

Natuur.focus

Afgiftekantoor
9099 Gent X
P209602

Toelating – gesloten verpakking

Retouradres: Natuurpunt,
Coxiestraat 11,
2800 Mechelen

VLAAMS DRIEMAANDELIJKS TIJDSCHRIFT OVER NATUURSTUDIE & -BEHEER – MAART 2014 – JAARGANG 13 – NUMMER 1
VERSCHIJNT IN MAART, JUNI, SEPTEMBER EN DECEMBER



**Windmolenparken
in de Noordzee**



**Opmars van Gevlekte
witsnuitlibel in Limburg**



**Exotische macro-
invertebraten in Vlaanderen**



Focus op biogeochemie – deel 6

Natuurontwikkeling op landbouwgrond: herstelmaatregelen

Stephanie Schelfhout, An De Schrijver, Jan Mertens, Andreas Demey, Mario De Block, Cécile Herr, Pallieter De Smedt & Kris Verheyen



Het herstel van soortenrijke natuur op voormalige landbouwgronden is alleen mogelijk als zowel de hydrologie als de voedselrijkdom worden aangepakt. Dit blauwgrasland wordt de komende jaren uitgebreid op aanpalende nutriëntenrijke percelen in het Vrieselhof in Oelegem, terreinen van de Provincie Antwerpen beheerd door ANB. (foto: Stephanie Schelfhout)

In de vorige artikels in deze reeks werden de oorzaken van vermesting en verzuring en de nadelige gevolgen voor de biodiversiteit uitgelegd. Bij uitbreiding van kwaliteitsvolle natuur is de biogeochemie dan ook zeer belangrijk. Om het verlies aan biodiversiteit te stoppen, schrijft Europa voor dat Vlaanderen tegen 2030 ca. 25 000 ha natuur- en bosuitbreiding moet realiseren (Gobin et al. 2009). Deze uitbreiding zal gedeeltelijk op landbouwgrond plaatsvinden en daar is het vrijwel altijd noodzakelijk om de bodemvruchtbaarheid te verlagen (De Schrijver et al. 2013a, De Schrijver et al. 2013b) en een gunstige hydrologie te herstellen (meestal vernatting). Abiotische herstelmaatregelen moeten de beschikbaarheid van nutriënten terugdringen om de dominantie van snelgroeiende soorten te breken. Alleen dan kan er zich een soortenrijke vegetatie ontwikkelen. Op voormalige landbouwgronden is de aanrijking met het weinig mobiele fosfor (P) het meest problematisch voor het herstel van soortenrijke graslanden, heide, bossen en wetlands. In dit zesde en laatste artikel richten we ons op de meest geschikte verschralingsmaatregelen om natuurherstel te realiseren op voormalige landbouwgronden. Want er zijn kanttekeningen te maken over de haalbaarheid van het herstellen van P-gelimiteerde natuurdoeltypen op sterk bemeste bodems (Fagan et al. 2008). Zijn maatregelen als maaien en afvoeren, ontgronden en P-uitmijnen geschikte maatregelen voor de praktijk? Hierbij wordt een stand van zaken opgemaakt over de huidige kennis en geven we aan waar onderzoek nog lopend is.

Natuurontwikkeling onderscheidt zich van natuurbeheer omdat hier vaak vertrokken wordt van een sterk gedegradeerde uitgangstoestand (**Figuur 1**, Hermy et al. 2004). Het reguliere beheer volstaat hier niet om het gewenste natuurdoel te realiseren, althans niet binnen een aanvaardbare termijn. Via herstelbeheer, bv. drukbegrazing of branden, of volgehouden maaien en afvoeren, kan het opgestapelde N uit de bodem, afkomstig van atmosferische depositie, verwijderd worden (De Schrijver et al. 2013a). Wanneer echter van een sterk bemeste situatie wordt vertrokken, is er veel meer nodig om naar een nutriëntenarm systeem terug te keren en spreken we van actieve natuurontwikkeling. Het is een veel voorkomend misverstand dat dan via begrazing voldoende verschraling zou kunnen gebeuren. Er worden echter slechts weinig

nutriënten afgevoerd met begrazing. Via bv. het ontgronden van de bovenste bodemlaag is het wel mogelijk om op korte termijn de gewenste lage nutriëtniveaus te bereiken. Uitmijnen kan dan weer gezien worden als een vorm van natuurontwikkeling over langere termijn. In dit artikel leggen we de focus op hoe de ontwikkeling van soortenrijke graslanden op voormalige landbouwgronden met maaien en afvoeren, ontgronden en uitmijnen van P kan verlopen. Alternatieve technieken worden kort aangehaald en ook herintroducties worden kort besproken. De **Box** is een casestudie van een natuurontwikkeling in het Bos van Aa waarin de verschillende maatregelen per situatie vergeleken worden.

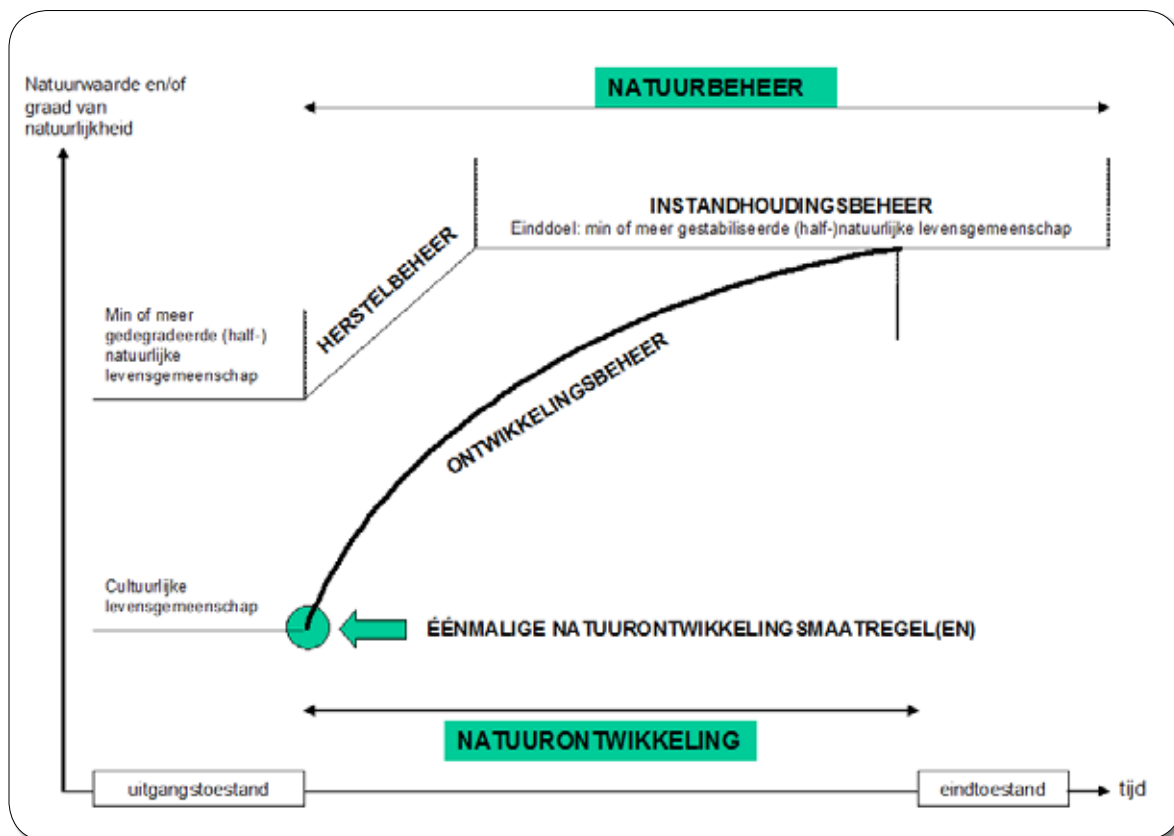
Maaien en afvoer van maaisel

Het maaien van graslanden wordt al honderden jaren uitgevoerd om het hooi te gebruiken als wintervoeding voor vee. Tegenwoordig wordt maaibeheer in de natuursector toegepast om bloem- en soortenrijke vegetaties te creëren en te behouden (Van Uytvanck & De Blust 2012). Maaien en afvoeren in bestaande natuurgebieden voert nutriënten af, houdt de vegetatie open en zorgt zo voor een verhoogde soortenrijkdom in graslanden. Binnen de context van dit artikel bekijken we of maaien en afvoeren, door de afvoer van nutriënten met het maaisel, de gewenste nutriëntenlimitatie kan teweegbrengen op voormalige landbouwgronden. Een bemest grasland dat meermaals gemaaid wordt, kan jaarlijks meer dan 15 ton biomassa produceren. De biomassa productie zal bij omschakeling van landbouwbeheer naar verschralend maaibeheer al na enkele jaren afnemen door een limitatie door N (Smits et al. 2008) of kalium (K) (Oelmann et al. 2009). Deze kan zelfs snel terugvallen naar minder dan vijf ton biomassa

