg van maaibeheer.

#### Verhoging calciumbezetting

Uit de berekeningen blijkt dat de beno-



**Figuur 5.** Berekende benodigde duur van bevoeiing voor herstel van een basenrijke bodemtoplaag voor locaties in laagveenmoerasgebieden. De bevoeiingsduur is berekend voor drie verzorgingsstadia en twee typen veen (VM = veenmosveen; SM = slaapmosveen). Tevens wordt voor elk gebied de gemiddelde calciumconcentratie (Ca) van het oppervlaktewater weergegeven.

digde hersteltijd van een basenrijke top laag in verzuurde kraggen sterk afhankelijk is van twee factoren: (a) de mate van verzuuring van de uitgangssituatie en (b) de calciumconcentratie van het lokale oppervlaktewater (fig. 5). In de meeste laagveenmoerasgebieden bieden de hersteltijden (1-16 jaar jaarronde bevoeiing) op zichzelf perspectief voor toepassing van bevoeiing in de beheerpraktijk. Er zijn echter ook hoge uitschieters tot 41 jaar in één gebied (Westbroek) als gevolg van een lage calciumconcentratie van het oppervlaktewater (400 µmol/l) en een hoge zuurdepositie. Voor het realiseren van relatief korte bevoeiingsduren, die voor het beheer uitvoerbaar zijn, zijn hoge calciumconcentraties (> 1.000 µmol/l = 40,8 mg/l) heel belangrijk (Cusell et al., 2013). Bij een lage calciumconcentratie is het overgrote deel van het calcium dat door de jaarlijkse

bevoeiing wordt aangevoerd nodig voor 'onderhoud' om de verzurende processen te compenseren.

#### Effecten op nutriëntenhuishouding

In het merendeel van de onderzochte gebieden bedraagt de aanvoer van stikstof door bevoeiing 1 à 2 kg N/ha/jaar met een uitschieter naar 5 kg N/ha/jaar in Westbroek. Bevoeiing levert daarmee een niet te verwaarlozen bijdrage aan de stikstofbalans. De belasting met in water opgeloste orthofosfaat varieert tussen 0,06 en 0,27 kg P/ha/jaar en die van totaal fosfor door aanvoer van zwevende deeltjes kan een factor 6 tot 7 hoger liggen. De totale fosforbelasting kan daardoor een risico voor eutrofiëring vormen. Het gebruikte bevoeiingsdebiet levert hoge belastingen op met sulfaat: circa 30 tot 120 kg S/ha/jaar. Dat kan op termijn mogelijk leiden tot

verhoogde veenafbraak, interne eutrofiëring en sulfidotoxiciteit voor planten (Lamers, 2001). Wegens de potentieel negatieve effecten van een te hoge belasting met nutriënten en sulfaat is het belangrijk om te bevoeien met oppervlaktewater dat arm is aan deze stoffen. Daarnaast is het ook belangrijk om niet meer te bevoeien dan nodig is voor onderhoud en herstel van een hoge basenrijkdom. Als het oppervlaktewater erg rijk aan nutriënten en sulfaat is, is bevoeiing geen goede optie.

#### Kanttekeningen bij de balansberekeningen

De stofbalansberekeningen zijn nuttig om diverse situaties en scenario's onderling te vergelijken en de mogelijkheden voor bevoeiing te verkennen, maar de uitkomsten zijn niet meer dan een indicatie. Een belangrijke kanttekening is dat uitgegaan wordt van jaarrond bevoeiingen, die in de praktijk nooit zullen kunnen plaatsvinden bij trilvenen, omdat een permanente waterlaag op maaiveld ongewenste invloed heeft op de trilveenvegetatie. Wanneer slechts een gedeelte van de het jaar wordt bevoeid, kan er minder water de kragge indringen en zal de noodzakelijke bevoeiingsduur langer worden. Verder is geen rekening gehouden met de hydrologische situatie wat betreft kwel en wegzijging. In geval van sterke wegzijging kan meer bevoeiingswater infiltreren.

#### Conclusies

Uit de metingen in het bevoeiingsexperiment en de berekeningen van de benodigde bevoeiingsduur blijkt dat bevoeiing van verzuurde kraggen met basenrijk oppervlaktewater op korte termijn kan



**Foto 3.** Trilveenvegetatie met waterdrieblad en moeraskartelblad. (Foto: Camiel Aggenbach)

leiden tot herstel van een hoge basenrijkdom van de bodemtoplaag. Randvoorwaarde is dat het bevoeiingswater een hoge calcium- en bicarbonaatconcentratie heeft.

Om dominantie van veenmos tegen te gaan of te doorbreken ten gunste van trilveensoorten, is het wel noodzakelijk dat het calcium- en bicarbonaatrijke bevoeiingswater de veenmossen volledig inundeert. Voor de beheerpraktijk is het realiseren van zulke inundatie op drijvende kraggen een uitdaging wegens het opdrijven van de kragge en een snelle laterale afvoer van het bevoeiingswater door en onder de kragge. Mogelijk kan ook de combinatie van bevoeiing en het mechanisch verwijderen van de veenmoslaag bijdragen aan het bevorderen van trilveenmossoorten, maar dat zou met veldexperimenten moeten worden getest. De effecten op de nutriëntenhuishouding zijn nog onduidelijk voor de langere termijn en daarmee is ook het perspectief voor mesotrofe trilveenvegetaties onduidelijk. Enerzijds bleven de nutriëntenconcentraties in het porievocht van het bevoeiingsexperiment (foto 4), waar sprake was van nutriëntenarm oppervlaktewater, laag. Het gaat om concentraties waarbij goed ontwikkelde trilveenvegetaties goed kunnen voorkomen. Dat komt ook overeen met de berekende lage jaarlijkse belastingen met stikstof en met fosfor voor de bemonsterde trilvenen. Anderzijds kan er zelfs bij fosforarm bevoeiingswater wel degelijk ongewenste eutrofiëring optreden. Op de langere termijn kan deze extra fosforaanvoer een

