

VERNATTEN MET BELEID: LESSEN UIT HET RECENTE VERLEDEN

Esther C.H.E.T. Lucassen, Onderzoekcentrum B-ware, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

Jan G.M. Roelofs, Radboud Universiteit Nijmegen, Afdeling Aquatische Ecologie & Milieubiologie, Toernooiveld 1, 6525 ED Nijmegen

Sinds 1960 zijn de grondwaterpeilen in natuurgebieden in Limburg veelal sterk verlaagd ten gunste van de landbouw. Sinds het begin van de jaren negentig worden vernattingsmaatregelen uitgevoerd met als doel de natuurwaarde van deze gebieden te verbeteren. Opstuwen van grondwater lijkt dan een oplossing. Deze maatregel kan echter aanleiding geven tot fosfaatmobilisatie in de bodem. Dit proces, interne eutrofiëring genaamd, resulteert in woekering van ongewenste plantensoorten en achteruitgang van de oorspronkelijke flora en fauna. Interne eutrofiëring vindt in extreme mate plaats op hervernatte kalkarme, voormalige landbouwgronden die door de jarenlange bemesting zeer hoge fosfaatconcentraties bezitten. In dit artikel wordt het onderzoek beschreven naar de biogeochemische processen die plaatsvinden in (door grondwater gevoede) natte natuur en de hieruit af te leiden herstelmaatregelen die al dan niet succesvol zijn.



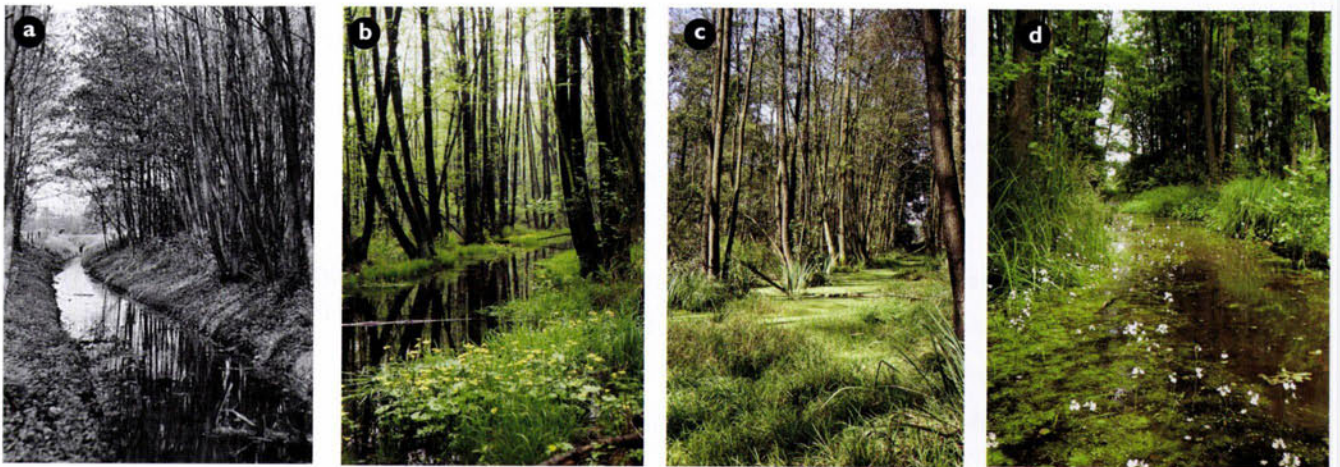
FIGUUR 1
Een kwellocatie in het
Dubbroek (Maasbree) in
1998 met roestvorming op
de bodem en groei van
Dotterbloem (*Caltha
palustris*) en Holpijp
(*Equisetum fluviatile*)
(foto: E. Lucassen).