per jaar zonder een verhoging in het aantal plantensoorten met zich mee te brengen (Berendse et al. 1992). Dit was ook zo bij een hoge maaifrequentie van vier keer per jaar (Pavlu et al. 2011). De vegetatiesamenstelling blijft langdurig steken in een soortenarme, grasrijke vorm omdat deze N- of K-limitatie onvoldoende is om de competitieve grassen in hun groei te beperken. Zoals uit het vorige nummer in deze reeks bleek, is een (co)limitatie door P noodzakelijk voor veel soortenrijke vegetatietypes (De Schrijver et al. 2013b).

Fosfor is echter veel minder mobiel dan N en K en bijgevolg ook moeilijker uit het systeem te verwijderen. En als daarbovenop ook de afnemende biomassa productie de P-afvoer vertraagt door N- of K-limitatie, zal het via maaien en afvoeren vaak meer dan honderd jaar duren om voldoende P-arme omstandigheden te verkrijgen (zie **Box**). Het is bijgevolg beter om een verschralend maaibeheer in te zetten op terreinen waar de gewenste bodem-P-condities bijna bereikt zijn (Smolders et al. 2008), zoals vanaf 25 mg P_{Olsen} / kg. (P_{Olsen} is een maat voor de biobeschikbare P-fractie van de bodem; nutriëntenconcentraties van de bodem worden in dit artikel steeds uitgedrukt per kg droge bodem.)

Naast de bijzonder lange tijdsduur om via maaibeheer de geschikte biogeochemische omstandigheden te creëren, hangt er ook een zekere kostprijs vast aan een ontwikkelingsbeheer via maaien, die varieert van 580 tot 1.872 euro per ha per jaar (**Tabel 1**). Deze kostprijs is afhankelijk van de verkoops waarde van het hooi, die op zijn beurt grotendeels bepaald wordt door de kwaliteit van het maaisel. De maaiselkwaliteit wordt beïnvloed door de frequentie van het maaien en niet door het al dan niet bemesten met N. Bij vier keer maaien is de verteerbaarheid veel hoger dan bij slechts twee keer maaien (Pavlu



Figuur 1. De inzet van verschillende maatregelen van natuurbeheer of natuurontwikkeling is afhankelijk van de graad van natuurlijkheid van de uitgangstoestand. (bron: Van Uytvanck & Decler 2004)

et al. 2011). Maar zelfs bij maaisel van een lagere kwaliteit kunnen de paarden- en schapensector interessante afzetmarkten zijn. En ook bij runderen zijn er afzetmogelijkheden. Zo kunnen drooggevallen en jonge koeien dit hooi als voeder gebruiken en ook het bijmengen van lager kwalitatief maaisel (tot 40%) kan voor hoogproductief melkvee zonder productieverliezen (Bruinenberg et al. 2006).

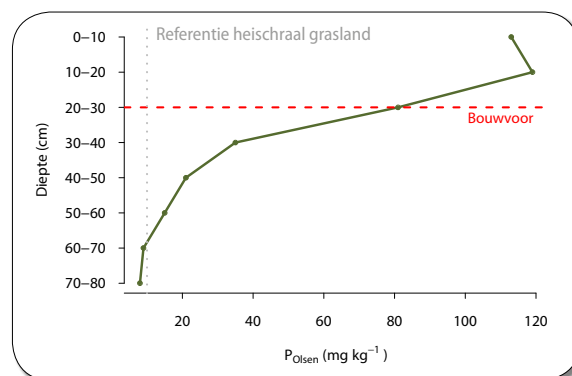
Tabel 1. Geschatte kostprijs van verschillende natuurontwikkelingsmaatregelen. Gegevens uit Anonymous (2012), tenzij aangegeven met een (a): persoonlijke communicatie Mario De Block, inschatting ontgronding van 30 cm diepte bij afzet binnen 6 km straal; of aangegeven met een (b): inschatting volgens Oosterbaan et al. (2008). Maatregelen die jaarlijks herhaald moeten worden, werden uitgedrukt in jaarlijkse kost.

Maatregel	Kostenrange (euro per ha)
Ontgronden	20.000(a) – 300.000
Plaggen	6.000 – 11.000
Maaien en afvoeren	580 – 1.872
Uitmijnen(b)	540

Ontgronden

De laatste jaren wordt steeds vaker overgegaan tot ontgronden om een snelle verschraling te realiseren. Hierbij wordt de nutriëntenrijke bodemlaag tot soms wel meer dan 50 cm diepte afgevoerd. Ontgronden blijkt inderdaad een effectieve maatregel te zijn voor de afvoer van P gezien het tot een sterke afname van de bodemnutriëntenstock leidt (Frouz et al. 2009, Klooker et al. 1999, Verhagen et al. 2001). Het is echter belangrijk dat de diepte van ontgronden beslist wordt op basis van specifieke

metingen: de bouwvoor verwijderen blijkt vaak onvoldoende gezien P in P-verzadigde bodems ook dieper verhoogde concentraties kan vertonen (Figuur 2, Koopmans et al. 2007 en zie ook De Schrijver et al. 2013b). Deze drastische ingreep heeft ook nadelen: de verwijdering van (een deel van) het zuurbufferend vermogen van de bodem (zie ook De Schrijver et al. 2012), afvoeren van (een deel van) de bodembiota en de zaadbank (Kardol et al. 2009, Kemmers et al. 2006, Oosterbaan et al. 2008) en de zeer hoge kostprijs (Tabel 1). Deze maatregel kan echter goedkoper worden uitgevoerd als bv. de grond gebruikt kan worden bij de aanleg van dijken of andere toepassingen. Toch blijkt dat de prijs van het eenmalige ontgronden op de lange termijn goedkoper kan zijn dan bv. vijftig jaar verschrallend maaibeheer (Smolders et al. 2008).



Figuur 2. Het is belangrijk een inzicht te hebben in het profiel van P-aanrijking op een bemest perceel vooraleer over te gaan tot ingrijpende, dure maatregelen zoals ontgronden. De bouwvoor is de bovenste bodemlaag die in landbouwgebruik frequent geploegd wordt (0 – 30 cm). Voor het perceel op zandbodem in deze figuur zou het onvoldoende zijn om enkel de bouwvoor te verwijderen gezien P is uitgelooft naar de diepere lagen (De Schrijver et al. 2013c).



Maaien en afvoeren van het maaisel. (foto: Stephanie Schelfhout)



Na chemische bodemanalyses wordt de benodigde te ontgronden diepte bepaald. Dit is, afhankelijk van het natuurdoeltype, vaak dieper dan de bouwvoor (0 tot 30 cm). Om een hectare voor 50 cm te ontgronden is een grondverzet van 5.000 m³ of ca. 170 vrachtwagens nodig. Links: natuurinrichting van het Europese Life-project 'Averbode Bos en Heide' waarbinnen historische vencomplexen en heide hersteld werden op o.a. voormalige maïsakkers (foto: VLM); rechts: grootschalige natuurinrichting in het Turnhouts Vennengebied waar in 2011 voormalige landbouwterreinen ontgrond werden (foto: Mario De Block).

