

Is het mogelijk om met uitmijnen in plaats van ontgronden voldoende fosfaat kwijt te raken?

Om een goede uitgangssituatie voor natuurontwikkeling mogelijk te maken kan het zinvol zijn om de bouwvoor en/of diepere bodemlagen te verwijderen.

Dat is echter lang niet altijd haalbaar of wenselijk. Kan uitmijnen van de bodem plaatselijk een alternatief zijn? Uitmijnen is het selectief toedienen van voedingsstoffen, bijv. stikstof en kalium, waardoor fosfaat versneld via planten en afmaaien wordt onttrokken aan de bodem. In dit artikel wordt ingegaan op de vraag hoe kan worden nagegaan of en waar dit een reëel alternatief is.

Bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden hangt de realisatie van de doelvegetatie af van o.a. de aanwezigheid van diasporen, de hydrologie en de bodemeigenschappen, in het bijzonder de voedingsstoffen fosfaat, stikstof, kalium, organische stof, pH en zuurbuftercapaciteit (Chardon & Sival, 2003; Kemmers et al., 2003). Regelmatig wordt bij het omzetten van landbouwgrond in natuurgebieden de bouwvoor (20-30 cm) afgegraven, om zoveel mogelijk organische stof en vastgelegde nutriënten te verwijderen. In sommige gevallen heeft fosfaat zich echter ook in lagen onder de bouwvoor opgehoopt gedurende de tijd dat deze voor landbouw werd gebruikt; ook deze lagen moeten bij afgraven dan verwijderd worden. Afgraven is echter lang niet altijd toegestaan, bijvoorbeeld vanwege archeologische waarden op de locatie (Verdrag van Malta, 1992), of niet wenselijk vanwege aardkundige of cultuurhistorische waarden (Chardon & Sival, 2003; Purmer, dit nummer). De aanwezigheid van een waardevolle zaadbank, of van bodembestanddelen die bufferend werken voor zuur en/of fosfaat

kunnen ook aanleiding zijn om af te zien van afgraven (Kemmers et al., 2006). Ook zijn aanwijzingen verkregen dat de aanwezigheid van alle functionele groepen van het bodemvoedselweb (bodembiodiversiteit) van belang zijn voor het functioneren van de stikstofkringloop. Vanwege moeizame dispersie van sommige onderdelen uit dit voedselweb heeft afgraven belangrijke consequenties voor herstel (Kemmers et al., 2007). Uiteraard kunnen ook de kosten een beperkende factor zijn.

Verschralen

Maaien wordt vaak toegepast als 'next-best' oplossing om nutriënten te verwijderen. Voor fosfaat neemt de effectiviteit van maaien en afvoeren van het maaisel als verschralingsmaatregel echter af in de loop van de tijd. Doordat in de bodem gebrek gaat optreden aan N en K neemt de productie van droge stof en daarmee de afvoer van fosfaat af. Voor voormalige landbouwgronden is gewasteelt met een aangepaste bemesting een alternatief om de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem te verlagen. Het doel hiervan is om

zoveel mogelijk fosfaat af te voeren dat zich in de bodem heeft opgehoopt; dit proces wordt ook wel uitmijnen genoemd. Uitmijnen is in het verleden genoemd als een methode om uitspoeling van fosfaat naar oppervlaktewater terug te dringen (Chardon et al., 1996), of om de bodem te verschralen voor natuurontwikkeling (Chardon & Sival, 2003). Zo wordt uitmijnen van omliggende percelen bijvoorbeeld toegepast om een blauwgrasland te beschermen tegen fosfaatuitspoeling vanuit de omgeving (B. Timmermans, Driebergen, pers. meded.). Bij een onderzoek naar de effectiviteit van uitmijnen in het Hengstven in Noord-Brabant werd een fosfaatreductie tot aanvaardbare hoeveelheden bereikt na ca 10 jaar (van Eekeren et al., 2007). De vraag of met uitmijnen voldoende fosfaat kan worden afgevoerd zal afhangen van (1) de uitgangssituatie op het moment dat de landbouwgrond uit productie wordt genomen, (2) de hoeveelheid fosfaat die jaarlijks kan worden afgevoerd, en (3) het fosfaatgehalte van de grond waarbij het gewenste natuurdoel bereikt kan worden en de tijd die het kost om dit te bereiken.

