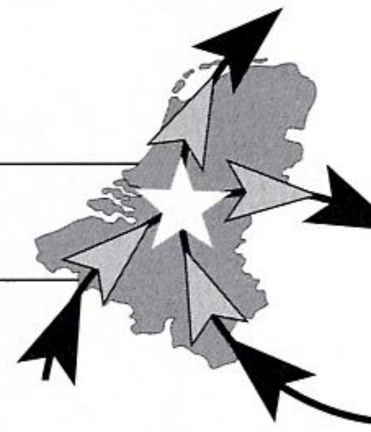
Wim Chardon
& Francisca Sival





De uitgangssituatie van natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden: intensieve landbouw.

Fosfaat: knelpunt voor realisering EHS op voormalige landbouwgronden?

Succesvolle natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden vraagt een geheel eigen aanpak. Na langdurige bemesting, grondbewerking, ontwatering en het gebruik van bestrijdingsmiddelen is de bodem verstoord, verdroogd en voedselrijker geworden. De kans is dan ook groot dat zonder verdere maatregelen alleen ruigtesoorten terug zullen komen. Naast stikstof heeft ook fosfaat zich opgehoopt in de bodem. In de bodem is het gedrag van fosfaat echter anders dan van stikstof. De maatregelen om stikstof te verlagen zijn niet altijd effectief om ook fosfaat te verlagen. Het is daarom belangrijk om inzicht te krijgen in de rol van fosfaat en welke (herstel-) maatregelen wel effectief zijn. Hiertoe werden binnen- en buitenlandse onderzoekers, beheerders van natuurterreinen en ecologen van de Dienst Landelijk Gebied (DLG) geïnterviewd en werd een aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd. In dit artikel worden de eerste resultaten beschreven.

Invloed van fosfaat

In het kader van de realisering van de EHS of bij de Reconstructie van gebieden met intensieve veehouderij worden voormalige landbouwgronden in gebruik genomen voor natuurbeheer. Bij de Dienst Landelijk Gebied (DLG), die adviseert over inrichting en beheer van uit productie genomen landbouwgronden, leefde de vraag of een hoog gehalte aan fosfaat in deze gronden een belemmering kan vormen voor natuurontwikkeling ter plaatse, en zo ja, hoe daarmee rekening gehouden kan worden bij inrichting en beheer van deze 'nieuwe natuur'.

Om deze vragen te beantwoorden werd een enquête onder binnen- en buitenlandse onderzoekers, beheerders van natuurterreinen en ecologen van DLG uitgevoerd, aangevuld met een literatuuronderzoek (Sival & Chardon, 2002). De belangrijkste conclusies van het onderzoek waren:

1. De (negatieve) eutrofiërende invloed van stikstof op de samenstelling van de vegetatie is alom bekend en uitgebreid bestudeerd. Door depositie vanuit de lucht kan de bestaande vegetatie bedreigd worden door een overmaat aan goed opneembare stikstof. Dit is niet het geval met fosfaat, waarbij de depositie vanuit de lucht verwaarloosbaar is en dat slecht beschikbaar is voor de vegetatie. Fosfaat wordt door bemesting toegevoegd aan de bodem. Het fosfaat accumuleert vervolgens sterk in de bodem (Marrs et al., 1991; Tallowin et al., 1998). Van de toegevoegde nutriënten wordt fosfaat door planten het minst opgenomen, heeft een lage oplosbaarheid, bindt sterk aan de bodem en spoelt nauwelijks uit.

2. In bestaande natuurgebieden wordt, in vergelijking met stikstof, relatief weinig onderzoek gedaan naar de invloed van fosfaat. Een uitzondering zijn studies naar het vergroten van de fosfaatbeschikbaarheid door verhoging van het waterpeil (Beltman et al., 2000; Lamers, 2001). De beschikbaarheid van fosfaat in de bodem kan toenemen bij een verhoging van de grondwaterstand, vooral bij water dat rijk is aan chloride, sulfaat of bicarbonaat (Beltman et al., 2000; Lamers, 2001). Dit wordt ook wel 'interne eutrofiëring' genoemd: er wordt geen fosfaat van buiten aangevoerd maar al in de bodem aanwezig fosfaat wordt beter beschikbaar en leidt vervolgens tot eutrofiëring. Door vernatting kan de oplosbaarheid van ijzer toenemen waardoor aan dit ijzer gebonden fosfaat vrijkomt. Zowel chloride als sulfaat kan fosfaat uit de bodem verdringen waardoor de beschikbaarheid ervan voor de vegetatie toeneemt; bicarbonaat stimuleert de mineralisatie waarbij fosfaat vrijkomt. Aldus kan door vernatting een hoog fosfaatgehalte in de bodem, zoals te verwachten is in voormalige landbouwgrond, leiden tot voedselrijke omstandigheden wanneer op dergelijke percelen 'natte natuur' wordt ontwikkeld.