VERANDERDE GRONDWATER- EN BODEMKWALITEIT

Het regionale grondwater is van nature rijk aan calcium (Ca) en ijzer (Fe). Door het in gebruik nemen van natuur als landbouwgrond, en de toegenomen bemesting, is de beschikbaarheid aan stikstof en fosfaat in landbouwbodems sterk toegenomen. Ammoniak (NH_3) oxideert tot nitraat (NO_3^-), dat zeer mobiel is en uitspoelt naar het grondwater. Hierbij passeert het oude mariene pyrietafzettingen, waardoor oxidatie van pyriet (FeS_2) optreedt en sulfaat (SO_4^{2-}) wordt gevormd. Het grondwater bevat tegenwoordig dus naast calcium, bicarbonaat en ijzer ook hoge concentraties nitraat en sulfaat (LUCASSEN *et al.*, 2005a).

BIOGEOCHEMIE VAN GRONDWATERAFHANKELIJKE NATUUR

Om de exacte invloed van grondwater op de bodemchemie en de verspreiding van hogere planten in door grondwater gevoede natuur te achterhalen, is in 1999 een verspreidingsonderzoek uitgevoerd in 15 elzenbroekbossen gelegen in oude Maasmeanders in Noord- en Midden-Limburg (LUCASSEN, 2004). Hierbij zijn drie typen locaties onderzocht die verschillen in grondwaterinvloed. Uit dit onderzoek is gebleken dat calcium en geoxideerd ijzer, aangevoerd via het grondwater, sterk aan fosfaat binden waardoor dit geïmmobiliseerd wordt. Daarnaast bindt calcium sterker aan het bodemadsorptiecomplex dan ammonium, waardoor het ammonium achtereenvolgens neerslaat of uitspoelt en de beschikbaarheid dus afneemt. Kwellocaties, die continu gevoed worden met calcium- en ijzerrijk grondwater, bevatten daarom zeer lage concentraties ammonium en fosfaat in het bodemvocht, in combinatie met extreem hoge ijzer(hydr)oxidenconcentraties in de bodem. Hierdoor worden ze gedomineerd door een soortenrijke vegetatie, bestaande uit soorten met een relatief lage biomassa die bovendien bestand zijn tegen extreem hoge ijzerconcentraties, waaronder Dotterbloem (*Caltha palus-*



FIGUUR 2

De Broekloop in het Kaldenbroek. Van links naar rechts: a) 1977, onder verdroogde condities (foto: P. van den Munckhof); b) 1998, direct na het permanent opstuwten van het oppervlaktewater (foto: E. Lucassen); c) 1999 (foto: E. Lucassen); d) 2005, twee jaar na het instellen van een natuurlijker waterregime (foto: E. Lucassen). Zichtbaar is de verruiging die optreedt ten gevolge van het permanent hoog opstuwten van oppervlaktewater, alsmede een verbetering van de vegetatie in 2005 nadat een meer natuurlijk waterregime is ingesteld.

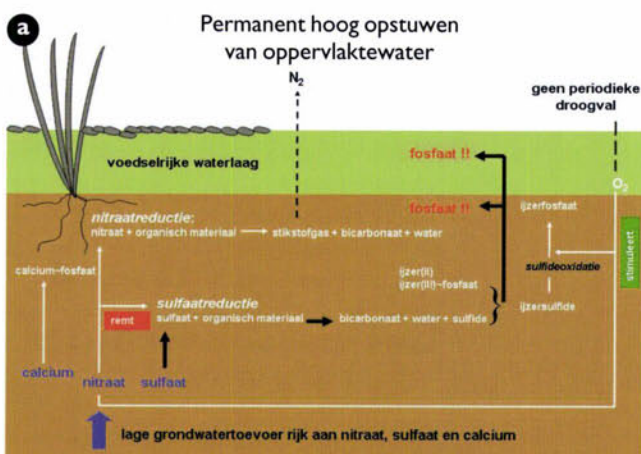
tris), Hoge cyperzegge (*Carex pseudocyperus*), Holpijp (*Equisetum fluviatile*), Grote boterbloem (*Ranunculus lingua*) en Scherpe zegge (*Carex acuta*) (figuur 1). Locaties die (gedeeltelijk) gevoed worden door afstromend oppervlaktewater bevatten ook hoge ijzerconcentraties in de bodem. Echter, de ammoniumconcentratie in het bodemvocht is door de lagere aanvoer van calciumrijk grondwater vele malen hoger dan op kwellocaties. Deze locaties worden daarom met name gedomineerd door plantensoorten die meer energie investeren in biomassa, waaronder Pluimzegge (*Carex paniculata*), Bitterzoet (*Solanum dulcamare*), Hennegras (*Calamagrostis canescens*)

