

# Natuur.focus

Afgiftekantoor  
9099 Gent X  
P209602

Toelating – gesloten verpakking

Retouradres: Natuurpunt,  
Coxiestraat 11,  
2800 Mechelen

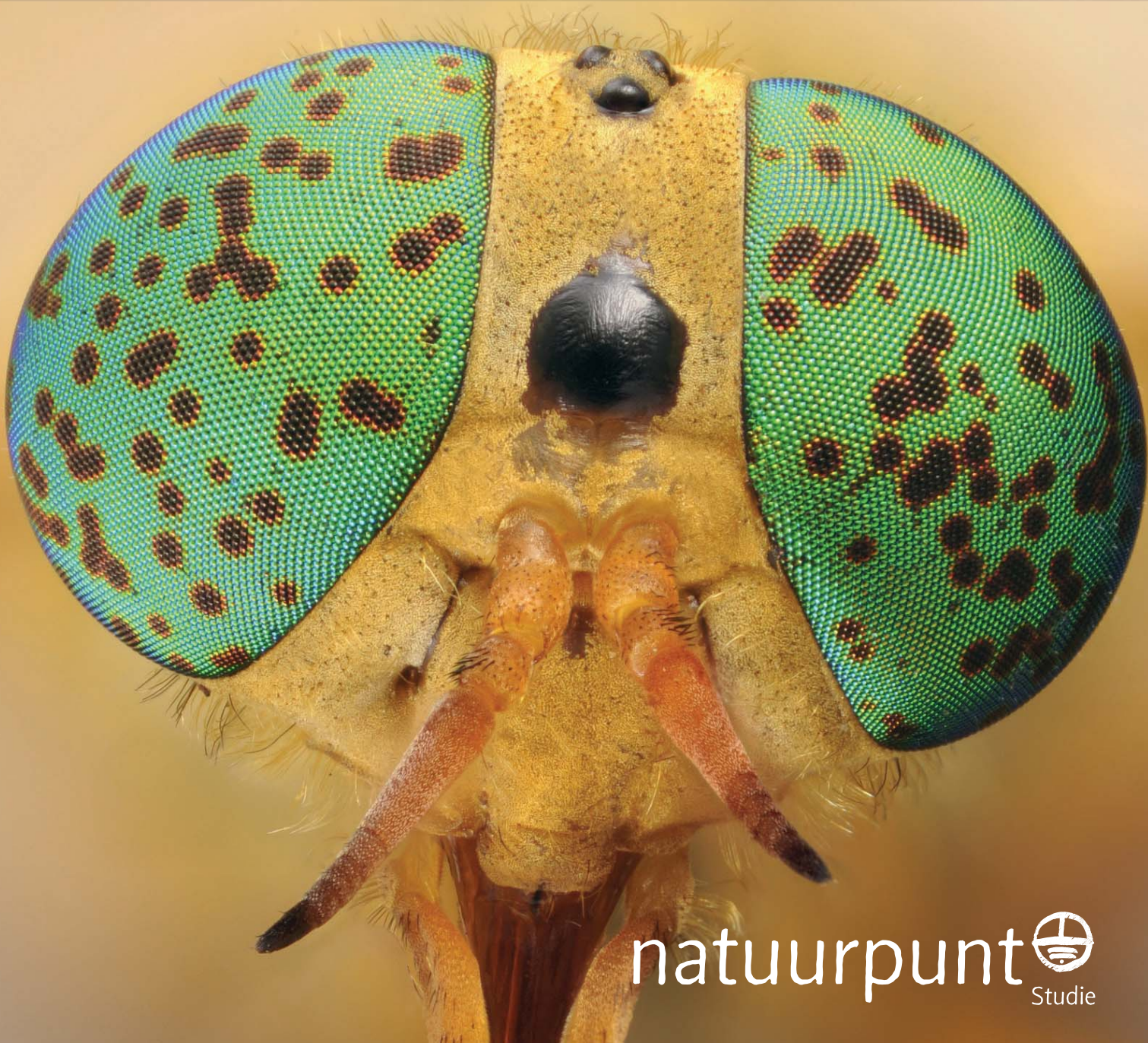
VLAAMS DRIEMAANDELIJKS TIJDSCHRIFT OVER NATUURSTUDIE & -BEHEER – DECEMBER 2013 – JAARGANG 12 – NUMMER 4  
VERSCHIJNT IN MAART, JUNI, SEPTEMBER EN DECEMBER



**Krijgt de Argusvlinder het te warm?**

**Onze dagvlinders in cijfers 2009-2013**

**Wild van 'nieuwe wildernis' in Vlaanderen'?**



natuurpunt   
Studie

Focus op biogeochemie – deel 5

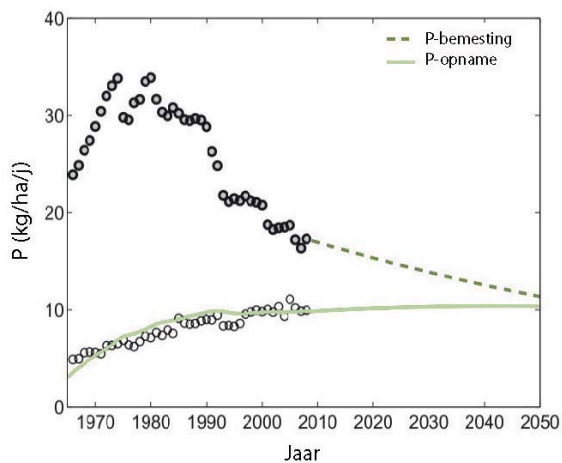
# Natuurherstel op landbouwgrond: fosfor als bottleneck

An De Schrijver, Stephanie Schelfhout, Andreas Demey, Maud Raman, Lander Baeten, Stefanie De Groote, Jan Mertens & Kris Verheyen

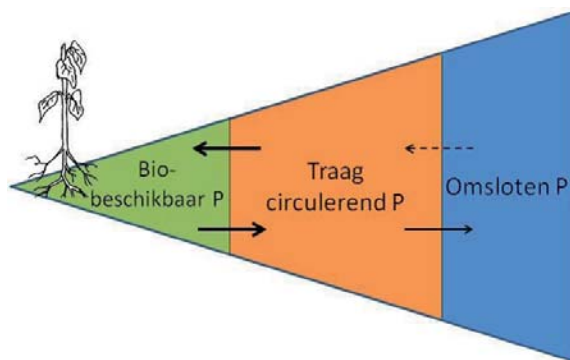
Biodiversiteit staat wereldwijd erg onder druk. Steeds meer soorten en habitats dreigen verloren te gaan (Butchart et al. 2010). Met de Habitat- en Vogelrichtlijn en het Natura 2000-netwerk als belangrijkste instrumenten wil Europa o.a. het verdere verlies van biodiversiteit een halt toeroepen (Dumortier et al. 2009). In Vlaanderen beslaat het Natura 2000-netwerk ca. 165.000 ha en wordt op 33% van dit areaal nog een klassiek landbouwgebruik toegepast. Het beleid in Vlaanderen voorziet dat de volgende decennia de milieudruk gerelateerd aan landbouwactiviteiten moet verlagen en dat daarnaast landbouwgrond wordt omgevormd naar halfnatuurlijke doelhabitattypes (Gobin et al. 2009). Het is echter de vraag of natuurontwikkeling op voormalige landbouwbodems wel mogelijk is.