De uitgangssituatie

Uit onderzoek van voormalige of voor natuurontwikkeling bestemde landbouwgronden blijkt dat de fosfaatgehalten van de bodem zeer sterk uiteen kunnen lopen. In tabel 1 is het bereik weergegeven van in vier studies gemeten gehalten aan beschikbaar fosfaat (gemeten als wateroplosbaar fosfaat, Pw of P-Olsen, kader 1), of als totaal-P (P-tot). Alle studies werden uitgevoerd op niet afgegraven kalkloze zandgronden.

Uit het bereik blijkt dat beschikbaar fosfaat in de bovenlaag (of voormalige bouwvoor) zeer laag kan zijn (Pw <0,7 mg P.kg⁻¹, P-Olsen <0,8 mg P.kg⁻¹). Hier kan zich een vegetatie ontwikkelen die kenmerkend is

Het potexperiment waarin het verband werd vastgesteld tussen de beschikbaarheid van fosfaat en het fosfaatgehalte van het gras.



voor voedselarme omstandigheden (Sival & Chardon, 2002; Smolders et al., 2008). Op dergelijke locaties is afgraven van de bovenlaag of uitmijnen dus niet nodig om de beschikbaarheid van fosfaat nog verder te verlagen.

Op andere locaties werden in de bovenlaag zeer hoge gehalten gevonden (tot P_w 59 mg P.kg⁻¹ of P-Olsen 169 mg P.kg⁻¹), wat wijst op het gebruik van grote hoeveelheden dierlijke mest in het verleden. Uit tabel 1 blijkt dat ook op 1 meter diepte plaatselijk nog waarden werden aangetroffen die in de landbouw als hoog worden geclassificeerd (Sival & Chardon, 2002). Op dergelijke locaties is het afgraven van de bovenlaag niet zinvol, omdat ook (veel) diepere lagen nog moeten worden afgegraven om een voldoende lage beschikbaarheid van fosfaat te verkrijgen. Ook uitmijnen zal hier niet zinvol zijn, omdat een te grote hoeveelheid fosfaat moet worden afgevoerd waarvoor een zeer lange periode nodig is. Op dergelijke locaties zou voor een minder arm natuurdoeltype kunnen worden gekozen (Chardon, 2008; Lamers et al., 2005).

Uit het zeer grote bereik in tabel 1 volgt dat het bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden noodzakelijk is om vooraf bodemonderzoek te doen tot op grotere diepte, om te kunnen beoordelen of afgraven of uitmijnen nuttig, noodzake-

Studie	n	diepte, cm	P_w *	P-Olsen *	P-tot *
Sival et al. (2004)	12	0 - 20	<1,3 - 52	0,8 - 44	28 - 975
	12	30 - 40	<1,3 - 55	0,5 - 46	17 - 1090
Lamers et al. (2005)	7	0 - 20		36 - 169	
	7	60 - 70		4 - 33	
Van Delft et al. (2006)	88	5 cm + bv **	<0,7 - 59		153 - 1125
	60	10 cm - bv **	<0,7 - 51		76 - 854
	7	90 - 100	<0,7 - 16		19 - 537
Smolders et al. (2008)	36	0 - 20			75 - 1300
	36	60 - 70			25 - 250

Tabel 1. Bereik van gemeten gehalten aan beschikbaar fosfaat (P_w en P-Olsen) en totaal fosfaat (P-tot), in drie studies op voormalige landbouwgronden en op verschillende diepten.

* eenheid P_w , P-Olsen en P-tot : mg P.kg⁻¹, zie kader 1 voor toelichting op P_w en P-Olsen.

P-tot werd door Van Delft et al. (2006) geschat als P extraheerbaar met oxalaat.

** monster genomen op resp. 5 cm boven, en op 10 cm beneden de perceelsgemiddelde ondergrens van de bouwvoor (bv)

lijk of zinloos is om fosfaatarme omstandigheden te creëren (Chardon & Sival, 2003).

