

het verslag van het symposium over OBN gehouden in Nijmegen, najaar 1996).

Schaminée, J.H.J., A.H.F. Stortelder & E.J. Weeda, 1996. De vegetatie van Nederland 3: graslanden, zomen en droge heiden. Opulus Press, Uppsala/Leiden.
Slim, P.A. & H.F. van Dobben, 1997. De Baten van Vegetatiebeheer. IBN-rapport 281. IBN-DLO Wageningen.
Westhoff, V. & E.J. Weeda, 1984. De achteruitgang van de Nederlandse flora sinds het begin van deze eeuw. Natuur en Milieu 8 (7-8): 8-17.

Summary

The restoration of wet, nutrient-poor grasslands

The Dutch biodiversity decreases due to desiccation, acidification and eutrophication. The Dutch government subsidises measures that counterbalance the effects of these processes on ecosystems. Wet, nutrient-poor grasslands can be very rich in species and belong to the most threatened ecosystems in The Netherlands. The government installed a team of experts to develop common applicable measures against desiccation and acidification of these grasslands. The team selected several nature reserves in brook valleys, in fens and in wet dune slacks in which measures were taken. After the measures were taken, the development of abiotic site conditions, vegetation and species was monitored. The measures that were taken had to result in (1) higher water tables and (2) higher pH/base saturation of the soil. Hydrological measures and/or the removal of the vegetation and the top soil by sod cutting are necessary for restoration. In acidified fens where rainwater infiltrates sod cutting in combination with the frequent supplementation of limestone is successful, too. These conclusions are elaborated in this special issue.

Drs. A.J.M. Jansen
Kiwa Onderzoek & Advies
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Drs. P.C. Schipper
Staatsbosbeheer
Postbus 1300
3970 BH Driebergen

Drs. S. van Opstal
IKC-Natuurbeheer
Postbus 30
6700 AA Wageningen

In Jansen et al. (1997a) rapporteert het deskundigenteam natte schraallanden over het waarom, het hoe en de effectiviteit van de maatregelen in de referentieprojecten.

Geïnteresseerden kunnen dit rapport aanvragen bij A.J.M. Jansen, Kiwa N.V., Postbus 1072, 3430 BB Nieuwegein, tel. (030) 606 95 85.

Leon Lamers,
Maaïke de Graaf,
Roland Bobbink
& Jan Roelofs



Verzuring en eutrofiëring

Blauwgraslanden zijn schaars geworden in Nederland. Verdroging, verzuring en eutrofiëring hebben flink toegeslagen, waardoor veel terreinen verloren zijn gegaan of sterk worden bedreigd. Dit artikel gaat in op de abiotische veranderingen die leidden tot de achteruitgang van blauwgraslanden. Aan de hand hiervan wordt besproken welke factoren en processen belangrijk zijn voor het herstel van deze soortenrijke schraallanden.

Blauwgraslanden, eens zo wijd verbreid

Nederland bezat ooit tienduizenden hectaren aan blauwgrasland, vooral te vinden in het laagveengebied en in mindere mate ook op de pleistocene zandgronden. Het schraalland dankte zijn bestaan aan jarenlang extensief hooilandbeheer op vochtige, licht-zure tot neutrale bodems (Westhoff, 1993). De naam blauwgrasland verwijst naar de karakteristieke blauwe gloed van de dominerende zeggens en grassen. Van dit botanisch, faunistisch en cultuurhistorisch waardevolle halfnatuurlijke landschap zijn tegenwoordig nog hooguit enkele tientallen hectaren gespaard gebleven (Schaminée, 1993). De versnipperde restanten van dit soortenrijke hooiland, die over het algemeen tientallen tot honderden jaren oud zijn, treffen we met name nog aan in Friesland, Overijssel, Gelderland, Utrecht en Brabant (foto 1). Er is echter een lichtpuntje: door gericht herstelbeheer, onder andere in het kader van EGM (Effectgerichte Maatregelen),

groeit het areaal het laatste decennium weer een klein beetje (zie ook Van der Hoek & Braakhekke; Eysink & De Bruijn; Jansen & Schipper, dit nummer). Hiervoor moeten echter zowel de abiotische voorwaarden, de zaadvoorraad als het beheer toereikend zijn. Dit artikel gaat in op de abiotische omstandigheden van het blauwgrasland: welke veranderingen hierin leid(d)en tot achteruitgang en welke zijn bepalend bij het herstel?

Een kieskeurige vegetatie?

De vegetatie van de Nederlandse blauwgraslanden wordt gerekend tot het *Cirsium dissecti-Molinietum*, genoemd naar de distel Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*; foto 2) en het gras Pijpestrootje (*Molinia caerulea*). Het is de enige in Nederland voorkomende associatie binnen het Verbond van Biezenknoppen en Pijpestrootje (foto 3). Het vegetatietype komt alleen voor op vochtige locaties, waar de grondwaterstand periodiek fluctueert. In de zomer droogt de bovenlaag licht uit en in de winter is de grondwaterstand lang genoeg hoog om de relatief kleine basenvoorraad, voornamelijk bestaande uit calcium en magnesium, in de bovenste bodemlaag aan te vullen (Roelofs, 1993). Het blauwgrasland staat dan enige weken tot enige maanden plasdras. Het water moet voldoende basenrijk zijn, maar mag ook weer niet te hard zijn. De periode die nodig is om de basenvoorraad 'op te laden' in de winter is afhankelijk van de basenrijkdom (hardheid) van het water. Tijdens de lichte verdroging in de zomer moet de basenvoorraad voldoende zijn om een al te grote verzuring door oxidatie te voorkomen. In de bodem worden basen als calcium en magnesium, gebonden aan



Foto 1. Het 'Vloweitje' in de Urkhovensche Zeggen, genoemd naar de talrijk voorkomende Vlozegge (*Carex pulicaris*), is een van de kleine blauwgraslandrestanten in Brabant (foto: L. Lamers).

van blauwgraslanden

organische stof en kleideeltjes, uitgewisseld tegen zuur, waardoor een buffer gevormd wordt tegen een daling van de pH (een toename van de zuurgraad).

