

**HO
GENT**



ELAND
Ecolabs in een Educatief LANDschap



ADVIES UITMIJNEN IN LANDSCHAP DE LIEREMAN

IN OPDRACHT VAN
VLM EN ANB

Schelfhout Stephanie, Vanhellemont Margot, De Schrijver An, Verheyen Kris, Mertens Jan

30 september 2021
Definitieve versie

Wijze van citeren

Schelfhout S., Vanhellemont M., De Schrijver A., Verheyen K. & Mertens J. (2021) Advies uitmijnen in Landschap De Liereman. In opdracht van VLM en ANB. ELAND, Universiteit Gent, Gent, België. 37 p.

Foto voorblad

Uitmijnen met grasklaver in Veldexperiment 2 in Landschap De Liereman. Staalname van de biomassa voor de vierde snede in oktober 2016.

Dankwoord

Landschap De Liereman was een belangrijk focusgebied in het doctoraat van Stephanie Schelfhout over uitmijnen in functie van graslandherstel. We wensen Natuurpunt vzw en de beheerders van Landschap De Liereman te bedanken voor de unieke kans om te experimenteren met deze onconventionele natuurhersteltechniek. In het bijzonder gaat onze dank uit naar Kris Van der Steen en Jan Van den Berghe. Daarnaast willen we landbouwer Dieter Dijckmans hartelijk bedanken voor alle hulp en denkwerk. Dieter heeft meegeholpen met de opstart van Veldproef 1 en voerde het uitmijnen in Veldproef 2 uit. Dit was een bijzonder goede samenwerking, het uitmijnen in Veldproef 2 was zonder hem niet gelukt. Verder wensen we ook de landbouwers Luc Huybrechts en Jan Leppens te bedanken voor hun inspanningen omtrent uitmijnen in Landschap De Liereman. Mario De Block was vanaf het eerste uur bij het uitmijnonderzoek betrokken, dank voor alles en in het bijzonder voor de contacten met beheerders die openstonden voor experimenten met uitmijnen. We wensen ook de “stuurgroep uitmijnen” te bedanken, die bestond uit mensen van VLM, Natuurpunt, Boerenbond, ANB, Regionale Landschappen en lokale landbouwers. Dit onderzoek was onmogelijk geweest zonder de ondersteuning van de techniekers en laboranten van het ForNaLab (UGent). In het bijzonder wensen we Kris Ceunen, Filip Ceunen, Robbe De Beelde, Luc Willems en Greet De bruyn te bedanken. Er werden ook tal van masterthesisstudenten, jobstudenten en stagairs uit de opleidingen toegepaste biowetenschappen en bio-ingenieurswetenschappen ingeschakeld in het uitmijnonderzoek, ook hen wensen we te bedanken. Filip Debrabandere en Mario De Block maakten het synthetiseren van de uitmijngegevens in De Liereman in dit rapport mogelijk, waarvoor dank. We willen ook Iris Moeneclaey, Eva DeCock en Ellen De Vrieze bedanken voor feedback op de visualisatie van de gegevens van Veldproef 2. Finaal danken we Filip Debrabandere, Kris Vandersteen, Guy Laurijssens, Dirk Geysels, Mario De Block, Willem-Jan Emsens, Wendy Janssen, Carole Ampe, Daniel Josten en Daniël Sanders voor de feedback op een tussentijdse versie van het rapport.

Inhoud

1	Inleiding	2
2	Het natuurdoel en de abiotische randvoorwaarden	4
3	Veldproef 1 – maaibeheer versus uitmijnen in grasland.....	5
4	Veldproef 2 - uitmijnen met grasklaver versus akkerrotaties	6
4.1	<i>Experimentele opzet.....</i>	6
4.2	<i>Bodemfosfor bij de start van Veldproef 2 (2013)</i>	7
4.3	<i>Bodemfosfor in 2017 en 2021</i>	9
4.4	<i>Fosforafvoer met verschillende teelten en gewassen.....</i>	11
4.5	<i>Balans bodemfosfor en fosforafvoer met gewassen</i>	15
4.6	<i>Waarde van het gewas bij uitmijnen.....</i>	16
5	Evaluatie uitmijntermijnen Liereman Veldproef 2.....	17
5.1	<i>Werkwijze inschatten uitmijntermijn</i>	17
5.2	<i>Combinatie inzichten Veldproef 1 en Veldproef 2</i>	19
5.3	<i>Uitmijntermijn in de percelen van Veldproef 2.....</i>	21
6	Actuele bodemtoestand en herstelpotentie van percelen Hoge Mierdse Heide en het Lieremansstaartje	23
6.1	<i>Karakterisatie van de bodem.....</i>	23
6.2	<i>Risico interne eutrofiëring (enkel op kaart).....</i>	30
6.3	<i>Uitmijntermijnen volgens meest gunstige scenario</i>	31
	Conclusie	36
	Referentielijst.....	37

1 Inleiding

Het herstel van heischrale graslanden (prioritair habitatype H6230*) op voormalige landbouwbodems geeft vaak teleurstellende resultaten door abiotische en biotische knelpunten. Abiotisch is vooral fosfor een probleem. Fosfor is persistent in de bodem en hoge concentraties hebben een negatief effect op de plantensoortenrijkdom en vooral op traaggroeiende heischrale doelsoorten (zie **Hoofdstuk 2**). Dit rapport gaat over het verlagen van de concentraties biobeschikbare fosfor in de bodem via verschraling door maaibeheer of uitmijnen. Er wordt een inschatting gemaakt van de tijd die nodig is voor het abiotische herstel. De tijd nodig voor biotisch herstel wordt in dit rapport niet ingeschat, maar is ook belangrijk. Het lokaal uitsterven van doelsoorten en de beperkte verspreidingscapaciteit zijn een belangrijk knelpunt. Dit probleem kan verholpen worden door translocatie van plantensoorten via maaisel opvoeren of inzaaien op een moment wanneer er kiemplaatsen zijn, bijvoorbeeld vlak na een verschralingstraject gecombineerd met het strippen van de vegetatie.

Als een perceel uit intensief landbouwbeheer wordt genomen, zijn de concentraties fosfor in de bodem doorgaans 10 tot 15 keer hoger dan in onbemeste heischrale graslanden. In theorie kunnen de bodemfosforconcentraties verlaagd worden door afvoer van fosfor met het maaisel geoogst bij verschrallend maaibeheer. In praktijk gaat het verlagen van bodemfosforconcentraties via verschrallend maaibeheer traag. Na een paar jaar wordt de plantengroei gelimiteerd door lage concentraties stikstof en kalium, twee nutriënten die snel uitspoelen uit de bodem. Door de lagere groei daalt de jaarlijkse fosforafvoer met het maaisel. Bij uitmijnen is de jaarlijkse fosforafvoer doorgaans hoger dan bij maaibeheer omdat er bij uitmijnen bemest wordt met stikstof en kalium. Deze bemesting zorgt voor hoge biomassaproductie en optimale fosforafvoer. Het voordeel van uitmijnen is dat de tijdsduur voor verschraling aanzienlijk korter kan worden dan via maaibeheer. Het nadeel van uitmijnen is dat het biotisch herstel nog niet kan beginnen. Tijdens verschrallend maaibeheer is het wel mogelijk om al een hoger aandeel kruidachtigen en zelfs enkele doelsoorten te bekomen. Tijdens maaibeheer wordt het biotisch herstel dus al gestart.

Het verlagen van de bodemfosforconcentraties na intensief landbouwbeheer tot het niveau van een heischraal grasland door maai- of uitmijnbeheer werd nog niet eerder beschreven. Uitmijnen is nog steeds een experimentele verschralingstechniek. Het doel van dit rapport is om bij te dragen aan de kennisopbouw over uitmijnen in functie van natuurherstel. We geven een overzicht over de ervaringen en kennis over uitmijnen opgedaan in Landschap De Liereman en passen deze toe op nieuwe terreinen waar natuurherstel gepland staat (Hoge Mierdse Heide en Lieremansstaartje).

In Landschap De Liereman liep van 2011 tot 2016 een eerste veldproef: **Veldproef 1 - maaibeheer versus uitmijnen in grasland**. We vergeleken de fosforafvoer via maaibeheer en uitmijnen in een blokkenproef op drie percelen met verschillende fosforconcentraties. Doordat de percelen verschillen in de concentratie bodemfosfor kunnen we een inschatting maken van de fosforafvoer via uitmijnen langsheen een traject van verschraling van de bodem. De belangrijkste inzichten uit deze veldproef staan samengevat in **Hoofdstuk 3**. In **Hoofdstukken 5 en 6** worden deze gegevens gebruikt voor het simuleren van de tijdsduur nodig voor verschraling via maaibeheer of uitmijnen.

Van 2013 tot 2016 liep een tweede veldproef in Landschap De Liereman: **Veldproef 2 - uitmijnen met grasklaver versus akkerrotaties**. We testten in het veld of fosforafvoer via uitmijnen hoger is bij herinzaai met een grasklavermengsel of bij een opeenvolging van diverse akkerteelten (zie **Hoofdstuk 5**). De percelen hadden initieel hoge tot zeer hoge bodemfosfor concentraties. Van 2017 tot 2020 werd het uitmijnbeheer verdergezet zonder gedetailleerde monitoring van het gewas, met grasklaverteelt op alle percelen. In de winter van 2020 werden opnieuw bodemstalen genomen om de verandering in de bodemfosforconcentraties te bepalen (zie **Hoofdstuk 4**) en de ingeschatte

uitmijntermijnen te evalueren (zie **Hoofdstuk 5**). Deze inzichten worden eveneens gebruikt in **Hoofdstuk 6** voor het simuleren van de tijdsduur nodig voor vershraling via de meest geschikte teelt.

Projectteam ELAND (associatieonderzoekspatform UGent-HOGENT) kreeg voor deze studie de opdracht om

- (1) de fosforconcentraties in de bodem van Veldproef 2 in Landschap de Liereman opnieuw te meten (**Hoofdstuk 4**)
- (2) de uitgijntermijnen voor de percelen van Veldproef 2 opnieuw te berekenen en te evalueren (**Hoofdstuk 5**)
- (3) uitgijntermijnen te berekenen voor enkele percelen in de Hoge Mierdse Heide en het Lieremansstaartje; **Hoofdstuk 6**)

Gebruikte begrippen, afkortingen en hun betekenis:

Biobeschikbaar fosfor P _{Olsen}	- fosfaat (HxPO₄) in de bodemoplossing, anorganische en organische fosfor die snel kan vrijgesteld of gedemineraliseerd worden uit de bodem - de fosfor in de bodem die binnen één groeiseizoen kan worden opgenomen door planten - maximaal 20% van de totale hoeveelheid fosfor in de bodem - wordt bij chemische analyse bepaald door extractie met natriumbicarbonaat
Traagcyclerend fosfor P _{Ox}	- anorganisch fosfaat geadsorbeerd aan calcium (Ca) of aluminium (Al) en ijzer (Fe), en organisch fosfor - fosfor die beschikbaar kan worden voor planten op de lange termijn - wanneer de vegetatie biobeschikbaar fosfor opneemt wordt de hoeveelheid biobeschikbaar fosfor in de bodem aangevuld vanuit het traagcyclerende fosfor - wordt bij chemische analyse bepaald door extractie met ammonium oxalaat; P_{Ox} omvat ook P_{Olsen}
Maaibeheer	- vershralingsbeheer zonder bemesting, eventueel met bekalking - omvat doorgaans 2 keer maaïen van het grasland met afvoer van het maaisel - leidt tot nutriëntenlimitatie (meestal stikstof- en/of kaliumlimitatie)
Uitmijnen	- vershralingsbeheer met bemesting van stikstof en kalium, eventueel ook bemesting van andere limiterende nutriënten (geen fosfor!) en met bekalking - in grasland: 3-5 keer maaïen en afvoeren van het maaisel - kan ook met akkergewassen - is gericht op creatie van fosforlimitatie

2 Het natuurdoel en de abiotische randvoorwaarden

Om op voormalige landbouwgrond soortenrijke natuur te herstellen is het vrijwel altijd noodzakelijk om de beschikbaarheid van nutriënten in de bodem te verlagen. Anorganische nutriënten vormen samen met licht en water de voedingsbronnen van planten. Als nutriënten niet limiterend zijn voor plantengroei, profiteren een beperkt aantal soorten van die nutriënten. Deze competitieve plantensoorten groeien snel en overschaduwen daardoor trager groeiende soorten die dan verdwijnen door gebrek aan licht (Hautier et al. 2009). Zo neemt het aantal plantensoorten af en krijgen we op nutriëntenrijke bodem homogene vegetaties met lage biodiversiteit. Op nutriëntenarme bodems is de vegetatie meer heterogeen, door lokale variatie in de beschikbaarheid van verschillende nutriënten. Voor vele soortenrijke graslandtypes lijkt limitatie van fosfor cruciaal (Ceulemans et al. 2014; Gilbert et al. 2009). Zeldzame plantensoorten (bv. Rode Lijst) komen voor in graslanden met fosforlimitatie (Wassen et al. 2005).

Wanneer van een 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, bijvoorbeeld gebaseerd op de nutriëntenbeschikbaarheid in referentiegebieden (Fig. 1 met referentiewaarden voor graslanden). Samengevat kunnen we stellen dat we streven naar een zo laag mogelijke concentratie biobeschikbaar fosfor of Olsen-P (liefst onder de 20 mg P_{Olsen} /kg). Bij fosforconcentraties hoger dan 25 mg P_{Olsen} /kg is biomassaproductie niet gelimiteerd door fosfor, maar kan de biomassaproductie beperkt worden door limitatie van stikstof of kalium. De ontwikkeling van een bloemrijk grasland met algemene plantensoorten zoals rode klaver en wilde margriet is mogelijk in deze context, dit is “fase 3” volgens Schippers et al. (2012).

In dit rapport is het natuurdoel soortenrijk heischraal grasland (H6230*). Bij de inschattingen van de verschrallingstermijn hanteren we streefwaarden voor twee subtypes: het droge subtype 6230_hn ‘**droog heischraal grasland**’ waarvoor de concentratie biobeschikbaar fosfor onder de strenge streefwaarde van **12 mg P_{Olsen} kg⁻¹** moet liggen en het voedselrijkere subtype 6230_ha ‘**soortenrijk struisgrasland**’ met **20 mg P_{Olsen} kg⁻¹** als minder strenge streefwaarde.

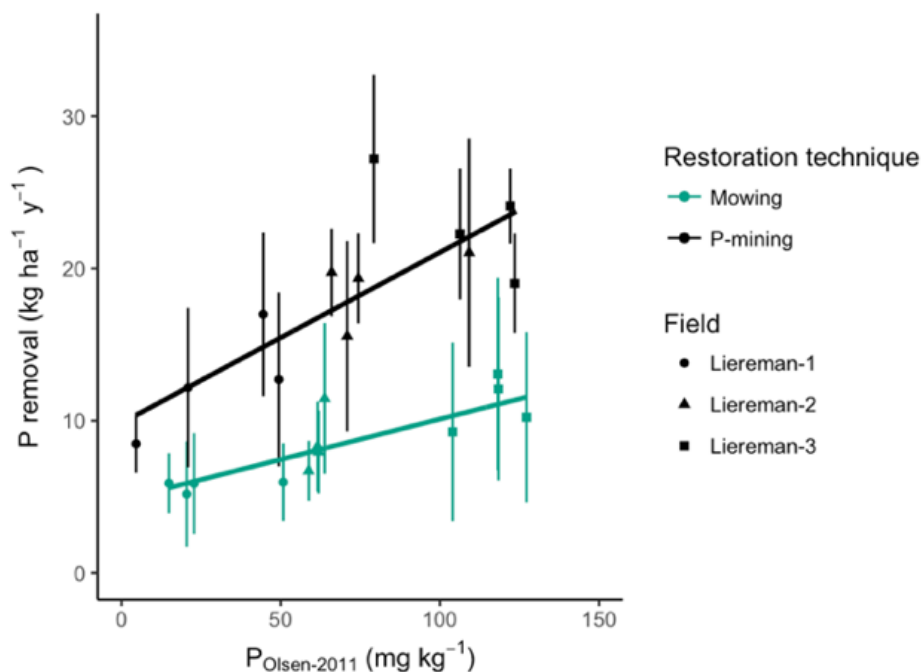
		BIOBESCHIKBAAR FOSFOR (mg Olsen-P/kg)					
		<12	<15	12-20	15/25-40	40-60	>60
		FOSFORARM	MATIG FOSFORRIJK		FOSFORRIJK	ZEER FOSFORRIJK	
VOCHTGRADIËNT	DROOG	droog heischraal grasland	soortenrijk struisgrasland		graslandfase 3	graslandfase 2/3	graslandfase 0/1/2/3
			glanshavergrasland				
			grote vossenstaart- grasland				
	VOCHTIG	vochtig heischraal grasland	blauwgrasland	dotterbloem- grasland			
NAT	kleine zeggenvegetatie	grote zeggenvegetatie/rietmoeras					

Figuur 1: Referentiewaarden voor biobeschikbaar fosfor (mg P_{Olsen} /kg) voor verschillende graslandtypes op basis van zelf vergaarde referentiegegevens en gegevens van INBO (De Schrijver Unpublished naar Demey et al. 2015). Graslandfase refereert naar Schippers et al. (2012): fase 0-1: raaigrasland; fase 1: grassenmix; fase 2: dominant stadium; fase 3: gras-kruidenmix.

