



Voormalige wintersituatie in de Bennekomse Meent (locatie A) ten gevolge van het vasthouden van neerslagwater.

Hydrologische maatregelen voor het herstel van blauwgrasland in de Bennekomse Meent

D. van der Hoek
& W.G. Braakhekke

In dit artikel is voor een gedeeltelijk verdroogd blauwgrasland onderzocht wat de invloed is van de diepte en kwaliteit van het grondwater op de beschikbaarheid van stikstof en fosfor in de bodem, de opname van deze voedingsstoffen door de vegetatie en de gevolgen daarvan voor de soortensamenstelling. Met behulp van twee hydrologische modellen is vervolgens nagegaan welke ingrepen in de lokale waterhuishouding zinvol zouden kunnen zijn om de oorspronkelijke soortensamenstelling te behouden en te herstellen. Deze maatregelen zijn inmiddels uitgevoerd en lijken het gewenste effect te hebben.

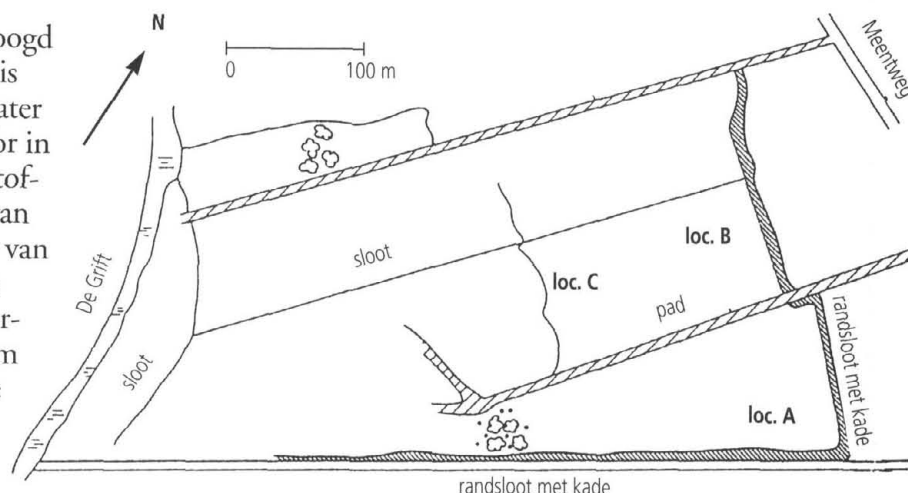


Fig. 1. Overzicht van de onderzoekslocaties in de Bennekomse Meent.

De Bennekomse Meent is een restant van de uitgestrekte, schrale, soortenrijke hooilanden - met plaatselijk orchideerijke blauwgraslanden - die nog tot ca 1950 in het zuidelijk deel van de Gelderse Vallei aanwezig waren. Het reservaat is 14 ha groot (fig. 1) en wordt omgeven door een gedraineerd, agrarisch gebied met intensieve bemesting. De randzone van het reservaat wordt beïnvloed door inspoeling van nutriënten en verdroging. Uit historisch-floristische gegevens blijkt dat er in de laatste decennia een verschuiving is opgetreden van plantensoorten die typerend zijn voor voedselarme, neutrale omstandigheden, zoals Blauwe zegge (*Carex panicea*) en Blonde zegge (*Carex hostiana*), naar snel groeiende soorten van meer voedselrijke en meer zure omstandigheden, zoals Gestreepte witbol (*Holcus lanatus*) en Smalbladige weegbree (*Plantago lanceolata*).

Van groot belang voor het gebied is de waterhuishouding. De Gelderse Vallei wordt geflankeerd door de stuwwallen van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. In de ondergrond van de Vallei bevinden zich twee lagen die voor water goed doorlatend zijn (aquifers), gelegen tussen minder doorlatende lagen van klei en veen. Het grondwater in de diepste aquifer wordt vooral gevoed vanuit het infiltratiegebied van de Veluwe en staat onder druk. Dit heeft met name 's zomers in het midden van de vallei een opwaartse stroming (kwel) tot gevolg die dan ca 0,6 mm/dag bedraagt. Dit basenrijke grondwater bepaalt de chemische samenstelling van het bodemwater in de venige bovengrond en overheerst de invloed van neerslagwater.

