

Advisering over het herstel van soortenrijke graslanden via maaien en uitmijnen in de Lange velden en Drongen

Verslag mei 2017

Stephanie Schelfhout, Pieter Vangansbeke, An De Schrijver & Jan Mertens

Opdrachtgever: Stad Gent

Contents

1. Inleiding	3
1.1. Voedselarme bodems, soortenrijke graslanden	3
1.2. N en P in de bodem na stopzetting bemesting	4
1.3. Streefwaarden bodem-P	6
1.4. Bijkomend knelpunt: interne eutrofiëring bij vernatting.....	8
1.5. Maatregelen om de bodem te verschrallen	9
1.6. Herstel van soortenrijke grasland: Best practices	11
2. Abiotische afstand tot de doelsituatie	12
2.1. Methodiek Distance to target	12
2.1.1. Locaties staalname.....	12
2.1.2. Chemische analyses	13
2.2. Distance to target in Drongen en Lange velden.....	13
3. Abiotische herstelmaatregelen	15
3.1. Methode inschatting tijdsduur herstelmaatregel	15
3.2. Resultaten inschatting tijdsduur Lange velden & Drongen.....	17
3.3. Aanbevelingen om bloemrijk grasland te ontwikkelen in Drongen en Lange velden	18
Referenties.....	19

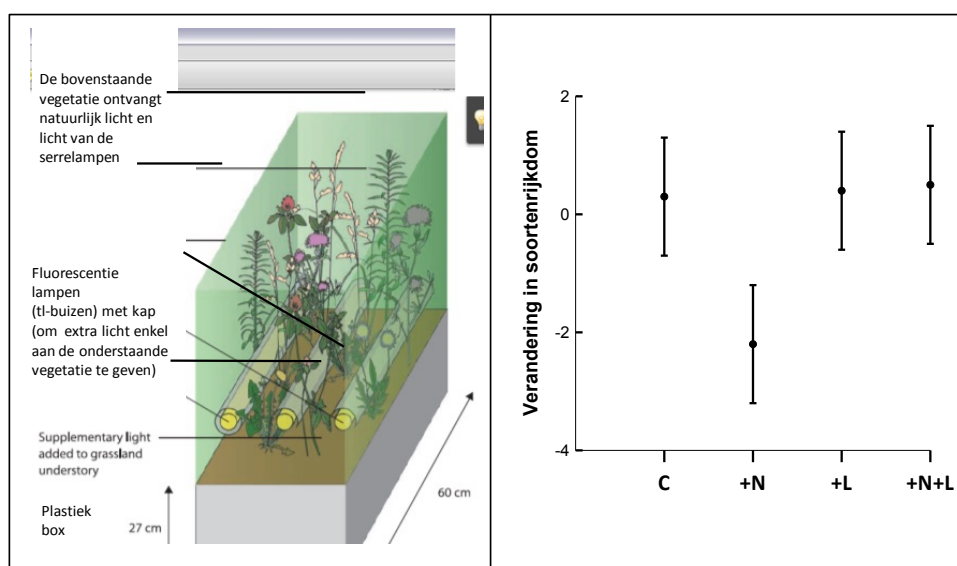
1. Inleiding

Dit rapport omvat een onderzoek naar de potentie van het herstel van bloemrijke graslanden op enkele percelen in eigendom van Stad Gent. In de drogere percelen te Drongen werd door Stad Gent meegegeven dat het doeltypen glanshaver-grote vossenstaart grasland is; in de nattere percelen te Lange velden stelden we dotterbloemgrasland als doeltypen gezien er op perceel L4 soorten van dit habitattypen voorkomen. In dit hoofdstuk wordt achtergrondinformatie meegegeven, nodig voor de verdere interpretatie van de resultaten in dit rapport.

De abiotische "afstand" tot deze doelsituaties wordt beschreven in hoofdstuk 2. De fosforbeschikbaarheid in de bodem wordt vergeleken met streefwaarden voor het herstel van soortenrijke graslanden. Verder wordt het risico onderzocht voor interne eutrofiëring in de nattere percelen te Lange velden bij vernatting door verhogen van de watertafel en in de percelen te Drongen door het afgraven van de toplaag. In hoofdstuk 3 werd de tijdsduur van abiotisch herstel via maaien en uitmijnen ingeschat.

1.1. Voedselarme bodems, soortenrijke graslanden

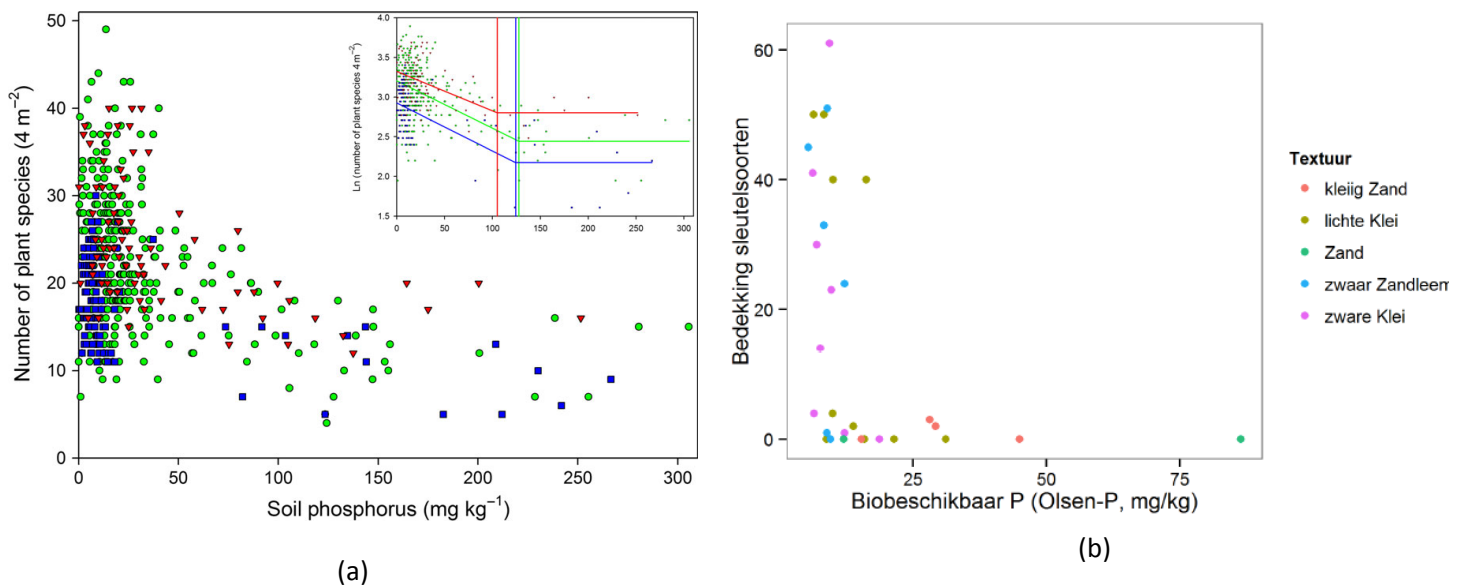
Om op voormalige landbouwgrond soortenrijke natuur te herstellen is het vrijwel altijd noodzakelijk om de bodemvruchtbaarheid te verlagen. Anorganische nutriënten vormen samen met licht en water de voedingsbronnen van planten. Als de nutriënten niet limiterend zijn voor de groei, neemt de groei van een beperkt aantal snelgroeiende plantensoorten toe ten koste van andere soorten, waardoor het aantal plantensoorten afneemt. Op eutrofe bodems domineren dus snelgroeiende, competitieve soorten wat leidt tot homogene vegetaties met lage biodiversiteit. Hoogproductieve soorten overschaduwen door hun hoge groeisnelheid de minder productieve soorten, waardoor deze door gebrek aan licht geen kans krijgen. De studie van Hautier et al. (2009) toonde dit effect mooi aan (Figuur 1). Een kunstmatig nagebouwde soortenrijke graslandvegetatie werd al dan niet onderworpen aan nutriëntenadditie (o.a. N, fosfor (P), kalium (K), ...). Men stelde vast dat het aantal soorten significant afnam wanneer de beschikbaarheid aan N, P en K toenam. Echter, wanneer via lampen licht werd toegediend aan de lagere vegetatie, kon de onderstaande vegetatie overleven en veranderde de soortenrijkdom niet.



Figuur 1: Schematische voorstelling van het experiment en de resultaten van Hautier et al. (2009). In een kunstmatig nagebouwde graslandvegetatie werden de effecten van toediening van nutriënten (stikstof, fosfor en kalium; aangegeven door +N), licht (L), licht en nutriënten (+N+L) op de soortenrijkdom bestudeerd in vergelijking met controles waarin geen nutriënten en extra licht werd

toegediend (C). Het toedienen van nutriënten (+N) had een sterk negatief effect op de soortenrijkdom van de plantengemeenschap. Wanneer naast nutriënten ook licht werd toegediend (+N+L) bleek de soortenrijkdom niet te dalen.