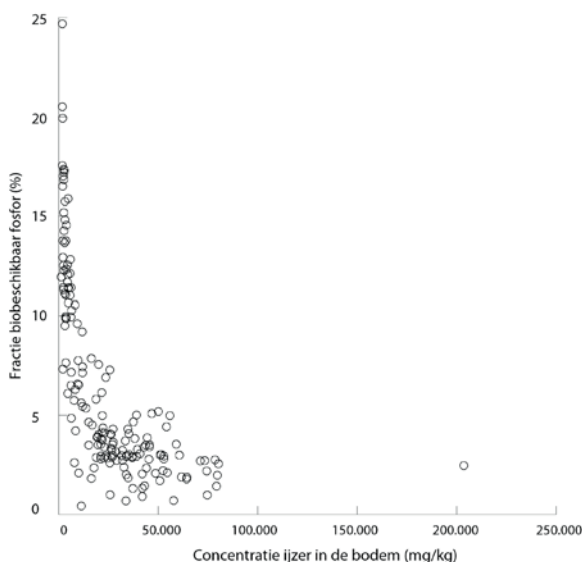
*In een sterk gefragmenteerd landbouwlandschap als Vlaanderen zijn de bodems onder landbouwgebruik door jarenlange bemesting sterk aangerijkt met fosfor. Bij omvormen van landbouwgrond naar natuurgebied vormt fosfor een belangrijke bottleneck. (foto: Stephanie Schelfhout)*



*Figuur 1. Illustratie van de gemiddelde bemesting versus de gemiddelde opname door gewassen van fosfor in West-Europa. De figuur illustreert dat systematisch meer P bemest werd dan effectief door gewassen kon worden opgenomen, wat resulteerde in een sterke accumulatie van fosfor in de bodem. (bron: Sattari et al, 2012)*



*Figuur 2. De drie belangrijke P-pools in de bodem: de bio-beschikbare pool kan gebruikt worden door planten binnen één groeiseizoen, de traag-circulerende pool kan beschikbaar worden voor planten op lange termijn en van de omsloten pool wordt verondersteld dat deze geen of maar een geringe invloed heeft op plantengroei.*



*Figuur 3. In ijzerrijke bodems is een lagere fractie van de totale P-pool biobeschikbaar dan in ijzerarme bodems. (De Schrijver et al. 2013a)*

Om een succesvolle omvorming van landbouw naar soortenrijke natuur te realiseren is het noodzakelijk om de overmaat aan voedingsstoffen, in hoofdzaak stikstof en fosfor, af te voeren. Soortenrijke, voedselarme vegetatietypen kunnen immers alleen gerealiseerd worden wanneer planten in hun groei gelimiteerd worden door een of meerdere essentiële hulpbronnen (voedingsstoffen, water, licht). In het vorige artikel (De Schrijver et al. 2013b) van deze reeks werd toegelicht hoe te hoge concentraties aan stikstof nadelig zijn voor de biodiversiteit. Maar ook te hoge fosforconcentraties zijn meestal nefast voor soortenrijke habitats. In dit artikel gaan we dieper in op de biogeochemie van fosfor en bespreken we waarom kennis van deze biogeochemie zo essentieel is om natuurherstel op voormalige landbouwbodems te realiseren. Het volgende en laatste artikel in deze reeks sluit hier naadloos bij aan en bespreekt welke maatregelen genomen kunnen worden om natuurherstel op voormalige landbouwbodems op een kosteneffectieve manier te realiseren.

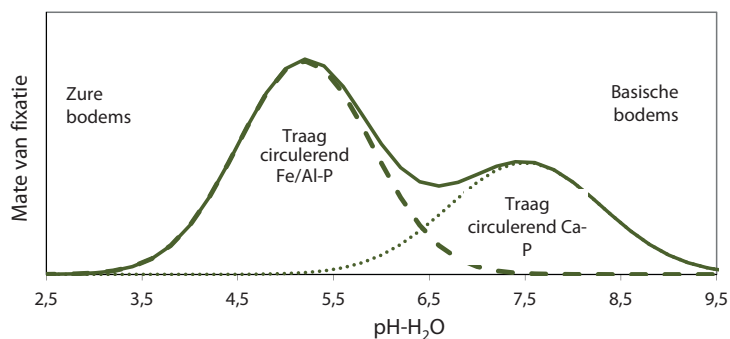
### Fosforbemesting: trop was teveel

Door het overschot aan mest in Vlaanderen werden landbouwbodems jarenlang intensief bemest met drijfmest of stalmest. Daardoor werd systematisch meer stikstof (N) en fosfor (P) aangevoerd dan gewassen effectief konden benutten. Voor het jaar 2000 werd systematisch zo'n 103 kg N en 24 kg P te veel bemest per hectare (Mulier et al. 2003). Dit maakt dat P in de bodem accumuleerde (Figuur 1) en dat het veel mobilere stikstof onder vorm van nitraten uitspoelde naar het grondwater. Sindsdien zijn de bemestingsnormen sterk aangescherpt, waardoor nu nog zo'n 39 kg te veel N wordt toegediend (Overloop et al. 2012). Omwille van de grote voorraad aan P aanwezig in de bodem voorziet het huidige mestactieplan (MAP 4) dat de P-bemestingsnorm lager ligt dan de P-opname door gewassen. Hiermee zal een automatische en algemene verschraving van landbouwbodems op Vlaams niveau gepaard gaan. Jaarlijks zou zo bijna 2 miljoen kg P uit de bodem onttrokken moeten worden.

### Fosfor in de bodem: een complex verhaal eenvoudig uitgelegd

In tegenstelling tot N accumuleert P zeer sterk in de bodem. N is in de meeste bodems sterk mobiel en spoelt gemakkelijk uit naar het grondwater of kan in natte omstandigheden vervluchtigen naar de atmosfeer (De Schrijver et al. 2013b). Enkel in sterk venige bodems met veel organisch materiaal kan stikstof accumuleren in de bodem. Fosfor spoelt in de meeste bodems niet gemakkelijk uit en kan niet vervluchtigen, waardoor een jarenlange bemesting resulteert in een vaak extreem hoge voorraad aan P. Honderden tot zelfs duizenden jaren na stopzetting van het voormalige landbouwgebruik worden nog steeds verhoogde P-concentraties in de bodem teruggevonden (Mclauchlan 2006). Deze verhoogde P-concentraties in voormalige landbouwbodems worden zelfs door archeologen gebruikt om te lokaliseren welke sites in het verleden door mensen bezet werden (Mclauchlan 2006). Fosfor komt in de bodem voor in grofweg drie verschillende pools die met elkaar in evenwicht zijn (Figuur 2) (De Schrijver et al. 2012a). Planten kunnen slechts een klein deel van de totale bodem-P-voorraad direct gebruiken.

De biobeschikbare of labiele P-pool is een vrij kleine fractie van zowel anorganisch als organisch fosfor (maximaal 20%



Figuur 4. Mate van fixatie van P in de bodem aan Fe, Al en Ca in relatie tot de bodemzuurtegraad (pH-H<sub>2</sub>O). In eerder zure bodems met lage pH is P sterk gebonden aan Fe en Al, terwijl in bodems met hogere pH P gebonden is aan Ca. (Bron: Brady N. 1966. *The nature and properties of soils*. McMillan Publisher Company New York)

van de totale P-pool) en bestaat uit fosfaat (H<sub>x</sub>PO<sub>4</sub>) in de bodemoplossing en fosfaat dat snel kan vrijkomen of mineraliseren uit anorganische en organische bodemfracties. Fosfor in deze pool kan binnen één groeiseizoen worden opgenomen door planten.

De traag-circulerende of actieve P-pool is de pool waaruit P relatief eenvoudig kan omgezet worden naar de biobeschikbare P-pool. Deze pool bestaat uit fosfaat geadsorbeerd aan bodemdeeltjes, anorganisch en organisch fosfaat dat gereageerd heeft met elementen als calcium (Ca) of aluminium (Al) en ijzer (Fe) en stabiel organisch P. Wanneer de vegetatie biobeschikbaar P opneemt, dan wordt deze terug aangevuld vanuit de traag-circulerende P-pool. De traag-circulerende pool staat voor fosfor die beschikbaar kan worden voor planten op lange termijn.

De omsloten of gefixeerde P-pool blijft gedurende vele jaren in de bodem zonder beschikbaar te komen voor planten en heeft een geringe invloed op de plantengroei. Deze pool bestaat uit anorganische fracties die heel slecht oplosbaar zijn en organische fracties waarvan verondersteld wordt dat ze resistent zijn aan mineralisatie door micro-organismen in de bodem (De Schrijver et al. 2012a).