Drie onderzoekslocaties

Drie locaties binnen het reservaat zijn nader onderzocht: twee locaties aan de rand (locatie A en B) en één in het centrum van het reservaat (locatie C), waar de invloed uit de omgeving het geringst is en waar de kwel relatief sterk is (fig. 1).

Bij locatie A ligt op de zandige ondergrond een dunne (20 cm), venige bovengrond. De grondwaterstand wordt er beïnvloed door de ontwatering in het aangrenzende agrarische gebied. Deze locatie is sinds zo'n twintig jaar omsloten door een kade, een hoog gelegen pad en een zandopduiking en is als het ware in een bassin gelegen. Dit is gedaan om neerslagwater vast te houden teneinde de verdroging te bestrijden. Op deze locatie is een toename van soorten als Reukgras (*Anthoxanthum odoratum*), Tandjesgras (*Danthonia decumbens*), Rood zwenkgras (*Festuca rubra*) en Schapegras (*Festuca ovina*) waargenomen.

Locatie B neemt in veel opzichten een tussenpositie in tussen de locaties A en C. De venige bovengrond is er 20-50 cm dik en er treedt een beperkte drainerende werking op vanuit de randsloot. De invloed van basenrijk grondwater is hier sterker dan bij A maar minder dan bij locatie C. Op deze locatie is een afname geconstateerd van Blauwe zegge, Blonde zegge, Spaanse ruiter (*Cirsium dissectum*) en Klokjesgentiaan (*Gentiana pneumonanthe*) en een toename van Gestreepte witbol, Smalbladige weegbree en Moerasspirea (*Filipendula ulmaria*).

Locatie C is gelegen op een veengrond. De zandondergrond bevindt zich op ca 1 m diepte. Het basenrijke grondwater reikt tot in de wortelzone. Blauwe zegge, Blonde zegge, Pijpestrootje (*Molinia caerulea*) en Spaanse ruiter hebben hier de grootste bedekking. Bovendien komen zeldzame soorten als Vlozegge (*Carex pulicaris*) en Klokjesgentiaan talrijk voor. Er is hier de afgelopen vijftig jaar nauwelijks of geen verandering opgetreden in de samenstelling of in de bedekking van de soorten.

Bemestingsexperiment

Om inzicht te verkrijgen in de relatie tussen waterhuishouding, voedingsstoffenhuishouding en samenstelling van de vegetatie is eerst een bemestingsexperiment uitgevoerd. Hiermee kan nagegaan worden welk element (N en/of P) bepalend is voor de soortensamenstelling en de groei van de vegetatie (Van Mierlo et al., in voorbereiding). Verspreid over een jaar werden in de locaties B en C 200 kg N/ha en/of 40 kg P/ha gegeven, in de volgende vier combinaties: geen bemesting, N-bemesting, P-bemesting, N- en P-bemesting. De hoeveelheden werden hoog genoeg geacht om eventuele bestaande beperkingen op te heffen. De respons van de vegetatie werd 4 jaar lang gemeten.

Op locatie B, aan de rand van het reservaat, had de N-bemesting geen effect, hetgeen aantoont dat N in de randzone niet beperkend is. Dit komt waarschijnlijk door extra toevoer van N uit het aangrenzende agrarisch gebied of door versterkte mineralisatie van het veen tijdens de in het voorjaar optredende grondwaterstandsdaaling. De P-bemesting had een toename van de biomassa tot gevolg en bovendien een verandering van de soortensamenstelling. In plaats van een vegetatie gedomineerd door zegges, vooral Blauwe zegge, ontwikkelde zich een vegetatie waarin grassen overheersten, vooral Gestreepte witbol.



Randsloot met kade als scherpe overgang van de Bennekomse Meent met de gedraineerde agrarische omgeving.

Fig. 2. Grondwaterstanden (cm -mv) en netto-nitrificatie (mg N-NO₃/kg/maand) op drie hydrologisch verschillende locaties met blauwgrasland (A t/m C).

Deze reactie geeft aan dat P hier beperkend is voor de biomassaproductie.