3 Veldproef 1 – maaibeheer versus uitmijnen in grasland

Veldproef 1, met een permanente graslandvegetatie, liep in Landschap De Liereman tussen 2011 en 2016 in het kader van het doctoraat van Stephanie Schelfhout (2019), gefinancierd door Universiteit Gent. We vergeleken de fosforafvoer via maaibeheer en uitmijnen in een blokkenproef op drie percelen met verschillende fosforconcentraties (29, 71 en 112 mg P_{Olsen} kg^{-1} ; in detail beschreven in Schelfhout et al. 2019). Deze opzet maakte het mogelijk om de effecten van uitmijnen te bestuderen langsheen een bodemfosforgradiënt, wat nodig is om prognoses te kunnen maken over de uitmijntermijn (Johnston et al. 2016). In april 2011 werd een zadenmengsel met vier productieve grassoorten ingezaaid (77% *Lolium perenne*; 10% *Phleum pratense* subsp. *pratense*; 5% *Festuca pratensis*; 3% *Poa pratensis*). De fosforafvoer met het gewas werd vergeleken tussen twee verschralingstechnieken: verschralend maaibeheer zonder bemesting en uitmijnen met stikstof- en kaliumbemesting volgens de toen actuele bemestingswetgeving (130 kg N $\text{ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$ en 225 kg K $\text{ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$). Deze bemesting kon beschouwd worden als suboptimaal voor maximale biomassaproductie en dus ook suboptimaal voor maximale fosforafvoer met het maaisel. De afgevoerde hoeveelheid stikstof met het maaisel in de uitmijnproefvlakken overschreed in bijna alle gevallen de hoeveelheid stikstof die bemest werd en de bladconcentraties gaven een licht stikstofgebrek aan.

De fosforafvoer was twee keer hoger met uitmijnen dan met maaibeheer en de fosforafvoer daalde significant met dalende bodemfosforconcentraties (zie Fig. 2). Op bodems met een concentratie biobeschikbaar fosfor lager dan ca. 25 mg P_{Olsen} kg^{-1} was de fosforafvoer met uitmijnen vergelijkbaar met de fosforafvoer met maaibeheer; daarom dat we vanaf dit moment in het verschralingsbeheer aanraden om te schakelen van uitmijnen naar maaibeheer. Deze resultaten kunnen gebruikt worden om inschattingen te maken van de uitmijntermijn op bodems met gelijkaardige kenmerken (textuur, vochtgehalte, pH,...).



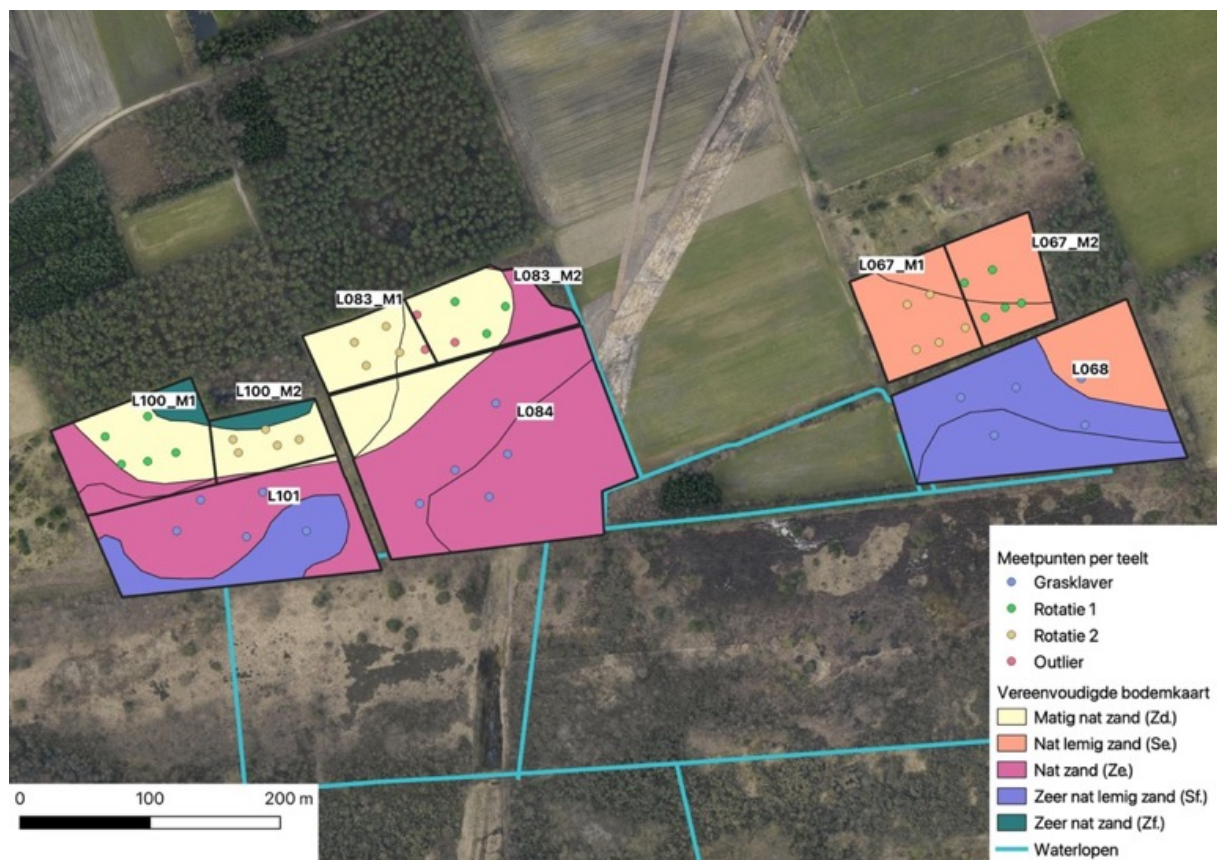
Figuur 2 Gemiddelde jaarlijkse fosforafvoer met maaibeheer (groen) en uitmijnen (zwart) in Veldproef 1 van 2011 tot 2016 ten opzichte van de initiële concentratie biobeschikbaar fosfor in 2011 (overgenomen uit Schelfhout et al. 2019). De foutenvlaggen geven de variabiliteit doorheen de jaren aan.

4 Veldproef 2 - uitmijnen met grasklaver versus akkerrotaties

4.1 Experimentele opzet

De zes percelen vormen samen ca. 10 ha (percelen L067, L068, L083, L084, L100 en L101; Fig. 3). In 1971 werden vermoedelijk alle percelen gebruikt als grasland (luchtfoto www.geopunt.be). In 1989 werden enkel nog percelen L067 en L068 gebruikt als grasland (luchtfoto www.geopunt.be), de andere percelen als akker, vermoedelijk met maïs. De recente voorgeschiedenis, 2003 - 2011, van alle percelen is gebruik als maïsakker (volgens landgebruiksparcelskaart en luchtfoto's op www.geopunt.be). In 2012 lagen de percelen braak en kwamen in eigendom van Natuurpunt vzw. Tussen 2013 en 2017 werd een uitmijnveldproef opgestart en opgevolgd in het kader van het doctoraat van Stephanie Schelfhout (2019), gefinancierd door Universiteit Gent. De uitvoering van het uitmijnen gebeurde door landbouwer Dieter Dijkmans. Op drie percelen werd grasklaver geteeld (L068, L084 en L101). Percelen L067, L083 en L100 werden in de uitmijnveldproef opgesplitst voor het testen van twee rotaties met akkerbouwteelten (Fig. 3 en Tabel 1). Er werden vijf vaste meetpunten per perceel geselecteerd en de coördinaten werden geregistreerd met een gps (smartphone, nauwkeurigheid van 5-10 m). Deze 45 meetpunten werden telkens op dezelfde manier bezocht voor bemonstering van de bodem en het gewas. Tussen 2017 en 2021 werd grasklaver geteeld op alle percelen door Dieter Dijkmans, zonder de gedetailleerde opvolging door Universiteit Gent.

Er is variatie in de vochtthuishouding en bodemtextuur binnen en tussen de proefpercelen: van matig nat zand (Zd.) tot zeer nat zand (Zf.) en zeer nat lemig zand (Sf.; zie Fig. 3). Deze variabiliteit zal waarschijnlijk extra variatie op de afvoer van fosfor met het gewas veroorzaken.



Figuur 3 Ligging van de percelen opgenomen in Veldproef 2. De 45 vaste meetpunten staan aangegeven met cirkels (kleur volgens teelt). Drie punten kunnen beschouwd worden als 'outlier' en zijn aangegeven in het rood (zie 2.2). De vereenvoudigde bodemserie wordt aangegeven met kleuren. De grachtjes staan aangegeven met blauwe lijnen.

Tabel 1 Teelten in Veldproef 2 met perceelsnummer. Tijdens deze periode werd uitmijnen toegepast met standaard hoeveelheden stikstof- en kaliumbemesting, bekalkingen en met de courante gewasbescherming.

Jaar	Klimatologische samenvatting ^a	Grasklaver ^b L068, L084, L101	Rotatie 1 L067_R1, L083_R1, L100_R1	Rotatie 2 L067_R2, L083_R2, L100_R2
2013	Relatief normaal jaar; koude lente; normale zomer	Grasklaver (3)	Maïs	Maïs
2014	Uitzonderlijk warm jaar; <u>droge warme lente</u> ; natte warme zomer	Grasklaver (4)	Italiaans raaigras + Boekweit	Italiaans raaigras + Lupine
2015	Warm jaar; normale lente; <u>droge zomer</u>	Grasklaver (4) ^c	Wintertriticale + groenbemester	Wintertriticale + groenbemester
2016	Normaal jaar; normale lente; normale zomer	Grasklaver (3)	Maïs	Maïs
2017 ^d	Normaal jaar; <u>warme droge lente</u> ; warme zomer	Grasklaver	Grasklaver	Grasklaver
2018 ^d	Uitzonderlijk warm droog jaar; warme lente; <u>warme en droge zomer</u>	Grasklaver	Grasklaver	Grasklaver
2019 ^d	Warm droog jaar; normale lente met uitschieters; <u>warme en droge zomer</u>	Grasklaver	Grasklaver	Grasklaver
2020 ^d	Zeer uitzonderlijk warm jaar; <u>droge lente; droge warme zomer</u>	Grasklaver	Grasklaver	Grasklaver

^a Klimatologische samenvatting volgens KMI (www.meteo.be) voor gemiddelde temperatuur en neerslagtotaal per jaar, lente en zomer. In rood staan de jaren met droge lentes of zomers aangeduid.

^b Aantal sneden grasklaver vermeld tussen haakjes. In 2013 was de eerste snede een 'onderhoudsmaaibeurt' om de pionierskruiden uit de zaadbank te elimineren. Deze eerste snede omvatte maar weinig biomassa en werd niet verzameld voor analyse. In 2016 werden maar drie sneden uitgevoerd omwille van de lagere biomassa productie, vermoedelijk veroorzaakt door de twee droge voorgaande jaren.

^c In 2015 werd perceel L084 opnieuw ingezaaid met grasklaver door lage opkomst klavers.

^d Geen biomassametingen na 2016

4.2 Bodemfosfor bij de start van Veldproef 2 (2013)

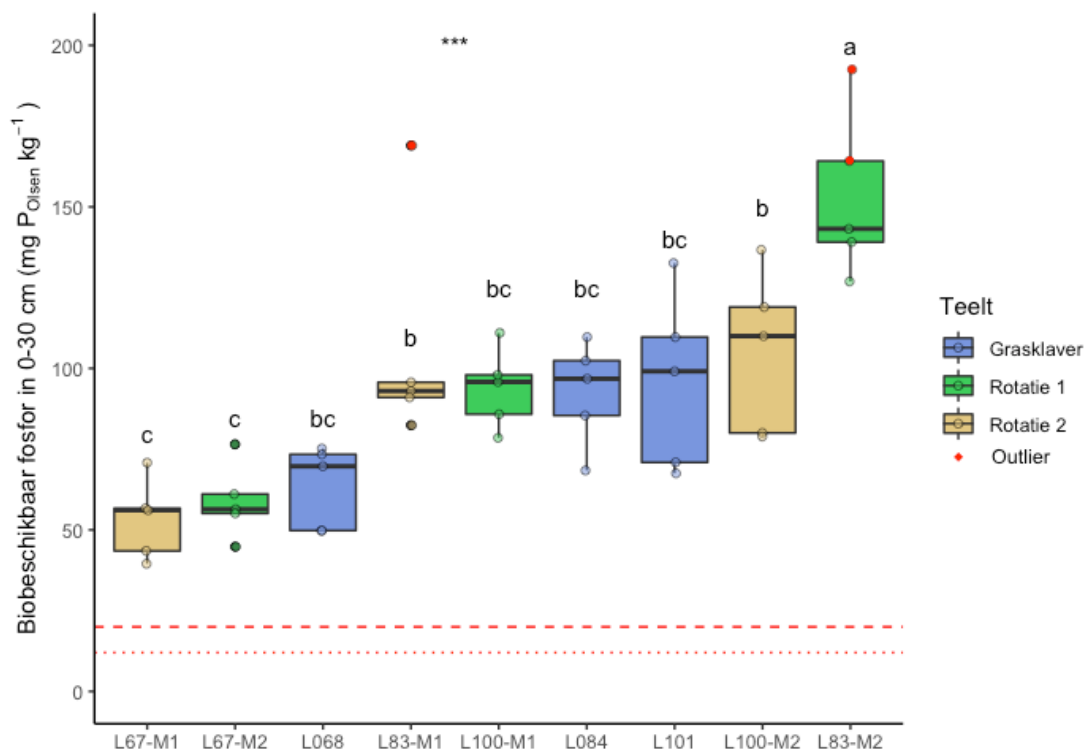
In 2013, vóór de start van de veldproef, weerspiegelden de fosforconcentraties in de bovenste 30 cm van de bodem een klassieke akkerbodem waarop jarenlang maïs geteeld werd (Tabel 2). De proefpercelen zijn dan ook te categoriseren als 'zeer fosforrijk' (Fig. 1). Toch verschilden de negen proefpercelen ook duidelijk in de concentratie biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen} , Fig. 4). Proefpercelen L067_M1, L067_M2 en L086 hadden een opmerkelijk lagere concentratie biobeschikbaar fosfor (gemiddeld 53 tot 64 mg P_{Olsen} kg⁻¹), vermoedelijk door hun kortere geschiedenis als akker en daardoor kleinere cumulatieve fosforbemesting (in 1989 waren L067 en L068 nog graslanden, zie 4.1). Proefperceel L083_M2 had gemiddeld zeer hoge concentraties biobeschikbaar fosfor (ca. 150 mg P_{Olsen} kg⁻¹) en de vijf andere proefpercelen hadden gemiddeld hoge concentraties biobeschikbaar fosfor (ca. 100 mg P_{Olsen} kg⁻¹) met een behoorlijk hoge variatie binnen een proefperceel (standaardafwijking tot 27 mg P_{Olsen} kg⁻¹). Bij twee meetpunten op perceel L083_M2 en één meetpunt op perceel L083_M1 werden heel hoge fosforwaarden gemeten (> 150 mg P_{Olsen} kg⁻¹) en een lage pH (pH_{KCl} 3.9; rode punten in Fig. 3 en Fig. 4). De reden voor deze afwijking ten opzichte van de andere meetpunten op het perceel is onbekend, de afwijking kwam ook naar voor in de metingen van de jaren nadien. Deze meetpunten werden statistisch geïdentificeerd als *outliers*¹ en worden niet meegenomen in de verdere analyse.

¹ Hampel filter

Tabel 2 De negen proefpercelen van Veldproef 2 met de coördinaten van het middelpunt van het perceel, de teelt tussen 2013 en 2017 (zie Tabel 1) en de bodemcondities in 2013, vóór de aanvang van het uitmijnen: gemiddelde met standaardafwijking tussen haakjes voor de zuurtegraad en de concentraties fosfor (P), aluminium (Al), ijzer (Fe), kalium (K), magnesium (Mg) en calcium (Ca). Bodemstalen werden genomen in de bovenste bodemlaag (0-30 cm) in de vijf vaste meetpunten per proefperceel (zie Fig. 2).

	Lat/Lon	Teelt	pH _{KCl}	concentratie (mg kg ⁻¹) ^a						
				P _{Olsen}	P _{OX}	Al _{OX}	Fe _{OX}	K _{AL}	Mg _{AL}	Ca _{AL}
L067_M1	51°20'25.1"N 5°00'59.2"O	Rotatie1	5,3 (0,2)	53 (12)	220 (34)	999 (339)	649 (141)	55 (14)	57 (5)	546 (53)
L067_M2	51°20'25.8"N 5°01'02.0"O	Rotatie2	5,1 (0,3)	59 (12)	252 (30)	1129 (184)	888 (204)	63 (19)	50 (17)	520 (112)
L068	51°20'23.0"N 5°01'03.7"O	Grasklaver	4,7 (0,2)	64 (13)	175 (46)	897 (184)	340 (117)	45 (14)	53 (17)	290 (104)
L083_M1	51°20'24.2"N 5°00'38.4"O	Rotatie1	4,2 (0,2)	106 (35)	273 (142)	687 (182)	375 (132)	97 (30)	36 (8)	230 (38)
L083_M2	51°20'24.8"N 5°00'42.2"O	Rotatie2	4,1 (0,3)	153 (26)	519 (106)	1004 (196)	509 (56)	131 (98)	29 (16)	206 (101)
L084	51°20'21.7"N 5°00'41.7"O	Grasklaver	4,9 (0,3)	93 (16)	356 (42)	790 (113)	336 (75)	54 (6)	49 (8)	393 (182)
L100_M1	51°20'21.9"N 5°00'28.3"O	Rotatie1	5,0 (0,6)	94 (12)	360 (92)	798 (199)	437 (130)	66 (7)	56 (21)	364 (149)
L100_M2	51°20'22.0"N 5°00'33.6"O	Rotatie2	4,8 (0,5)	105 (25)	382 (89)	855 (226)	319 (60)	88 (49)	47 (13)	349 (150)
L101	51°20'20.0"N 5°00'31.6"O	Grasklaver	4,6 (0,4)	96 (27)	262 (28)	713 (94)	249 (73)	52 (37)	41 (31)	271 (154)

^a concentratie fosfor bepaald na extractie met natriumbicarbonaat (P_{Olsen}) of oxalaat (P_{OX}), concentratie aluminium en ijzer na extractie met oxalaat (Al_{OX}, Fe_{OX}), concentratie kalium, magnesium en calcium na extractie met zuur ammoniumlactaat (K_{AL}, Mg_{AL}, Ca_{AL}).