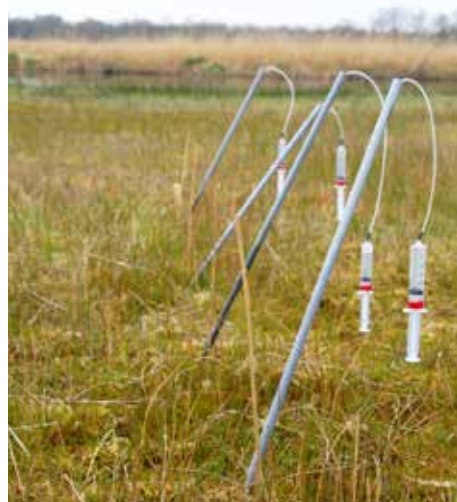


Foto 4. Minitranssect met vier meetlocaties waar porievocht wordt bemonsterd. (Foto: Gijs van Dijk)

risico vormen door accumulatie van anorganisch fosfaat, waardoor de fosforlimitatie, die voor soortenrijke trilveenvegetaties nodig is, kan worden opgeheven.

De langetermijneffecten van een hoge sulfaatbelasting op de nutriëntenhuishouding (mobilisatie van fosfaat) zijn eveneens onduidelijk. Daarom wordt uit voorzorg geadviseerd om voorlopig alleen met water met een lage fosfor- en sulfaatconcentratie te bevoeien. Om de mogelijk nadelige effecten van de extra fosfor- en sulfaatbelasting te beperken, is het verstandig om het bevoeiingsdebiet beperkt te houden en af te stemmen op wat nodig is voor behoud en herstel van een hoge basenrijkdom en het doorbreken van de veenmos-dominantie. Samenvattend: bevoeiing biedt perspectief voor het handhaven en herstellen van een hoge basenrijkdom van trilvenen, maar er is meer zicht nodig op hoe bevoeiing op een langere termijn doorwerkt op de nutriëntenhuishouding en vegetatie.

#### Summary

#### Restoring quaking fen vegetation with surface water irrigation

In terrestrialization mires of the low parts of The Netherlands acidification is a dominant trend causing replacement of rich fen vegetation by *Sphagnum* and *Polytrichum* dominated vegetation. Artificial flooding with surface water is a potential measure to preserve and restore a high base status. In a field experiment a controlled flux of surface water was irrigated during four years in a rich fen and a *Sphagnum* dominated poor fen. In both vegetation types pore water, soil pH and  $\text{Ca}^{2+}$  concentration increased significantly up to the range of rich fens. Despite this trend moss species of rich fen did not increase due to strong competition by *Sphagnum*. For suppressing *Sphagnum*, flooding with inundation with  $\text{Ca}^{2+}$ - and  $\text{HCO}_3^-$ -rich surface water of the moss layer is needed. Mineral N- and P-concentrations in the pore water were low in the zone with infiltrated surface water and in the range of mesotrophic rich fens. Solute balance calculations for flooding with local surface water in several peatlands and acidification stages were used to assess the potential recovery time of a high base status and risks for eutrophication. When the  $\text{Ca}^{2+}$ -concentration of the surface water is high ( $> 1.000 \mu\text{mol/l}$ ) recovery time had a feasible range (1 to 16 years) for nature management. In the long term the extra P-loading and strong  $\text{SO}_4^{2-}$  loading might be a risk for

eutrophication. Therefore, flooding with P- and  $\text{SO}_4^{2-}$ -poor water is advised.

#### Literatuur

Aggenbach, C.J.S., D.G. Cirkel, C. Cusell, G. van Dijk & A.M. Kooijman, 2020. Onderzoek naar bevoeiing als beheermaatregel voor behoud en herstel van basenrijke trilvenen. 2020/OBN241-LZ, Vereniging van Bos- en Natuur-eigenaren, Driebergen.

Cusell, C., A.M. Kooijman, I.S. Mettrop & L.P.M. Lamers, 2013. Natura 2000 Kennislacunes in De Wieden & De Weerribben. 2013/OBN171-LZ, Ministerie van Economische Zaken, Den Haag.

Cusell, C., A. Kooijman & L.P.M. Lamers, 2014. Nitrogen or phosphorus limitation in rich fens? - Edaphic differences explain contrasting results in vegetation development after fertilization. *Plant and Soil* 384: 153-168.

Koerselman, W., S.A. Bakker & M. Blom, 1990. Nitrogen, phosphorus and potassium budgets for two small fens surrounded by heavily fertilized pastures. *Journal of Ecology* 78: 428-442.

Kooijman, A.M., C. Cusell, R. Loeb & J.M.H. van Diggelen, 2018. Mesotrofe verlandingen en behoud van trilvenen. *Landschap* 35(2): 83-91.

