



Natuurontwikkeling Roeghoorn

Resultaten van 10 jaar uitmijnen en verschralen in het beekdal van het Oostervoortschediep

D. van Rotterdam

R. Postma

M. van Doorn

Referaat

Van Rotterdam D, R. Postma, M van Doorn 2021, Natuurontwikkeling Roeghoorn; Resultaten van 10 jaar uitmijnen en verschralen in het beekdal van het Oostervoortschediep, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1802.N.21, pp 45

Rapport in het kort

In een proef over natuurontwikkeling in het gebied 'Roeghoorn' in het beekdal van het Oostervoortschediep (Dr.) is een zeer gedetailleerd beeld verkregen van het effect van 10 jaar lang verschralen, uitmijnen en afgraven al dan niet in combinatie met vernatten. De vegetatie-ontwikkeling, de drogestofopbrengst en samenstelling van de vegetatie, de grondwaterstand en de verandering van de bodemsamenstelling en met name de nutriëntenstatus van verschillende bodemlagen zijn onderzocht. Daarnaast zijn de samenwerking en ervaringen van de betrokken partijen, Staatsbosbeheer, de agrarische pachter, het waterschap Noorderzijlvest, de provincie Drenthe en het Nutriënten Management Instituut (NMI), in kaart gebracht. Voorliggende onderzoek is mogelijk gemaakt door betrokken partijen en OBN.

© 2021 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, op welke wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nutriënten Management Instituut NMI.

Rapporten van NMI dienen in eerste instantie ter informatie van de opdrachtgever. Over uitgebrachte rapporten, of delen daarvan, mag door de opdrachtgever slechts met vermelding van de naam van NMI worden gepubliceerd. Ieder ander gebruik (daaronder begrepen reclame-uitingen en integrale publicatie van uitgebrachte rapporten) is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van NMI.

Disclaimer

Nutriënten Management Instituut NMI stelt zich niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen voortvloeiend uit het gebruik van door of namens NMI verstrekte onderzoeksresultaten en/of adviezen.



Verspreiding

digitaal

Staatsbosbeheer: Henk Warners, Roelof Blaauw en Martijn Bakker

Provincie Drenthe: Hans Dekker

Waterschap Noorderzijlvest: Jannes Schenkel (Jan Wanink – met pensioen)

Kennisnetwerk OBN: Wim Wiersinga en Neeltje Huizinga

Melkveehouder: Hendrik Smeenge

Inhoudsopgave

Samenvatting en conclusies	2
1 Inleiding	5
2 Theoretisch kader	7
2.1 Fosfaat in de bodem	7
2.2 Afgraven, verschralen of uitmijnen?	10
3 Aanpak	11
3.1 Monitoring uitmijnen beekdal	11
3.2 Detailproef	11
4 Resultaten uitmijnen beekdal	14
5 Resultaten detailproef	18
5.1 Grondwaterstand	18
5.2 Vegetatie	18
5.3 Bodem	23
5.4 Conclusies detailproef	29
6 Ervaringen uit de praktijk	30
6.1 Doelstellingen, aanpak en rollen	30
6.2 Wat ging goed	31
6.3 Wat ging niet goed?	31
6.4 Wat kon beter?	32
6.5 Boodschap voor de toekomst	33
6.6 Voortgang proef Roeghoorn	33
7 Inrichtingsmaatregelen	35
7.1 Verschralen	36
7.2 Uitmijnen	36
8 Conclusies en aanbevelingen	42
8.1 Conclusies	42
8.2 Aanbevelingen	44
Literatuur	45

Samenvatting en conclusies

In 2008 is de waterloop van het Oostervoortschediep, die in de jaren zestig van de vorige eeuw was rechtgetrokken voor een landbouwkundige afwatering, in ere hersteld. Doel was om een deelgebied van het Natuurnetwerk Nederland (NNN) optimaal in te richten en daarbij niet alleen de beek weer een natuurlijker loop te geven maar vooral om natuur te versterken en verder te ontwikkelen in overeenstemming met de hydrologische gradiënt van het beekdal; nat schraalland (N10.01), vochtig hooiland (N10.02) en flora- en faunarijck grasland (N12.02).

Voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in een beekdal moet niet alleen de hydrologie worden hersteld maar ook de voedselrijkdom van de bodem worden verlaagd. De soortenrijkdom en het voorkomen van zeldzame soorten is gerelateerd aan een lage fosfaatbeschikbaarheid in de bodem. De keuze voor een bepaalde (combinatie) van maatregelen (afgraven, uitmijnen of verschralen), is niet alleen afhankelijk van de fosfaattoestand van de bodem maar is ook afhankelijk van de beoogde natuurdoelstelling, de termijn waarop deze behaald zou moeten worden, de geohydrologische situatie en de mate van vernatting, archeologische/aardkundige waarden, kosten voor afgraven, aanwezigheid van een waardevolle zaadbank in de voedselrijke bodemlaag en de capaciteit van deze bodemlaag om zuur te bufferen.

Tien jaar geleden is Staatsbosbeheer in samenwerking met een aantal andere partijen in het deelgebied Roeghoorn gestart met een proef naar het effect van verschillende inrichtingsmaatregelen om de fosfaattoestand in de bodem van het beekdal te verlagen. Er is een zeer gedetailleerd beeld verkregen van het effect van verschralen, uitmijnen en afgraven al dan niet in combinatie met vernatting, op de vegetatie-ontwikkeling, de drogestofopbrengst en samenstelling van de vegetatie, de grondwaterstand en de verandering van de bodemsamenstelling en met name de nutriëntenstatus van verschillende bodemlagen. Daarnaast zijn de samenwerking en ervaringen van de betrokken partijen, Staatsbosbeheer, de agrarische pachter, het waterschap Noorderzijlvest, de provincie Drenthe en het Nutriënten Management Instituut (NMI), in kaart gebracht. Voorliggende onderzoek is mogelijk gemaakt door betrokken partijen en OBN.

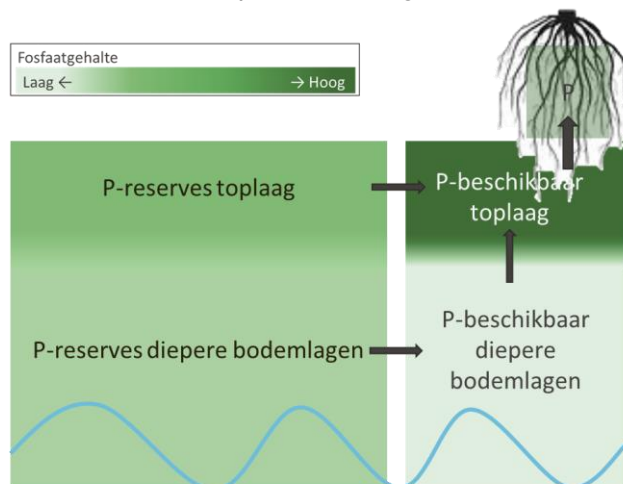
Conclusies

- Natuur en de ontwikkeling van een soortenrijke schrale(re) vegetatie kost tijd. De soortenrijkdom van de vegetatie en de verandering in de soortenrijkdom gedurende de 10 jaar van de proef was beperkt. Er was hierin geen tot een beperkt verschil tussen verschralen en uitmijnen. Afgraven had wel een direct en duidelijk positief effect op het aantal soorten en de aanwezigheid van zeldzame soorten in vergelijking met uitmijnen of verschralen.
- Uitmijnen leidde gemiddeld over 10 jaar tot een bijna 2 keer zo hoge drogestofopbrengst en fosfaatonttrekking door het afgevoerde gewas vergeleken met verschralen. De effectiviteit van uitmijnen vergeleken met verschralen was echter zeer locatie en tijd specifiek.
- Wat betreft opbrengst en fosfaatonttrekking was de effectiviteit van uitmijnen het eerste jaar het grootst (factor 2,7 gemiddeld) en daalde deze met de tijd en met name de eerste 5 jaar. Na 5 jaar stabiliseerde deze waarbij gemiddeld 1.6 keer meer fosfaat wordt onttrokken bij uitmijnen dan bij verschralen. De daling in effectiviteit was het gevolg van een continue daling in het P-gehalte van de vegetatie en niet een gevolg van een daling in opbrengst.
- Het P-gehalte in de vegetatie werd sterk bepaald door het beschikbaar fosfaat (benaderd met P-AI) in de bovenste 10 cm van de bodem. Uitmijnen heeft daarom tot doel om het voor de vegetatie beschikbaar P in de bodem versneld te doen afnemen.
- De verandering in het beschikbaar P in de bodem bleek echter beperkt te zijn ten opzichte van de hoeveelheid P die door de vegetatie werd onttrokken. De P-onttrekking door maaien en afvoeren

was in de proef 2,5 tot 7x groter dan de afname in het beschikbaar P in de bodem. Het beschikbaar P wordt gebufferd uit de totaal beschikbare P-reserves en uit diepere bodemlagen.

Droge (zand)gronden

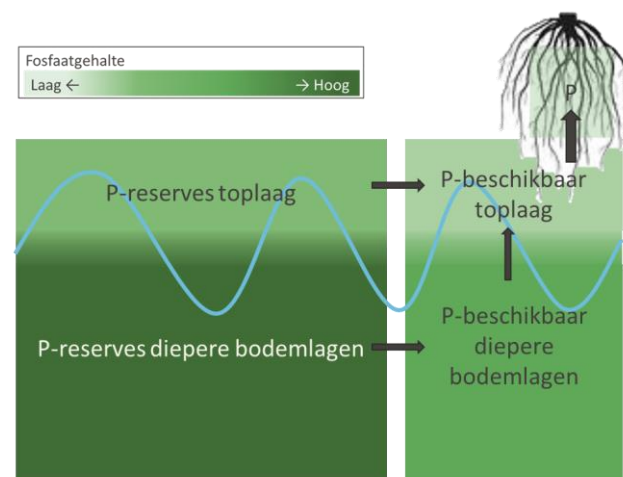
- Uitmijnen is effectief wanneer de fosfaatbeschikbaarheid hoog is maar de buffering vanuit de totaal beschikbare reserves en vanuit de diepere bodemlagen laag. Dit is met name op droge zandgronden het geval met een lage fosfaatbindingscapaciteit.
- In deze omstandigheden is de snelheid waarmee het direct beschikbaar P daalt een functie van het direct beschikbaar P en de P-onttrekking. Dit betekent dat het direct beschikbaar P steeds langzamer daalt.
- Uitmijnen is op zandgronden met een voldoende hoog beschikbaar fosfaat (P-AL >5 mg P₂O₅/100g) gemiddeld over 10 jaar een factor 1,6 keer zo effectief in het verlagen van het beschikbaar P in de bodem dan verschrallen. Dit geldt tot een diepte van (tenminste) 50cm.
- De daling van de totaal beschikbare P-reserves in de bodem gaat op de droge locaties waar alleen de bovengrond verrijkt is met fosfaat met uitmijnen ruim 2 keer sneller dan met verschrallen. De daling van deze P-reserves is hier van dezelfde orde grootte als de P-onttrekking.
- Wanneer het beschikbaar fosfaat slechts beperkt wordt gebufferd is de snelheid waarmee deze daalt goed te voorspellen op basis van het initieel beschikbaar P en de totale P-reserves.



Schematische weergave van de relatie tussen beschikbaar fosfaat in de bodem en de buffering vanuit fosfaatreserves in de toplaag en vanuit diepere bodemlagen. Hoe donkerder de kleur groen hoe hoger de betreffende fosfaatgehalten. Blauw is de grondwaterstand.

Natte Locaties

- Op natte(re) locaties is de cumulatieve P-onttrekking met uitmijnen hoger dan met verschrallen. Maaien en afvoeren wordt beperkt door de natte omstandigheden.
- Op de natte locaties, waar het grondwater regelmatig tot boven maaiveld staat is een omgekeerd fosfaat profiel in de bodem aanwezig. De fosfaatbeschikbaarheid is in de toplaag van de bodem lager dan in de bodemlagen daaronder. Oorzaken hiervoor kunnen zijn mobilisatie van P onder natte omstandigheden gevolgd door uitspoeling naar diepere bodemlagen. Anderzijds kan P worden aangevoerd met ijzerrijke kwel en neerslaan op de diepte waar de bodem niet langer verzadigd is met water en zuurstof bevat.
- In de proef zijn over de tijd en met de diepte (gemeten tot 50cm diepte) grote fluctuaties gemeten in het beschikbaar P, de totaal beschikbare P-reserves én de bindingscapaciteit in de vorm van Fe-(hydr-)oxiden. Door deze fluctuaties kan niet worden aangetoond dat met 10 jaar uitmijnen de fosfaattoestand van de bodem sneller daalt dan met verschrallen.



Schematische weergave van de relatie tussen beschikbaar fosfaat in de bodem en de buffering vanuit fosfaatreserves in de toplaag en vanuit diepere bodemlagen. Hoe donkerder de kleur groen hoe hoger de betreffende fosfaatgehalten. Blauw is de grondwaterstand.

In de praktijk

- Bij uitmijnen wordt, ondanks de bemesting met N en K, de voederwaarde van het gras in de loop van de tijd lager door een verandering in minerale samenstelling. Dit heeft consequenties voor de toepassing van het maaisel als veevoer. Zolang de voederwaarde van het maaisel voldoende hoog is kan het aan melkvee worden gegeven. De minerale samenstelling daalt echter binnen 5 jaar waardoor het alleen nog geschikt is voor droogstaande koeien, jongvee of andere dieren, tenzij de rest van het rantsoen wordt aangepast. Wanneer er voor de dieren storende soorten opkomen kan het maaisel worden gebruikt om (na een eventuele bewerking) de bodemvruchtbaarheid te verbeteren of om als strooisel in de stal te dienen.

Aanbevelingen

- Uitmijnen is een effectieve maatregel om het voor de vegetatie beschikbare fosfaat in de bodem versneld te doen afnemen op locaties die vooral in de toplaag van de bodem zijn verrijkt met fosfaat en die een beperkte buffering hebben vanuit de totale fosfaatreserves in de bodem. In de praktijk komt dit vaak neer op droge zandgronden met een lage fosfaat bindingscapaciteit.
- Vooral de eerste jaren is uitmijnen effectief vergeleken met verschralen, wanneer het voor de vegetatie beschikbaar fosfaat hoog is en de opbrengst en fosfaat-onttrekking met het afgevoerde gewas hoog zijn.
- Om een inschatting te kunnen maken van de tijdsduur van verschralen en uitmijnen is het belangrijk om niet alleen naar beschikbaar P te kijken maar ook naar de fosfaat fracties van waaruit dit beschikbaar P wordt gebufferd; de totaal beschikbare P-reserves in boven- én ondergrond en de fosfaat bindingscapaciteit van de bodem.
- Vernatten en eventuele inrichtingsmaatregelen moeten plaatsvinden nadat de voedselrijkdom van de bodem is verlaagd om verliezen naar diepere bodemlagen en naar het watersysteem te voorkomen en natuurherstel te optimaliseren.
- Wanneer wordt geëxperimenteerd met natuurontwikkeling moet de proef voor een langere periode worden voortgezet (afhankelijk van de uitgangssituatie maar minimaal 5 jaar) om goede conclusies te kunnen trekken over de verandering in vegetatiesamenstelling en de fosfaattoestand van de bodem. Dit vraagt om lange termijn commitment van betrokken partijen.
- Ondanks dat uitmijnen of verschralen interessante opties zijn voor natuurherstel, is de natuurwaarde gedurende een langere periode beperkt. Om tegemoet te komen aan de doelstelling van natuurorganisaties en de wensen van het publiek kan een gebiedsgerichte aanpak aantrekkelijk zijn. De variatie en natuurpotentie kan worden gebruikt om binnen het gebied te variëren met de verschillende inrichtingsmaatregelen (afgraven, kleinschalig plaggen, uitmijnen, verschralen). Zo kan een interessante variatie worden aangebracht in het te ontwikkelen gebied.
- Bij de herinrichting van een beekdal zijn verschillende partijen betrokken. Een goede afstemming van doelstellingen, verwachtingen en verantwoordelijkheden is in zo'n proces (uiteeraard) cruciaal. Dit wordt gedurende het proces vergemakkelijkt door 1 aanspreekpunt per organisatie die kennis van zaken èn mandaat heeft.

1 Inleiding

Twaalf jaar geleden is Staatsbosbeheer in het deelgebied Roeghoorn gestart met een proef naar de inrichtingsmaatregelen verschrallen, uitmijnen en afgraven om de fosfaattoestand in de bodem van het beekdal te verlagen voor natuurontwikkeling. De proef is onderdeel van een herinrichting van het Oostervoortschediep. In 2008 is de waterloop van deze, in de jaren zestig van de vorige eeuw rechtgetrokken beek, in ere hersteld. Doel was om een deelgebied van het Natuurnetwerk Nederland (NNN) optimaal in te richten en daarbij niet alleen de beek weer een natuurlijker loop te geven maar vooral om natuur te versterken en verder te ontwikkelen in overeenstemming met de hydrologische gradiënt van het beekdal; nat schraalland (N10.01), vochtig hooiland (N10.02) en flora- en faunarijkgasland (N12.02).

Het beekdal was van oudsher hooiland en het agrarisch gebruik intensiverde met de ontwikkelingen in de reguliere landbouw en de verbeterde ontwatering van het gebied. Door decennialange bemesting was de uitgangssituatie in 2008 ongunstig geworden voor de beoogde natuurontwikkeling. Een hoge beschikbaarheid van fosfaat in de bodem wordt over het algemeen gezien als een belemmering voor de ontwikkeling van met name soortenrijke vegetaties die gedijen onder voedselarme omstandigheden. Bij een hoge beschikbaarheid van stikstof gedijen hoogproductieve grassen en wordt licht limiterend voor de laagproductieve (gras)soorten. Wanneer agrarische percelen uit productie worden genomen neemt de stikstofbeschikbaarheid uit historische bemesting snel af. Omdat – in tegenstelling tot stikstof – fosfaat wel sterk bindt aan de bodem, wordt op voormalige landbouwgronden veel aandacht besteed aan het verlagen van met name de fosfaatbeschikbaarheid.

In Roeghoorn was de fosfaattoestand van de bodem in de uitgangssituatie te hoog voor de gewenste natuurontwikkeling maar nog wel zo laag dat uitmijnen een realistische optie leek om de fosfaattoestand tot een acceptabel niveau voor de gewenste natuurdoelstellingen te verlagen (Postma et al., 2009). Daarnaast zijn in het lager gelegen deel langs de beek delen afgegraven. In samenwerking met de lokale pachter (Smeenge) is in 2010 gestart met uitmijnen (N+K bemesting) in het beekdal van deelgebied Roeghoorn. Op circa 75 hectare, met uitzondering van de natte delen langs de beek, wordt sindsdien door middel van uitmijnen de voedselrijkdom van de bodem, en dan met name de fosfaattoestand, verlaagd door de gewasopbrengst en daarmee de fosfaatonttrekking te verhogen door bemesting met stikstof en kalium. De bemesting is sinds 2010 over de tijd in stappen (na 5 jaar en 8 jaar) verlaagd.

Binnen het beekdal is in 2010 ook gestart met een lange termijn proef waar op een zestal locaties 2 behandelingen worden toegepast; verschrallen en uitmijnen. Bij de verschrallingsbehandeling worden geen meststoffen toegediend en bij de uitmijnbehandeling stikstof en kalium. Bij beide behandelingen wordt gedurende het groeiseizoen de vegetatie gemaaid en afgevoerd.

Doelstelling

Het doel van het onderzoek is om inzicht te krijgen in de effectiviteit van verschillende inrichtingsmaatregelen op de verandering in voedselrijkdom, en met name de fosfaattoestand, van de bodem en het effect op gewasopbrengst, gewassamenstelling en de vegetatieontwikkeling. De focus van het onderzoek ligt hierbij op verschrallen, uitmijnen, afgraven en vernatten.

De overkoepelende doelstelling is om handvatten te bieden voor de wijze waarop natuurontwikkeling op voormalige landbouwpercelen in een beekdal kan worden vormgegeven en wat de rol is van verschillende belangrijke aspecten zoals tijd, vernatten, samenwerking tussen natuurbeheerders en agrariërs en wanneer de inrichting kan overgaan in regulier natuurbeheer.

Om deze vraag te beantwoorden worden in deze rapportage de monitoringsresultaten gepresenteerd van het uitmijnen in het beekdal (75ha) en de zeer gedetailleerde resultaten van de proef die tussen 2010 en 2020 op een 12-tal proefplotjes is uitgevoerd. Daarnaast wordt verslag gedaan van de ervaringen van betrokkenen van Staatsbosbeheer, de agrarische pachter, het waterschap Noorderzijlvest en de provincie Drenthe.

Daarnaast zijn de samenwerking en ervaringen van de betrokken partijen, Staatsbosbeheer, de agrarische pachter, het waterschap Noorderzijlvest, de provincie Drenthe en het Nutriënten Management Instituut (NMI), in kaart gebracht.

Achtergrond en financiering project

Dit onderzoek is begonnen als het vijfjarige SKB-project met de titel "Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe". Het was een samenwerkingsproject waarin Staatsbosbeheer, de Provincie Drenthe, Waterschap Noorderzijlvest, Dienst Landelijk Gebied en NMI betrokken waren. Naast het ontwikkelen van technisch inhoudelijk kennis op het gebied van inrichtingsmaatregelen ten behoeve van natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden was de samenwerking tussen overheden en tussen landbouw en natuur toen ook een doelstelling. Na 5 jaar was er in 2014 vanuit het consortium geen behoefte om het detailonderzoek voort te zetten. Staatsbosbeheer heeft de proef alleen voortgezet door het onderhouden van de proefplotjes, jaarlijkse vegetatieopnames en maandelijkse metingen van de grondwaterstand. In 2017 is door NMI een bodemchemisch onderzoek uitgevoerd in opdracht van Staatsbosbeheer. In 2020 is voorliggende onderzoek mogelijk gemaakt door Staatsbosbeheer, provincie Drenthe, Waterschap Noorderzijlvest en kennisnetwerk OBN.