en Wolfspoot (*Lycopus europaeus*). Locaties met stagnerend oppervlaktewater worden slechts in zeer geringe mate gevoed door grondwater en bevatten daarom de hoogste ammoniumconcentratie. Deze locaties bevatten tevens hoge fosfaatconcentraties in de bodem en de waterlaag, in combinatie met een relatief laag ijzergehalte in de bodem. In een opgestuwde stagnerende waterlaag treedt zuurstofloosheid op in de bodem, waardoor sulfaatreductie in de bodem gestimuleerd wordt. Hierbij wordt sulfide (S^{2-}) gevormd dat sterk aan ijzer bindt, waardoor aan ijzer gebonden fosfaat vrijkomt. Voedselrijke locaties met stagnerend oppervlaktewater worden daarom gedomineerd door soorten als Klein kroos (*Lemna minor*), Pitrus (*Juncus effusus*) en snelgroeïende grassen waaronder Liesgras (*Glyceria maxima*) en Mannagras (*Glyceria fluitans*). Deze grassen zijn niet opgewassen tegen hoge ijzerconcentraties in de bodem en komen daarom niet voor op de relatief voedselrijke locaties gevoed door oppervlakkig afstromend water waar de bodem wel hoge ijzergehalten bevat.

VERKEERDE MAATREGELEN

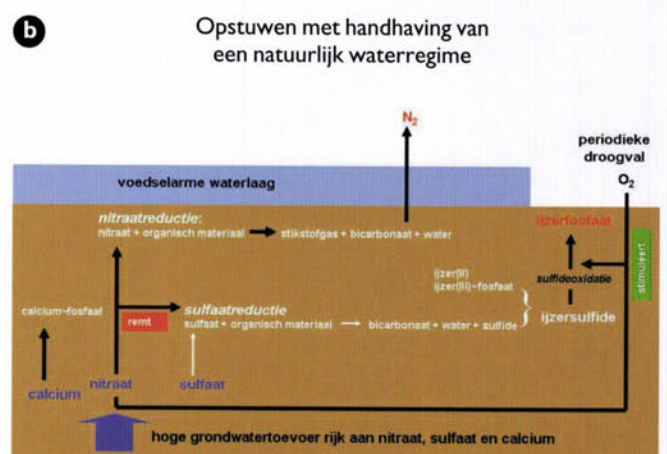
PERMANENT TE HOOG OPSTUWEN

Elzenbroekbossen die verdroogd zijn door oppervlakkige drainage kunnen vaak eenvoudig vernet worden indien er voldoende grondwaterdruk is. Door de drainagesloten te dempen vult het systeem zich met regionaal grondwater. Onder natuurlijke omstandigheden is in kwelgebieden sprake van een overschot aan grondwater dat via beken wordt afgevoerd. Indien de afwateringsbeek zo hoog opgestuwd wordt dat geen water meer wordt afgevoerd, stijgt het waterniveau in het broekbos tot de stijghoogte van het grondwater. Door het hoge stagnerende waterpeil vindt geen aanvoer van grondwater meer plaats en treedt in de zomer slechts in beperkte mate droogval op. Op basis van het beschreven verspreidingsonderzoek valt te verwachten dat het permanent hoog opstuwten van oppervlaktewater aanleiding zal geven tot een verhoogde ammonium- en fosfaatbeschikbaarheid, resulterend in massale



FIGUUR 3

Schematische weergave van biogeochemische processen die optreden bij het handhaven



van een permanent hoog stagnerend waterpeil (a) en bij het handhaven van een natuurlijk waterregime (b). De dominante processen zijn weergegeven met een vette zwarte pijl.