Koks, A.H.W., G. van Dijk, A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & C. Fritz, 2019. The effects of alkalinity and cations on the vitality of *Sphagnum palustre* L. *Mires and Peat* 24 (25): 1-14.

Lamers, L.P.M., 2001. Tackling biogeochemical questions in peatlands. Proefschrift Katholieke Universiteit Nijmegen.

Van Diggelen, J.M.H., G. van Dijk, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, I.S. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders, 2018. Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- en trilvenen. Ten behoeve van het behoud en herstel van habitattypen H7140 (Natura 2000). 2018/OBN220-LZ, Vereniging van Bos- en Natuur-terreineigenaren, Driebergen.

Van Wirdum, G., 1991. Vegetation and hydrology of floating rich fens. Datawysse, Maastricht.

Camiel Aggenbach, Gijsbert Cirkel  
KWR Water Research Institute  
camiel.aggenbach@kwrwater.nl

Casper Cusell  
Witteveen+Bos

Gijs van Dijk  
Onderzoekscentrum B-WARE/Radboud  
Universiteit

Annemieke Kooijman  
IBED Universiteit van Amsterdam



Foto 1. Een kragge in de Rottige Meente, met links een oude legakker. Het trilveen gaat rechts over in een rietkraag waarachter de aanvoersloot ligt. (Foto: Gijs van Dijk)

# Trilveenherstel door terugkeer van inundatie met basenrijk oppervlaktewater

**In de Rottige Meente is door inundatie op verschillende percelen basenrijk trilveen ontwikkeld. Om meer inzicht te krijgen in dit succesverhaal is in een veldexperiment onderzoek gedaan naar de hydrologische, chemische en vegetatieve effecten van inundatie op veenmos gedomineerde venen. De uitkomsten zijn interessant, omdat wellicht vergelijkbare resultaten behaald kunnen worden in andere Nederlandse veengebieden.**

**Adam Koks, Gijs van Dijk, Casper Cusell, Suzanne Kanters, Annemieke Kooijman, Fons Smolders, Willem Molenaar & Henk Hut**

Trilvenen zijn afhankelijk van basenrijk (veel calcium en bicarbonaat) en nutriëntenarm (vooral fosforarm) grond- of oppervlaktewater. Factoren als verminderde kwel, vervuiling van het oppervlaktewater en verhoogde stikstofdepositie leiden tot een afname van trilvenen in Nederland (Kooijman et al., dit nummer; Van Dijk et al., dit nummer). In het zuidwesten van de Rottige Meente in Friesland heeft zich, tegen de landelijke neerwaartse trend in, 1,5 ha basenrijk trilveen met rood schorpioenmos ontwikkeld. Het gebied werd in het verleden voornamelijk gevoed door oppervlaktewater aangevoerd vanuit de Friese boezem. Sinds 2011

wordt vooral water uit de Weerribben aangevoerd, omdat dit water aanmerkelijk minder fosfor bevat. Aangezien er zich in de Weerribben vele goed ontwikkelde trilvenen bevinden, heeft dit water wellicht de ontwikkeling en het herstel van trilveen in dit deel van de Rottige Meente positief beïnvloed.

In het afgelopen decennium is echter niet alleen de wateraanvoer veranderd, maar ook het peilbeheer. Voorafgaand aan het wintermaaien (tussen december en maart) wordt het waterpeil in de sloten met circa 15-30 cm verlaagd om de kraggen begaanbaar te maken voor maaimachines (Kruitwa-

gen et al., 2019). Vervolgens wordt het waterpeil na het maaien weer verhoogd, wat inundatie van enkele kraggen tot gevolg heeft. Juist deze inundatie heeft mogelijk het trilveenherstel bevorderd.

Voor 2011 gebeurde de peilverhoging na het maaien met water uit de Friese boezem, waarbij het watervolume veelal te gering was om de waterstanden boven het maaiveldniveau te krijgen. De huidige aanvoer komt nu hoofdzakelijk uit de Linde (vanuit de Weerribben). Deze aanvoer is groter, waardoor de waterstanden hoger oplopen en bepaalde venen elk jaar geïnundeerd raken met oppervlaktewater. Deze wijziging valt samen met de achteruitgang van veenmosdominantie en het herstel van trilveenvegetaties gedomineerd door rood schorpioenmos. Daarnaast bevat het trilveen ook andere interessante soorten, zoals plat blaasjeskruid en groenknolorchis (Verhagen et al., 2016; Kruitwagen et al., 2019).