3. In meerdere studies is beschreven dat de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem een sleutelfactor is voor de soortendiversiteit en drogestof-productie van graslanden (fig. 1; Willems et al., 1993; Kirkham et al., 1996; Oomes et al., 1996; Snow et al., 1997; Janssen et al., 1998; Gilbert, 2000).

4. Een te hoge beschikbaarheid van fosfaat leidt tot ruigtesoorten zoals Pitrus, Gewoon struisgras, Liesgras en Grote brandnetel; de groei van stikstofbindende soorten zoals klavers wordt erdoor bevorderd, zodat de locatie behalve fosfaat- ook stikstofrijk wordt.

5. Een hoge beschikbaarheid van fosfaat vormt vooral een probleem voor vegetaties die normaliter groeien onder door fosfaatgelimiteerde condities, zoals blauwgraslanden. Al in 1957 vond Boskma dat ver-

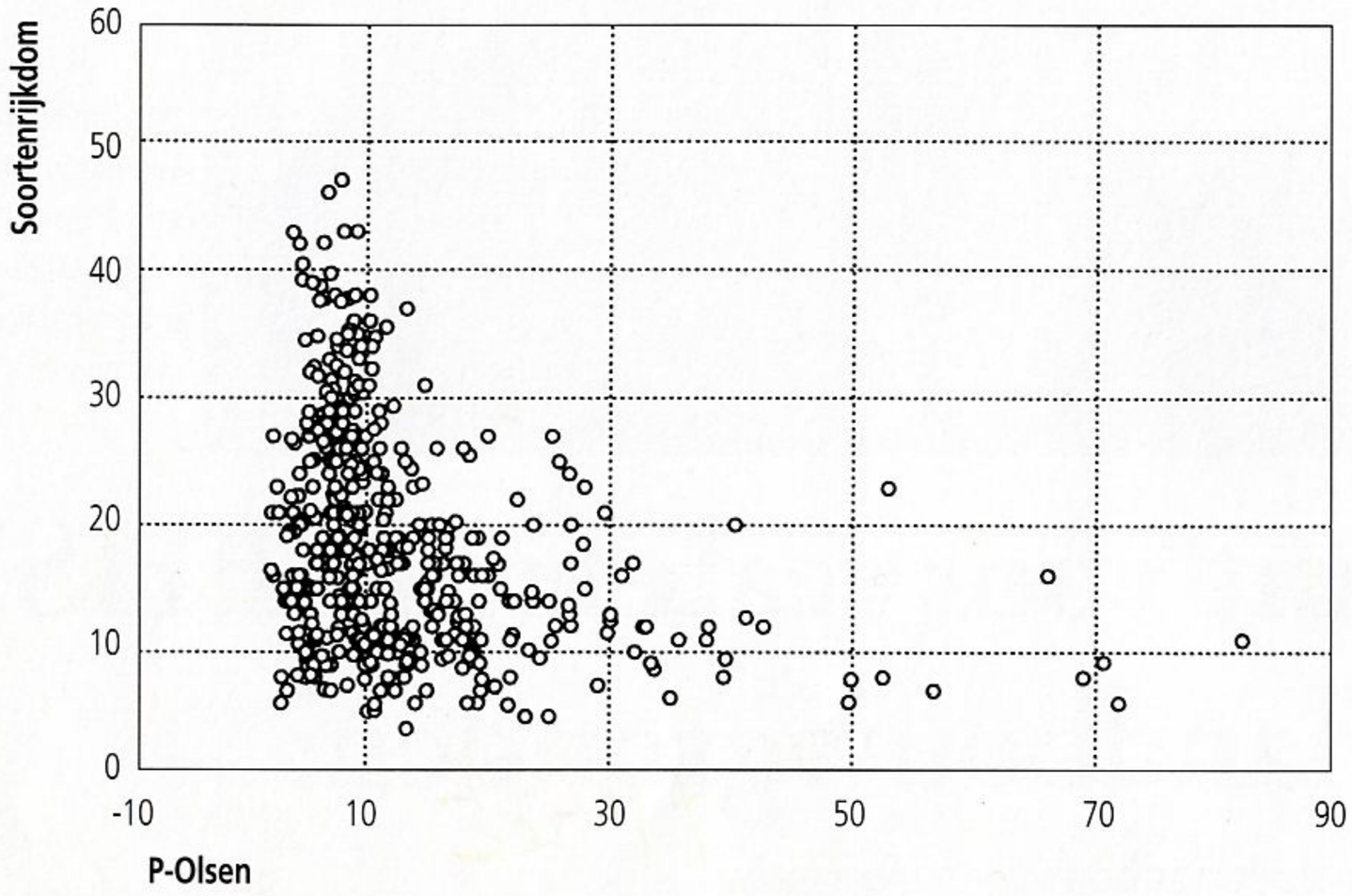


Fig. 1. Soortenrijkdom (aantal m^{-2}) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid P, gemeten als P-Olsen (mg P kg^{-1}) (uit: Chambers et al., 1999).

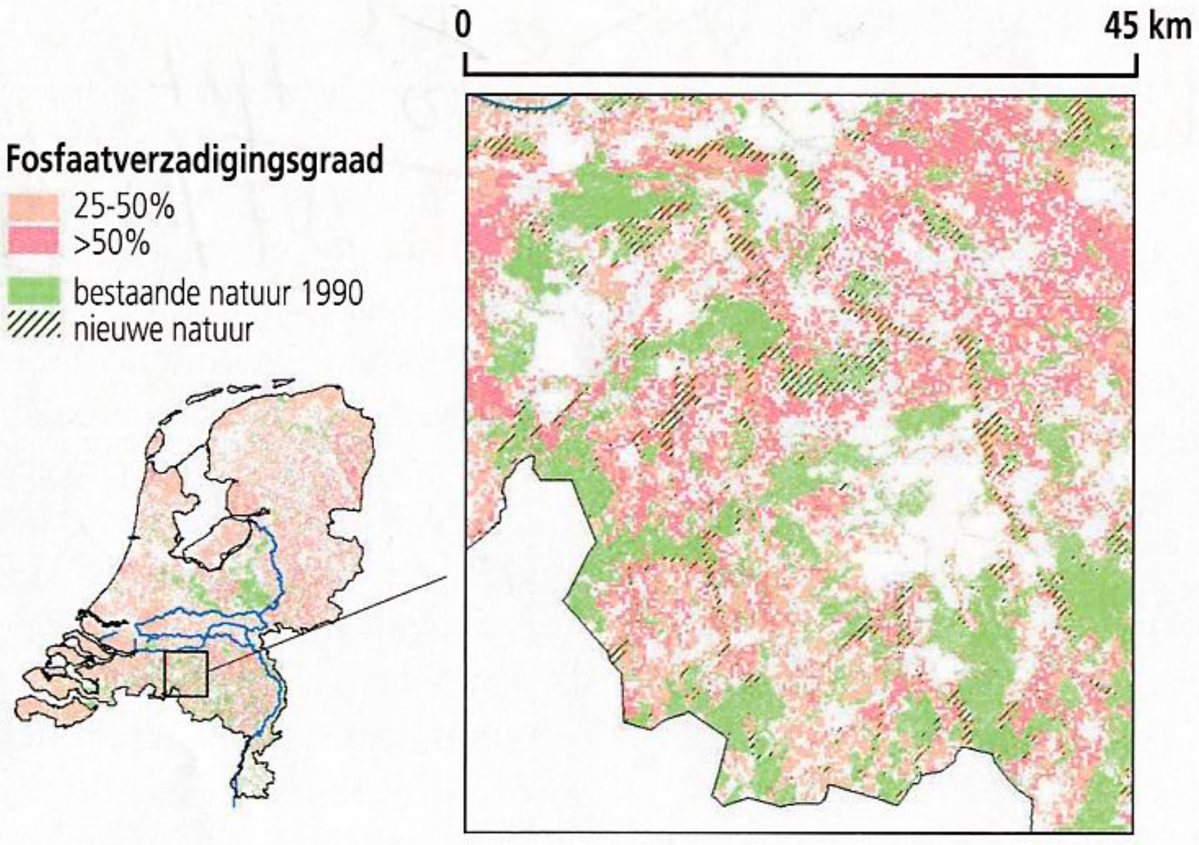


Fig. 2. De bestaande en nieuwe natuur (begrensde EHS 2003; bron DLG) in relatie tot de fosfaatverzadigingsgraad van landbouwgronden (bron: van den Bosch, Alterra).