In het centrum van het reservaat (locatie C) resulteerde N-bemesting wel in een toename van de biomassaproductie, en is N dus wel beperkende factor. Er werd echter geen verandering in de bijdrage van verschillende soortengroepen aan de biomassa waargenomen. P-bemesting daarentegen leidde niet tot een toename in de productie, maar had wel een verandering van de soortensamenstelling tot gevolg, vergelijkbaar met de veranderingen op locatie B. Dat de productie na de P-bemesting hier niet toenam wil dus nog niet zeggen dat P geen beperkende factor is, juist omdat er wel een verandering in de soortensamenstelling op was getreden.

Mogelijk is het grootste deel van het toegediende fosfor weliswaar vastgelegd in de bodem, maar is de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing niettemin iets toegenomen. Door de extreem lage concentratie van P in de bodemoplossing is voor de concentratiestijging maar zeer weinig P nodig. De totale biomassaproductie kan daar niet van profiteren, want die wordt vooral bepaald door de snelheid waarmee steeds nieuwe P vrij komt van de bodemdeeltjes. De verandering in P-concentratie in de oplossing kan echter wel voordelig zijn voor plantensoorten met een weinig efficiënte P-opname, die het bij zeer lage P-concentraties afleggen tegen efficiëntere soorten.

Deze verklaring betekent dat de productie van blauwgraslanden vooral wordt bepaald door de hoeveelheid P die jaarlijks vrijkomt in de fosforkringloop. Deze hoeveelheid wordt in een stabiel ecosysteem vooral bepaald door de afbraak van organische stof en die is weer sterk afhankelijk van de grondwaterstand. De soortensamenstelling van blauwgraslanden wordt daarentegen vooral bepaald door de P-concentratie in de bodemoplossing. Deze concentratie hangt af van het chemisch

evenwicht tussen gebonden en opgelost P. De ligging van dit evenwicht wordt sterk bepaald door de chemische samenstelling van het bodemwater zoals de pH, en de concentraties van Ca²⁺, Fe²⁺ en Al³⁺. Als deze concentraties lager worden, bijv. door dat regenwater de plaats van grondwater inneemt, dan zal de P-concentratie in de bodemoplossing hoger worden, waarvan soorten met een minder efficiënte fosforopname kunnen profiteren. Voor een verandering in de soortensamenstelling is het kennelijk niet nodig dat er zoveel fosfor vrijkomt dat de biomassaproductie merkbaar toeneemt. De productie is in het blauwgrasland op locatie C overigens zo laag dat een geringe toename weinig invloed zou hebben op de lichtconcurrentie.

Samengevat komt deze verklaring er dus op neer dat de biomassaproductie vooral wordt bepaald door de waterkwantiteit in de wortelzone, terwijl de soortensamenstelling vooral wordt bepaald door de waterkwaliteit in de wortelzone.

Beschikbaarheid van N en P

Om bovengenoemde veronderstellingen nader te kunnen beoordelen zijn enkele processen onderzocht die de beschikbaarheid van N en P in de bodem bepalen en is gekeken naar de opname van deze elementen door blauwgraslandvegetaties. Het onderzoek werd uitgevoerd op 44 plaatsen die gelijkmatig waren verdeeld over de locaties A, B en C. De grondwaterstand werd 2x per maand gemeten. Gedurende 3 jaar werd de mineralisatie van N in het veld gemeten op 0-15 cm diepte, door incubatie van ongestoorde bodemmonsters in PVC buisjes. Ook werd in bodemmonsters onder meer de aanwezigheid van verschillende bindingsvormen van fosfor onderzocht (volgens Golterman, 1990). In het groeiseizoen van 1994 werden vijf keer vegetatiemonsters genomen, waarvan het gewicht en de mineralisatie werd bepaald.