## **Veldexperiment**

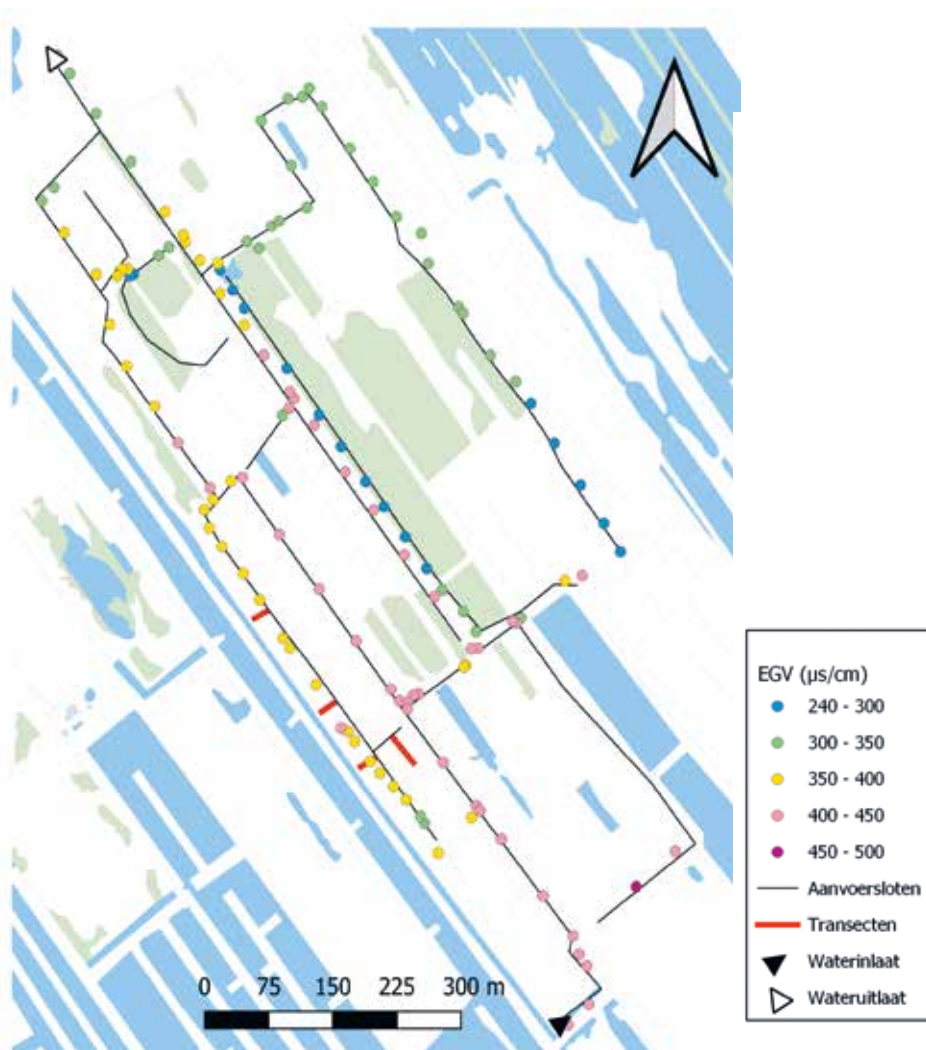
De studie vond plaats in het zuidwestelijk deel van de Rottige Meente, relatief dicht nabij de waterinlaat (zie zwarte pijl in fig. 1). Dit gebied bestond in 2011 vooral uit verzuurde kraggen, in de moslaag gedomi-

neerd door veenmossen. Lokaal waren er langs sloten nog wat restanten van trilveenvegetatie (met onder andere rood schorpioenmos) aanwezig, die zich hebben uitgebreid. Het doel van dit experiment was: het bepalen van het effect van inundatie op trilveenherstel vanuit de winter richting het voorjaar.

Gedurende drie meetronden zijn verscheidene metingen in de aanvoersloten en op vier transecten in het veen uitgevoerd (fig. 1). Na het lage peil van het zomermaaien tot de nulmeting in december bij -1,09 m NAP is water het gebied ingelaten. Dit peil is voor het wintermaaien verlaagd en na de maaiwerkzaamheden verhoogd, waardoor er in april 2020 sprake is van een hoog peil (-1,06 m NAP). De nulmeting en hoog peil in april met water vanuit de Weerribben zijn conform het beheer sinds 2011. Vanaf april tot mei tijdens het hoogste peil van -0,99 m NAP is met een pomp het peil kunstmatig extra verhoogd. Dit is specifiek voor het experiment gedaan om meer inundatie van de kraggen te bewerkstelligen.

In de sloten is het elektrisch geleidend vermogen (EGV) op tientallen locaties gemeten (zie het voorbeeld tijdens het hoogste peil in fig. 1). Het EGV wordt gebruikt om inzicht te krijgen in de basenhuishouding van het gebied, waarbij basenrijkere condities met een hogere EGV in het oppervlaktewater gunstiger zijn voor trilveenontwikkeling (o.a. Kooijman et al., huidige nummer). Met de EGV-metingen is dus onderzocht in hoeverre het basenrijke oppervlaktewater het deelgebied binnendringt als gevolg van peilveranderingen. Daarnaast is op twaalf locaties oppervlaktewater verzameld voor nadere chemische analyse.

Om te testen of de uitbreiding van trilveen van de laatste jaren inderdaad veroorzaakt is door inundatie met basenrijk oppervlaktewater van verzuurde en door veenmossen gedomineerde plekken, is een experiment in het veld uitgevoerd. In het zuidwestelijke deelgebied van de Rottige Meente zijn vier transecten uitgezet op locaties waar de afgelopen tien jaar trilveenvegetaties zijn uitgebreid (rode lijnen in fig. 1, voorbeeld transect: foto 2). Elk transect bevatte een gradiënt vanuit de sloot met basenrijk oppervlaktewater naar een door rood schorpioenmos gedomineerde vegetatie tot een door veenmos gedomineerd vegetatie verder op de kragge. Langs elk transect is op drie punten (respectievelijk schorpioenmos