Zowel de omvang van dit uitwisselingscomplex als de bezetting ervan met basen zijn belangrijke karakteristieken van de blauwgraslandbodem (Van Delft, 1995). Het *Cirsio dissecti-Molinietum* kent vrij nauwe grenzen voor het pH-bereik en de basenvoorraad. Het bodemvocht in de wortelzone is zwak zuur, met een pH die globaal ligt tussen 4,5 en 6,5 (tabel 1). De basenverzadiging is over het algemeen hoger dan 80%. Daarnaast mag de beschikbaarheid aan voedingsstoffen (fosfor, stikstof) niet te hoog zijn, iets wat deels in stand gehouden wordt door het jaarlijks hooien. De voorwaarden die de

vegetatie stelt, zijn dus nauw en veranderingen zijn al snel funest voor blauwgraslanden.

Verdroging en verzuring

De calciumbuffering in de blauwgraslandbodem is gevoelig. In sommige terreinen was de 'winteroplading' in het verleden maar net toereikend om de natuurlijke verzuring het hoofd te bieden. Deze verzuring kan veroorzaakt worden door kooldioxide in de neerslag, oxidatieprocessen, ademhaling van bodemorganismen en zuurafgifte door planten als Veenmos (*Sphagnum*). Een daling van de grondwaterstand laat de balans dan snel doorslaan naar verzuring, doordat de bodem niet meer voldoende opgeladen wordt met calcium en magnesium. Hier-

bij vindt een afname van het zuurbufferend vermogen plaats, waarbij bovendien de pH kan dalen. Deze processen worden versterkt door de verhoogde aanvoer van verzurende stoffen uit de atmosfeer (Erisman & Bobbink, 1997).

Welke problemen veroorzaakt verzuring voor de vegetatie? Bij een te sterke daling van het zuurbufferend vermogen nemen verschillende Veenmossen in bedekking toe, ten koste van andere soorten. Naast dit directe effect kunnen door een daling van de pH ook potentieel giftige metalen zoals aluminium in oplossing gaan, wat problemen kan opleveren voor planten. Uit laboratoriumexperimenten met Spaanse ruiter is gebleken dat niet alleen de concentratie van aluminium, maar ook die van calcium in de bodem bepalend is. Deze base blijkt namelijk beschermend te werken tegen aluminiumvergiftiging (fig. 1). De effecten van een afname van de calciumvoorraad in de bodem en een toename van de concentratie opgelost aluminium bij bodemverzuring lijken elkaar dus te versterken.

Naast het vrijkomen van aluminium, treedt er bij verzuring ook een verschuiving op in de verhouding waarin beide stikstofvormen, ammonium en nitraat, in de bodem voorkomen. Bij verzuring wordt de microbiële omzetting van ammonium en zuurstof naar nitraat (nitrificatie) geremd. Het aanbod aan nitraat wordt lager en ammonium hoopt steeds verder op, hetgeen versterkt wordt door de hoge atmosferische ammoniumdepositie. Dit kan leiden tot een afname van planten die afhankelijk zijn van nitraat, waaronder veel bijzondere blauwgraslandsoorten (fig. 2). Bij continue waterverzadiging wordt de nitrificatie geremd door het gebrek aan zuurstof. Mogelijk is de lichte uitdroging van de bodem van blauwgraslanden in de zomer nodig om een sterke ophoping van ammonium en daling van het nitraatgehalte te voorkomen.

In een natuurlijke hoogtegradiënt (20 cm hoogteverschil) in het fraaie natuurterrein Breklenkampse Veld wordt het effect duidelijk van verschillen in de duur dat het gebufferd grondwater de wortelzone bereikt. Lager gelegen locaties, met blauwgrasland, laten hogere calciumconcentraties, lagere aluminiumconcentraties en een lagere ammonium/nitraatverhouding zien (De Graaf et al., 1994). Op de hogere delen is het omge-

| Vegetatietype | Karakteristieke soorten | pH | Al/Ca | N | P |
|---------------------------------------|--|------------------|------------------|-----------------------|-------------------|
| Blauwgrasland zonder zeldzame soorten | Moerasstruisgras | 5,0 (4,9-5,1) | 0,8 (0,5-1,3) | 36,9 (14,6-58,2) | 3,8 (0-11,5) |
| Blauwgrasland met zeldzame soorten | Parnassia Spaanse ruiter Gevlekte orchis Blauwe zegge Blonde zegge Vlozegge Blauwe knoop Moeraswespenorchis Vetblad Tandjesgras Moerasstruisgras | 5,0 (4,5-5,9) | 0,5 (0,1-0,9) | 63,0 (39,9-95,3) | 0 |
| Vergraste heide | Pijpestrootje Bochtige smele | 4,2 (4,2-4,2) | 4,4 (4,2-4,5) | 229,1 (15,8-443,2) | 34,0 (10,1-58) |

Tabel 1. Vegetatietypen en bijbehorende differentiërende bodemchemische factoren. pH, aluminium/calcium-

verhouding (Al/Ca) en fosfor (P) werden in water-extracten bepaald, stikstof (ammonium + nitraat) in

natriumchloride-extracten (gehalten in $\mu\text{mol kg}^{-1}$ drooggewicht). (Bron: De Graaf et al., 1994)

Fig. 1. Effecten van verschillende concentraties ($\mu\text{mol l}^{-1}$) aan aluminium (Al) en calcium (Ca) op de groei, bij laboratoriumproeven met Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*) en Struikheide (*Calluna vulgaris*). Bij een hoge aluminiumconcentratie neemt bij Spaanse ruiter het gewicht van zowel de wortels (donker) als de spruit (licht) af (linkerdeel figuur). Dit negatieve effect wordt bij gelijktijdige hoge calciumvoorziening weer gedeeltelijk tenietgedaan (rechterdeel figuur). Struikheide, een soort uit een zure omgeving, is niet gevoelig voor een verhoging van de aluminiumconcentratie.