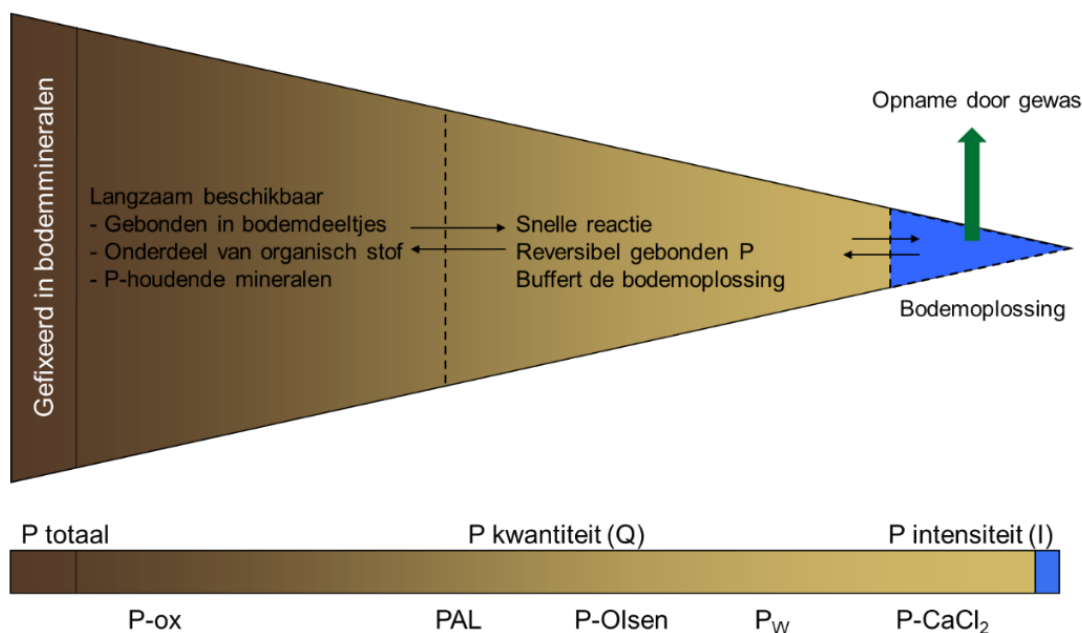
2 Theoretisch kader

2.1 Fosfaat in de bodem

Vormen van fosfaat

Fosfaat zit in meerdere vormen in de bodem, namelijk van sterk gebonden (lage beschikbaarheid) tot niet gebonden (in oplossing, hoge beschikbaarheid). Om grip te krijgen op de verschillende vormen van fosfaat wordt onderscheid gemaakt tussen drie groepen:

- Sterk gebonden fosfaat dat slechts langzaam beschikbaar kan komen (linkerkant van Figuur 2-1). Deze vorm van fosfaat maakt deel uit van bodemdeeltjes of is daar sterk aan gebonden. Deze vorm van fosfaat wordt gemeten met een oxalaat extractie (P-ox) en is een indicator voor P-totaal.
- Direct beschikbaar fosfaat (rechterkant van Figuur 2-1). Deze vorm van fosfaat is sterk gecorreleerd met de hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing, wat direct door het gewas kan worden opgenomen. Deze vorm van fosfaat wordt gemeten met een calcium chloride extractie (P-CaCl₂) en wordt ook wel P-intensiteit genoemd.
- Reversibel gebonden P (midden van Figuur 2-1). Deze vorm van P is gebonden aan het oppervlak van bodemdeeltjes maar kan ook snel weer in een beschikbare vorm vrijkomen. Dit is met name relevant voor het aanvullen van het direct beschikbaar fosfaat (P-CaCl₂) wanneer dit door een gewas wordt onttrokken. Deze vorm van P wordt gemeten met een ammoniumlactaat-azijnzuur extractie (P-AL) en wordt ook wel P-kwantiteit genoemd. Verschillende methodes kunnen worden gebruikt om de P-kwantiteit te meten, elk met zijn eigen (analytische) voor- en nadelen.



Figuur 2-1 Schematische weergave van fosfaat in de bodem en de veel gebruikte meetmethodes om de beschikbaarheid te duiden.

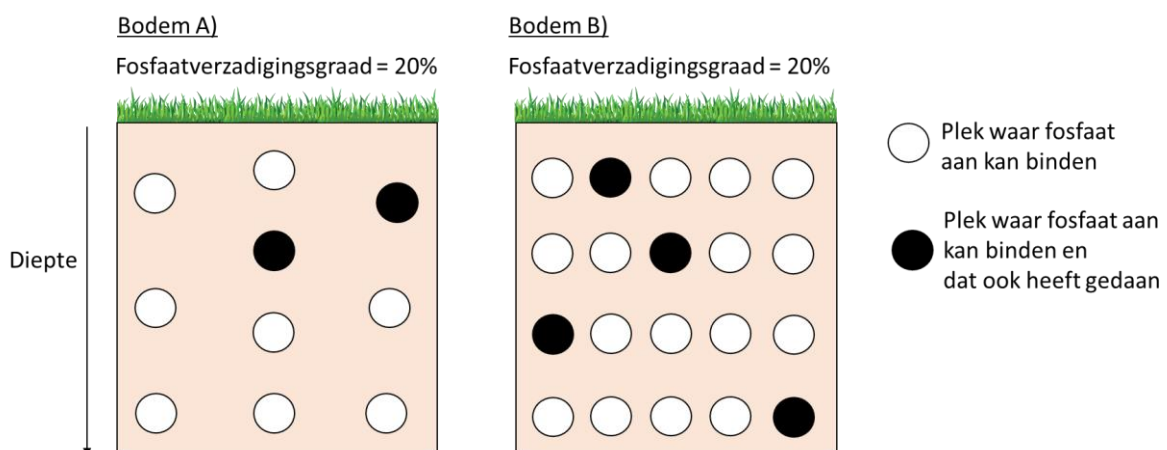
Het opladen van de bodem met fosfaat door de landbouw

Om in de landbouw een voldoende hoge productie te garanderen wordt bemest met de macronutriënten stikstof, fosfaat en kalium, de mesonutriënten calcium, magnesium, natrium en zwavel, en de micronutriënten en wordt met kalk de zuurgraad voldoende hoog gehouden. Stikstof is voor productiegrasland veelal bepalend voor de opbrengst en in combinatie met de overige nutriënten wordt ook een voldoende hoge kwaliteit van het gras voor de voeding van (melk)koeien voorzien. Stikstof bindt echter weinig aan de bodem en kan door biologische omzettingen worden opgenomen in het organische stof of uit de bodem verdwijnen als gas of door uitspoeling. Kalium maakt samen met de andere kationen (Ca, Mg, Na, en onder zure omstandigheden ook Al) onderdeel uit van de bezetting van het klei-humuscomplex (CEC). De beschikbaarheid van kalium is enerzijds afhankelijk van de bindingscapaciteit (CEC) en anderzijds van de verhouding met de andere kationen.

Voor een groeiend gewas is voor fosfaat de levering uit de bodem belangrijker is dan de levering uit mest. Voor de landbouw is bemesting daarom veelal gericht op het verkrijgen – en daarna handhaven – van een voldoende hoge beschikbaarheid van fosfaat in de bodem. In Nederland zijn de bemestingsadviezen gebaseerd op streefwaarden voor P-AL (reversibel gebonden) en P-CaCl₂ (direct beschikbaar, Figuur 2-1). Fosfaat (P) bindt sterk aan de bodem en door (historische) bemesting neemt de directe beschikbaarheid en de (snel) beschikbare reserves toe.

Bodems verschillen echter sterk van elkaar in het effect van historische bemesting op de opbouw van fosfaatvoorraden in de bodem. Dit komt door verschillen in de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden. De capaciteit om fosfaat te binden wordt op kalkarme zandgronden en veengronden bepaald door de hoeveelheid ijzer- en aluminium(hydr)oxiden in de bodem (Schoumans, 2013). Bij hoge gehalten aan ijzer en aluminium (hoge bindingscapaciteit) is meer fosfaat nodig om een bepaalde streefwaarde voor de fosfaatbeschikbaarheid te bereiken dan bij percelen waar de gehalten aan ijzer en aluminium laag zijn. Bij een vergelijkbare historisch fosfaatoverschot (afvoer – aanvoer) zijn de opgebouwde reserves groter op bodems met een hoge bindingscapaciteit dan op bodems met een lage bindingscapaciteit.

Dit is in Figuur 2-2 geïllustreerd voor twee bodems waarvan de maximale fosfaat bindingscapaciteit (Q_{max}, som van zwarte en witte bolletjes) hoger is in bodem B dan in bodem A. De witte bolletjes zijn de lege bindingsplaatsen waar fosfaat nog aan kan binden en de zwarte bolletjes zijn de bindingsplaatsen waar fosfaat wel aan is gebonden. De mate waarin de bindingscapaciteit is opgeladen met fosfaat is de fosfaatverzadigingsgraad (gebonden fosfaat/ bindingscapaciteit * 100) en is een maat voor de fosfaatbeschikbaarheid. Voor zowel bodem A als B is de fosfaat beschikbaarheid gelijk (20%) maar door de twee keer zo hoge bindingscapaciteit in bodem B, zijn de fosfaatreserves ook twee keer zo hoog in bodem B.



Figuur 2-2: Illustratie van twee bodems met een gelijke fosfaatverzadigingsgraad, maar met een verschillende maximale fosfaat bindingscapaciteit

De mate waarin de bodem is opgeladen met fosfaat – de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) - heeft een sterke (vaak 1 op 1) relatie met de P-AL waarde van de bodem op zand- en veengronden (van Rotterdam & van Doorn, 2021, Bussink et al. 2012). Op bodems met een lage bindingscapaciteit kan als gevolg van historische bemesting de fosfaatbeschikbaarheid (FVG, P-AL) sterk zijn verhoogd, maar zullen de totaal opgebouwde reserves relatief laag zijn. Wanneer het wenselijk is om een hoge fosfaatbeschikbaarheid te verlagen (het wit maken van zwarte bolletjes in Figuur 2) hoeft op bodems met een lage bindingscapaciteit minder fosfaat te worden onttrokken dan op bodems met een hoge bindingscapaciteit.

Vernatting en fosfaatmobilisatie

In een bodem met lucht in de poriën wordt door micro-organismen het aanwezige zuurstof gebruikt om organische stof te mineraliseren. Bij vernatting van de bodem waarbij de poriën volledig worden gevuld met water raakt het aanwezige zuurstof in de bodem snel op. De omstandigheden veranderen van aerob (zuurstof aanwezig of geoxideerd) naar anaerob (zuurstofloos of gereduceerd). Het ontstaan van gereduceerde omstandigheden is een microbiële gedreven proces. Wanneer een bodem verzadigd is met water passen micro-organismen zich aan door een andere hulpstof (electronendonor) te gebruiken om aan voedsel (organische stof afbraakproducten) te komen. Na zuurstof is de reductie van nitraat energetisch het meest gunstig. Wanneer het nitraat op is wordt mangaan gereduceerd en daarna ijzer en sulfaat. IJzer (Fe(III)) is in de bodem aanwezig als Fe(hydr-)oxides en is samen met Al(hydr)oxides het belangrijkste oppervlak waar P aan bindt.

Onder anaerobe omstandigheden kan de P-beschikbaarheid sterk toenemen wanneer micro-organismen ijzer (Fe III) gaan gebruiken. Het Fe(III) wordt gereduceerd naar Fe(II) waardoor de Fe(hydr-)oxides (deels) in oplossing gaan; de oplosbaarheid van Fe(II) is veel hoger dan van Fe(III). Het gevolg is dat het fosfaat dat aan het oppervlak van deze Fe(hydr)oxide gebonden zat vrij komt (Khalid, 1974). De directe P beschikbaarheid neemt daardoor sterk toe. Naast P komt ook het gereduceerde Fe(II) in oplossing. Het vrijkomen van P door vernatting wordt **interne eutrofiëring** genoemd. Onder anaerobe omstandigheden kan het opgeloste Fe en P uitspoelen naar diepere lagen in het bodemprofiel of via laterale stroombanen naar het oppervlaktewater worden getransporteerd.

Wanneer de omstandigheden weer aerob (zuurstof in de bodem) worden oxideert het Fe(II) tot Fe(hydr-)oxide. In de aanwezigheid van P worden echter de zeer onoplosbare Fe-hydroxyfosfaten gevormd (Van der Grift, 2017). Ander onderzoek in het laboratorium heeft uitgewezen dat de binding van P aan de nieuw gevormde Fe(hydr-)oxide na vernatting sterker is dan voor vernatting (Kemmers en Nelemans, 2007). De reden hiervoor werd in die studie gezocht in het omzetten van kristallijn Fe dat in de bodemmatrix aanwezig is en waar P niet aan bindt, in amorfe Fe-(hydr)oxiden waar P wel aan bindt. Dit zou betekenen dat op de langere termijn bij wisselende grondwaterstanden de bindingscapaciteit voor P zou kunnen toenemen. (Kemmers & Nelemans, 2007).

Sulfaat speelt een belangrijke rol in dit proces omdat het de beschikbaarheid van P op twee manieren beïnvloedt. De eerste manier is het versnellen van het oplossen van de Fe(hydr)oxiden: wanneer door de gereduceerde omstandigheden ook sulfaat wordt omgezet in sulfide, kan dit sulfide direct een chemische reactie aangaan met het Fe(hydr)oxide. Het Fe(hydr)oxide lost op en het vrijgekomen Fe reageert met de sulfide en vormt het zeer onoplosbare FeS₂. Dit leidt tot verlaagde bindingscapaciteit voor P.

De tweede manier is dat sulfaat in natte anaerobe bodems ook kan fungeren als electronenacceptor. De reductie van sulfaat is energetisch iets ongunstiger maar treedt ook op als Fe-reductie nog optreedt. Bij sulfaatreductie wordt sulfide gevormd. Dit reageert met het gereduceerde ijzer in de bodem waarbij moeilijk oplosbare ijzersulfiden (FeS_x) worden gevormd (Lamers et al., 1998; Smolders et al., 2006). Wanneer het gereduceerde ijzer reageert met het sulfide kan het Fe(II) niet meer oxideren tot Fe(hydr)oxide wanneer de omstandigheden weer oxidisch worden. Hierdoor gaat er P-bindingsoppervlak blijvend verloren. De vrijgekomen P blijft nu mobiel.

Factoren die een rol spelen bij interne eutrofiëring zijn:

- De aanwezigheid van makkelijk afbreekbare organisch stof;
- Anaerobe omstandigheden, die bijvoorbeeld kunnen ontstaan door een hoog grondwaterpeil;
- De aanwezigheid van Fe(hydr-)oxiden;
- De aanwezigheid van geadsorbeerd P (P-AL) en totaal beschikbaar P (P-ox); en
- De aanwezigheid van beschikbaar sulfaat.

De mate waarin het opzetten van het grondwaterpeil leidt tot P mobilisatie door interne eutrofiëring is afhankelijk van de bodemsamenstelling. Dit is vooral afhankelijk van de aanwezigheid van bindingsoppervlak voor P, de mate waarin dit is opgeladen met P en de interactie met zwavel. Deze processen zijn in alle grondsoorten vergelijkbaar.

2.2 Afgraven, verschrallen of uitmijnen?

Een hoge beschikbaarheid van fosfaat in de bodem is een belemmering voor de ontwikkeling van met name soortenrijke vegetaties die gedijen onder voedselarme omstandigheden. Bij een hoge beschikbaarheid van stikstof gedijen hoogproductieve grassen en wordt licht limiterend voor de laagproductieve (gras)soorten. Wanneer agrarische percelen uit productie worden genomen neemt de stikstof beschikbaarheid uit historische bemesting snel af. Omdat – in tegenstelling tot stikstof – fosfaat wel sterk bindt aan de bodem zijn de fosfaatreserves en de fosfaatbeschikbaarheid vaak dusdanig hoog dat dit beperkend is voor de beoogde (voedselarme) vegetatie. Bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden wordt daarom veel aandacht besteed aan het verlagen van de fosfaattoestand. Hiervoor bestaan verschillende maatregelen die, met een toenemende mate van impact, variëren van verschrallen, uitmijnen, afplaggen tot afgraven.

Het effect van de verschillende maatregelen om de fosfaattoestand van de bodem te verlagen zijn in een 10-jarig experiment in Roeghoorn onderzocht en worden in voorliggende rapport gepresenteerd. De maatregelen zijn afgraven, uitmijnen en verschrallen en gedurende de proef is de grondwaterstand, opbrengst, vegetatie-ontwikkeling, vegetatiesamenstelling, en bodemsamenstelling op meerdere dieptes gemonitord.

3 Aanpak

De aanpak is tweeledig; enerzijds gericht op de technisch inhoudelijk kant en anderzijds gericht op de communicatie en samenwerking tussen betrokken partijen.

1. Om inzicht te krijgen in de effectiviteit van inrichtingsmaatregelen op bodem en vegetatie en om handvatten te ontwikkelen voor de overgang van inrichtingsbeheer (landbouw omzetten naar natuur) naar regulier natuurbeheer zijn oude en nieuwe proefgegevens verzameld, uitgewerkt en in een bredere context geplaatst. De praktijkproef bestaat uit twee onderdelen:
 - a. Monitoring van het effect van uitmijnen dat op 75 ha in samenwerking met de lokale melkveehouder wordt uitgevoerd;
 - b. Praktijkproef met 12 proefplotjes (6 locaties met 2 behandelingen) waar op detailniveau inzicht wordt verkregen in de relatie tussen maatregelen, bodem, hydrologie en vegetatie.
2. Om inzicht te geven in de samenwerking tussen natuurbeheerders, pachters, waterschappen en lokale overheden zijn twee werksessies georganiseerd waarin de ervaringen van de afgelopen jaren zijn gedeeld. Hieruit zijn lessen getrokken voor andere gebieden en toekomstige samenwerkingen. Met de lokale melkveehouder is geïnventariseerd wat de mogelijkheden zijn om het maaisel uit het beekdal optimaal in te zetten in zijn bedrijfsvoering. Daarnaast is nagegaan hoe de inpasbaarheid van het maaisel in het bedrijf is veranderd over de jaren. Dit geeft een goede basis voor afspraken die natuurbeheerders met pachters kunnen maken in nieuwe gebieden waar voor uitmijnen wordt gekozen.

3.1 Monitoring uitmijnen beekdal

Op de 75 ha waar de afgelopen 10 jaar is uitgemijnd zijn de veranderingen in de bodemsamenstelling en met name in de fosfaattoestand onderzocht door het initiële bodemonderzoek te herhalen. Het initiële onderzoek vond plaats in 2008. In 2008 en in 2020 zijn op 50 percelen de bovenste 10cm van de bodem onderzocht op algemene bodemsamenstelling, zuurgraad en zuurbuffering en bodemvruchtbaarheid met een speciale focus op de fosfaattoestand van de bodem.

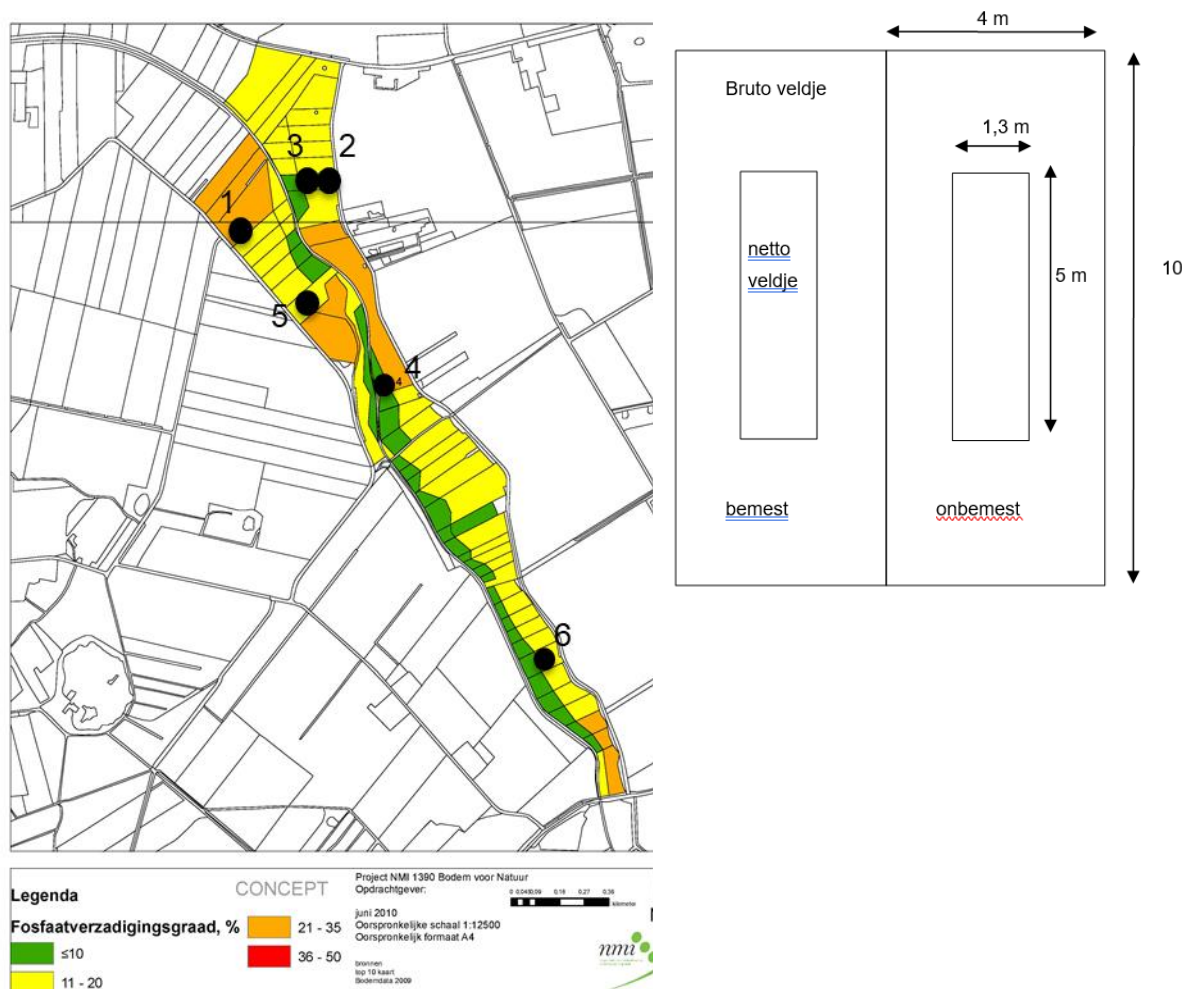
3.2 Detailproef

In de proef zijn 12 proefveldjes aangelegd; 6 locaties met ieder twee behandelingen. Elk proefveldje bestaat óf uit een verschalingsbehandeling (a) waar P is onttrokken door maaien en afvoeren óf uit een uitmijnbehandeling (b) waar P maximaal is onttrokken door met stikstof (N) en kalium (K) te bemesten. Twee van de zes locaties (locatie 3 en 6) liggen in een gedeelte langs de beek waar 20-30 cm van de bovengrond is afgegraven om het overstromen van de beek in nattere periodes mogelijk te maken. De proef is zo opgezet dat het effect van afgraven, uitmijnen en verschralen kan worden onderzocht bij verschillende uitgangstoestanden ten aanzien van grondsoort, vochttoestand/ hydrologische situatie en fosfaattoestand (zie Figuur 3-1 voor de ligging van de proefveldjes). Tabel 3-1 geeft een overzicht van de belangrijkste onderscheidende kenmerken van de zes proeflocaties.