**Figuur 1.** Overzichtskaart met de verschillende aanvoersloten in het zuidwesten van de Rottige Meente. Ook zijn de locaties van de EGV-metingen weergegeven van de meetronde tijdens het hoogste peil (mei 2020). Eveneens zijn de vier transecten met elk drie plots van respectievelijk schorpioenmos gedomineerde, overgangsvetatie en veenmos gedomineerde vegetatie weergegeven met behulp van rode dikke lijnen.

gedomineerd, overgangsvetatie en veenmos gedomineerd) bodemvocht verzameld op 10 cm onder maaiveld. Dit is gedaan op drie tijdstippen: de nulmeting (december 2019), wanneer er sprake was van inundatie tijdens het hoge peil (april 2020) en het hoogste peil (mei 2020). Langs de transecten zijn met een prikstok op dezelfde tijdstippen diepteprofielen (vanaf maaiveld tot 130 cm diep in de kragge) van het EGV uitgevoerd. Op deze manier is vastgesteld hoe ver vanaf de sloot en hoe diep het basenrijk oppervlaktewater de kragge indringt.

#### Vegetatiesamenstelling per transect

De al vooraf aanwezige zones met trilveen komen in hoge mate overeen met goed ontwikkelde Nederlandse trilvenen. Op basis van de classificering door Van Digge-

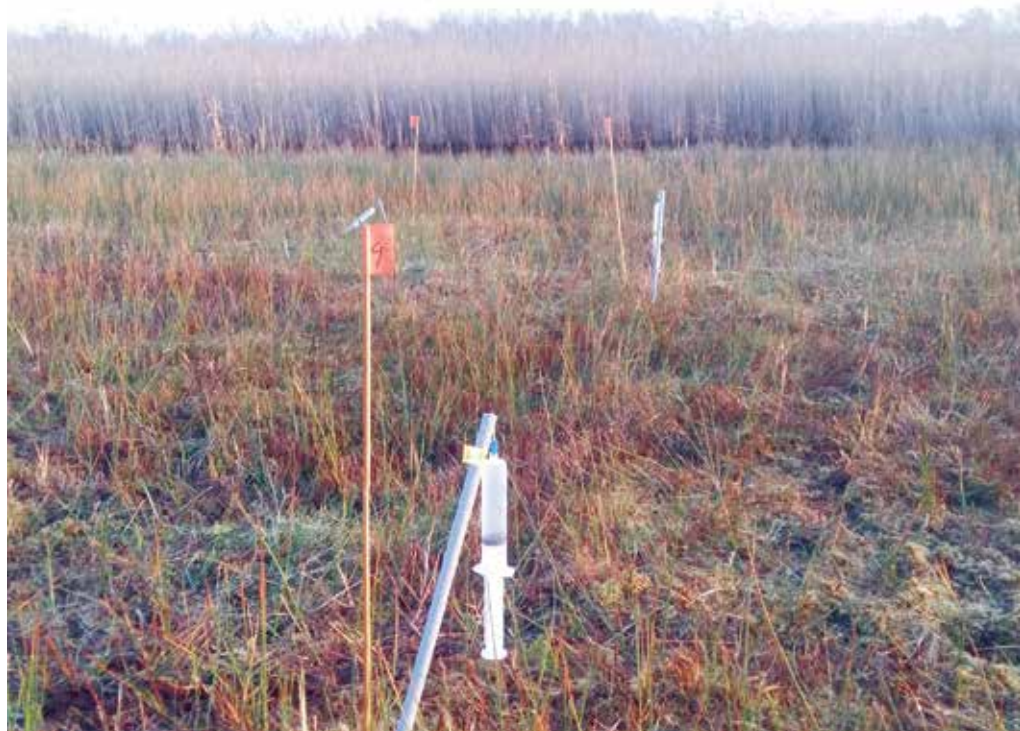
len et al. (2018) vallen de trilveenzones in de groep van mesotroof trilveen met soorten als rood schorpioenmos, waterdrieblad, wateraardbei, geveerd sikkelmoss en klein blaasjeskruid. Rood schorpioenmos komt voor met een bedekking van bijna 40 % en soorten als veenknikmos, reuzenpuntmos, sterrengoudmos en ronde zegge met iets lagere bedekkingen. In de overgangszone komen soorten zoals trilveenveenmos en sparrig veenmos voor en in de veenmoszone zijn gewoon veenmos, ronde zonnedauw, sterzegge (foto 3) en veenpluis prominent aanwezig. Deze zone komt overeen met basenarm en verzuurd overgangsvveen conform Van Diggelen et al. (2018). Uit de EGV-metingen van de aanvoersloten blijkt dat naarmate het ingelaten oppervlaktewater verder in het gebied komt, het EGV en dus ook de calcium- en bicarbonaatcon-

centraties veelal lager zijn (zie fig. 1 en 2). Dit komt waarschijnlijk door bijmenging met basenarm regenwater, wat wellicht ook beïnvloed wordt door de retentietijd van het oppervlaktewater.