Methode	eenheid	zeer laag	laag	optimaal	ref. *
P-Olsen	mg P / L	< 10	10-15	16-25	1
NH_4Ac-EDTA	mg P / kg	< 25	25-50	50-90	1
P-Al	mg P / kg **	< 80	80-130	130-170	2
Pw	mg P / kg **	< 4	4-7	7-10	3
P-Al	mg P_2O_5 / 100 g	< 18	18-29	30-39	2
Pw	mg P_2O_5 / L grond	< 11	11-20	21-30	3

Tabel 1. Landbouwkundige waardering van uitkomsten bodemanalyses voor uiteenlopende fosfaatbepalingsmethoden.
*** referentie: 1 = Tunney et al., 1997; 2 = CBGV, 1998; 3 = van Dijk, 1999.**
**** berekend uit gegevens uitgedrukt in P_2O_5; Pw berekend voor bodemdichtheid 1.3 kg L^{-1}**

Inrichtingsmaatregel	Beheermaatregel
plaggen / afgraven	maaien met afvoeren
diepploegen	begrazen
braakleggen	
uitmijnen	

Tabel 2. Gangbare maatregelen om de bodemvruchtbaarheid te verlagen; de effectiviteit ervan wordt in de tekst besproken.

hoging van de beschikbaarheid van fosfaat leidt tot het verdwijnen van soorten die kenmerkend zijn voor blauwgrasland, zoals Blauwe zegge.

6. Een kwantificering van de problematiek rond fosfaat. Het bepalen van een grenswaarde voor de beschikbaarheid van fosfaat voor de vegetatie wordt bemoeilijkt doordat in verschillende onderzoeken uiteenlopende chemische analyse-methoden worden gebruikt om de fosfaatbeschikbaarheid vast te stellen (tabel 1). Hierdoor zijn de resultaten van verschillende studies moeilijk vergelijkbaar. Verschillende analysemethoden zijn daarom met elkaar vergeleken in een vervolgonderzoek (Sival et al., in voorbereiding), en in een studie door Ghesquiere et al., 2002 (kader 1).

Welke inrichting- en beheermaatregelen?

De ruimtelijke verweving van bestaande en 'nieuwe' natuurterreinen die voorkomen op fosfaatrijke bodems wordt geïllustreerd in figuur 2. Voor een deel van Noord-Brabant is hierin aangegeven waar fosfaatverzadigde gronden en de begrensde natuur (bestaand en nieuwe) voorkomen.

Bij het inrichten en vervolgens beheren als natuurterrein op voormalige landbouwgrond zijn verschillende opties mogelijk om een overmaat aan voedingsstoffen af te voeren (tabel 2).

Onder plaggen wordt verstaan het verwijderen van de zodelaag (ca10 cm), met afgraven wordt bedoeld het verwijderen van de bouwvoor (ca 30-40 cm). Deze optie wordt veelvuldig toegepast, en in een aantal gevallen met succes. Vooral stikstof, dat zich ophoopt in de organische stof in de bouwvoor, wordt hierdoor effectief afgevoerd. De maatregel is voor fosfaat minder effectief: fosfaat bindt behalve aan organische stof ook aan minerale bodemdelen en kan dus ook onder de bouwvoor gebonden zijn, in tegenstelling tot stikstof. Dit is vooral het geval bij (sterk) overbemeste percelen zoals die in de zandgebieden in Oost- en Zuid-Nederland worden gevonden. Op maïsland werden in het verleden hoeveelheden dierlijke mest opgebracht die veel groter waren dan de behoefte van het gewas. Dit leidde enerzijds tot uitspoeling van stikstof en kalium uit de mest, en anderzijds tot ophoping van fosfaat tot vaak ver onder de bouwvoor (Lexmond et al., 1982). Het louter verwijderen van de bouwvoor heeft dus op dergelijke percelen minder effect wanneer getracht wordt om



Een bloemrijk grasland, als doel van natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden.