Figuur 4 De variatie in concentratie biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen}) per proefperceel bij de aanvang van Veldproef 2 in 2013. De proefpercelen zijn gerangschikt van lage naar hoge gemiddelde biobeschikbare fosforconcentratie; de cirkels tonen de meetpunten met kleur volgens teelt en outliers in het rood (zie 2.2); de letters tonen significante verschillen tussen de proefpercelen². De rode stippellijn geeft de streefwaarde van 12 mg P_{Olsen} kg⁻¹ aan; de rode gestreepte lijn de streefwaarde van 20 mg P_{Olsen} kg⁻¹.

² anova met functie *aov* en Tukey post-hoc test met functie *HSD.test*; de verschillen tussen de percelen waren sterk significant effect met een *p*-waarde < 0.001.

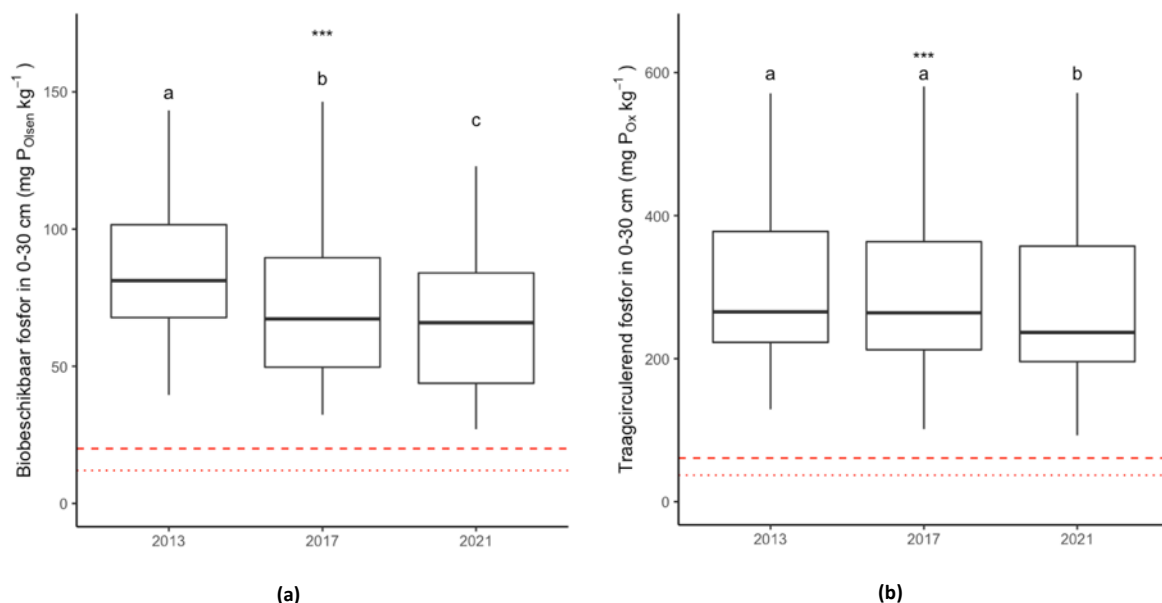
4.3 Bodemfosfor in 2017 en 2021

Na vijf en negen jaar uitmijnen was er geen verschil in bodemfosforconcentraties tussen de gebruikte teelten, maar de fosforconcentraties verschilden wel significant tussen de drie meetjaren (Tabel 3). Voor zowel biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen} , Fig. 5a) als voor traagcirculerend fosfor (P_{Ox} , Fig. 5b) daalde de concentratie. De concentratie biobeschikbaar fosfor was significant lager in 2017 dan in 2013 en significant lager in 2021 dan in 2017 (gemiddeld 85, 71 en 66 mg kg⁻¹ voor 2013, 2017 en 2021). De concentratie traagcirculerend fosfor was significant lager in 2021 dan in 2013 en 2017 (gemiddeld 293, 288 en 269 mg kg⁻¹). De afname in biobeschikbaar fosfor was groter op proefpercelen met een hogere concentratie biobeschikbaar fosfor in 2013 (Fig. 6a). Voor traagcirculerend fosfor was er geen verband tussen de initiële concentratie in 2013 en de verandering in concentratie tussen 2013 en 2021 (Fig. 6b). De verandering in fosforconcentratie tussen 2013 en 2021 werd niet beïnvloed door de teelt.

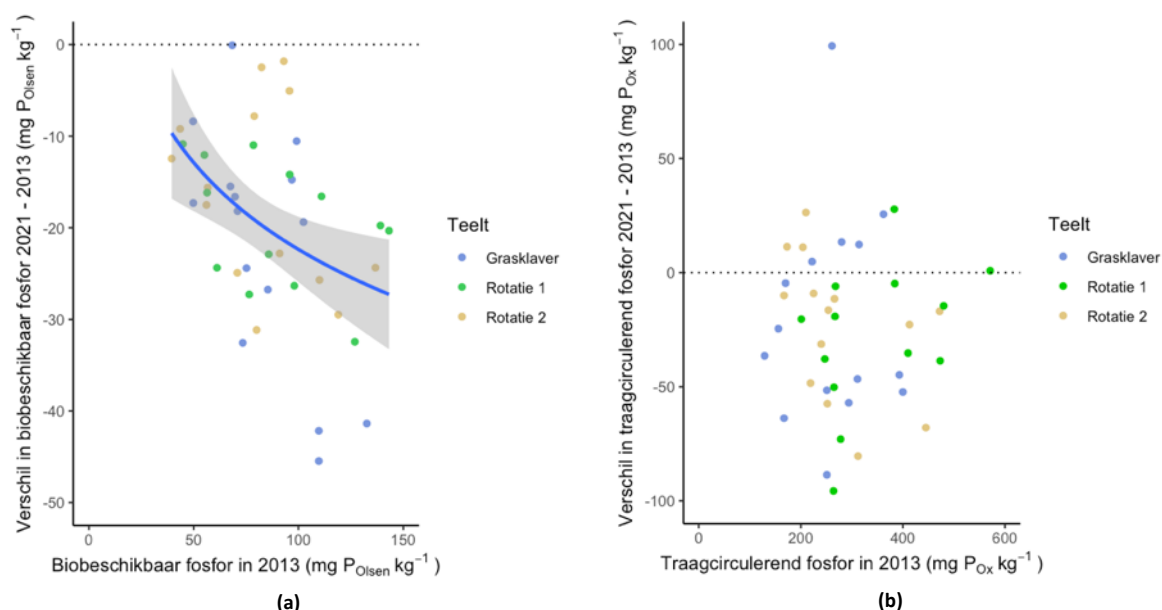
Tabel 3 Variantietabel van de modellen³ die het verband testen tussen enerzijds bodemfosforconcentratie en anderzijds jaar (2013, 2017 en 2021) en teelt (grasklaver, rotatie 1 en rotatie 2) voor de 42 meetpunten. De p-waarde toont of een factor de fosforconcentratie significant beïnvloedt (***, $p < 0.001$) of niet (NS). Het percentage variatie verklaard door het model wordt weergegeven door R^2_c , R^2_m toont het percentage variatie verklaard door de factoren.

	χ^2	df	p-waarde	R^2_m	R^2_c
Biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen})				10%	95%
Jaar	166.6	2	***		
Teelt	0.5	2	NS		
Jaar:Teelt	7.5	4	NS		
Traagcirculerend fosfor (P_{Ox})				13%	96%
Jaar	23.5	2	***		
Teelt	1.7	2	NS		
Jaar:Teelt	1.2	4	NS		

³ *linear mixed effects model* (functie *lme*) met de concentratie biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen}) of traagcirculerend fosfor (P_{Ox}) als afhankelijke variabele, met jaar en rotatie als *fixed effects* en meetpunt binnen proefperceel als geneste *random factor*:
 $\text{lme}(\text{fosforconcentratie}) \sim \text{jaar} * \text{teelt}, \text{random} = \sim 1 | \text{proefperceel/meetpunt}$



Figuur 5 Concentratie fosfor in de 0-30 cm bodemlaag in Veldproef 2 in 2013, 2017 en 2021 (n = 42) voor biobeschikbaar fosfor (a) en traagcyclerend fosfor (b). De *** geven aan dat er een significant effect was van jaar (p -waarde < 0.001, zie Tabel 3); de letters geven aan welke jaren significant van elkaar verschilden⁴. De rode stippellijn geeft de streefwaarde van 12 mg P_{Olsen} kg⁻¹ aan; de rode gestreepte lijn de streefwaarde van 20 mg P_{Olsen} kg⁻¹.



Figuur 6 Verandering in bodemfosforconcentratie tussen 2013 en 2021 in Veldproef 2 uitgezet ten opzichte van de initiële concentratie biobeschikbaar fosfor (a) en traagcyclerend fosfor (b) in de bodem in 2013 (n = 42). Een negatieve verandering in fosforconcentratie toont een daling van de concentratie tussen 2013 en 2021; een positieve verandering toont een stijging in de concentratie. De kleuren tonen de drie teeltrotaties, er was geen relatie met de gebruikte teelt. De blauwe lijn met standaardafwijking als grijze schaduw toont de significante relatie tussen de verandering in biobeschikbaar fosfor en de initiële concentratie biobeschikbaar fosfor.

⁴ least-squares means Post-hoc comparison met functie *lsmeans*

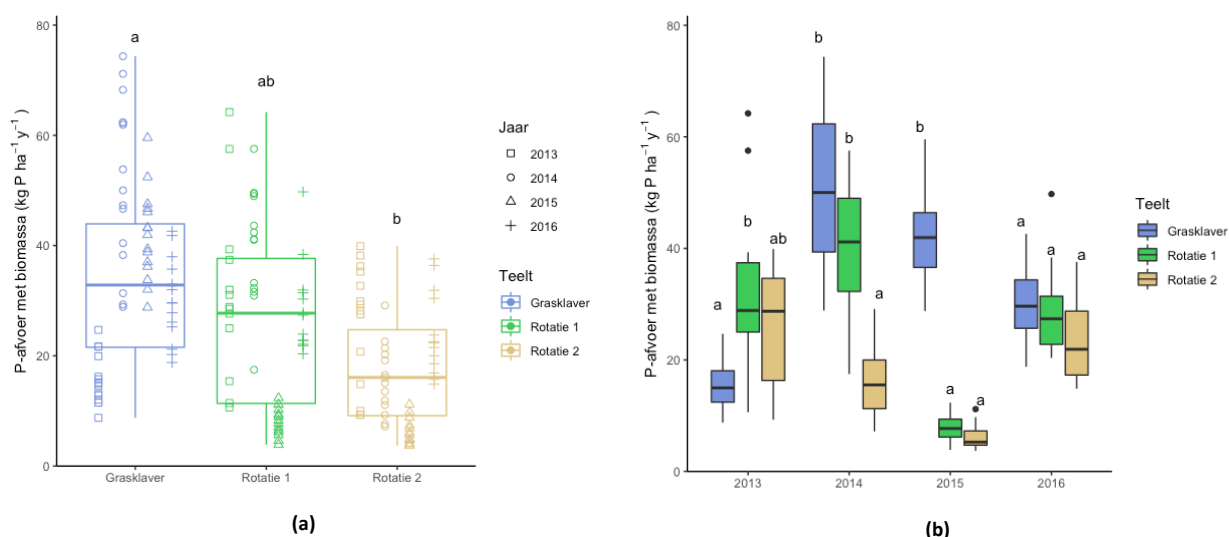
4.4 Fosforafvoer met verschillende teelten en gewassen

We volgden de fosforafvoer met de biomassa gedetailleerd op van 2013 tot en met 2016. Daarna werd er verder uitgemijnd met grasklaver maar werd de fosforafvoer niet meer opgevolgd. Over de periode 2013-2016 was de **jaarlijkse fosforafvoer afhankelijk van de teelt, het jaar (de weersomstandigheden) en de interactie tussen beide** (Tabel 4). De gemiddelde jaarlijkse fosforafvoer met grasklaver was even goed als of beter dan met rotaties 1 en 2 (Fig. 7a). In 2013 werd met grasklaver het minste fosfor afgevoerd (gem. 16 ± 5 kg P ha⁻¹; Fig. 7a); dit was het jaar van inzaaien wanneer het gewas nog niet goed gevestigd was in de zode en een lage biomassa en dus fosforafvoer had (Fig. 7b en 8). De **biomassa en fosforafvoer per snede grasklaver waren afhankelijk van de bedekking met klaver**, welke sterk verschilde doorheen de jaren en zelfs tussen de oogsttijdstippen binnen elk jaar (Fig. 9).

De fosforafvoer met grasklaver was in 2014, 2015 en 2016 even goed als of beter dan met rotaties 1 en 2 (Fig. 7b; fosforafvoer met grasklaver zonder 2013: gem. 41 ± 14 kg P ha⁻¹). In 2014 voerde grasklaver significant meer fosfor af dan rotatie 2 waar toen lupine geteeld werd; deze lupineteelt kon als mislukt worden beschouwd wegens vraat door ree. Er was in 2014 geen significant verschil op te merken tussen grasklaver en rotatie 1 waar toen boekweit geteeld werd. In 2015 werd veel meer fosfor afgevoerd met grasklaver dan bij de andere teelten waar toen triticale geteeld werd. Met de maïsteelten werd in 2013 en 2016 gemiddeld over de twee jaren 27 ± 11 kg P ha⁻¹ afgevoerd per jaar, wat in 2013 significant meer was dan met grasklaver die toen pas ingezaaid was. In 2016 was er geen significant verschil in fosforafvoer tussen de teelt met maïs en grasklaverteelt.

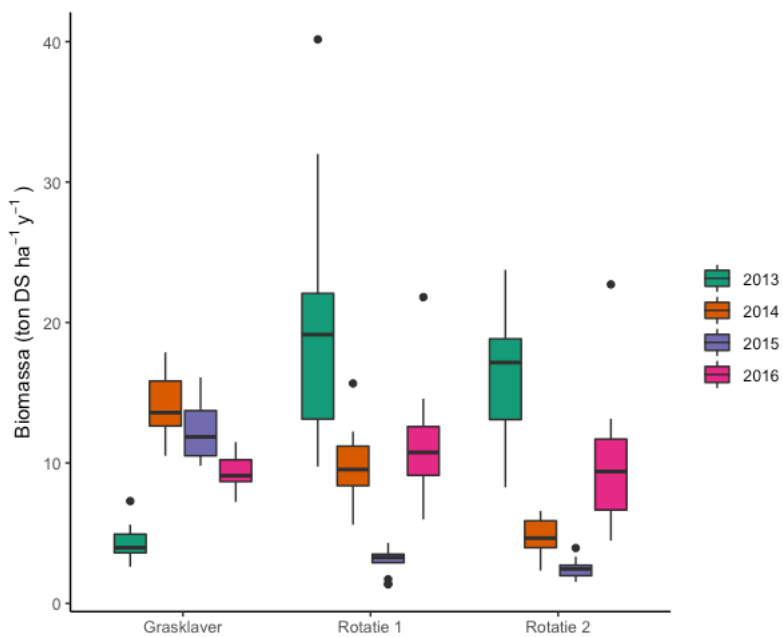
Tabel 4 Variantietabel van het model⁵ van de jaarlijkse fosforafvoer met de gewassen tussen 2013 en 2016 met de 42 meetpunten. Significante factoren worden aangegeven door: *** $p < 0.001$. Het percentage variatie verklaard door het model wordt weergegeven door R^2_c , R^2_m toont het percentage variatie verklaard door de factoren.

Model	χ^2	df	p-value	R^2_m	R^2_c
Jaarlijkse fosforafvoer				77%	81%
Jaar	188.0	3	***		
Teelt	35.1	2	***		
Jaar:Teelt	318.1	6	***		

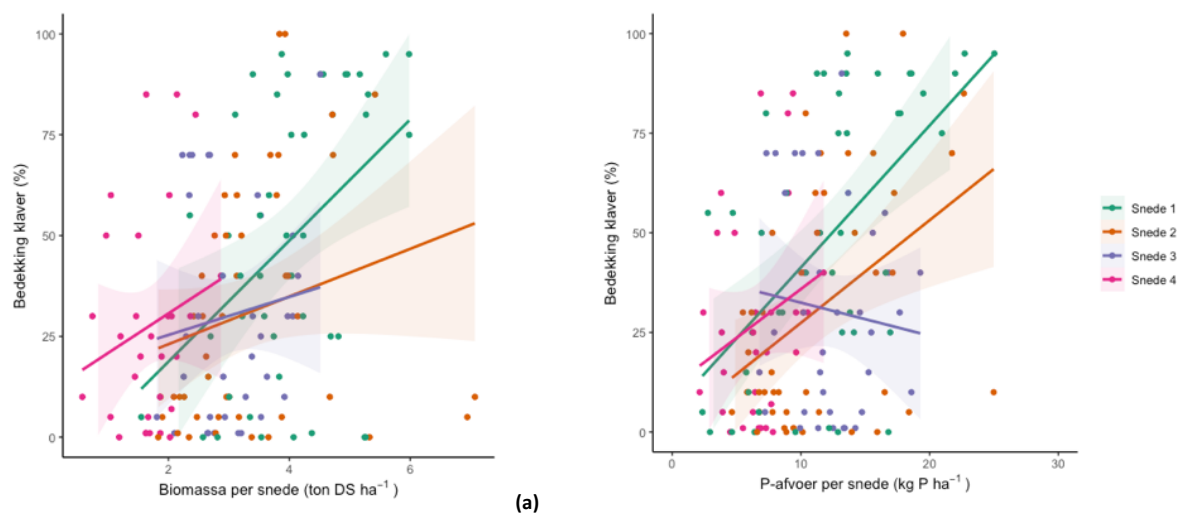


Figuur 7 Jaarlijkse fosforafvoer met biomassa in Veldproef 2 over de jaren heen (a) en ten opzichte van de vier jaren en de drie gebruikte teeltrotaties (b). Letters geven significante verschillen weer tussen de teelten binnen elk jaar.