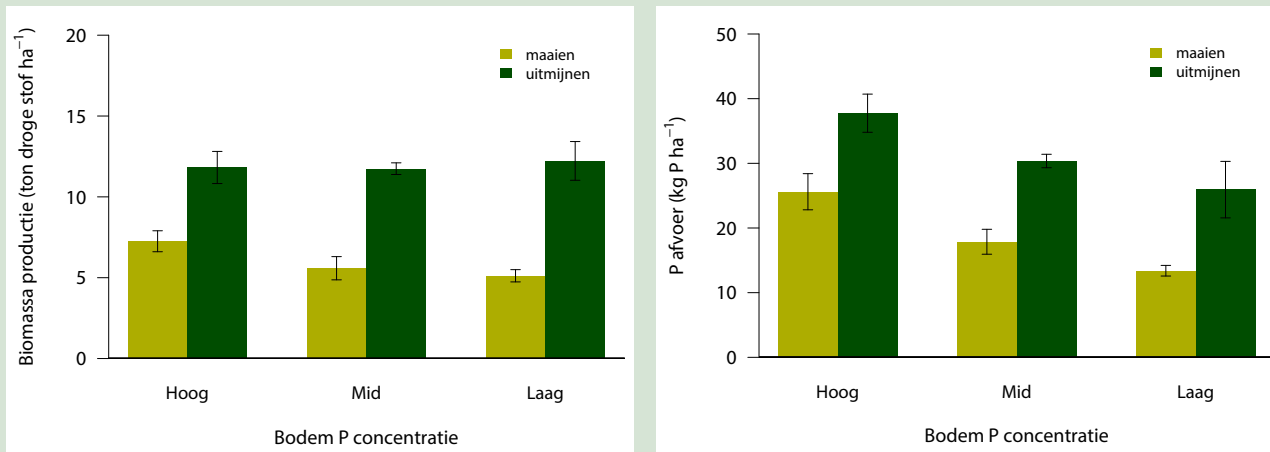
Het is echter niet in alle gevallen mogelijk om te ontgronden tot de gewenste diepte door het ontstaan van een 'badkuip' waarin het regenwater blijft staan. Ook de aanwezigheid van erfgoedwaarden kunnen conflicteren met deze maatregel. In de depressie van de Moervaart zorgt de aanwezigheid van paleogeulen er bijvoorbeeld voor dat ontgronden in bepaalde zones onmogelijk is (De Schrijver et al. 2013c). Daarenboven is het gewenste resultaat na ontgronden niet gegarandeerd gezien de herkolonisatie van doelplantensoorten vaak moeizaam verloopt zonder introductie (Allison & Ausden 2004, Sival et al. 2009, Verhagen et al. 2004). Een uitzonderlijke maatregel kan bestaan in het na ontgronden nieuw aanbrengen van niet-nutriëntverzadigd bodemmateriaal uit de omgeving, het zogenaamde 'bezanden'. Dit om het badkuipeffect te vermijden en om zeker te zijn van nutriëntenarme condities. Hier zijn echter heel wat randvoorwaarden aan gebonden (bodemsamenstelling, waterhuishouding, zaadbank ...) (Bobbink et al. 2009). Met een oppervlakkige ontgroning of plaggen wordt bedoeld dat minder dan 10 cm van de toplaag afgevoerd wordt. Met deze maatregel wordt een deel van de nutriënten en een belangrijke hoeveelheid bodemorganisch materiaal verwijderd. Op landbouwbodems waarop kerende grondbewerkingen werden toegepast, zitten de verhoogde nutriëntenconcentraties echter minstens tot op 30 cm diepte. Hierdoor is plaggen meestal niet geschikt voor het herstel van de abiotiek op voormalige landbouwbodems.

Uitmijnen van P als alternatieve verschrallingsmethode?

Een alternatief voor het ingrijpende ontgronden en het trage maaien en afvoeren is de techniek van P-uitmijning. Uitmijnen is een aangepaste landbouwmethode gericht op het afvoeren van P waardoor de overgang van landbouw naar natuur geleidelijk verloopt. Deze techniek kan ingezet worden als overgangsscenario ter voorbereiding van natuurbeheer. Uitmijnen wordt gezien als een snellere verschrallingsmethode dan maaien aangezien de nutriëntenlimitaties worden opgeheven door selectieve bemesting met andere nutriënten (N en K) dan P (Chardon

2008, Crawley et al. 2005, Marrs 1993, Perring et al. 2009). Hierbij moet ook de pH tussen 5,5 en 6,5 worden gehouden met bv. bekalking om maximale opname van P mogelijk te maken (zie **Figuur 4** in De Schrijver et al. 2013b). Er zijn echter nog tal van onzekerheden aan deze techniek in ontwikkeling.

Daarom werd op aansturen van het ANB en Natuurpunt en in samenwerking met landbouwers door het ForNaLab (UGent) een grootschalig proeftraject opgestart in Landschap De Lieberman van Natuurpunt vzw. Deze proeven moeten inzicht verschaffen op de effectiviteit en economische haalbaarheid van P-uitmijning. De eerste veld- en potexperimenten van P-uitmijnen met grassenteelt bij verschillende bodem-P-niveaus tonen aan dat de efficiëntie van het uitmijnen zal dalen bij afname van de bodem-P-concentratie en dus in de loop van het verschrallingsproces (**Figuur 3**, **Figuur 4** en Schelfhout et al. submitted). Het onmiddellijk opneembare P in de bodemoplossing kan via uitmijnen op korte termijn sterk dalen (van Eekeren et al. 2007), maar over de langetermijneffecten van uitmijnen is nog niet veel geweten (Herr et al. 2011). De meer gefixeerde bodem-P-fractionen (zie ook De Schrijver et al. 2013b) blijven vaak hoog en kunnen vooral in P-verzadigde bodems P met vertraging aanleveren (Koopmans et al. 2004), waardoor P-arme bodemcondities niet snel gehaald kunnen worden. Hierdoor zal een verschralling van een P-rijke tot een P-arme bodem met uitmijnen toch nog decennia kunnen duren, afhankelijk van de uitgangssituatie en het natuurdoeltype (zie ook **Box**). Uitmijnen zal bijgevolg een methode zijn die slechts in een beperkt aantal situaties wordt aangeraden. We suggereren daarom om uitmijnen initieel in te zetten in percelen waarbij het via maaien net te lang zou duren. Na een aantal jaren uitmijnen wordt dan best overgeschakeld op maaien en afvoeren waarbij ook met het biotisch herstel kan gestart worden. Ook over de kostprijs van uitmijnen is er nog onzekerheid. Los van het ontbreken van de mogelijkheid op mestafzet is de kostenbalans licht negatief of zelfs neutraal zolang een landbouwkundig waardevol product geteeld kan worden. Het is echter nog onbekend of de voederkwaliteit optimaal blijft bij lage bodem-P-concentraties. Op percelen in conventioneel



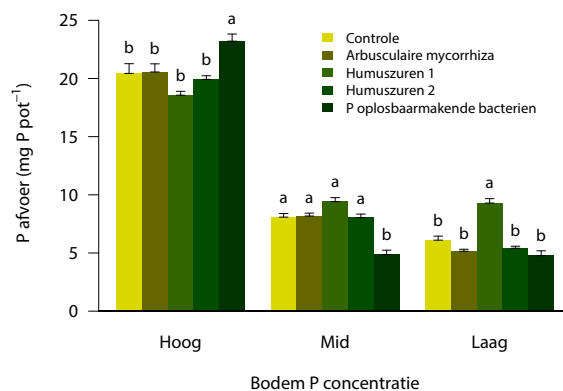
Figuur 3. Totale biomassa productie en P-afvoer met een grassenmengsel in het derde jaar (2013) van de veldproef in natuurgebied Landschap de Liereman (Natuurpunt vzw) op drie verschillende bodem-P-niveaus: Hoog is 110 mg P _{Olsen}/kg, Mid is 70 mg P _{Olsen}/kg en Laag is 30 mg P _{Olsen}/kg. Uitmijnen van P door bemesting met N en K wordt vergeleken met maaien en afvoeren zonder bemesting. De biomassa productie en P afvoer zijn veel lager bij verschrallend maaien. Het valt op dat ondanks de gelijke biomassa-productie op de drie percelen er toch een groot verschil in P afvoer bestaat. Uitmijnen lijkt dus te vertragen met de tijd. De veldproef is nog lopende en zal nog minstens twee jaar opgevolgd worden.

landbouwbeheer kan de afzet van mest een winstfactor zijn. Bij P-uitmijning is het niet mogelijk om dierlijke mest te gebruiken gezien daar P in zit.