Tabel 3-1. Overzicht van de belangrijkste onderscheidende kenmerken (kwalitatief) van de zes proeflocaties.

Locatie	Bodemsoort	Geplagd	Vochttoestand	Fosfaattoestand toplaag (0-10cm) verschraling/ uitmijn behandeling
1	Leemarm zand	Nee	Droog (GT 2)	Suboptimaal matig voedselrijk/ idem
2	Lemig fijn zand	Nee	Droog (GT 2)	Optimaal matig voedselrijk/ idem
3	Leemarm zand	Ja	Droog/ vochtig (GT 1)	Suboptimaal matig voedselrijk/ Voedselarm
4	Veen op zand	Nee	Vochtig (GT 1)	Optimaal matig voedselrijk/ Voedselarm
5	Zand op veen	Nee	Vochtig (GT 1)	Optimaal matig voedselrijk/ Suboptimaal matig voedselrijk
6	Zand op veen	Ja	Nat (GT 1)	Voedselarm/ idem

Rond de zes proeflocaties is een gedeelte met een afmeting van ca. 25 x 25 m afgebakend waar geen bemesting is uitgevoerd in het kader van het uitmijnen in het beekdal. Daarbinnen zijn 2 proefveldjes aangelegd met een afmeting van 4 x 10 m (Figuur 3-1); één uitmijnbehandeling (bemest met N en K) en één behandeling met verschrallingsbeheer (onbemest). Dit zijn de bruto veldjes waar tussen 2010 en 2014 jaarlijks (2013 niet), in 2017 en in 2020 bodemonderzoek is uitgevoerd. Binnen de bruto veldjes is voor de opbrengstbepalingen een netto-veldje uitgezet van 1,3 x 5 m. Op de bruto veldjes is tussen 2010 en 2014 en in 2020 gewasopbrengst en samenstelling bepaald.



Figuur 3-1 Ligging van de zes proeflocaties binnen het beekdal (links) en de schematische weergave van de proefopzet per locatie (rechts). Elk van de 6 proeflocaties valt binnen een gebied van 25 bij 25m waar geen bemesting heeft plaatsgevonden in het kader van het uitmijnen in het beekdal.

3.2.1 Bemesting en bekalking

Zowel in de proefbehandelingen als bij het uitmijnen in de rest van het beekdal is de bemesting over de tijd stapsgewijs verlaagd. In het beekdal en in de hoger gelegen proefplots die aan het begin drie keer per jaar gemaaid konden worden was de bemesting de eerste vijf jaar 300 kg N en 317 kg K₂O. Op de vochtigere proeflocaties met een verwachte maaifrequentie van 2 keer per jaar was aan het begin van de proef de gift 220 kg N en 233 kg K₂O. In het beekdal is op de slecht bereikbare natte lager gelegen delen langs de beek niet bemest. Na 5 jaar is deze gift gehalveerd en na 8 jaar verder afgebouwd tot 60 kg N en 75 kg K₂O. De bemesting is aangepast aan de verwachte maaifrequentie en drogestofopbrengst. Om de zuurgraad van de bodem optimaal te houden is in zowel 2015 als in 2018 het gehele gebied bekalkt met 1 ton zeeschelpenkalk per hectare.

3.2.2 Metingen

De eerste vijf jaar van de proef (2010-2014) zijn bodem, gewas en vegetatie jaarlijks gemeten. Daarna heeft in 2017 aanvullend bodemonderzoek plaatsgevonden. In 2020 is weer bodem- en gewasonderzoek uitgevoerd. In het bodemonderzoek van 2011, 2014, 2017 en 2020 is niet alleen de toplaag van 10cm bemonsterd maar ook de diepere bodemlagen, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de bodemlagen 10-30cm en 30-50cm. Jaarlijks zijn door de boswachter ecooloog van Staatsbosbeheer soortenopnames gemaakt op alle 12 de proefplots. Daarnaast is vanaf 2010 elke maand de grondwaterstand op elk van de 6 locaties gemeten.

Tabel 3-2 geeft een overzicht van de metingen die zijn uitgevoerd.

Tabel 3-2. Overzicht van de metingen die zijn uitgevoerd in de proef

Type onderzoek	Details	Jaren
Grondwaterstand	Elke locatie, 2 keer per maand	Vanaf 2011 elk jaar
Grondonderzoek	Bemonsteringsdiepte 0-10cm	2010, 2011, 2012, 2014, 2017, 2020
	Bemonsteringsdiepte 10-30 en 30-50 cm	2011, 2014, 2017, 2020
Bemesting	Uitmijnbehandelingen locaties 1 t/m 3 drie keer en op de locaties 4 t/m 6 twee keer per jaar bemest met N & K. Over de tijd is de bemesting afgebouwd	Elk jaar tussen 2010 en 2020
Gewasopbrengst en samenstelling	Op locaties 1 t/m 3 zijn drie snedes en op de locaties 4 t/m 6 zijn twee snedes per jaar geoogst (alleen in 2010 en 2014)	Elk jaar tussen 2010 en 2014, 2020
Vegetatieonderzoek	Vanaf 2010 in proefplotjes	Vanaf 2010 elk jaar

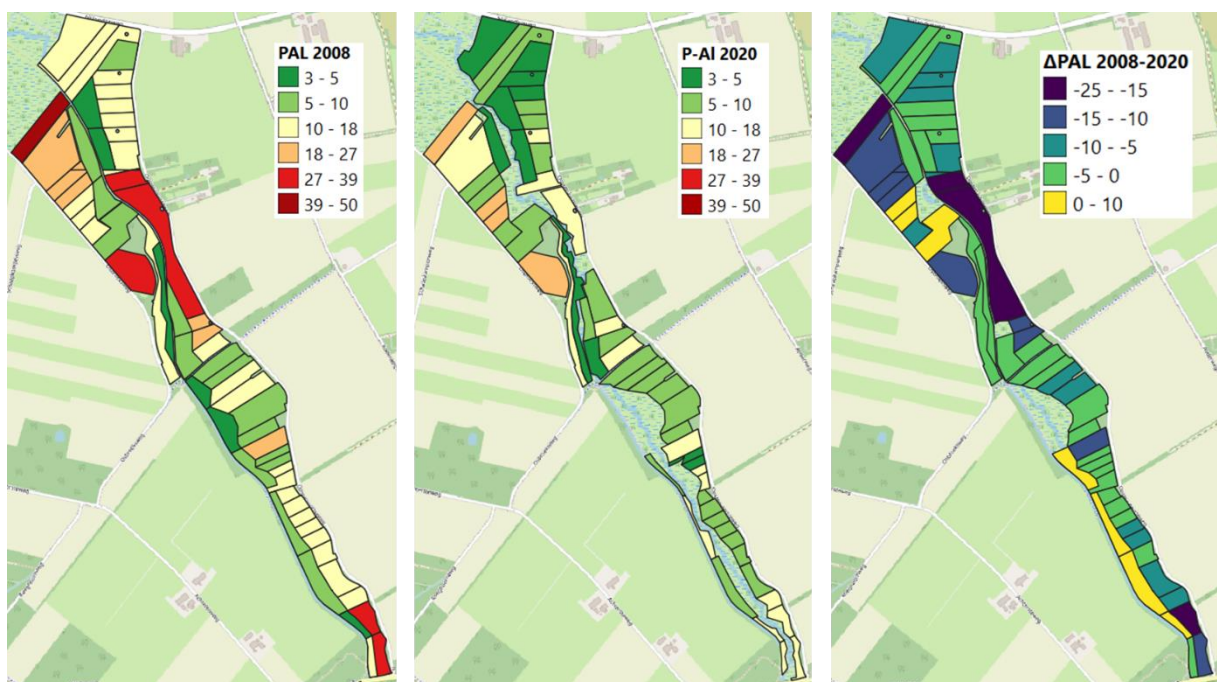
De proefopzet en tussenresultaten zijn in meerdere rapporten beschreven (Postma et al., 2009, 2011-1, 2011-2, Van Rotterdam et al., 2014 en 2017). Voor meer details over de proef wordt naar deze rapporten verwezen.

4 Resultaten uitmijnen beekdal

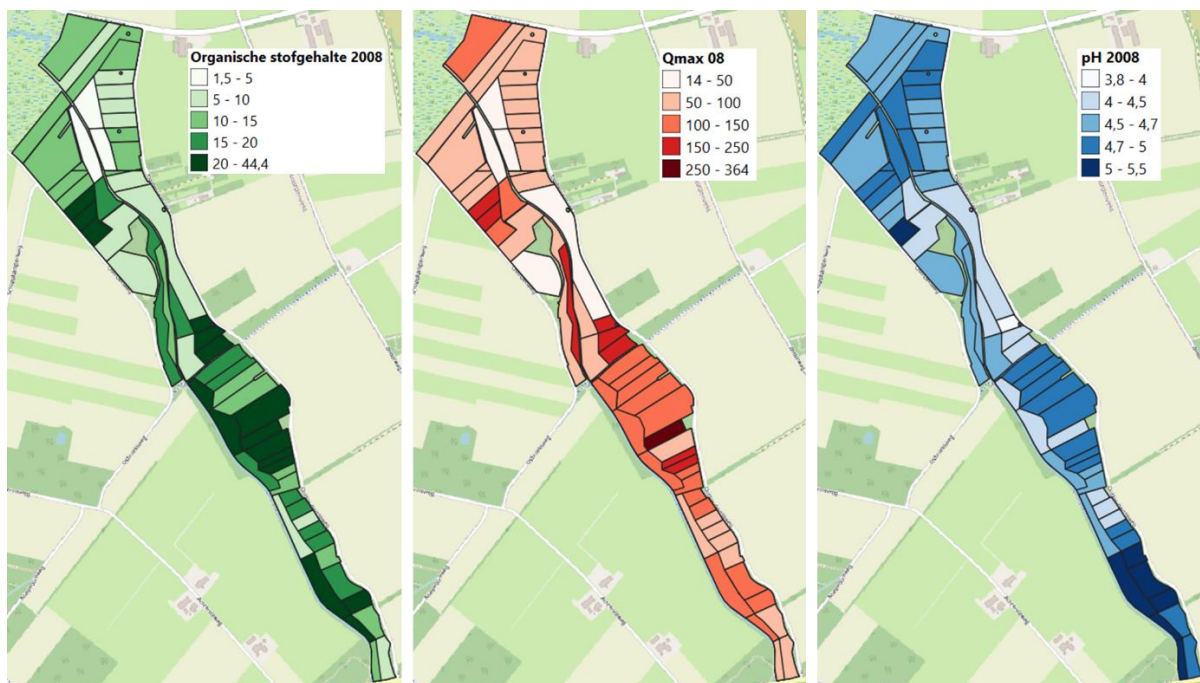
In zowel 2008 als in 2020 is een beekdal-dekkend beeld van de toplaag (0-10cm) van de bodem verkregen. In grasland wordt voor standaard agrarisch bodemonderzoek ten behoeve van het bemestingsadvies de bovenste 10 cm van de bodem bemonsterd. De reden is dat de wortels zich met name in de bovenste 10cm bevinden en dat ook de opbouw van nutriënten als gevolg van bemesting vooral in de bovenste 10cm plaatsvindt. De resultaten van de proef in het beekdal laten een nauwe relatie zien tussen het P-gehalte in de vegetatie en het beschikbaar P in de bodem zoals gemeten met P-AI in de bovenste 10 cm van de bodem (zie Figuur 5-7 in hoofdstuk 5).

De fosfaattoestand van de bovenste 10cm van de bodem varieerde in de uitgangssituatie in 2008 sterk binnen het gebied (Figuur 4-1, links). In de uitgangssituatie is de fosfaattoestand in de afgegraven delen langs de beek matig voedselarm (P-AI 5 – 10 mg P₂O₅/100g) tot voedselarm (P-AI 3 – 5) in de toplaag van de bodem. In de hoger gelegen delen varieert de fosfaattoestand sterk; van matig voedselarm (P-AI 5 – 10) tot zeer voedselrijk (P-AI >39). De hoogste P-beschikbaarheid wordt gevonden in die locaties waar het organische stofgehalte relatief laag is en de bindingscapaciteit gering (Figuur 4-2).

In samenwerking met de lokale pachter (Smeenge) is in 2010 gestart met uitmijnen (N+K bemesting) met als doel om de fosfaattoestand versneld te doen dalen in het gehele gebied van de Roeghoorn. Zoals verwacht heeft dit geleid tot een daling van de fosfaattoestand in de toplaag van de bodem (Figuur 4-1 midden en rechts). De daling van de fosfaattoestand varieert ook sterk binnen het beekdal en is hoog op de hoger gelegen delen en laag op de afgegraven delen langs de beek.

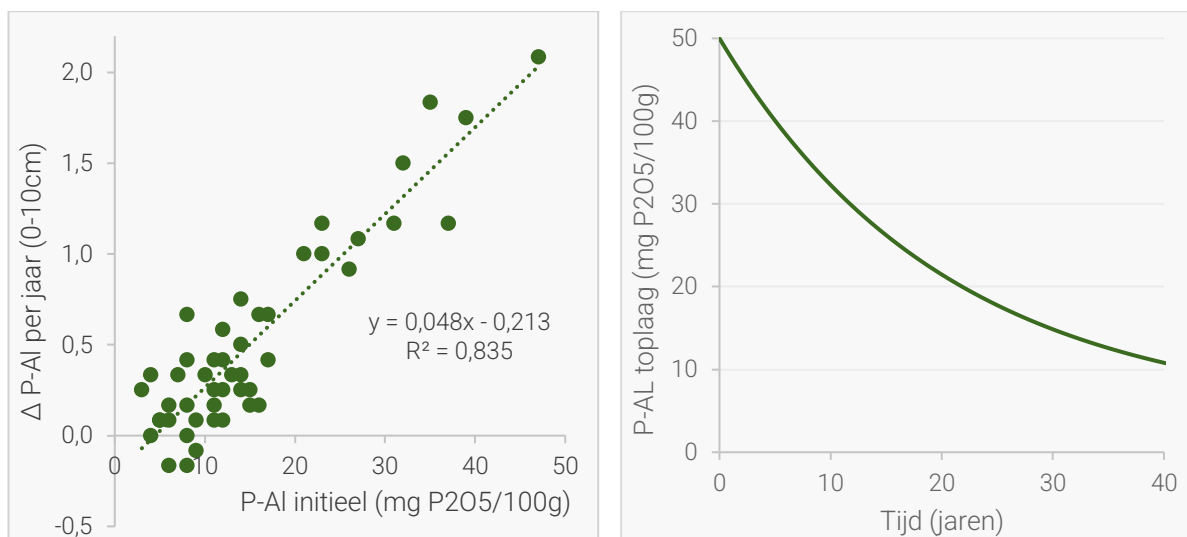


Figuur 4-1 Beschikbaar P gemeten als P-AI in de bovenste 10cm van de bodem in 2008 (links), 2020 (midden) en het verschil tussen 2008 en 2020 (rechts).



Figuur 4-2 Organische stofgehalte (links) maximale bindingscapaciteit voor fosfaat (midden) en de zuurgraad van de bodem (pH-CaCl₂, rechts) in de bovenste 10cm van de bodem gemeten in 2008.

De snelheid waarmee het beschikbaar fosfaat daalt (gemiddelde daling van P-AI per jaar) is sterk afhankelijk van de initiële fosfaattoestand; hoe hoger de initiële fosfaattoestand, hoe sneller deze daalt (Figuur 4-3). Bij hoge fosfaattoestanden is gedurende de 10 jaar dat is uitgemijnd het beschikbaar P sterk gedaald. Op de locatie met een P-AI van 47 is deze in 10 jaar gedaald tot een P-AI van 22 (Figuur 4-3). Dit komt overeen met een daling van het beschikbaar P met meer dan 2 P-AI-eenheden per jaar bij een P-AI rond 50 mg P₂O₅/100g. Naarmate P-AI daalt gaat de verandering in P-AI ook steeds langzamer. Op basis van de lineaire relatie tussen de verandering in P-AI en P-AI in de uitgangssituatie (Figuur 4-3, links) kan worden berekend hoe P-AI in de toplaag steeds langzamer daalt (Figuur 4-3, rechts). De daling stabiliseert bij een P-AI rond 10 mg P₂O₅/100g en dan is het afhankelijk van de locatie of deze nog iets daalt of zelfs stijgt. De stijging van het beschikbaar P in de toplaag van de bodem vindt in het beekdal alleen plaats op locaties met een laag beschikbaar P in combinatie met natte omstandigheden door kwel of door stagnerend water.



Figuur 4-3 Verandering in P-AI in de toplaag (0-10cm) van de bodem per jaar (verschil tussen P-AI in 2020 en 2008) versus de initiële P-AI in 2008 (links) en de berekende gemiddelde afname van P-AI over de tijd P-AI berekend met de formule in de linker figuur (rechts).

De nauwe relatie tussen de verandering in de fosfaattoestand van de bodem en de initiële fosfaattoestand zoals gevonden in Roeghoorn (Figuur 4-3, links) is in verschillende eerdere studies ook aangetoond (onder andere Johnston et al., 2019, Schelfhout, 2019; Amery et al., 2021). Behalve dat de natte omstandigheden op de locaties met een lage initiële fosfaattoestand een verklaring zijn voor de toename in het beschikbaar P in de toplaag van de bodem tussen 2008 en 2020, leverde geen andere bodemvariabele een bijdrage aan het beter verklaren van de verandering in het beschikbaar P in de toplaag dan de initiële P-AI.

In het beekdal is met stikstof en met kalium kunstmest bemest. Uit de detailproef (hoofdstuk 5) lijkt met name kalium limiterend te zijn voor de drogestof opbrengsten wanneer het beschikbaar P in de toplaag hoger is dan P-AI 5 (daaronder is P limiterend). In het beekdal was het beschikbaar K in de uitgangssituatie zeer laag (K-CaCl₂ lager dan 50 mg/kg) met als uitzondering de locaties met veen in de toplaag van de bodem (organische stofgehalte >20%, Figuur 4-2). Met het organische stofgehalte neemt de K-beschikbaarheid (sterk) toe. Na 10 jaar bemesten met Kalium is het beschikbaar K in de toplaag van de bodem toegenomen. Alleen in het zuidelijkste deel van het beekdal en de afgegraven stukken is de Kalium beschikbaarheid in 2020 na 10 jaar uitmijnen nog laag (K-CaCl₂ 50 tot 100 mg/kg) tot zeer laag (K-CaCl₂<50 mg/kg).



Figuur 4-4 Beschikbaar K gemeten als K-CaCl₂ (mg/kg) in de bovenste 10cm van de bodem in 2008 (links), 2020 (midden) en het verschil tussen 2008 en 2020 (rechts).

Met de monitoring van de bodem tussen 2008 en 2020 is inzicht gekregen in veranderingen in alleen de toplaag (0-10cm) op perceelniveau als gevolg van uitmijnen. Om een gedetailleerd begrip te krijgen van de effectiviteit van uitmijnen versus verschralen en het effect van afgraven en vernatten is ook een detailproef uitgevoerd. De resultaten van de proef worden in het volgende hoofdstuk beschreven.

Conclusies monitoring beekdal

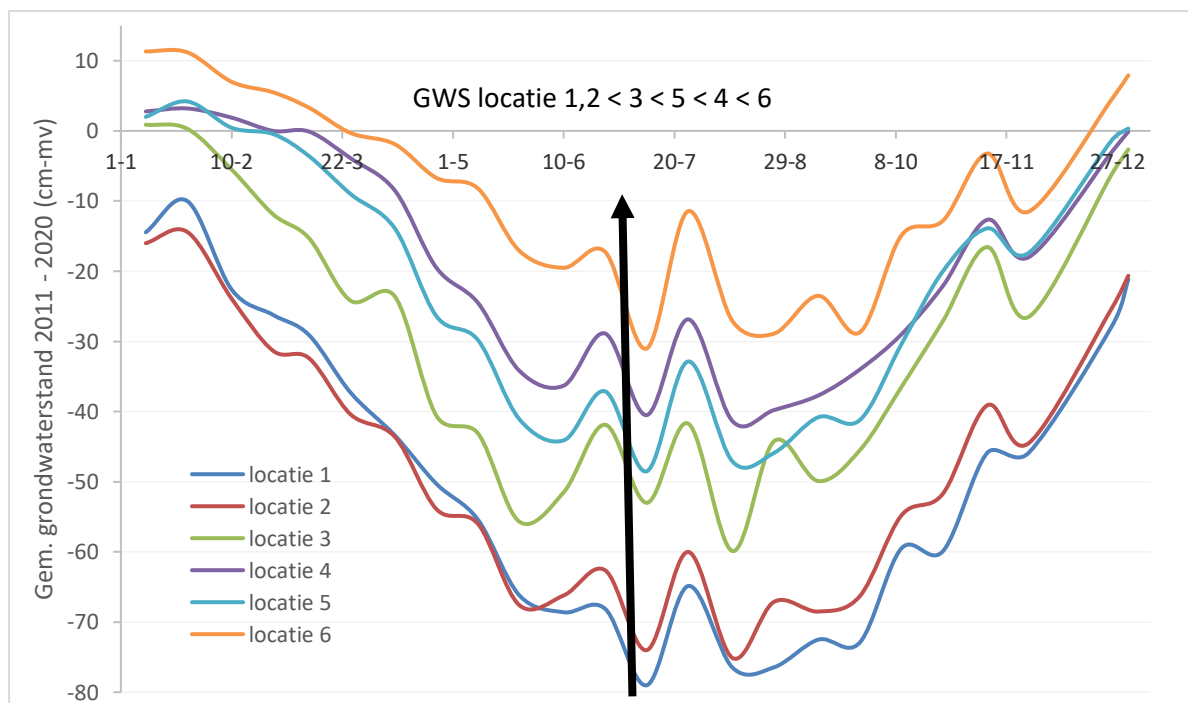
- In het beekdal varieert in de uitgangssituatie de fosfaattoestand in de toplaag (0-10cm) van de bodem sterk en is de initiële K-beschikbaarheid laag.