⁵ linear mixed effects model (functie lme) met de jaarlijkse fosforafvoer met de gewassen als afhankelijke variabele, met jaar en rotatie als fixed effects en meetpunt binnen proefperceel als geneste random factor:
lme(fosforafvoer) ~ jaar * teelt, random = ~1|proefperceel/meetpunt



Figuur 8 Jaarlijkse geoogste droge biomassa (DS: droge stof) in Veldproef 2 voor de drie rotaties in 2013-2016.



Figuur 9 Biomassa (a) en fosforafvoer (b) per snede grasklaver in Veldproef 2 in relatie tot de bedekking met klaver voor de periode 2013-2016.

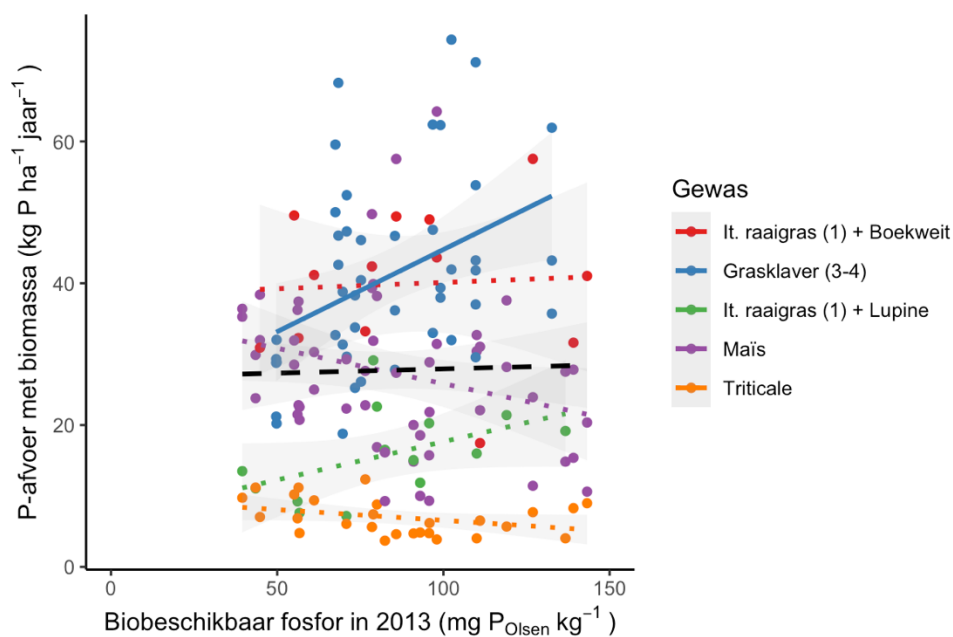
De jaarlijkse fosforafvoer in Veldproef 2 werd sterk beïnvloed door het geteelde gewas. In Tabel 5 en Fig. 10 tonen we de fosforafvoer gedetailleerd per gewas en in functie van de concentratie biobeschikbaar fosfor aan het begin van de veldproef. Gezien bij de gewassen boekweit en lupine een voordeel van Italiaans raaigras mogelijk was, werd deze fosforafvoer meegerekend voor deze teelten. **De gewassen boekweit, maïs en grasklaver voerden significant meer fosfor af dan de gewassen lupine en triticale.**

De concentratie biobeschikbare fosfor in de bodem aan het begin van Veldproef 2 had slechts een beperkte invloed op de jaarlijkse fosforafvoer. Enkel bij de teelt van grasklaver vonden we een positief significant effect van de initiële concentratie biobeschikbaar fosfor op de fosforafvoer met biomassa (blauwe lijn in Fig. 10). Bepaalde gewassen kunnen bij hoge concentraties biobeschikbaar fosfor aan luxeconsumptie doen en dus meer fosfor opnemen dan nodig voor de biomassaproduktie. **Grasklaver leek in Veldproef 2 aan luxeconsumptie van fosfor te doen** wat in het kader van uitmijnen voor natuurherstel gunstig is voor de uitmijnsnelheid. De fosforafvoer steeg meer met bodemfosfor dan de biomassaproduktie (Fig. 11).

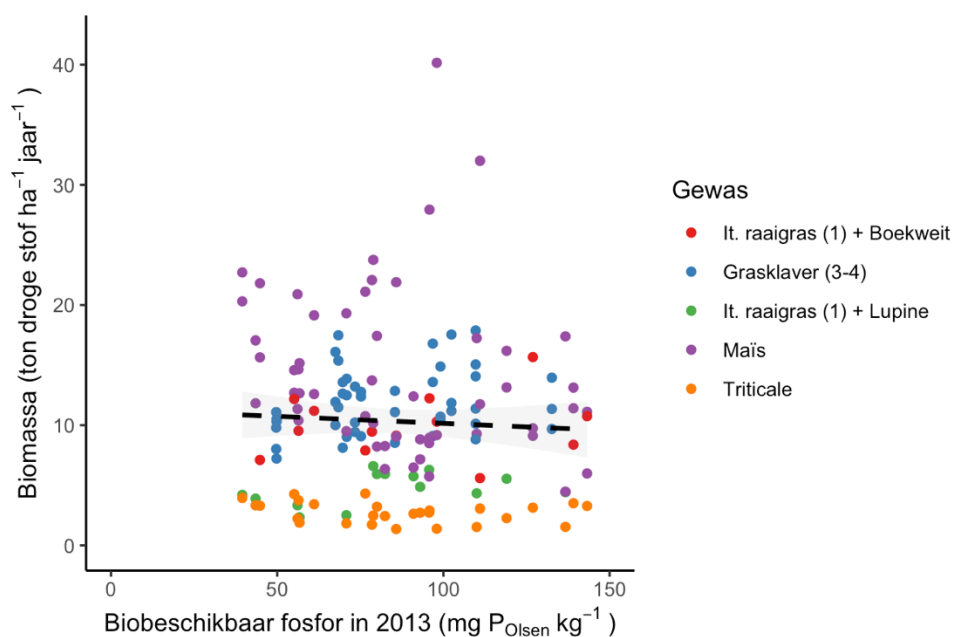
Tabel 5 Variantietabel van het model⁶ van de jaarlijkse fosforafvoer met de gewassen in Veldproef 2 met de 42 meetpunten. Significante factoren worden aangegeven door: *** $p < 0.001$ en * $p < 0.05$. Percentage verklaarde variatie door de fixed effects en door het volledige model worden weergegeven door R^2_m en R^2_c .

Model	χ^2	df	p-value	R^2_m	R^2_c
Jaarlijkse fosforafvoer				65%	98%
Gewas	70	4	***		
Start-P-Olsen	4.5	1	*		
Gewas: Start-P-Olsen	13	4	*		

⁶ linear mixed effects model (functie lme) met de jaarlijkse fosforafvoer met de gewassen als afhankelijke variabele, met jaar en rotatie als fixed effects en meetpunt binnen proefperceel als geneste random factor:
lme(vierkantswortel fosforafvoer) ~ gewas * Start-P-Olsen, random = ~1|proefperceel/meetpunt



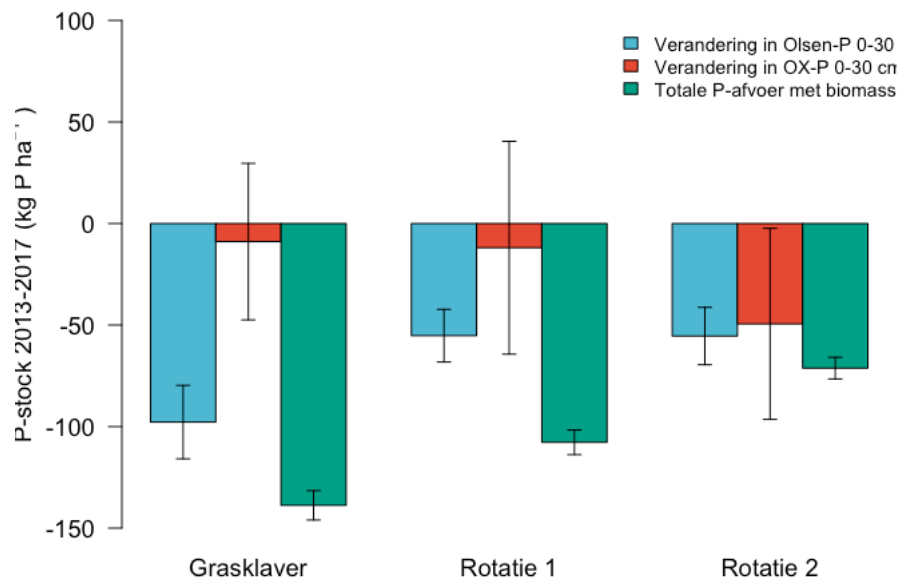
Figuur 10 Jaarlijkse fosforafvoer met de verschillende gewassen ten opzichte van de concentratie biobeschikbare fosfor in de bodem bij de start van Veldproef 2 in 2013. Voor Italiaans raaigras was er 1 snede, voor grasklaver 3-4 per jaar (zie Tabel 5). De volle lijn toont een significant verband tussen initiële bodemfosfor en fosforafvoer met biomassa; de stippellijnen geven niet-significante verbanden weer (kleur: per gewas, zwart: uitgemiddeld voor de verschillende gewassen).



Figuur 11 Jaarlijkse biomassa afvoer met de verschillende gewassen ten opzichte van de concentratie biobeschikbare fosfor in de bodem bij de start van Veldproef 2 in 2013. Voor Italiaans raaigras was er 1 snede, voor grasklaver 3-4 per jaar (zie Tabel 5). De zwarte stippellijn toont het significant negatieve verband tussen initiële bodemfosfor en de biomassa. Er was geen verschil in deze relatie tussen de gewassen.

4.5 Balans bodemfosfor en fosforafvoer met gewassen

Tussen 2013 en 2017 werd in Veldproef 2 gemiddeld 103 kg P ha⁻¹ afgevoerd met de biomassa, daalde de hoeveelheid biobeschikbare fosfor gemiddeld met 67 kg P ha⁻¹ en bleef de hoeveelheid traagcirculerende fosfor gemiddeld gezien stabiel (Fig. 13). De veranderingen in de traagcirculerende fosforstock waren significant kleiner dan de veranderingen in de biobeschikbare fosforstock en de cumulatieve fosforafvoer met de biomassa. Er was geen significant verschil in totale afvoer of verandering in fosforstock tussen de drie teelten.



Figuur 13 Gemiddelde verandering tussen 2013 en 2017 in de hoeveelheid fosfor in de bodem in Veldproef 2 (kg P ha⁻¹), voor biobeschikbaar fosfor (blauw) en traagcirculerend fosfor (rood), in vergelijking met de totale hoeveelheid fosfor afgevoerd met biomassa tussen 2013 en 2017 (groen). De foutenvlaggen geven de standaardafwijking op het gemiddelde weer. Een negatieve waarde voor biobeschikbaar en traagcirculerend fosfor betekent dat de concentratie in 2017 lager lag dan in 2013.

4.6 Waarde van het gewas bij uitmijnen

Zolang de productiviteit en de voederkwaliteit niet in het gedrang komen, kan uitmijnen voedergewassen opleveren die waardevol zijn als voedergewas. Wanneer het maaisel inzetbaar is als veevoer, kan uitmijnen licht winstgevend zijn (Postma et al., 2015). Het is echter goed mogelijk dat de kosten/batenbalans na enkele jaren omslaat naar een verlies omwille van lagere productiviteit en voederkwaliteit. Er is maar weinig inzicht in de kosten/baten van uitmijnen langsheen een volledig verschralingstraject. In het Pilotproject 'Uitmijning Oude Willem' waar voor vier jaar op 300 ha uitmijnen uitgetest werd met grasklaver en productiegewas werd duidelijk dat de meststofkost, en dan in het bijzonder de prijs van kalimestoffen, een zware last last (50%) was op de kosten/batenbalans (Postma et al., 2019). Voor de kosten/batenbalans van uitmijnen met akkergewassen zijn er geen veldgegevens beschikbaar uit andere studies.

De twee gewassen met de grootste waarde voor de landbouwer waren grasklaver en mais omwille van de redelijk hoge productiviteit en de goede inpasbaarheid in het bedrijf als voedergewas voor vleesvee. De productiviteit in de meetpunten varieerde echter wel in Veldproef 2 bij grasklaver van erg laag (4 ± 1 ton droge biomassa ha^{-1} in 2013, het jaar van inzaaien) tot erg hoog (14 ± 1 ton droge biomassa ha^{-1} in 2014; Figuur 8). En bij maïs varieerde de productiviteit in de meetpunten van erg hoog (18 ± 7 ton droge biomassa ha^{-1}) in 2013 tot eerder laag (11 ± 4 ton droge biomassa ha^{-1}) in 2016. De laagste opbrengsten in deze veldproef leiden waarschijnlijk tot een negatief kostenplaatje van uitmijnen. Boekweit en lupine zijn minder courante gewassen die tevens niet eenvoudig in te passen zijn in een modern landbouwbedrijf. Uitmijnen met lupine was helemaal geen succesverhaal gezien het kwasi volledig werd afgegeten door ree. In tegenstelling tot lupine voerden we met boekweit bijzonder veel fosfor af in de meetpunten (zie Figuur 10). Echter, een week later na de staalname in de meetpunten, werd door een storm het gewas grotendeels platgeblazen ('legeren', ombuigen bij stevige wind). Het gewas was daardoor moeilijk te oogsten en werd zelfs niet meer bruikbaar bevonden door contaminatie met bodem. Het gewas werd toen gecomposteerd wegens onbruikbaar als voedergewas. Beide teelten waren dus duidelijk verlieslatend.

De voederkwaliteit van voedergewassen wordt bepaald door vele karakteristieken. In Veldproef 2 werden slechts enkele stalen uit de grasklaver en maïsruil bij wijze van steekproef geanalyseerd (eiwitgehalte, VEM...; data niet getoond). Er werden toen geen problemen vastgesteld voor gebruik als voer voor vleesrunderen. Meer gedetailleerd is er wel data beschikbaar over het totale stikstofgehalte van grasklaver (in 2013, 2014 en 2016). Met de internationale eiwitfactor van 6,25 kan daaruit een inschatting gemaakt worden van het ruw eiwitgehalte. Bij grasklaver gaf deze berekende ruwe eiwitwaarde aan dat het gewas geschikt was als hoogkwalitatief veevoer (de gemiddelden schommelden tussen 14% en 22% ruw eiwit). Verder mag voor toepassing als hoogwaardig voedergewas voor melkrunderen, gras(klaver) niet minder dan 3 g P kg^{-1} droge biomassa bevatten volgens Valk et al. (1999) en zeker niet minder dan 2.8 g P kg^{-1} droge biomassa volgens Puggaard et al. (2014). Aan deze voorwaarden was in Veldproef 2 bijna altijd voldaan behalve in enkele meetpunten in de eerste en tweede snede van 2015 en in de eerste snede van 2016. In de loop van het verschralingstraject, met dalende biobeschikbare fosforconcentratie in de bodem, zal de fosforconcentratie van het gewas wel lager worden dan 3 g P kg^{-1} . In Veldproef 1 krijgen we een betere kijk op het hele verschralingstraject omwille van de proefopzet. In het P-rijkste perceel ($112 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$) waren de fosforconcentraties van het gras hoger dan 2.8 g P kg^{-1} . Echter, in het perceel met $71 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ bevatte het uitmijn-gras tussen 2.0 en 2.8 g P kg^{-1} en in het fosforarmste perceel ($29 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$) bevatte het uitmijn-gras zelfs minder dan 2.0 g P kg^{-1} (Schelfhout et al., 2019). Voor melkvee zou dit gewas niet meer geschikt zijn. Echter, voor vleesvee of droogstaande koeien zijn de vereisten lager en kan dit hooi, althans voor een fractie van het rantsoen, vermoedelijk wel gebruikt worden, zie Bruinenberg et al. (2016).

5 Evaluatie uitmijntermijnen Liereman Veldproef 2

Uitmijnen van fosfor in het kader van natuurherstel is nog steeds een experimentele techniek met onzekerheden over het verloop van fosforverschraling op de lange termijn en bijgevolg ook over de tijdsduur van verschraling. We benadrukken dat de ingeschatte uitmijntermijnen met de nodige voorzichtigheid moeten geïnterpreteerd worden. Naast variabiliteit in fosforafvoer met het gewas door bv. extreme weersomstandigheden (cf. foutenvlaggen in Fig. 2) kunnen niet-accurate veronderstellingen in de modellen leiden tot afwijkingen. Daarom is het interessant om de termijninschattingen tussentijds te valideren in het veld. Dit doen we voor Veldproef 2 in Hoofdstuk 5.3. We schatten de uitmijntermijnen in voor de proefpercelen van Veldproef 2 en vergelijken we de uitkomsten van deze simulaties met de inschattingen uit 2012 uitgevoerd in het expertenadvies Pals et al. (2013).