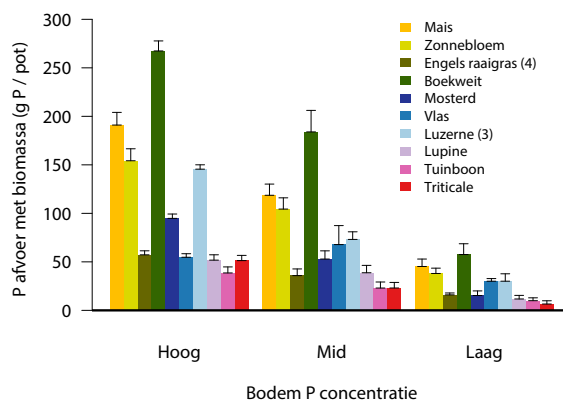
Uitmijnen, een verschrallingsmethode in ontwikkeling

Verschralling via uitmijnen blijkt dus, zeker bij hoge bodem-P, bijna 50% sneller te gaan dan maaien en afvoeren (Figuur 3), maar voor veel voormalige landbouwpercelen is de benodigde tijdsduur nog steeds erg lang (Box). Daarom wordt gezocht naar manieren om de techniek van P-uitmijning te verbeteren. We hebben zonder resultaat geprobeerd om de vertraagde nalevering van bodem-P uit de traag circulerende P-pool te versnellen via bodemaddities zoals humuszuren, arbusculaire mycorrhiza en fosfor oplosbaar makende bacteriën (Figuur 4, Schelfhout et al. submitted). Humuszuren zijn laag-moleculaire organische zuren die in competitie kunnen treden met P op bodemsorptieplaatsen. Zo kunnen ze de opname van P door planten verhogen (Khademi et al. 2010). Arbusculaire mycorrhiza zijn schimmels die in symbiose met planten leven. Ze kunnen door het vergroten van de opnameoppervlakte een hogere P-opname realiseren voor planten. Fosfor oplosbaar makende bacteriën zouden P kunnen mobiliseren omdat ze zuren en fosfatase enzymen afscheiden (Richardson 2007). Er is echter weinig geweten over de toepasbaarheid van deze stoffen en organismen in het veld.

Een andere denkpiste is om in plaats van te werken met ingezaaide grassen, gebruik te maken van andere gewassen die het uitmijnen kunnen versnellen omwille van hun specifieke mechanismen om P uit de meer gefixeerde P-fracties te onttrekken (Hakala et al. 2009, Sharma et al. 2007, Turner 2008). Zo is het mogelijk interessant om een P-vrijmakend gewas in rotatie te gebruiken met een hoog productief gewas (Teboh & Franzen 2011). Uit een eerste potproef bij verschillende bodem-P-niveaus bleek dat boekweit en luzerne interessante uitmijngewassen zijn (Figuur 5). Deze resultaten worden in de komende jaren uitgetest in een gewasrotatie op pas verworven percelen van Landschap De Liereman.



Figuur 4. Gecumuleerde P-afvoer van vier maai beurten uit een potproef van 123 dagen waarbij uitmijnen van P met Engels raaigras bij verschillende bodem-P-niveaus werd getest. De bodem-P-niveaus zijn dezelfde als in Figuur 3. In tegenstelling tot die veldproef was de biomassa productie niet dezelfde voor de drie bodem-P-niveaus: de productie was ten opzichte van Hoog 23% en 36% lager bij resp. Mid en Laag. De verschillende balkjes staan voor verschillende behandelingen waarmee getracht werd om meer P af te voeren met het gras. De behandelingen gaven geen noemenswaardige verbeteringen ten opzichte van de controle (Schelfhout et al. submitted)



Figuur 5. Uitmijnen met tien verschillende gewassen in een potproef met drie verschillende bodem-P-niveaus. De bodems werden optimaal bemest met alle nutriënten, behalve P. Tussen haakjes staat het aantal oogsten vermeld als dit meer dan een keer was. Uit deze gegevens blijkt dat de P-afvoer afhankelijk is van het bodem-P-niveau en van het gebruikte gewas. (bron: Schelfhout et al. ongepubliceerde resultaten)

Bedenkingen over uitmijnen als natuurontwikkelingstechniek

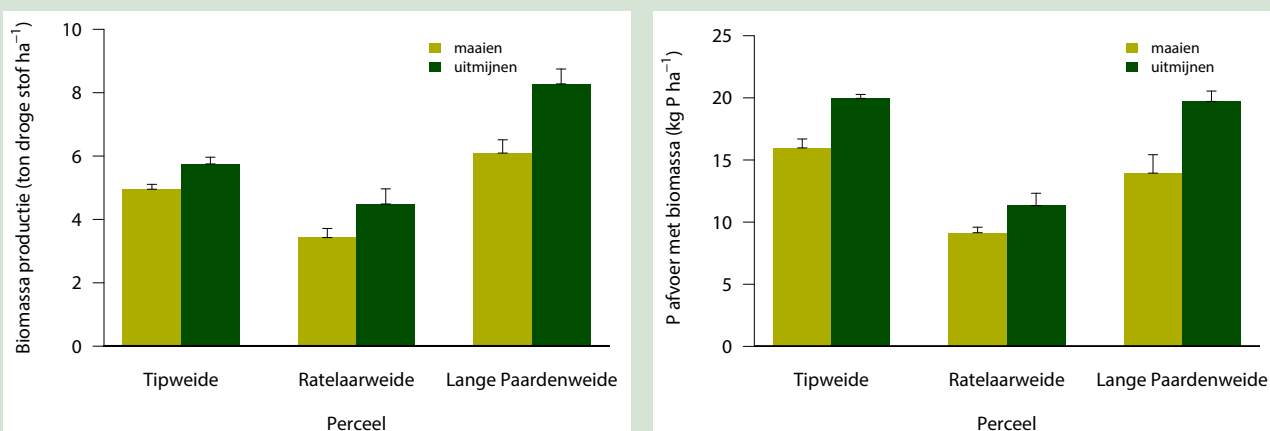
Er zijn echter bedenkingen bij het inzetten van P-uitmijnen als natuurontwikkelingsmaatregel. Deze techniek is eerst en vooral een landbouwtechniek gericht op een zo hoog mogelijke P-afvoer om de abiotische omstandigheden te herstellen voordat overgegaan wordt naar een biotisch herstel. Hoewel de natuur- en de landbouwsector partners zijn in het uitmijnverhaal, kunnen beheerders en ook recreanten het moeilijk hebben met het verderzetten van een landbouwmethode op een pas verworven perceel door de natuursector. Zo kan zonder de nodige opvolging en communicatie bv. de teelt van maïs, ondanks de hoge P-afvoer, op tegenstand stuiten. Andere factoren dan een snelle P-afvoer kunnen mee worden afgewogen. Zo kan het gebruik van graangewassen, boekweit, luzerne en grasklaver beter in het volledige plaatje van natuurherstel passen door hun bijkomende waarde voor bv. akkervogels en insecten. Ook is het voor de bodembiota zeer nadelig om grondbewerkingen uit te voeren op een reeds lang gevestigd grasland opdat gewassen zouden kunnen worden ingezaaid (Roger-Estrade et al. 2010). We bekeken daarom, in samenspraak met ANB, VLM, INBO en de dienst Groendomeinen van de Provincie Antwerpen, in een veldproef in het Vrieselhof (2013) of uitmijnen met de bestaande vegetatie een mogelijke piste is (Figuur 6). De percelen behoren tot dotterbloem- en grote vossenstaartgraslanden of daarmee verwante rompgemeenschappen. Bemesting met N (uitmijnen) kon enkel in de Tipweide en de Lange Paardenweide de P-afvoer met een redelijke hoeveelheid verhogen. Mogelijk ligt de oorzaak voor de verschillende effecten van N-bemesting bij het verschil in vegetatiesamenstelling. Zo maakte Smalle weegbree, die niet sterk reageert op N-bemesting, een groot deel uit van de bestudeerde kwadranten in de Ratelaarweide. Uitmijnen zal in dergelijke situaties een tijdelijk verlies van soorten met zich meebrengen door de N-bemesting (zie ook De Schrijver et al. 2013a). Verder onderzoek is nodig om meer inzicht te krijgen in de haalbaarheid van uitmijnen met de bestaande vegetatie. Het is ook mogelijk om N-bemesting te vervangen door een combinatie van gras met N-fixerende Rode of Witte klaver in te zaaien. Als de klaver zich goed vestigt in de