Vernatting wordt vaak toegepast bij natuurontwikkeling en kan tot gevolg hebben dat fosfaat in grote hoeveelheden beschikbaar komt.

al het bodemfosfaat te verwijderen; de na plaggen, nieuwe toplaag kan nog steeds (veel) te rijk zijn aan fosfaat. Percelen die permanent als grasland, dus niet als bouwland, in gebruik waren ontvingen destijds minder mest, omdat gras een overmaat hiervan niet kan verdragen (Ehlert, pers. meded.). Bij een afnemende productie van gras en in vruchtwisseling is het echter gebruikelijk om na een zekere periode (ca 7 jaar) het grasland om te ploegen en als maïsland in gebruik te nemen. Dergelijke wisselingen in bodemgebruik uit het verleden zorgen ervoor dat de voedselrijkdom van de bodem niet is af te lezen uit het bodemgebruik op het moment van het verkrijgen van landbouwgrond voor natuurontwikkeling. Bodemonderzoek is daarbij een noodzakelijk hulpmiddel en moet uitwijzen tot welke diepte voedingsstoffen zich hebben opgehoopt, waarna besloten kan worden of afgraven tot die diepte wenselijk en mogelijk is. Een nadeel van diep afgraven is echter dat de aanwezige zaadbank wordt verwijderd (o.a. Oomes et al., 1998). De mogelijke vernietiging van het archeologische bodemerfgoed en het verwijderen van cultuurhistorische patronen vormen eventueel ook een belemmering. Diep afgraven is uiterst kostbaar, niet altijd te herhalen, landschappelijk gezien niet altijd gewenst en hergebruik van de gewonnen grond is vaak moeilijk.

Diepploegen heeft als doel dat voedingsstoffen naar grote diepte worden verplaatst en een voedselarme bovenlaag ontstaat. Daarbij krijgen soorten en gemeenschappen van voedselarme omstandigheden betere condities.

Door braaklegging worden geen voedingsstoffen afgevoerd; door snellere mineralisatie kunnen zelfs meer voedingsstoffen vrijkomen.

Begrazing met koeien wordt vaak toegepast als beheermaatregel, maar is weinig succesvol in het verschralen van de bodem voor fosfaat.

Kader 1

Knelpunten bij bepaling P-beschikbaarheid van bodems

Katleen De Brouwere, Uldeen Gesquiere & Roel Merckx

Er bestaat veel onduidelijkheid rond de bepaling van fosfaat in de bodems van natuurgebieden. Het aantal gebruikte methodes is divers en de vergelijkbaarheid daarom bijzonder beperkt. Onderzocht is een accurate, ruim toepasbare methode om de beschikbare fosfor (P) hoeveelheid van bodems in natte natuurgebieden te kwantificeren (MINA project 112/00/03).

Op dertig testbodems uit natuurgebieden verspreid over Vlaanderen, variërend over een gradiënt van textuur (zand-organisch) en vochtgehalte (20-80 %) werden vier P-parameters bepaald: Olsenreagens extraheerbaar P (Olsen-P), anionuitwisselingsmembraan extraheerbaar P (AUM-P), isotopisch uitwisselbaar P (E-waarde) en oxalaat extraheerbaar P (Ox-P). Om het effect van staalconservering (de bewaring van bodemmonsters) na te gaan werden deze parameters gemeten op enerzijds 'verse' stalen (analyse binnen 4 dagen na staalname), en anderzijds op dezelfde stalen na 1 maand koele bewaring (4°C). Bovendien werden dezelfde P-parameters bepaald op gedroogde en gezeefde stalen (2mm).

Het effect van staalconservering was verschillend voor de verschillende onderzochte P-beschikbaarheidstechnieken. Er werd een min of meer goede overeenkomst tussen Olsen-P gemeten op verse bodemstalen enerzijds en koel bewaarde stalen (r = 0.76) of gedroogde stalen (r = 0.82) anderzijds waargenomen. De AUM-P parameter bleek gevoeliger te reageren op staalconservering: er werd een zwakkere overeenkomst waargenomen tussen AUM-P van verse stalen enerzijds en koelbewaarde (r = 0.52) en gedroogde stalen (r = 0.49) anderzijds. De E-waarde leverde bij gedroogde stalen inconsistente data op. Oxalaat extraheerbaar P werd enkel gemeten op koel bewaarde en gedroogde stalen, waardoor geen vergelijking ten opzichte van verse stalen mogelijk was.

De methodes om P-beschikbaarheid te meten berusten op verschillende mechanismen waarmee P in oplossing wordt gebracht en aldus gemeten wordt in de extracten. Zo is het te verwachten dat een vrij agressieve extraheermatrix zoals oxalaat meer P kan mobiliseren dan bijvoorbeeld de AUM-P methode, waarbij gemakkelijk beschikbaar P verzameld wordt op een 'sink'. Bij interpretatie van hoeveelheden beschikbaar P is het daarom steeds belangrijk de gebruikte techniek in het achterhoofd te houden.