Een hoge nutriëntenbeschikbaarheid leidt tot een sterke homogenisering van de vegetatie. In nutriëntenarme omstandigheden bestaat een grotere variatie in welk nutriënt al dan niet beschikbaar is, wat resulteert in een grotere heterogeniteit in de vegetatie. Het sturen op limitatie van P blijkt voor meerdere graslandtypes cruciaal te zijn (Ceulemans et al. 2014; Figuur 2a). Vooral zeldzame (rode lijst) plantensoorten zijn gelinkt aan graslanden met P-limitatie (Wassen et al. 2005; Figuur 2b). Uiteraard kunnen andere factoren zoals dispersiemoeilijkheden van soorten door de versnippering van ons landschap een beperkende rol spelen. Het is bijgevolg van belang om ook aan biotisch herstel te doen, maar dit onderwerp is niet de focus van dit onderzoek.



Figuur 2: (a) Aantal plantensoorten per plot ten opzichte van biobeschikbaar fosfor (P_{olsen}) voor drie verschillende habitattypes: kalkgraslanden (rode driehoeken), heischrale graslanden (groene cirkels) en glanshaverhooilanden (blauwe vierkanten). Bemerkt de sterke afname van soortenrijkdom bij een hoger niveau van fosfor. Bron: Ceulemans et al. (2014); (b) Bedekking van sleutelsoorten voor glanshaver graslanden in functie van biobeschikbaar fosfor (P_{olsen}) in 30 proefvlakken (Bron: INBO, sleutelsoorten volgens T'jollyn et al. 2009). De sleutelsoorten zijn zo goed als afwezig als de concentratie van biobeschikbaar P in de bodem boven de 25 mg/kg stijgt. Bron: De Schrijver et al. (2013a)

1.2. N en P in de bodem na stopzetting bemesting

Het gedrag van N en P in de bodem na stopzetting van bemesting is zeer verschillend. N-beschikbaarheid neemt op korte tijd sterk af, ondanks de huidige atmosferische N-deposities. We merken echter op dat lage atmosferische N-deposities wel noodzakelijk zijn voor de instandhouding van verschillende habitattypes (Cools et al., 2015). Nadat landbouwactiviteiten worden stopgezet neemt de N-beschikbaarheid sterk af. N verdwijnt uit de bodem door nitraatuitspoeling en door denitrificatie. 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). De diepte waarover het fosfaat geaccumuleerd is hangt sterk samen met het bodemtype (zand versus kleibodem), de mate van historische bemesting, en het grondgebruik (al dan niet diepgeploegd). In voormalige landbouwbodems zijn de fosfaatconcentraties vaak veel te hoog voor de ontwikkeling van bloemrijke graslanden.

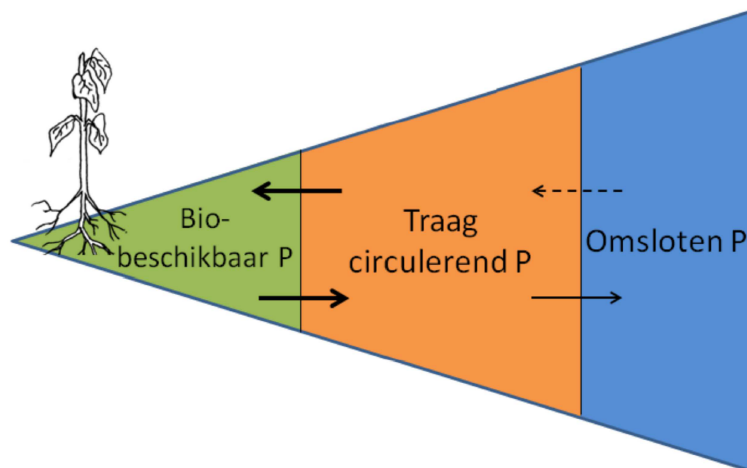
KADER 1: Analyse van P in de bodem – P_{olsen} , P_{oxalaat} en P_{totaal}

Fosfor komt in de bodem voor in grofweg drie verschillende pools die verschillen in biobeschikbaarheid en met elkaar in evenwicht zijn (Figuur Kader 1) (De Schrijver et al., 2013b). Binnen een groeiseizoen kunnen planten slechts een klein deel van de totale bodem-P-voorraad opnemen. Verschillende P-pools staan met elkaar in evenwicht waardoor het dus belangrijk is om de relevante P-pools te kennen vooraleer uitspraken te kunnen doen over de tijd van verschrallend maaien of uitmijnen.

P_{olsen} : De biobeschikbare of labiele P-pool is een vrij kleine pool die meestal maximaal 20% van de totale hoeveelheid P in de bodem omvat. Deze pool bestaat uit fosfaat (H_2PO_4) in de bodemoplossing, samen met anorganische en organische P die snel kan vrijgesteld of gedemineraliseerd worden uit de bodem. Fosfor in deze pool kan binnen één groeiseizoen worden opgenomen door planten.

P_{oxalaat} : De traag-circulerende of actieve P-pool bestaat uit anorganisch fosfaat geadsorbeerd aan calcium (Ca) of aluminium (Al) en ijzer (Fe), en organisch P. Deze pool staat in evenwicht met de biobeschikbare P-pool en wanneer de vegetatie P opneemt wordt deze terug aangevuld vanuit de traag-circulerende P-pool. De traag-circulerende pool staat voor fosfor die beschikbaar kan worden voor planten op de lange termijn. De traag-circulerende pool wordt bij chemische analyse bepaald door een extractie met oxalaat.

P_{totaal} : De totale hoeveelheid P in de bodem wordt gemeten door complete destructie van het bodemstaal en dit omvat ook de omsloten P-pool. 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., 2013b). Een bodemanalyse van de totale hoeveelheid P omvat deze omsloten P-pool en kan daarom op zich niet veel vertellen over hoelang een verschrallingstraject kan duren. Om het risico op interne eutrofiëring in te schatten (zie verder), is het wel nodig om P_{totaal} te kennen.



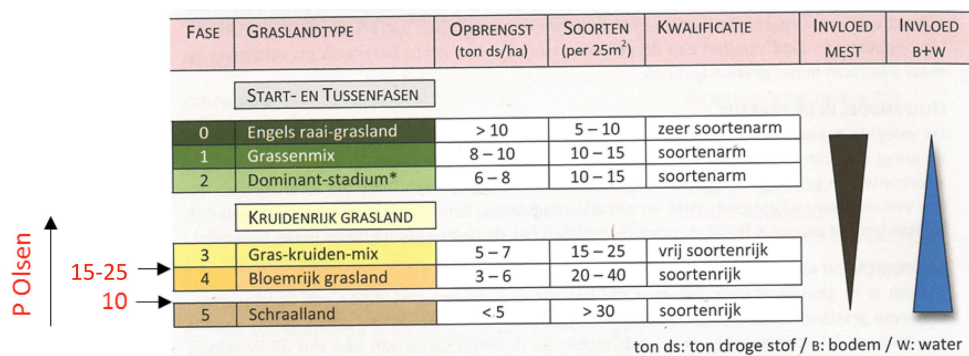
Figuur Kader 1: De drie belangrijke P-pools in de bodem: de biobeschikbare pool kan gebruikt worden door planten binnen één groeiseizoen (P_{olsen}), de traag-circulerende pool kan beschikbaar worden voor planten op de lange termijn (P_{oxalaat}) en van de omsloten pool wordt verondersteld dat deze geen/een geringe invloed heeft op plantengroei. (Bron: De Schrijver et al., 2013b)