Er bleek een positieve correlatie te bestaan tussen de diepte van het grondwater en de nitrificatie. In het centrum van

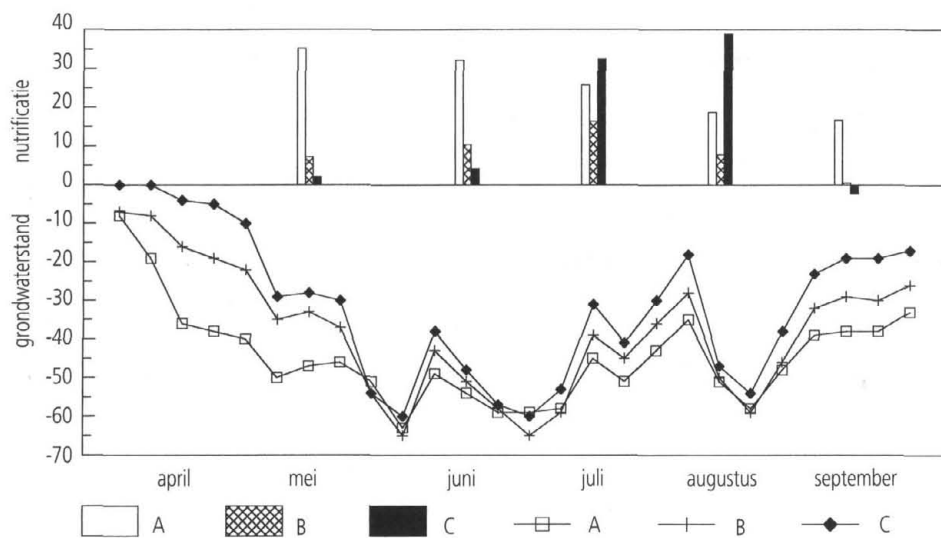


Fig. 3. Schematische weergave van de P-stromen (kg P/ha/jr) en P-voorraden (kg P/ha) in een blauwgrasland-ecosysteem tot een bodemdikte van 15 cm. De grootte van de (an)organische P-voorraden is afgebeeld op schaal 1:10.

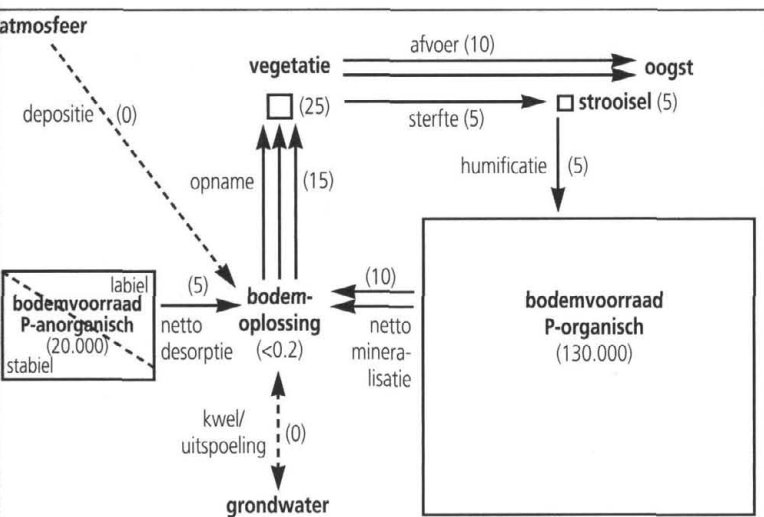


Fig. 4. Het gemeten verloop gedurende enkele jaren van het HCO₃⁻ gehalte van het grondwater op 10 cm onder het maaiveld in de uitgangssituatie (---) en de voorspelde waarden die op een diepte van 10 cm (a), 20 cm (b) en 30 cm (c) op zouden treden na het dempen van de randsloot. De berekeningen zijn uitgevoerd met de hydrologische modellen MICROFEM en ONZAT.

het reservaat (locatie C) gaan ondiepe grondwaterstanden in het begin van het groeiseizoen gepaard met een lage nitrificatie (fig. 2). Als gevolg van het hoge percentage organische stof (56%) van de veengrond en de 's zomers lage grondwaterstanden, kan de jaarlijkse nitrificatie echter toch nog aanzienlijk zijn. Vooral op locatie A, maar ook op locatie B, daalde het grondwatervniveau al vroeg in het voorjaar en werd er aan het begin van het groeiseizoen een relatief sterke nitrificatie aange troffen.