De afgevoerde hoeveelheid fosfaat

Een hoge afvoer van fosfaat via maaisel is, zo blijkt uit meerdere experimenten, sterk gecorreleerd aan stikstofbemesting of de aanwezigheid van klaver die stikstof uit de lucht kan binden (fig. 1; Sival & Chardon, 2004). Een uitzondering is de hoge afvoer van fosfaat terwijl niet werd bemest met stikstof (fig. 1, proefnummer 32, afvoer 46 kg.ha⁻¹.jr⁻¹), maar dit betrof een perceel dat pas 3 jaar uit productie was. Op een vergelijkbaar perceel dat 7 jaar uit productie was, was de afvoer slechts 6 kg.ha⁻¹.jr⁻¹. Een voorwaarde voor een hoge afvoer van

fosfaat met klaver is dat de beschikbaarheid van kalium voldoende is. Herinzaai van gras/klaver kan de afvoer van fosfaat sterk bevorderen (van Eekeren et al., 2007). Zonder stikstofbemesting of klaver daalt de fosfaatafvoer met gras vaak tot 10 kg.ha⁻¹.jr⁻¹ of nog lager, en zal uitmijnen van de bodem dus (zeer) traag verlopen. De door Smolders et al. (2008) voor fosfaatafvoer gehanteerde hoeveelheid van 10 kg.ha⁻¹.jr⁻¹, wat 'een erg optimistische schatting' wordt genoemd, was gebaseerd op een situatie zonder stikstofbemesting of klaver. Voor de tijd die nodig is voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden wordt door hen een termijn van tientallen tot honderden jaren genoemd (Smolders et al., 2008). Deze schatting kan dus sterk worden terugge-

Kader 1. Methoden om de beschikbaarheid van bodemfosfaat vast te stellen

Om de beschikbaarheid van bodemfosfaat vast te stellen worden sterk uiteenlopende methoden gebruikt waarbij de grond wordt geëxtraheerd met een verschillende vloeistof, zoals bijvoorbeeld:

- water (P_w) of een zwakke zoutoplossing (0,01 M CaCl₂);
- basische gebufferde vloeistof bij pH 8,5 (P-Olsen);
- (sterk) zure oplossing.

De mate waarin fosfaat in oplossing wordt gebracht neemt toe in de volgorde: 0,01 M CaCl₂ < P_w < P-Olsen << (sterk) zuur.

De P_w -methode wordt sinds 1970 gebruikt in het landbouwkundig onderzoek op bouwland. Hierbij wordt 1 ml gedroogde grond geschud met 60 ml water, nadat de grond eerst 24 uur in evenwicht is gebracht met water. De methode moet niet worden verward met een rechtstreekse analyse van P in bodemvocht dat in het veld is verzameld. De resultaten daarvan zijn sterk variabel en dus niet geschikt om een bodem te beoordelen.

De P-Olsen methode is vooral ontwikkeld voor basische gronden, omdat de destijds gebruikelijke zure extractiemiddelen ook slecht beschikbare calciumfosfaten in oplossing brengen. De methode wordt echter ook gebruikt op zure of neutrale gronden. Een mogelijk nadeel van de methode is dat bij de hoge pH (8,5) fosfor dat aan organische stof is gebonden ook in oplossing gaat, en uiteindelijk mee kan worden geanalyseerd terwijl dat normaliter niet beschikbaar is voor de vegetatie.

De P_w wordt normaliter gerapporteerd als mg P₂O₅.L⁻¹ grond; P-Olsen vaak in mg P.L⁻¹ grond of ook wel als μmol.L⁻¹ grond. Voor de uniformiteit zijn in dit artikel beide echter gerapporteerd als mg P.kg⁻¹ grond. Bij een dichtheid van 1,3 kg.L⁻¹ grond komt 1 mg P.kg⁻¹ overeen met 42 μmol P.L⁻¹ grond en met 3 mg P₂O₅.L⁻¹ grond.

Er wordt een hoge correlatie ($r^2 = 0,86$; $n=68$) gevonden tussen de resultaten van P_w en P-Olsen (fig. A). Dit betekent dat grenswaarden voor P-Olsen kunnen worden omgerekend naar waarden voor P_w . Bij deze set grondmonsters werd dus met de P-Olsen methode gemiddeld ca 2,5 (=1/0,38) maal zoveel P geëxtraheerd als met de P_w -methode.