1.3. Streefwaarden bodem-P

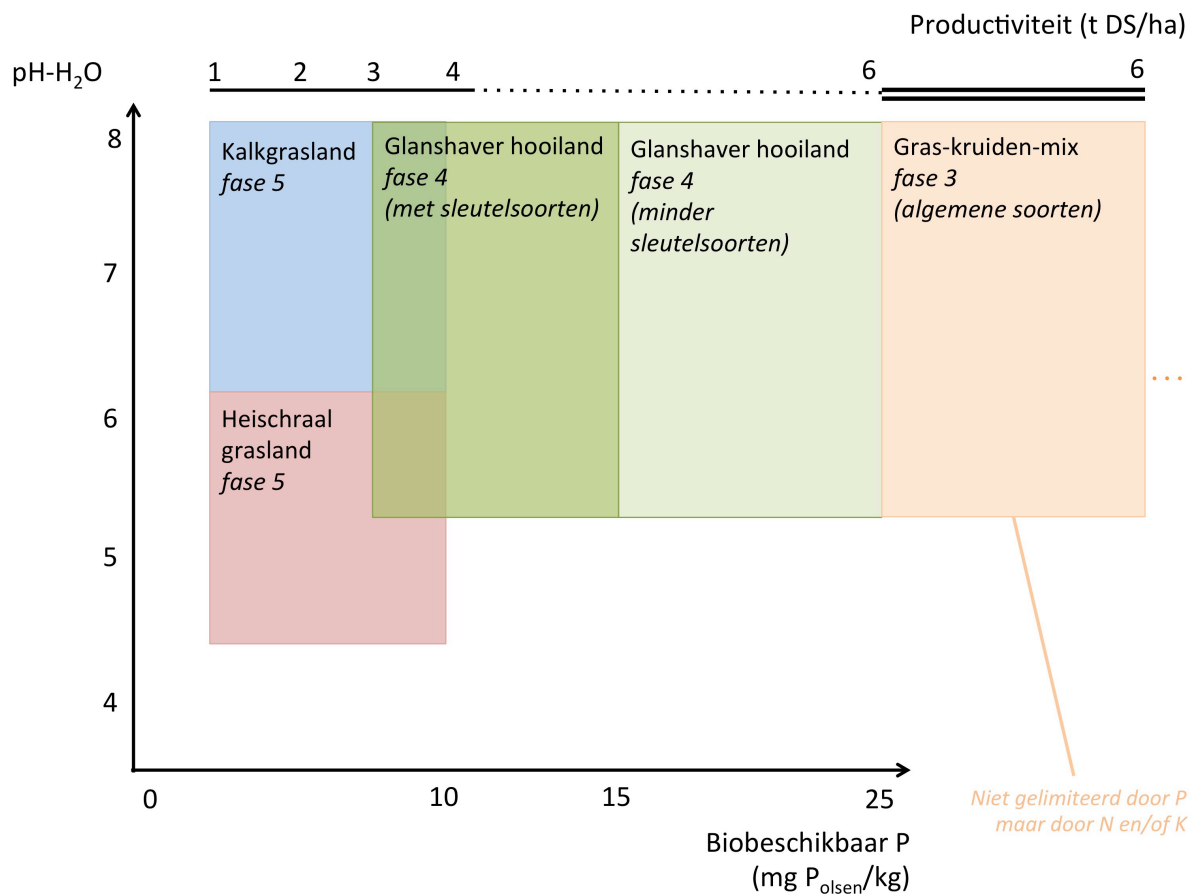
Wanneer van een sterk bemeste situatie wordt vertrokken, zijn vaak ingrijpende maatregelen nodig om naar een nutriëntenarm systeem terug te keren. Het is belangrijk om vooraf de doelstelling van het verschrallingsbeheer duidelijk af te bakenen. Voor het herstel van soortenrijke graslanden (Natura 2000 habitattypes) wordt uitgegaan van het herstellen van de nutriëntenbeschikbaarheid zoals in referentiegebieden. Zo moet voor het herstel van glanshavergraslanden met sleutelsoorten zoals grote pimpinel minder dan 15 mg P_{Olsen}/kg. Echter, het is mogelijk dat graslanden tot maximaal 25 mg P_{Olsen}/kg ook worden ingedeeld als glanshavergrasland, zij het echter met minder sleutelsoorten (zie ook Figuur 2b en De Schrijver et al. 2013a).

In verband met het herstellen van lage bodem-P-concentraties en P-limitatie in dotterbloemgraslanden is enige discussie. Van Duren & Pegtel (2000) screenden verschillende natte graslandgemeenschappen op welke nutriënten limiterend waren voor de groei. Volgens deze studie wordt de vegetatieontwikkeling van onverstoorde (geen drainage en geen bemesting) natte graslandgemeenschappen als dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op veenbodem gestuurd door N-limitatie en/of K-limitatie, en niet door P-limitatie. Ook Van de Riet et al. (2010) concludeerden dat niet P maar N en K de productiviteit sturen in dotterbloemgraslanden. Hun conclusie is dan ook dat het vernatten van voormalige landbouwbodems – en de daarmee gepaard gaande vrijstelling van P (zie 1.4) - niet noodzakelijk een bottleneck hoeft te vormen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden. Hun advies is om zich voornamelijk te richten op de reductie van de beschikbaarheid aan N en K. Er wordt echter geen bewijs geleverd dat ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en andere natte graslandtypes mogelijk is bij de extreem hoge biobeschikbaarheid van fosfor van zwaar bemeste landbouwgronden. Uit een literatuurstudie blijkt dat in goed ontwikkelde dotterbloemhooilanden uiteenlopende Olsen-P concentraties werden teruggevonden, die echter niet hoger liggen dan 25 mg P_{Olsen}/kg (Houtmeyers et al. 2013). Dit zou er inderdaad kunnen op wijzen dat niet P maar N en/of K crucialer zijn voor de soortenrijkdom maar dat extreem hoge bodem-P-concentraties evenmin aan te raden zijn.

Samengevat kunnen we stellen dat we streven naar een zo laag mogelijke Olsen-P (liefst onder de 15 mg P_{Olsen}/kg). In dit rapport worden twee streefwaarden gehanteerd: een streefwaarde van maximaal 15 mg P_{Olsen}/kg voor graslanden met sleutelsoorten en een minder strenge streefwaarde van maximaal 25 mg P_{Olsen}/kg voor graslanden zonder of met minder sleutelsoorten. Bij waarden boven de 25 mg P_{Olsen}/kg is biomassa-productie niet meer gelimiteerd door P maar kan deze gestuurd worden door N en/of K-limitatie. De ontwikkeling van een bloemrijk grasland met algemene plantensoorten zoals rode klaver, wilde margriet... is mogelijk in deze context, dit is "fase 3" volgens Schippers et al. (2012) (zie ook Figuren 3 en 4). In Figuur 5 staan de verschillende graslandtypes uitgezet ten opzichte van het bodem-P-gehalte en de hydrologische toestand van de bodem.



Figuur 3: Schema van de ontwikkeling van kruidenrijk grasland (uit Schippers et al. (2012), aangevuld met Olsen-P concentraties)



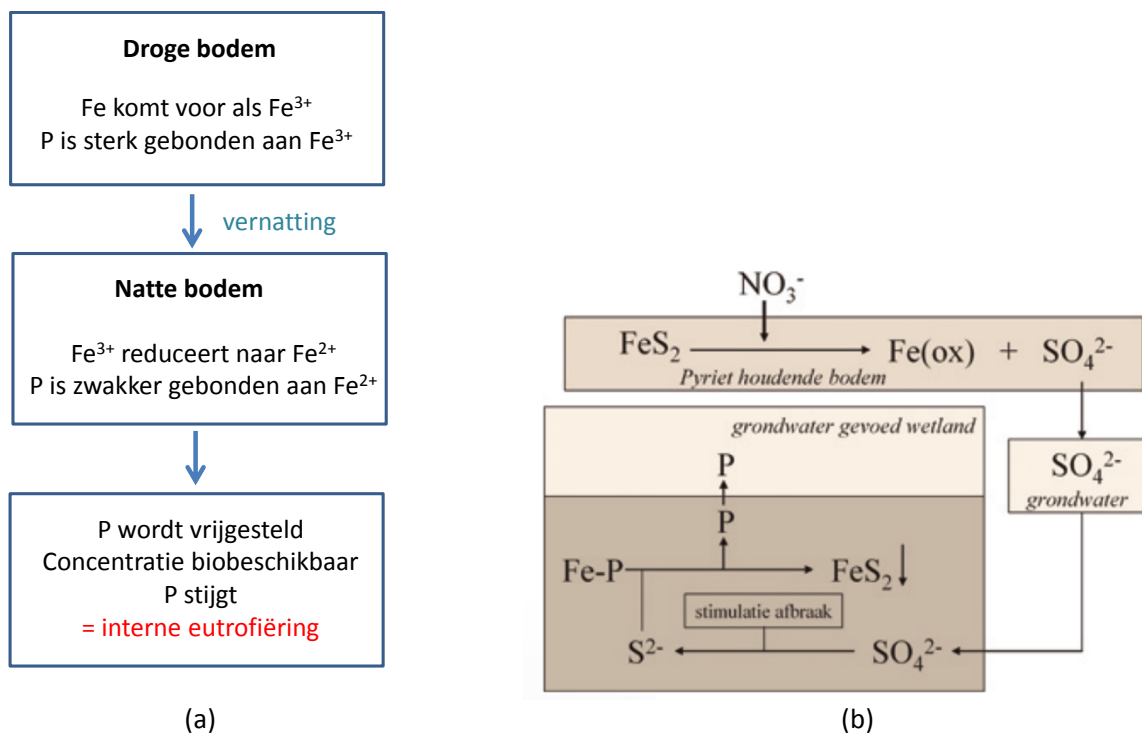
Figuur 4: Voorkomen van de soortenrijke graslandtypes (fases 4 en 5) volgens de abiotische variabelen zuurtegraad (pH) en voedselrijkdom (productiviteit of concentratie Olsen-P in de bodem). De biomassa productie in gras-kruident-mix (fase 3) graslanden wordt niet gelimiteerd door P maar door N en/of K. Bron: Vangansbeke et al. 2017 (data gebaseerd op Adams et al., 2011; Demey et al., 2015; Hennekens et al., 2010; Houtmeyers et al., 2013; Schippers et al., 2012; Tilley, 2013). Opmerking: er dient ook rekening worden gehouden met het herstel van de hydrologische vereisten voor elk van de habitattypes