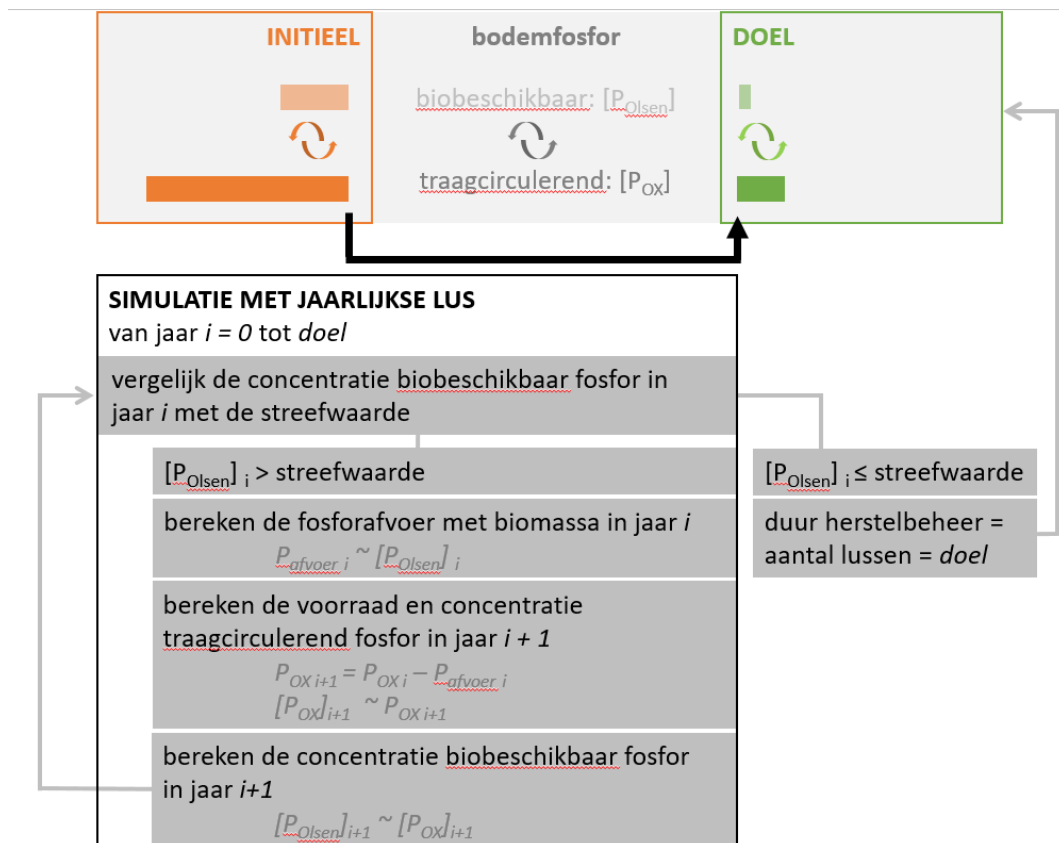
5.1 Werkwijze inschatten uitmijntermijn

Onze methode voor het inschatten van de tijdsduur nodig voor het herstellen van lage concentraties biobeschikbare fosfor omvat de afstand bepalen tot de doel-fosforconcentratie en een simulatie van de jaarlijkse fosforafvoer met het gewas tot wanneer de doel-fosforconcentratie bereikt wordt.

De afstand tot de doel-fosforconcentratie wordt beïnvloed door de initiële concentraties biobeschikbaar en traagcyclerend fosfor en het natuurdoel met de daaraan verbonden streefwaarden voor biobeschikbaar en traagcyclerend bodemfosfor. We hanteren streefwaarden voor twee subtypes van heischrale graslanden (zie Hoofdstuk 2):

- droog heischraal grasland: $< 12 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$
- soortenrijk struisgrasland: $< 20 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$

Voor het verlagen van de concentratie biobeschikbaar fosfor moet ook de voorraad traagcyclerend fosfor, die de hoeveelheid biobeschikbaar fosfor aanvult, verkleind worden. In onze berekeningswijze simuleren we de jaarlijkse afname in traagcyclerend fosfor als de hoeveelheid fosfor die afgevoerd wordt met het gewas (methode uitgewerkt tijdens het doctoraat van Schelfhout (2019) en beschreven in Goossens et al. 2021; schema in Fig. 14). De jaarlijkse fosforafvoer met het gewas wordt bepaald door de gewaskeuze en bemestingsintensiteit, maar ook door de concentratie biobeschikbaar fosfor in de bodem. Een daling in de concentratie biobeschikbaar fosfor over de jaren heen veroorzaakt een daling van de jaarlijkse fosforafvoer en dus een vertraagde verschraling. Hiermee dient rekening gehouden te worden in de inschatting van de uitmijntermijn. De potentiële jaarlijkse fosforafvoer wordt best gemeten op percelen met gelijkaardige bodemcondities als de percelen waarvoor uitmijninschattingen gemaakt worden. De effectieve jaarlijkse afvoer in een gesimuleerd jaar kan afwijken van deze gemeten afvoer omwille van mislukte teelten, bv. bij een droog groeiseizoen kan de opbrengst en ook de fosforafvoer van het gewas lager liggen. Om deze variabiliteit in opbrengst en afvoer mee te nemen in de inschattingen van de uitmijntermijn zijn meerjarige veldproeven, zoals de twee veldproeven in Landschap De Liereman, noodzakelijk.



Figuur 14 Schematische voorstelling van de simulatie van de uitmijntermijn om een bepaalde streefwaarde te bereiken, zoals beschreven in Goossens et al. (2021). Vierkante haken verwijzen naar de concentratie van biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen}) of traagcyclerend fosfor (P_{OX}); een voorraad of hoeveelheid fosfor wordt weergegeven zonder vierkante haken.

5.2 Combinatie inzichten Veldproef 1 en Veldproef 2

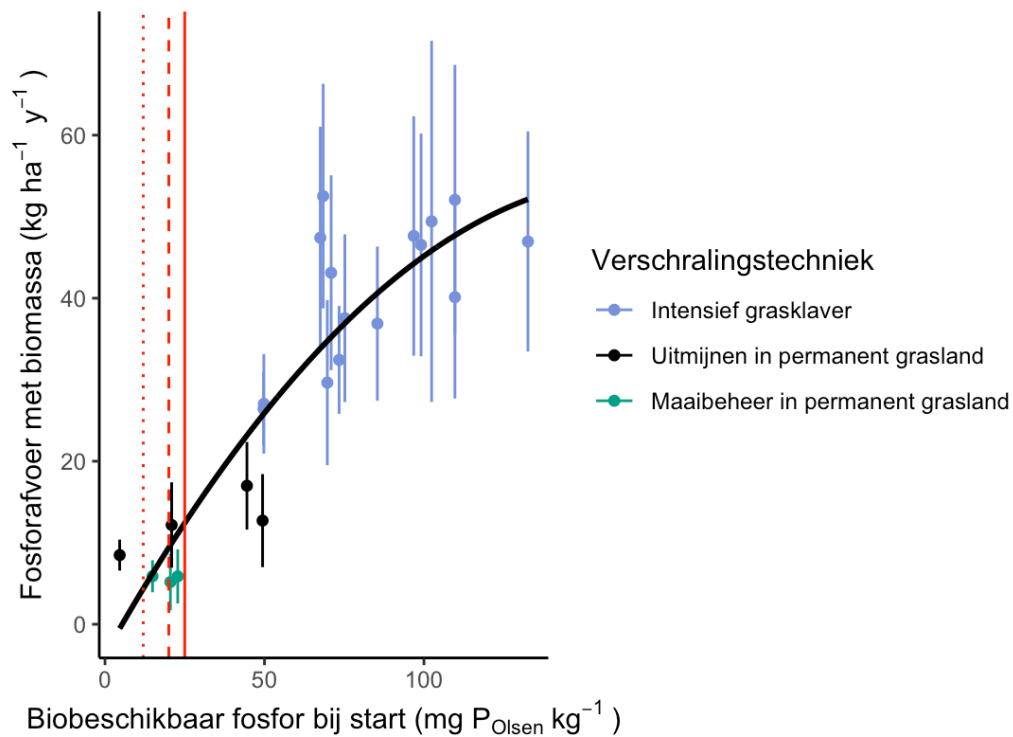
De jaarlijkse fosforafvoer met het gewas was hoger in Veldproef 2 met grasklaverteelt dan met het uitmijnen met de permanente graslandvegetatie in Veldproef 1. Dit zou kunnen resulteren in kortere uitmijntermijnen. Echter, het is van belang om rekening te houden met die tragere afvoer bij het inschatten van de tijdsduur nodig voor verschraling. In Veldproef 1 was de fosforafvoer hoger bij een hogere concentratie biobeschikbare fosfor in de bodem; in Veldproef 2 was er geen verband tussen fosforafvoer en bodemfosfor. Dit was geen verrassing gezien de proefpercelen in Veldproef 2 'zeer fosforrijk' waren ($53\text{--}153 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$) en er in Veldproef 1 ook 'fosforarme' percelen waren ($27 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$). De bodemfosforconcentraties in Veldproef 2 lagen ruim boven de concentratie waarbij fosfor limiterend wordt voor een gewas. Omdat de afvoer van fosfor met maaisel trager gaat als de bodem schraler wordt hebben we voor het inschatten van de uitmijntermijn voor verschraling tot fosforgelimiteerde omstandigheden ook gegevens nodig over fosforafvoer bij die lagere fosforconcentraties ($< 50 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$). Deze gegevens hebben we dankzij Veldproef 1 waaruit bleek dat het voordeel van uitmijnen over maaibeheer verviel wanneer de concentratie biobeschikbaar fosfor lager was dan $25 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$. Bij concentraties lager dan $25 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ wordt de plantengroei ook door fosfor gelimiteerd en wordt er een gelijke fosforafvoer verwacht via uitmijnen en maaibeheer.

Voor de inschattingen van de uitmijntermijn in dit rapport combineerden we daarom de fosforafvoergegevens van Veldproeven 1 en 2 (Fig. 15):

- ⇒ $> 50 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$: gegevens fosforafvoer grasklaver Veldproef 2
- ⇒ $50 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1} > \text{bodem} > 25 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$: gegevens uitmijnen met bestaande graslandvegetatie Veldproef 1
- ⇒ $< 25 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$: gegevens maaibeheer en uitmijnen met bestaande graslandvegetatie Veldproef 1

Voor Veldproef 2 gebruikten we de meetgegevens van 2014-2016 (zonder 2013, het jaar van inzaaien), voor Veldproef 1 de meetgegevens van 2012-2016 (zonder 2011, het jaar van inzaaien).

Deze nieuwe relatie tussen de fosforafvoer en de biobeschikbare fosforconcentratie wordt weergegeven in Fig. 15 en wordt verder gebruikt voor de inschattingen van de uitmijnduur als VE1+2. Vermoedelijk leidt VE1+2 tot meer optimistische tijdsinschattingen gezien er gerekend wordt met een hogere fosforafvoer bij fosforrijkere bodems dan bij de oude relatie VE1 (max. 25 kg ha^{-1} fosforafvoer per jaar). Echter, in drogere jaren (zoals in 2018, 2019 en 2020) zou de nieuwe relatie een significante overschatting kunnen maken van de effectieve fosforafvoer.



Figuur 15 De nieuwe relatie tussen de fosforafvoer en de biobeschikbare fosforconcentratie op basis van een combinatie van de inzichten van Veldproef 1 en Veldproef 2 staat aangegeven met de dikke zwarte lijn. De jaarlijkse fosforafvoer met biomassa voor grasklaver (blauw) in Veldproef 2, uitmijnen in een permanente graslandvegetatie (zwart) in Veldproef 1 en maaibeheer in een permanente graslandvegetatie (groen) in Veldproef 1 ten opzichte van de initiële concentratie biobeschikbaar fosfor. Bij grasklaver waren er 3-4 snedes per jaar, bij maai- en uitmijnen 2-3 snedes. De foutenvlaggen geven de variabiliteit doorheen de jaren aan (2012-2016 voor Veldproef 1, 2014-2016 voor Veldproef 2). De rode stippellijn toont de streefwaarde voor droog heischraal grasland (12 mg P_{Olsen} kg⁻¹), de rode streepjeslijn de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland (20 mg P_{Olsen} kg⁻¹). De rode volle lijn geeft 25 mg P_{Olsen} kg⁻¹ aan, het moment waarop best wordt overgeschakeld van uitmijnen naar verschralend maaibeheer.

5.3 Uitmijntermijn in de percelen van Veldproef 2

Voor de zes percelen uit veldproef 2 valideren we de inschattingen van de uitmijntermijn met veldgegevens. De uitmijntermijn in dit hoofdstuk werd ingeschat op drie verschillende manieren:

1. met toepassing van het model voor fosforafvoer uit Veldproef 1 (**VE1**; zie model voor fosforafvoer in Fig. 2)
2. met toepassing van het model voor fosforafvoer met een combinatie van Veldproeven 1 + 2 (**VE1+2**; model voor fosforafvoer in Fig. 15)
3. de termijnen ingeschat in het expertenadvies van Pals et al. (2013) (**EA**)

Om vergelijking mogelijk te maken met het expertenadvies van Pals et al. (2013) worden in deze sectie proefpercelen L067_M1 en L067_M2 samengevoegd tot L067, L084_M1 en L084_M2 tot L084 en L100_M1 en L100_M2 tot L100.

De ingeschatte uitmijntermijn voor het bereiken van de streefwaarde voor droog heischraal grasland in de 0-20 cm bodemlaag lag tussen 30 en 77 jaar voor de bodemmetingen uit 2013 (Tabel 6). De biobeschikbare en traagcirculerende fosforconcentraties waren significant lager in 2021 dan in 2013 (zie Hoofdstuk 4.3). Dit vertaalt zich ook in kortere uitmijntermijnen in 2021 (tussen 22 en 70 jaar voor de metingen uit 2021). De resterende uitmijntermijn blijft echter nog zeer lang volgens de inschatting via het model voor fosforafvoer VE1 (gem. 29-71 jaar) en volgens het model voor fosforafvoer VE1+2 (gem. 22-46 jaar).

In drie percelen was de daling in de concentratie biobeschikbaar fosfor in de bodem in overeenstemming met de geschatte uitmijntermijn op basis van de concentraties in 2013. In de andere drie percelen werd de uitmijntermijn onderschat op basis van de gegevens uit 2013; de berekende uitmijntermijn veranderde niet ondanks 8 jaar gevoerd uitmijnbeheer. Het model voor fosforafvoer VE1+2 gaf een meer optimistisch beeld met kortere uitmijntermijnen, maar de streefwaarde voor droog heischraal grasland blijft zelfs dan nog veraf. We benadrukken dat deze optimistische methode een overschatting geeft van de fosforafvoer bij droge jaren waarbij een verminderde gewasopbrengst een lagere fosforafvoer veroorzaakt.

Wanneer we onze inschattingen op basis van gegevens uit de twee meerjarige veldproeven in Landschap de Liereman vergelijken met de uitmijntermijnen volgens het expertenadvies van Pals et al. (2013), merken we dat deze laatste inschattingen te optimistisch waren. Het is bij het inschatten van de uitmijntermijn van belang om modellen te gebruiken die zo nauw mogelijk aansluiten bij de op het terrein heersende situatie en om rekening te houden met de dalende fosforafvoer bij dalende biobeschikbare fosforconcentraties.

Het uitmijnen tot de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland duurt volgens de inschattingen gemiddeld 10 tot 62 jaar (Tabel 6). De resterende uitmijnduur van percelen L067, L068 in 2021 tot dit minder strenge fosfordoel is 10 tot 22 jaar als we rekenen met de nieuwe methode. Bij de andere percelen blijft een lange tijdsduur nodig van meer dan 25 jaar uitmijnen.