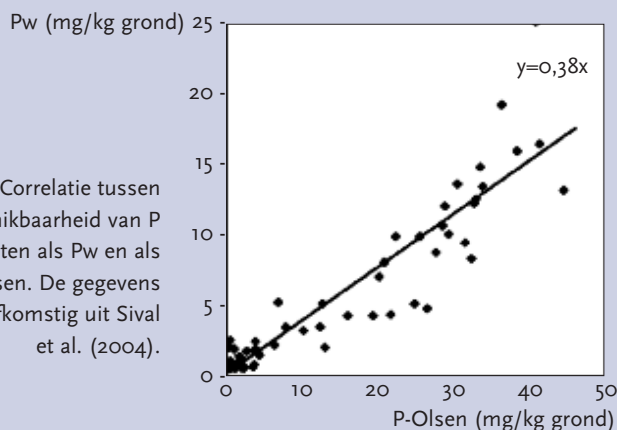


Fig. A. Correlatie tussen beschikbaarheid van P gemeten als P_w en als P-Olsen. De gegevens zijn afkomstig uit Sival et al. (2004).

bracht indien een hogere jaarlijkse fosfaat-afvoer wordt verkregen, zoals mogelijk is bij uitmijnen.

Wanneer een perceel wordt uitgemijnd dan zal na verloop van tijd de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem afnemen, sneller dan het totaalgehalte (Koopmans et al., 2004). Hierdoor zal het fosfaatgehalte van het gras dalen, waardoor de fosfaatafvoer kleiner wordt en het uitmijnen langzamer gaat verlopen. In figuur 2 is weergegeven hoe in een potexperiment het fosfaatgehalte van geoogst gras in de loop van de tijd afnam (Koopmans et al., 2004). In het experiment werd gedurende 32 maanden in totaal 31 maal gras geoogst, wat overeenkomt met ca 8 jaar intensief maaien en afvoeren van gras in de praktijk. Uit figuur 2 blijkt inderdaad dat door het afnemen van de beschikbaarheid van fosfaat (gemeten als Pw) het fosfaatgehalte van het gras daalde. Dit is een indicatie dat de vegetatie snel reageert op veranderingen in actueel beschikbaar fosfaat. Op den duur zal bij uitmijnen fosfaat ook beperkend worden voor de groei. Bij de laatste oogsten in het potexperiment was de N:P verhouding van het geoogste gras hoger dan 15 (Koopmans et al., 2004), hetgeen een aanwijzing vormt dat fosfaat beperkend was (Sival et al., 2004). De Pw had toen al een zeer lage waarde bereikt (<4 mg P.kg⁻¹ grond).

Het te bereiken fosfaatgehalte en de tijdsduur

Voor het berekenen van de tijd die het kost om door middel van het afvoeren van gemaaid gras het fosfaatgehalte van de bodem te verlagen wordt door Smolders et al. (2008) voor kalkarme zandgronden een streefwaarde gebruikt van 77 mg totaal-P.kg⁻¹ grond. Het is echter gebruikelijk dat vegetatiegegevens worden uitgezet tegen het gehalte aan beschikbaar fosfaat, en dus niet tegen totaal-P (zie ook fig. 2). Dit kan bijvoorbeeld zijn het aantal soorten per oppervlakte-eenheid (Janssens et al., 1998; Sival & Chardon, 2002; Sival et al., 2004), of juist het vóórkomen van ongewenste ruigtesoorten. Bij een stijging van het gehalte aan beschikbaar fosfaat neemt het aantal soorten per oppervlakte-eenheid af (Janssens et al., 1998), en de kans op ongewenste soorten zoals Pitrus (*Juncus effusus*) neemt toe (Smolders et al., 2008). De verhouding tussen beschikbaar- en totaal fosfaat is echter sterk variabel, en neemt doorgaans toe wanneer het totaal-P gehalte van de bodem toeneemt. Voor gegevens verzameld door Sival et al.

Fig. 1. Afvoer van fosfor via maaien en afvoeren van gras op plaatsen waar geen bemesting met stikstof plaatsvond, en plaatsen waar dit wel gebeurde of waar klaver was ingezaaid (bron en verklaring proefnummers: Sival & Chardon, 2004).

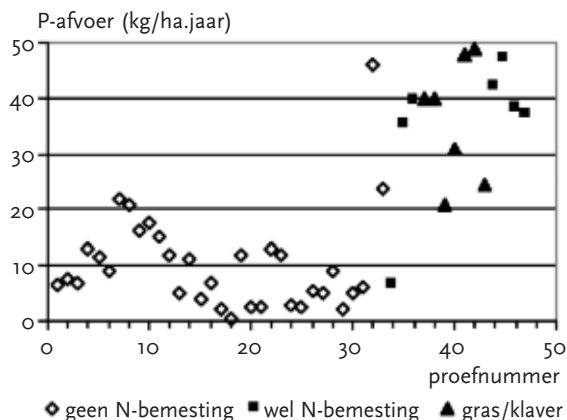
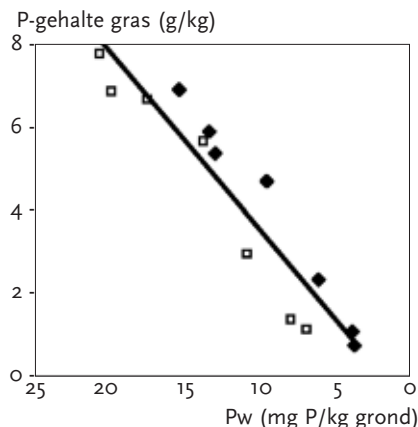