		Voedselrijkdom gradiënt (Olsen P)						
		<10	10-15	15-25	25-40	40-80	>80	
		Voedselarm	Matig voedselrijk	Voedselrijk	Zeer voedselrijk	Hypertroof	Uiterst hypertroof	
Vochtgradiënt	Droog	Droog heischraal grasland Droge heide		Glanshaverhooilanden Grote vossenstaarthooilanden	Minder ontwikkelde vegetatietypen of soortenrijke rompgemeenschappen	Vrije soortenarme rompgemeenschappen	Soortenarm/productief	Uiterst soortenarm/productief
	Vochtig	Vochtig heischraal grasland Natte heide		Dotterbloemgraslanden Moerasspirearuigte				
	Nat	Kleine zeggenvegetaties Overgangs- en trilvenen zeer voedselarm		Overgangs- en trilvenen voedselarm	Rietmoeras Grote zeggenvegetaties			

Figuur 5: Vegetatietypes ten opzichte van voedselrijkdom, hier uitgedrukt als Olsen-P, en bodemvochtgehalte (Demey et al. 2015)

1.4. Bijkomend knelpunt: interne eutrofiëring bij vernatting

Wanneer de bodems vernat worden, bestaat de kans op nog grotere eutrofiëringsverschijnselen, waarbij fosfaten die gebonden werden aan Fe worden vrijgesteld (Smolders et al. 2006a). Het verlagen van de grondwatertafel in functie van landbouw of waterwinning leidde tot de degradatie van grondwaterafhankelijke natuur zoals natte heide of nat heischraal grasland, blauwgraslanden, dotterbloemhooiland of kleine of grote zeggenvegetaties. Met het oog op het herstel van dergelijke habitats, is vernatting noodzakelijk, maar vernatting alleen leidt vaak niet tot een volledig herstel. Bij aanvoer van ijzer en/of calciumrijk grondwater, waardoor extra fosfaatbinding optreedt, zijn goede resultaten te behalen. Echter, wanneer op het perceel in kwestie een aanzienlijke fractie van P aan ijzer gebonden is, kan vernatting net leiden tot een extra vrijstelling van P, wat problematisch is voor natuurherstel (Figuur 6a). Bij vernatting vermindert de zuurstofconcentratie in de bodem, wat maakt dat een deel van het in de bodem aanwezige Fe reduceert van Fe^{3+} naar Fe^{2+} en dit Fe^{2+} kan minder P binden dan Fe^{3+} . Dit maakt dat vernatting in dit geval resulteert in een mobilisatie van P in de bodemoplossing. Hierdoor wordt de biobeschikbare fractie van P nog groter.



Figuur 6: (a) Na vernatting van voormalige landbouwgrond treedt vaak eutrofiëring op door vrijstelling van fosfaat na reductie van Fe^{3+} naar Fe^{2+} ; (b) Schematisch overzicht van de sulfaatproblematiek. De sulfaatcyclus verbindt de stikstofproblematiek met de fosfaatproblematiek. Deze kunnen dus niet los van elkaar worden opgelost. Wanneer pyriet (FeS_2) in de bodem aanwezig is, leidt nitraatuitspoeling tot hogere sulfaatconcentraties in het grondwater. Sulfaatrijk (grond)water leidt tot eutrofiëring van wetlands door fosfaatmobilisatie. De figuur werd overgenomen uit Smolders et al. (2006b)

Dit probleem van interne eutrofiëring kan nog versterkt worden wanneer het aangevoerde grondwater rijk is aan sulfaat (Figuur 6b). Bodembacteriën gebruiken onder zuurstofarme omstandigheden sulfaat bij de afbraak van organisch materiaal. Hierbij wordt waterstofsulfide gevormd. Het gevormde sulfide zorgt ervoor dat fosfaat in de bodem niet langer goed kan binden aan ijzer, doordat sulfide zelf sterker hecht aan het vrijgekomen ijzer. Dit sulfide kan immers met het gevormde Fe^{2+} neerslaan tot ijzersulfide (FeS) of pyriet (FeS_2). Fosfaat komt hierdoor vrij in de bodem en diffundeert naar de waterlaag, wat ernstige interne eutrofiëring tot gevolg kan hebben. Daarnaast is er minder Fe beschikbaar om nieuw vrijgekomen of

aangevoerd fosfaat te binden. Wanneer al het Fe in de bodem vastgelegd is als ijzersulfide kan het toxische sulfide zich bovendien ophopen in de bodem. 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 vernatten is het zinvol om info te vergaren over de chemische samenstelling van het grondwater en van de bodem. Indien 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/P of (Fe-S)/P ratio (op molaire basis) in de bodem gehanteerd. Deze ratio geeft een inschatting van de hoeveelheid ijzer die beschikbaar is voor fosfaatbinding. Wanneer deze ratio kleiner is dan vijf is het risico op fosfaatnalevering bij vernatting of in natte omstandigheden groot. Wanneer deze ratio groter is dan tien is het risico op fosfaatnalevering bij vernatting of in natte omstandigheden heel beperkt. Deze ratio wordt ook gebruikt in functie van het herstel van open water, o.a. in beleidsregels die zijn opgesteld door waterschappen in Nederland. Het is dus van belang om de P-stocks drastisch te verminderen voordat vernattingsmaatregelen uitgevoerd worden.

1.5. Maatregelen om de bodem te versralen

Via bv. het ontgronden van de bovenste bodemlaag is het mits grondig voorafgaand onderzoek mogelijk om op korte termijn de gewenste abiotische situatie te bereiken. Maaien en uitmijnen kan dan weer gezien worden als een vorm van abiotisch natuurherstel over langere termijn. 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. Maaien en afvoeren in bestaande natuurgebieden voert nutriënten af, houdt de vegetatie open en zorgt zo voor een verhoogde soortenrijkdom in graslanden. Maaibeheer wordt ook ingezet om natuurontwikkeling te realiseren op voormalige landbouwgronden.

De effectiviteit van maaibeheer voor abiotisch herstel hangt af van de hoeveelheid nutriënten afgevoerd met dit beheer en dit hangt samen met de biomassa productie. Een intensief bemest grasland dat meermaals gemaaid wordt, kan jaarlijks meer dan 15 ton biomassa produceren. De biomassaproductie zal bij omschakeling van landbouwbeheer naar verschrallend maaibeheer reeds na enkele jaren afnemen door een limitatie door stikstof (N) of kalium (K). 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. Dit was ook zo bij een hoge maaifrequentie van vier keer per jaar. De vegetatie-samenstelling blijft dan vaak steken in een soortenarme, grasrijke vorm omdat deze N- of K-limitatie onvoldoende is om de competitieve grassen in hun groei te beperken. Een (co-) limitatie door P is noodzakelijk voor veel soortenrijke vegetatietypes. Door de lagere mobiliteit van P, is P veel moeilijker uit het systeem te verwijderen. En als daarbovenop ook de afnemende biomassaproductie 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. Het is bijgevolg beter om een verschrallend maaibeheer in te zetten op terreinen waar de gewenste bodem-P-conditions bijna bereikt zijn, zoals vanaf 20-25 mg P_{Olsen} kg^{-1} (hoewel dit ook afhankelijk is van andere factoren zoals droogtestress ed.).

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 tussen 580 en 1872 euro $\text{ha}^{-1} \text{j}^{-1}$ (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 mede beïnvloed door de frequentie van het maaien. Bij vier keer maaien is de verteerbaarheid veel hoger dan bij slechts twee keer maaien. Voor maaisel van een lagere kwaliteit kunnen de paarden- en schapensector interessante afzetmarkten zijn. Ook bij runderen zijn er afzetmogelijkheden. Drooggevallen en jonge koeien kunnen dit hooi als voeder gebruiken. Hooi van lagere kwaliteit kan ook zonder productieverliezen bijgemengd worden (tot 40 %) voor hoog productief melkvee.

*Tabel 1: Geschatte kostprijs van verschillende natuurontwikkelingsmaatregelen. Gegevens uit Anonymous (2012) en Oosterbaan et al (2008). Maatregelen die jaarlijks herhaald moeten worden, werden uitgedrukt in jaarlijkse kost. *De kostprijs voor uitmijnbeheer hangt af van de kwaliteit van het geoogste product en kan in geval van hoge kwaliteit kostenneutraal zijn.*

Maatregel	Kostenrange (euro ha⁻¹)
Ontgronden (30 cm)	15 000 – 300 000
Maaien en afvoeren	580 – 1872
Uitmijnen	540*

Een alternatief voor ontgronden en maaien en afvoeren is de techniek van P-uitmijning. Uitmijnen is een aangepaste landbouwmethode gericht op het afvoeren van P, waardoor een overgangsfase gecreëerd wordt van landbouw naar natuur. Deze techniek kan ingezet worden als uitbolscenario ter voorbereiding op een natuurbeheer. Uitmijnen wordt voorgesteld als een snellere verschralingstechniek dan maaien aangezien de nutriëntenlimitaties worden opgeheven door selectieve bemesting met andere nutriënten (N en K) dan P. De hoeveelheid N en K die wordt toegevoegd is afhankelijk van het bodem- en gewastype en kan best geadviseerd worden door experts (vb. Bodemkundige Dienst van België). Hierbij moet ook de pH-KCl rond de 5,5 worden gehouden met bv. bekalking om maximale opname van P mogelijk te maken. Er zijn echter nog tal van onzekerheden aan deze techniek in ontwikkeling.