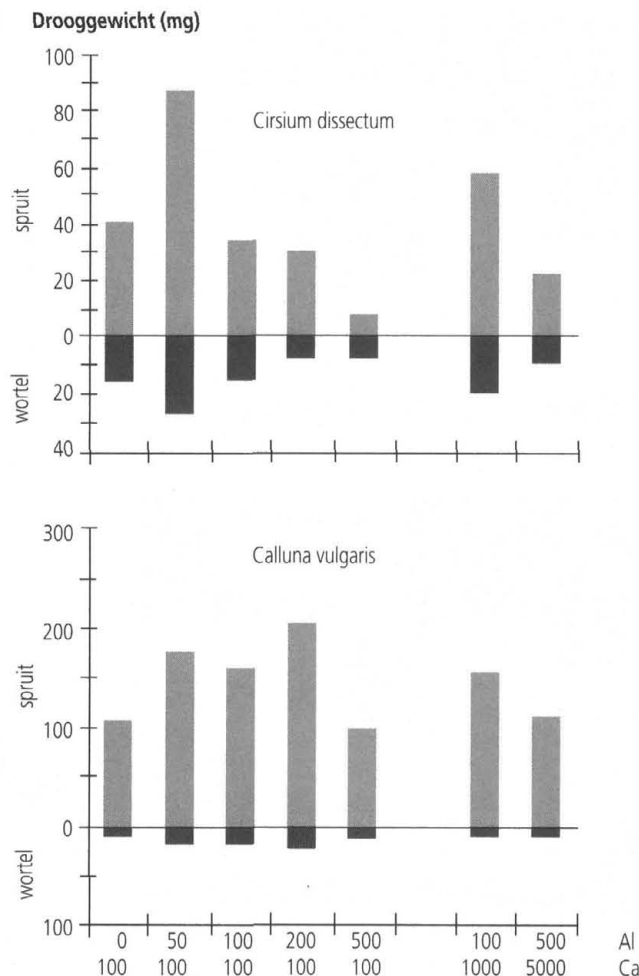
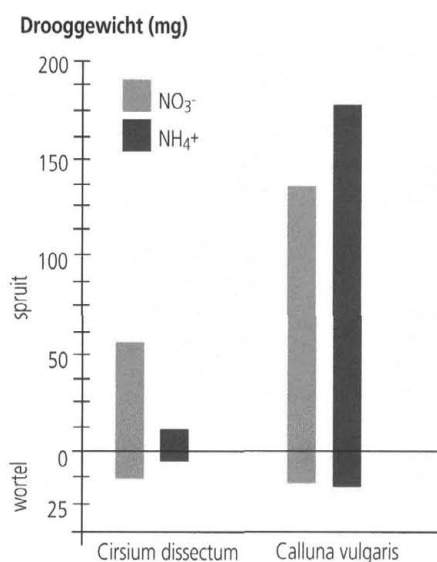


Fig. 2. Nitraat of ammonium? Een laboratoriumexperiment laat zien dat Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*) nauwelijks groeit bij ammoniumvoeding ($100 \mu\text{mol l}^{-1}$; donkere balk), in vergelijking met nitraatvoeding ($100 \mu\text{mol l}^{-1}$; lichte balk). Struikheide (*Calluna vulgaris*), gewend aan ammoniumvoeding, groeit juist harder wanneer in plaats van nitraat, ammonium wordt gegeven.



keerde het geval. Hier vinden we zuurminnende, al dan niet vergraste vegetatietypen uit het Dopheideverbond (*Ericion tetralicis*), met planten die minder gevoelig zijn voor aluminium en goed met ammonium overweg kunnen.

Het gebruik van oppervlaktewater bij verdroging

Kan bij het beheer van verdroogde blauwgraslanden calciumhoudend oppervlakte-

water ingelaten worden om te compenseren voor verzuring? Hiermee lijken immers twee vliegen in een klap te worden geslagen: de grondwaterstand stijgt en de basenbezetting van de bodem wordt hersteld. In het verleden werd de basenbezetting in veel blauwgraslanden in het laagveengebied in stand gehouden door onregelmatige overstroming met beek-, beek- of rivierwater. Het probleem is echter dat het oppervlaktewater sindsdien

meestal veel rijker aan voedingsstoffen is geworden, waardoor het risico op verruiging van de vegetatie groot geworden is. Bovendien kunnen onder invloed van de huidige kwaliteit van het oppervlaktewater ook veranderingen optreden in de snelheid waarmee er binnen het blauwgrasland nutriënten vrijgemaakt worden.

Voor de blauwgraslanden die geheel afhankelijk zijn van grondwater, zoals in de meeste pleistocene delen van ons land, kan het gebrek aan grondwater niet zomaar opgelost worden door aanvoer van oppervlaktewater. De twee typen water verschillen namelijk in samenstelling, ook wanneer de calciumconcentratie en het EGV (electrisch-geleidingsvermogen, een maat voor de totale concentratie aan opgeloste stoffen) overeenkomen. Een belangrijk verschil is de hoeveelheid opgelost ijzer, die in oppervlaktewater laag is, doordat ijzer oxideert en uitlokt. Grondwater is vaak rijk aan opgelost ijzer, doordat het weinig of geen zuurstof bevat.

Op locaties waar ijzerrijk grondwater aan de oppervlakte komt, is meestal een dun olieachtig laagje op het water te zien, gevormd door bacteriën die energie onttrekken aan de oxidatie van het aangevoerde ijzer. Ijzer speelt een belangrijke rol bij de binding van fosfaat in de vorm van allerlei ijzerfosfaatverbindingen. Bij vervanging van grondwater door oppervlaktewater valt dit belangrijke mechanisme voor fosfaatbinding weg door het tekort aan ijzer. Hierdoor zal er extra fosfaat vrijgemaakt worden, waardoor de vegetatie kan gaan verruigen (Roelofs & Smolders, 1993; Jansen et al., 1996). Fosfaat is vaak (co)limiterend in blauwgraslanden. Bij toename van de fosfaatbeschikbaarheid gaat met name Moerasstruisgras (*Agrostis canina*) sterk toenemen (Pegtel, 1983; tabel 1).