FIGUUR 4

De situatie van het Kaldenbroek in juni 2005. De moerasvegetatie in het centrale gedeelte van het Kaldenbroek laat zien dat elzenbroekbossen waar in het verleden een permanent te hoog waterpeil is gehanteerd, niet binnen korte tijd (twee tot drie jaar) herstellen indien weer een natuurlijker waterregime gehandhaafd wordt (foto's: E. Lucassen).

ontwikkeling van een ongewenste vegetatie. In het Kaldenbroek (Grubbenvorst) en het Koelbroek (Boekend), waar rond 1998 permanent hoge waterpeilen ingesteld werden, trad dit verschijnsel inderdaad binnen één jaar op. Tevens verdwenen in deze gebieden de doelsoorten die nog op de voormalige kwelplekken aanwezig waren (BOXMAN & STORTELDER, 2000) (figuur 2). Experimenten in het Dubbroek hebben uiteindelijk bevestigd dat het hanteren van een permanent te hoog waterpeil inderdaad de directe aanleiding is voor het verruigen van elzenbroekbossen. Een hoog waterpeil leidt tot een daling van de zuurstofbeschikbaarheid (redoxpotentiaal) in de bodem. In combinatie met de hoge sulfaataanvoer in het grondwater neemt de reductie van sulfaat en de gekoppelde veenafbraak sterk toe. Het sulfide (S^{2-}) dat hierbij gevormd wordt, bindt sterk aan geoxideerd ijzer en ijzer van ijzerfosfaatcomplexen, onder vorming van ijzersulfiden (FeS_x). De concentratie vrij reactief ijzer dat fosfaat kan binden neemt hierdoor af en fosfaatmobilisatie wordt gestimuleerd. Dit effect wordt nog eens versterkt door de verminderde aanvoer van ijzer en calcium via het grondwater. Het experimenteel laten stagneren van het oppervlaktewater in het Dubbroek, gaf aanleiding tot het verdwijnen van kranswieren en Drijvend fonteinkruid (*Potamogeton natans*) en de massale ontwikkeling van algen en kroos (LUCASSEN *et al.*, 2004a). Een schematische weergave van de biogeochemische processen die optreden ten gevolge van het hanteren van een permanent hoog waterpeil in sulfaatverrijkte grondwater gevoede natuur is gegeven in figuur 3.

Recente ontwikkelingen in het Kaldenbroek laten zien dat het achtereenvolgens minder hoog opstuwten van het oppervlaktewater sinds 2003 geleid heeft tot een verbetering van de vegetatie in de Broekloop. In deze voormalige drainagesloot treedt momenteel weer kwel uit en komt de kwelindicator Watervioier (*Hottonia palustris*) massaal voor (figuur 2). Echter in het centrale moerasge-



deelte heeft de vegetatie zich zeer zeker nog niet hersteld. De vegetatie is nog steeds sterk verruigd en breidt zich nog steeds uit. Plaatselijk komen wel de doelsoorten Slangewortel (*Calla palustris*), Kleine watereppe (*Berula erecta*), Grote boterbloem en verschillende zeggensoorten (*Carex spec.*) voor. Echter deze soorten komen enkel voor onder zeer voedselrijke condities in combinatie met een kroosdek en het betreft altijd onnatuurlijk grote individuen. Het feit dat de moerasvegetatie zich in twee tot drie jaar na het instellen van een natuurlijker waterpeilbeheer niet heeft hersteld, wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door de in gang gezette veenaf-

braak en fosfaaterfenis opgetreden ten gevolge van het hanteren van een permanent te hoog waterpeil in de voorafgaande jaren (figuur 4). Op de westflank van het Kaldenbroek is wel duidelijk vooruitgang te zien: een toename van met name veenmossen en grote zeggenvegetaties.