- Na 12 jaar uitmijnen door het toedienen van N-en K-meststoffen en bekalking is de fosfaattoestand van de bodem sterk gedaald op locaties waar de fosfaattoestand in de uitgangssituatie hoog was en de bindingscapaciteit beperkt.
- De snelheid waarmee het beschikbaar fosfaat in de toplaag afneemt is een functie van de initiële fosfaattoestand. Met de tijd wordt de verandering van de fosfaattoestand daarom steeds kleiner.
- Bij een P-AI kleiner dan 18 mg P₂O₅/100g is de verandering beperkter en variabeler en kan deze fluctueren tussen een geringe afname per jaar tot een geringe toename als gevolg van de aanvoer uit diepere bodemlagen dan wel de mobilisatie van P-reserves.

5 Resultaten detailproef

5.1 Grondwaterstand

Belangrijk onderdeel van de herontwikkeling van het Oostervoortschediep is het herstel van het hydrologische gradiënt in het beekdal. Vanaf 2011 is elke maand in de peilbuizen die bij alle zes proeflocaties staan de grondwaterstand gemeten (Figuur 5-1). Locatie 6 ligt in een laagte naast de beek en is een zeer natte locatie waarbij het water zeker 3 maanden per jaar boven maaiveld staat. In de zomer zakt het grondwater niet dieper dan 20 tot 30cm onder maaiveld. Ook locatie 4 en 5 zijn vochtige locaties waar het grondwater gedurende de winter maanden tot, of net boven maaiveld staat maar in de zomer tot 40cm uitzakt. Ook op locatie 3 kan het water in de winter tot maaiveld komen maar zakt deze in de zomer uit tot gemiddeld 50cm onder maaiveld. De locaties 1 en 2 zijn duidelijk droger (GT II) dan de andere locaties (GT I); het water komt ook in de winter niet tot maaiveld en zakt tot gemiddeld 70cm onder maaiveld in de zomer.



Figuur 5-1 Gemiddelde fluctuaties in de grondwaterstand gedurende het jaar zoals gemeten tussen 2011 en 2020 (cm-maaiveld).

5.2 Vegetatie

Vanaf 2011 is jaarlijks de vegetatiesamenstelling geïnventariseerd op elk van de 12 proefplots. In de 10 jaar dat de vegetatie is gemonitord, is op de meeste locaties geen tot slechts een geringe verandering in het aantal soorten waargenomen (Figuur 5-2). Op locatie 1, 2 en 4 is het aantal soorten vrij gering en

is er in zowel de uitmijn- als in de verschralingsbehandeling geen verandering in het aantal soorten gedurende de 10 jaar van de proef.

Op de locaties waar is afgeplagd (locaties 3 en 6) is het aantal soorten hoger dan op de locaties waar dat niet is gebeurd. Op locatie 3 is er geen (statistisch significante, $p < 0.05$) verandering in het aantal soorten. Wel is in de uitmijnbehandeling het aantal zeldzame soorten en/ of de abundantie van zeldzame soorten het hoogst van alle locaties en is deze ook significant toegenomen gedurende de proef. Op locatie 3 is er veel gewoon haakmos, met name bij de verschralingsbehandeling. De soort is hier sinds 2014 "dominant". Op locatie 6 is het aantal soorten ook hoger dan op de niet-afgeplagde locaties. In de uitmijnbehandeling neemt het aantal soorten significant af gedurende de proef en is rietgras dominant geworden (liesgras talrijk). In de verschralingsbehandeling verandert het aantal soorten niet gedurende de 10 jaar.

Op locatie 5 neemt het aantal soorten in de verschralingsbehandeling, maar met name in de uitmijnbehandeling, significant toe gedurende de proef.

Op de drogere locaties (1, 2 en 3) neemt op de bemeste plots ridderzuring/krulzuring toe. Ook in de rest van het beekdal vindt een toename van ridderzuring plaats (teken van verruiging) op de hogere delen waar uitmijnen plaatsvindt.



Figuur 5-2 Verandering in het aantal soorten op de 6 locaties gedurende de proef (2011 tot en met 2020) waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen de uitmijn- en de verschralingsbehandeling.

Gedurende de 10 jaar van de proef is de soortenrijkdom van de vegetatie slechts zeer beperkt veranderd. Het aantal soorten neemt slechts op één van de zes proeflocaties toe. Op de natste locaties neemt in de uitmijnbehandeling het aantal soorten af.

Afgraven heeft een direct en duidelijk positief effect op het aantal soorten en de aanwezigheid van zeldzame soorten in vergelijking met uitmijnen of verschralen.

5.2.1 Opbrengst en fosfaatonttrekking

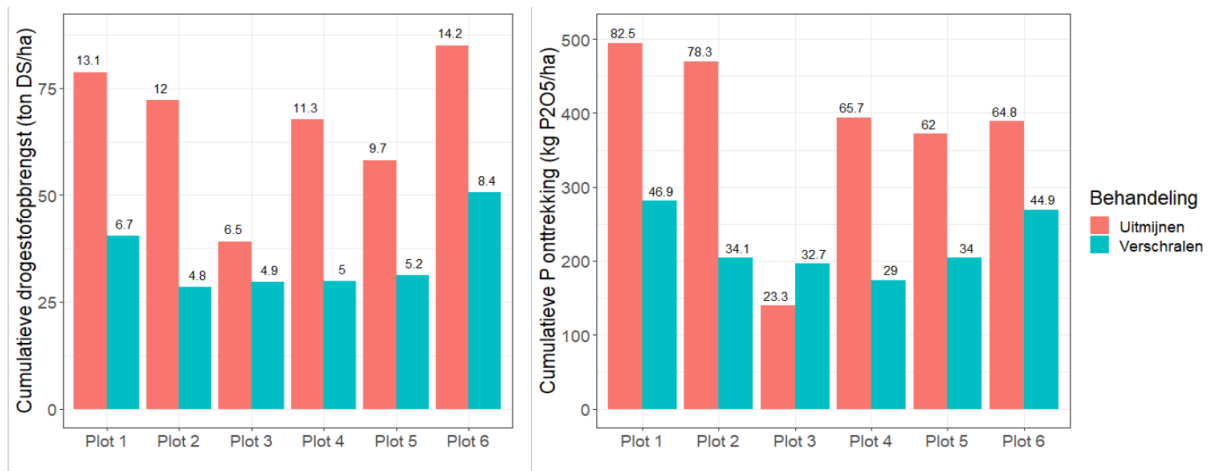
Met uitmijnen wordt, door het verhogen van de gewasproductie, de fosfaatonttrekking bevorderd (Figuur 5-3). Bij verschralen is de drogestof (ds) opbrengst gemiddeld over de 6 plots en de 10 jaar 5.8 ton ds

per hectare en de fosfaatonttrekking 37 kg P₂O₅/ha. Bij uitmijnen is de opbrengst met 10.9 ton/ha en met een fosfaatonttrekking van 69 kg P₂O₅/ha gemiddelde een factor 1.9 hoger dan bij verschralen. Tussen plots en in de tijd zijn er echter verschillen.

Bij verschralen is de drogestof opbrengst het hoogst op de plot met de hoogste grondwaterstand (gemiddeld 8.4 ton/ha op plot 6) gevolgd door de plot met aan het begin van de proef de hoogste voedselrijkdom (gemiddeld 6.7 ton/ha op plot 1, Figuur 5-3). Op de andere locaties is de opbrengst ongeveer 5 ton ds/ha. De P-onttrekking geeft hetzelfde beeld als de drogestof opbrengst alleen is de P-onttrekking op plot 1 en 6 vergelijkbaar. Op plot 6 is de lagere P-onttrekking dan verwacht mag worden op basis van de drogestof opbrengst waarschijnlijk het gevolg van een andere vegetatiesamenstelling (dominantie rietgras) en/ of door een lagere P-beschikbaarheid en P-levering door de bodem.

Met N- en K-bemesting in de uitmijnbehandelingen is de opbrengst hoger dan 10 ton ds per hectare, uitgezonderd plot 3. Het verschil tussen de plots is met bemesting groter dan zonder. De hoogste opbrengst wordt weer gemeten op de plot met de hoogste grondwaterstand (plot 6) gevolgd door de plot met aan het begin van de proef de hoogste voedselrijkdom (plot 1).

Op plot 3 en 6 is de toplaag van de bodem verwijderd voorafgaand aan de proef. Opmerkelijk is dat op plot 6 de opbrengst met zowel verschralen als uitmijnen het hoogst is van de 6 plots ondanks dat de toplaag is verwijderd en dat door de natte omstandigheden minder is bemest en minder vaak is gemaaid en afgevoerd. De vegetatie is door de (zeer) natte omstandigheden op plot 6 aangepast en rietgras is dominant geworden. Plot 3 is droger en heeft een lage schrale vegetatie. Op plot 3 is met verschralen de opbrengst vergelijkbaar met de plots 2, 4 en 5. Met bemesting (uitmijnbehandeling) is op plot 3 de opbrengst laag en is de P-onttrekking lager dan op de naastgelegen verschralingsbehandeling. Op deze plot is door het verwijderen van de toplaag de fosfaattoestand limiterend voor zowel de opbrengst als de P-onttrekking. De gewenste situatie – P-limitatie – is hier dus al bereikt.



Figuur 5-3 Cumulatieve drogestof opbrengst (links) en P-onttrekking (rechts) tussen 2010 en 2020 (gemeten in 2010 tot en met 2014 en 2020) met bij de staven in de diagrammen de gemiddelden per jaar voor de 6 proefplots en de twee behandelingen.

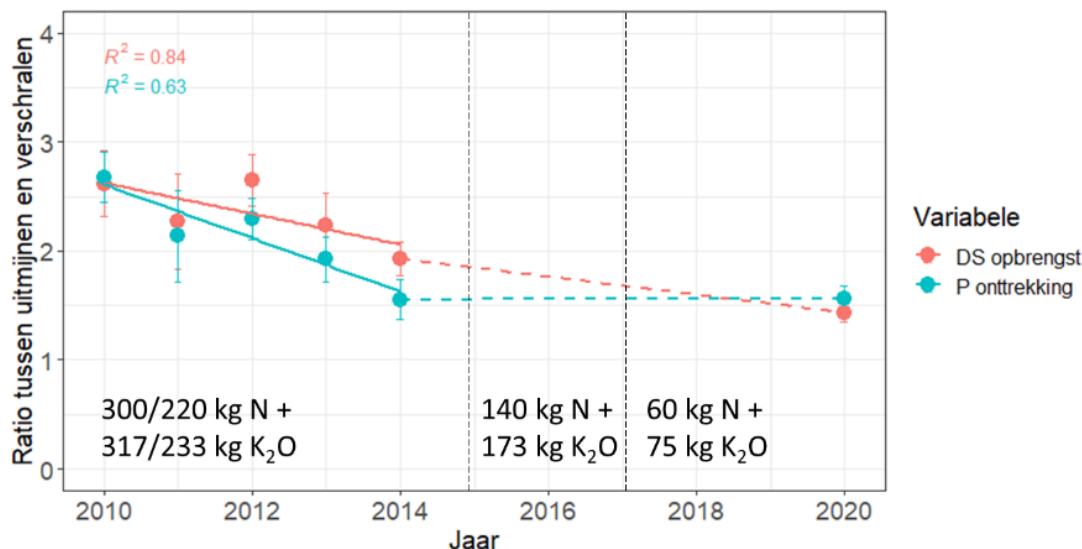
Uitmijnen leidt gemiddeld tot een bijna 2 keer zo hoge drogestofopbrengst en fosfaatonttrekking dan verschralen. Door te bemesten met N en K worden de ruimtelijke verschillen in opbrengst en P-onttrekking tussen de locaties groter

5.2.2 Uitmijnen versus verschralen: verandering in de tijd

De effectiviteit van uitmijnen, uitgedrukt als de verhouding tussen uitmijnen en verschralen voor de drogestof opbrengst en P-onttrekking, neemt af met de tijd (Figuur 5-4). In de eerste vijf jaar van de proef neemt de verhouding tussen uitmijnen en verschralen wat betreft de drogestof opbrengst af van

2.6 naar 1.8 en wat betreft P-onttrekking van 2.7 naar 1.6. In deze periode veranderde de bemesting niet. Tussen 5 en 10 jaar is de verhouding tussen uitmijnen en verschralen voor de P-onttrekking niet verder gedaald en voor de drogestof opbrengst licht gedaald van 1.8 naar 1.4. De bemesting is in die periode ook afgebouwd naar 60kg N/ha en 75 kg K₂O/ha.

De daling in effectiviteit van uitmijnen gaat de eerste 5 jaar sneller wat betreft de P-onttrekking dan de drogestof opbrengst (Figuur 5-4). Dit is met name het gevolg van een continue daling in het P-gehalte van de vegetatie bij uitmijnen en niet een gevolg van een daling in opbrengst (Figuur 5-5). Opmerkelijk is namelijk dat de opbrengst niet of nauwelijks verandert gedurende de proef. Bij verschralen neemt de drogestof opbrengst zelfs licht toe. Ondanks dat in de uitmijnbehandeling de bemesting sterk is afgenomen, is de opbrengst constant gebleven. Uitzondering is de afgegraven bemeste plot 3b waar de drogestof opbrengst wel daalt in de tijd (apart getoond in Figuur 5-5 voor opbrengst en P-gehalte).

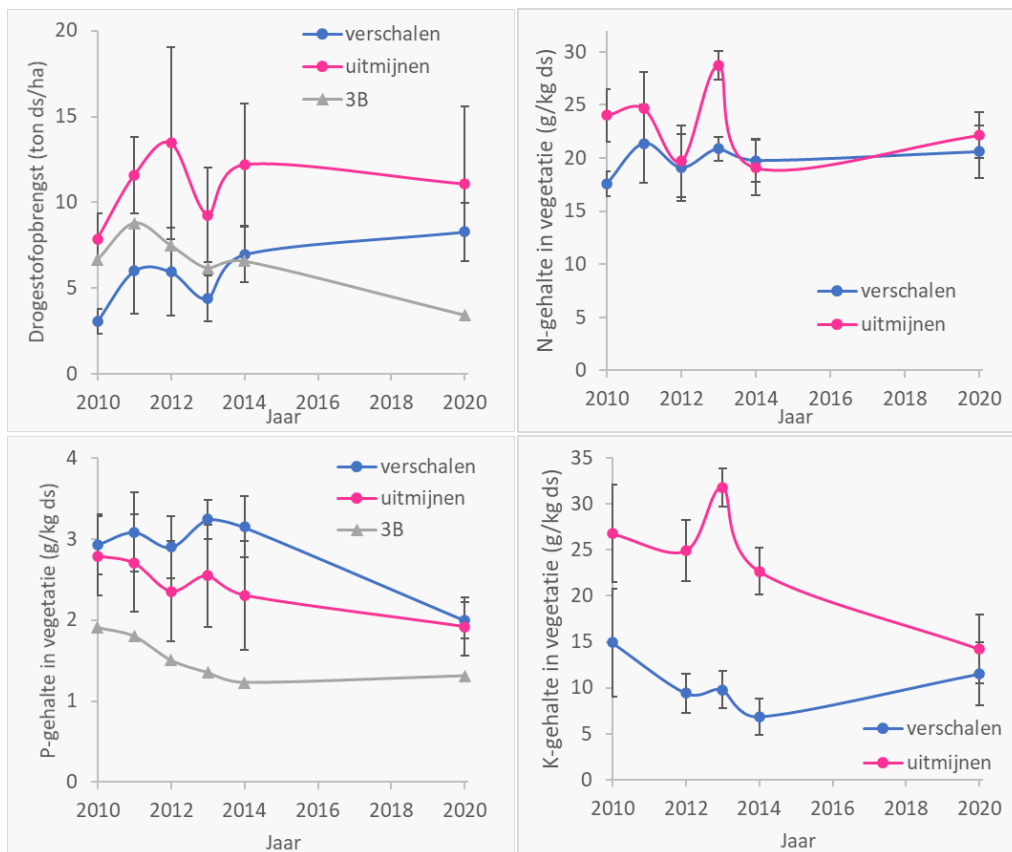


Figuur 5-4 Verandering in de gemiddelde verhouding tussen uitmijnen en verschralen voor de drogestofopbrengst en P-onttrekking. Plot 3 is hierbij buiten beschouwing gelaten omdat door de fosfaatarme omstandigheden de drogestofopbrengst en P-onttrekking worden beperkt.

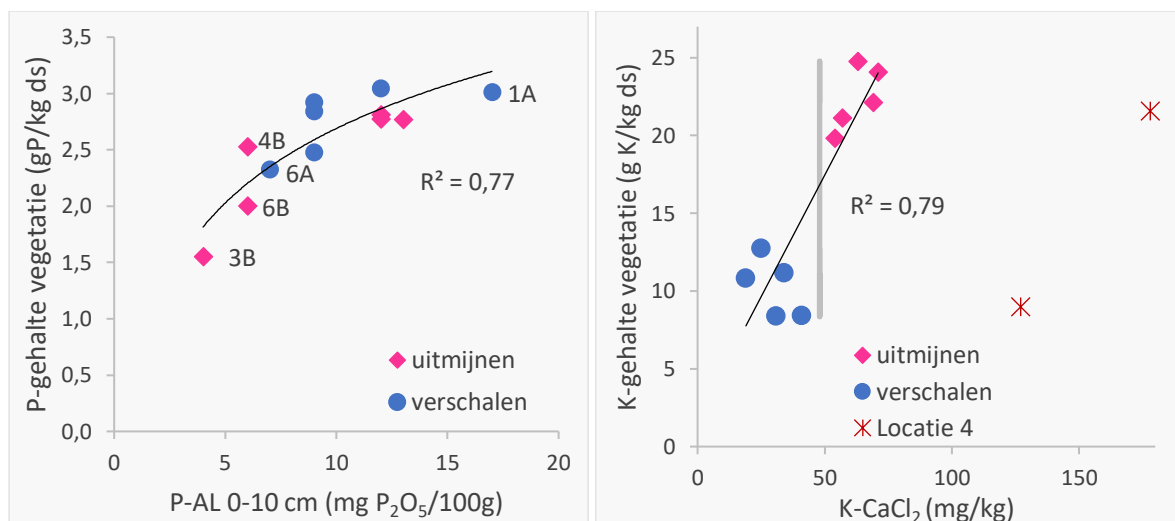
Het N-gehalte van de vegetatie verschilt niet tussen de twee behandelingen (wel en niet bemesten) en neemt ook niet af in de tijd. N-bemesting is voor graslanden sterk bepalend voor de opbrengst. In de proef leidt bemesting met N (en K) tot hogere opbrengsten én tot een hogere N-opname waardoor netto het N-gehalte in de vegetatie gelijk blijft. In de verschralingsbehandeling (zonder bemesting) is de N-levering vanuit de bodem voldoende hoog om ook een voldoende hoog N-gehalte in de vegetatie te waarborgen.

Voor kalium is het een ander verhaal. Bemesting met kalium leidt tot hogere K-gehalten in het gras ten opzichte van de behandeling zonder bemesting (Figuur 5-5). Ondanks de bemesting neemt het K-gehalte in de vegetatie echter af in de tijd – ook de eerste vijf jaren waarin de K-gift onveranderd hoog is. In de verschralingsbehandeling neemt het K-gehalte in de vegetatie ook af in de eerste vijf jaren.

Zowel het P-gehalte als het K-gehalte in de vegetatie kunnen worden verklaard op basis van de P- en K-beschikbaarheid in de toplaag (0-10cm) van de bodem (Figuur 5-6). De K-bemesting heeft niet alleen geleid tot een hoger K-gehalte in het gewas maar ook in de bodem is de maat voor de K-beschikbaarheid (K-CaCl₂) verhoogd. Onder een K-CaCl₂ van 50 mg/kg is de beschikbaarheid laag. Voor de veengrond is de gemeten K-beschikbaarheid (K-CaCl₂) in de bodem hoog. Dit leidt echter niet tot hogere K-gehalten in de vegetatie. Voor veengronden lijkt K-CaCl₂ geen goede indicatie te geven van de beschikbaarheid voor de vegetatie. In de verschralingsbehandeling kan de afname in het K-gehalte in de vegetatie in de eerste vijf jaren van de proef worden verklaard door een afname in het K-gehalte in de bodem. In de bemeste behandeling is niet duidelijk waarom het K-gehalte in de vegetatie afneemt omdat zowel het K-gehalte in de bodem als de K-gift (de eerste vijf jaar) hoog zijn en niet veranderen.



Figuur 5-5 Gemiddelde verandering in drogestof opbrengst en N-, P-, K-gehalte van de 6 proefplotjes voor de behandeling uitmijnen en verschalen in de tijd.



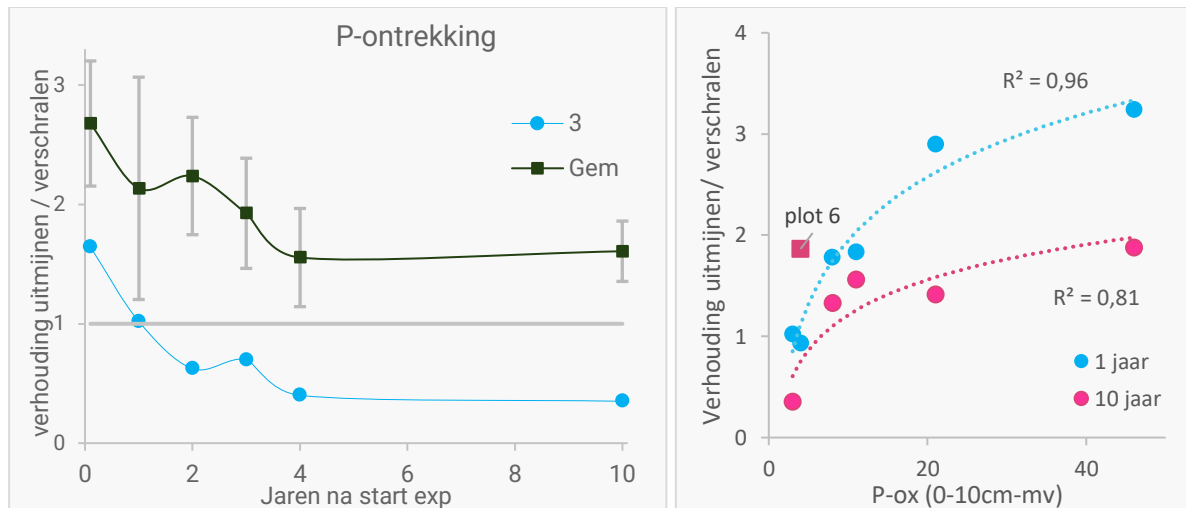
Figuur 5-6 Links de relatie tussen het P-gehalte in de vegetatie en een maat voor het beschikbaar P in de bovenste 10cm van de bodem (P-AL). Rechts de relatie tussen het K-gehalte in de vegetatie en een maat voor de K-beschikbaarheid in de bodem (K-CaCl₂). De bodemmetingen zijn van de bovenste 10cm.