Naast de binding van fosfaat speelt ijzer een belangrijke rol bij het binden van sulfide. In een natte bodem ontstaat meestal vrij sulfide, een giftige stof die naar de lucht ontwijkt als waterstofsulfide ('rotte-eierengas') en waarvoor onze neus zeer gevoelig is. Deze gereduceerde verbinding is al bij relatief lage concentraties in het bodemvocht giftig voor plantewortels. Opgelost ijzer, aangevoerd via het grondwater, slaat met sulfide neer in de vorm van ijzersulfiden (zoals pyriet) en zorgt ervoor dat de concentratie laag blijft. Oppervlaktewater mist deze ontgiftigende werking. Uit proeven met plaggen uit verschillende schraallandtypen,

Foto 2. Spaanse ruiter, hofridder van het blauwgrasland (foto: P. Verbeek).



waaronder blauwgrasland, bleek telkens dat met name de zeggen (*Carex* spp.) zeer gevoelig waren voor verhoogde sulfideconcentraties (Lamers et al., 1996). Russen (*Juncus* spp., waaronder Pitrus) waren wel goed bestand tegen de verhoogde sulfideconcentraties in het bodemvocht. Dit komt overeen met veldwaarnemingen op plaatsen met aanvoer van sulfaatrijk oppervlaktewater.

Hydrologie en voedingsstoffen

Blauwgraslanden worden gekenmerkt door een relatief lage beschikbaarheid aan voedingsstoffen. Het lijkt erop dat zowel fosfor als stikstof, en in mindere mate ook kalium beperkend kunnen zijn voor de vegetatiegroei (Pegtel, 1983; Vermeer, 1986; Egloff, 1987). In het verleden werden blauwgraslanden nogal eens met Krabbescheer (*Stratiotes aloides*) bemest, waardoor met name het kaliumaanbod in stand gehouden werd.

De beschikbaarheid van voedingsstoffen wordt sterk beïnvloed door de grondwaterstand. Bij verdroging wordt het aanbod aan fosfaat lager, doordat het sterker gebonden wordt aan ijzer in de bodem. De hoeveelheid beschikbaar stikstof neemt juist toe doordat de mineralisatie, het vrijkomen van voedingsstoffen door afbraak van organische stof, gestimuleerd wordt (Grootjans et al., 1986). Het hierbij vrijgekomen fosfaat wordt snel gebonden, met name aan ijzer. In een verdroogd blauwgrasland leidt de toename van de stikstofbeschikbaarheid niet tot een grotere totale opbrengst, doordat fosfaat de groei gaat beperken. Het leidt echter wel tot een drastische verschuiving van de samenstelling van de vegetatie. Kenmerkende zeggen verdwijnen en grassen als Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*) en Moerasstruisgras nemen toe (Grootjans et al., 1986).

De waterkwaliteit, de schommelingen van de grondwaterstand en de duur van hoge grondwaterstanden bepalen dus in sterke mate wat er voor de vegetatie aan voedingsstoffen beschikbaar komt. Veranderingen in de hydrologie van het blauwgrasland kunnen de nutriëntenbalans, die na vele jaren ingesteld is, danig in de war schoppen. Door de verschillen in de reactie van de soorten zal dan ook het vegetatiebeeld veranderen.

Voor blauwgraslandterreinen die van oudsher of sinds kort gevoed worden met oppervlaktewater kan de nutriëntenlast van het aangevoerde water een probleem vormen. De mate van beïnvloeding is afhankelijk van de afstand tot de beek of rivier en de waterstand. Wanneer er geen overstroming, maar alleen zijdelingse infiltratie optreedt, zal alleen de eerste smalle zone langs de watergang vervuilen, doordat veel voedingsstoffen tijdens het transport door de bodem weggevangen worden. De verder gelegen vegetatie wordt hierdoor weer van nutriëntenarm water voorzien (o.a. Meuleman et al., 1996). Bij overstroming dringt het eutrofe water ver het terrein in. De overstromingsvlakte kan hierbij een natuurlijk helofytenfilter vormen, dat de voedingsstoffen wegvangt. Hierdoor kunnen verder van de rivier of beek vandaan ook vegetaties ontstaan die afhankelijk zijn van een lager aanbod aan voedingsstoffen. Helaas zijn de overstromingsvlakten in Nederland vaak te smal om voldoende voedingsstoffen te verwijderen.

Bij compensatie van de grondwaterstands daling met oppervlaktewater zal echter, zoals eerder aangegeven, de fosfaatbeschikbaarheid toenemen door het wegvallen van een belangrijk deel van de ijzeraanvoer. Een bijkomend probleem bij het gebruik van oppervlaktewater wordt gevormd door het feit dat het oppervlaktewater in steeds grotere delen van Nederland in meerdere of mindere mate beïnvloed wordt door Rijn- en Maaswater. Dit is het gevolg van het inlaten van rivierwater ter compensatie van het watertekort. De alkaliniteit ('hardheid', (bi)carbonaatgehalte) van het huidige oppervlaktewater is vaak hoger dan die van het oorspronkelijke gebiedseigen grond- of oppervlaktewater. Een toename van de alkaliniteit werkt, binnen bepaalde grenzen, stimulerend op de afbraak van organisch materiaal (decompositie) en daarmee op het vrijkomen van voedings-

stoffen als fosfor en stikstof (mineralisatie). Met name bij verzuurde blauwgraslanden op veengrond kan er op deze manier eutrofiëring optreden. Vanwege het feit dat de nutriënten in de bodem van het blauwgrasland vastgelegd waren en nu vrijgemaakt worden, spreken we van interne eutrofiëring.

Daarnaast is, in vergelijking met de oorspronkelijke waterkwaliteit, de concentratie van sulfaat in het oppervlaktewater over het algemeen verhoogd. Het water van de grote rivieren bevat meer sulfaat door natuurlijke verweringsprocessen, lozingen vanuit industrieën en uitspoeling uit landbouwgebieden. Sulfaat wordt door bepaalde bodembacteriën gebruikt bij de afbraak van organische verbindingen. Hierbij wordt het omgezet in sulfide (sulfaatreductie), dat aan ijzer gebonden fosfaat kan vrijmaken en voor plantenwortels giftige concentraties kan bereiken (Roelofs & Smolders, 1993; Lamers et al., 1996). Bovendien heeft het bodemvocht bij toegenomen sulfaatreductie een hogere alkaliniteit, waardoor de afbraak van organisch materiaal gestimuleerd kan worden en nutriënten vrijkomen. Met name in (licht) verzuurde terreinen, waar deze afbraak geremd wordt door een lage pH en veel organisch materiaal opgehoopt is, kan de extra alkaliniteit eutrofiërend werken.