Evenals in het onderzoek van Grootjans (1985), blijkt ook hier dat de standplaatsen van blauwgraslanden worden gekenmerkt door tijdelijke inundatie, hoge voorjaarsgrondwaterstanden en een zomergrondwaterstand van maximaal 60 cm onder het maaiveld. De verschillen tussen de drie locaties hangen samen met hun hydrologische ligging. Op locatie A is de kwel afgenomen en is waterconservering met een kade duidelijk geen effectief middel tot herstel van de gewenste grondwaterstanden. Op deze locatie bleek de

natte schraallanden

grondwaterstand al in het voorjaar vrij laag te zijn als gevolg van sterke wegzijging en verdamping. Bovendien heeft het vasthouden van neerslagwater een ongunstige verzurende invloed als gevolg, blijkens de relatieve lage pH-waarden en de hoge sulfaatgehalten in het bodemvocht. Op locatie C komen juist hoge pH-waarden en hoge gehalten aan calcium en bicarbonaat in de wortelzone voor, wat een gevolg is van de kwel van het basenrijke grondwater (Van der Hoek & Van der Schaaf, 1988).

De bodemprocessen die invloed hebben op de beschikbaarheid van fosfaat zijn complex. Op basis van de onderzoeksgegevens en literatuur hebben we een schema opgesteld van de fosforkringloop in blauwgraslanden, waarbij de rol van het fosfaat in de bodemoplossing centraal staat (fig. 3). Uit het schema kan worden afgeleid dat in de bodem van deze blauwgraslanden de nettostroom van fosfaat naar de bodemoplossing vooral wordt bepaald door de afbraak van de organische stof. De concentratie van fosfaat in de bodemoplossing is echter de resultante van bindingsprocessen aan bodemdeeltjes en de efficiëntie van de P-opname door de vegetatie. Het schema geeft een gemiddeld beeld van de situatie op de drie locaties.

Opmerkelijk is dat de hoeveelheid fosfaat in de bodemlaag van 0-15 cm ruim 5000 maal zo groot is als de hoeveelheid in het gewas en in het strooisel. Dit betreft vooral organisch fosfaat dat onder de huidige omstandigheden nauwelijks wordt omgezet tot opneembare vormen van P. Omdat de voorraad anorganisch fosfaat ook vrij groot is zou, met name bij een verandering in de bodem-chemische omstandigheden, uit de labiele anorganische fractie veel P kunnen vrijkomen. Dit proces kan potentieel veel sneller verlopen dan de mineralisatie van organisch P, maar in praktijk zal zich waarschijnlijk in een stabiel ecosysteem met slechts kleine milieufunctuaties een evenwicht instellen, zodat er op jaarbasis nauwelijks anorganisch P aan bodemdeeltjes zal worden gebonden (adsorptie) of ervan zal vrijkomen (desorptie). Uit de beschikbare gegevens bleek dat de pH in de bodem van de blauwgraslandlocaties gebufferd wordt op ca 5,5, waardoor de verschillen in de beschikbaarheid van P niet kunnen worden verklaard uit veranderingen in de oplosbaarheid van ijzer- en calciumfosfaten. De aanwezigheid van basenrijk grondwater in de wortelzone is een essentiële voorwaarde voor het behoud van deze buffercapaciteit.



Spaanse ruiters, Klokjesgentiaan & Vlozegge zijn kensoorten van het blauwgrasland.



Uit deze gegevens concluderen wij uiteindelijk dat de verschillen in vegetatiesamenstelling tussen de locaties A en B hoofdzakelijk zijn te verklaren uit een verschil in de beschikbaarheid van stikstof.

Opname van N en P door blauwgraslandvegetaties

De opname van N en P door de vegetatie op de drie locaties was significant verschillend, vooral aan het begin van het groeiseizoen. Dit komt zowel tot uiting in de gehalten in de planten als in de opgenomen hoeveelheden per m². In mei is het N-gehalte in de planten op locatie A hoger dan op locatie B en op locatie B is het N-gehalte hoger dan op locatie C. Er zijn ook significante verschillen tussen de P-gehalten van de vegetaties op de drie locaties, uitgaande van de gegevens van het hele groeiseizoen. Het P-gehalte op locatie C was lager dan op de locaties A en B. Hetzelfde geldt voor de hoeveelheden N en P die door het hooien worden afgevoerd.