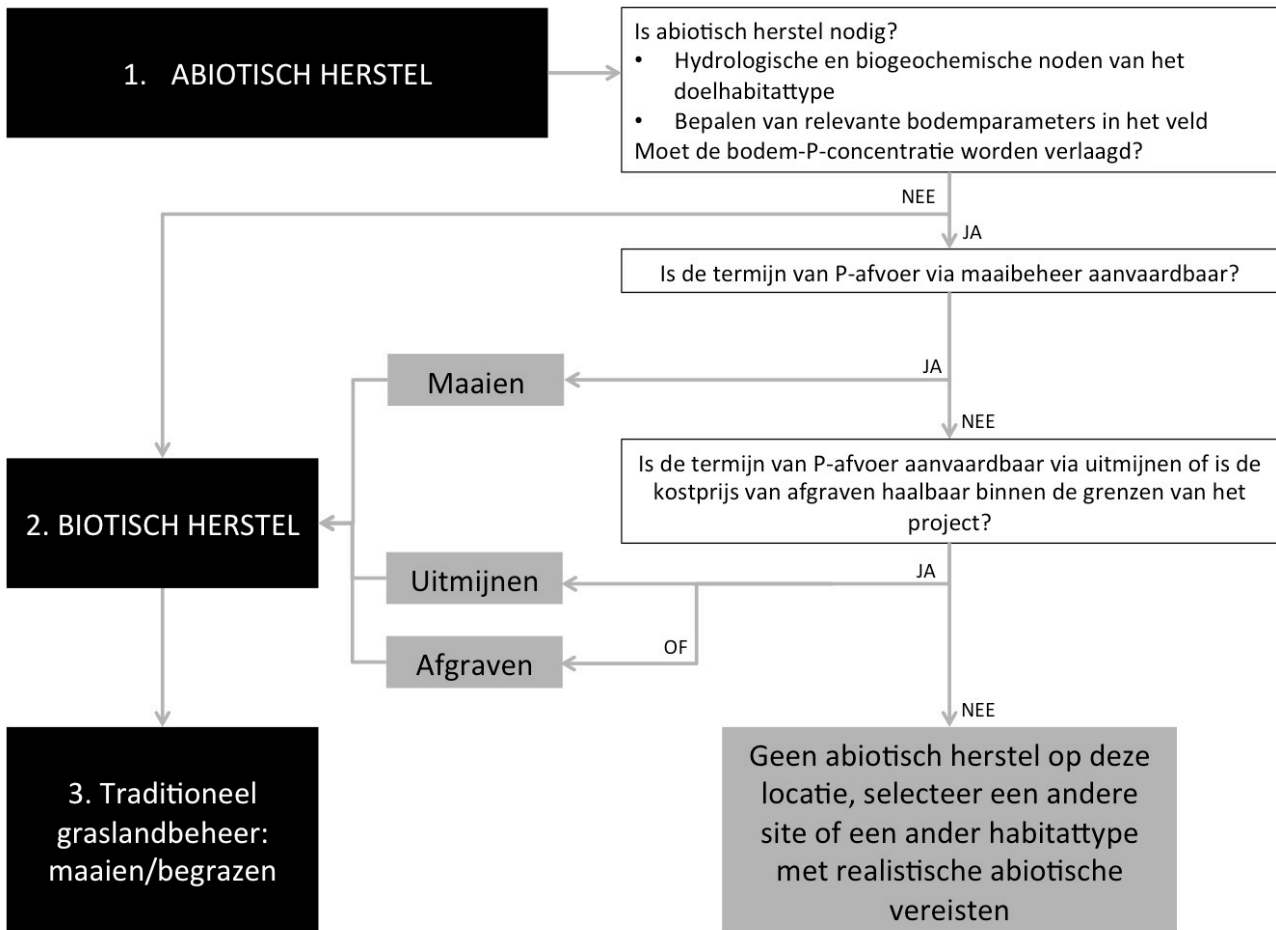
Pas nadat de abiotische randvoorwaarden hersteld zijn, is het aanbevolen om over te gaan tot biotisch herstel en het best passende natuurbeheer. Het is mogelijk dat eens de abiotische omstandigheden geschikt zijn, de kolonisatie door typische soorten uitblijft gezien de aanvoer van zaad van doelsoorten vaak te laag is in ons sterk gefragmenteerde landschap. Veel soorten hebben slechts een kortlevende zaadbank en een beperkte dispersiecapaciteit (verspreiding). Na landbouwgebruik zijn de meeste zaadbanken van bodems arm aan zaad van doelsoorten. In vele gevallen is het wenselijk de kolonisatie van doelsoorten te versnellen door zaden aan te voeren, bv. via het overbrengen van maaisel of zaad uit goed ontwikkelde percelen uit de buurt.

Om de vestigingskansen van deze soorten te verhogen wordt best ingezaaid op een niet gesloten en dichte grasmat (vb. na maai-beheer en oppervlakkig loswoelen van de bodem met eg). Een aantal proeven, bijvoorbeeld in het natuurinrichtingsproject Turnhouts Vennengebied, wijzen uit dat het inbrengen van zaad en maaisel op een naakte bodem (na ontgronden of plaggen) bijzonder succesvol kan zijn. Experimenten met het aanbrengen van maaisel of zaad op een bestaand grasland zijn er nauwelijks, maar zijn bijzonder belangrijk om meer kennis te verwerven. In het pas opgestarte project HerBioGras van HoGent worden deze en andere maatregelen onderzocht.

Het overbrengen van soorten kan ook subtieler door het inzetten van ‘bewegende corridors’ zoals gedeelde maaimachines tussen soortenrijke habitats. Ook kan het inbrengen van zaad van halfparasieten de ontwikkeling van soortenrijk grasland versnellen. Zo zal Grote ratelaar parasiteren op grassen en hen daardoor onderdrukken, waardoor andere kruidachtigen meer kansen krijgen om zich te vestigen. Dit kan echter alleen wanneer de productiviteit van het grasland voldoende laag is (< 5 ton/ha.j), zie hiervoor het artikel in Natuurpunt Focus Demey et al. 2013.

1.6. Herstel van soortenrijke grasland: Best practices

Het verlagen van biobeschikbaar fosfor is door het voorkomen van verschillende fracties in de bodem en door de grote persistentie in de bodem geen eenvoudige opgave. In Figuur 7 staat een aanbevolen aanpak voor abiotisch en biotisch natuurherstel schematisch weergegeven. Eerst is het noodzakelijk om na te gaan wat de abiotische afstand tot het doel-habitattype is. Dit kan zowel hydrologisch als biogeochemisch zijn. In soortenrijke graslanden wordt bij natuurherstel veelal gefocust op het verlagen van de bodem-P-concentraties. Vervolgens is het mogelijk om een natuurhersteltechniek te kiezen die het beste aansluit bij de context van het project (aanvaardbare termijn en beschikbaar budget).



Figuur 7: Beslissingsmodel herstel van soortenrijke graslanden op voormalige landbouwgronden (Schelfhout et al. in press)

2. Abiotische afstand tot de doelsituatie

2.1. Methodiek Distance to target

2.1.1. Locaties staalname

De stalen in de Lange Velden werden genomen met master studenten op 13 oktober 2016 (opleiding Industrieel Ingenieur in de Toegepaste Biowetenschappen) in het kader van het vak Natuur- en landschapsinrichting (gegeven door Jan Mertens). De 0-10 cm bodemlaag werd bemonsterd met een gutsboor als puntmetingen (n=3) voor metingen L1, L2 en L3 (afgraving) en mengstalen voor de percelen L4 (referentie soortenrijker perceel) en L5 (soortenarmer perceel) (Figuur 8). De twee percelen GL en BW in Drongen werden in het najaar van 2016 bemonsterd door Stad Gent met mengstalen (n=6) op drie dieptes: 0-30 cm, 30-40 cm en 40-50 cm. Veldobservaties (voornaamste kenmerken flora en bodem) staan beschreven in Tabel 2. Het bodemtype is op de plaats van de boringen vochtig zand.