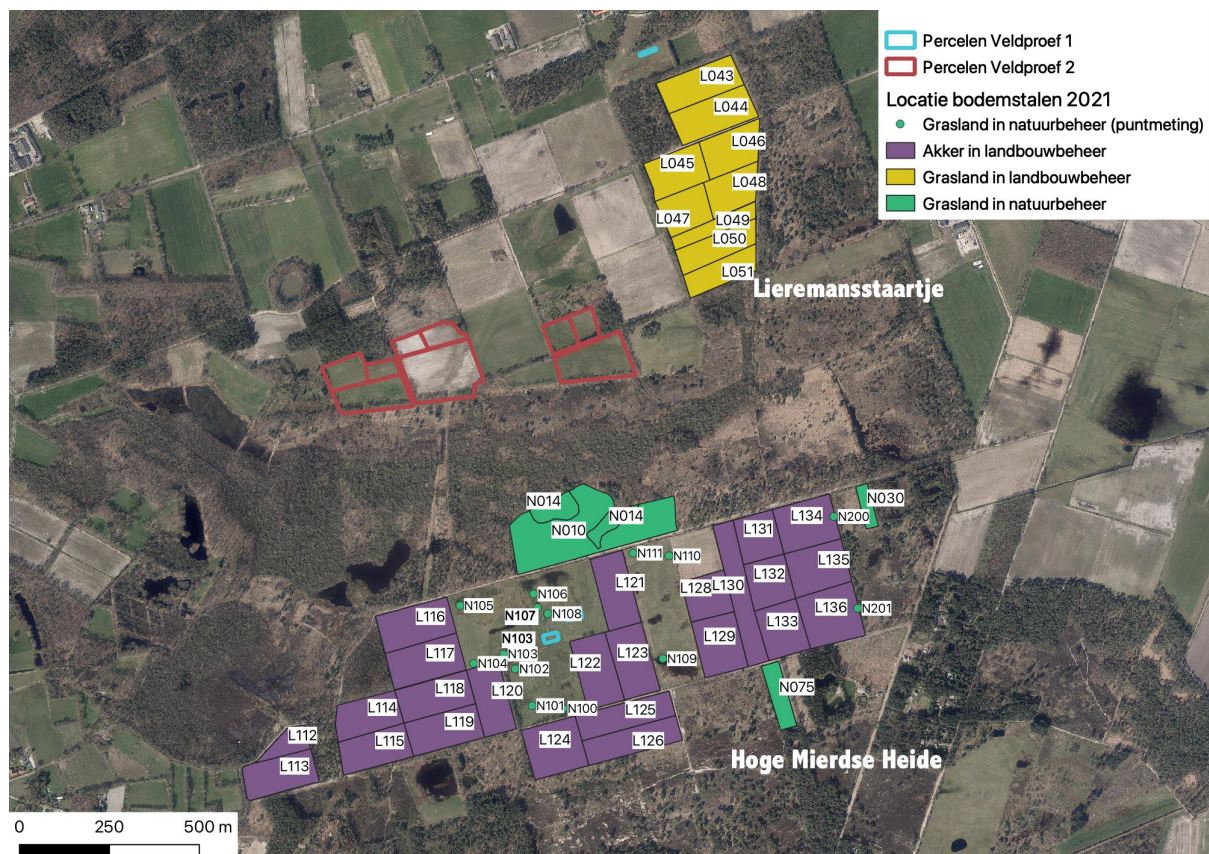
Tabel 6 Concentratie biobeschikbaar fosfor in de bodem in 2013 en 2021 en inschatting vershralingstermijnen voor 0-20 cm bodemdpte in de zes percelen van Veldproef 2 (gemiddelde met standaardafwijking tussen haakjes). De vershralingstermijn werd gesimuleerd via het model voor fosforafvoer uit Veldproef 1 (VE1) en via het model voor fosforafvoer met een combinatie van de inzichten van Veldproeven 1 + 2 (VE1+2) tot de streefwaarde voor droge heischrale graslanden (12 mg P_{Olsen} kg⁻¹) en soortenrijk struisgrasland (20 mg P_{Olsen} kg⁻¹). In kolom 'EA' staan de termijnen weergegeven uit het expertenadvies van Pals et al. (2013) op basis van bodemstalen uit 2012. In Pals et al. (2013) werd de streefwaarde 7-10 mg P_{AL} kg⁻¹ gehanteerd wat overeenkomt met de streefwaarde voor droog heischraal grasland van 12 mg P_{Olsen} kg⁻¹ en er werd voor twee percelen geen uitmijntermijn aangegeven wegens te lange tijdsduur.

Perceel	P _{Olsen} 0-20 cm (mg kg ⁻¹)		Vershralingstermijn via uitmijnen (jaar)								
			tot 12 mg P _{Olsen} kg ⁻¹					tot 20 mg P _{Olsen} kg ⁻¹			
	2013	2021	vanaf 2013			vanaf 2021		vanaf 2013		vanaf 2021	
			EA	VE1	VE1+2	VE1	VE1+2	VE1	VE1+2	VE1	VE1+2
L067	56 (12)	39 (7)	28	54 (7)	38 (4)	48 (6)	35 (3)	39 (7)	25 (4)	33 (6)	22 (3)
L068	64 (13)	44 (8)	25	41 (10)	30 (6)	29 (10)	22 (7)	25 (10)	17 (6)	14 (10)	10 (7)
L083	114 (7)	97 (13)	29	70 (10)	45 (5)	70 (9)	45 (5)	55 (10)	33 (5)	55 (9)	32 (5)
L084	93 (16)	71 (11)	24	75 (7)	47 (3)	71 (8)	46 (4)	60 (7)	35 (3)	56 (8)	33 (3)
L100	100 (19)	79 (18)	-	77 (15)	48 (7)	70 (18)	45 (9)	62 (14)	36 (7)	55 (18)	33 (9)
L101	96 (27)	70 (19)	-	58 (5)	40 (2)	58 (12)	40 (6)	43 (5)	27 (3)	43 (12)	27 (6)

6 Actuele bodemtoestand en herstelpotentie van percelen Hoge Mierdse Heide en het Lieremansstaartje

6.1 Karakterisatie van de bodem

In het voorjaar van 2021 werden door de Bodemkundige Dienst van België 50 percelen of meetpunten bemonsterd op de Hoge Mierdse Heide, centraal in het gebied, en in het Lieremansstaartje, ten noorden in het gebied (Fig. 16; data gerapporteerd in bijlage van Bries & Dillen 2021). De Hoge Mierdse Heide omvat akkers in landbouwbeheer en graslanden in natuurbeheer waar sinds enige tijd de bemesting werd stopgezet. De percelen van het Lieremansstaartje zijn graslanden in landbouwbeheer (met bemesting). Bij de 24 akkers en 9 graslanden in landbouwbeheer werd de 0-30 cm bodemlaag als één geheel bemonsterd gezien deze laag vermoedelijk homogeen is door kerende bodembewerkingen. Bijkomend werden ook de diepere bodemlagen (30-40 cm, 40-55 cm, 55-70 cm en 70-85 cm) bemonsterd van deze percelen. De bodem van de 17 meetpunten op graslanden in natuurbeheer werd per 10 cm bemonsterd: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm.

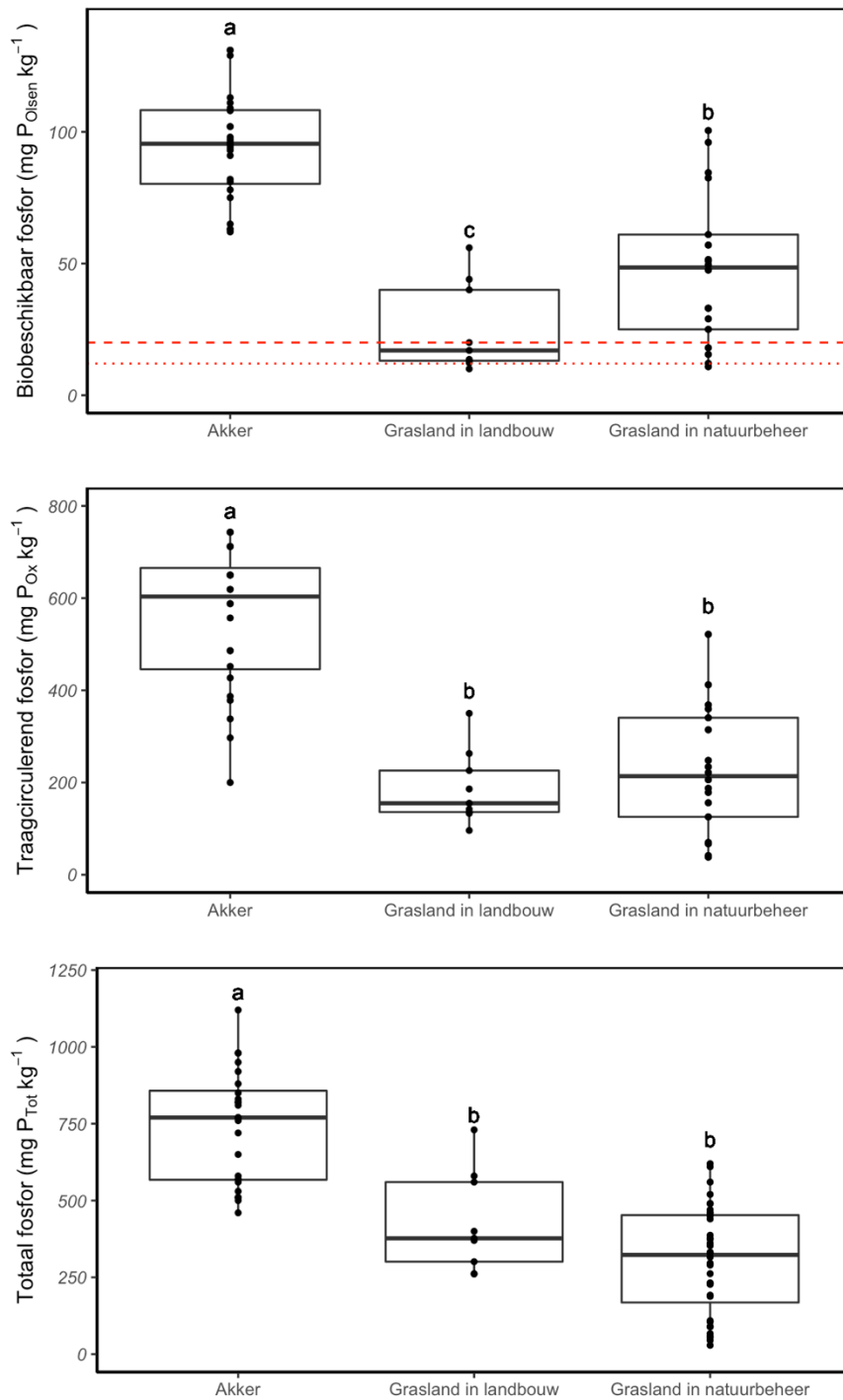


Figuur 16 Aanduiding van de bemonsterde percelen en meetpunten op kaart met codes: zuidelijke zone “Hoge Mierdse Heide” en noordelijke zone “Lieremansstaartje”. Percelen in het paars zijn akkers in landbouwgebruik, percelen in het geel zijn graslanden in landbouwgebruik en percelen in het groen zijn graslanden in natuurbeheer. Per bodemdiepte werd 1 mengstaal per perceel bemonsterd. Punten in het groen zijn graslanden in natuurbeheer bemonsterd volgens puntmetingen (zie Bries & Dillen, 2021). De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).

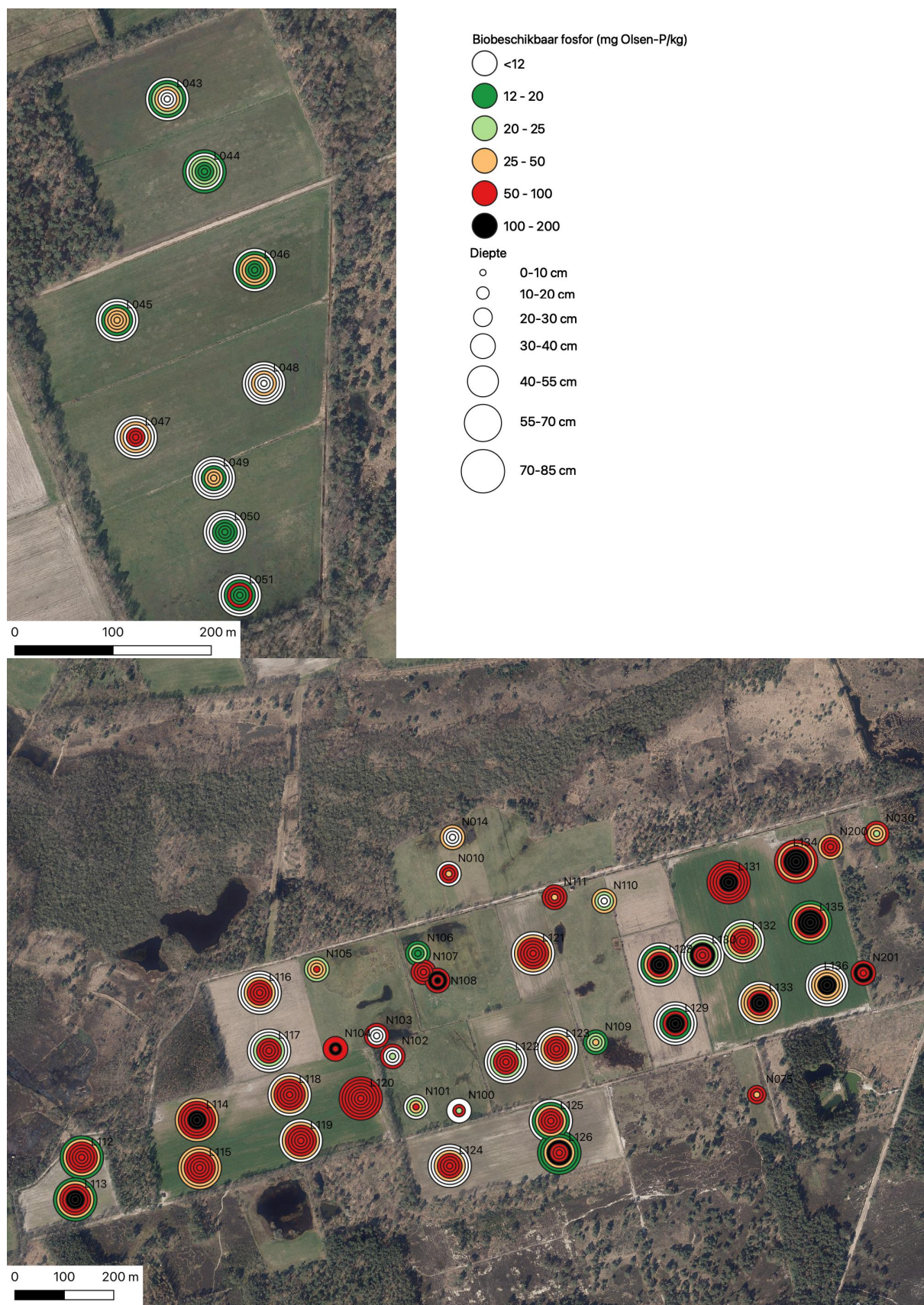
De concentraties biobeschikbaar, traagcyclerend en totaal fosfor waren in de akkers significant hoger dan in de graslanden, ongeacht of deze graslanden nog in landbouwgebruik waren (Fig. 17). De graslanden in natuurbeheer toonden een grote spreiding in de fosforconcentraties. Bij een deel van deze fosforarme graslanden in natuurbeheer werd in het verleden de toplaag verwijderd via afgraven (bv. N103 en N106, Fig. 18). Dit was echter niet altijd even succesvol, bv. meetpunt N105 waar net niet diep genoeg afgegraven werd. De andere graslanden in natuurbeheer met lage fosforconcentraties die niet werden afgegraven, werden in het verleden waarschijnlijk minder intensief bemest dan de graslanden met hoge concentraties. De fosforarme en matig fosforrijke graslanden hebben vermoedelijk de meeste potentie voor botanische doelen. De hogere fosforconcentraties in de bodems van graslanden met verschrallingsbeheer zijn typisch voor percelen met een intensief landbouwverleden. Ook in andere studies zagen we dat het stopzetten van de bemesting en overgaan op maaib- of begrazingsbeheer niet zomaar resulteert in fosforarme bodemcondities, ondanks jarenlange verschralling (Schelfhout et al. 2017; Wasof et al. 2019).

De negen graslanden van het “Lieremansstaartje” (L043-L051) zitten in landbouwbeheer en worden nog steeds bemest (persoonlijke mededeling Dirk Geysels). De bemestingsregimes van deze graslanden zijn vermoedelijk lager dan bij de akkers van de Hoge Mierdse Heide gezien de biobeschikbare, traagcyclerende en totale fosforconcentraties significant lager waren dan in de akkers. Het is opmerkelijk dat een deel van deze graslanden erg lage biobeschikbare fosforconcentraties hebben (5 percelen met $< 20 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$; Fig. 17 en 18), ondanks de redelijk hoge totale fosforconcentraties (gemiddeld $329 \text{ mg P}_{\text{tot}} \text{ kg}^{-1}$; Fig. 17). De bodemomstandigheden van de negen graslanden van het Lieremansstaartje verschillen van de bodemomstandigheden in De Hoge Mierdse Heide. Volgens de bodemkaart hebben deze bodems nattere drainagetypes (e.g: “nat” tot “uiterst nat”) dan de percelen van de Hoge Mierdse Heide (d-f: “matig nat” tot “zeer nat”). Verder hebben de graslanden uit het Lieremansstaartje marginaal significant hogere totale organische koolstofgehaltes dan de akkers (gemiddeld 1.3% in de akkers van de Hoge Mierdse Heide vs. 1.8% in de graslanden van het Lieremansstaartje; Fig. 19). Verder hebben ze significant hogere totale ijzerconcentraties dan de akkers en de graslanden in natuurbeheer (Fig. 20 en 21). Vermoedelijk zijn deze bodems onderhevig aan ijzerrijke kwel, wat zorgt voor een sterke fixatie van fosfor. We hebben geen inzicht in de frequentie van kerende bodembewerkingen op deze percelen. Het is mogelijk dat deze percelen maar weinig of niet geploegd worden en dat de staalname aanpak (1 mengstaal van de 0-30 cm bodemlaag) niet adequaat was. Dergelijke ijzerrijke bodems kunnen de bemestte hoeveelheid fosfor fixeren in de bovenste bodemlaag, wat leidt tot een fosforrijke 0-10 cm bodemlaag. De daaronder liggende bodemlagen, 10-30 cm, kunnen bijgevolg erg fosfor-arm zijn. Zonder bijkomende bodemstalen die per 10 cm apart geanalyseerd worden, kan dit niet met zekerheid worden gezegd.