NIET INGRIJPEN IN DE FOSFAAT-BELASTING

Voormalige landbouwgronden zijn in het verleden sterk belast met stikstof en fosfaat. In tegenstelling tot nitraat spoelt fosfaat nageenog niet uit doordat het in de toplaag van de



FIGUUR 5

De ontwikkeling van *Pitrus* (*Juncus effusus*) op uit gebruik genomen landbouwgronden die reeds vernat zijn door het niet meer opschonen van drainagesloten, voorspelt de vegetatieontwikkeling die zal gaan optreden op voormalige landbouwgronden indien geen rekening gehouden wordt met de fosfaatbelasting in het verleden. Hier het Heuloërbroek in Bergen (foto: E. Lucassen).

bodem grotendeels gebonden wordt aan geoxideerd ijzer en/of aan calcium. In tegenstelling tot calciumgebonden fosfaat, is ijzergebonden fosfaat gevoelig voor veranderingen van de redoxpotentiaal in de bodem. Op relatief kalkarme bodems, zoals in Noord-Limburg, zal vernatten dus leiden tot reductie van grote hoeveelheden ijzerfosfaat in de bodem. Dit effect treedt minder sterk op in-

dien bodems rijk zijn aan calcium. Het vernatten van voormalige relatief kalkarme landbouwgronden, zonder in te grijpen in de hoge fosfaatbeschikbaarheid in de bodem, zal daarom direct aanleiding geven tot massale ontwikkeling van algen en ongewenste plantensoorten als *Pitrus* (LAMERS *et al.*, 2005). Het daadwerkelijk optreden van deze effecten was reeds voorspelbaar door het massaal ontwikkelen van *Pitrus* op uit gebruik genomen landbouwgronden die door het niet meer opschonen van de drainagesloten reeds vernat waren (figuur 5).

(tot beneden de potentiële stijghoogte van het grondwater), blijft een positieve grondwaterdruk gehandhaafd, waardoor doorstroming met grondwater plaats kan blijven vinden. Door het lagere waterpeil, in combinatie met de aanhoudende aanvoer van ijzer en nitraat via het grondwater, daalt de redoxpotentiaal in de bodem minder sterk. Hierdoor wordt sulfaatreductie en daarmee gepaard gaande ijzeruitputting en fosfaatmobilisatie geremd (LUCASSEN *et al.*, 2004b). Het fosfaat dat toch vrijkomt in de bodem wordt gebonden aan geoxideerd ijzer in de nog zuurstofbevattende toplaag van de bodem of wordt afgevoerd via de stromende waterlaag. Door het waterpeil in de zomer niet meer op te stuwen, treedt, zoals van nature, droogval op. Hierdoor oxideert eventueel gevormd FeS_x , waardoor weer geoxideerd ijzer gevormd wordt dat fosfaat kan binden. Het sulfaat dat bij oxidatie van FeS_x vrijkomt, kan het systeem verlaten via de waterlaag wanneer de invloed van grondwater weer toeneemt (LUCASSEN *et al.*, 2005b). Wisselende natuurlijke waterpeilen bevorderen tevens het verlies van stikstof uit het systeem doordat nitrificatie (omzetting van ammonium tot nitraat) kan plaatsvinden in de zuurstofrijke toplaag, gevolgd door denitrificatie (omzetting van nitraat tot stikstofgas) in die-

FIGUUR 6

De ontwikkeling van een troebel voedselrijk ven in de Valkenberg (Lomm) met massale groei van *Pitrus* (*Juncus effusus*), *Mannagras* (*Glyceria fluitans*), sterrenkroos (*Callitriche spec.*) en Veenwortel (*Persicaria amphibia*) (a), alsmede de ontwikkeling van een helder voedselarm ven in de Valkenberg met massale groei van *Moerashertshooi* (*Hypericum elodes*), *Pilvaren* (*Pilularia globulifera*) en plaatselijk *Oeverkruid* (*Littorella uniflora*) (b). In het voedselarme ven is, in tegenstelling tot het voedselrijke ven, de fosfaatverrijkte bodemlaag voldoende verwijderd in 2000. De foto's geven de situatie weer in juni 2005 (foto's: E. Lucassen).

SUCCESVOLLE VERNATTINGSMAATREGELEN

NATUURLIJK WATERPEILBEHEER

Door met behulp van een regelbare stuw het grondwater minder extreem op te stuwen



pere zuurstofloze bodemlagen (SMOLDERS *et al.*, 2003).