De grootte van de totale P-pool is sterk afhankelijk van de textuur van de bodem en meer bepaald van de concentraties Fe, Al en Ca die daarmee kunnen samenhangen. Zandbodems zullen over het algemeen lagere concentraties totaal P bevatten dan leem- of kleibodems. Door hun lager percentage klei en organisch materiaal hebben zandbodems een lagere capaciteit tot binding van kationen (CEC, zie ook De Schrijver et al. 2012b) en daardoor ook lagere concentraties Fe en Ca dan leem- en kleibodems, waardoor deze ook minder P kunnen vasthouden. Ijzerrijke klei- of leembodems onder landbouwgebruik hebben dus vaak significant hogere P-stocks dan ijzerarme bodems, maar daarom nog geen hogere biobeschikbare fosforconcentraties. **Figuur 3** toont dat ijzerrijke bodems een lagere fractie biobeschikbaar P bevatten dan

ijzerarme bodems. Ijzerrijke bodems met een zeer hoge stock aan totaal P kunnen dus gelijke of zelfs lagere hoeveelheden biobeschikbaar P bevatten dan ijzerarme zandbodems met lagere stocks aan totaal P.

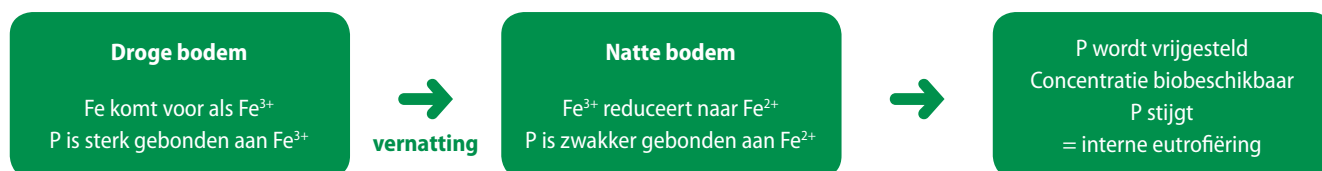
De zuurtegraad van de bodem speelt ook een belangrijke rol in de verdeling van P over de verschillende fracties. In bodems met lage pH-waarden (dus eerder zure bodems) is P voornamelijk gebonden aan Al en Fe, terwijl in bodems met hoge pH-waarden P voornamelijk gefixeerd is aan Ca (**Figuur 4**). Bij pH-waarden lager dan ca 4,5 (hier pH-H<sub>2</sub>O) neemt de fixatie aan Fe en Al echter opnieuw af. Bodemverzuring kan dus aanleiding geven tot hogere biobeschikbaarheid van P. In de landbouwpraktijk wordt de bodem-pH algemeen tussen ca. 6 à 7 gehouden, omdat in dit pH-bereik de biobeschikbare fractie het hoogst is en er nog geen risico bestaat tot vrijstelling van het toxische aluminium (zie De Schrijver et al. 2012b).

### Vernatten en fosfor: wat is interne eutrofiëring

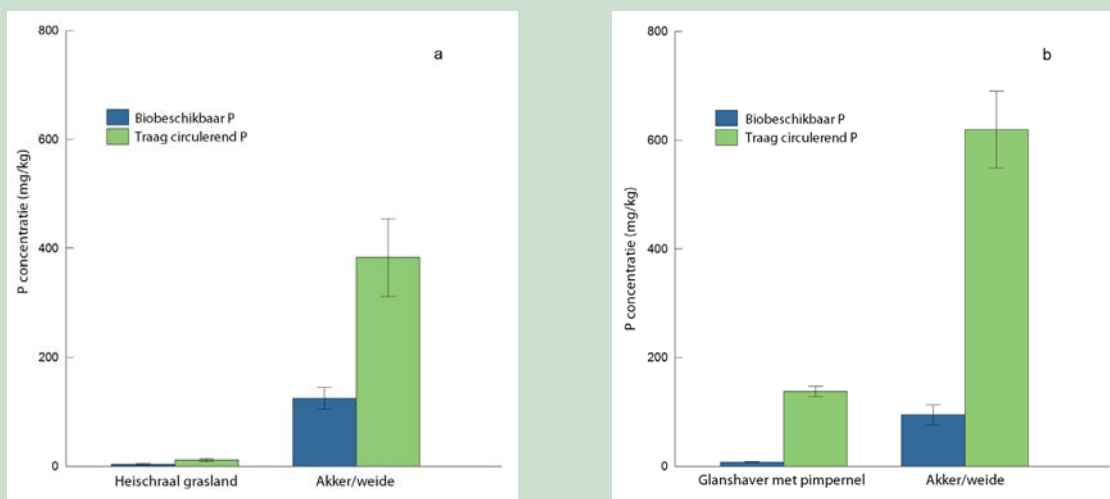
Het verlagen van de grondwatertafel in functie van landbouw of ten gevolge van waterwinning leidde tot de degradatie van grondwaterafhankelijke natuur zoals natte heide of nat heischraal grasland, dotterbloemhooiland of kleine en grote zeggenvetaties. Met het oog op het herstel van dergelijke waterafhankelijke habitats is vernatting noodzakelijk. Maar vernatting alleen leidt vaak niet tot een volledig herstel. Bij aanvoer van ijzer of calciumrijk grondwater, waardoor extra fosfaatbinding optreedt, zijn goede resultaten te behalen. Maar wanneer het aangevoerde water arm is aan ijzer of calcium en een aanzienlijke fractie van de P in de bodem aan ijzer gebonden is, kan vernatting net leiden tot een extra vrijstelling van P. Bij vernatting vermindert de zuurstofconcentratie in de bodem, wat maakt dat een deel van het in de bodem aanwezige Fe reduceert van Fe<sup>3+</sup> naar Fe<sup>2+</sup> (**Figuur 5**). De binding tussen Fe<sup>2+</sup> en P is echter veel minder sterk dan tussen Fe<sup>3+</sup> en P (van Gerven et al. 2011). Dit maakt dat vernatting resulteert in een mobilisatie van P in de bodemoplossing en in het geval van een plasdras situatie ook in de bovenstaande waterlaag. Hierdoor wordt de biobeschikbare fractie van P nog groter.

Dit probleem van interne eutrofiëring kan nog versterkt worden wanneer het aangevoerde grondwater rijk is aan sulfaat. In organische bodems (veenbodems) kan sulfaat na vernatting gereduceerd worden tot het giftige sulfide. Dit sulfide kan met het gevormde Fe<sup>2+</sup> neerslaan tot ijzersulfide (FeS) of pyriet (FeS<sub>2</sub>). Hierdoor is er minder Fe<sup>2+</sup> beschikbaar om fosfaat te binden en blijft meer fosfaat plantbeschikbaar in de bodemoplossing. Wanneer al het Fe in de bodem vastgelegd is als ijzersulfide kan het toxische sulfide zich bovendien ophopen in de bodem (Smolders et al. 2006). Vernatting van voormalige landbouwbodems kan dus ernstige problemen opleveren voor het herstel van soortenrijke natuur.

Om in te schatten of een bepaald perceel geschikt is om te



Figuur 5 Na vernatting van voormalige landbouwgrond treedt vaak interne eutrofiëring op door vrijstelling van fosfaat na reductie van Fe<sup>3+</sup> naar Fe<sup>2+</sup>.



*Figuur 6. Biobeschikbare en traag-circulerende P-concentraties in de bodem (0-30 cm) van (a) heischrale graslanden en nabijgelegen akkers of weiland op zandbodems onder landbouwgebruik (Liereman, Turnhouts Vennengebied, Gulke putten) en (b) glanshavergraslanden met Grote pimpernel en nabijgelegen akkers of weiland op leembodems onder landbouwgebruik (Dorent/Zemst). Uit de figuren blijkt duidelijk het verschil in P-concentraties tussen natuur en landbouw. Ook blijkt het verschil in capaciteit tot vastlegging van zand- en leembodems. De zandbodems onder landbouwgebruik zijn wellicht even zwaar bemest als de leembodems, maar toch zijn lagere concentraties traag-circulerend P aanwezig. Zandbodems zijn omwille van hun lagere concentraties Ca en Fe sneller dan leem- en kleibodems verzadigd met P, wat risico op uitspoeling van fosfaat naar het grondwater impliceert.*

vernatten is het daarom zinvol om de chemische samenstelling van het grondwater en van de bodem te analyseren. Als het grondwater zeer ijzerrijk is, is het risico op interne eutrofiëring kleiner omdat veel Fe wordt aangevoerd en zo de kans op fosfaatbinding verhoogt. Het grondwater moet wel voldoende doorstroming hebben zodat telkens nieuw Fe wordt aangevoerd. Om in te schatten of een risico bestaat op interne eutrofiëring wordt de (Fe-S)/P-verhouding (te berekenen op molaire basis) in de bodem vaak gehanteerd. Deze verhouding geeft een inschatting van de hoeveelheid ijzer die beschikbaar is voor fosfaatbinding. Wanneer deze verhouding kleiner is dan vijf is het risico op fosfaatnalevering bij vernatting of in natte omstandigheden groot. Wanneer deze verhouding groter is dan tien is het risico op fosfaatnalevering bij vernatting of in natte omstandigheden heel beperkt (Boers & Uunk 1990).