Indien verschillende studies m.b.t. P-beschikbaarheid met elkaar vergeleken worden, zou het handig zijn om te beschikken over omrekeningsfactoren tussen verschillende P-beschikbaarheidsmeettechnieken. In deze studie werd gezocht naar dergelijke omrekeningsfactoren voor moerassige bodems en hierbij werd in eerste instantie gekeken naar correlaties tussen verschillende methodes voor deze set van bodems.

Correlaties tussen de meettechnieken waren echter zwak : AUM-P versus E-waarde: r = 0.11; AUM-P versus Olsen-P: r = 0.07; Olsen-P versus E-waarde: r = 0.32. De term 'beschikbaar P' is dan ook een begrip dat grotendeels bepaald wordt door de gebruikte methode.

Om meer inzicht te krijgen in welke parameter het beste beeld geeft van 'plantbeschikbaar' P werd op een beperkt aantal bodems (n=13) uit deze set een plantenonderzoek uitgevoerd. Hierbij werd onder gecontroleerde omstandigheden een testplant (Rietzwenkgras) gekweekt, waarbij de plantrespons gebruikt werd als rechtstreekse indicator van de 'plantbeschikbare' P. Alleen voor Ox-P werd een significante correlatie gevonden met plant P-parameters (P-opslag in plant en plant P-concentratie). Voorts was de correlatie tussen plant P-concentratie en Ox-P negatief (r = – 0.92) en dus weinig waarschijnlijk een betrouwbare weerspiegeling van 'plantbeschikbaar' P.

Conclusie

Onderlinge vergelijkingen van P-beschikbaarheidsparameters en P-plantrespons leidden niet tot de validatie van een meest geschikte parameter. Gezien het geringer effect van staalconservering bij Olsen-P en grotere staalvariaties bij AUM-P, is het gebruik van Olsen-P als P-beschikbaarheidsparameter het meest aangewezen voor analyse van bodems uit natte natuurgebieden in Vlaanderen. Er wordt echter op gewezen dat in deze studie ook deze P-index niet kon gevalideerd worden ten opzichte van plantrespons.

Uit deze studie blijkt dat verschillende methodes ter bepaling van beschikbaar P niet zonder meer met elkaar vergeleken kunnen worden en daarom is het aan te bevelen voldoende aandacht te besteden aan vergelijking van methodologie bij interpretatie en vergelijking van eerder uitgevoerde studies m.b.t. P-beschikbaarheid.

Literatuur

Ghesquiere U., K. De Brouwere, A. Thijs & R. Merckx, 2002. Abiotische onderbouwing van kwetsbare natuurtypes m.b.t. de thema's verdroging, verzuring en vermesting'. MINA-project 112/00/03. Eindverslag. KULeuven, Leuven.

Ir. K. De Brouwere, Ir. U. Gesquiere & Prof.dr.ir. R. Merckx
Laboratorium voor Bodemvruchtbaarheid en Bodembiologie, KU Leuven,
Kasteelpark Arenberg 20, B-3001 Heverlee
email: katleen.debrouwere@agr.kuleuven.ac.be

Onder uitmijnen van een bodem wordt verstaan: het op peil houden of brengen van de gewasproductie met een aangepaste bemesting van N en K, waardoor fosfaat in grotere hoeveelheden aan de bodem wordt onttrokken en kan worden afgevoerd. Zonder N- en K-bemesting kan na een aantal jaren verschralen stikstof- en/ of kaliumgebrek optreden, waardoor de productie van drogestof afneemt en steeds minder fosfaat wordt afgevoerd. Een aangepaste bemesting is dan noodzakelijk. Hiernaar is nog weinig onderzoek verricht, en de weinige experimenten zijn nog niet afgerond. In het Hengstven (Noord-Brabant) wordt geëxperimenteerd met het toedienen van kalium aan de bodem en het inzaaien van klaver om stikstof aan de bodem toe te voegen. De productie van het gras nam hierdoor in 1 jaar toe van 4,1 ton naar 6,8 ton droge stof ha^{-1}, en de afvoer van P van 21 naar 31 kg P ha^{-1} $jaar^{-1}$ (van Eekeren, 2003).

Als beheermaatregel is begrazen niet effectief om fosfaat af te voeren, omdat er niet of nauwelijks afvoer plaatsvindt; er wordt alleen fosfaat verplaatst van de begraasde plaatsen naar de plaatsen waar uitwerpselen worden gedeponeerd. Bij begrazen gaat wel stikstof verloren, door vervluchtiging of uitspoeling (Hendriks et al., 1985) en ook kalium kan lokaal uitspoelen (Oomes et al., 1998). Doordat fosfaat nauwelijks mobiel is in de bodem zal dit langs deze weg niet worden afgevoerd.