Doorstroomexperimenten

In het natuureservaat De Bruuk worden de delen van schraallanden waarin aangevoerd sulfaatrijk oppervlaktewater inzigt, geheel gedomineerd door Liesgras (*Glyceria maxima*) en Mannagras (*G. fluitans*). De concentraties fosfaat en sulfide in het bodemvocht zijn hier hoger dan in de niet beïnvloede delen van de terreinen, terwijl de concentratie aan vrij ijzer veel lager is. Het oppervlaktewater bevat daarentegen over het algemeen lage concentraties aan fosfor en stikstof, waardoor het onwaarschijnlijk is dat de eutrofiëring te

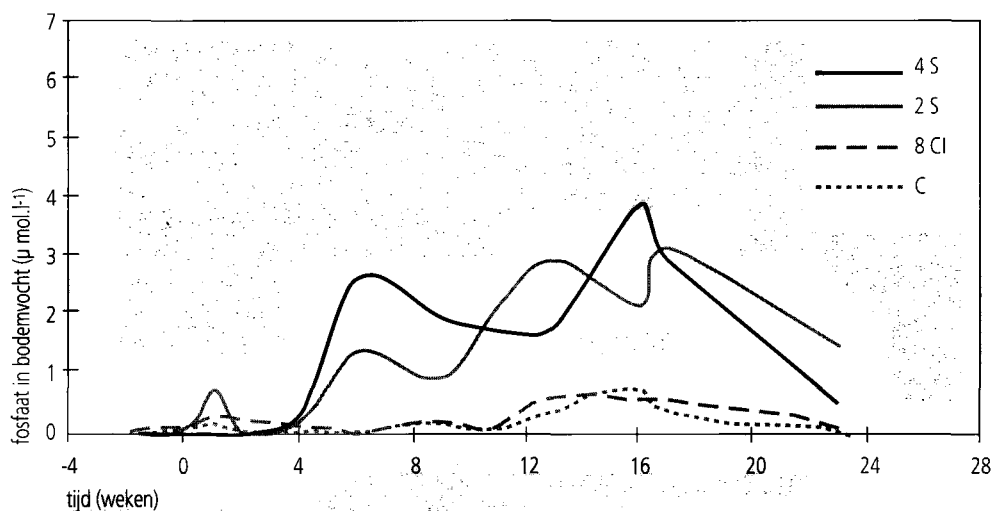


Fig 3. Verloop van de fosfaatconcentratie in het bodemvocht tijdens een experiment met blauwgraslandplaggen in een doorstroom-opstelling. Bij behandeling met sulfaatverrijkt water (2 mmol l⁻¹, 2S; 4 mmol l⁻¹, 4S) vindt er fosfaateutrofiëring plaats. Bij behandeling met sulfaatvrij (C) of chlorideverrijkt (8 mmol l⁻¹; 8Cl) oppervlaktewater wordt er nauwelijks fosfaat vrijgemaakt in de bodem.

wijten is aan de aanvoer van deze voedingsstoffen. Om te onderzoeken of deze paradox – een lage fosfaatconcentratie in het inzijgende oppervlaktewater en hoge concentratie in het bodemwater – te maken heeft met de aanvoer van sulfaat, is er een laboratoriumexperiment uitgevoerd. Hierbij werden plaggen uit de niet beïnvloede delen in De Bruuk een half jaar doorstroomd met al dan niet sulfaathoudend (kunstmatig) oppervlaktewater. De vegetatie bestond uit een Kleine-zeggengemeenschap gedomineerd door Zwarte zegge (*Carex nigra*) en Tweerijige zegge (*C. disticha*). Het bleek dat de aanvoer van extra sulfaat leidde tot een snelle fosfaateutrofiëring, door de verstoring van de binding van deze voedingsstof aan ijzer. Na vier maanden werd bovendien het aanbod aan ammonium in de bodem verhoogd door versnelde afbraak van organisch materiaal (Lamers et al., 1996). In de behandeling zonder sulfaat vond geen eutrofiëring plaats. In eenzelfde type experiment met intacte blauwgraslandplaggen uit de Urk'novensche Zeggen, veroorzaakte sulfaatverrijkt water eveneens eutrofiëring met fosfaat (fig. 3), maar niet met ammonium. Waarschijnlijk was de decompositiesnelheid al maximaal

door de goede buffering, of was er te weinig organische stof voorhanden voor snelle afbraak van organische stof.

Kemmers (1996) stelde dat de intensiteit waarmee interne eutrofiëring optreedt afhankelijk is van de beschikbaarheid van makkelijk afbreekbaar organisch materiaal. Vergelijking van de effecten van sulfaat bij de bodemtypen van beide hiervoor genoemde schraallandtypen, met behulp van de doorstroomexperimenten, leerde dat dit inderdaad het geval is. In de bodem uit De Bruuk, die veel meer makkelijk afbreekbaar organisch materiaal bevatte, was de absolute toename van de fosfaatconcentratie in het bodemvocht veel groter. De relatieve toename aan fosfaat (als percentage van de uitgangskonzentratie) was echter gelijk. De blauwgraslandplaggen in het experiment kwamen uit een terrein met een humusprofiel dat representatief is voor een groot deel van de blauwgraslandterreinen in Nederland. We concluderen dan ook dat er in de meeste blauwgraslanden waarschijnlijk nog voldoende organische verbindingen beschikbaar zijn voor een toename van de sulfaatreductie en daarmee samenhangende fosfaateutrofiëring. In (licht) verzuurde terreinen, met een stapeling van organisch materiaal, kan er door versnelde mineralisatie bovendien meer stikstof vrijkomen. Blauwgraslanden op een vrijwel minerale bodem zijn veel minder gevoelig voor interne eutrofiëring.