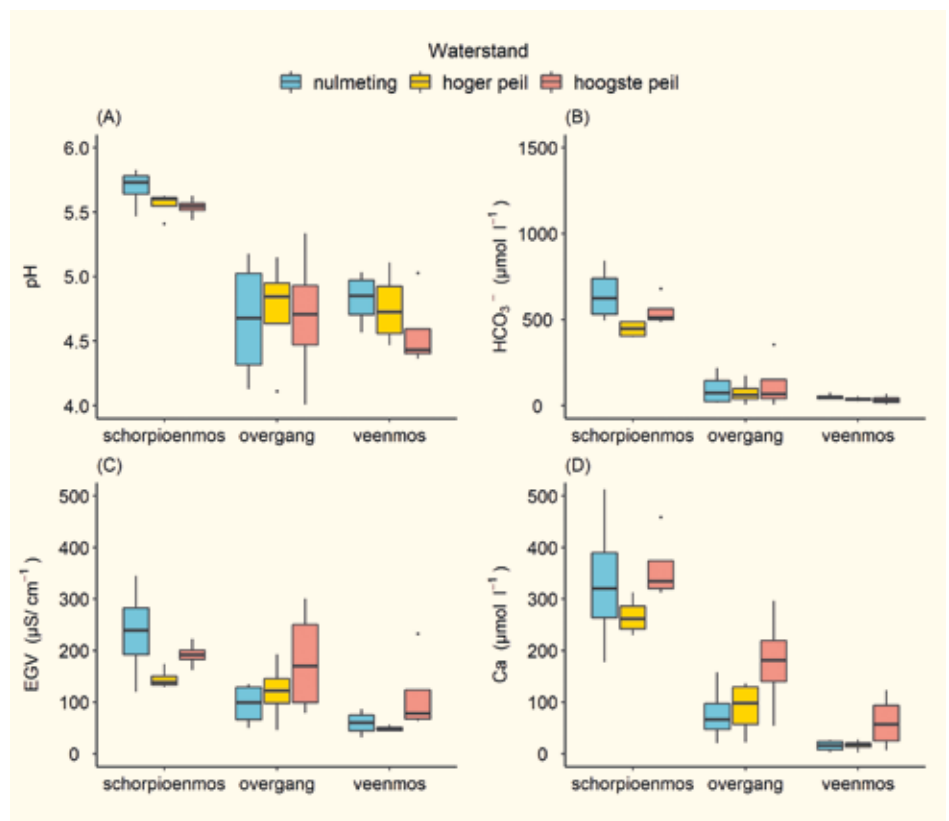
In het porievocht tijdens de nulmeting (toen er geen sprake was van inundaties met basenrijk oppervlaktewater) waren er duidelijke verschillen in de chemische samenstelling tussen de verschillende vegetaties. De pH, het EGV alsmede de concentraties bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ) en calcium (Ca) zijn in de door schorpioenmos gedomineerde vegetaties hoger dan in de overgangszone en de door gewoon veenmos gedomineerde delen (fig. 2).

Tijdens inundatie met basenrijk oppervlaktewater, waarbij het oppervlaktewater uit de aanvoersloten buiten zijn oevers treedt, komt water met basische kationen en bicarbonaat zowel op als in de kragge. Hierdoor komen de overgangen met veenmos in contact met het calcium- en bicarbonaatrijke oppervlaktewater wat vóór de proef niet het geval was. Dit is ook te zien aan het toegenomen EGV en de calciumconcentraties in het porievocht van de overgangsvelden (fig. 2). De pH blijft hier lager dan in de trilveenzones doordat veenmossen en de veenbodem zuur ( $\text{H}^+$ ) uitwisselen voor kationen uit het oppervlaktewater, wat tot verzuring van het porievocht leidt. De blootstelling aan sterk bicarbonaat- en calciumrijk oppervlaktewater is negatief voor de overleving van veenmos (Clymo, 1973; Koks et al., 2019). Dit was in ons experiment duidelijk te zien: de veenmossen in de overgangszones waren na de inundaties verbleekt en stierven af (foto 4).

Doordat het veenmos afsterft, ontstaat de mogelijkheid voor schorpioenmossen om uit te breiden (foto 4). Uit ons veldexperiment blijkt dat jaarlijkse inundatie van vier á vijf weken met basenrijk en nutriëntarm oppervlaktewater kan leiden tot het afsterven van veenmossen in een verzuurde door veenmossen gedomineerde kraggevegetatie. Dit biedt ruimte voor herstel en ontwikkeling van door schorpioenmos gedomineerd trilveen. Voor herstel van trilveen is dus een korte aanvoerrote van het oppervlaktewater van belang, omdat bij te lage calcium- en bicarbonaat-concentratie veenmossen dominant blijven. Het is echter wel noodzakelijk dat die korte aanvoerrote niet leidt tot fosfaanrijking, omdat dit dan zou leiden tot eutrofiëring in de fosfor-gelimiterde vegetaties (o.a. Kooijman et al., 2018 en dit nummer). Dergelijke korte aanvoer-



**Foto 2.** Een uitgezet transect vanaf de sloot richting de legakker. De spuiten op de foto hangen aan (macro)rhizons, waarmee porievocht is verzameld. (Foto: Adam Koks)



**Figuur 2.** De gemiddelde zuurgraad (pH), de concentratie van bicarbonaat ( $\text{HCO}_3^-$ ), het elektrisch geleidend vermogen (EGV) en de calciumconcentratie (Ca) van het porievocht in de bodemtoelaag van drie vegetatiezones in de transecten ( $n = 4$ ). Alle plots zijn in december 2019 (nulmeting), april 2020 (hoger peil) en mei 2020 (hoogste peil) bemonsterd.