grasklavervegetatie, kan deze meer dan 200 kg N per jaar fixeren (Barríos 2007) en daardoor kan de P-afvoer van een P-rijke bodem even hoog zijn als bij een grasland dat bemest wordt met N (ca. 30 tot 40 kg P-afvoer per jaar bij van der Salm et al. 2009). Klaver is echter gevoelig voor een tekort aan K en kan daardoor uit het grasland verdwijnen (Evans et al. 1986). Zonder K-bemesting werd bij een uitmijnexperiment met grasklaver op het Nederlandse Hengstven 15% minder P afgevoerd dan in het K-bemeste perceel (van Eekeren et al. 2007). Ook in infiltratiegebieden is er bij bemeste bodems een risico op P-uitspoeling naar omringende natuurgebieden (Koerselman et al. 1990). Uitmijning van gebieden rond gevoelige natuurgebieden tot ze niet meer P-verzadigd zijn, kan een oplossing zijn.

Andere maatregelen

Een andere denkpiste is om het overtollige P extra in de bodem te fixeren. Deze techniek werd reeds meerdere malen positief bevonden bij het beperken van P-uitloging uit bemeste bodems (Chardon 2009). In het kader van natuurontwikkeling is de additie van P-fixerende stoffen echter maar beperkt onderzocht. Kemmers et al. (2007) vonden dat de biobeschikbaarheid van P daalde bij bemesting met ijzer, kalk of bevloeiing met basen- en ijzerrijk slib. Dit gebeurde in het kader van uitbereiding van dotterbloemgraslanden. De fixatie van P door additie van chemische stoffen zou echter tal van nadelen met zich meebrengen en geen uitgesproken gunstige resultaten opleveren (Ann et al. 2000, Geurts et al. 2011, Gilbert et al. 2003). De toediening van bepaalde verbindingen zoals $FeCl_3$ had bv. negatieve gevolgen voor de vegetatie door de vorming van zoutzuur (Kemmers et al. 2007).

Een andere techniek is diepploegen waarbij het bodemprofiel omgekeerd wordt tot op grotere diepte (1 m of zelfs dieper). Hier zijn speciale machines voor nodig en vermoedelijk brengt het begraven van de P-rijke laag slechts in een beperkt aantal situaties een oplossing, gezien relaties met oa. de waterhuishouding. In natte situaties lijkt het bv. niet aangewezen om een P-verzadigde laag te verplaatsen van de toplaag naar diepere lagen. Verder onderzoek naar de mogelijkheden met diepploegen is vereist.



Figuur 6. Resultaten van een eenjarige veldproef in Oelegem (Vrieselhof) waarbij getracht werd om met de aanwezige graslandvegetatie P uit te mijnen. Proefvlakken werden bemest met N en de biomassa productie en cumulatieve P-afvoer werd bepaald na twee keer maaïen. De bodem-P-concentraties waren verschillend voor de drie percelen: de Tipweide met 90 mg P_{Olser}/kg, de Ratelaarweide met 51 mg P_{Olser}/kg en de Lange Paardenweide met 39 mg P_{Olser}/kg. In vergelijking met het aanpalende blauwgrasland (12 mg P_{Olser}/kg) hadden deze percelen hoge tot zeer hoge biobeschikbare bodem-P-concentraties. Daarbij kwam ook dat de ijzerconcentratie erg hoog was en er bijgevolg veel P vast zit in de actieve P-pool en dus vrij kan komen bij vernatting.

Box: Casestudie Bos van Aa (De Schrijver et al. 2013d)

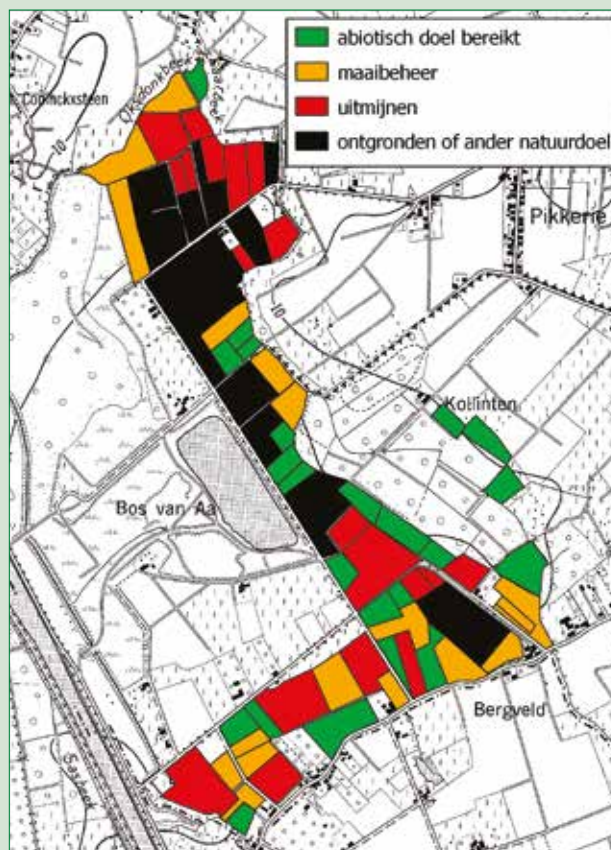
Naar aanleiding van de natuurontwikkeling in de zone Bos van Aa (Zemst) werd in 2013 een bodemonderzoek uitgevoerd waarin de potenties voor het herstel en de ontwikkeling van glanshavergrasland werden bestudeerd. Verschillende bodem-P-fracties (P_{Olsen} , P_{ox} en P_{tot} , zie De Schrijver et al. 2013b), pH en het totaal gehalte aan ijzer, calcium en zwavel werden gemeten. Vervolgens werd er vergeleken met de huidige gekende referentiewaarden voor glanshavergraslanden, verder onderzoek naar deze referentiewaarden is lopende aan het INBO. In deze casestudie werd gewerkt met vrij strenge, i.e. lage, referentiewaarden: $P_{Olsen} < 15$ mg P/kg (De Schrijver et al. 2013b, persoonlijke communicatie Maud Raman (INBO)). De meeste percelen met groene kleur in het oosten van het gebied zijn al langere tijd onder natuurbeheer (15 jaar) en de P_{Olsen} -concentraties zijn door een beperkte of ontbrekende bemestingsgeschiedenis niet overschreden. Op deze percelen is dan ook geen ontwikkelings- of herstelbeheer voorgesteld maar een instandhoudingsbeheer. Wat verder opvalt, is dat de andere percelen enorm verschillend zijn in biobeschikbare P-concentraties door voornamelijk verschillende bemestingsregimes.