Fig. 2. Afname van het fosforgehalte in geoogst gras door afname van de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem, gemeten als Pw. Metingen werden gedaan in een pot-experiment met een 5 (♦) of 10 cm (□) dikke laag grond. Let op: waarden x-as lopen af (gegevens uit Koopmans et al., 2004).



(2004) werd een correlatiecoëfficiënt van slechts 0,55 berekend tussen totaal-P en Olsen-P ($n=71$). Een 'optimaal' gehalte aan beschikbaar fosfaat kan dus niet zonder meer vertaald worden naar een 'optimaal' gehalte aan totaal fosfaat. Hoge gehalten aan ijzer en aluminium van de bodem kunnen sterk bijdragen aan een lage beschikbaarheid van fosfaat, ook bij een hoog totaal-P gehalte (o.a. Kemmers et al., 2006).

In de praktijk worden soms hoge natuurwaarden aangetroffen bij veel hogere waarden van totaal-P dan de genoemde 77 mg P.kg⁻¹. Door Smeding et al. (2008) werd een gehalte gemeten van 1390 mg totaal-P.kg⁻¹ onder een blauwgraslandvege-

tatie; beschikbaar fosfaat was echter zeer laag (Pw: 2 mg P.kg⁻¹ grond). Ook uit een databestand van Alterra, waarin vegetatietypen gerelateerd zijn aan bodemeigenschappen, blijkt dat blauwgraslanden (*Cirsio-Molinietum typicum*) worden gevonden op veengronden bij hoge gehalten van totaal-P (1440 mg P.kg⁻¹), maar bij een lage beschikbaarheid (Pw 1,7 mg P.kg⁻¹ grond). Na 30 jaar verschraving van voormalige landbouwgronden bleek dat laag-productieve vegetaties tot ontwikkeling kunnen komen bij relatief nog hoge fosfaatgehalten in de bodem, doordat stikstof en kalium in een eerder stadium beperkend werden (Kemmers et al., 2006). Het is bij afgraven of uitmijnen dan ook



Het perceel rechts op de foto op de Waiboerhoeve in Lelystad is gedurende 6 jaar uitgemijnd; het kreeg wel stikstofmeststof maar werd niet beweide. Het perceel links kreeg gedurende die periode wel fosfaat en werd beweide (van der Salm et al., 2009).



Ontwikkeling van droog schraalgrasland op een stuifzandgrond in Cranendonck waar de bodem al 30 jaar door maaien en afvoeren wordt verschaald (Kemmers et al., 2006).

beter om een na te streven eindwaarde van het fosfaatgehalte te baseren op beschikbaar fosfaat dan op totaal-P. In het laatste geval zou fosfaat worden verwijderd dat geen probleem vormt bij natuurontwikkeling, doordat het bijvoorbeeld is vastgelegd in veen of aan ijzeroxiden (Sival et al., 2004; van Delft et al., 2006).

Uitmijnen een optie?

De hoeveelheid fosfaat die in de bodem van voormalige landbouwgronden wordt gevonden loopt zeer sterk uiteen. Deze kan zo laag zijn dat afgraven van de bovenlaag of uitmijnen geen van beide nodig zijn. De hoeveelheid kan echter ook tot op grotere diepte zo hoog zijn dat zowel afgraven als uitmijnen geen reële optie zijn. De vraag uit de titel: 'is het mogelijk om met uitmijnen in plaats van ontgronden voldoende fosfaat kwijt te raken' kan dus niet eenduidig beantwoord worden. Bodemonderzoek moet uitwijzen waar uitmijnen een uitkomst kan bieden, waarbij streefwaarden bij voorkeur gebaseerd moeten zijn op beschikbaar fosfaat.

Literatuur

Chardon, W.J., 2008. Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling. Een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Rapport 1683, Alterra Wageningen.