Tabel 2: Korte beschrijving voornaamste vegetatie en bodemkenmerken op de puntmetingen of percelen

Perceel	Vegetatie	Bodem
Lange velden – L1	Recente afgraving van opgevoerde bodem, zonder vegetatie	kalk op 20 cm, veen
Lange velden – L2	Recente afgraving van opgevoerde bodem, zonder vegetatie	kalk op 20 cm, veen
Lange velden – L3	Recente afgraving van opgevoerde bodem, zonder vegetatie	geen kalk
Lange velden – L4	Verschillende zegge-soorten, dotterbloem	0-10 cm roestkleurige bodem;
Lange velden – L5	Productief grasland, soortenarm, grassenfase	nat, 10-30 cm aanwijzingen veen
Drongen – GL	Fioringras, gestreepte witbol, jacobskruid, rood zwenkgras, witte klaver, kruipende boterbloem, duizendblad, gewone hoornbloem, zachte ooievaarsbek, smalle weegbree, ridderzuring, gewoon biggenkruid, paardenbloem (waarschijnlijk Korensla- associatie)	Onduidelijk of deze bodem geploegd werd
Drongen – BW	Ingezaaide bloemenweide, voordien maisakker en triticale akker	Werd geploegd, bouwvoor 35-40 cm diep
		Werd geploegd, bouwvoor 30-37 cm diep



Figuur 8 Locaties van de bemonsterde percelen in de Lange Velden (links) en Drongen (rechts). Legende kaart links: rood: afgraving met staalname punten L1 – blauw, L2 – paars, L3 - rood; groen: soortenrijkere referentie – mengstaal L4; geel: soortenarmer perceel – mengstaal L5. Legende kaart rechts: GL: al 10 jaar grasland, voordien akker; BW: bloemenweide, voordien akker

2.1.2. Chemische analyses

De bodemstalen werden gedroogd onder geforceerde ventilatie bij 40°C, gehomogeniseerd, vermalen en gezeefd over een 1 mm zeef. Het totale gehalte aan P werd colorimetrisch (via malachietkleuring) bepaald na totale destructie van de bodem in HClO_4 , HNO_3 en H_2SO_4 in teflonpotten bij 140°C (P_{totaal}). Het binnen het groeiseizoen beschikbaar gehalte aan P werd eveneens colorimetrisch bepaald na extractie van de bodem in NaHCO_3 (P_{olsen} , methode van Olsen). Het 'actief' P dat op de lange termijn beschikbaar kan komen werd bepaald na extractie in een ammoniumoxalaat-oxaalzuuroplossing (P_{oxalaat}). Verder werd het totaal gehalte aan ijzer (Fe) en calcium (Ca) na totale destructie bepaald door atoom absorptie spectrophotometrie (AA240FS, Fast Sequential AAS). En de zuurtegraad van de bodem werd gemeten via bepaling van de pH- H_2O .

Alle chemische analyses werden uitgevoerd in het chemisch laboratorium van het Labo voor Bos & Natuur. Dit labo werkt volgens een strikt kwaliteitssysteem. Van elke analytische techniek werd een Standaard Operatie Procedure (SOP) opgesteld, opgemaakt volgens Nederlandse (NEN) en Internationale (ISO) normen. Bij elke reeks stalen werden ter kwaliteitscontrole BCR, LCS en QC-stalen meegenomen en bijgehouden op controlekaarten. De analytische technieken werden gevalideerd. Het chemisch labo stelt twee laboranten te werk opgeleid op bachelor-niveau (A1).

2.2. Distance to target in Drogen en Lange velden

Tabel 3 geeft de resultaten weer van de onderzochte percelen en als duiding staan algemene referentiewaarden voor dotterbloemgraslanden en glanshavergraslanden (INBO) en verder worden ook gegevens gerapporteerd uit een intact dotterbloemgrasland uit de Damvallei.

Lange velden:

De P_{olsen} , P_{oxalaat} en P_{totaal} concentraties in de bodemstalen van de Lange velden zijn zeer hoog. Verder is er een hoge ijzer-concentratie in deze bodemstalen aanwezig en, meer specifiek een zeer hoge ijzer-concentratie in de stalen L4-L5. Bij staalname werden brokjes kalk vastgesteld in staal L4, dit werd na analyse ook bevestigd door een zeer hoog calcium gehalte.

Het risico op interne eutrofiëring (aangegeven door ratio's Fe en Ca over P) is reëel in de Lange velden. Interne eutrofiëring kan door twee oorzaken: vernatting en oxidatie van organisch materiaal. Als het terrein niet vernat wordt, zal er P vrijkomen door mineralisatie van organisch materiaal/veen; als het vernat wordt zal P vrijkomen door reductie van Fe.

Waarschijnlijk zijn de omstandigheden in de lange velden te droog om veen in stand te houden, ondanks de uitgevoerde afgraving in het perceel met de stalen L1-L3. Deze veen-mineralisatie kan ook de hoge P_{olsen} en P_{oxalaat} concentraties verklaren. De pH in de bodemstalen van Lange velden is verder aan de lage kant ondanks de hoge Ca gehalten. Dit is een ook mogelijke aanwijzing voor de mineralisatie van veen, dit is een bodemverzurend proces.

Drogen:

Uit de bodemanalyses blijkt dat de P_{olsen} concentraties in de bodemstalen van Drogen zeer hoog zijn en zelfs op 30 en 40 cm diepte. Het risico op interne eutrofiëring is in Drogen reëel.

Tabel 3: De bodemzuurtegraad (pH-H₂O), de biobeschikbare (P_{Olsen} mg/kg), traag-circulerende (P_{oxalaat} mg/kg), totale fosforconcentraties (P_{totaal}); Totale ijzer- (Fe_{totaal}) en calciumconcentraties (Ca_{totaal}) in de bouwvoor (0-30cm). Aanvullend zijn ook referentiewaarden gegeven voor dotterbloemgraslanden en glanshavergraslanden (bron: INBO) en de bodemgegevens uit een intact dotterbloemgrasland (bron: unpublished results Damvallei)

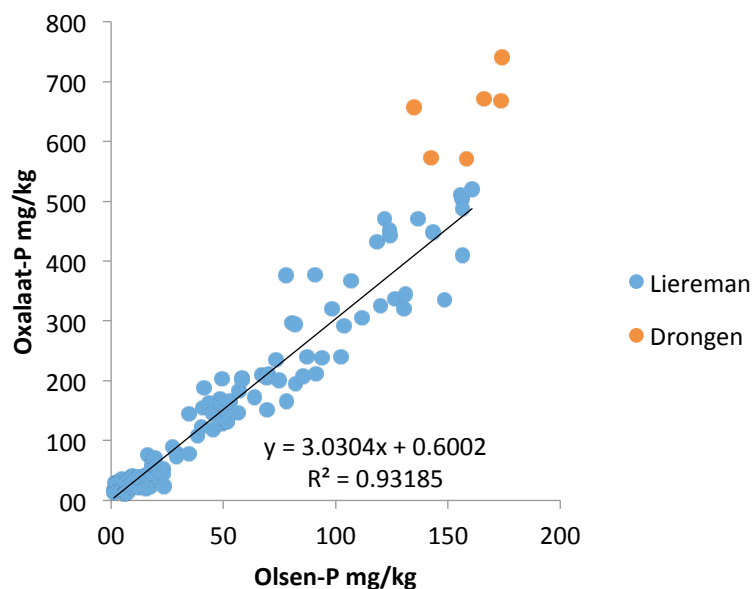
ID meetpunt	Diepte cm	pH	P _{Olsen}	P _{oxalaat}	P _{totaal}	Fe _{totaal}	Ca _{totaal}	Fe _{totaal} / P _{totaal}	Ca _{totaal} / P _{totaal}	(Fe+Ca)/P
		H ₂ O	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mmol/ mmol	mmol/ mmol	mmol/ mmol
<i>Referentiewaarden dotterbloemgrasland</i>	0-10	<i>variabele pH maar >4.5-5</i>	<25							
<i>Dotterbloemgrasland Damvallei</i>	0-10	5,2	12,9	97	929	89481	5611	53	5	58
Langevelden L1	0-10	6,5	63	852	1517	23536	9075	9	5	14
Langevelden L2	0-10	6,3	72	1000	1690	16760	6850	6	3	10
Langevelden L3	0-10	6,4	84	1047	3916	25202	9380	8	4	13
Langevelden L4	0-10	6,4	96	2694	2295	54616	12102	8	2	10
Langevelden L5	0-10	6,4	74	1713	1054	40017	8216	10	3	12
<i>Referentiewaarden glanshavergrasland</i>	0-10	<i>variabele pH maar >5</i>	5-28							
BGP Drongen BW	0-30	5,8	174	740	947	5075	537	3	0,4	3
BGP Drongen BW	30-40	5,5	166	670	891	4511	527	3	0,4	3
BGP Drongen BW	40-50	5,5	143	572	1000	3898	534	2	0,5	3
BGP Drongen GL	0-30	6,0	135	656	1456	5470	1026	3	1	4
BGP Drongen GL	30-40	5,4	174	668	1530	14081	2360	5	1	7
BGP Drongen GL	40-50	5,4	158	571	1486	15711	2677	6	1	7