De percelen in oranje kunnen verschaald worden met een maaibeheer van slechts enkele jaren (< 10 jaar, 15 - 25 mg P_{Olsen} /kg). Het is voor Vlaanderen een vrij uitzonderlijke situatie om in landbouwgebieden nog dergelijke P-arme situaties te vinden. Deze percelen zijn optimaal geschikt om natuurherstel te realiseren en kunnen best gevrijwaard worden van verdere bemesting.

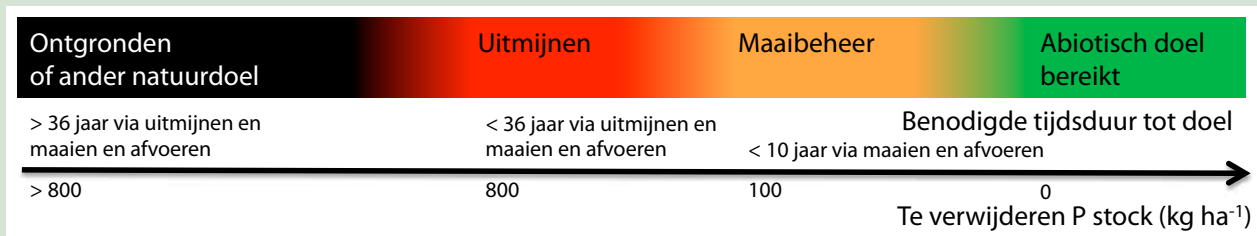
Bij de percelen in rood zou het maaibeheer echter zeer lang duren (> 50 jaar maaien, 25 - 50 mg P_{Olsen} /kg) en hier wordt dan ook voorgesteld om initieel een uitmijnbeheer toe te passen tot 25 mg P_{Olsen} /kg bereikt wordt en vervolgens om te schakelen naar een maaibeheer. Vanaf wanneer er aan maaibeheer wordt gedaan, wordt ook aan biotisch herstel gedaan. Afhankelijk van de initiële situatie, akker of grasland, kan ervoor gekozen worden om met andere gewassen te werken zoals grasklaver en graangewassen, of te werken met de bestaande vegetatie, gecombineerd met additie van N en K. Het werken met maïs is hier minder aangewezen, vanwege de ligging van de percelen tussen twee natuurgebieden in. De ecologische connectiviteit in het landschap kan hierdoor beter gevrijwaard blijven.

De percelen in het paars en zwart zijn intensief bemest, waardoor de abiotische voorwaarden niet gehaald kunnen worden binnen een redelijke termijn (> 50 jaar uitmijnen, > 50 mg P_{Olsen} /kg). Hier kan best nagegaan worden of de gewenste natuurdoelen via

ontgronden bereikt kunnen worden. Als alternatief kan men ook kiezen voor de ontwikkeling van minder veeleisende natuurdoelen, zoals structuurrijke, maar soortenarmere (al dan niet begraaide) ruigtes. Deze kunnen dan ingepast worden in een gevarieerde matrix met de soortenrijke graslanden.



Aanbevolen natuurontwikkelingsmaatregelen in de zone Bos van Aa in Zemst na een bodemonderzoek waarin de potenties voor het herstel en de ontwikkeling van glanshaver graslanden werden bestudeerd (De Schrijver et al. 2013d). Als abiotisch doel werd een streng criterium gehanteerd: $P_{Olsen} < 15$ mg P/kg (De Schrijver et al. 2013b, persoonlijke communicatie Maud Raman (INBO)). De keuze werd gemaakt op basis van tijdsberekeningen na het inschatten van de af te voeren bodem-P-stock (in kg/ha voor 0 tot 30 cm diepte). Het al dan niet haalbaar zijn van de tijdsdoelen werd getoetst met de IHD waarbij het natuurherstel gerealiseerd dient te worden tegen uiterlijk 2050.



De keuze voor een bepaald ontwikkelingsbeheer op voormalige landbouwgronden is afhankelijk van de initiële P_{Olsen} en P_{ox} en het gekozen natuurdoeltype. Wanneer meer waardevolle soortenrijke vegetatietypes beoogd worden, is de te verwijderen P-stock meestal erg groot omdat de te bereiken referentiewaarde laag is. Deze P-stock werd hier berekend als het verschil in absolute Pox-hoeveelheden per volume bodem tussen de initiële situatie en referentiewaarde voor de bovenste bodemlaag (0 tot 30 cm). Ontgronden wordt aangeraden wanneer de termijn voor het maaien of uitmijnen niet binnen de instandhoudingsdoelstellingen (IHD) kan gerealiseerd worden (> 36 jaar, tegen 2050) en in de casestudie 'Bos van Aa' was dit vanaf een te verwijderen P-stock van ca. 800 kg P/ha. Dit komt voor deze situatie overeen met 50 mg P_{Olsen} /kg en 350 mg P_{ox} /kg. Uitmijnen tot aan een bepaald niveau gevolgd door een verschaalend maaibeheer vanaf een P-stock van 100 kg P/ha werd aangeraden in situaties met < 800 kg te verwijderen P-stock/ha. Een verschaalend maaibeheer wordt aangeraden wanneer de te verwijderen P-stock laag is: < 100 kg P/ha bij ca. 20 mg P_{Olsen} /kg en 170 mg P_{ox} /kg voor deze casestudie.



Figuur 7. Ontwikkeling van blauwgrasland door het enten van 63 plaggen uit een naburig natuurgebied naar een pas ontgronde landbouwgrond. Deze maatregel moet het biotische herstel versnellen nadat de hydrologische en bodemomstandigheden geschikt werden gemaakt. Deze maatregel gebeurde in 2013 in het kader van het Life+-project 'Blues in the Marshes'. (foto's: Kars Veling)

En na de abiotiek, de biotiek?

Het is mogelijk dat zelfs bij geschikte abiotische omstandigheden de kolonisatie door typische soorten uitblijft gezien de aanvoer van zaad van doelsoorten te laag is. Bovendien hebben veel soorten slechts een kortlevende zaadbank (< 5 jaar) en een beperkte dispersiecapaciteit. In dergelijke gevallen is het wenselijk de kolonisatie van doelsoorten te versnellen door, bij gebrek aan natuurverbindingen, zaden aan te voeren, bv. via het overbrengen van maaisel uit goed ontwikkelde percelen uit de buurt. Hierbij wordt best vertrokken vanuit een naakte bodem (bv. na plaggen), omdat de vestigingskansen van soorten in een bestaande graszode zeer laag zijn. Een aantal proeven, bijvoorbeeld in het natuurinrichtingsproject Turnhouts Vennengebied, wijzen uit dat deze werkwijze bijzonder succesvol kan zijn. Het overbrengen van soorten kan ook subtieler door het inzetten van 'bewegende corridors' zoals gedeelde maaimachines tussen soortenrijke habitats (Aufret 2011).

Bijkomend kan men overwegen geschikt bodemmateriaal te enten. In het Nederlandse 's-Hertogenbosch werden daarom in 2013 na het ontgronden van een voormalige landbouwgrond (het gebied Honderdmorgen) plaggen overgebracht van het naburige natuurgebied Moerputten (Figuur 7). Deze

geënte mini-blauwgraslandjes moeten een bron van zaden en bodemorganismen worden van waaruit kolonisatie op de pas afgegraven voedselarme grond kan gebeuren. Voorafgaand aan deze maatregel werden de bodem en hydrologie uitvoerig bestudeerd en gezien het kwelwater van goede kwaliteit was, werd besloten deze vernieuwende techniek in te zetten. Via deze link zie je een filmpje over het enten: <http://tinyurl.com/phm28fr>.