Het oppervlaktewater bevat naast sulfaat ook meer chloride dan vroeger. Mogelijk wordt er ook hierdoor meer fosfaat vrijgemaakt in de bodem (Meuleman et al., 1996), of wordt de opname hiervan door planten gestimuleerd door chloride. Bij de hiervoor genoemde experimenten konden we echter geen effect van chloride op de fosfaatconcentratie in

het bodemwater vinden (fig. 3). Het is belangrijk erachter te komen wat de effecten zijn van een veranderde waterkwaliteit op het vrijkomen van voedingsstoffen in natte schraallanden. Het alleen maar terugdringen van de hoeveelheid aangevoerde voedingsstoffen (fosfor, stikstof, kalium) lijkt in veel gevallen onvoldoende om eutrofiëring te voorkomen.

Grondwaterverontreiniging

In blauwgraslanden die niet door oppervlaktewater worden beïnvloed, wordt een groot deel van de nutriënten aangevoerd door het grondwater. Grondwater afkomstig van intensief bemeste landbouwgrond, dat slechts een korte weg afgelegd heeft, is vaak sterk geëutrofiëerd. Met name de ammonium- en nitraatgehalten kunnen erg hoog zijn. Uit bemestingsexperimenten is gebleken dat een toename van de stikstofbeschikbaarheid in blauwgraslanden kan leiden tot een sterke uitbreiding van Pijpestrootje, ten koste van de overige soorten (Vermeer, 1986). De waarden voor fosfaat, dat veel minder mobiel is in de bodem, zijn voornamelijk minder sterk verhoogd. Nu echter op veel plaatsen in Nederland de bodems ook fosfaatverzadigd worden, neemt het risico op fosfaatverontreinigd grondwater snel toe.

Verhoogde nitraatconcentraties in het grondwater kunnen behalve hun eutrofiërende werking nog een ander probleem veroorzaken in natte schraallanden. In een vegetatie bij de Mosbeek werden gele vlekken in de overigens groene Veldrusvegetaties (*Juncus acutiflorus*) ontdekt. Op deze locaties, waar water afkomstig uit het nabijgelegen landbouwgebied uittrad, bleek het bodemvocht erg hoge nitraatgehalten te bevatten. Uit kasproeven bleek echter dat door de hoge concentratie nitraat, die in Nederlands grondwater helaas steeds vaker voorkomt, het ijzer zo vastgelegd werd binnen de plant dat het niet meer gebruikt kon worden. Hierdoor kon er nauwelijks meer bladgroen aangebracht worden. Deze verbleking onder invloed van nitraat kan ook in andere natte schraallanden, waaronder blauwgraslanden optreden. Het is echter nog onduidelijk welke andere soorten gevoelig zijn en welke gevolgen dit heeft voor de vegetatie.

Een ander probleem wordt gevormd door de toename van de sulfaatconcentratie in het grondwater. Deze verhoging is niet alleen het gevolg van sulfaatuitspoeling uit de landbouw, maar ook van de



natte schraallanden

hoge nitraatuitspoeling. Onder invloed van nitraat kunnen ijzersulfiden in de bodem geoxideerd worden, waarbij sulfaat vrijgemaakt wordt. Bij het natuurgebied de Lemselermaten (Eysink & De Bruijn, dit nummer), waar ook blauwgraslandvegetaties voorkomen, is de concentratie aan sulfaat in het diepe grondwater tegenwoordig meer dan het viervoudige van de waarde in de zeventiger jaren. Bij het transport naar de oppervlakte wordt een groot deel van het sulfaat gereduceerd. Dit gebeurt met name in de bovenste bodemlaag waarin veel organische stof beschikbaar is. Hierdoor worden er mogelijk, op dezelfde wijze als bij de aanvoer van sulfaatrijk oppervlaktewater, extra voedingsstoffen vrijgemaakt (Jansen & Roelofs, 1996). Bovendien treedt er bij het dalen van de grondwaterstand tijdens de zomer in een met sulfaatrijk water gevoede blauwgraslandbodem extra verzuring op. Dit is het gevolg van de reactie van de grote voorraad ijzersulfiden met zuurstof, waarbij zwavelzuur gevormd wordt (Lamers et al., 1996).

Atmosferische depositie van stikstof

De huidige totale atmosferische depositie van stikstof, voor Nederland gemiddeld ongeveer 30 kg.ha⁻¹.j⁻¹, is nog steeds een belangrijke bron voor extra stikstofaanvoer in blauwgraslanden. In sommige delen van Nederland, onder andere in oost-Brabant waar nog een aantal blauwgraslanden ligt, worden hogere waarden van 40-50 kg.ha⁻¹.j⁻¹ gemeten. De kritische (en krietieke) waarde voor mesotrofe venen en zwak-zure soortenrijke graslanden wordt geschat op 20-35 kg.ha⁻¹.j⁻¹. Bij hogere waarden is een toename van de grassen en een afname van de soortendiversiteit te verwachten (Bobbink et al., 1996). De huidige depositie zit gemiddeld dus aan de bovengrens van de kritische waarde voor blauwgraslanden, maar wordt regionaal of lokaal overschreden. Blauwgraslanden zijn

Foto 3. Blauwgrasland in het natuurreservaat De Bruuk. De volksnaam 'botterpot' verwijst naar de lemige en glibberige ondergrond in dit gebied (foto: L. Lamers).

veel minder gevoelig voor verhoogde stikstofdepositie dan bijvoorbeeld zwakgebufferde vennen, hoogveenrestanten of heiden, doordat ze van nature minder nutriëntenarm zijn en doordat een groot deel van de stikstof jaarlijks via het hooien afgevoerd wordt. Bovendien zijn er vrij grote gasvormige stikstofverliezen via denitrificatie. Naast de totale hoeveelheid stikstof, speelt echter ook de verhouding tussen ammonium en nitraat een belangrijke rol. Ammonium is immers niet alleen een voedingsstof (en dus eutrofiërend) maar deze verbinding kan, zoals eerder aangegeven, voor sommige planten ook giftig zijn.