5.2.3 Uitmijnen versus verschalen: verschil lokale omstandigheden

De effectiviteit van uitmijnen, uitgedrukt als de verhouding tussen de P-onttrekking bij uitmijnen versus verschalen, verschilt tussen de proefplots. Bij plot 4 (veengrond) is aan het begin van de proef de P-onttrekking 3.5 keer hoger met uitmijnen dan met verschalen. Op plot 3 (afgegraven toplaag) is dit slechts 1.6 keer hoger.

Het verschil tussen de plots in de effectiviteit waarmee fosfaat aan de bodem kan worden onttrokken door uitmijnen neemt toe met de fosfaattoestand van de bodem (Figuur 5-7). De fosfaattoestand is hier

gedefinieerd als een maat voor de totaal beschikbare P-reserves in de bodem die beschikbaar kunnen komen (P-ox, Figuur 5-7). Het eerste jaar kan de effectiviteit van uitmijnen zeer goed worden voorspeld op basis van de totaal beschikbare P-reserves in de bodem (r^2 is 0.96). Na 10 jaar is de voorspelling nog steeds goed (r^2 is 0.81) voor alle locaties maar niet voor de zeer natte locatie. Op locatie 6 staat het water langdurig tot aan het maaiveld en is de vegetatie aangepast naar grassoorten met een hoge drogestof opbrengst die goed gedijen onder deze natte omstandigheden; rietgras (en liesgras) zijn dominant. Uitmijnen is hier effectiever dan verwacht mag worden op basis van de totaal beschikbare P-reserves in de bovenste 10cm van de bodem. Op de veenlocatie (locatie 4) zijn de totaal beschikbare P-reserves het hoogst en kan met uitmijnen (toedienen van N- en K meststoffen) de P-onttrekking van het gras sterk worden verhoogd ten opzichte van verschralen (zonder bemesting). Uitmijnen is het minst effectief in het stimuleren van de P-onttrekking wanneer de totaal beschikbare P-reserves al laag zijn.



Figuur 5-7 Links de verandering in de gemiddelde verhouding tussen uitmijnen en verschralen voor de P-onttrekking over de tijd. Plot 3 is apart getoond en niet meegewogen in het gemiddelde. Rechts de verhouding tussen uitmijnen en verschralen voor elke individuele locatie na 1 jaar en na 10 jaar uitgezet tegen de totaal beschikbare P-reserves in de bodem zoals gemeten aan het begin van de proef. In de trendlijn na 10 jaar is locatie 6 niet meegenomen.

De effectiviteit van uitmijnen neemt af met de tijd en daalt met name de eerste 5 jaar. Na 5 jaar stabiliseert deze waarbij gemiddeld 1.6 keer meer fosfaat wordt onttrokken bij uitmijnen dan bij verschralen. De daling in effectiviteit van uitmijnen is het gevolg van een continue daling in het P-gehalte van de vegetatie en niet een gevolg van een daling in opbrengst.

Het P-gehalte in de vegetatie wordt sterk bepaald door het beschikbaar fosfaat (benaderd met P-AI) in de bovenste 10 cm van de bodem.

De effectiviteit van uitmijnen vergeleken met verschralen kan worden voorspeld op basis van de totaal beschikbare P-reserves in de bodem (benaderd met P-oxalaat).

5.3 Bodem

In hoofdstuk 2 staat een gedetailleerde uitleg over het gedrag van fosfaat in de bodem, een duiding van de verschillende meettechnieken en het effect van vernatting op de mobilisatie van fosfaat.

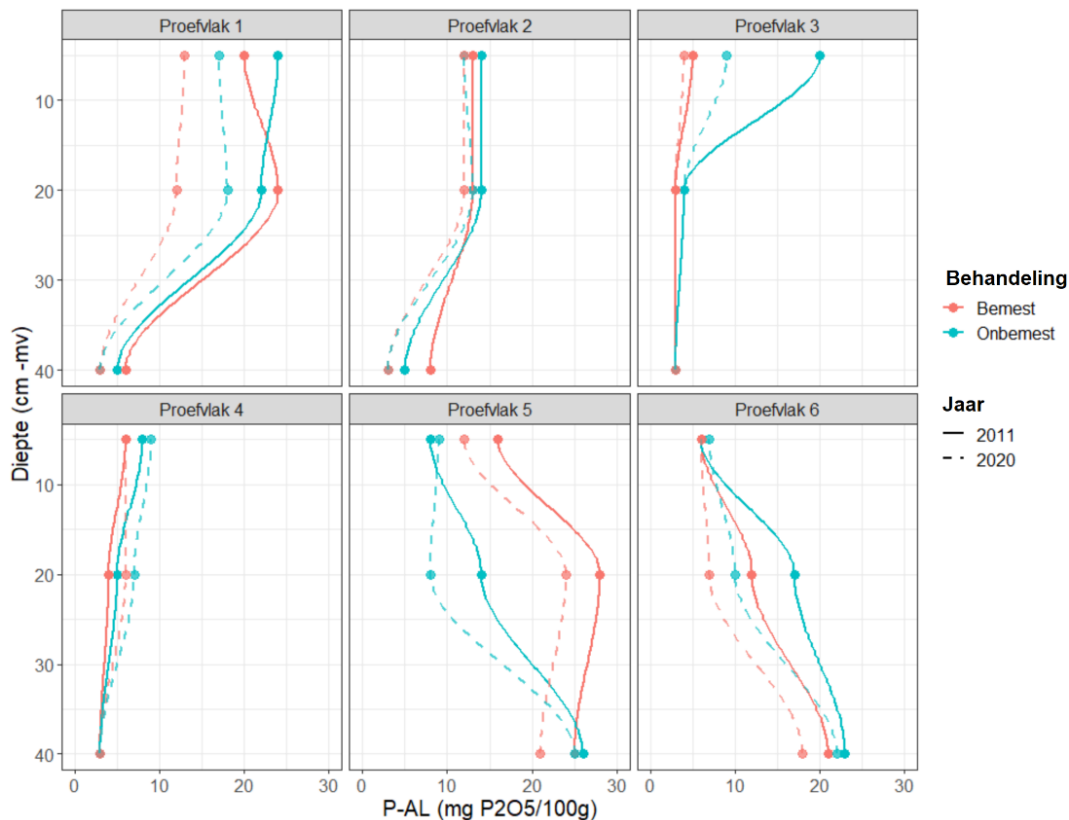
5.3.1 Uitgangssituatie

Het reversibel gebonden, beschikbaar P (P-AI) in de bodem verschilt in de uitgangssituatie tussen de proefplots in zowel de toplaag (0-10cm) als in diepere bodemlagen (Figuur 5-8). Er bestaat een duidelijk verschil in het beschikbaar P tussen de droge zand locaties (1 tot en met 3), de locatie met veen (4) en

de natte zand locaties (5 en 6). Op de droge zandlocaties zit het beschikbaar P vooral boven in het bodemprofiel en neemt deze af met de diepte. Dit is een profiel dat verwacht mag worden op een agrarisch beheerd perceel. Op locatie 3 is de toplaag verwijderd. Op plot 3b met de uitmijnbehandeling (b)lijkt de bodem net iets dieper te zijn afgegraven dan op de naastliggende plot met de verschrallingsbehandeling (3a) waardoor het beschikbaar P op de uitmijnplot zeer laag is.

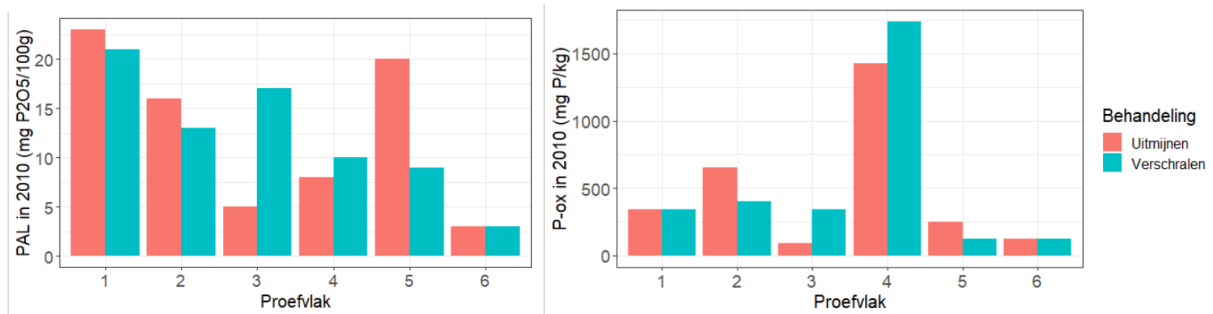
Op de veenlocatie (4) is het beschikbaar P laag. Dit komt niet omdat er weinig P in de bodem zit, integendeel, maar omdat de bindingscapaciteit (Fe- en Al(hydr-)oxiden) in veengronden hoog is, waardoor het P dat aanwezig is in de bodem is vastgelegd en niet beschikbaar is. De totaal beschikbare reserves zoals gemeten met P-ox is op locatie 4 daarom hoog (Figuur 5-9).

De locaties 5 en 6 zijn veel natter dan de andere locaties, dit geldt vooral voor locatie 6 die direct naast de beek is gesitueerd en waar zichtbaar ijzerrijke kwel omhoogkomt (Figuur 3-1). Op deze natte locaties is sprake van een 'omgekeerd' fosfaatprofiel en neemt het beschikbaar P toe met de diepte. Op locatie 6 is de bodem ook afgegraven waardoor het beschikbaar P in de toplaag in de uitgangssituatie zeer laag is. Voor locatie 5 is er in de toplaag een vrij groot verschil tussen de uitmijnplot (P-Al 20) en de verschrallingsplot (P-Al 8.5). In beide gevallen neemt het beschikbaar P toe met de diepte.



Figuur 5-8 Beschikbaar P in de bodem (gemeten met P-Al) met de diepte gemeten in 2011 en 2020. Bemonsterde lagen zijn 0-10, 10-30 en 30-60 cm-mv. De y-as is voor alle plots gelijk.

Naast de verandering in beschikbaar fosfaat (P-Al) met de diepte is ook de totaal beschikbare P reserve (P-ox) in de bodem van belang voor de potentiële nalevering van fosfaat. De verhouding tussen P-Al en P-ox (omgerekend naar dezelfde eenheden) verschilt per locatie en varieert tussen P-Al = 3 x (locatie 5) tot 40 x (locatie 4) kleiner dan P-ox (Figuur 5-9). In de toplaag van de zandgronden is de totaal beschikbare P-reserve (P-ox) lager dan in de veengrond. Dit is in overeenstemming met de (veel) hogere bindingscapaciteit van veengronden.



Figuur 5-9 Beschikbaar P (P-Al, links) en totaal beschikbare P-reserves (P-ox, rechts) in de toplaag (0-10) van de 12 plots aan het begin van de proef (2010).

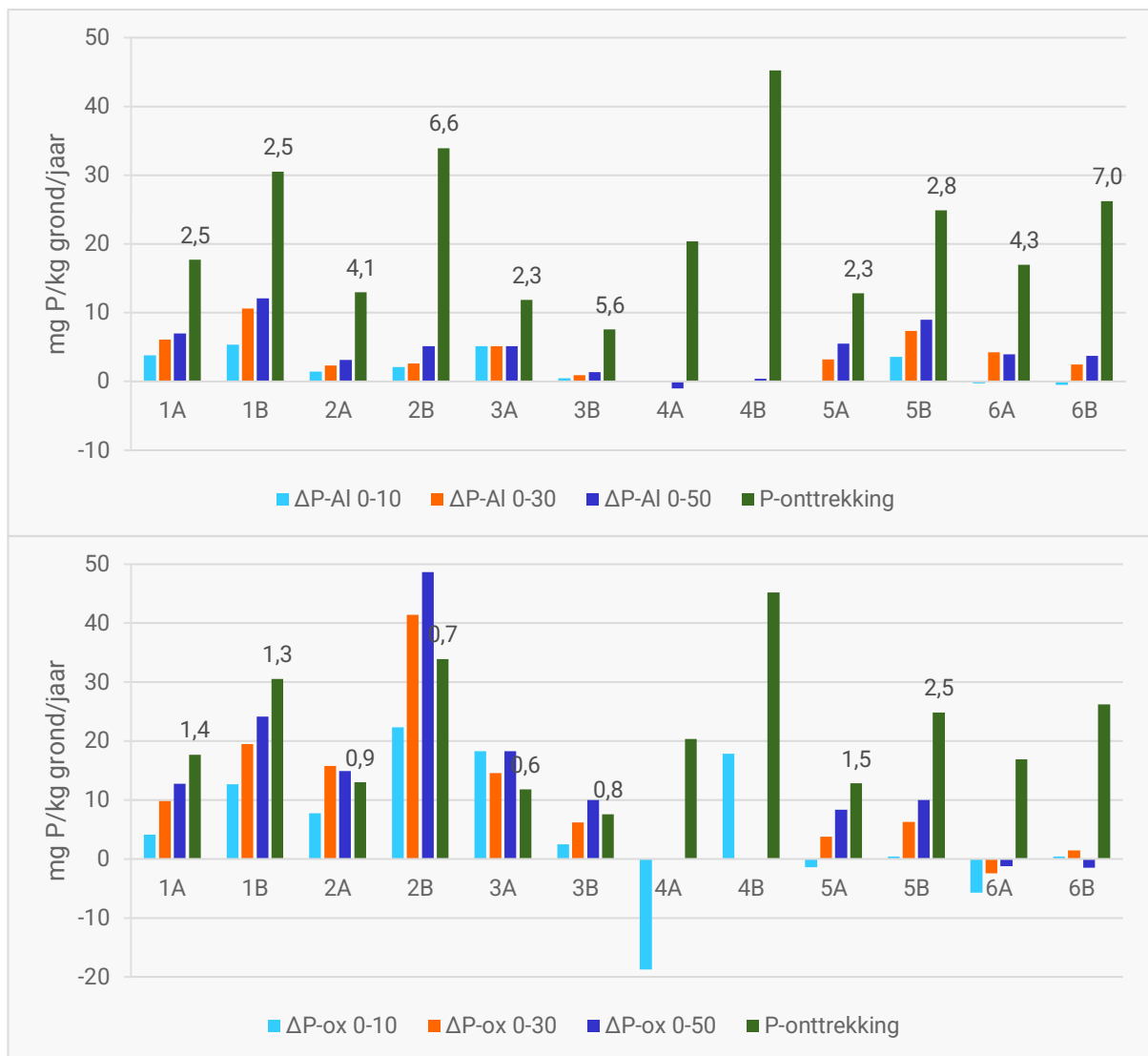
5.3.2 Verandering fosfaattoestand – een massabalans benadering

Voor het P-gehalte in de vegetatie is het beschikbaar P in de toplaag (0-10cm) een goede indicator (Figuur 5-6). Het doel van uitmijnen is om het voor de plant beschikbaar P versneld te doen afnemen. Op de schaal van het beekdal (zie resultaten monitoring hoofdstuk 4) is de snelheid waarmee het beschikbaar P in deze toplaag verandert als gevolg van uitmijnen een functie van het initiële beschikbaar P (Figuur 4-3). Hoe hoger het initiële beschikbaar P des te sneller deze daalt. Opvallend hierbij is dat de initiële fosfaattoestand vooral hoog was op de hogere drogere delen van het beekdal met zandgrond met een lage bindingscapaciteit en een diepere grondwaterstand. Op deze locaties wordt ook een 'standaard' fosfaatverdeling verwacht waarbij het beschikbaar P (sterk) verrijkt is in de toplaag en afneemt met de diepte. Voor de nattere locaties en de locaties met een lager initieel beschikbaar P in de toplaag varieerde het effect van uitmijnen op de verandering in beschikbaar P in de monitoringsdata.

Voor de detailproef is per proefplot een massabalans opgesteld waarbij de P-onttrekking door de vegetatie en de verandering in de verschillende fosfaatfracties in de bodem in dezelfde eenheden zijn uitgedrukt. In Figuur 5-10 is een massabalans vergelijking gemaakt tussen de cumulatieve P-onttrekking door maaien en afvoeren (2010 – 2020 in groen) en de verandering in zowel het beschikbaar P (P-AL) en de totaal beschikbare P-reserves (P-ox) waarbij onderscheid is gemaakt tussen de bodemlaag 0-10, 0-30 en 0-50cm-mv.

Het effect van 10 jaar lang P-onttrekken door maaien en afvoeren op de verandering in het beschikbaar P (P-AL) is veel kleiner dan verwacht mag worden op basis van de P-onttrekking (Figuur 5-10). Uitmijnen is op de zandgronden met een voldoende hoog beschikbaar fosfaat (P-AL >5 mg P₂O₅/100g) een factor 1,6 keer zo effectief in het verlagen van het beschikbaar P dan verschralen. Waar van toepassing geldt dit tot een diepte van 50cm-mv.

De daling van het beschikbaar P in de bodem is 2,5 tot 7 keer kleiner van de hoeveelheid P die wordt onttrokken door het maaien en afvoeren van de vegetatie. Voor de locatie met veengrond (locatie 4) is er na 10 jaar P-onttrekking in het bodemprofiel tot 50cm diepte geen verandering gemeten in het beschikbaar P. Door de grote bindingscapaciteit van veengronden voor P, was het beschikbaar P in de uitgangssituatie al laag. De veel kleinere afname in het beschikbaar P in de toplaag dan verwacht mag worden op basis van de onttrekking kan geduid worden door buffering vanuit de totale P-reserves en vanuit diepere bodemlagen.



Figuur 5-10 Vergelijking tussen de cumulatieve P-onttrekking door maaien en afvoeren (2010 – 2020 in groen) en de verandering in beschikbaar P (P-AI, bovenste figuur) en de totaal beschikbare P-reserves (P-ox, onderste figuur) waarbij onderscheid is gemaakt tussen de bodemlaag 0-10, 0-30 en 0-50cm-mv. De waarden bij de groene staven geven aan wat de verhouding is tussen de P-onttrekking door vegetatie en de verandering in de betreffende P-fractie in de bodem tot 50cm diepte.

Uitmijnen is op zandgronden met een voldoende hoog beschikbaar fosfaat (P-AL >5 mg P2O5/100g) een factor 1,6 keer zo effectief in het verlagen van het beschikbaar P dan verschralen. Dit geldt tot een diepte van (tenminste) 50cm diepte..

De P-onttrekking door het gewas door maaien en afvoeren is veel (2,5 tot 7x) groter dan de afname in het beschikbaar P in de bodem. Het beschikbaar P wordt gebufferd vanuit diepere bodemlagen en P-reserves in de bodem.

Het effect van 10 jaar lang P-onttrekken door maaien en afvoeren op de verandering in de totaal beschikbare P-reserves (P-ox) verschilt sterk tussen de droge en natte locaties (Figuur 5-10). Op de droge zandgronden neemt P-ox af door maaien en afvoeren en deze afname is, in overeenstemming met het verschil in P-onttrekking, groter bij uitmijnen (B-plots) dan bij verschralen (A-plots). De afname in P-ox is een factor 2 groter door uitmijnen dan door verschralen op locatie 1. Voor locatie 2 is dit een factor 3. Voor de droge zandlocaties met een standaard P-bodemprofiel waarin P afneemt met de diepte, is de effectiviteit van uitmijnen op het verlagen van de P-reserves in de bodem groot (factor 2 tot 3).

Het is opvallend dat P-onttrekking door maaien en afvoeren niet alleen effect heeft op de bovenste 10cm's van de bodem maar dat ook in de diepere bodemlagen de P-reserves afnemen. Voor de drogere locaties is de afname over de bovenste 50cm gemiddeld van dezelfde orde grootte als de P-onttrekking.

Op de uitmijnplot op locatie 3 is de verandering in de totaal beschikbare reserves gering omdat deze in de uitgangssituatie al zeer laag was (meetgrens). Het omgekeerde is voor de veengrond op locatie 4 het geval. De totale reserves waren in de uitgangssituatie tot 50 cm diepte hoog. Gedurende de tijd (10 jaar uitmijnen en verschralen) leidt dit niet tot een verlaging van de fosfaattoestand maar tot een verhoging. Op basis van de P-onttrekking door de vegetatie is de effectiviteit van uitmijnen hier het grootst van alle locaties in vergelijking met verschralen. Ondanks deze grotere P-onttrekking door bemesting heeft dit niet geleid tot een grotere afname van de P-reserves in het bodemprofiel, hoogstens tot een minder grote toename.