Wanneer getracht wordt om voormalige landbouwgrond om te vormen naar natte soortenrijke graslanden treedt vaak overheersing op door Pitrus *Juncus effusus* (Lamers et al. 2009). In de Nederlandse literatuur beschrijft men dit als 'verpitrussing' en wordt gesteld dat dit veroorzaakt wordt door de hoge biobeschikbare P-concentraties. Omdat deze bewering gebaseerd is op vrij weinig meetgegevens (zie Lamers et al. 2009) is bijkomend onderzoek noodzakelijk.

### P in landbouwpercelen en in natuurgebied: een wereld van verschil

Om natuurherstel op voormalige landbouwbodems te realiseren is het van belang per habitattype streefwaarden op te stellen voor biobeschikbaar en traag-circulerend P. In vergelijking met landbouwbodems bevatten natuurgebieden vaak zeer lage concentraties biobeschikbaar en traag-circulerend P. Deze bodems zijn vaak historisch niet of nauwelijks bemest. Ter illustratie tonen we cijfers van biobeschikbare en traag-circulerend P-concentraties in goed ontwikkelde

heischrale graslanden in vergelijking met akkers of weilanden in landbouwgebruik op zandbodems (Figuur 6a), en in goed ontwikkelde glanshavergraslanden met Grote pimpernel in vergelijking met akkers of weiland in landbouwgebruik op leembodems (Figuur 6b). De biobeschikbare P-concentraties in heischraal grasland (< 10 mg/kg) en in glanshavergrasland met Grote pimpernel (< 15 mg/kg) liggen zeer laag, terwijl landbouwbodems biobeschikbare P-concentraties hebben die kunnen variëren tussen 60 en 150 mg/kg.

### Fosfor en biodiversiteit: eveneens een onverzoenbaar duo

In het vorige artikel in deze reeks beschreven we hoe additie van stikstof de soortenrijkdom van graslanden doet afnemen (De Schrijver et al. 2013b). Een vergelijkbaar verhaal gaat op voor P. In ecosystemen waar de groei gelimiteerd wordt door een bepaald nutriënt zal toediening ervan immers leiden tot een verhoging van de biomassa-productie. Hierdoor neemt de groei van snelgroeiende plantensoorten toe ten koste van andere soorten en neemt het totaal aantal plantensoorten af. Recent onderzoek toonde aan dat P-gelimiteerde ecosystemen mogelijk een grotere plantensoortenrijkdom kunnen hebben dan N-gelimiteerde ecosystemen (Olde Venterink 2011). Aanrijking met P zou een sterkere bedreiging vormen voor het verlies aan plantensoorten dan aanrijking met stikstof (Wassen et al. 2005, Ceulemans et al. 2011, 2013).

Heischrale graslanden behoren tot de meest nutriëntenarme typen. Herstel van dit graslandtype op voormalige landbouw-bodem via maaibeheer of uitmijnen is dan ook vaak een proces van zeer lange adem (zie ook het volgende artikel in deze reeks). Goed ontwikkelde soortenrijke heischrale graslanden hebben vaak biobeschikbare P-concentraties die lager liggen dan 10 mg/kg (zie ook **Box 1** voor meer informatie over de vele bepalingsmethodes van P). Ongeacht de N-concentraties in de bodem werd vastgesteld dat bij biobeschikbare P-concentraties van meer dan 20 mg/kg de soortenrijkdom

## Box 1: Vergelijk geen appels met peren

Voor de bepaling van de biobeschikbaarheid van P bestaan verschillende methodes, waarvan de waarden niet direct te vergelijken zijn. Fosfor wordt uit de bodem in oplossing gebracht in een bepaalde extractievloeistof, zoals water ( $P_w$ ), een zwakke zoutoplossing zoals  $CaCl_2$  ( $P_{CaCl_2}$ ), een natriumbicarbonaatoplossing ( $P_{Olsen}$ ) of een zure oplossing zoals ammoniumlactaat-azijnzuur ( $P_{Al}$ ). De concentraties die worden vrijgesteld nemen toe in de volgorde  $P_{CaCl_2} < P_w < P_{Olsen} < P_{Al}$  (Chardon & Smolders 2009). Een algemene opmerking over deze methodes is dat deze opgesteld werden om de P-behoefte van landbouwgewassen in te schatten en ze niet eenvoudigweg te vertalen zijn naar gebruik in habitatherstel. Bij de bodemkundige dienst en in Nederland wordt doorgaans  $P_{Al}$  gebruikt, in Duitsland  $P_{CAL}$  (in calcium acetaat lactaat), in de UK  $P_{Olsen}$  en verder zijn ook nog de  $P_{Bray}$  (in zoutzuur en ammonium fluoride) en  $P_{Mehlich}$  (azijnzuur, ammonium nitraat, ammonium fluoride, salpeterzuur en EDTA) veel gebruikte methodes die dus niet zomaar met elkaar te vergelijken zijn.

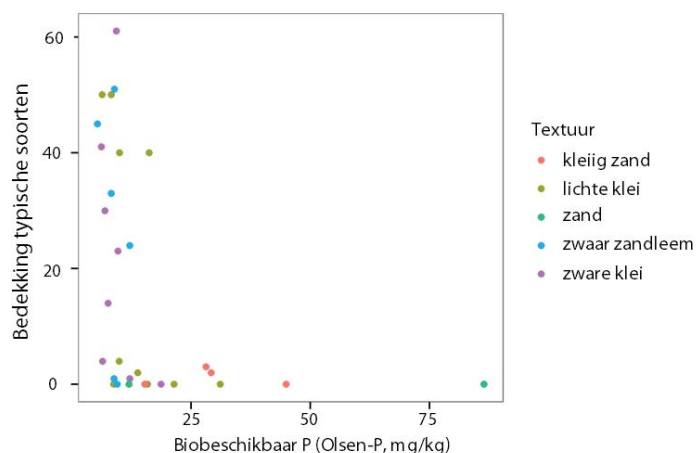
Verder bestaan er verschillende eenheden om concentraties uit te drukken. Zo kunnen de P-concentraties uitgedrukt worden in het element (P) of in verbinding ( $P_2O_5$ ). Daarnaast kan in mg of mol per 100 g of per kg droge of vochtige bodem worden uitgedrukt. Ook worden P-concentraties soms uitgedrukt per volume-eenheid zoals liter of  $dm^3$ . Omrekening van deze laatste naar  $kg^{-1}$  bodem is slechts mogelijk na inschatting van de dichtheid van de bodem. Het is van belang dat wanneer concentraties uit verschillende studies vergeleken worden deze in dezelfde eenheden worden uitgedrukt.

Als we in dit artikel spreken over biobeschikbaar P bedoelen we de concentratie aan  $P_{Olsen}$  gezien deze het beste correleert met P-opname door planten in soortenrijke graslanden onafhankelijk van andere bodemfactoren (Gilbert et al. 2009). In dit artikel drukken we P-concentraties in de bodem steeds uit in mg P/kg droge bodem.