Chardon W.J., O. Oenema, O.F. Schoumans, P.C.M. Boers, B. Fraters & Y.C.W.M. Geelen, 1996. Verkenning van de mogelijkheden voor beheer en herstel van fosfaatlekkende landbouwgronden. Rapporten Programma Geïntegreerd Bodemonderzoek, Deel 8, Wageningen.

Chardon W.J. & F.P. Sival, 2003. Fosfaat: knelpunt voor realisering EHS op voormalige landbouwgronden? De Levende Natuur 104: 267-271.

Delft, S.P.J. van, W.J.M. de Groot & W.J. Chardon, 2006. Bemonstering landbouwgronden en bepaling van de beschikbaarheid van fosfaat in verband met voorgenomen natuurontwikkeling. Karakterisering van 7 terreinen in de provincie Limburg. Rapport 1332, Alterra Wageningen.

Eekeren, N. van, G. Iepema & F.W. Smeding, 2007. Natuurherstel in grasland door klaver en kalibemesting. De Levende Natuur 108 (1): 27-31.

Janssens, F., A. Peeters, J.R.B. Tallwin, 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.

Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft & P.C. Jansen, 2003. Iron and sulphate as possible key factors in the restoration ecology of rich fens in discharge areas. Wetlands Ecology Management 11: 367-381.

Kemmers, R.H., A.T. Kuiters, P.A. Slim & J.P. Bakker, 2006. Is ontgronden noodzakelijk voor natuurherstel op voormalige landbouwgronden? De Levende Natuur 107 (4): 170-175.

Kemmers, R.H., J. Bloem, J.H. Faber & G.A.J.M. Jagers op Akkerhuis, 2007. Bodemkwaliteit en bodembiodiversiteit bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Rapport 1523, Alterra Wageningen.

Koopmans G.F., W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert, J. Dolfing, R.A.A. Suurs, O. Oenema & W.H. van Riemsdijk, 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. Journal of Environmental Quality 33: 965-975.

Lamers, L., E. Lucassen, F. Smolders. & J. Roelofs, 2005. Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. H₂O 17: 28-30.

Salm, C. van der, W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert, G.F. Koopmans & J.C. van Middelkoop, 2009. Phytoextraction of phosphorus-enriched grassland soils. Journal of Environmental Quality, in druk.

Sival, F.P. & W.J. Chardon, 2002. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat. Rapport SV 511, SKB, Gouda.

Sival, F.P. & W.J. Chardon, 2004. Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Rapport 1090, Alterra Wageningen.

Sival, F.P., W.J. Chardon & M.M. van der Werff, 2004. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat: evaluatie van verschalingsmaatregelen. Rapport 951, Alterra Wageningen.

Smeding, F., M. Zanen & T. Schouten, 2008. Bodemkwaliteit Drenthe. 1-jarige pilot Referenties Biologische Bodemkwaliteit. Rapport LB21-2008, Louis Bolk Instituut, Driebergen.

Smolders, A.J.P., E.C.H.E.T. Lucassen, M. van der Aalst, L.P.M. Lamers & J.G.M. Roelofs, 2008. Decreasing the abundance of *Juncus effusus* on former agricultural lands with non-calcareous sandy soils: possible effects of liming and soil removal. Restoration Ecology 16: 240-248.

Summary

Is it possible to remove enough phosphorus with vegetative mining instead of top soil removal?

A too high availability of phosphorus in former agricultural soils can create problems for successful nature development. In The Netherlands, removal of the top soil is common practice on these soils; however, this is not always possible. Vegetative mining by removing harvested crop can be an alternative. However, soil testing showed that phosphorus contents varied strongly on former agricultural soils, from values where removal or mining is not necessary, to values even at larger depths where both removal and mining do not make sense. Changing the aims of nature development will then be necessary. Thus, an unambiguous answer cannot be given if it is possible to remove enough phosphorus with vegetative mining. Soil testing is a prerequisite for making proper decisions about the usefulness of alternative options.

Dr.ir. W.J. Chardon, dr.ir. F.P. Sival,
drs. R.H. Kemmers, ir. S.P.J. van Delft &
dr. ing. G.F. Koopmans
Alterra, Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
wim.chardon@wur.nl; francisca.sival@wur.nl;
rolf.kemmers@wur.nl;
bas.vandelft@wur.nl;
gerwin.koopmans@wur.nl