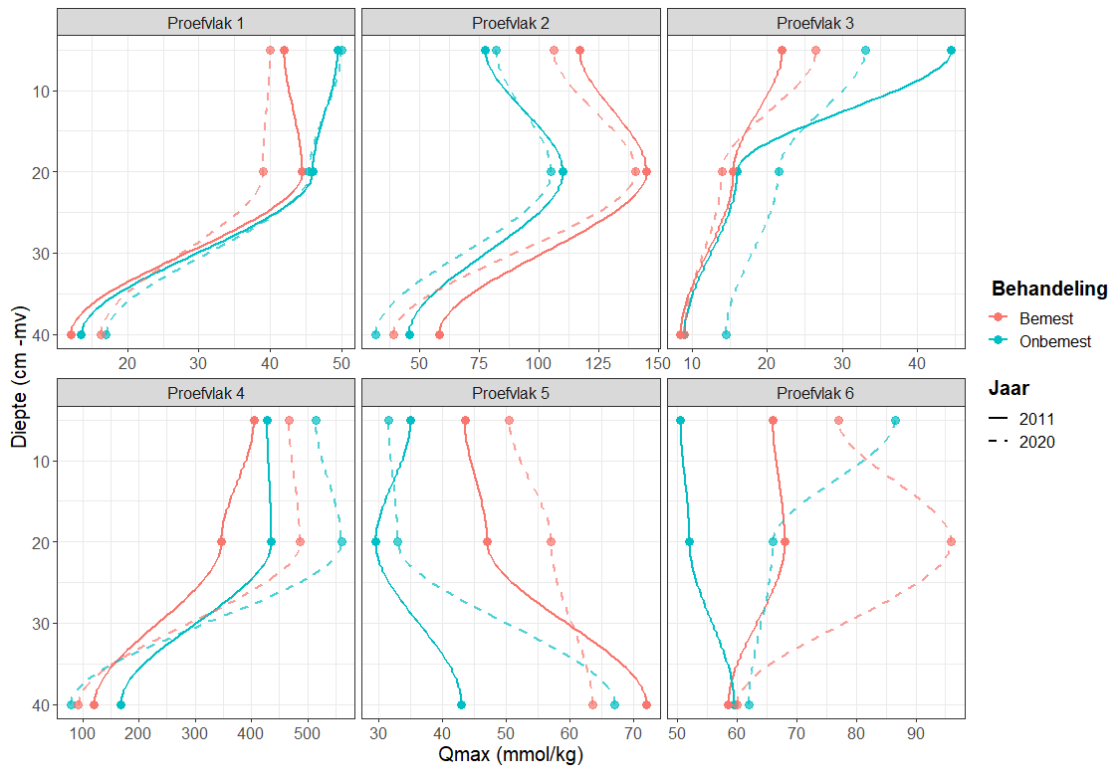
Op de natte locatie 6 en in mindere mate ook op locatie 5 is er een 'gat' tussen P-onttrekking en de verlaging van de totaal beschikbare P-reserves. Gedurende de tijd laten deze locaties een vrij grote variatie in de totaal beschikbare P reserves in het bodemprofiel zien. Gedurende de 10 jaar van de proef is er een (kleine) netto afname in deze P-reserves op locatie 5 maar blijven deze reserves op locatie 6 netto nagenoeg gelijk. Ondanks dat met uitmijnen meer P is onttrokken dan met verschralen is er geen verschil in de netto afname van de totaal beschikbare P reserves in de bodem tussen de uitmijn- en de verschralingsbehandeling. Op de natte locaties 5 en 6 lijkt uitmijnen niet effectief in het versneld verlagen van de fosfaattoestand ten opzichte van verschralen.

Het achterwege blijven van een afname in totaal beschikbare P reserves in het bodemprofiel in de tijd op de vochtige/ natte locaties kan verklaard worden door:

- het beschikbaar komen van P uit moeilijk beschikbare P-reserves die niet worden gemeten met P-ox, bijvoorbeeld door mineralisatie veen op locatie 4;
- door de mobilisatie van P door vernatting; en
- door de aanvoer van P met ijzerrijke kwel.

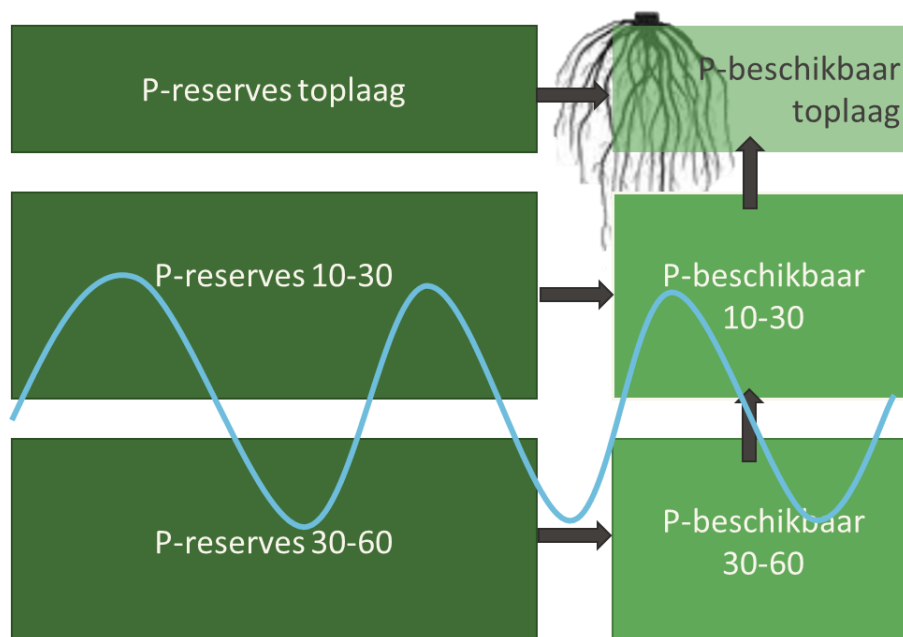
Dat de fluctuaties in P zijn gerelateerd aan vernatting wordt onderbouwd door de verandering in de bindingscapaciteit van de bodem op de natte locaties in tegenstelling tot de droge locaties (Figuur 5-11). In proefvlak 1, 2 en 3 is de bindingscapaciteit aan het begin en aan het eind van de proef vergelijkbaar (stippellijn vergeleken met de doorgetrokken lijn in Figuur 5-11). Voor de vochtige en natte locaties worden tot 50cm diepte grote veranderingen waargenomen. Deze verandering in bindingscapaciteit zijn voor 100% te verklaren door de verandering in ijzer(hydr-)oxiden – en dus niet door aluminium(hydr)oxiden. De hogere bindingscapaciteit kan het gevolg zijn van de aanvoer van Fe met Fe-rijke kwel of door interne mobilisatie van Fe door het ontstaan van zuurstofloze omstandigheden in het bodemprofiel (zie hoofdstuk 2 voor een nadere uitleg). Omdat de aanvoer/ mobilisatie van P gepaard gaat met de aanvoer en mobilisatie van Fe blijft het beschikbaar P onveranderd of neemt deze af (Figuur 5-10).

Op de droge locaties waar de bovengrond verrijkt is met fosfaat is uitmijnen ruim 2 keer effectiever dan verschralen in het verlagen van de totaal beschikbare P-reserves in de bodem. Op de natte locaties, waar het grondwater regelmatig tot boven maaiveld staat, is de cumulatieve P-onttrekking met bemesting hoger dan zonder bemesting. Door de grote fluctuaties in het beschikbaar P, de totaal beschikbare P-reserves én de bindingscapaciteit in de vorm van Fe-(hydr-)oxiden in de tijd kan op natte locaties echter niet worden aangetoond dat met uitmijnen de fosfaattoestand van de bodem sneller daalt dan met verschralen.



Figuur 5-11 Bindingscapaciteit voor P in de bodem (gemeten als ijzer- en aluminium(hydr)oxiden in een oxalaat extractie) met de diepte gemeten in 2011 en 2020. Bemonsterde lagen zijn 0-10, 10-30 en 30-60 cm-mv.

De (veel) kleinere verandering van het beschikbaar P in de toplaag dan verwacht mag worden op basis van de P-onttrekking, kan geduid worden door buffering. Buffering vindt plaats door nalevering van P vanuit de totaal beschikbare P-reserves (P-ox) in de toplaag en door de aanvoer van P uit diepere bodemlagen. Onder natte omstandigheden en/ of kwel nemen de totaal beschikbare P-reserves weinig of niet af, en op de veengrond zelfs toe, door nalevering uit de ondergrond. Dit alles is schematisch weergegeven in Figuur 5-12.



Figuur 5-12 Schematische weergave van de buffering van beschikbaar P in de toplaag door totaal beschikbare P-reserves in de toplaag en de aanvoer van P uit diepere bodemlagen. De blauwe lijn symboliseert de verandering in grondwaterstand in de tijd.

Het P-gehalte in de vegetatie is gerelateerd aan het beschikbaar P (P-AI) in de toplaag van de bodem. Uitmijnen heeft tot doel om het voor de vegetatie beschikbaar P in de bodem versneld te doen afnemen. De verandering in het beschikbaar P in de bodem is echter beperkt ten opzichte van de hoeveelheid P die door de vegetatie wordt onttrokken door de buffering uit de totaal beschikbare P-reserves en uit diepere bodemlagen.

Om een inschatting te kunnen maken van de haalbaarheid van uitmijnen en de snelheid waarmee het beschikbaar P daalt zijn daarom de totaal beschikbare P reserves (P-ox) en de P-opbouw in diepere bodemlagen belangrijk. De P-reserves zijn ook van belang voor het maken van een inschatting van de effectiviteit van uitmijnen ten opzichte van verschralen.

Bij een lage buffering van het beschikbaar P (droge zandgrond) is de snelheid waarmee deze daalt goed te voorspellen op basis van het initieel beschikbaar P.

5.4 Conclusies detailproef

- Na 10 jaar is de verandering in het aantal soorten en de vegetatiesamenstelling gering in zowel de verschralings- als de uitmijnbehandeling. Na afgraven (locatie 3 en 6) is het aantal soorten en ook de abundantie van bijzondere soorten hoger.
- Door uitmijnen neemt de drogestof opbrengst en de P-onttrekking met de vegetatie gemiddeld over de tijd (10 jaar) en gemiddeld in het beekdal een factor 2 toe in vergelijking met verschralen.
- De effectiviteit van uitmijnen (bepaald door de verhouding tussen uitmijnen en verschralen) op de P-onttrekking neemt af in de tijd – onafhankelijk van bemesting. Na 5 jaar is de effectiviteit gedaald van gemiddeld 2.5 keer zo groot naar 1.6 keer zo groot, daarna blijft deze stabiel. De reden is dat gedurende de eerste vijf jaar in de uitmijnbehandeling het P-gehalte in de vegetatie afneemt terwijl in de verschralingsbehandeling deze gelijk blijft.
- De beschikbaarheid van P in de bovenste 10cm van de bodem (gemeten met P-AI) is bepalend voor het P-gehalte in de vegetatie.
- Op droge zandgronden waar de bovengrond verrijkt is met fosfaat is uitmijnen effectiever dan verschralen in het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem. Het beschikbaar fosfaat neemt bij uitmijnen een factor 1,6 keer zo snel af en de totaal beschikbare reserves nemen ruim een factor 2 keer zo snel af vergeleken met verschralen.
- De P-onttrekking door maaien en afvoeren is (2,5 tot 7x) groter dan de afname in het beschikbaar P. Deze wordt gebufferd uit diepere bodemlagen en door de totaal beschikbare reserves.
- Wanneer het beschikbaar P in de toplaag beperkt wordt gebufferd uit diepere bodemlagen en door het vrijkomen van P-reserves (droge zandgronden), is de snelheid waarmee deze afneemt een functie van het initieel beschikbaar P.
- De totaal beschikbare reserves (gemeten met P-ox) zijn bepalend voor de mate waarin uitmijnen effectief gaat zijn boven verschralen in het onttrekken van P aan de bodem. Als de P-reserves afnemen wordt uitmijnen steeds minder effectief.
- Op natte locaties past de vegetatie zich aan en zijn nutriënten mobieler. Door de hogere P-onttrekking door de vegetatie lijkt uitmijnen daar effectief. Uitmijnen heeft onder natte omstandigheden en op veengronden echter geen aantoonbaar effect op het beschikbaar P en op de totaal beschikbare P-reserves in de bodem door de grote fluctuaties in het beschikbaar P, de totaal beschikbare P-reserves én de bindingscapaciteit in de vorm van Fe-(hydr-)oxiden in de tijd.
- De effectiviteit van uitmijnen is locatie-specifiek en wordt bepaald door de fosfaattoestand van de bodem dat wordt bepaald door zowel het beschikbaar P als de buffering uit diepere lagen en P-reserves en de lokale hydrologische omstandigheden.

6 Ervaringen uit de praktijk

De partijen die betrokken zijn in deelgebied Roeghoorn zijn Staatsbosbeheer, Provincie Drenthe, Waterschap Noorderzijlvest, de agrarische pachter dhr. Smeenge en het Nutriënten Management Instituut (NMI). Gezamenlijk zijn de volgende onderwerpen puntsgewijs besproken:

1. De rol van zijn organisatie bij de totstandkoming van de herinrichting van het Oostervoortschediep, met name gericht op het deelgebied Roeghoorn.
2. Het doel van zijn bedrijf/organisatie en hoe de ontwikkelingen in Roeghoorn daarbij past.
3. Hoe hij/ zijn organisatie heeft bijgedragen aan het bereiken van de doelstellingen?
4. Wat qua proces goed is gegaan in het onderdeel waar zijn organisatie bij betrokken en/ of verantwoordelijk voor was, zoals planvorming, management van verwachtingen, inrichting, ontwikkeling en huidig beheer.
5. Wat, mogelijk ook met de kennis van nu, beter had gekund of zelfs beter gemoeten
6. Welke boodschap hij aan een collega die met een soortgelijk project aan de slag gaat zou willen meegeven

6.1 Doelstellingen, aanpak en rollen

Staatsbosbeheer

De doelstellingen binnen het ondernemingsplan van Staatsbosbeheer zijn beschermen, beleven en benutten, waarbij beschermen het hoofdthema is. Hier wordt onder andere invulling aan gegeven door systeemherstel. In de Roeghoorn komt dit tot uiting door de aanpak om het beekdallandschap op systeemniveau te beheren, de optimale uitgangssituatie te creëren voor natuurontwikkeling en een toename van de biodiversiteit. In dit project was het doel om door een innovatieve aanpak de toepasbaarheid van alternatieve verschrallingsvormen te onderzoeken.

Roeghoorn is onderdeel van de middenloop van het beekstelsel Oostervoortschediep. Doel van de inrichting was dat er een goede samenhang kon ontstaan tussen de beek, als afvoer van water op het laagste deel van het landschap en de hieraan grenzende graslanden. Een goede afstemming is gericht op het samenspel met kenmerken als: een vertraagde afvoer, stroming in de beek, periodieke inundatie van aanliggende terreinen en peildynamiek over het jaar op basis van neerslag en verdamping. Deze abiotische componenten dienen als basis, het te voeren beheer van de beek en de graslanden borduurt daarop voort. Daarbij gaat het om verschrallen van de bodem (m.n. t.a.v. N en P verbindingen), toenemende soortenrijkdom van beekdalgraslandsoorten en een gevarieerde fauna.

De rol van Staatsbosbeheer was om als samenwerkingspartner het leveren van:

- Kennis & expertise (beheer, ecologisch, hydrologisch enz.)
- Maken van afspraken met de agrarische pachter
- Beheren, uitvoeren en monitoren van proefveldjes
- Aanschaf stikstof en kali voor uitmijnen beekdal en proefbehandelingen

Provincie Drenthe

De doelstellingen vanuit de provincie is een half-natuurlijk beekdal met een zo natuurlijk mogelijke waterhuishouding, inclusief watervasthouden met een hoge mate aan biodiversiteit en het herstel van zeldzame vegetaties onder invloed van kwel dat duurzaam wordt beheerd en onderdeel is van de NNN.

De rol van de provincie is het leveren van kennis, communicatie en een breed netwerk. De provincie heeft tot doel om met een goed doortimmerd proces nieuwe kennis te ontwikkelen dat ingezet kan worden bij andere projecten.

Pachter en melkveehouder, dhr. Smeenge

Het doel dat dhr. Smeenge als melkveebedrijf heeft bij het beheren van de Roeghoorn als natuurgebied is enerzijds het gebruik van het maaisel en anderzijds maatschappelijke betrokkenheid bij het bereiken en in standhouden van natuur(ontwikkeling). Dit leidt, naar eigen zeggen, tot een win-win situatie voor melkveehouder en natuur. Dhr Smeenge is met zijn bedrijf verantwoordelijk voor de praktische uitvoering van het uitmijnen in het beekdal, gewas maaien en afvoeren, voor dat deel wat mogelijk is met zijn materieel.

Waterschap Nooderzijvest

Doelstellingen vanuit het waterschap zijn dat ecologische/fysisch-chemische doelen gehaald worden, waaronder visoptrek en KRW-opgave en het veiligstellen van aan- en afvoer van water voor het afvoergebied, het vasthouden van water en bestrijding van droogte. Dit wordt bereikt door het veilig uitvoeren van het schonen van de beek om een voldoende stroming te waarborgen.

De doelstellingen zijn ingevuld door de betrokken hydroloog en ecooloog. Daarnaast is de waterkwaliteit op basis van ecologie (vegetatie) en chemie (onder andere stikstof en fosfaat) gemonitord. Het maai-beheer van het Oostervoortschediep is aangepast naar minimaal maaien met als doel stromend water en meer biodiversiteit in de beek.

6.2 Wat ging goed

Samenwerking. Zowel Staatsbosbeheer als de agrarische pachter zijn positief over de samenwerking. Het gezamenlijk beheren van het natuurgebied is van meerwaarde voor zowel Staatsbosbeheer als de agrarisch pachter. Smeenge is ook positief over de begeleidende organisatie.

Vooraf de eerste vijf jaar was er een goede afstemming van de proef (2x per jaar werkoverleg).

Kennisontwikkeling. Staatsbosbeheer is positief over zowel het proces als met de opgedane kennis. Zij zijn tevreden over de manier waarop contacten zijn onderhouden en informatie is uitgewisseld en over de mogelijkheden en de resultaten van uitmijnen.

Agrarische gebruikswaarde maaisel. Het gebruik van het gras/ maaisel was aan het begin van voldoende goede kwaliteit om als ruwvoer te gebruiken. In de loop van de tijd is het gebruik veranderd van ruwvoer voor melkvee naar ruwvoer voor jongvee en bij een te lage voederwaarde naar compostgras om de bodem te verbeteren van de agrarische jonge veld ontginningsgronden van dhr. Smeenge.

Opzet gedetailleerde proef. De opzet van de proef was goed en is zeer consistent uitgevoerd. De inzet van alle betrokken partijen was hoog, in het bijzonder van de boswachters van Staatsbosbeheer en dhr. Smeenge. De proefvlakken zijn zo gekozen dat ze representatief zijn voor een maximale variatie binnen het gebied (wel/ niet afplaggen, droog/ vochtig/ nat, hoge en lage fosfaattoestand en wel/ geen veen).

6.3 Wat ging niet goed?

Herinrichting beek. De beek is volgens Staatsbosbeheer in de inrichting niet optimaal gegraven. Dit heeft geleid tot tegenvallende resultaten wat betreft ecologische winst doordat er minder peildynamiek

en minder kwel is dan verwacht en gewenst. Het peilbeheer zou beter moeten worden afgestemd op de natuurdoelstellingen

Communicatie. De afstemming tussen Staatsbosbeheer en Waterschap wat betreft beheer en onderhoud van de watergang, en peilbeheer was niet optimaal. Dit had te maken met te weinig afstemming aan de voorkant wat betreft doelstellingen en de rol van beheer en onderhoud. Door het ontbreken van juiste interne afstemming binnen Waterschap en continuïteit in uitvoering is het voorgekomen dat gemaakte afspraken niet konden worden nagekomen. Tevens was het vaak niet duidelijk wie binnen, de grote organisatie van het, Waterschap aanspreekpunt was/ is.

Uitmijnen. Bij het uitmijnen is de druk om te maaien groot, en schuurt met gedragscode van Staatsbosbeheer om bijvoorbeeld niet voor 15 juni te maaien in verband met weidevogels. De derde snede gras is niet altijd mogelijk, vooral op delen die natter zijn (geworden). Daarnaast vindt verruiging plaats op de hogere delen, bijvoorbeeld toename ridderzuring.

Pitrus: Smeenge geeft aan dat op de plekken waar niet wordt bemest pitrus zich snel ontwikkelt. Hij zou graag zien dat meer actief beheer wordt gevoerd om pitrus weg te krijgen om situaties zoals in andere ontwikkelgebieden te voorkomen. Pitrus gedijt vooral onder natte, zure-en fosfaatrijke omstandigheden. In het beekdal is na herinrichting twee keer bekalkt. Vanuit provincie en Staatsbosbeheer wordt aangegeven dat pitrus een plek zou moeten krijgen in natuurontwikkeling omdat het een belangrijke biotoop is voor allerlei macro- en microfauna zoals ringslangen, adders en insecten. Ook kunnen tussen de pitrus hele interessante soorten staan zoals orchissen. Dit vraagt om een betere afstemming van doelstellingen en verwachtingen.

6.4 Wat kon beter?

Aanbeveling is om vanuit betrokken partijen vanaf het begin vaste aanspreekpunten te hebben die inzicht hebben- en gaan over een gebied. Dit is vooral van belang in grote organisaties als waterschap en provincie. Vanaf het begin moet worden afgestemd en helderheid bestaan over doelen en verwachtingen.

Het waterschap geeft aan dat de planvorming en inrichting vooruitstrevend was voor die tijd waardoor uitgangspunten (deels) niet realistisch waren zoals wat betreft stroming (te vlak) en te weinig begroeiing voor schaduw. Dit komt er nu wel (aandachtspunt SGBP3).

Ondanks dat twee keer is bekalkt benadrukt Smeenge dat het van groot belang is in de overgangsfase van landbouw naar natuur om de pH op een hoger niveau te houden met snelwerkende kalk. Smeenge beveelt aan om een proef te doen naar de effecten van verschillende kalkniveaus op de opbrengst en P-onttrekking door het gewas.

Om te sturen op een maximale onttrekking ligt de nadruk op maaien en afvoeren. Hiervoor zou ontheffing aangevraagd moeten worden voor het maaibeheer.

Naast de zeer gedetailleerde proef (6 locaties, 12 proefplotjes) is in de praktijkproef (70ha) weinig monitoring uitgevoerd aan bodem en gewas. Ook is de wisselwerking tussen landbouw en natuur onderbelicht, waar wel en niet maaien en afvoeren, bruikbaarheid maaisel, vegetatie-ontwikkeling.

De gedetailleerde proef met 12 proefplotjes zijn na 5 jaar niet gezamenlijk voortgezet. Bij de gratie van 2 'eigenwijze' boswachters loopt de proef nu al 10 jaar. Het beheer van de proef – in tijd en geld – is voornamelijk ten laste gekomen van Staatsbosbeheer.

Een bredere kijk op de flora, fauna en bodem zou goed zijn geweest. Bijvoorbeeld door naast vegetatie-opnames ook insecten en vogels te monitoren en organische stof dynamiek en bodembioologie mee te nemen.

6.5 Boodschap voor de toekomst

Roeghoorn:

- Doorgaan op kleine schaal met dit unieke project, als leerproject;
- Aanpassen van de proef aan de nieuwste inzichten (zie paragraaf 6.6);
- Leren van de resultaten van de proef, de opgedane kennis en samenwerking door de resultaten met een breder publiek te delen zodat het als voorbeeld kan dienen voor vergelijkbare gebieden. Deze resultaten vormen samen met eerdere studies de basis om samen de discussie aan te gaan welke natuurontwikkeling waar wenselijk en haalbaar is.