3. Abiotische herstelmaatregelen

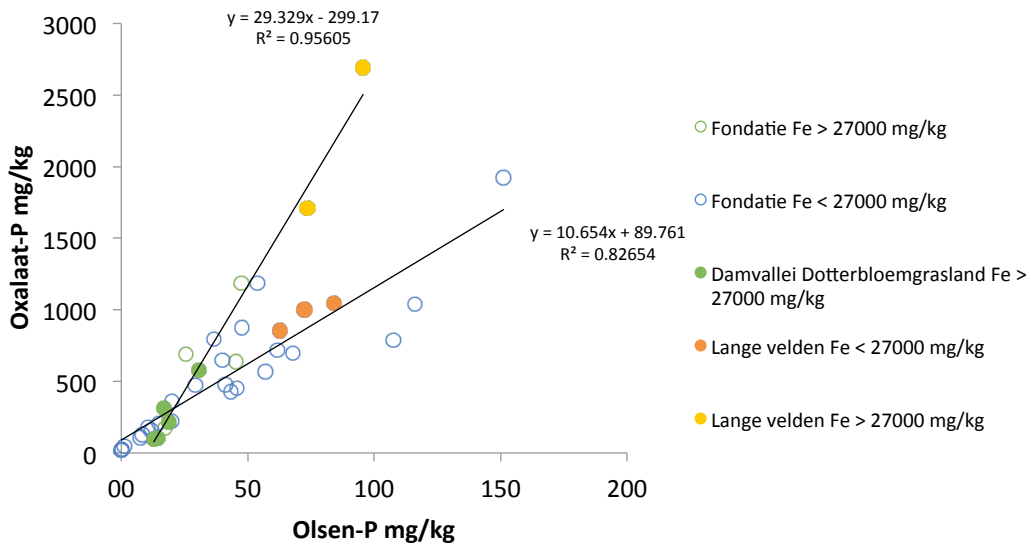
3.1. Methode inschatting tijdsduur herstelmaatregel

Voor de inschatting van de benodigde tijdsduur om de hoeveelheid bodem-P te verlagen via maai- en uitmijnbeheer is de correlatie tussen Olsen-P en Oxalaat-P nodig. Echter, deze correlatie was verschillend tussen de verschillende percelen door de wisselende hoeveelheid ijzer en kalk in de bodem.

De percelen in Drongen hebben een zandige textuur en de ratio Olsen-P/Oxalaat-P is te vergelijken met percelen uit de Liereman (Schelfhout et al. *in press*; Figuur 9). De percelen van de Lange velden zijn rijk aan calcium en vergelijkbaar met de meest calciumrijke stalen uit natuurinrichtingsproject in de Fondatie-Heirnis (Demey et al. 2014; Figuur 10). De ratio Olsen-P/Oxalaat-P verschilde echter bij de wisselende hoeveelheden ijzer aanwezig in de stalen. Op basis van de totale hoeveelheid ijzer in de bodem werd een opsplitsing gemaakt: L1-L3 als ijzer-armere ($Fe < 27 \text{ g/kg}$) en L4-L5 als ijzer-rijkere ($Fe > 27 \text{ g/kg}$) meetpunten. De gebruikte Olsen-P/Oxalaat-P ratios staan opgelijst in Tabel 4.



Figuur 9 Relatie tussen Olsen-P en Oxalaat-P in Drongen. Deze relatie is gelijkaardig als de relatie gemeten in de zandige bodemstalen uit onderzoek in de Liereman (Schelfhout et al. *in press*)



Figuur 10 Relatie tussen Olsen-P en Oxalaat-P in de Lange velden. De relatie Olsen-P/Oxalaat-P in de ijzer-armere bodemstalen ($Fe < 27\ 000$ mg/kg) uit de Lange velden is gelijkaardig aan die van ijzerarme bodemstalen uit de Fondatie (Demey et al. 2014). De relatie Olsen-P/Oxalaat-P in de ijzer-rijke bodemstalen ($Fe > 27\ 000$ mg/kg) uit de Lange velden is gelijkaardig aan de relatie in ijzerrijke bodemstalen uit de Fondatie (Demey et al. 2014) en een dotterbloemgrasland uit de Damvallei (unpublished data)

Tabel 4 Weergave van de gebruikte relaties tussen Olsen-P en Oxalaat-P voor de inschatting van tijdsduur van P-verschraling via maaien en uitmijnen in de onderzochte bodemstalen

Relatie 1	$P_{Oxalaat} = -299 + 29 * P_{Olsen}$	L1-L3 Lange velden
Relatie 2	$P_{Oxalaat} = 90 + 11 * P_{Olsen}$	L4-L5 Lange velden
Relatie 3	$P_{Oxalaat} = 0.67 + 3.03 * P_{Olsen}$	Percelen BW en GL in Drongen

Als streefwaarde voor de inschattingen van verschralingstijd werd gewerkt met twee streefwaarden: 15 mg P_{Olsen}/kg en 25 mg P_{Olsen}/kg (zie Hfst 1.3).

Op basis van literatuur en eigen metingen nemen we aan dat de jaarlijkse P-afvoer via maaibeheer in natuurpercelen tussen 5 en 12 kg P per hectare bedraagt. De pool van biobeschikbaar P (hier gekwantificeerd als P_{Olsen}) wordt permanent aangevuld vanuit de traag circulerende actieve P pool (hier gekwantificeerd als $P_{Oxalaat}$). De berekeningen van de verschralingsduur moeten m.a.w. gebeuren op basis van de stocks aan $P_{Oxalaat}$. Op basis van de stock aan $P_{Oxalaat}$ kan per perceel berekend worden wat de huidige overmaat is aan P in de ploegvoor. Deze overmaat aan $P_{Oxalaat}$ moet worden weggewerkt via het verschralend maaibeheer. De duur van het maaibeheer kan geschat worden door de overmaat aan $P_{Oxalaat}$ te delen door de P-afvoer via maaien.

Ook de tijdsduur van P-verschraling via uitmijnbeheer werd ingeschat door aan te nemen dat de jaarlijkse P-afvoer hoger ligt, startende bij 45 kg P/ha in ideale teeltomstandigheden. Daarna laten we de jaarlijkse P-afvoer geleidelijk aan afnemen met het dalen van de P_{Olsen} concentratie zoals in Schelfhout et al. 2015: 65-55 $\mu g P_{Olsen}/g$, 33.5 kg P/ha; 55-36 $\mu g P_{Olsen}/g$, 22 kg P/ha; 36-25 $\mu g P_{Olsen}/g$, 14 kg P/ha; 25-20 $\mu g P_{Olsen}/g$, 10 kg P/ha. Voor de percelen in Drongen werd een tijdsinschatting berekend voor 0-30 cm gezien P-opname door planten in deze drogere percelen tot op een grotere diepte kan gebeuren dan in een natter perceel.

3.2. Resultaten inschatting tijdsduur Lange velden & Drongen

Tabel 2: Inschatting overmaat van P (P-stock te verwijderen) en tijdsduur maaien en uitmijnen tot streefwaarde 1 (15 mg Olsen-P/kg) en tot streefwaarde 2 (25 mg Olsen-P/kg) voor de Lange velden. ¹Berekeningen met relatie 1; ²Berekeningen met relatie 2

Perceels-ID	Diepte cm	P _{Olsen} mg/kg	P-stock te verwijderen kg P/ha 0-10 cm	Inschatting tijdsduur maaibeheer jaar 0-10 cm	Inschatting tijdsduur uitmijnbeheer jaar 0-10 cm
Streefwaarde 1		15			
Langevelden L1 ¹	0-10	63	843	169	54
Langevelden L2 ¹	0-10	72	1051	211	57
Langevelden L3 ¹	0-10	84	1116	224	58
Langevelden L4 ²	0-10	96	996	200	99
Langevelden L5 ²	0-10	74	1202	241	108
Streefwaarde 2		25			
Langevelden L1 ¹	0-10	63	694	139	32
Langevelden L2 ¹	0-10	72	901	181	36
Langevelden L3 ¹	0-10	84	967	194	37
Langevelden L4 ²	0-10	96	585	118	38
Langevelden L5 ²	0-10	74	792	159	47

Tabel 7: Inschatting overmaat van P (P-stock te verwijderen) en tijdsduur maaien en uitmijnen tot streefwaarde 1 (15 mg Olsen-P/kg) en tot streefwaarde 2 (25 mg Olsen-P/kg) voor de percelen in Drongen voor de toplaag (0-30 cm) en voor als de toplaag verwijderd werd. ¹Berekeningen met relatie 3

Perceels-ID	Diepte cm	P _{Olsen} mg/kg	P-stock te verwijderen kg P/ha 0-30 cm	Inschatting tijdsduur maaibeheer jaar 0-30 cm	Inschatting tijdsduur uitmijnbeheer jaar 0-30 cm
Streefwaarde 1		15			
BGP Drongen BW ¹	0-30	174	2914	583	94
BGP Drongen BW ¹	30-40	166	2620	525	87
BGP Drongen BW ¹	40-50	143	2209	442	78
BGP Drongen GL ¹	0-30	135	2561	513	85
BGP Drongen GL ¹	30-40	174	2612	523	87
BGP Drongen GL ¹	40-50	158	735	147	25
Streefwaarde 2		25			
BGP Drongen BW ¹	0-30	174	2787	558	75
BGP Drongen BW ¹	30-40	166	2493	499	68
BGP Drongen BW ¹	40-50	143	2081	417	60
BGP Drongen GL ¹	0-30	135	2434	487	47
BGP Drongen GL ¹	30-40	174	2485	497	49
BGP Drongen GL ¹	40-50	158	2077	416	60

3.3. Aanbevelingen om bloemrijk grasland te ontwikkelen in Drongen en Lange velden

De P-beschikbaarheid kunnen we op twee manieren manipuleren: enerzijds door P af te voeren, zijnde via maaien, uitmijnen of afgraven, anderzijds via beïnvloeding van de grondwaterstand.