De N:P-verhouding in het gewas op de locaties, gedurende drie jaar in juli gemeten, varieerde van 12 tot 22, zonder significante verschillen tussen de locaties. De biomassaproductie van plantengemeenschappen wordt door P beperkt wanneer de N:P verhouding hoger is dan ca 11 (Pegtel et al., 1996) à 16 (Koerselman & Verhoeven, 1995). Deze waarden suggereren dat de biomassaproductie van het blauwgrasland in de Bennekomse Meent vooral beperkt wordt door de beschikbare hoeveelheid fosfaat. Het bemestingsexperiment toonde bovendien aan dat er op locatie C sprake is van co-limitatie door N en P.

De belangrijkste conclusie uit dit systeemecologisch onderzoek is dat kwel van basenrijk grondwater essentieel is voor het behoud van twee standplaatseigenschap-

pen die kenmerkend zijn voor het blauwgrasland: een hoge buffercapaciteit tegen verzuring in de wortelzone en hoge voorjaars- en zomergrondwaterstanden, waardoor er een lage mineralisatie van N en P optreedt. Een bijkomend relevant aspect van hoge grondwaterstanden is dat de bewortelingsdiepte wordt beperkt, waardoor er een geringere opname van nutriënten per m² mogelijk is en de concurrentie tussen plantensoorten wordt versterkt. Dit is nadelig voor diep wortelende soorten (zoals grassen) en gunstig voor ondiep wortelende, stress-tolerante soorten (zoals zegges) die meer zijn aangepast aan natte, voedselarme omstandigheden.

Hoe effectief zijn hydrologische herstelmaatregelen?

Voor het herstel van de standplaatseigenschappen van blauwgraslanden is een set van hydrologische maatregelen nodig. Allereerst dienen de oorzaken van de verdroging aangepakt te worden, zoals het verminderen van de grondwaterwinning en het beperken van de drainage in de omgeving. Dit laatste dient te voorkomen dat basenrijk grondwater zonder meer wordt afgevoerd en dat een reservaat water verliest aan zijn omgeving. Een interne hydrologische maatregel is het aanbrengen van ondiepe greppels in het reservaat. Hierdoor kan 's winters het neerslagoverschot oppervlakkig worden afgevoerd, waardoor wegzijging van regenwater en de daaraan verbonden verzuring wordt voorkomen (vergelijk Bootsma et al., dit nummer).

Om de effectiviteit van verschillende combinaties van hydrologische maatregelen rondom en in de Bennekomse Meent te voorspellen is gebruik gemaakt van twee hydrologische modellen: MICROFEM (Hemker & Van Elburg, 1988) en ONZAT (Van Drecht, 1983). Uit de modelberekening (Goossens & Van der Hoek, 1993) bleek dat het dempen van de randsloot op locatie A leidt tot een stijging

van de zomergrondwaterstand met 15 cm. De sterkere kwel en de hogere capillaire opstijging zullen leiden tot een grotere aanvoer van basenrijk grondwater in de wortelzone. 's Zomers zal het bodemvocht op 30 cm diepte voor 20 % tot 90 % bestaan uit basenrijk grondwater, afhankelijk van de neerslag. Op een diepte van 10 cm zou de bijdrage van het grondwater variëren van 0 tot 25 %, voldoende om de buffercapaciteit tegen verzuring in de wortelzone te waarborgen. Dat betekent dat het dempen van de randsloot al voldoende is om op locatie A de karakteristieke standplaatsomstandigheden voor een blauwgrasland te herstellen (fig. 4).

's Winters moet het overtollige neerslagwater in het reservaat zijdelings worden afgevoerd, zodat het niet te diep in de bodem kan dringen. Aanleg van nieuwe greppels is niet nodig, omdat het veen zeer doorlatend is en de bestaande ondiepe sloten in het reservaat het regenwater ook nu al voldoende snel kunnen afvoeren. Alleen de afvoer van neerslagwater uit de lagere delen bij locatie A is voor verbetering vatbaar. Daartoe zou de kade gedeeltelijk moeten worden opgeruimd en kunnen er enkele nieuwe greppeltjes worden gegraven. In het lage gedeelte bij locatie C moeten de bestaande greppels blijven functioneren, wat enig onderhoud vraagt. Begreppeling van de hogere delen in het reservaat is niet gewenst, omdat dit tot verdroging leidt.