Andere natuurontwikkelingsprojecten

- Natuurontwikkeling heeft tijd nodig. Met een goed opgezet vooronderzoek kan een realistische inschatting worden gemaakt van hoe lang het duurt om door middel van verschralen of uitmijnen de voedselrijkdom van de bodem tot een geschikt niveau te verlagen. Naast de bodem spelen ook andere zaken zoals de aanwezige vegetatie (en dichtheid van de zode) en de aanwezigheid van een zaadbank in de bodem een rol;
- Uitmijnen kan beter worden uitgevoerd als het gebied nog niet is ingericht. Beheer kan dan bij de landbouw blijven totdat de voedselrijkdom van de bodem voldoende is gedaald;
- Zorg dat alle betrokken partijen een helder en gedragen beeld hebben wat het doel is;
- Vertrouwen in elkaar hebben;
- Stel, met name bij de grote organisaties, een vast contactpersoon aan met inzicht en mandaat in het gebied;
- Experimenteer met innovatieve methodes bij natuurontwikkeling, zoals in Roeghoorn;
- Gebiedsgericht kijken hoe het landschap ingericht kan worden. De verscheidenheid aan inrichtingsmaatregelen (afgraven, kleinschalig plaggen, uitmijnen, verschralen) gebruiken om vanaf het begin variatie aan te brengen in het te ontwikkelen gebied;
- Voorkom dat voor lange tijd een agrarisch landschap blijft bestaan in natuurgebieden waar wordt gekozen voor verschralen of uitmijnen. De haalbaarheid en effectiviteit van verschillende inrichtingsmaatregelen afstemmen op de lokale variatie;
- Inzetten op het intensief monitoren en analyseren zodat inzicht kan worden verkregen in de processen, onderbouwde keuzes gemaakt kunnen worden en waar nodig kan worden bijgestuurd en ingegrepen.

6.6 Voortgang proef Roeghoorn

Omdat verandering in vegetatie en bodem (zo) langzaam gaan is het voortzetten van de proef zeer waardevol. Een voortzetting van de proef is ook onderschreven door Staatsbosbeheer.

Wat betreft bemesting wordt het volgende voorgesteld:

- Op de droge zandlocaties: doorgaan met de twee behandelingen verschralen en bemesten (60 kg N en 75 kg K₂O per hectare). De verschillen die nu duidelijk worden zullen zich naar verwachting doorzetten.
- Op de afgegraven droge locatie (3) stoppen met bemesten. De meststoffen komen niet ten goede aan de vegetatie en spoelen uit. Plot wel handhaven en blijven monitoren hoe de vegetatie zich ontwikkelt.
- Op de locatie met veengrond (4): doorgaan met de twee behandelingen verschralen en bemesten (60N, 75 K₂O). Dit lijkt wat betreft P-onttrekking de meest effectieve locatie maar de P-voorraad in de bodem is zo groot dat veranderingen tijd kosten. Omdat het een veengrond is waar het

beschikbaar P van de toplaag wel laag is, is het interessant om te weten wat er met de vegetatie gebeurt.

- Op de natte locaties (5 en 6): doorgaan met de twee behandelingen verschrallen en bemesten (60N, 75 K₂O). Tot nu toe is niet aangetoond dat uitmijnen leidt tot een snellere afname van de P-reserves door de complicerende vernattingsfactor en kwel.

Vraagteken op dit moment is de vegetatie-ontwikkeling. Door de intensieve monitoring kan worden vastgesteld dat deze slechts beperkt is veranderd over de 10 jaar, uitgezonderd op de afgegraven locaties. Het zou interessant zijn om de vegetatie-ontwikkeling te blijven monitoren en te onderzoeken wat de drijvende factor is achter deze ontwikkeling. Dit zou ook op grotere schaal kunnen worden onderzocht in het beekdal. In een groot deel van het beekdal is het beschikbaar fosfaat dusdanig laag geworden (na 12 jaar uitmijnen) dat het geen belemmering meer is voor de ontwikkeling van een interessante vegetatie. Dit wordt echter deels maar waargenomen. Er is meer nodig om een interessante vegetatie te ontwikkelen dan alleen een lage voedselrijkdom en een voldoende hoge zuurgraad van de bodem. Een optie zou kunnen zijn om additionele behandelingen aan te leggen op delen van het beekdal waar de fosfaattoestand laag is waarbij de bodem deels open wordt gemaakt (door bijvoorbeeld harken), deels open wordt gemaakt en maaisel en maaisel plus bodem uit een referentiegebied wordt uitgestrooid en deels niets wordt gedaan als referentie. Daarnaast zouden in delen van het beekdal waar de fosfaattoestand nog verhoogd is, additionele behandelingen aangelegd kunnen worden waarbij kleinschalig geplagd wordt in vergelijking met doorgaan met uitmijnen en stoppen met uitmijnen maar doorgaan met verschrallen.

Het project was erg gericht op de voedingsstoffen in de bodem (N, P, K). Naast de randvoorwaarde dat de zuurgraad en zuurbuffering van de bodem op peil is gehouden door bekalking was er weinig aandacht voor organische stofopbouw en bodemleven. Een bredere kijk is in toekomstige situaties van belang.

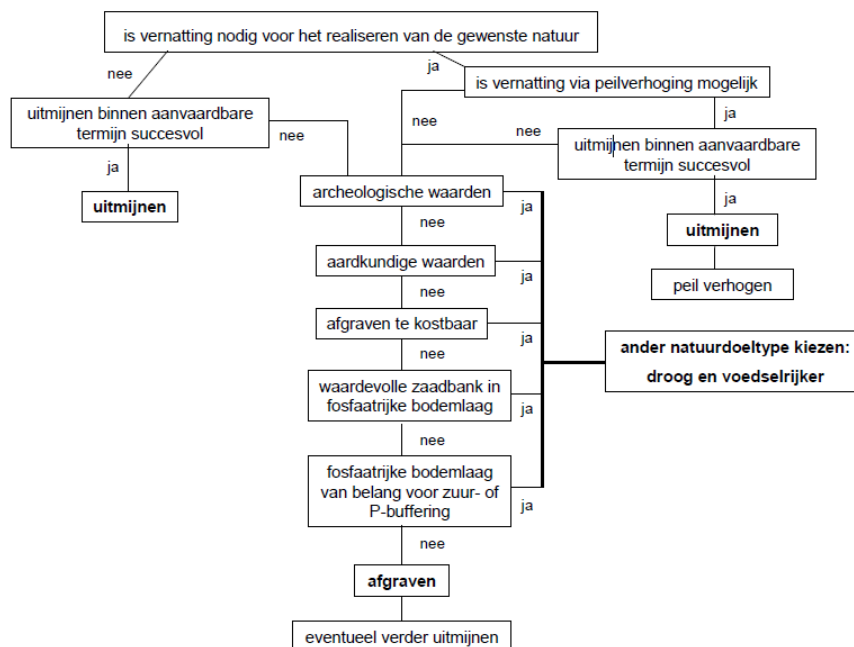
Er is een monitoring geweest van de hogere planten. Dat is een belangrijk graadmeter maar effecten op de kleine en grotere fauna is voor het mee-ontwikkelen van een ecosysteem ook van belang.

In overleg met het waterschap wordt voorgesteld om de proef op de natte locaties uit te breiden door op regelmatige basis monsters te nemen van het grondwater en de samenstelling te meten zodat inzicht kan worden verkregen in de aanvoer van P door kwel. Daarnaast zou in een (aantal) transect(en) tussen het hoger gelegen agrarische gebied en het beekdal de grondwaterstand en op gezette tijden de samenstelling van het grondwater gemeten kunnen worden. Hiermee zou inzicht verkregen kunnen worden in de relatie tussen het vrijkomende fosfaat in het transect tussen de hoger gelegen landbouwgronden, het lager gelegen beekdal en de uiteindelijke P-belasting van de beek.

7 Inrichtingsmaatregelen

Wanneer landbouwgrond uit productie wordt genomen en natuurontwikkeling wordt beoogd wordt overwogen welke natuurtype wenselijk is gezien de historie, de geomorfologische setting, het omliggende landschap, de uitgangssituatie en de potentiële omstandigheden (landschapsecologische LESA-benadering). Onnatuurlijke ontwatering en verhoogde voedselrijkdom van de bodem zijn in de uitgangssituatie vaak de meest limiterende omstandigheden voor de beoogde natuurontwikkeling. Herstel van de hydrologische situatie leidt meestal tot vernatten. Vernatten kan door peilopzetten, het dempen van afwateringssloten en/of greppels en door afgraven. Voor het verlagen van de voedselrijkdom van de bodem zijn verschillende strategieën mogelijk die variëren van afgraven van de voedselrijke toplaag tot verschralen door maaien en afvoeren en de tussenvariant waarin de productie en afvoer van fosfaat wordt gestimuleerd door bemesting met N en K. Het is sterk afhankelijk van de situatie wat de meest geschikte maatregel of combinatie van maatregelen is.

Welke maatregel gewenst is hangt onder andere af van de beoogde vegetatiedoelstelling, de gewenste tijdsduur waarbinnen de natuurdoelstellingen gerealiseerd moet worden, de relatie met het omliggende landschap en de mogelijkheid tot samenwerking met een agrarische pachter om het fosfaat in de bodem (deels) nog te benutten (bijvoorbeeld door het maaisel toe te passen als veevoer of bodemverbeteraar). Welke maatregelen effectief zijn om de voorwaarden te creëren voor de beoogde vegetatie binnen de gestelde tijd is locatie specifiek (Aggenbach et al., 2017). Naast de uitgangssituatie van fosfaat in de bodem, de consequenties voor de tijdsduur van uitmijnen/verschralen en de hydrologische setting spelen onder andere ook de kosten van afgraven, archeologische/aardkundige waarden, de aanwezigheid van een waardevolle zaadbank in de bodem en het vermogen van de bodem om zuur te bufferen een rol. Ter ondersteuning van de besluitvorming over afgraven, uitmijnen, of de keuze voor een ander natuurtype heeft Chardon. (2008) een beslisschema ontwikkeld (Figuur 7-1).



Figuur 7-1: Schema ter ondersteuning van de besluitvorming over afgraven, uitmijnen, of de keuze voor een ander natuurdoeltype (Chardon, 2008).

7.1 Verschralen

Wanneer de voedingstoestand van de bodem al relatief laag is en/of de eisen die de gewenste vegetatie stelt aan de voedingstoestand beperkt zijn, kan worden volstaan met verschralen door (intensief) maaien en afvoeren. Met verschralen worden alle nutriënten verlaagd. Op voormalige landbouwgrond zullen stikstof en kalium eerder limiterend worden dan fosfaat. Dit remt de productie en beperkt daarmee de afvoer van fosfaat. Voor (matig) voedselrijke vegetaties zou fosfaat dan niet beperkend hoeven zijn. Dit blijkt uit een studie in twee gebieden waar 30 jaar lang is verschraald (Kemmers et al., 2006). Wel blijkt uit deze studie dat, indien gewenst, maatregelen genomen dienen te worden om via dispersie van zaden de kolonisatie van karakteristieke planten-(doel)soorten mogelijk te maken.

Op sommige voormalige landbouwpercelen is, zelfs vanuit een agronomisch perspectief, de fosfaattoestand hoog tot zeer hoog. Het verlagen van de fosfaattoestand is dan nodig om uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater te voorkomen en om te voorkomen dat via (lokale) kwel het fosfaat in aangrenzende natuurgebieden de vegetatie-ontwikkeling beperkt. Het verschralen van de bodem kan met maaien en afvoeren omdat uit de proef in Roeghoorn blijkt dat fosfaat tot een diepte van (tenminste) 50cm aan de bodem wordt onttrokken.

In de detailproef in Roeghoorn bleef de samenstelling en soortenrijkdom van de vegetatie nagenoeg constant gedurende de 10 jaar van de proef. Op sommige proefplots met de verschralingsbehandeling gaf de lage voedingstoestand van de bodem wel aanleiding om een grotere soortenrijkdom te mogen verwachten. Wanneer de abiotische omstandigheden (voedingstoestand van de bodem) geschikt zouden moeten zijn voor de beoogde vegetatie kan het nodig zijn om de aanwezige grasmat en het dichte wortelstelsel (de zode) open te maken zodat de bodem zwart komt te liggen. Wanneer maaisel uit een geschikt referentie gebied wordt opgebracht heeft dit de ruimte om te ontkiemen.

Gedurende de 10 jaar van proef daalde de drogestofopbrengst in de verschralingsbehandeling niet en bleef gemiddeld constant rond 5,8 +/- 1,7 ton ds/ha). In de verschralingsbehandeling bleef met deze drogestofopbrengst het P-gehalte in de vegetatie het P-gehalte in het gewas gedurende de eerste 5 jaar van het experiment stabiel op 3.1 +/- 0.4 mg P/kg ds. Tussen 5 en 10 jaar van maaien en afvoeren daalde de drogestofopbrengst niet (deze steeg zelfs licht) maar daalde het P-gehalte wel (gemiddeld 2,0 +/- 0,4 mg/kg). Gemiddeld over 10 jaar werd in de detailproef met verschralen 16 +/- 4,4 kg P/ha onttrokken. Dit is iets hoger dan de 10 kg P/ha die door Chardon et al. (2009) worden genoemd en dan de 8.5 kg P/ha die door Schelfhout et al. (2019) is waargenomen in een verschralingsproef.

Met verschralen wordt de fosfaattoestand van de bodem verlaagd. Dit geldt voor zowel het beschikbaar P als voor de beschikbare P-reserves. Met verschralen wordt niet alleen de P-toestand van de toplaag verlaagd maar ook van de diepere bodemlagen (gemeten tot 50 cm-mv). Op de droge zandgronden is de verandering in de totaal beschikbare reserves van dezelfde orde grootte als de P-onttrekking door maaien en afvoeren. De verandering van het beschikbaar P is een functie van onttrekking en de buffering vanuit diepere bodemlagen en totale P-reserves.

7.2 Uitmijnen

Wanneer met verschralen de fosfaattoestand niet voldoende kan worden verlaagd voor de beoogde (voedselarme) vegetatie kan de fosfaatonttrekking worden gestimuleerd door uitmijnen. Bij uitmijnen worden stikstof (N) en kalium (K) toegediend als meststof om de drogestofopbrengst te stimuleren en daarmee ook de onttrekking van fosfaat. Wanneer een gras-klavermengsel wordt gebruikt kan de N-gift achterwege blijven of sterk worden beperkt. In combinatie met gras-klover is kalium nodig om de productie – en daarmee de fosfaatonttrekking op peil te houden (Van Eekeren et al., 2007).

7.2.1 Drogestofopbrengst en fosfaat-onttrekking

Uitmijnen leidt in Roeghoorn gemiddeld over 10 jaar tot een bijna 2 keer zo hoge drogestofopbrengst (12 ± 3 vs 5.8 ± 1.7 ton ha^{-1} jaar $^{-1}$) en fosfaatonttrekking (30 ± 11 vs 16 ± 4 kg P ha^{-1} jaar $^{-1}$) vergeleken met verschralen. Door te bemesten met N en K worden in Roeghoorn de ruimtelijke verschillen in opbrengst en P-onttrekking tussen de locaties groter. De effectiviteit van uitmijnen neemt af met de tijd en daalt met name de eerste 5 jaar. Na 5 jaar stabiliseert deze waarbij gemiddeld 1.6 keer meer fosfaat wordt onttrokken bij uitmijnen dan bij verschralen. De daling in effectiviteit van uitmijnen is in Roeghoorn het gevolg van een continue daling in het P-gehalte van de vegetatie en niet een gevolg van een daling in opbrengst.

Vergelijkbare resultaten zijn gevonden in een vijfjarige veldproef op drie zandgronden met verschillende initiële fosfaatgehalten bij de overgang van landbouw naar natuur (Schelfhout et al. 2019). De fosfaatonttrekking was ook daar twee keer hoger bij uitmijnen dan bij verschralen (18 ± 7 vs 8 ± 5 kg P ha^{-1} jaar $^{-1}$). Dit kwam door een hogere drogestofopbrengst maar het P-gehalte van het gras was bij uitmijnen lager (2.5 ± 0.7 vs 2.9 ± 0.7 g P kg^{-1}). In nog een andere vijfjarige veldproef op landbouwgronden zijn ook vergelijkbare resultaten gevonden (van der Salm et al., 2009). Op klei en veen nam de P-onttrekking over de tijd af door een afname van het P-gehalte in het gras. Op de zandgrond nam de P-onttrekking over de tijd af door een afname van de drogestof opbrengst. Het P-gehalte in het gras bleef hier wel vrijwel gelijk.

Door gras-klaver te bemesten met kalium werd in achtjarige veldproef bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond op een Brabantse zandgrond, gemiddeld 34 kg P ha^{-1} jaar $^{-1}$ onttrokken, in vergelijking met 26 kg P ha^{-1} jaar $^{-1}$ bij inzaai klaver zonder kali-bemesting (Timmermans & van Eekeren, 2019). Dit geeft aan dat meer fosfaat wordt onttrokken door naast stikstoflimitatie (klaver) ook kaliumlimitatie te voorkomen. Deze veldproef wordt ook aangehaald in de adviesrapporten van Timmermans et al. (2010) en van Mullekom et al. (2016).

7.2.2 Bemesting

In het uitmijnexperiment in Roeghoorn is de bemesting aangepast aan de verwachte opbrengst. Op de vochtigere locaties was de gift lager (220 kg N en 233 kg K_2O) dan op de drogere locaties (300 kg N en 317 kg K_2O). De derde snede is vaak niet gelukt, wel is daar soms voor bemest. Die afstemming is weersafhankelijk en niet makkelijk te plannen. Na 5 en 8 jaar is de bemesting in stappen verlaagd (tot 60 kg N en 75 kg K_2O). Op basis van een balansberekening is berekend dat alleen in de situatie waarin fosfaat limiterend is voor de opbrengst (proeflocatie 3) de N- en de K-gift groter is dan de onttrekking en er dus nutriënten verloren zijn gegaan naar de omgeving. Voor de andere locaties in de proef was de balans netto negatief; gemiddeld over de eerste vijf jaar is 15 kg meer N en K onttrokken dan is toegediend met bemesting. Omdat na 8 jaar de bemesting verder is verlaagd en de opbrengst niet significant is gedaald is de balans (nog) negatiever geworden; er is meer N en K onttrokken dan toegediend. Netto is gedurende de gehele proef cumulatief minder bemest dan afgevoerd.

Zonder bemesting was de onttrekking gemiddeld 50 kg K ha^{-1} jaar $^{-1}$ (hoogst op locatie 6 (95) en laagst locaties 4 en 5 (25)) en 100 kg N ha^{-1} jaar $^{-1}$ (hoogst locaties 1 en 6).

7.2.3 Fosfaatonttrekking in relatie tot de fosfaattoestand van de bodem

De mate van P-onttrekking bij uitmijnen correleert met de fosfaattoestand van de bodem (Schelfhout, 2018). Koopmans et al. (2004) vonden in een uitmijnproef ook een sterk verband tussen het P-gehalte in gras en een maat voor P-beschikbaarheid (P-CaCl_2). In de detailproef in Roeghoorn is er ook een relatie tussen het P-gehalte in de vegetatie en een maat voor het beschikbaar P (P-Al) in de bovenste 10cm van de bodem (Figuur 5-6). De afname in het P-gehalte in gras gedurende langere tijd (intensieve onttrekking in een potproef gedurende meer dan 2,5 jaar) is sterk gerelateerd aan een maat voor het beschikbaar P (P_w , Chardon et al., 2009). Als er meer fosfaat in de bodem zit, wordt er meer P onttrokken maar is de afname over de tijd ook groter. Dit heeft tot gevolg dat de snelheid van fosfaatonttrekking over de tijd afneemt. Schelfhout (2018) geeft aan dat bij het schatten van de benodigde tijdsduur van uitmijnen hier rekening mee dient te worden gehouden.

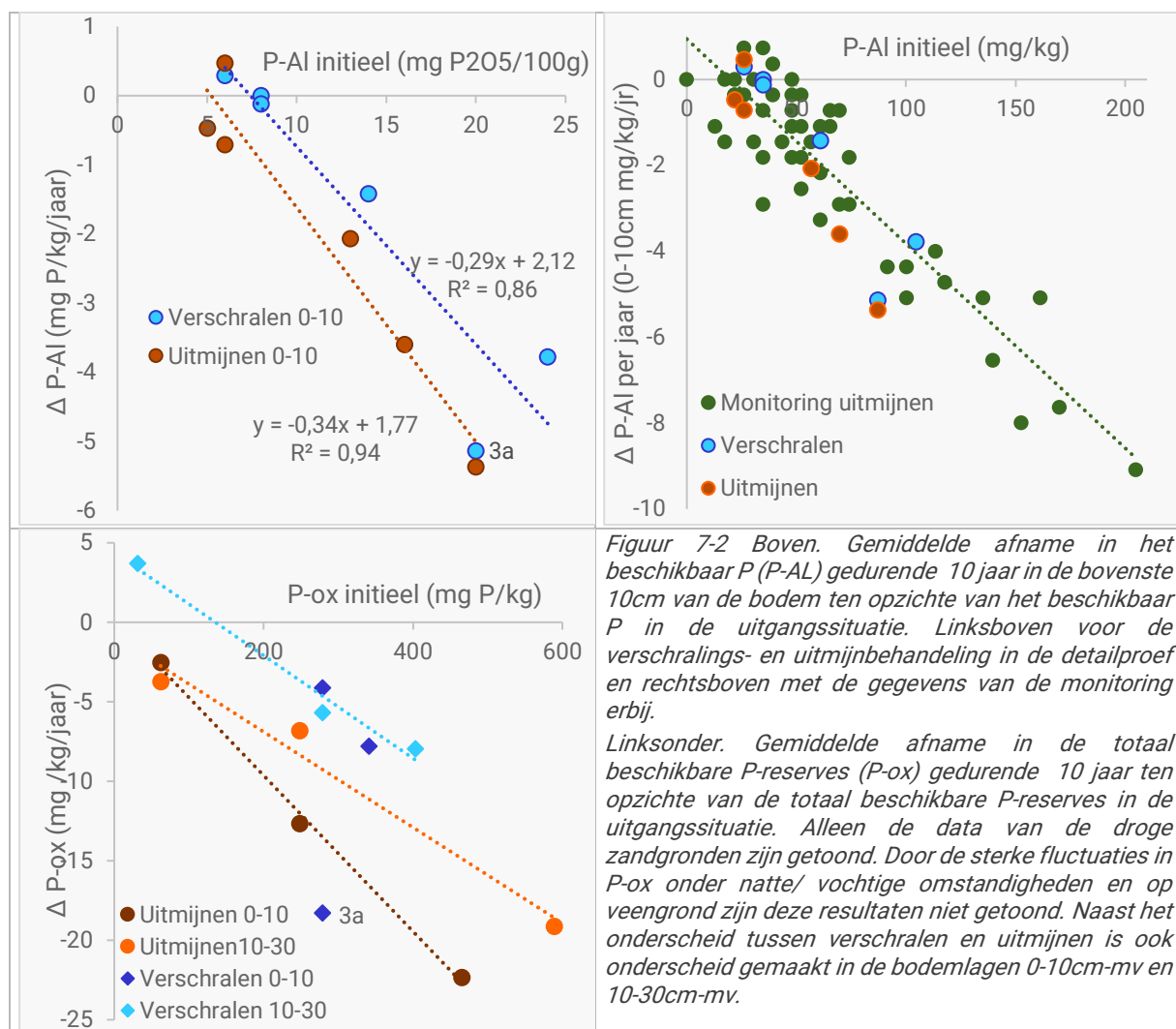
Het stimuleren van de grasproductie kan niet één op één worden vertaald naar een verhoogde P-onttrekking. Uit de detailproef in Roeghoorn blijkt dat het P-gehalte in het gras in de uitmijnbehandeling

lager is en sneller afneemt dan in de verschrallingsbehandeling. Dit is in overeenstemming met de resultaten van Nawara et al (2018) die aantonen dat met N-bemesting de opname snelheid van P door de grasvegetatie lager is dan zonder N-bemesting omdat de snelheid van nalevering van P uit de bodem beperkend wordt.