Het succes van dit type herstelmaatregel blijkt uit ontwikkelingen in het Dubbroek (Maasbree) waar het grondwaterpeil geleidelijk en minder extreem is opgezet, in combinatie met handhaving van natuurlijke waterpeilfluctuaties met plaatselijk tijdelijke droogval in de zomer. Deze maatregel gaf aanleiding tot het ontstaan van veel natte zones waar zowel flora als fauna zich, vanuit de voormalige kwelkern, geleidelijk naar hebben uitgebreid. In het Dubbroek is hierdoor de oppervlakte aan plantensoorten kenmerkend voor kwellocaties (met name Holpijp en Dotterbloem) enorm toegenomen (LUCASSEN *et al.*, 2002). Deze positieve ontwikkeling heeft zich tot op heden gehandhaafd. Een schematische weergave van de dominante biogeochemische processen die optreden bij het handhaven van een natuurlijk waterregime staan vermeld in figuur 3.

ONTGRONDEN EN/OF FOSFAATIMMOBILISATIE

Uit veldmetingen en laboratoriumproeven is de concentratie plant-beschikbaar fosfaat bepaald waarbij de kieming en groei van *Pitrus* geremd wordt. Door van een landbouwgrond voldoende representatieve bodemprofielen te analyseren, kan bepaald worden of het verwijderen van de fosfaatverzadigde bodemlaag een optie is om het systeem na hervernatting voedselarm te houden en dus woekering van *Pitrus* te voorkomen. Indien het fosfaatfront te diep in de bodem is doorgedrongen, is ontgronden geen optie vanwege de hoge kosten die dit met zich meebrengt. Momenteel wordt nog onderzocht of het gecombineerd bekalken van de bodem een optie kan zijn om eutrofiëring in voedselrijke bodems te voorkomen (kalk bindt fosfaat). Op sterk bemeste landbouwgronden, waar bovengenoemde maatregelen geen optie zijn, verdient de ontwikkeling tot een droog schraalland via begrazing en/of maaien en afvoeren van de vegetatie de voorkeur.

Het succes van het verwijderen van het fosfaatfront, alvorens het waterpeil op te zetten, blijkt uit verschillende restauratieprojecten die uitgevoerd zijn in opdracht van Stichting het Limburgs Landschap waaronder de Boshuizerbergen (Venray), het Heerenveen (Bergen) en de Valkenberg (Lomm). Het betreft allen vennen of wetlands die in het begin van de vorige eeuw zijn drooggelegd ten behoeve van de landbouw.

In deze gebieden hebben zich na het verwijderen van de fosfaatverzadigde bodemlaag Rode lijstsoorten ontwikkeld en gehandhaafd, waaronder *Pilularia globulifera*, *Moerashertshooi* (*Hypericum elodes*), *Duizendknoopfonteinkruid* (*Potamogeton polygonifolius*), *Violtende bies* (*Scirpus fluitans*) en zelfs *Oeverkruid* (*Littorella uniflora*) (figuur 6). Hieruit blijkt dus tevens dat er nog voldoende kiemkrachtig zaad in de bodem aanwezig is, zelfs na het verwijderen van een deel van de bodemlaag. Bij dit type restauratie treedt, uitgaande van een landbouwakker zonder enige natuurwaarde, altijd een winst situatie op voor de fauna.

NATUURONTWIKKELING OP BOSGRONDEN: EEN BETERE OPTIE?

Het omvormen van landbouwgronden tot wetlands is een kostbare maatregel. Wetlands zoals het Weerterbos, welke in het begin van de vorige eeuw zijn drooggelegd ten behoeve van de bosbouw, zijn nooit bemest en zijn dus arm aan fosfaat. In dergelijke gebieden kan volstaan worden met het verwijderen van de bomen, de organische top laag en het vervolgens dichten van de drains. De zo gecreëerde wetlands (waaronder het Koolespeelke) leidden tot een even zo positieve vegetatieontwikkeling als de eerdergenoemde vennen ontwikkeld op voormalige landbouwgronden. Het zou daarom wellicht een beter alternatief zijn om fosfaatarme marginale bosgronden weer om te vormen tot wetland en nieuwe bossen te creëren op fosfaatverzadigde voedselrijke landbouwgronden.