Uit de resultaten blijkt dat de omstandigheden in de Lange velden en in Drongen het niet toelaten om een soortenrijk grasland met P-limitatie te ontwikkelen binnen een korte tijdspanne via maai- of uitmijnbeheer. In de Lange velden blijkt het proces van veen-mineralisatie te zijn ingezet.

De mogelijkheid tot N of K-limitatie werd binnen deze studie niet onderzocht. Indien het echt gaat om veen-mineralisatie, lijkt sturen op N- of K-limitatie eveneens niet mogelijk te zijn.

Meer specifiek over de percelen in de Lange velden:

De resultaten geven aan dat het veen mineraliseert en dit is problematisch voor het herstellen van nutriëntenarme bodemcondities. Een verlaging van de P-biobeschikbaarheid door maaien of uitmijnen lijkt hier zinloos. Het afvoeren van de huidige biobeschikbare en actieve hoeveelheid bodem-P zal al onrealistisch lang duren, maar deze hoeveelheden zullen waarschijnlijk aangevuld worden door vrijkomend P via de verdere mineralisatie van het organisch materiaal. Om deze mineralisatie te stoppen dient het terrein vernat te worden, wat dan weer een risico geeft op mobilisatie van P door reductie van ijzer.

Ook omwille van C-opslag in deze bodems lijkt het primordiaal om dit terrein te vernatten en zo mineralisatie te stoppen.

Een mogelijkheid is om hier alsnog een bloemrijke vegetatie te creëren die niet gelimiteerd is door P maar door N en K. Dit kan door de bodem eerst te vernatten, daarna de geoxideerde laag af te graven (diepte op basis van staalname te bepalen) en N- en K-limitatie te induceren door verschrallend maaibeheer.

Omdat mineralisatie van venige bodems onomkeerbare gevolgen kan hebben is het naar de toekomst toe belangrijk om op dergelijke percelen de nodige voorzichtigheid in acht te nemen. Ingrepen dienen best overwogen te worden op basis van bodemanalyses en onderzoek naar de mogelijkheden van hydrologisch herstel.

Meer specifiek over de percelen in Drongen:

In Drongen zou het afgraven van de bodem tot op 30 of 40 cm diepte weinig effect hebben gezien fosfaat uitgespoeld is tot in de diepere bodemlagen. Door een verschrallend maaibeheer zou men op de drogere percelen in Drongen waarschijnlijk wel via N- of K-limitatie tot een verlaging van de biomassa-productie kunnen komen. De ontwikkeling van een kruidenrijke vegetatie met soorten als wilde margriet en knoopkruid kan na inzaaien alsnog mogelijk zijn in een dergelijke situatie.

Referenties

- Adams, A.S., Lucassen, E.C.H.E.T., Bobbink, R., Smits, N.A.C., 2011. Herstelstrategie H6130: Zinkweiden 513–528.
- Anonymous (2012) Opmaak van een model voor de technische kosten van inrichtings- en beheerwerken, Eindrapport BE0112000229. Berchem.
- Ceulemans, T., Stevens, C.J., Duchateau, L., Jacquemyn, H., Gowing, D.J.G., Merckx, R., Wallace, H., van Rooijen, N., Goethem, T., Bobbink, R., Dorland, E., Gaudnik, C., Alard, D., Corcket, E., Muller, S., Dise, N.B., Dupré, C., Diekmann, M., Honnay, O. (2014) Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands. *Global Change Biology* 20:3814–3822.
- Cools, N., Wils, C., Hens, M., Hoffmann, M., Deutsch, F., Lefebvre, W., Overloop, S., Vancraeynest, L., Van Vynck, I. (2015) Atmosferische stikstofdepositie en Natura 2000 instandhoudingsdoelstellingen in Vlaanderen. Verkennende gewestelijke ruimtelijke analyse van de ecologische impact, van sectorbijdragen en van de bijdrage. Brussel.
- Demey, A., Ameloot, E., De Schrijver, A., Staelens, J., Hermy, M., Boeckx, P., Verheyen, K. (2013) Sleutelrol voor halfparasieten in de biogeochemie van soortenrijke graslanden. *Natuur.focus* 12:69–76.
- Demey, A., Aerts, N., De Buysere, F., De Schrijver, A., Verheyen, K. (2015) Smeethof: bodemkwaliteit en afgraving als verfijning van de grensoverschrijdende visie.
- De Schrijver A., Schelfhout S., Verheyen K. (2013a) Bodemonderzoek naar de potenties voor herstel en ontwikkeling van soortenrijk grasland Bos van AAA. Rapport iov. Waterwegen en Zeekanaal.
- 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* 12:145–153.
- Hautier, Y., Niklaus, P.A., Hector, A. (2009) Competition for Light Causes Plant Biodiversity Loss After Eutrophication. *Science* 324:636–638.
- Hennekens, S.M., Smits, N.A.C., Schaminée, J.H.J. (2010) SynBioSys Nederland versie 2.
- Houtmeyers S., Van Broeckhoven E., Vandenbroucke A.S. & Vergeynst J. (2013) Zoektocht naar referentiewaarden voor het herstel van soortenrijke natuur. Bachelorthesis, Universiteit Gent, 58p.
- McLauchlan, K. (2006) The nature and longevity of agricultural impacts on soil carbon and nutrients: a review. *Ecosystems* 9:1364–1382.
- Oosterbaan A., de Jong J.I., Kuiters A.T. (2008) Vernieuwingen in ontwikkeling en beheer van natuurgraslanden op voormalige landbouwgrond op droge zandgronden. Wageningen UR, Wageningen
- Raman M., De Keersmaecker L., Denys L., Leyssen A., Provoost S., Vandevoorde B., Hens M., Wouters J. (2014) Bodemkundige, hydrologische en hydrochemische grenswaarden voor de duurzame instandhouding van Europese habitattypen in Vlaanderen. Brussel
- Schelfhout S., De Schrijver A., De Bolle S., De Gelder L., Demey A., Du Pré T., De Neve S., Haesaert G., Verheyen K., Mertens J. (2015) Phosphorus mining for ecological restoration on former agricultural land. *Restoration Ecology* 23:842–851.
- Schelfhout, S., Mertens, J., Perring, M.P., Raman, M., Baeten, L., Demey, A., Reubens, B., Oosterlynck, S., Gibson-Roy, P., Verheyen, K., De Schrijver, A. (in press) Restoration of species-rich grasslands on former fertilized land: cutting traditions. *Restoration Ecology*.
- Schippers, W., Bax, I., Gardenier, M. (2012). Ontwikkelen van kruidenrijk grasland. Utrecht: Aardewerk advies.
- Smolders, A.J.P., Lamers, L.P.M., Lucassen, E.C.H.E.T., Van der Velde, G., Roelofs, J.G.M. (2006a) Internal eutrophication: How it works and what to do about it - a review. *Chemistry and Ecology* 22:93–111.
- Smolders, A., Lucassen, E., Tomassen, H., Lamers, L., Roelofs, J. (2006b) De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur, Bos en Landschap* April:5–11.
- T'Jollyn, F., Bosch, H., Demolder, H., De Saeger, S., Leyssen, A., Thomaes, A., Wouters, J., Paelinckx, D., Hoffmann, M. (2009) Ontwikkeling van criteria voor de beoordeling van de lokale staat van instandhouding van de Natura 2000 habitattypen. Versie 2.0. Instituut voor natuur- en bosonderzoek, Brussel.
- Tilley, M. (2013) Karakterisatie van de nutriëntentoestand en de impact van maai-beheer in halfnatuurlijke graslanden. Masterproef.
- Van de Riet, B.P., Barendregt, A., Brouns, K., Hefting, M.M., Verhoeven, J.T. a. (2010) Nutrient limitation in species-rich Calthion grasslands in relation to opportunities for restoration in a peat meadow landscape. *Applied Vegetation Science* 13:315–325.
- Vangansbeke, P., De Schrijver, A., Schelfhout, S., Verheyen, K. (2017). Onderzoek naar methodes voor abiotisch herstel van soortenrijke graslanden in het LIFE-project Pays Mosan.
- Wassen, M.J., Olde Venterink, H., Lapshina, E.D., Tanneberger, F. (2005). Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437:547–550.
- Voor meer achtergrondinformatie zie ook onze artikels *Focus op de biogeochemie in Natuur.Focus* te downloaden via: <https://www.natuurpunt.be/publicatie/natuurfocus-focus-op-biogeochemie>**