Maaien en afvoeren is vooral effectief voor het verwijderen van stikstof en kalium, omdat deze nutriënten goed worden opgenomen in bovengrondse delen van planten. Na verloop van tijd neemt de beschikbaarheid van deze stoffen dan ook af en daalt de drogestof-productie, en daarmee de snelheid waarmee fosfaat van het terrein wordt afgevoerd. Toedienen van stikstof en/of kalium (zie hiervoor) vergroot de effectiviteit van maaien en afvoeren als beheermaatregel.

In een vervolgonderzoek (Sival et al., in voorbereiding) werden in 2002 van 24 natuurterreinen op voormalige landbouwgronden in Noord-Brabant en Limburg de vegetatie en de bodem onderzocht. Er werd vastgesteld dat soorten die kenmerkend zijn voor voedselarme omstandigheden alleen werden gevonden bij een zeer lage beschikbaarheid van fosfaat (P-Al ca 5 mg P_2O_5 per 100 g grond). Een dergelijk niveau wordt alleen

gevonden op plaatsen waar in het verleden niet of nauwelijks bemesting met fosfaat heeft plaatsgevonden, of op plaatsen waar ijzerrijke kwel optreedt. Doordat hier steeds nieuw ijzer wordt aangevoerd wordt fosfaat hieraan gebonden en blijft de beschikbaarheid voor de vegetatie op een zeer laag niveau, wat een karakteristieke vegetatie oplevert (Kemmers, 2002).

Conclusies

In vergelijking met bestaande natuurterreinen is op (voormalige) landbouwgronden die natuurgebied worden de beschikbaarheid van fosfaat (zeer) hoog. Dit leidt er toe dat een ruigtevegetatie zal ontstaan wanneer geen inrichtings- en beheermaatregelen worden genomen. Het afgraven van de bouwvoor is niet altijd effectief in situaties waarin fosfaat zich ook onder de bouwvoor heeft opgehoopt. Bij het creëren van natte natuur op voormalige landbouwgronden die niet door ijzerrijk grondwater worden gevoed, is het risico groot dat een zeer voedselrijk systeem ontstaat.

Bodemanalyse is de beste manier om na te gaan tot welke diepte zou moeten worden afgegraven om een overmaat aan voedingsstoffen te verwijderen en om na te gaan of afgraven een reële inrichtingsmaatregel is. Onduidelijk is nog welke parameters en welke chemische analysemethode met bijbehorende grenswaarden gebruikt kunnen worden. In Sival et al. (in voorbereiding) zijn meerdere methoden getoetst.

Wat fosfaat betreft, neemt de effectiviteit van maaien en afvoeren als verschralingsmaatregel af in de loop van de tijd. Doordat er gebrek gaat optreden aan stikstof en kalium neemt de drogestof-productie en daarmee de afvoer van fosfaat af. Voor voormalige akkers is waarschijnlijk de beste optie om de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem te verlagen een gewasteelt met een aangepaste bemesting, en voor voormalige graslanden maaien en afvoeren, eveneens met een aangepaste bemesting. Deze beide opties moeten daarom verder worden onderzocht.

Literatuur

Beltman, B., T.G. Rouwenhorst, M.B. van Kerkhoven, T. van der Krift & J.T.A. Verhoeven, 2000. Internal eutrophication in peat soils through competition between chloride and sulphate with phosphate for binding sites. Biogeochemistry 50: 183-194.

Boskma, K., 1957. Invloed van de zuurgraad en de fosfaattoestand op de botanische samenstelling van een veengrasland. Landbouwvoorlichting aug. 1957: 446 - 449.

CBGV - Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, 1998. Adviesbasis bemesting grasland en voedergewassen. PR, Lelystad. Themaboek.

Chambers, B.J., C.N.R. Critchley, J.A. Fowbert, A. Bhogal & S.C. Rose, 1999. Soil nutrient status and botanical composition of grasslands in English environmentally sensitive areas. Report MAFF Project BD1429, ADAS Gleadthorpe & Newcastle, UK.

Dijk, W. van (red.), 1999. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroenten-gewassen. Publ. nr. 95. PAV, Lelystad.

Eekeren, N. van, 2003. Evenwichtige verschraling van natuurgronden: voordeel voor natuur en landbouw. Pilotstudie bij het Hengstven. Projectrapportage 2002, Louis Bolk Instituut Driebergen.