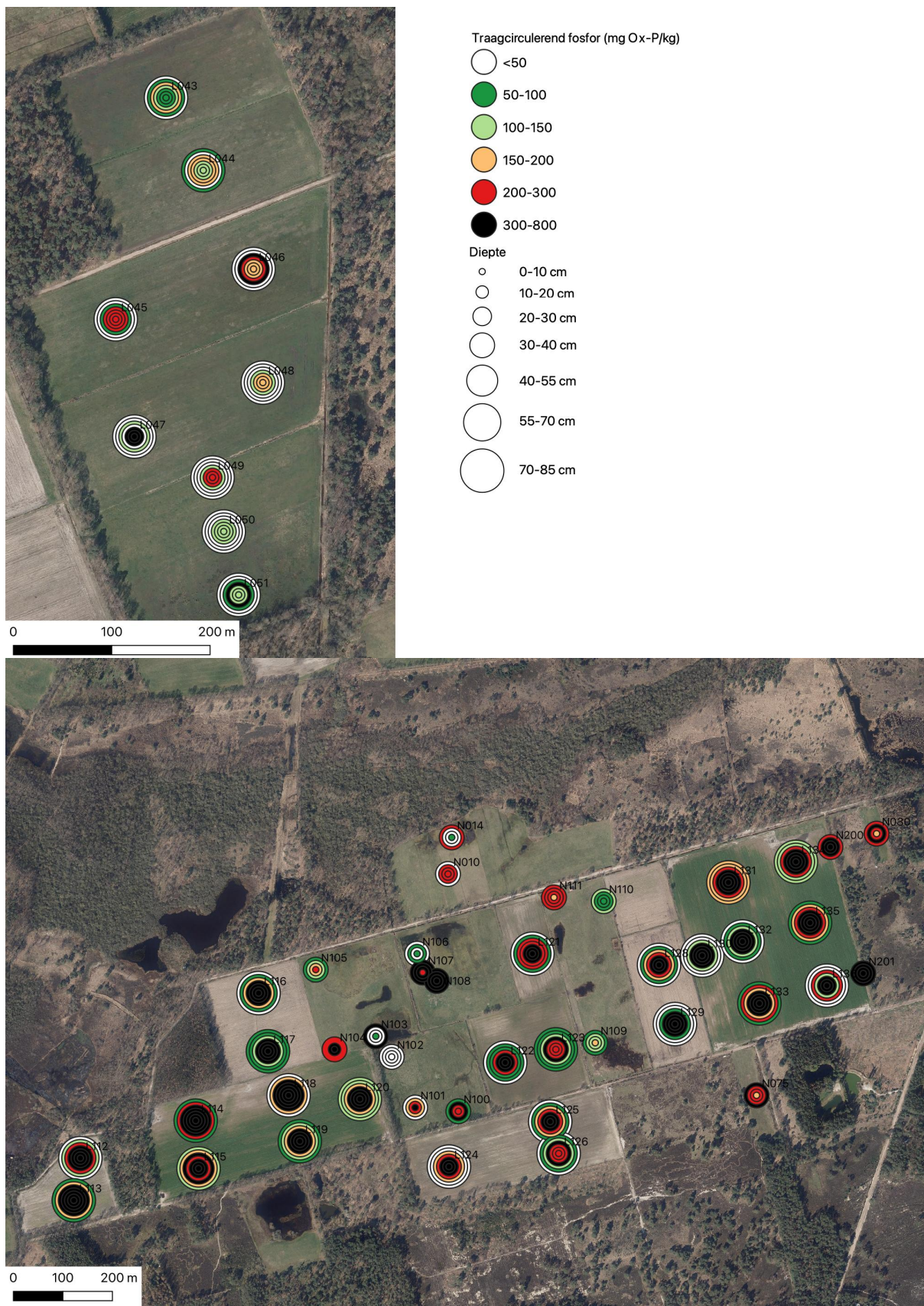
Ook de bodem-pH verschilde aanzienlijk tussen de bemonsterde percelen. De akkers hadden een significant hogere pH dan de graslanden (gemiddeld $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6.3$ in akkers); bij de graslanden in natuurbeheer geven enkele meetpunten erg lage waarden aan ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} < 5$; Fig. 22). Verzuring ten gevolge van een combinatie van atmosferische verzurende depositie en langdurig maaibeheer (ook basische kationen worden afgevoerd met het maaisel) is een gekend probleem. Bij verdere bodemverzuring kan aluminium biobeschikbaar worden en toxisch voor bepaalde (doel)plantensoorten van heischrale graslanden. De bodem-pH is dus ook een aandachtspunt bij natuurherstel.



Figuur 17 Concentraties biobeschikbaar, traagcircularend en totaal fosfor in de bodem van 50 meetpunten. De akkers en graslanden in natuurbeheer zijn gelegen in de Hoge Mierdse Heide. De graslanden in landbouw zijn gelegen in het Lieremansstaartje. De akkers en graslanden in landbouwbeheer werden bemonsterd in de 0-30 cm bodemlaag. Voor de graslanden in natuurbeheer tonen we het gemiddelde van de 0-10 en 10-20 cm bodemlagen. De rode stippellijn toont de streefwaarde van biobeschikbaar fosfor voor droog heischraal grasland (12 mg P_{Olsen} kg⁻¹), de rode streepjeslijn de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland (20 mg P_{Olsen} kg⁻¹). De letters “a”, “b” en “c” tonen significante verschillen aan (ANOVA, $p < 0.05$).



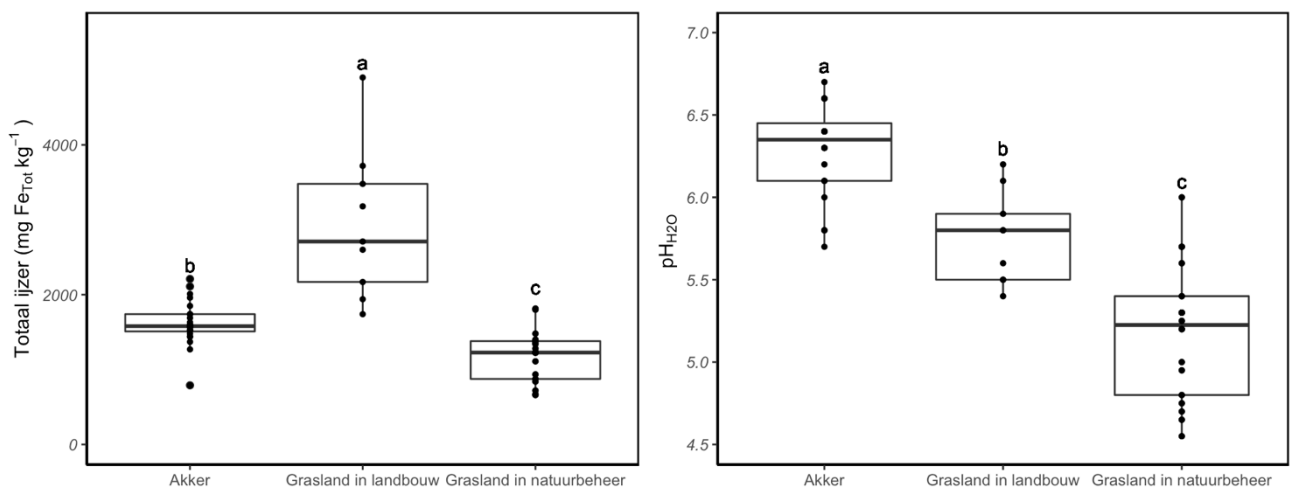
Figuur 18 Biobeschikbaar fosfor per bemonsterde bodemlaag in het Lieremansstaartje (boven) en de Hoge Mierdse Heide (onder). De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).



Figuur 29 Traagcyclerend fosfor per bemonsterde bodemlaag in het Lieremansstaartje (boven) en de Hoge Mierdse Heide (onder). De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).



Figuur 19 Totaal organisch koolstofgehalte (TOC) in de 0-10 cm bodemlaag in de meetpunten en percelen. De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).



Figuur 20 Totale ijzerconcentraties (links) en pH_{H2O} (rechts) in de bodem van 50 meetpunten. De akkers en graslanden in natuurbeheer zijn gelegen in de Hoge Mierdse Heide. De graslanden in landbouw zijn gelegen in het Lieremansstaartje. De akkers en graslanden in landbouwbeheer werden bemonsterd in de 0-30 cm bodemlaag. Voor de graslanden in natuurbeheer tonen we het gemiddelde van de 0-20 cm bodemlaag. De letters "a", "b" en "c" tonen significante verschillen aan (ANOVA, $p < 0.05$).

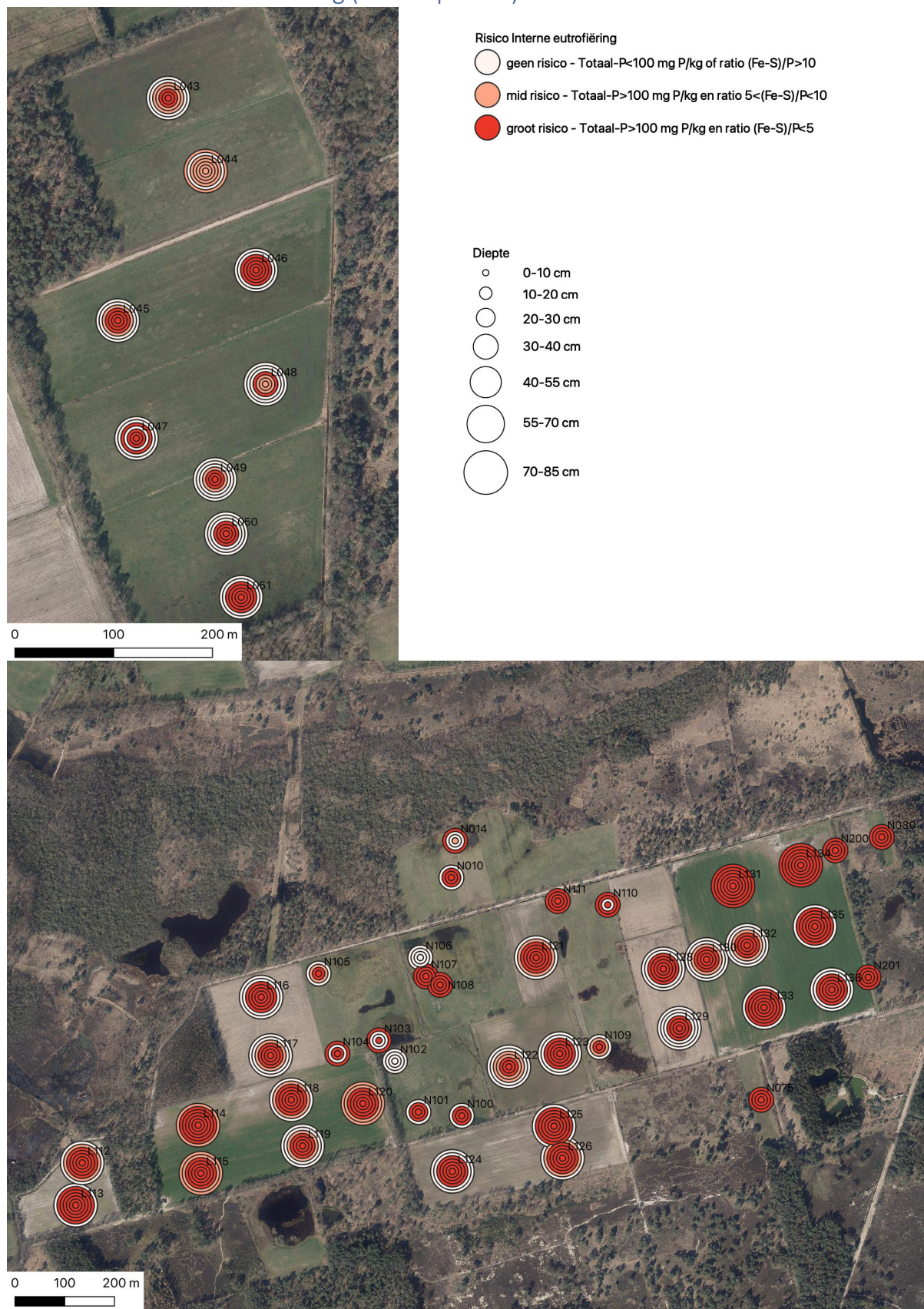


Figuur 21 Totale concentratie aan ijzer in de 0-10 cm bodemlaag in de percelen en meetpunten. De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).



Figuur 22 pH-H₂O van de 0-10 cm bodemlaag in de percelen en meetpunten. De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).

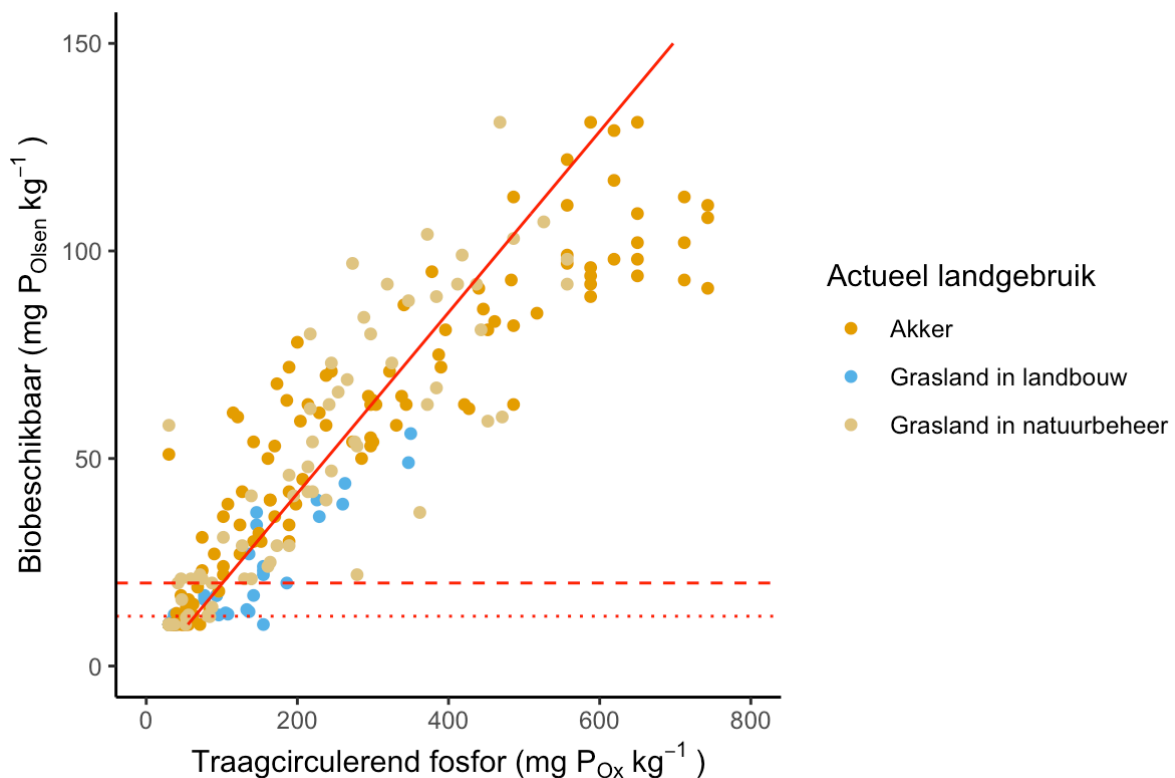
6.2 Risico interne eutrofiëring (enkel op kaart)



Figuur 23 Risico voor interne eutrofiëring bij vernatting per bemonsterde bodemlaag in het Lieremansstaartje (boven) en de Hoge Mierdse Heide (onder). Er werd rekening gehouden met de totale fosforconcentratie en ratio tussen totaal ijzer, zwavel en fosfor. De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).

6.3 Uitmijntermijnen volgens meest gunstige scenario

Voor de inschatting van de uitmijntermijn werd de relatie tussen biobeschikbaar en traagcyclerend fosfor van de 50 meetpunten en percelen gebruikt (Fig. 24). In de ijzerrijke percelen van het Lieremansstaartje is de relatie tussen biobeschikbaar fosfor, traagcyclerend fosfor en fosforafvoer met het gewas vermoedelijk anders dan op de ijzerarmere percelen. Voor de percelen van het Lieremansstaartje kunnen we de veranderingen in bodemfosfor bij uitmijnen minder betrouwbaar inschatten met de gegevens uit Veldproef 1 en Veldproef 2 omdat deze gegevens meest relevant zijn voor inschattingen op gelijkaardige bodems als bij Veldproeven 1 en 2 (ijzerarme bodems). Daarom is enige omzichtigheid geboden voor het interpreteren van de termijnen voor deze percelen. Het is mogelijk dat na stopzetting van bemesting fosforlimiterende bodemomstandigheden snel kunnen ontstaan via verschrallend maaibeheer, gegeven dat de traagcyclerende fosforstock de biobeschikbare stock niet snel aanvult. We bevelen aan om na stopzetting van bemestingen, de percelen nauwgezet op te volgen en meer gedetailleerd te bemonsteren (per 10 cm ipv 0-30 cm).



Figuur 24 Relatie tussen traagcyclerend en biobeschikbaar fosfor in de 50 meetpunten en percelen in stalen uit alle bodemdieptes. De rode volle lijn geeft de lineaire significante relatie weer: $P_{Ox} = 11.3 + 4.6 * P_{Olsen}$ ($R^2=0.78$; $p<0.001$). De rode stippellijn toont de streefwaarde van biobeschikbaar fosfor voor droog heischraal grasland ($12 \text{ mg } P_{Olsen} \text{ kg}^{-1}$), de rode streepjeslijn de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland ($20 \text{ mg } P_{Olsen} \text{ kg}^{-1}$).

We gaan voor deze inschattingen uit van de meest gunstige fosforafvoeromstandigheden zoals weergegeven in Fig. 15 (combinatie inzichten VE1+2). Dit kan echter leiden tot onderschattingen van de tijdsduur.