Herstel

Wanneer er voldaan kan worden aan de juiste hydrologische en bodemchemische omstandigheden, zoals in dit verhaal aangegeven, is het vaak mogelijk blauwgraslanden te herstellen. De resultaten van herstelmaatregelen die in verschillende terreinen onder andere in het kader van EGM zijn uitgevoerd, getuigen daarvan (De Graaf et al., 1994; Jansen et al., 1996; Jansen & Roelofs, 1996; De Mars, 1996; Eysink & De Bruijn; De Bruijn & Hofstra; Rossenaar & Streefkerk; Jansen & Schipper, dit nummer). Dit geldt met name voor terreinen die niet of zeer weinig verdroogd zijn en waar nog de juiste abiotische omstandigheden aanwezig zijn: nat in de winter, droger in de zomer, een nutriënten aanbod dat laag genoeg is en een voldoende hoge basenverzadiging in de wortelzone. Het welslagen vereist wel

de nabijheid van blauwgraslandvegetatie of een min of meer intacte zaadbankvoorraad. In alle overige gevallen kan volledig herstel alleen door het opnieuw inbrengen van de soorten ('herintroductie') bewerkstelligd worden. De mate waarin en snelheid waarmee het herstel lukt, varieert echter. Voor zowel de beheerder als de onderzoeker, die tegenwoordig beide gedwongen worden om snelle resultaten te laten zien, is het echter prettig te weten dat er al in een onverwacht korte periode van vijf jaar heel wat mogelijk is.

Bij herstelbeheer in geëutrofiëerde, voormalige blauwgraslanden is het vaak nodig om lokaal te plaggen (5-10 cm) omdat de vegetatie, ook na vele jaren verschraling door hooien, nog steeds uit hoogproductieve grassen als Gestreepte witbol, Kweek (*Elymus repens*) of Hennegras (*Calamagrostis canescens*) bestaat. Restpopulaties van karakteristieke en zeldzame blauwgraslandsoorten, die kernen vormen van waaruit uitbreiding kan plaatsvinden, dienen hierbij gespaard te worden. In deze terreinen, waarin de oorspronkelijke hydrologie nog intact is, keren na plaggen van de verruigde vegetatie binnen een aantal jaren weer vele karakteristieke blauwgraslandsoorten terug (Eysink & Jansen, 1993; De Graaf et al., 1994; Jansen & Roelofs, 1996; Jansen et al., 1996; Eysink & De Bruijn; De Bruijn & Hofstra; dit nummer). Bij het plaggen moet echter voorkomen worden dat er depressies ontstaan waarin langdurig water blijft staan. Zuurstofarme omstandigheden leiden hier tot een ophoping van ammonium, waardoor nitraatminnende soorten uit het *Cirsio dissecti-Molinietum* het moeilijk krijgen (Jansen & Roelofs, 1996).

Terreinen die behalve geëutrofiëerd ook verdroogd en verzuurd zijn, zijn veel moeilijker te herstellen. Er bestaat een grote kans dat bij opnieuw verhogen van de grondwaterstand, maar zeker bij het inlaten van oppervlaktewater, de opgehoopte humus in snel tempo afgebroken wordt. Dit leidt tot een sterke eutrofiëring en verruiging van de vegetatie. Ook bij het aanvullen van de basenvoorraad door middel van bekalking bestaat dit gevaar. Op ongeplagde veenbodems zijn de resultaten met bekalking van sterk verzuurde natte schraallanden niet erg hoopgevend (Van Diggelen et al., 1996). Het opnieuw verhogen van de grondwaterstand nadat er geplagd is, biedt wel goede

vooruitzichten. In Het Verbrande Bos bij Staverden werden goede resultaten bereikt na plaggen en gedeeltelijk herstel van de hydrologie. Het grondwaterpeil werd verhoogd door opstuwning van het water in de hoofdwatgang en door demping van ontwateringsgreppels, waardoor het basenrijke water langer in het terrein bleef.

Voor verdroogde en verzuurde blauwgraslanden die oorspronkelijk gevoed werden door een lokaal hydrologisch systeem, vaak met leem in de ondergrond, is hydrologisch herstelbeheer relatief eenvoudig. Het herstellen van de oorspronkelijke hydrologie, hydrochemie en vegetatie van een in het verleden door een regionaal systeem gestuurd blauwgrasland is echter geen gemakkelijke opgave. Voor de restauratie van dit type blauwgrasland is het herstel van zowel het lokale als het regionale hydrologische systeem nodig.

Uit dit artikel mag blijken dat het compenseren van grondwatertekort met oppervlaktewater gepaard gaat met grote risico's. De beheerder krijgt waarschijnlijk een nat en gebufferd, maar geëutrofeerd terrein terug. Waarschijnlijk kan het blauwgrasland zich alleen goed ontwikkelen wanneer de oorspronkelijke hydrologie en bodemkwaliteit hersteld worden. Herstelmaatregelen zijn duur. Onderzoek naar de sturende abiotische factoren in blauwgraslanden is dan ook noodzakelijk om in te kunnen schatten of de herstelmaatregelen op de betreffende locatie ook daadwerkelijk tot herstel van de vegetatie leiden. Een kieskeurige vegetatie laat zich niet afschepen met een doekje voor het bloeden.