Gilbert, J.C., 2000. High soil phosphorus availability and the restoration of species rich grassland. PhD Thesis Cranfield Univ., Silsoe UK, Inst. Water & Environment.

Janssen, F., A. Peeters, J.R.B. Tallowin, J.P. Bakker, R.M. Bekker, F. Fillat & M.J.M. Oomes, 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. Plant and Soil 202: 69 - 78.

Hendriks, A.E., G.N.J. ter Heerdt & J.P. Bakker, 1985. Verschraling door begrazing? De Levende Natuur 86 (1): 8 - 12.

Kemmers, R.H., 2002. Bloedarmoede in het Nederlandse landschap : ontijzering van kwelgevoede gronden binnen de EHS en realisatie van natuurdoeltypen. Alterra-rapport 370.

Kirkham, F.W., J.O. Mountford & R.J. Wilkins. 1996. The effects of nitrogen, potassium and phosphorus addition on the vegetation of a Somerset peat moor under cutting management. Journal of Applied Ecology 33: 1013-1029.

Lamers, L.P.M., 2001. Tackling biogeochemical questions in peatlands. PhD Thesis Univ. Nijmegen.

Lexmond, Th.M., W.H. Van Riemsdijk & F.A.M. De Haan, 1982. Fosfaat en koper in de bodem in gebieden met intensieve veehouderij. Staatsuitgeverij 's Gravenhage 1982, 160 pp. and bijl.

Marrs, R.H., M.W. Gough & M. Griffiths, 1991. Soil chemistry and leaching losses of nutrients from semi-grassland and arable soils on three contrasting parent materials. Biological Conservation 57: 257 - 271.

Oomes, M.J.M., H. Olff & H.J. Altena, 1996. Effects of vegetation management and raising the water table on nutrient dynamics and vegetation change in a wet grassland. Journal of Applied Ecology 33: 576 - 588.

Oomes, M.J.M., R.H.E.M. Geerts & H.J. Altena, 1998. Vernatten en verschralen. Doel, maatregelen en (on)mogelijkheden voor herstelbeheer. Landschap 15(2): 99 - 110.

Snow, C.S.R., R.H. Marrs, & L. Merrick, 1997. Trends in soil chemistry and floristics associated with the establishment of a low-input meadow system on an arable clay soil in Essex. Biological Conservation 79: 35 - 41.

Sival, F.P. & W.J. Chardon, 2002. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Rapport SKB, Gouda.

Sival, F.P. , W. J. Chardon, M. van der Werff, in voorbereiding. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Evaluatie van verschralingsmaatregelen. Rapport Alterra.

Tallowin, J.R.B., F.W. Kirkham, R.E.N. Smith & J.O. Mountford, 1998. Residual effects of phosphorus fertilization on the restoration of floristic diversity to wet hay meadows. In: European lowland wet grasslands: biodiversity, management and restoration (ed. C.B. Joyce & P.M. Wade). John Wiley & Sons Ltd: 249 - 263.

Tunney, H., A. Breeuwsma, P.J.A. Withers & P.A.I. Ehlert, 1997. Phosphorus fertilizer strategies: present and future. In: H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes & A.E. Johnston (eds). Phosphorus loss from soil to water. CAB International: 177 - 203.

Willems, J.H., R.K. Peet & L. Bik, 1993. Changes in chalk grassland structure and species richness resulting from selective nutrient additions. Journal of Vegetation Science 4: 203 - 212.

Summary

Phosphorus: obstacle for realising the National Ecological Network on former agricultural land?

Successful nature development on former agricultural soils, necessary for realising the National Ecological Network, requires a new approach. Due to a nutrient-rich soil caused by long-term fertilization history, soil tillage and lowering of the groundwater table, it is likely that only species will occur that are characteristic of a eutrophic environment. Here eutrophication is, besides nitrogen, a consequence of phosphorus accumulation in the soil. Phosphorous is a serious problem because it is, in contrast with nitrogen, less mobile and therefore accumulates easily in the soil. The common management practices to reduce eutrophication are for phosphorous less effective than for nitrogen. Further research on management practices is necessary for creating environments suitable for vegetation under meso- and oligotrophic conditions.

Dankwoord

De auteurs zijn Gerda van den Bosch dankbaar voor het aanleveren van figuur 2.

Dr. ir. W.J. Chardon
Centrum Bodem
Alterra, Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
email: wim.chardon@wur.nl

Dr. ir. F.P. Sival
Centrum Water & Klimaat
Alterra, Wageningen UR
email: francisca.sival @wur.nl