Conclusie

De omvorming van intensief gebruikte landbouwgronden naar soortenrijke natuurtypes is niet eenvoudig en vaak onmogelijk zonder ingrijpende veranderingen zoals ontgronden. Maaien en afvoeren van maaisel kan op vrij korte termijn een limitatie door N of K veroorzaken. Een limitatie van P kan op dezelfde termijn via deze techniek niet bekomen worden op sterk bemeste gronden. Uitmijnen of het selectief bemesten met N en K opdat P maximaal wordt afgevoerd, kan de verschralingstijd verkorten maar ook dat proces kan lang duren bij sterk bemeste landbouwgronden. Uitmijnen lijkt daarom, vanuit de huidige kennis, een maatregel die slechts voor een beperkte range van terreinen inzetbaar is. En dit meest in het bijzonder bij percelen die slechts een beperkte overschrijding van de doelconcentraties vertonen. Daarnaast is uitmijnen ook een mogelijke maatregel ter beperking van het risico op P-uitloging uit omringende landbouwpercelen rond gevoelige natuurgebieden.

Bij herstel van soortenrijke natuurdoeltypen lijkt het in eerste instantie toch belangrijk om op zoek te gaan naar bodems met een lage biobeschikbare P-concentratie, bv. door een beperkte historische bemesting of door hoge concentraties aan elementen die P kunnen binden in de bodem (bv. ijzer of calcium). Bij landbouwgronden met een zeer hoge biobeschikbare P-concentratie is ontgronden na een doordachte studie van o.a. het bodem P-profiel vaak de enige optie, tenzij geopteerd wordt om daar een minder veeleisend (en vaak soortenarmer) natuurdoeltype te realiseren. Daarnaast is het ontbreken van zaadbronnen een mogelijk knelpunt bij het herstel van soortenrijke vegetatietypes. Een herintroductie van soorten door overbrengen van maaisel of zaaien, eventueel samen met bodembiota, kan daarom aan de orde zijn, maar dient wel doordacht te gebeuren en moet goed gedocumenteerd worden.

Summary:

SCHELFHOUT S., DE SCHRIJVER A., MERTENS J., DEMEY A., DE BLOCK M., HERR C., DE SMEDT P. & VERHEYEN K. 2014. FOCUS ON BIOGEOCHEMISTRY – PART 6. HABITAT RESTORATION ON EX-AGRICULTURAL FIELDS: RESTORATION TECHNIQUES. NATUUR.FOCUS 13(1): 31-39 [IN DUTCH].

Previous papers in the series 'Focus on biogeochemistry' handled over causes for acidification and eutrophication and consequences for biodiversity. It was concluded that in order to restore species-rich habitat-types, biogeochemical properties should be taken into account. Next to restoring the hydrology, nutrient removal is often at hand. In this paper, we focus on which nutrient depleting techniques nature managers

can use for habitat restoration on ex-agricultural fields. It is not likely that mowing and removing nutrients with hay and P-mining are attainable measures to recreate nutrient-poor habitat types on intensively used agricultural fields. Topsoil removal, a more severe technique with risks for acidification, is recommended in those cases. Else, a change of targeted habitat-type is necessary. Phosphorus-mining is a technique to be used in fields where the nutrient stock to be removed is relatively small. A transition period from P-mining to mowing with hay removal would be optimal because with the latter technique also biotic restoration can start with, if necessary, reintroduction of species through hay transfer or seeding. Species-rich habitat-types should be primarily restored on fields that were not fertilized as severely.

AUTEURS:

Stephanie Schelfhout en Pallieter De Smedt zijn doctoraatsstudenten en An De Schrijver en Andreas Demey zijn post-doctorale onderzoekers 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. Mario De Block is coördinator Natuurinrichting bij Agentschap voor Natuur en Bos Antwerpen. Cecile Herr is onderzoekster aan het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek.

CONTACT:

Stephanie Schelfhout, Labo Bos & Natuur,
Geraardsbergse Steenweg 267, 9090 Gontrode (Melle).
E-mail: stephanie.schelfhout@ugent.be

Dank:

Onze dank gaat uit naar Filip en Kris Ceunen waarop we steeds konden rekenen bij terreinwerk en staalvoorbereidingen. Ook willen we Luc Willems en Greet De Bruyn bijzonder bedanken voor de grote expertise en inzet bij de chemische analyses van de vele bodem- en vegetatiestalen. Verder willen we ook Jelle Van den Bergh, Robbe De Beelde en Tom Du Pré bedanken die tijdens hun vakantiejob of masterthesis meewerkten aan deze proeven. Bij deze bedanken we ook Cedric Maton voor het kritische nalezen. Dank gaat ook uit naar de terreinbeheerders van Landschap De Liereman (Natuurpunt vzw), Vloethemveld (ANB), Vrieselhof (dienst Groendomeinen van de Provincie Antwerpen) en Bos van Aa (Natuurpunt vzw Kanaalregio) en naar landbouwer Dieter Dijkmans voor de uitstekende samenwerking.

Referenties

Allison M. & Ausden M. 2004. Successful use of topsoil removal and soil amelioration to create heathland vegetation. *Biological Conservation* 120(2): 221–228.

Ann Y., Reddy K.R. & Delfino J.J. 2000. Influence of chemical amendments on phosphorus immobilization in soils from a constructed wetland. *Ecological Engineering* 14: 157–167.

Anonymous 2012. Opmak van een model voor de technische kosten van inrichtings- en beheerwerken. Eindrapport BE0112000229. Berchem.

Auffret A.G. 2011. Can seed dispersal by human activity play a useful role for the conservation of European grasslands? *Applied Vegetation Science* 14(3): 291–303.

Barrios E. 2007. Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economics* 64: 269–285.

Berendse F., Oomes M.J.M., Altena H.J. & Elberse W.T. 1992. Experiments on the restoration of species-rich meadows in The Netherlands. *Biological Conservation* 62(1): 59–65.

Bobbink R., Weijters M., Vanderhaeghe F. & Carron T. 2009. Expertadvies herstel blauwgrasland-riecit en omgeving te Vrieselhof, Oelegem: eindrapport. Haskoning en B-WARE. Nijmegen.

Bruinenberg M.H., Geerts R.H.E.M., Struik P.C. & Valk H. 2006. Dairy cow performance on silage from semi-natural grassland. *NJAS* 54(1): 95–110.

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

Chardon W.J. 2009. Mogelijkheden voor immobiliseren van bodemfosfaat in het kader van natuurontwikkeling. Alterra-rapport 1870. Wageningen.

Crawley M.J., Johnston A.E., Silvertown J., Dodd M., de Mazancourt C., Heard M.S. et al. 2005. Determinants of species richness in the Park Grass Experiment. *The American naturalist* 165(2): 179–92.

De Schrijver A., Wuyts K., Schelfhout S., Staelens J., Verstraeten G. & Verheyen K. 2012. Verzuuring van terrestrische ecosystemen. Oorzaken, remedies en gevolgen voor de biodiversiteit. *Natuur.focus* 11(4): 136–143.

De Schrijver A., Demey A., De Frenne P., Schelfhout S., Vergeynst J., De Smedt P. & Verheyen K. 2013a. Stikstof en biodiversiteit: een onverzoenbaar duo. *Natuur.focus* 12(3): 92–102.

De Schrijver A., Schelfhout S., Demey A., Raman M., Baeten L., De Groot S., Mertens J. & Verheyen K. 2013b. Natuurherstel op landbouwgrond: fosfor als bottleneck. *Natuur.focus* 12(4): 145–153.

De Schrijver A., Schelfhout S. & Verheyen K. 2013c. Onderzoek naar mogelijkheden voor natuurontwikkeling in de depressie van de Moervaart in relatie tot fosfor.