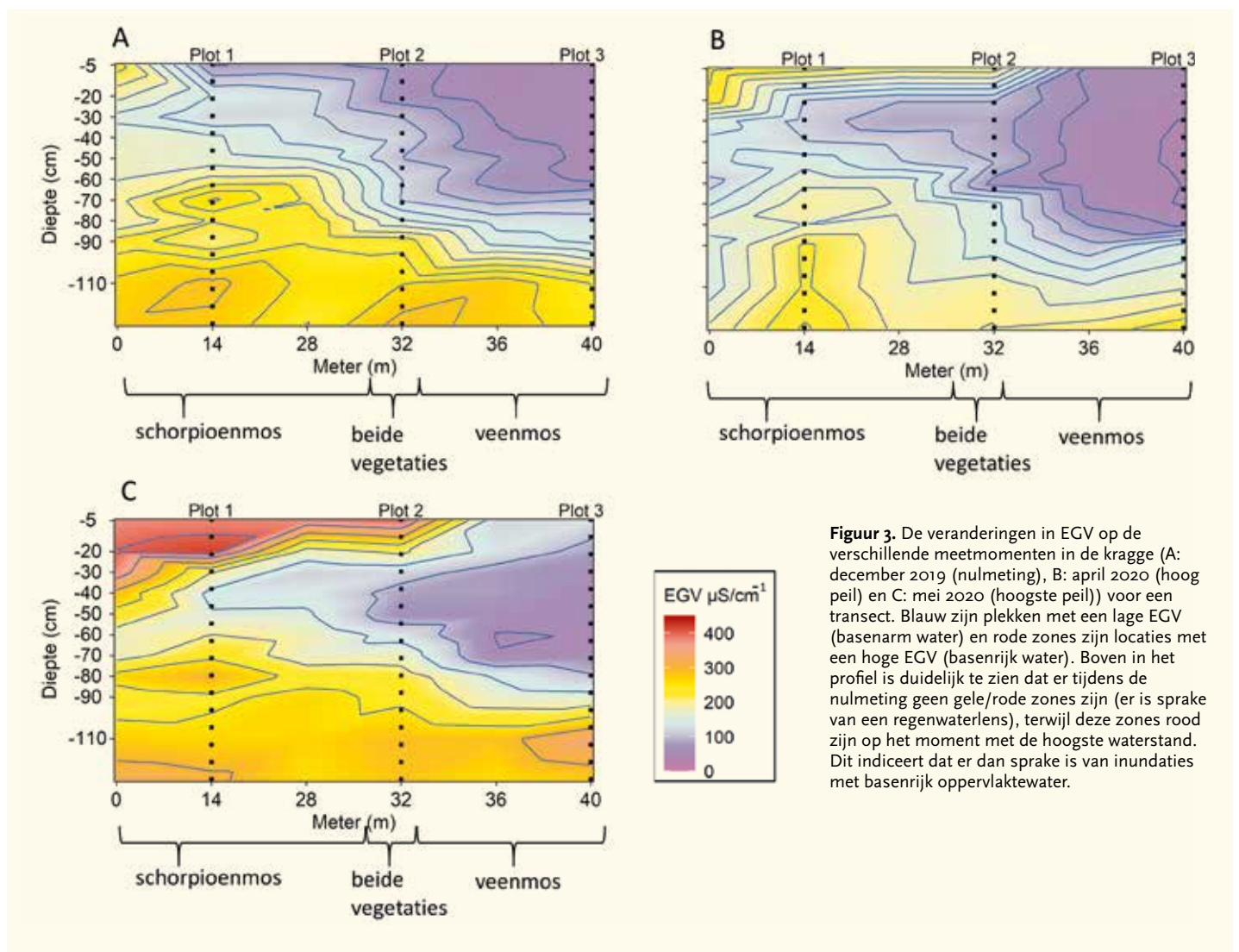
routes zijn dus alleen mogelijk als de oppervlaktewaterkwaliteit voldoende is. Figuur 3 illustreert hoe inundatie met baserijk oppervlaktewater invloed heeft op het EGV van water in de kragge op drie tijdstippen. Tijdens de nulmeting in december is er voornamelijk sprake van regenwaterinvloed boven in de kragge. Dit verandert gedurende het opzetten van het peil. In april 2020 is al duidelijk enige invloed van baserijker oppervlaktewater gemeten, waarbij de regenwaterlens in de toplaag verdrongen wordt (diepte van -5 cm tot -30 cm). In mei 2020 (toen het peil het hoogst was en het water ook het langst op de kragge stond) is de regenwaterlens verder verdrongen tot aan het veenmostapijt.

### Trilveen is geen aflopende zaak

De resultaten uit het veldexperiment laten zien dat een verhoogd waterpeil (volgend op



Foto 3. In de veenmoszone is onder meer sterzegge prominent aanwezig. (Foto: Gijs van Dijk)



**Figuur 3.** De veranderingen in EGV op de verschillende meetmomenten in de kragge (A: december 2019 (nulmeting), B: april 2020 (hoogste peil) en C: mei 2020 (hoogste peil)) voor een transect. Blauw zijn plekken met een lage EGV (basenarm water) en rode zones zijn locaties met een hoge EGV (baserijk water). Boven in het profiel is duidelijk te zien dat er tijdens de nulmeting geen gele/rode zones zijn (er is sprake van een regenwaterlens), terwijl deze zones rood zijn op het moment met de hoogste waterstand. Dit indiceert dat er dan sprake is van inundaties met baserijk oppervlaktewater.