Literatuur

- Bobbink, R., M. Hornung, & J.G.M. Roelofs, 1996.** Empirical nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems. *Texte 71 III*: 2-54.
- Delft, S.P.J. van, 1995.** Humus- en bodemprofielen in natte schraallanden; resultaten van een bodemkundig onderzoek in 13 referentiegebieden voor het onderzoek naar Effectgerichte Maatregelen (EGM) tegen verzuring. Rapport 309, DLO Staringcentrum, Wageningen.
- Diggelen, R. van, R.M. Bekker, J.F.M. Spijksma & A.K. Wierda, 1996.** Natte hooilanden aan het infuus; oppervlaktewater als laatste redding? *Landschap 13/3*: 223-234.
- Egloff, T., 1987.** Gefährdet wirklich der Stickstoff (aus der Luft) die letzten Streuwiesen? *Natur und Landschaft 62 (11)*: 476-478.
- Erismann, J.W. & R. Bobbink, 1997.** De ammoniakproblematiek; Wetenschappelijke achtergronden. *Landschap 14/2*: 87-104.
- Eysink, A.Th.W. & A.J.M. Jansen, 1993.** Punthuizen, een Twents blauwgrasland: waterhuishouding, vegetatie en beheer. In: E.J. Weeda (red.), *Blauwgraslanden in Twente; Schatkamers van het natuurbehoud*: 50-64. Wet. Med. nr. 209, KNNV, Utrecht.
- Graaf, M.C.C. de, P.J.M. Verbeek, M.J.R. Cals & J.G.M. Roelofs, 1994.** Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring van matig mineraalrijke heide en schraallanden. Eindrapport monitoringsprogramma eerste fase. Vakgroep Oecologie, Werkgroep Milieubiologie, Katholieke Universiteit Nijmegen.
- Grootjans, A.P., P.C. Schipper & H.J. van der Windt, 1986.** Influence of drainage on N-mineralization and vegetation response in wet meadows. II.-*Cirsio-Molinietum* stands. *Acta Oecologica/Oecologica Plantarum 7 (21)*: 3-14.
- Jansen, A.J.M. & J.G.M. Roelofs, 1996.** Restoration of *Cirsio-Molinietum* wet meadows by sod cutting. *Ecological Engineering 7*: 279-298.
- Jansen, A.J.M., M.C.C. de Graaf & J.G.M. Roelofs, 1996.** The restoration of species-rich heathland communities in the Netherlands. *Vegetatio 126*: 73-88.
- Kemmers, R.H., 1996.** Humusprofielen en bodemprocessen; Beoordeling van mogelijkheden voor wateraanvoer. *Landschap 13/3*: 157-168.
- Lamers, L.P.M., A.J.P. Smolders, E. Brouwer & J.G.M. Roelofs, 1996.** Sulfaatverrijkt water als inlaatwater? De rol van waterkwaliteit bij maatregelen tegen verdroging. *Landschap 13/3*: 169-180.
- Mars, H. de, 1996.** Herstel van een afgeschreven blauwgrasland in de Vechtstreek? *De Levende Natuur 97(3)*: 123-129.
- Meuleman, A.F.M., B. Beltman & R.A. Scheffer, 1996.** Aanvoer van gebiedsvreemd water; Probleem of oplossing voor natte natuur in het veenweidegebied? *Landschap 13/3*: 181-191.
- Pegtel, D., 1983.** Ecological aspects of a nutrient-deficient wet grassland (*Cirsio-Molinietum*). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie X*: 217-228.
- Roelofs, J.G.M., 1993.** De fragiele balans tussen verzuring en verbasing in blauwgraslanden. In: E.J. Weeda (red.), *Blauwgraslanden in Twente; Schatkamers van het natuurbehoud*: 32-38. Wet. Med. nr. 209, KNNV, Utrecht.
- Roelofs, J.G.M. & A. Smolders, 1993.** Grote veranderingen in laagveenplassen door de inlaat van Rijnwater. *De Levende Natuur 94 (2)*: 78-82.
- Schaminée, J.H.J., 1993.** Het 'atlantische' blauwgrasland als plantengemeenschap: teloorgang en behoud gedurende deze eeuw. In: E.J. Weeda (red.), *Blauwgraslanden in Twente; Schatkamers van het natuurbehoud*: 15-31. Wet. Med. nr. 209, KNNV, Utrecht.
- Vermeer, J.G., 1986.** The effect of nutrient addition and lowering the water table on the shoot biomass and species composition of a wet grassland community (*Cirsio-Molinietum*). *Acta Oecologica/Oecologica Plantarum 7*: 145-155.
- Westhoff, V., 1993.** Blauwgraslanden, schatkamers van het natuurbehoud: aard en waarde van een onvervangbaar halfnatuurlijk landschap. In: E.J. Weeda (red.), *Blauwgraslanden in Twente; Schatkamers van het natuurbehoud*: 8-14. Wet. Med. nr. 209, KNNV, Utrecht.

Summary

Acidification and eutrophication of fen meadows (*Cirsio-Molinietum* vegetations)

Fen meadows (litter fens), characterised by mesotrophic *Cirsio-Molinietum* communities, were once very common in The Netherlands. They develop in slightly acidic wet hayfields, with sufficiently high groundwater tables in the winter to restore base saturation in the rhizosphere, and slight desiccation of the soil in the summer. During this century, fen meadows have severely declined because of changes in land use, desiccation and eutrophication. The present paper describes the effects of acidification (mainly as a result of water shortage) and eutrophication on these wet meadow vegetations. It focusses on the biogeochemical changes related to hydrological and hydrochemical alterations, and on the mechanisms involved with the decline of characteristic plant species. When base saturation is no longer restored due to shortage of groundwater, several acidification related factors like calcium shortage, aluminium dissolution, and an increased ammonium to nitrate ratio, threaten these species. Changes in the nutrient supply, due to desiccation or to the influx of extra nutrients, favour several fast growing graminoids at the expense of other species. Attention is paid to the differences between surface water and groundwater quality, in relation to restoration measures of damaged fen meadows. The use of surface water to compensate for groundwater shortage entails a risk of eutrophication, because of concomitant nutrient inputs and extra internal mobilisation of nutrients. It is concluded that knowledge of the controlling abiotic conditions is vital for restoration management of degraded fen meadows.

Dankwoord

Wij zijn alle beheerders van de terreinen waarin onderzoek is uitgevoerd zeer erkentelijk voor de interesse en de prettige samenwerking. Verder willen we graag alle studenten en medewerkers die een bijdrage leverden aan het verzamelen van kennis over natte schraallanden, danken voor hun inzet en enthousiasme.

Drs. L.P.M. Lamers, drs. M.C.C. de Graaf, dr. R. Bobbink & dr. J.G.M. Roelofs
Afd. Aquatische Oecologie & Milieubiologie, KUN
Toernooiveld 1
6525 ED Nijmegen