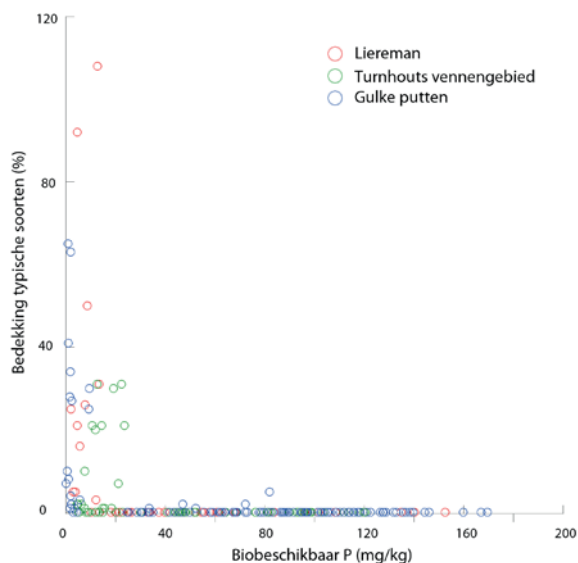
significant lager was (Ceulemans et al. 2009, 2011, 2013). Goed ontwikkelde pimperlgraslanden hebben eveneens vaak biobeschikbare P-concentraties die lager liggen dan 15 mg/kg (Figuur 7). Ook Gilbert et al (2009) toonden aan dat de hoogste soortenrijkdom in Britse graslanden voorkomt op bodems met minder dan 10 mg P/kg, met een optimum bij 5 mg P/kg.

Het probleem van afwezigheid van typische soorten in graslanden onder natuurherstel is echter vaak niet enkel een gevolg van te hoge fosfor- of stikstofconcentraties. Door het sterk gefragmenteerde landschap en de beperkte mogelijkheden van plantensoorten om zich te verbreiden is het zeer moeilijk om ter plaatse te geraken. Bovendien is de kans klein dat in voormalige landbouwgronden nog een levensvatbare zaadbank aanwezig is. Wij vonden in graslanden onder

verschalingsbeheer geen typische soorten van heischraal grasland (Heidekartelblad *Pedicularis sylvatica*, Tormentil *Potentilla erecta*, Struikhei *Calluna vulgaris*, Liggende vleugeltjesbloem *Polygala serpyllifolia*, Borstelgras *Nardus stricta*, Blauwe zegge *Carex panicea*, Tandjesgras *Danthonia decumbens*, Trekrus *Juncus squarrosus* en Klokjesgentiaan *Gentiana pneumonanthe*) wanneer de biobeschikbare P-concentratie hoger was dan 20 mg/kg (zie Figuur 8). Een deel van de groep van graslanden met lage biobeschikbare P-concentraties zijn te beschouwen als referentiesites, die in het verleden niet zwaar bemest werden en waar de plantenpopulaties door landbouwgebruik niet vernietigd werden. In sommige van de graslanden met lage biobeschikbare P-concentraties werden typische soorten door beheerders terug ingebracht nadat de nutriëntenrijke toplaag werd afgegraven of geplagd. Percelen



Figuur 7. Bedekking van typische soorten van pimperlgraslanden (Grote pimperl, Knoopkruid, Veldlathyrus, Knolsteenbreek, Goudhaver ...) in relatie tot de biobeschikbare P-concentraties (Olsen-P) in de bovenste 10 cm van de bodem. (bron gegevens: INBO)



Figuur 8. Bedekking van sleutelsoorten van heischraal grasland (Heidekartelblad, Tormentil, Struikhei, Liggende vleugeltjesbloem, Borstelgras, Blauwe zegge, Tandjesgras, Trekrus en Klokjesgentiaan) in relatie tot de biobeschikbare P-concentraties (Olsen-P) in de bovenste 10 cm van de bodem.



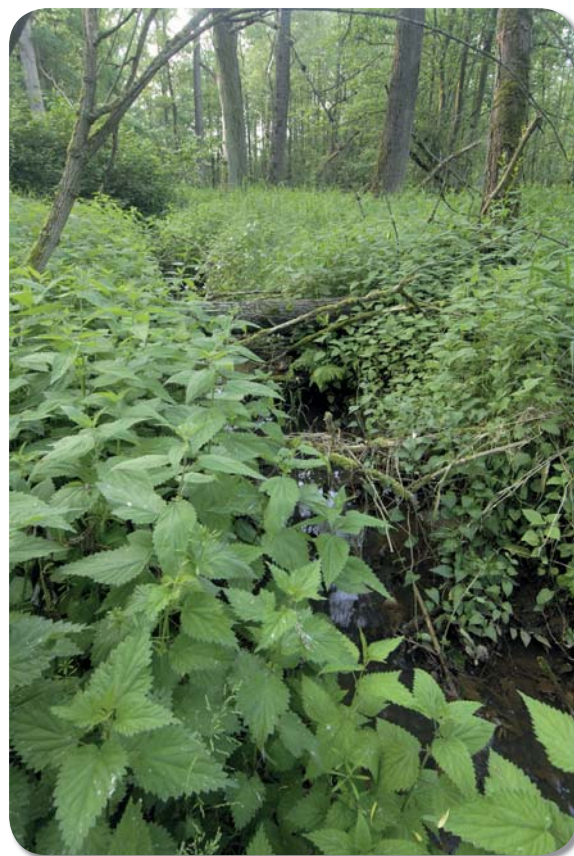
Heischrale graslanden hebben zeer lage biobeschikbare P-concentraties in de bodem. Het is aannemelijk dat deze graslanden van nature zowel N- als P-gelimiteerd zijn. (foto: Welriekende nachtorchis, Vilda/Rollin Verlinde)

liggen vaak sterk geïsoleerd in een landschap van intensief landbouwgebruik. Zonder het aanbrengen van zaad of maaisel zouden deze sites lang oninteressant blijven door het ontbreken van zaadbronnen of een zaadbank. De andere plots waar de typische soorten volledig ontbreken zijn plots met sterk variërende P-concentraties. De typische soorten werden hier ooit vernietigd door een al dan niet intensief en langdurig landbouwgebruik.

In soortenrijke graslanden blijken dus vaak zeer lage biobeschikbare P-concentraties voor te komen. Plantensoorten beschikken in deze omstandigheden over verschillende mechanismen om P te mobiliseren of om beter toegang te krijgen tot P. Zo kunnen plantenwortels bepaalde enzymen uitscheiden die P vrijstellen in de bodem (fosfatase enzymen). Planten kunnen verder een symbiose aangaan met bepaalde schimmels (mycorrhiza's), die het contactoppervlak met de bodem vergroten en zo maken dat plantenwortels meer toegang hebben tot de P in de bodem. Hierdoor kunnen sommige planten ook bij lage P-beschikbaarheden voldoende P opnemen voor hun groei. Nutriëntenrijke landbouwbodems blijken qua microbieel bodemleven gedomineerd te zijn door bacteriën, terwijl nutriëntenarme bodems sterk gedomineerd zijn door schimmels (Bardgett 2005). Wellicht zijn ook de hogere trappen van het voedselweb sterk verschillend. Een andere microbiële gemeenschap zal bijvoorbeeld invloed hebben op de aantallen en diversiteit van de nematoden, wat weer invloed kan hebben op de vegetatie. Naast nutriëntenconcentraties is immers ook het ondergrondse bodemleven sterk sturend voor de bovengrondse biodiversiteit (De Deyn et al. 2003).

In functie van natuurherstel is het interessant kennis te verwerven over welk nutriënt limiterend is voor de groei (zie verder). Van Duren & Pegtel (2000) screenen verschillende natte graslandgemeenschappen en toonden aan dat dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op veenbodern gestuurd worden door N-limitatie of K-limitatie en niet door P-limitatie. Dit wordt bevestigd door de studies van Koerselman & Meuleman (1996), Wassen et al. (2005) en Van de Riet et al. (2009). Voor andere graslandtypes is er minder informatie beschikbaar over welk nutriënt sturend is voor de biodiversiteit. Voor heischraal grasland, blauwgrasland en heide is het aannemelijk te veronderstellen dat zowel N als P limiterend zijn voor de groei (Van Duren & Pegtel 2000, Blanke et al. 2012, Demey et al. 2013). Voor andere habitattypen zoals kleine zeggenvegetaties, kamgraslanden en bossen is weinig informatie te vinden. Meer onderzoek is essentieel.