**Foto 4.** Vitaal rood schorpioenmos op de voorgrond, centraal verbleekt veenmos als gevolg van inundatie met oppervlaktewater en vitaal hoger gelegen (niet door oppervlaktewater beïnvloed) veenmos op de achtergrond. (Foto: Gijs van Dijk)

een verlaagde waterstand) in de Rottige Meente kan leiden tot de aanvoer van basenrijk oppervlaktewater naar trilvenen toe, waarbij inundaties kunnen optreden. Dit heeft de afgelopen tien jaar vermoedelijk geleid tot een zeer gewenste omslag in de vegetatie van verzuurde venen naar soortenrijke trilvenen. Om de huidige goed ontwikkelde trilvenen van de Rottige Meente in stand te houden en de negatieve gevolgen van verzuring tegen te gaan, dient de invloed van basenrijk en fosforarm oppervlaktewater voldoende groot te blijven. Uit de chemische metingen in de aanvoersloten is gebleken dat de basenrijkdom afneemt met de afstand vanaf het instroompunt. Dit benadrukt het belang van een zo kort mogelijke aanvoertracé om de omslag van veenmos- naar schorpioenmosdominantie mogelijk te maken. Hierbij moet wel nadrukkelijk het risico van de aanvoer van verhoogde nutriëntconcentraties en retentietijd van het oppervlaktewater in ogenschouw genomen worden. Indien nutriëntconcentraties te hoog zijn, is een verhoogde invloed van het oppervlaktewater geen geschikte herstelmaatregel. De resultaten in het veldexperiment geven aan dat het enkele weken inunderen van een verzuurde, door veenmos gedomineerde kragge met basenrijk en fosforarm oppervlaktewater ruimte kan creëren voor trilveenontwikkeling. In de praktijk kan

inundatie van kraggen nog weleens lastig zijn, bijvoorbeeld als delen van de kragge opkomen drijven met het verhoogde oppervlaktewaterpeil. In dat geval kan overwogen worden om op kleine schaal oppervlakkig te pluggen, om zo de kans op inundatie met basenrijk oppervlaktewater te vergroten. We denken dat de huidige ontwikkelingen in de Rottige Meente als inspiratie voor trilveenherstel in andere Nederlandse laagvenen kunnen dienen.

#### Literatuur

- Clymo, R.S., 1973.** The Growth of Sphagnum: Some Effects of Environment. *Journal of ecology* 61: 849-869.
- Diggelen, J.M.H. van, G. van Dijk, C. Cusell, J. van Belle, A. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, I.S. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders, 2018.** Onderzoek naar de effecten van stikstof in overgangs- en trilvenen. KNNV Publishing, Driebergen. 2018/OBN220-LZ.
- Dijk, G. van, J.M.H. van Diggelen, C. Cusell, J. van Belle, A.M. Kooijman, T. van den Broek, R. Bobbink, I.S. Mettrop, L.P.M. Lamers & A.J.P. Smolders, 2021.** Chemische condities in trilveen en effecten van stikstofdepositie. DLN 122: 84-87.
- Koks, A.H.W., G. van Dijk, A.J.P. Smolders, L.P.M. Lamers & C. Fritz, 2019.** The effects of alkalinity and cations on the vitality of Sphagnum palustre L. *Mires and peat* 24: 1-14.
- Kooijman, A.M., C. Cusell, R. Loeb & J. van**

- Diggelen, 2018.** Mesotrofe verlanding en behoud van trilvenen. *Landschap* 35.
- Kooijman, A.M., C. Cusell, C.J.S. Aggenbach & G. van Dijk, 2021.** Risico's en kansen bij behoud en herstel van basenrijke trilvenen. DLN 122: 80-83.
- Kruitwagen, G., J.J. Mandemakers & C. Cusell, 2019.** Onderzoek wateraanvoer en buffering Rottige Meente: van systeembegrip naar maatregelen. In opdracht van Staatsbosbeheer.
- Verhagen, R., W. Molenaar, I. Keressies & J. Koopman, 2016.** Natura 2000-ontwerpbeheerplan Rottige Meenthe & Brandemeer (18).

#### Summary

#### Fluctuating water levels and the resurrection of rich fens in the Netherlands

In the Rottige Meente *scorpidium scorpioides* dominated rich fen (H7140A) vegetation was restored by actively fluctuating water levels and long-term inundation (weeks). The leading factors causing peatmoss dominated poor fen vegetation to diminish and the development of rich fen vegetation were investigated through a field experiment. This was done by following changes in water levels and porewater chemistry in different vegetation types after actively increasing water levels and inducing inundation. Elevated buffering from inundation with base-rich and nutrient-poor surface water seems to be the leading cause of changes in the vegetation composition resulting in the development of species generally occurring in rich fens. More insights into these processes may lead to new measures for further restoration efforts in other fens in the Netherlands suffering from acidification and desiccation.

#### Dankwoord

Wij danken de beheerders van de Rottige Meente voor hun waardevolle gebiedskennis en hulp in het veld.

Adam Koks, Gijs van Dijk, Alfons Smolders  
Onderzoekcentrum B-WARE/  
Radboud Universiteit  
a.koks@b-ware.eu

Suzanne Kanters, Casper Cusell  
Witteveen+Bos

Annemieke Kooijman  
Universiteit van Amsterdam

Willem Molenaar  
Staatsbosbeheer & Provincie Friesland

Henk Hut  
Staatsbosbeheer