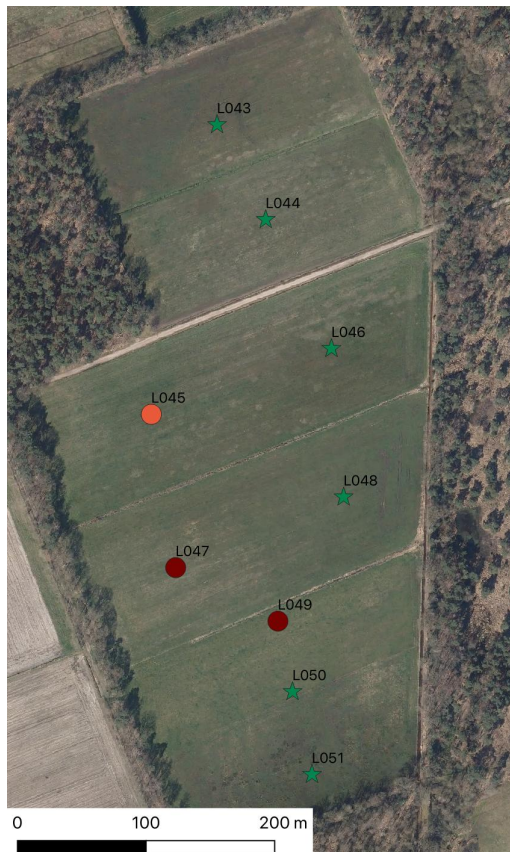
De ingeschatte uitmijntermijnen voor de akkers waren erg lang: 73-86 jaar uitmijnen tot de streefwaarde voor droge heischrale graslanden en 55-68 jaar uitmijnen tot de streefwaarde voor soortenrijke struisgraslanden (Tabel 7). Gemiddeld gezien waren de uitmijntermijnen voor de graslanden korter dan voor de akkers, maar toch nog vrij lang: 36 jaar uitmijnen tot de streefwaarde voor droge heischrale graslanden en 19 jaar uitmijnen tot de streefwaarde voor soortenrijke struisgraslanden.

In de Hoge Mierdse Heide, bij de graslanden in natuurbeheer voldeden drie meetpunten reeds aan de streefwaarde voor droge heischrale graslanden (N102, N103 en N110) en één meetpunt aan de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland (N106; Fig. 25 en 26). Bij vier meetpunten was de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland bereikbaar door minder dan 25 jaar verschrallingsbeheer, voornamelijk door maaibeheer omdat de biobeschikbare fosforconcentratie lager was dan $25 \text{ mg P}_{\text{Olsen}} \text{ kg}^{-1}$ of deze waarde benaderde (N010, N014, N030 en N109). De overige meetpunten bevatten in die mate fosfor dat het erg lang zou duren om de streefwaarde voor droog heischraal grasland en voor soortenrijk struisgrasland te behalen via uitmijnen of maaibeheer. We houden geen rekening met de effecten van droogtestress, waardoor heischrale vegetaties eventueel mogelijk zijn bij hogere fosforconcentraties.

In de graslanden van het Lieremansstaartje voldeed één perceel aan de streefwaarde voor droge heischrale graslanden (L048) en vijf percelen aan de streefwaarde voor soortenrijk struisgrasland (L043, L044, L046, L050 en L051). We benadrukken echter dat deze percelen beter onderzocht zouden moeten worden met een meer gedetailleerde staalname (per 10 cm ipv 0-30 cm). De gemeten biobeschikbare fosforconcentraties in deze percelen stemmen niet overeen met het actuele landgebruik (intensief bemest grasland).

Tabel 7 Concentratie biobeschikbaar fosfor (P_{Olsen}) en traagcircularend fosfor (P_{Ox}) in de bodem in 2021 en geschatte verschralingstermijn in aantal jaren voor de 24 akkers, 9 graslanden in landbouwbeheer en 17 meetpunten op graslanden in natuurbeheer op de Hoge Mierdse Heide. De hoeveelheid af te voeren fosfor werd ingeschat voor de 0-20 cm bodemlaag ten opzichte van de streefwaarde voor droge heischrale graslanden (12 mg P_{Olsen} kg^{-1}) en soortenrijk struisgrasland (20 mg P_{Olsen} kg^{-1}). De verschralingstermijn werd gesimuleerd via het model voor fosforafvoer op basis van Veldproeven 1 + 2 (VE1+2). (M) geeft aan dat de verschraling onmiddellijk start met maaibeheer.

Meetpunt of perceel	Actueel landgebruik	Bodemfosfor (mg kg^{-1} ; in 0-20 cm)		Af te voeren fosfor en verschralingstermijn tot 12 mg P_{Olsen} kg^{-1}		tot 20 mg P_{Olsen} kg^{-1}	
		P_{Olsen}	P_{Ox}	kg P ha^{-1}	jaar	kg P ha^{-1}	jaar
L043	grasland	12	96	100	19 (M)	0	0
L044	grasland	17	142	256	45 (M)	132	0
L045	grasland	40	226	540	45	416	26
L046	grasland	20	186	405	68 (M)	281	0
L047	grasland	56	350	959	58	835	40
L048	grasland	10	155	300	0	176	0
L049	grasland	44	263	665	49	541	31
L050	grasland	13	136	236	41 (M)	112	0
L051	grasland	14	133	225	40 (M)	101	0
L112	akker	82	486	1419	69	1295	51
L113	akker	109	650	1973	80	1849	62
L114	akker	102	712	2182	84	2059	66
L115	akker	91	743	2287	86	2163	68
L116	akker	62	427	1219	65	1095	47
L117	akker	63	486	1419	69	1295	51
L118	akker	98	619	1868	78	1744	60
L119	akker	93	712	2182	84	2059	66
L120	akker	94	650	1973	80	1849	62
L121	akker	81	452	1304	67	1180	48
L122	akker	65	338	918	57	794	39
L123	akker	63	297	780	53	656	35
L124	akker	95	378	1054	61	930	42
L125	akker	75	387	1084	62	960	43
L126	akker	78	200	452	40	328	22
L128	akker	131	650	1973	80	1849	62
L129	akker	131	588	1763	76	1639	58
L130	akker	97	557	1659	74	1535	56
L131	akker	129	619	1868	78	1744	60
L132	akker	96	588	1763	76	1639	58
L133	akker	102	650	1973	80	1849	62
L134	akker	111	743	2287	86	2163	68
L135	akker	108	743	2287	86	2163	68
L136	akker	113	712	2182	84	2059	66
N010	grasland in natuurbeheer	29	126	200	26	76	13 (M)
N014	grasland in natuurbeheer	33	179	379	37	255	19
N030	grasland in natuurbeheer	33	188	410	39	286	20
N075	grasland in natuurbeheer	52	206	472	41	348	23
N100	grasland in natuurbeheer	51	248	614	47	490	29
N101	grasland in natuurbeheer	57	315	839	55	715	36
N102	grasland in natuurbeheer	16	38	0	0	0	0
N103	grasland in natuurbeheer	11	42	0	0	0	0
N104	grasland in natuurbeheer	96	360	991	59	867	40
N105	grasland in natuurbeheer	50	234	567	46	443	27
N106	grasland in natuurbeheer	18	67	0	0	0	0
N107	grasland in natuurbeheer	85	341	927	57	803	39
N108	grasland in natuurbeheer	101	522	1539	72	1415	53
N109	grasland in natuurbeheer	25	156	303	52 (M)	179	30 (M)
N110	grasland in natuurbeheer	12	70	0	0	0	0
N111	grasland in natuurbeheer	48	222	525	44	401	25
N200	grasland in natuurbeheer	61	412	1168	64	1045	45
N201	grasland in natuurbeheer	83	369	1021	60	897	41



Tijd verschralen tot <20 mg Olsen-P/kg

- 0 jaar (doel bereikt, <20 mg Olsen-P/kg)
- 0-10 jaar maaibeheer
- 10-20 jaar uitmijnen + maaibeheer
- 20-30 jaar uitmijnen + maaibeheer
- >30 jaar uitmijnen + maaibeheer

BDB 2021

Uitmijnduur VE1+2 mild doel

maaiduur - mild doel

- ★ 0 jaar, doel bereikt <20 mg Olsen-P/kg
- ◆ 10-20 jaar maaibeheer
- ◆ >20 jaar maaibeheer
- 10-20 jaar uitmijnen + maaibeheer
- 20-30 jaar uitmijnen + maaibeheer
- >30 jaar uitmijnen + maaibeheer



Figuur 26 Termijn voor verschraling van de 0-20 cm bodemlaag tot <20 mg Olsen-P/kg in het Lieremansstaartje (boven) en de Hoge Mierdse Heide (onder).. De luchtfoto is een middenschalige winteropname uit 2020 (AGIV).

Conclusie

Tussen 2013 en 2021 daalden de biobeschikbare en traagcyclerende fosforconcentraties significant in de bodem van de proefpercelen van Veldproef 2. Deze daling was onafhankelijk van de gebruikte teelt. Grasklaver leek meer consistent doorheen de jaren in het afvoeren van fosfor dan de akkerrotaties. Een hoge bedekking met klaver lijkt een vereiste voor een hoge fosforafvoer met grasklaver.

De berekeningsmethode voor de uitmijntermijn gebaseerd op de fosforafvoergegevens van Veldproef 1 (VE1) is een eerder conservatieve inschatting omdat er beperkt bemest werd met stikstof en kalium. De nieuwe berekeningsmethode (VE1+2) waarbij rekening gehouden wordt met de hogere fosforafvoer door grasklaverteelt lijkt te leiden tot kortere uitmijntermijnen. Echter, deze inschatting kan een onderschatting geven van de tijdsduur als bv. in een droog jaar minder fosfor afgevoerd wordt dan aangenomen in het model. Bij vergelijking van de initieel ingeschatte uitmijnduur met de gerealiseerde bodemfosfor concentraties na 8 jaar uitmijnen in Veldproef 2 zagen we voor drie percelen een overeenstemming en voor drie percelen een onderschatting van de tijdsduur. We concluderen dat voorzichtigheid nodig is bij het interpreteren van gesimuleerde uitmijntermijnen.

Bij het toepassen van de meest optimistische berekeningsmethode (VE1+2) op de percelen van De Hoge Mierdse Heide zagen we dat geen van de percelen die momenteel in akkerbeheer zijn in aanmerking komen voor uitmijnen en slechts een kleine minderheid van de graslanden in natuurbeheer ofwel een van de streefdoelen reeds bereikten of kunnen bereiken binnen 25 jaar. Het blijkt nogmaals dat fosfor een erg persistent nutriënt is in de bodem en dat fosforarme percelen uiterst zeldzaam en waardevol zijn voor het behoud van onze bijzondere natuur in Vlaanderen.

We pasten de berekeningen ook toe op de graslanden van het Lieremansstaartje maar waarschuwen voor de interpretatie hiervan. De bodemmetingen geven erg lage biobeschikbare en traagcyclerende fosforconcentraties weer (maar wel hoge totale fosforconcentraties); dit stemt niet overeen met de verwachtingen gezien het actuele gebruik als intensief grasland. De metingen gebeurden hier in 0-30 cm bodemstalen, terwijl een meer gedetailleerde aanpak voor deze percelen een ander beeld zou kunnen geven van de actuele fosforconcentraties in de bodem (een heel fosforrijke 0-10 cm laag en fosforarmere bodemlagen daar onder). Daarnaast zijn de bodems van het Lieremansstaartje ijzerrijker en natter dan de percelen waar de veldproeven werden uitgevoerd, het is daarom mogelijk dat de relatie tussen de biobeschikbare en traagcyclerende fosforconcentratie en de fosforafvoer met het gewas minder geschikt is voor deze percelen. Bijgevolg zijn de inschattingen van de uitmijnduur voor deze percelen minder betrouwbaar.

In dit rapport schatten we enkel de tijd nodig voor het abiotisch herstel. De tijd nodig voor biotisch herstel van de vegetatie en bodem werd niet mee in rekening genomen maar is wel belangrijk.

Op bodems waarbij de fosforarme natuurdoelen niet bereikt kunnen worden via maai- of uitmijnbeheer kan worden nagegaan of afgraven een haalbare optie is. De diepte hangt af van het perceel, een aanbeveling wordt hierover niet gemaakt in dit rapport (maar zie Fig. 18 en 19). Een andere, goedkopere, optie is om de strengste doelstellingen los te laten voor percelen waar afgraven niet mogelijk is. Bloemrijke vegetaties van grasland-fase 3 en zelfs 4 zijn mogelijk te creëren bij hogere fosforconcentraties door maai- en begrazingsbeheer gericht op limitatie door stikstof en kalium in combinatie met (meermalige) herintroductie van soorten via (lokaal geoogst) zaad. Het op terrein uittesten van herintroductie geeft het beste beeld van hoe succesvol deze methode kan zijn, zie Emsens & Van Diggelen (2020).

Referentielijst

- Bries J. & Dillen J. (2021) NI De Liereman: staalname en analyse bodem fosfaatverzadiging. Bodemkundige Dienst van België. Opdrachtgever VLM.
- 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.
- Ceulemans T., Stevens C.J., Duchateau L., et al. (2014) Soil phosphorus constrains biodiversity across European grasslands. *Glob Chang Biol* 20:3814–3822. doi: 10.1111/gcb.12650
- Demey A., Aerts N., De Buysere F., De Schrijver A. & Verheyen K. (2015) Smeetshof: bodemkwaliteit en afgraving als verfijning van de grensoverschrijdende visie. Eindrapport. Universiteit Gent en Technum. Opdrachtgever ANB.
- Emsens W.J. & van Diggelen R. (2020) Ontwikkelingsmogelijkheden voor heischrale graslanden op geselecteerde percelen in Landschap de Liereman. ECOBE 018-R220. Universiteit Antwerpen. 30p.
- Gilbert J., Gowing D. & Wallace H. (2009) Available soil phosphorus in semi-natural grasslands: Assessment, methods and community tolerances. *Biol Conserv* 142:1074–1083. doi: 10.1016/j.biocon.2009.01.018
- Goossens E.P., De Schrijver A., Schelfhout S., Vanhellemont M., Verheyen K. & Mertens J. (2021). Phosphorus puts a mortgage on restoration of species-rich grasslands on former agricultural land. *Restoration Ecology*. <https://doi.org/10.1111/rec.13523>
- Hautier Y., Niklaus P.A. & Hector A. (2009) Competition for Light Causes Plant Biodiversity Loss After Eutrophication. *Science* 324:636–638. doi: 10.1126/science.1169640
- Johnston A.E., Poulton P.R., White R.P. & Macdonald A. J. (2016). Determining the longer term decline in plant-available soil phosphorus from short-term measured values. *Soil Use and Management*, 32(2), 151–161. <https://doi.org/10.1111/sum.12253>
- Pals A., Kemmers R., van Delft B., Delbare E. & Wilkin N. (2013). Expertenadvies bodemchemie en ecohydrologie Landschap de Liereman en omgeving Eindrapport. Haskoning Belgium SA/NV in opdracht de Vlaamse Landmaatschappij en het Agentschap voor Natuur en Bos
- Postma R., Van Rotterdam D., Hut H., et al. (2015) Fosfaatuimijning voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; Eindrapport 2010-2014. NMI, rapport 1390.N.10-VI, Wageningen, 49 p.
- Postma R., Goosen A., de Lange R. & Verhagen R. (2019) Pilotproject Uitmijning Oude Willem. Eindrapportage 2015-2019. Projectnummer 0403220.00. Anteagroup. In opdracht van Prolander en LIFE Going up a level. 94 p.
- Puggaard L., Lund P., Liesegang A. & Sehested J. (2014). Long term effect of reduced dietary phosphorus on feed intake and milk yield in dry and lactating dairy cows. *Livestock Science*, 159, 18-28. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.10.009>
- Schelfhout S., De Schrijver A., De Bolle S., et al. (2015). Phosphorus mining for ecological restoration on former agricultural land. *Restoration Ecology*, 23(6), 842–851. <https://doi.org/10.1111/rec.12264>
- Schelfhout S., Mertens J., Perring M.P., et al. (2017). P-removal for restoration of *Nardus* grasslands on former agricultural land: cutting traditions. *Restoration Ecology*, 25, S178–S187. <https://doi.org/10.1111/rec.12531>
- Schelfhout S., De Schrijver A., Verheyen K., De Beelde R., Haesaert G., & Mertens J. (2018). Phosphorus mining efficiency declines with decreasing soil P concentration and varies across crop species. *International Journal of Phytoremediation*, 20(9), 939–946. <https://doi.org/10.1080/15226514.2018.1448363>
- Schelfhout S., De Schrijver A., Vanhellemont M., et al. (2019). Phytomining to re-establish phosphorus-poor soil conditions for nature restoration on former agricultural land. *Plant and Soil*, 1–14. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04049-2>
- Schelfhout S. (2019). Restoration of species-rich *Nardus* grasslands via phosphorus-mining. Doctoraat, Universiteit Gent, Gent, België. 206 p. <http://hdl.handle.net/1854/LU-8603971>
- Schippers W., Bax I. & Gardenier M. (2012) Ontwikkelen van kruidenrijk grasland. May 2012. Aardewerk advies; Bureau Groenschrift, Ede
- Valk H, Sebek BJ, Van't Klooster AT, Jongbloed AW (1999) Clinical effects of feeding low dietary phosphorus levels to high yielding dairy cows. *Vet Rec* 145:673–674. doi: 10.1136/vr.145.23.673
- Wassen M.J., Venterink H.O., Lapshina E.D. & Tanneberger F. (2005) Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437:547–550. doi: 10.1038/nature03950
- Wasof S., De Schrijver A., Schelfhout S., Perring M. P., Remy E., Mertens J., et al. & Verheyen K. (2019). Linkages between aboveground and belowground community compositions in grasslands along a historical land-use intensity gradient. *Plant and Soil*, 434, 289–304. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3855-7>