De Schrijver A., Schelfhout S. & Verheyen K. 2013d. Bodemonderzoek naar de potenties voor herstel en ontwikkeling van soortenrijk grasland Bos van Aa.

Evans D., Thomas T., Williams T. & Davies W. 1986. Effect of fertilizers on the yield and chemical composition of pure sown white clover and on soil nutrient status. *Grass and Forage Science* 41(4): 295–302.

Fagan K.C., Pywell R.F., Bullock J.M. & Marrs R.H. 2008. Do restored calcareous grasslands on former arable fields resemble ancient targets? The effect of time, methods and environment on outcomes. *Journal of Applied Ecology* 45(4): 1293–1303.

Frouz J., Diggelen R., Pižl V., Starý J., Háněl L., Tajovský K. & Kalčík J. 2009. The effect of topsoil removal in restored heathland on soil fauna, topsoil microstructure, and cellulose decomposition: implications for ecosystem restoration. *Biodiversity and Conservation* 18(14): 3963–3978.

Geurts J.J.M., van de Wouw P.A.G., Smolders A.J.P., Roelofs J.G.M. & Lamers L.P.M. 2011. Ecological restoration on former agricultural soils: Feasibility of in situ phosphate fixation as an alternative to top soil removal. *Ecological Engineering* 37: 1620–1629.

Gilbert J., Gowing D. & Loveland P. 2003. Chemical amelioration of high phosphorus availability in soil to aid the restoration of species-rich grassland. *Ecological Engineering* 19: 297–304.

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). Brussel.

Grime J.P. 2001. Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties. 2nd Edition. John Wiley & Sons. Chichester, UK.

Hakala K., Keskkitalo M., Eriksson C. & Pitkanen T. 2009. Nutrient uptake and biomass accumulation for eleven different field crops. *Agricultural and Food Science* 18(3–4): 366–387.

Hermly M., De Blust G. & Sloomackers M. 2004. Natuurbeheer. Uitg. Davidsfonds i.s.m. Argus vzw, Natuurpunt vzw en het IN. Leuven.

Herr C., De Becker P. & Hens M. 2011. Ecohydrologisch en bodemkundig onderzoek i. f. v. herstelmaatregelen aan Achelse Kluis. Rapporten van het Instituut voor Natuur- en Bosonderzoek (6). Brussel.

Kardol P., van der Wal A., Bezemer T.M., de Boer W. & van der Putten W.H. 2009. Ontgronden en bodembestjes: geen gelukkige combinatie. *De Levende Natuur* 110(1): 57–61.

Khademi Z., Jones D.L., Malakouti M.J. & Asadi F. 2010. Organic acids differ in enhancing phosphorus uptake by *Triticum aestivum* -effects of rhizosphere concentration and counterion. *Plant Soil* 334: 151–159.

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

Kemmers R.H., Grootjans A.P., Nijp J., van Delft S.P.J. & van Dijk G. 2007. Continuering experimenteel bevoelingsonderzoek langs de Reest, eindrapport 2006. Rapport DK nr. 2007/080-O, Ede.

Klooker J., Bakker J. & van Diggelen R. 1999. Natuurontwikkeling op minerale gronden. Ontgronden: nieuwe kansen voor bedreigde plantensoorten? Rijksuniversiteit Groningen.

Koopmans G.F., Chardon W.J., Ehler P.A.I., Dolging J., Suurs R.A.A., Oenema O. & van Riemsdijk W.H. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *Journal of Environmental Quality* 33(3): 965–975.

Koopmans G.F., Chardon W.J. & McDowell R.W. 2007. Phosphorus movement and speciation in a sandy soil profile after long-term animal manure applications. *Journal of Environmental Quality* 36: 305–315.

Koerselman W., Bakker S.A. & Blom M. 1990. Nitrogen, phosphorus and potassium budgets for two small fens surrounded by heavily fertilized pastures. *Journal of Ecology* 78: 428–442.

Marrs R.H. 1993. Soil fertility and nature conservation in Europe: Theoretical considerations and practical management solutions. *Advances in Ecological Research* 24: 241–300.

Oelmann Y., Broll G., Holzel N., Kleinebecker T., Vogel A. & Schwartz P. 2009. Nutrient impoverishment and limitation of productivity after 20 years of conservation management in wet grasslands of north-western Germany. *Biological Conservation* 142(12): 2941–2948.

Oosterbaan A., de Jong J.I. & Kuiters A.T. 2008. Vernieuwingen in ontwikkeling en beheer van natuurgraslanden op voormalige landbouwgrond op droge zandgronden. Alterra-rapport 1669. Wageningen.

Pavlu V., Schellberg J. & Hejcman M. 2011. Cutting frequency vs. N application: effect of a 20-year management in Lolio-Cynosuretum grassland. *Grass and Forage Science* 66: 501–515.

Perring M.P., Edwards G. & de Mazancourt C. 2009. Removing phosphorus from ecosystems through nitrogen fertilization and cutting with removal of biomass. *Ecosystems* 12(7): 1130–1144.

Richardson A.E. 2007. Making microorganisms mobilize soil phosphorus, in: Velazquez E., Rodriguez Barrueco C. (Eds.). First international meeting on microbial phosphate solubilization. Springer, Canberra ACT 2601, Australia, pp. 85–90.

Roger-Estrade J., Anger C., Bertrand M. & Richard G. 2010. Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil & Tillage Research* 111: 33–40.

Schelfhout S., De Schrijver A., De Bolle S., Verheyen K., De Gelder L., Du Pré T. et al. submitted. Phosphorus mining for ecological restoration: P uptake decreases when soil P concentration declines. *Ecological Engineering*.

Sharma N.C., Starnes D.L. & Sahi S.V. 2007. Phytoextraction of excess soil phosphorus. *Environmental Pollution* 146(1): 120–127.

Sival F., Chardon W., van Rooij M. & van der Reest P. 2009. Effectiviteit van afgraven voor natuurherstel in Zeeland. *De Levende Natuur* 110(1): 22–27.

Smits N.A.C., Willems J.H. & Bobbink R. 2008. Long-term after-effects of fertilisation on the restoration of calcareous grasslands. *Applied Vegetation Science* 11(2): 279–286.

Smolders A.J.P., Lucassen E.C.H.E.T., van der Aalst M., Lamers L.P.M. & Roelofs J.G.M. 2008. Decreasing the abundance of *Juncus effusus* on former agricultural lands with noncalcareous sandy soils: Possible effects of liming and soil removal. *Restoration Ecology* 16(2): 240–248.

Teboh J.M. & Franzen D.W. 2011. Buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) potential to contribute solubilized soil phosphorus to subsequent crops. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 42(13): 1544–1550.

Turner B.L. 2008. Resource partitioning for soil phosphorus: a hypothesis. *Journal of Ecology* 96(4): 698–702.

Van der Salm C., Chardon W., Koopmans G., van Middelkoop J.C. & Ehler P.A.I. 2009. Phytoextraction of phosphorus enriched grassland soils. *Journal of Environmental Quality* 38: 751–761.

Van Eekeren N., Iepema G. & Smeding F. 2007. Natuurherstel in grasland door klaver en kalibemesting. *De Levende Natuur* 108(1): 27–30.

Van Uytvanck J. & Declerck K. 2004. Natuurontwikkeling in Vlaanderen. Een stand van zaken en vuistregels voor de praktijk. INBO. Brussel.

Verhagen R., Klooker J., Bakker J.P. & van Diggelen R. 2001. Restoration succes of low-production plant communities on former agricultural soils after top-soil removal. *Applied Vegetation Science* 4: 75–82.

Verhagen R., van Diggelen R. & Bakker J. 2004. Ontgronden van voormalige landbouwgronden: welk resultaat na tien jaar voor de vegetatie? *De Levende Natuur* 105(2): 44–50.