Voor bossen is het verhaal complexer dan voor grasland. De kruidlaag van bossen wordt meestal gelimiteerd door de beschikbaarheid van licht. Bij de aanleg van nieuwe bossen op landbouwgrond is het van belang rekening te houden met de boomsoort. Wanneer de boomlaag voldoende schaduw produceert, bijvoorbeeld bij boomsoorten als Beuk *Fagus sylvatica* of Linde *Tilia cordata*, kan ondanks hoge biobeschikbare P-concentraties de groei van snelgroeiende vegetaties worden tegengegaan. Als in deze nieuwe bossen potentie bestaat tot uitbreiding van voorjaarsbloeiers zoals Bosanemoon

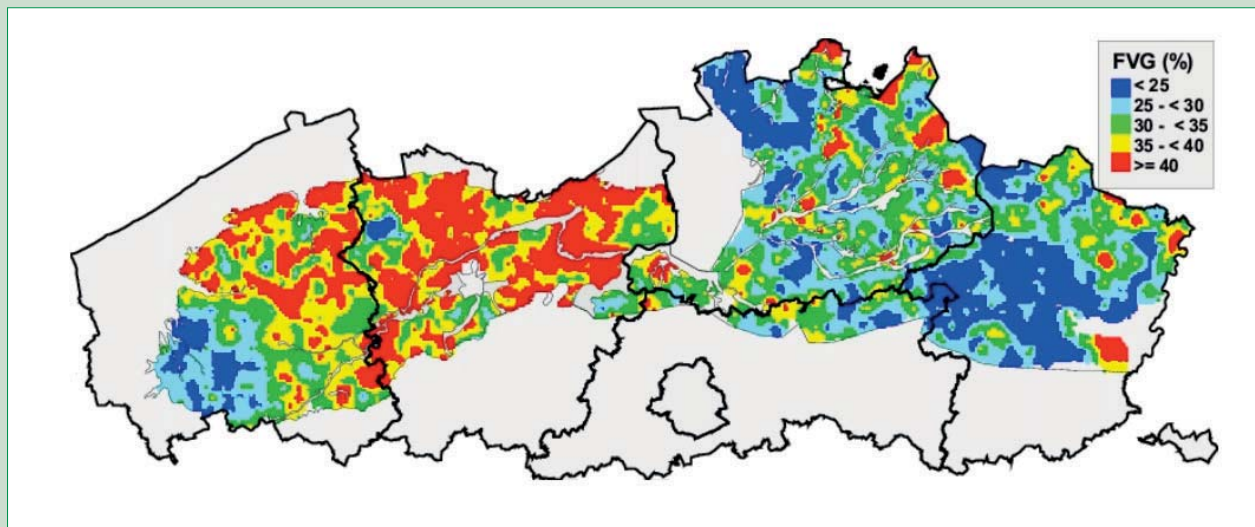


Jonge lichtrijke bossen aangeplant op landbouwgrond worden als gevolg van de hoge biobeschikbare P-concentraties vaak gekenmerkt door een snelgroeiende vegetatie met Brandnetel, Braam of Zevenblad. In jonge schaduwrijke bossen is de ontwikkeling van een voorjaarsvegetatie wel mogelijk, omdat de beschaduwing van het kronendak de ontwikkeling van dergelijke snelgroeiende vegetaties onmogelijk maakt. (foto: Melisbroek, Vilda/Rollin Verlinde)

## Box 2: P-verzadigde bodems in Vlaanderen

Zure, zandige bodems hebben een lage capaciteit om P te binden en zijn bijgevolg erg gevoelig voor P-verzadiging door overbemesting. De P-verzadigingsgraad (FVG) wordt berekend door geadsorbeerde hoeveelheid fosfaat ( $P_{ox}$ , P na oplossing in oxalaat) te delen door het fosfaatbindend vermogen. In zure, zandige bodems wordt P voornamelijk gebonden door Al en Fe. Reeds bij een FVG van 25% is uitspoeling van P naar het grondwater een risico. In Vlaanderen zijn de meeste zure zandgronden in landbouwbeheer P kritisch (FVG > 25%) of P verzadigd (FVG > 35%) (Van Meirvenne et al. 2007). Voor andere bodemtypes zou de kritieke FVG gelijk of

lager liggen (Schoumans 2004). Dit betekent dat het areaal aan fosfaatverzadigde gronden heel wat hoger zou kunnen liggen dan eerder aangenomen. Op zandleembodems in West-Vlaanderen werd eerder al aangetoond dat de FVG (25%) voor gronden rond varkenswekerijen overschreden werd en dit in de helft van de meetpunten in de studie. Binnen P-verzadigde gebieden is de toegelaten P-bemesting gelimiteerd. Maar de actuele wetgeving of de methode om P-verzadigde gebieden te bepalen voldoen echter niet (FVG van 35% als norm i.p.v. 25%) om het P uitspoelingsprobleem op te lossen (De Bolle 2013).



*Vanaf een P-verzadigingsgraad van 25 % worden zure zandige bodems als P-kritisch beschouwd in Vlaanderen. De kans op P uitspoeling naar het grondwater is dan hoog. Bodems met een FVG van meer dan 35 % worden als P-verzadigd beschouwd en hierop wordt P bemesting door de wet ingeperkt (Van Meirvenne et al. 2007).*

en Slanke sleutelbloem, bijvoorbeeld omdat dit nieuwe bos aansluit bij een oud bos, kan de ontwikkeling van een soortenrijke voorjaarsvegetatie mogelijk zijn (Baeten et al. 2011). Op het moment dat het bladerdek gesloten is, is er voor snelgroeiende soorten als Brandnetel *Urtica dioica*, Braam *Rubus fruticosus* en Zevenblad *Aegopodium podagraria* immers onvoldoende licht voor hun groei waardoor ze niet tot dominantie komen. Beuk heeft wel als nadeel dat hij de bodem sterk verzuurt (De Schrijver et al. 2012b) en een dik pakket strooisel produceert, wat eveneens ongunstig is voor de ontwikkeling van voorjaarsvegetatie. In nieuwe aangelegde lichtrijke bossen is de kans op dominantie van Brandnetel, Braam en Zevenblad ten gevolge van hoge P-concentraties wel zeer waarschijnlijk.

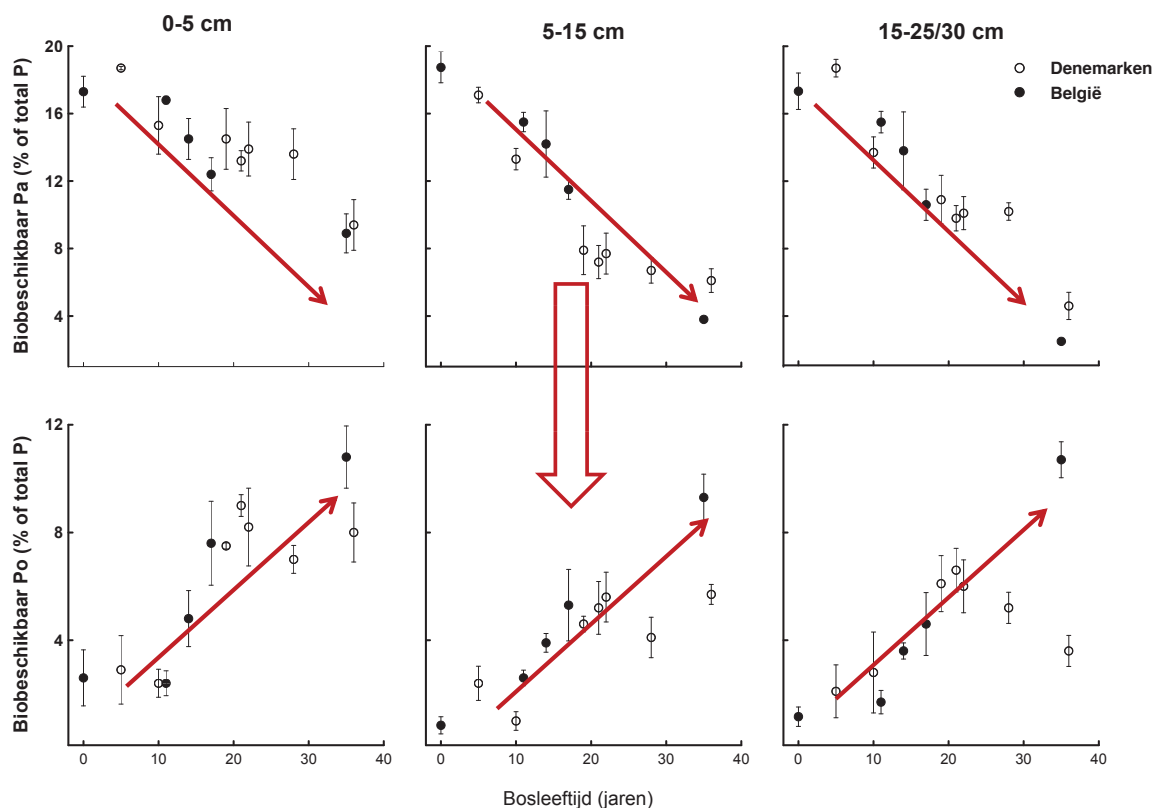
Niet enkel de gewijzigde competitieverhoudingen tussen soorten maakt dat typische bosplantensoorten minder kans krijgen. Ook veranderingen in de demografie van bosplantensoorten is van belang. Bosplanten zoals Bosanemoon *Anemone nemorosa* en Slanke sleutelbloem *Primula elatior* zullen bij hogere biobeschikbare P-concentraties sneller groeien: hun levenscyclus voltooit zich versneld en ze sterven sneller. Een soort als Slanke sleutelbloem kan deze snellere mortaliteit echter niet compenseren met de vestiging van nieuwe individuen, waardoor de soort zich op langere termijn mogelijk niet zal kunnen handhaven (Baeten et al. 2009).