Wanneer bovendien in de omgeving van het reservaat de helft van de aanwezige sloten wordt gedempt, zou dit leiden tot een verminderde afbuiging van de kwelstroom naar de omgeving, een extra versterking van de kwel en een grondwaterstandsverhoging in het hele reservaat. In de omgeving van het reservaat zal het dempen leiden tot een verminderde afvoer van neerslagwater, een afname van de kwelin-

vloed en een versterking van de verzuring in de bovengrond. De berekeningen wezen uit dat verhoging van het waterpeil in het aangrenzende kanaal, de Grift, een soortgelijk effect zal hebben, namelijk een toename van de kwel en stijging van de grondwaterstand in het reservaat en een afname van de kwel in de nabijheid van en in de Grift. De modelberekeningen geven dus aan dat het mogelijk moet zijn om de karakteristieke standplaateigenschappen van blauwgraslanden in de Bennekomse Meent op effectieve wijze te herstellen door een combinatie van hydrologische maatregelen.

Naast deze hydrologische maatregelen zijn er binnen het reservaat aanvullende maatregelen nodig om de reeds opgetreden eutrofiërings- en verzuringsverschijnselen weg te nemen. Door te plaggen kan de voedselrijke bovengrond worden verwijderd. Daardoor wordt tevens het maai-veld verlaagd, waardoor ter plaatse nattere omstandigheden ontstaan. Een nadeel van plaggen is echter dat de vegetatie wordt vernietigd en dat vaak ook een groot deel van de zaadbank wordt afgevoerd. Daarom is het aan te raden om alleen strooksgewijs en gefaseerd te plaggen. De voorspelling van het model ONZAT luidde, dat na 10 cm afplaggen het grondwater van locatie A op 30 cm diepte in het groeiseizoen voor 5-15 % uit kwelwater zou bestaan. In de winter zou dit aandeel 30-45 % zijn. Ook het plaggen biedt dus perspectieven voor het herstel van de basische omstandigheden in deze venige zandgronden.

De eerste resultaten

In 1994/1995 zijn enkele van de genoemde maatregelen uitgevoerd, waaronder het afdammen en dempen van sloten. De eerste resultaten laten zien dat de gewenste vernatting inmiddels tot stand komt. Het blijkt dat met name het aanpassen van het drainagesysteem in de omgeving effectief is. De vernatting heeft tot nu toe echter nog niet de gewenste uitwerking op de samenstelling van de vegetatie. Ruigtekruiden als Knoopkruid (*Centaurea jacea*) en Poelruit (*Thalictrum flavum*) nemen nog steeds toe in bedekking, terwijl de bedekking van typische blauwgraslandsoorten als Klokjesgentiaan en Vlozegge op hetzelfde niveau blijft. De bedekking van Haakmos (*Rhynchospora squarrosus*) en van grassen die wijzen op meer zure omstandigheden, zoals Schapegras en Tandjesgras neemt zelfs nog toe op de hoogst gelegen terreindelen. De boven-

grond is door de verdroging blijkbaar verzuurd en voedselrijker geworden. Bovendien wordt de kieming en hervestiging van blauwgraslandsoorten op veel plaatsen gehinderd door de dichte zode. De resultaten van plagexperimenten die zijn uitgevoerd in schraallanden van het Korenburgerveen (Dijkgraaf et al., 1993; Van der Hoek et al., 1994) tonen, dat wanneer er voldoende kwel van basenrijk grondwater voorkomt, het herstel van basische voedselarme omstandigheden door plaggen wordt versneld en dat karakteristieke en zeldzame soorten zich dan weer spoedig kunnen vestigen. Daarom wordt aanbevolen ook in de Bennekomse Meent de hydrologische maatregelen aan te vullen met het pleksgewijs afplaggen van de verdroogde hoge delen, ten einde het herstel van de blauwgraslandvegetatie te bespoedigen.