SUMMARY

REWETTING MEASURES: LESSONS FROM THE RECENT PAST

Permanently increasing the levels of sulphate-rich surface water, in order to restore desiccated groundwater-fed wetlands, gives rise to an undesirable development of lemnids and fast growing wetland grasses. Stagnating high water tables decrease the input of calcium and iron-rich groundwater and prevent periodic desiccation in summer. High water tables stimulate sulphate reduction in the sediment, resulting in production of sulphide, which strong-

ly binds to iron, forming FeS_x . These processes favour iron depletion and phosphate mobilisation in the sediment. This phenomenon occurs especially on calcium-poor former agricultural lands that contain high concentrations of iron-bound phosphorus in the soil. Successful restoration requires a naturally fluctuating water table. Maintaining a continuous flow of groundwater containing calcium, iron and nitrate requires that rises in water tables are not too extreme. Allowing periodic desiccation in the summer (using controllable weirs) means that FeS_x in the sediment can be oxidised, regenerating the phosphate-binding iron pool in the sediment. Overall, a natural water regime results in lower sulphate reduction rates and a higher phosphate-binding capacity of the sediment, preventing the growth of algae and undesirable wetland grasses. On calcium-poor former agricultural lands, the iron-phosphate saturated top layer of sediment should preferably be removed. The success of these restoration measures is proved by the favourable flora and fauna development in several restoration projects in the province of Limburg.

LITERATUUR

- BOXMAN, A.W. & A.H.F. STORTELDER, 2000. Hoe natter, hoe beter? De invloed van waterpeil bij maatregelen tegen verdroging in elzenbroekbossen. *Vakblad Natuurbeheer* 5: 75-77.
- LAMERS, L.P.M., E.C.H.E.T. LUCASSEN, A.J.P. SMOLDERS & J.G.M. ROELOFS, 2005. Fosfaat als adder onder het gras bij "nieuwe natuur". *H₂O* 17: 28-30.
- LUCASSEN, E.C.H.E.T., 2004. Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. Proefschrift. Radboud University Nijmegen, Afdeling Aquatische Oecologie & Milieubiologie, Nijmegen.
- LUCASSEN, E., J. VAN DE CROMMENACKER, R. PETERS & J. ROELOFS, 2002. Anti-verdrogingsmaatregelen en vegetatieherstel in elzenbroekbossen: het belang van een natuurlijk waterregime. *Natuurhistorisch Maandblad* 91 (3): 37-41.
- LUCASSEN, E.C.H.E.T., A.J.P. SMOLDERS, J. VAN DE CROMMENACKER & J.G.M. ROELOFS, 2004a. Effects of stagnating sulphate-rich groundwater on the mobility of phosphate in freshwater wetlands: a field experiment. *Archiv für Hydrobiologie* 160: 117-131.
- LUCASSEN, E.C.H.E.T., A.J.P. SMOLDERS, A.L. VAN DER SALM & J.G.M. ROELOFS, 2004b. High groundwater nitrate concentrations inhibit eutrophication of sulphate-rich freshwater wetlands. *Biogeochemistry* 67: 249-267.
- LUCASSEN, E.C.H.E.T., A.J.P. SMOLDERS, L.P.M. LAMERS & J.G.M. ROELOFS, 2005a. Water table fluctuations and groundwater supply are important in preventing phosphate-eutrophication in sulphate-rich fens: consequences for wetland restoration. *Plant and Soil*: 269: 109-115.
- LUCASSEN, E.C.H.E.T., A.J.P. SMOLDERS & J.G.M. ROELOFS, 2005b. Effects of temporary desiccation on the mobility of phosphorous and metals in sulphur-rich fens: differential responses of sediments and consequences for water table management. *Wetlands Ecology and Management*: 13: 135-148.
- SMOLDERS, A.J.P., E.C.H.E.T. LUCASSEN & J.G.M. ROELOFS, 2003. Waterpeilregulatie: een bron van aanhoudende zorg. *H₂O* 24: 17-19.