## Biogeochemische kennis is broodnodig

Biobeschikbare P-concentraties blijken in een groot aantal natuurdoeltypes zeer laag te liggen (zie Houtmeyers et al. 2013). Referentiesites zijn echter meestal gelegen in natuurgebied en nooit of slechts sporadisch bemest geweest. De vraag stelt zich of de P-concentraties werkelijk zo laag moeten liggen om natuurherstel op voormalige landbouwgrond te realiseren. Is een duurzaam herstel van natuur ook mogelijk bij hogere P-concentraties? Hierbij is het ook van belang te definiëren waarmee we tevreden zijn: welke soortenrijkdom en bedekking van doelsoorten wordt nagestreefd? Verdere kennisverwerving hierover is essentieel en lopend aan zowel het INBO als aan de universiteiten.

Om herstel van een bepaald ecosysteemtype te realiseren op voormalige landbouwgrond is het verder van belang te weten welke hulpbron de biomassa-productie het meest stuurt. Als een ecosysteemtype gekenmerkt wordt door stikstoflimitatie, dan zullen de beheermaatregelen anders moeten zijn dan als fosforlimitatie, kaliumlimitatie of colimitatie van stikstof, kalium of fosfor wordt nagestreefd. Via beheermaatregelen kan immers getracht worden een bepaald nutriënt limiterend te maken. Zo kan vernatting de biobeschikbaarheid van stikstof verlagen, maar die van fosfor sterk verhogen. Een heel intensief maaibeheer kan leiden tot kaliumlimitatie (Van Duren &





Figuur 9. Evolutie in de biobeschikbare P-concentraties met toenemende leeftijd van eikencrossen aangeplant op voormalige landbouwbodem. Uit deze gegevens blijkt dat de biobeschikbare anorganische P-concentraties (Pa) afnemen, maar dat deze daling gecompenseerd wordt door een toename in de biobeschikbare organische P-concentraties (Po). De totale biobeschikbaarheid van P blijft dus gelijk.

Pegtel 2000). Om fosforlimitatie te bereiken kan uitmijnen overwogen worden (zie volgend artikel in deze reeks). Als extreem hoge P-concentraties voorkomen, dan zal ontgronden of opteren voor een voedselrijker natuurdoeltype soms de enige opties zijn.

Het is bovendien van belang om inzicht te krijgen in de verschillende P-fracties in de bodem. Alleen gegevens van biobeschikbare anorganische P-concentraties zijn onvoldoende om de totale pool aan biobeschikbaar P in te kunnen schatten. Met toenemende bosontwikkeling op voormalige landbouwgrond bijvoorbeeld nam de biobeschikbare anorganische P fractie af, maar dit werd gecompenseerd door een stijging van de biobeschikbare snel mineraliseerbare organische P fractie (Figuur 9). De totale biobeschikbare P-pool bleef dus gelijk.

Een verschalingsbeheer van zeer rijke landbouwbodems naar schrale vegetaties is een werk van lange adem. Het volgende artikel in deze reeks bespreekt hoe verschaling kan gerealiseerd worden in functie van het herstel van heischrale graslanden op zandbodems. We vergelijken de voor- en nadelen van een klassiek maaibeheer, de techniek van uitmijnen en ontgronden.

### Conclusie

In tegenstelling tot N accumuleert P zeer sterk in de bodem. P spoelt in de meeste bodems niet gemakkelijk uit en kan niet vervluchtigen, waardoor een jarenlange te hoge bemesting resulteert in een vaak extreem hoge voorraad aan P. Honderden tot zelfs duizenden jaren na stopzetting van het voormalige landbouwgebruik worden nog steeds verhoogde P-concentraties in de bodem teruggevonden. Natuurgebieden

worden vaak gekenmerkt door zeer lage P-concentraties in de bodem. Het betreft hier meestal percelen die nooit of slechts sporadisch bemest geweest zijn. Uit recent onderzoek blijkt dat de meest soortenrijke graslanden voorkomen bij zeer lage P-concentraties. Momenteel is nog onvoldoende geweten welke de streefwaarden zijn qua P-concentraties in de bodem om een duurzaam natuurherstel op landbouwgrond te realiseren. Er wordt bovendien enkel rekening gehouden met de biobeschikbare anorganische P-concentraties in de bodem. Weinig kennis is momenteel voorhanden over de snel mineraliseerbare organische P fractie. Cruciaal in het natuurherstel is daarom kennis van de biogeochemie in relatie tot de kansen voor vestiging van typische soorten.

## Summary:

DE SCHRIJVER A., SCHELFHOUT S., DEMEY A., RAMAN M., BAETEN L., DE GROOTE S., MERTENS J. & VERHEYEN K. FOCUS ON BIOGEOCHEMISTRY - PART 5. NATURE RESTORATION ON AGRICULTURAL LAND: PHOSPHORUS AS BOTTLENECK. *Natuur.fOCUS* 12(4): 145-153 [IN DUTCH].

Alarmed by the worldwide loss of biodiversity, several international initiatives are undertaken to gather knowledge on biodiversity conservation and ecosystem restoration. Within the Natura 2000 network, member states of the EU are urged to take measures for maintaining and restoring natural habitats. For Flanders, new natural habitat has to be restored on agricultural land. The restoration of species-rich grasslands on former agricultural land, however, faces major bottle-

necks and restoration has shown variable success. High soil nutrient levels hinder species diversity through favouring fast growing, competitive species which outcompete other, subordinate species. Loss of terrestrial plant biodiversity has been both linked to high levels of nitrogen and phosphorus (P). P is one of the least mobile mineral nutrients and many post-agricultural soils have large reserves as a consequence of heavy fertilisation during decades. This paper focuses on the topic of nature restoration on former agricultural fields, more particular on P as bottleneck for nature restoration. We explain the biogeochemical behaviour of P in the soil and discuss the process of internal eutrophication. We also discuss why biogeochemical knowledge is necessary for nature restoration. In our next paper we focus on which techniques nature managers can use for habitat restoration.