Literatuur

- Drecht, G. van, 1983.** Simulatie van het verticale, niet-stationaire transport van water en een daarin opgeloste stof in de grond. RIVM. Bilthoven. Rap. nr. 83-11.
- Dijkgraaf, E., C.L. van der Geest, D. van der Hoek, J.E.M. van Mierlo, 1993.** Is plaggen in natte graslanden een effectieve maatregel? De Levende Natuur 94 (5): 183-187.
- Golterman, H.L., 1990.** Sequential fractionation of sediment phosphate. Hydrobiologica: 143-148. Kluwer Academic Publishers, Belgium.
- Goossens, F.R. & D. van der Hoek, 1993.** Verbetering waterhuishoudkundige inrichting Bennekomse Meent. Landbouwuniversiteit en Heidemij Advies rap. nr. 634/EA93/A464/17269.
- Grootjans, A.P., 1985.** Changes of groundwater regime in wet meadows. PhD. Thesis. State University of Groningen, The Netherlands.
- Hemker, C.J. & H. van Elburg, 1988.** Microfem users manual (version 2.0). Microcomputer multi-layer steady state finite element groundwater modelling. Amsterdam.
- Hoek, D. van der & W. Braakhekke, in druk.** Restoration of soil chemical conditions of fen-meadow plant communities by water management in The Netherlands. In: European wet grasslands: biodiversity, management and restoration. John Wiley & Sons, Ltd. London.
- Hoek, D. van der & S. van der Schaaf, 1988.** The influence of water level management and groundwater quality on vegetation development in a small nature reserve in the southern Gelderse Vallei (The Netherlands). Agricultural Water Management, 14: 423-437.
- Hoek, D. van der, J.E.M. van Mierlo & J.D. van Walsem, 1994.** Effecten van maatregelen tegen verzuring in een schraalgrasland van het Korenburgerveen. Vakgroep Terrestrische Oecologie en Natuurbeheer, Landbouwuniversiteit Wageningen.
- Koerselman, W. & J.T.A. Verhoeven, 1995.** Eutrophication of fens ecosystems: external and internal nutrient sources and restoration strategies. Restoration of temporal wetlands. B.D. Wheeler et al. (ed.). John Wiley & Sons Ltd., London.
- Mierlo, J.E.M. van, J.M. van Groenendaal & D. van der Hoek, in voorbereiding.** A nutrient-driven shift in plant species dominance in a fen-meadow ecosystem.
- Pegtel, D.M., J.P. Bakker, G.L. Verweij & L.F.M. Fresco, 1996.** N, K and P deficiency in chronosequential cut summer-dry grasslands on gley podzol after the cessation of fertilizer application. Plant and Soil 178: 121-131.

Summary

Hydrological measures for restoration of a *Cirsio-Molinietum* vegetation

The availability of nutrients in most of the nutrient poor, species rich fen-meadow ecosystems in The Netherlands has increased due to lowering the groundwater level. Consequently, the biomass production has increased and many species have become locally extinct.

The effects of the availability of N and P on *Cirsio-Molinietum caeruleae* plant communities were studied in fertilizer trials of a nature reserve in the relatively wet centre and at the border, where the groundwater level had been lowered by drainage. It is concluded that there was co-limitation by N and P in the centre of the reserve, while there was only P-limitation at the border. We suggest that the species composition of these communities is determined by the P concentration in the soil solution, which depends on the chemical composition of the soil water, while the biomass production of the community is determined by the annual P-flux resulting from mineralisation of organic P, which depends on the groundwater level.

A continuous upward seepage of calcareous groundwater into the rootzone is essential for maintaining the chemical conditions in the root zone and for reducing fluctuations in the groundwater level in the growing season. Hydrological models were used to predict the impact of restoration measures on the quantity and quality of water in the root zone. It is concluded that the characteristic conditions of a *Cirsio-Molinietum* can be restored by reduction of deep drainage in the surroundings of the reserve by partial filling of existing ditches, in combination with measures inside the reserve, such as cutting of shallow trenches to remove a surplus of rainwater and turf-stripping to lower the surface level and to remove the eutrophicated top soil.

Dankwoord

De auteurs danken Ir. J.E.M. van Mierlo, Ir. F.R. Goossens, Ir. Tj. Hiemstra, Ir. P. Roos en Ir. H. Schaap voor hun opmerkingen en voor het beschikbaar stellen van hun onderzoeksgegevens.

Drs. D. van der Hoek & Dr. W.G. Braakhekke
Leerstoelgroep Natuurbeheer en Plantenecologie
Landbouwuniversiteit Wageningen
Bornsesteeg 69
6708 PD Wageningen