### AUTEURS:

An De Schrijver, Andreas Demey en Lander Baeten zijn postdoctorale onderzoekers en Stephanie Schelfhout en Stefanie De Groote zijn doctoraatsstudenten aan het Labo voor Bos & Natuur (Vakgroep Bos & Water) van de Universiteit Gent. Kris Verheyen is professor aan hetzelfde labo. Jan Mertens is professor aan de vakgroep Toegepaste Biowetenschappen van de Universiteit Gent. Maud Raman is onderzoekster aan het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

### CONTACT:

An De Schrijver, Labo voor Bos & Natuur,  
Geraardsbergse Steenweg 267, 9090 Gontrode (Melle).  
E-mail: an.deschrijver@ugent.be

### Referenties:

- Baeten L., De Schrijver A., De Keersmaecker L. 2011. Bosplanten in de tang genomen: landschap en bodem als knelpunten voor de ontwikkeling van soortenrijke jonge bossen. *Bosrevue* 37: 2-5.
- Baeten L., Vanhellemont M., Van Calster H., Hermey M., De Schrijver A. & Verheyen K. 2009. Zullen bosplantenpopulaties zich ooit vestigen in jonge bossen op voormalige landbouwgronden? *De Levende Natuur* 110: 215-219.
- Bardgett R. 2005. *The biology of soil. A community and ecosystem approach*. Oxford, University Press.
- Blanke V., Bassin S., Volk M. & Fuhrer J. 2012. Nitrogen deposition effects on subalpine grassland: The role of nutrient limitations and changes in mycorrhizal abundance. *Acta Oecologica* 45: 57-65.
- Boers P. & Uunk J. 1990. Methode voor het inschatten van de nalevering van fosfaat door de waterbodem na vermindering van de externe belasting. Lelystad, nota Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA nr. 90.032.
- Butchart S. H. M., Walpole M., Collen B., van Strien A., Scharlemann J. P. W., Almond R. E., et al. 2010. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328: 1164-1168.
- Ceulemans T., Merckx R., Hens M. & Honnay O. 2013. Plant species loss from European semi-natural grasslands following nutrient enrichment. Is it nitrogen or is it phosphorus? *Global Ecology and Biogeography*, 22(1), 73-82.
- Ceulemans T., Merckx R., Hens M., Honnay O. 2011. A trait-based analysis of the role of phosphorus vs. nitrogen enrichment in the loss of grassland plant species across Northwestern Europe. *Journal of Applied Ecology* 48: 1155-1163.
- Ceulemans T., Hens M., Honnay O., Merckx R. 2009. Vermesting en soortenrijkdom in heischrale graslanden. *Natuur.fOCUS* 8: 90-95.
- Chardon W. & Smolders F. 2009. Grenswaarden voor beschikbaarheid van bodemfosfaat bij natuurontwikkeling. *De levende natuur*, 110, p. 95.
- De Bolle S. 2013. Phosphate saturation and phosphate leaching of acidic sandy soils in Flanders: analysis and mitigation options. PhD Universiteit Gent.
- De Deyn GD., Raaijmakers CE., Zoomer HR., Berg MP., de Ruiter PC., Verhoef HA., Bezemer TM., van der Putten WH. 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature* 422: 711-713.
- Demey A., Ameloot E., De Schrijver A., Staelens J., Hermey M., Boeckx P. & Verheyen K. 2013. Focus op biogeochemie - deel 3. Sleutelrol voor halfparasieten in de biogeochemie van soortenrijke graslanden. *Natuur.fOCUS* 12: 68-76.
- De Schrijver A., Vesterdal L., Hansen K., De Frenne P., Augusto L., et al. 2012a. Four decades of post-agricultural forest development have caused major redistributions of soil phosphorus fractions. *Oecologia*, 169(1), 221-34.
- De Schrijver A., Wuyts K., Schelfhout S., Staelens J., Verstraeten J. & Verheyen K. 2012b. Verzuring van terrestrische ecosystemen. *Natuur.fOCUS* 11: 136-143.
- De Schrijver A., Schelfhout S. & Verheyen K. 2013a. Bepaling van de effectieve potenties voor herstel en creatie van pimpernelgraslanden in deelgebieden 2 en 4 van de SBZ Heesbossen, Vallei van Marcke en Merkske en Ringven met valleigroonden langs de Heerlese loop. Studie in opdracht van het Agentschap voor Natuur en Bos. Rapport november 2013, 82p.
- De Schrijver A., Demey A., De Frenne P., Schelfhout S., Vergeynst J., De Smedt P. & Verheyen K. 2013b. Stikstof en biodiversiteit: een onverzoenbaar duo. *Natuur.fOCUS* 12: 92-102.
- Dumortier M., De Bruyn L., Hens M., Peymen J., Schneiders A., Van Daele T. & Van Reeth W. (red.) 2009. *Natuurverkenning 2030. Natuurrapport Vlaanderen, NARA 2009*. Mededeling van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, INBO.M.2009.7, Brussel.
- Gilbert J., Gowing D. & Wallace H. 2009. Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment methods and community tolerances. *Biological Conservation*, 142(5), 1074-1083.
- Gobin A., Uljee I., Van Esch L., Engelen G., de Kok J., van der Kwast H. et al. 2009. *Landgebruik in Vlaanderen. Wetenschappelijk rapport MIRA 2009 en NARA 2009*. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek 2009 (20). Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek, Brussel.
- Houtmeyers S., Van Broeckhoven E., Vandenbroucke A. & Vergeynst J. 2013. Zoektocht naar referentiewaarden voor het herstel van soortenrijke natuur. Bachelor Thesis, Universiteit Gent.
- Koerselman W. & Meuleman A. F. M. 1996. The vegetation N:P ratio: a new tool to detect the nature of nutrient limitation. *Journal of Applied Ecology* 33: 1441-1450.
- Lamers L., Lucassen E., Tomassen H., Smolders A. & Roelofs J. 2009. Verpitruissing bij natuurontwikkeling: voorkomen is beter dan genezen. *De Levende Natuur* 110: 43-46.
- Mclachlan K. 2006. The Nature and longevity of agricultural impacts on soil carbon and nutrients: A review. *Ecosystems* 9: 1364-1382.
- Mulier A., Hofman G., Baecke E., Carlier L., De Brabander D., De Groote G. et al. 2003. A methodology for the calculation of farm level nitrogen and phosphorus balances in Flemish agriculture. *European Journal of Agronomy*, 20, 45-51.
- Overloop S., Bossuyt M., Claeys D., Wustenberghs H., D'hooghe J., Elsen A. & Eppinger R. 2012. Milieuen natuurrapport (MIRA) Vlaanderen, indicatorrapport 2012, achtergronddocument 2012 vermessing. Vlaamse Milieumaatschappij.
- Olde Venterink H. 2011. Does phosphorus limitation promote species-rich plant communities? *Plant and Soil*, 345(1-2), 1-9.
- Sattari S. Z., Bouwman A. F., Giller K. E., & Van Ittersum M. K. 2012. Residual soil phosphorus as the missing piece in the global phosphorus crisis puzzle, *109(16)*. doi:10.1073/pnas.1113675109.
- Smolders A., Lucassen E., Tomassen H., Lamers L., & Roelofs J. 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad voor Natuur, Bos en Landschap* 6: 5-11.
- Van Gerven L. P. A., Hendriks R. F. A., Harmsen J., Beumer V. & Bogaart P. W. 2011. Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem. Metingen in het veengebied Krimpenerwaard. *Alterra-rapport 2217*, Reeks Monitoring stroomgebieden 23. Alterra, Wageningen UR.
- Van de Riet B. P., Barendregt A., Brouns K., Hefting M. M. & Verhoeven J. T. A. 2009. Nutrient limitation in species-rich *Calthion* grasslands in relation to opportunities for restoration in a peat meadow landscape. *Applied Vegetation Science* 1: 1-11.
- Van Duren I. C. & Pegtel D. M. 2000. Nutrient limitations in wet, drained and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results, 35-47.
- Van Meirvenne M., Tariku M. & Salomez J. 2007. Afbakening van de fosfaatverzadigde gebieden in Vlaanderen op basis van een kritische fosfaatverzadigingsgraad van 35%. Studie in opdracht van de VLM - Mestbank. Finaal rapport: deel 1a afbakening.
- Wassen M. J., Venterink H. O., Lapshina E. D., & Tanneberger F. 2005. Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature*, 437(7058), 547-50.