De studie van Schelfhout (2018) laat zien dat het voordeel van uitmijnen ten opzichte van verschrallen kleiner wordt naarmate de fosfaatbeschikbaarheid (P-Olsen, een iets zwakkere extractie methode dan P-AL) en de totale fosfaatreserves (P-ox) in de bodem lager worden. Ook in Roeghoorn kan de effectiviteit van uitmijnen voor de P-onttrekking van het gewas worden voorspeld op basis van de totaal beschikbare P-reserves in de bodem (benaderd met P-oxalaat).

7.2.4 Effect van uitmijnen op de fosfaattoestand van de bodem

Het doel van uitmijnen is om het voor het gewas beschikbaar P te verlagen. Dit is het beschikbaar P (gemeten met P-AL) in de bovenste 10cm van de bodem. De snelheid waarmee het beschikbaar P daalt is afhankelijk van het initiële beschikbaar P en van de P-onttrekking; hoe hoger de initiële P-beschikbaarheid en des te groter de P-onttrekking des te sneller daalt de fosfaattoestand (Figuur 7-2, bovenste figuren).



Uit de detailproef blijkt dat met uitmijnen het beschikbaar P versneld afneemt ten opzichte van verschrallen. Uitzondering is locatie 3 waar wordt verschraald maar het beschikbaar P snel daalt. Op deze locatie is de toplaag van de bodem verwijderd waardoor alleen de bovenste 10cm verrijkt is met P en er geen buffering plaatsvindt vanuit diepere bodemlagen. In de vochtige/ natte locaties was het

beschikbaar P in de toplaag in de uitgangssituatie laag. Het verschil tussen uitmijnen en verschralen is daardoor ook beperkt.

Uitmijnen is het meest effectief in het verlagen van het beschikbaar P wanneer het beschikbaar P hoog is en de buffering door de totaal beschikbare P-reserves in de bodem en de buffering vanuit diepere bodemlagen klein is. Dit komt overeen met droge zandgronden (grondwater komt niet tot maaiveld) waar alleen de toplaag is verrijkt met P. De variatie in buffering verklaart de variatie in de afname in P-AL in het beekdal als geheel (monitoringsresultaten 50 percelen, Figuur 7-2 rechtsboven).

In droge zandgronden is de verlaging van de totale P-reserves (gemeten met P-ox) van dezelfde orde grootte als de P-onttrekking door het gewas (Figuur 5-10). De snelheid waarmee de totaal beschikbare reserve daalt is direct gerelateerd aan de beschikbare reserves in de uitgangssituatie en de P-onttrekking (Figuur 7-2, onderste figuur).

In situaties waar het grondwater regelmatig tot maaiveld staat is er geen meerwaarde aangetoond van uitmijnen boven verschralen voor het verlagen van de fosfaattoestand van de bodem. Ondanks dat de P-onttrekking met bemesting (veel) hoger kan zijn dan zonder bemesting. In natte situaties vindt mobilisatie van P plaats waardoor het 'versmeert' over het bodemprofiel en kan ook de aanvoer van P met (ijzerrijke) kwel leiden tot een verrijking van de diepere bodemlagen met P, maar ook met Fe – waar P weer aan kan binden. Deze natte omstandigheden stimuleren de ontwikkeling van hoog productieve grassen (rietgras en liesgras) waardoor de opbrengst ook zonder bemesting hoog is. In praktische zin zijn deze natte omstandigheden ook beperkend voor het maaien en afvoeren. In de Roeghoorn was in de toplaag op deze locaties het beschikbaar P laag – dieper in het bodemprofiel nam de beschikbaarheid toe.

7.2.5 Verwachte tijdsduur uitmijnen

De tijdsduur van uitmijnen is in theorie korter dan de tijdsduur van verschralen omdat er bij uitmijnen maatregelen worden genomen om stikstof- en kaliumlimitatie tegen te gaan. In de praktijk blijkt de effectiviteit van uitmijnen af te hangen van de mate waarin het beschikbaar P in de toplaag van de bodem wordt gebufferd door P uit de totaal beschikbare P-reserves en uit diepere bodemlagen en hoe het fosfaatprofiel in de bodem is opgebouwd. Een goede inschatting kan alleen worden gemaakt indien vernatting (nog) niet optreedt.

Op droge zandgronden kan de tijdsduur van uitmijnen goed worden berekend op basis van de totaal beschikbare P-reserves en het beschikbaar P in het bodemprofiel. Met het beschikbaar P kan worden berekend hoeveel P met het gewas per jaar wordt onttrokken. Op basis van deze onttrekking kan de afname in de totale P-reserves worden berekend. De totaal beschikbare P-reserve is een functie van de mate waarin de bindingscapaciteit van de bodem is opgeladen met P (de fosfaatverzadigingsgraad, FVG). De verandering in P-ox vertaalt zich, in combinatie met de bindingscapaciteit, dus direct naar een verandering in de FVG. Daarnaast kan de verandering in het beschikbaar P direct worden berekend op basis van het beschikbaar P in de uitgangssituatie. In de praktijk is de verwachte uitmijnperiode op basis van beide rekenmethodes van dezelfde orde grootte.

Wat betreft de P-onttrekking is de effectiviteit van uitmijnen het grootst bij hoge P-reserves in de bodem. Het P-gehalte in de vegetatie is gerelateerd aan het beschikbaar P in de bodem. Het beschikbaar P daalt het snelst bij een hoge P-beschikbaarheid in de uitgangssituatie. Hoe lager de fosfaattoestand van de bodem (wordt) des te kleiner is het effect van uitmijnen boven verschralen.

7.2.6 Uitmijnen in de praktijk

Samenwerking met agrarische pachters

Om uitmijnen in samenwerking met een agrarische pachter in de praktijk goed te laten verlopen moet vooraf duidelijkheid zijn over doelstellingen en verwachtingen. Voor de betrokken beheerder, dhr.

Smeenge was het in het begin wennen om op de vochtige tot natte gronden te kunnen werken. Over de jaren is in Roeghoorn meer wederzijds begrip gekomen voor het verschil in aanpak tussen landbouw en natuur.

Het maaisel dat vrijkomt bij uitmijnen wordt door de agrarische beheerder bij voorkeur gebruikt als ruwvoer voor graasdieren (vooral rundvee, maar eventueel ook paarden en/of schapen). Hiervoor is de kwaliteit van het maaisel als ruwvoer van belang. Daarbij gaat het onder andere om de gehalten aan nutriënten en een aantal parameters die worden bepaald in gras, kuilvoer (van gras en/of maïs) of hooi voor landbouwkundig gebruik.

Wanneer een perceel uit agrarische productie wordt genomen is de effectiviteit van uitmijnen hoog en is de opbrengst ruim hoger (factor 2,5) dan bij verschralen. De effectiviteit in het verwijderen van fosfaat daalt echter snel (binnen 5 jaar naar een factor 1,5) met name omdat het P-gehalte in het gras daalt. In van der Salm et al. (2009) daalde binnen 5 jaar het P-gehalte van het gras tot onder de 3 g P kg⁻¹ droge stof op de veen en klei locaties. Dit is een (te) laag gehalte voor gras wat gebruikt wordt als voer voor hoog productieve melkkoeien. In Roeghoorn werd na 5 jaar uitmijnen ook geconcludeerd dat de voederwaarde van het maaisel dat verkregen werd in de uitmijnbehandeling te laag was voor melkvee, maar wel geschikt was voor droogstaande koeien, jongvee en paarden (Postma et al., 2014).

De bruikbaarheid en waarde van het maaisel daalt dus van initieel voer voor melkkoeien naar voer voor onder andere jongvee. Wanneer storende soorten opkomen (Jacobskruid, Ridderzuring) daalt de waarde verder. In Roeghoorn gebruikt dhr. Smeenge het maaisel om toe te dienen als bodemverbeteraar op zijn akkers. Door de aanvoer van (effectieve) organische stof wordt de algemene bodemkwaliteit van zijn percelen verbeterd. Dit leidt door een beter vochtvasthoudend vermogen een betere binding van nutriënten tot een lagere uitspoeling. Dit zou (nu nog in theorie) moeten leiden tot een lagere input van nutriënten in het aangrenzende lager gelegen beekdal.

Op het moment dat maaisel uit natuurterreinen niet (meer) geschikt is als ruwvoer kan het ook ingezet worden als strooisel in de stal bij kalveren, pinken en droge koeien.

Uit de verschillende studies blijkt dat uitmijnen een kwestie is van een lange adem. De afspraken met de agrarisch beheerder moeten er op zijn gericht dat voor een lange periode wordt gemaaid en wordt afgevoerd, ook wanneer de kwaliteit afneemt, opbrengsten teruglopen, en wanneer voor het vee storende soorten opkomen.

Praktische punten

Uit de werksessies met de betrokken partijen (zie hoofdstuk 6 voor meer details) zijn de volgende conclusies getrokken:

- Uitmijnen als inrichtingsmaatregel kent enkele praktische randvoorwaarden zoals toegankelijkheid van het gebied, een uitgangssituatie die gunstig is om binnen een redelijke termijn doelstellingen te halen en tijd.
- Om uitmijnen een succes te maken moet een langdurige samenwerking met lokale agrariërs worden aangegaan waarin verwachtingen en doelstellingen voor beide partijen helder zijn.
- Verwachtingen wat betreft ecologie moeten tijdens het uitmijnen laag zijn.
- Uitmijnen – en het daarbij horende agrarisch beheer – vraagt om een goede communicatie richting publiek; waarom maaien tijdens het broedseizoen? waarom bemesten?
- Om verwachtingen wat betreft natuurpotentie realistisch te houden zou een oplossing kunnen zijn om een gebied waar wordt uitgemijnd langer de functie landbouw te laten behouden en het pas de functie natuur toe te kennen wanneer de abiotische randvoorwaarden gunstiger zijn. Dit kan voor de agrarische pachter gevolgen hebben voor de pachtprijs (die wordt over het algemeen hoger gesteld voor landbouwpercelen dan voor natuurpercelen) en voor de plaatsingsruimte van dierlijke mest op bedrijfsniveau (die is groter bij de functie landbouw dan bij de functie natuur).

- Bij de inrichting van een gebied kan meer differentiatie worden aangebracht – aanpak op landschapniveau, door een combinatie van afgraven, afplaggen, verschralen, uitmijnen.

Watersysteem van de beek

- Herinrichting vindt idealiter plaats nadat de voedselrijkdom van de bodem, en met name de fosfaattoestand langs de beek is verlaagd.
- Voor een optimale ecologische winst moeten heldere afspraken worden gemaakt tussen natuurorganisaties en waterschap wat betreft de (her)inrichting van de beek;
- Naast inrichting moet ook het langjarig beheer van een beek vanaf het begin worden opgenomen in de planvorming – bijvoorbeeld afspraken over afvoer maaisel;
- De betrokken partijen (natuurorganisatie, waterschap, provincie) moeten vanaf het begin vaste aanspreekpunten hebben die inzicht hebben- en gaan over een gebied.

Afgraven

Op basis van de totale fosfaatreserves in de bodem en de verwachte onttrekking, kan een inschatting worden gemaakt of uitmijnen effectief zal zijn om binnen een bepaalde termijn de fosfaatbeschikbaarheid tot een geschikt lage toestand te doen dalen. Wanneer deze verwachte termijn (te) lang is en alleen de dunne toplaag van de bodem (5 tot 10cm) sterk is verrijkt met nutriënten, kan deze worden afgeplagd. Wanneer tot dieper in de bodem deze sterk is verrijkt met nutriënten kan een diepere bodemlaag worden afgegraven. Dit is een vrij drastische ingreep omdat het een kostbare maatregel is en omdat bodemkundige waarden (microreliëf, biotoop van bodemleven en zaadbank) verloren gaan. Op gronden waar de sterk verrijkte toplaag van de bodem wordt verwijderd kunnen op korte termijn echter wel mooie resultaten worden behaald wat betreft vegetatieontwikkeling.

Afgraven van de bovengrond heeft echter alleen zin wanneer het beschikbaar P in de bodem afneemt met de diepte. De fosfaattoestand kan echter ook toenemen met de diepte wanneer fosfaat uit de toplaag is uitgeloozd naar diepere lagen door wisselende vochttoestand en/ of fosfaat door de aanvoer met kwel de diepere bodemlaag heeft verrijkt. In deze gevallen leidt afgraven juist tot een toename in beschikbaar P in de nieuwe toplaag van de bodem in plaats van tot de beoogde afname. Het komt ook voor dat wanneer een perceel met een lage P-bindingscapaciteit (ijzerarme zandgrond) al lang (decennia) uit agrarische productie is, de initieel verrijkte toplaag is uitgeloozd naar diepere bodemlagen of alleen de toplaag verarmd is door verschralen. In de diepere bodemlagen kan de fosfaattoestand dan ook hoger zijn dan de toplaag. Dit bevestigt waarom het belangrijk is om eerst fosfaatonderzoek op meerdere bodemdieptes uit te voeren voordat wordt afgegraven.

Het komt ook voor (niet in de huidige proef) dat wanneer een perceel met een lage P-bindingscapaciteit (ijzerarme zandgrond) al lang (decennia) niet meer wordt gebruikt voor agrarische productie, de verrijkte toplaag is uitgeloozd naar diepere bodemlagen of dat door maaien en afvoeren de toplaag is verarmd terwijl diepere bodemlagen nog zijn verrijkt. Dit bevestigt waarom het belangrijk is om eerst fosfaatonderzoek uit te voeren waarbij onderscheid wordt gemaakt in bodemlagen voordat wordt afgegraven.

Ondanks de zeer beperkte verandering in de vegetatie gedurende de 10-jarige proef, was het aantal soorten en de abundantie van zeldzamere soorten hoger op de locaties waar de toplaag was verwijderd vergeleken met locaties waar dit niet was gebeurd.

Vernatten

Vernatting door peilopzetten of door het dempen van afwateringsloten of greppels zou pas moeten gebeuren na inrichting voor natuurontwikkeling. Uitzondering zou zijn dat vernatting plaatsvindt als gevolg van het verwijderen van de voedselrijke toplaag. Uitmijnen lijkt weinig effectief onder natte omstandigheden maar ook verschralen door maaien en afvoeren wordt bemoeilijkt door de geringe draagkracht van natte gronden. Daarnaast leidt vernatting tot de mobilisatie van P (en ijzer) waardoor fosfaat gemakkelijk uit kan spoelen naar diepere bodemlagen en/ of het oppervlaktewater.

8 Conclusies en aanbevelingen

Voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in een beekdalsysteem moet de hydrologie worden hersteld en de voedselrijkdom van de bodem worden verlaagd. Voor (voedselarme) vegetaties is fosfaat vaak het meest beperkende element. De fosfaattoestand kan worden verlaagd door afgraven, uitmijnen of verschralen. De keuze voor één van deze maatregelen of voor een combinatie, is niet alleen afhankelijk van fosfaat. Het is afhankelijk van de beoogde natuurdoelstelling, de termijn waarop deze behaald zou moeten worden, de hydrologische situatie en de mate van vernatting, archeologische/aardkundige waarden, kosten voor afgraven, aanwezigheid van een waardevolle zaadbank in de voedselrijk bodemlaag en de capaciteit van deze bodemlaag om zuur te bufferen.

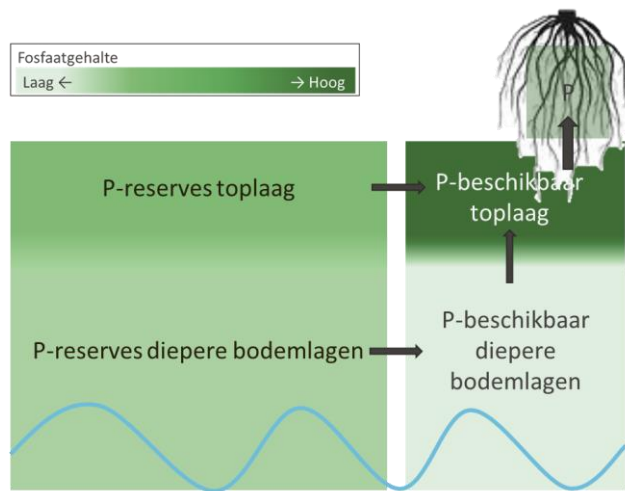
In de proef in het gebied 'Roeghoorn' in het beekdal van het Oostervoortschediep (Dr.) is een zeer gedetailleerd beeld verkregen van het effect van 10 jaar lang verschralen, uitmijnen en afgraven al dan niet in combinatie van vernatting, op de vegetatie-ontwikkeling, de drogestofopbrengst en samenstelling van de vegetatie, de grondwaterstand en de verandering van de bodemsamenstelling en met name de nutriëntenstatus van verschillende bodemlagen. Daarnaast zijn de samenwerking en ervaringen van de betrokken partijen in kaart gebracht. De betrokken partijen zijn Staatsbosbeheer, de agrarische pachter, het waterschap Noorderzijlvest, de provincie Drenthe en het Nutriënten Management Instituut (NMI).

8.1 Conclusies

- Natuur en de ontwikkeling van een soortenrijke schrale(re) vegetatie kost tijd. De soortenrijkdom van de vegetatie en de verandering in de soortenrijkdom gedurende de 10 jaar van de proef was beperkt. Er was hierin geen tot een beperkt verschil tussen verschralen en uitmijnen. Afgraven had wel een direct en duidelijk positief effect op het aantal soorten en de aanwezigheid van zeldzame soorten in vergelijking met uitmijnen of verschralen.
- Uitmijnen leidde gemiddeld over 10 jaar tot een bijna 2 keer zo hoge drogestofopbrengst en fosfaatonttrekking door het afgevoerde gewas vergeleken met verschralen. De effectiviteit van uitmijnen vergeleken met verschralen was echter zeer locatie en tijd specifiek.
- Wat betreft opbrengst en fosfaatonttrekking was de effectiviteit van uitmijnen het eerste jaar het grootst (factor 2,7 gemiddeld) en daalde deze met de tijd en met name de eerste 5 jaar. Na 5 jaar stabiliseerde deze waarbij gemiddeld 1.6 keer meer fosfaat wordt onttrokken bij uitmijnen dan bij verschralen. De daling in effectiviteit was het gevolg van een continue daling in het P-gehalte van de vegetatie en niet een gevolg van een daling in opbrengst.
- Het P-gehalte in de vegetatie werd sterk bepaald door het beschikbaar fosfaat (benaderd met P-AI) in de bovenste 10 cm van de bodem. Uitmijnen heeft daarom tot doel om het voor de vegetatie beschikbaar P in de bodem versneld te doen afnemen.
- De verandering in het beschikbaar P in de bodem bleek echter beperkt te zijn ten opzichte van de hoeveelheid P die door de vegetatie werd onttrokken. De P-onttrekking door maaien en afvoeren was in de proef 2,5 tot 7x groter dan de afname in het beschikbaar P in de bodem. Het beschikbaar P wordt gebufferd uit de totaal beschikbare P-reserves en uit diepere bodemlagen.

Droge (zand)gronden

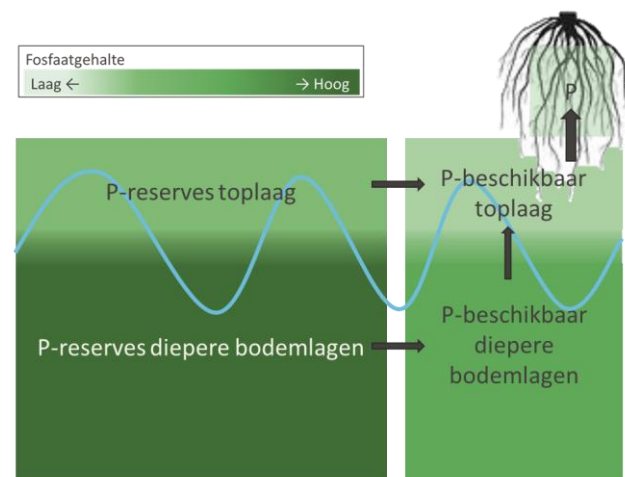
- Uitmijnen is effectief wanneer de fosfaatbeschikbaarheid hoog is maar de buffering vanuit de totaal beschikbare reserves en vanuit de diepere bodemlagen laag. Dit is met name op droge zandgronden het geval met een lage fosfaatbindingscapaciteit.
- In deze omstandigheden is de snelheid waarmee het direct beschikbaar P daalt een functie van het direct beschikbaar P en de P-onttrekking. Dit betekent dat het direct beschikbaar P steeds langzamer daalt.
- Uitmijnen is op zandgronden met een voldoende hoog beschikbaar fosfaat (P-AL >5 mg P₂O₅/100g) gemiddeld over 10 jaar een factor 1,6 keer zo effectief in het verlagen van het beschikbaar P in de bodem dan verschrallen. Dit geldt tot een diepte van (tenminste) 50cm.
- De daling van de totaal beschikbare P-reserves in de bodem gaat op de droge locaties waar alleen de bovengrond verrijkt is met fosfaat met uitmijnen ruim 2 keer sneller dan met verschrallen. De daling van deze P-reserves is hier van dezelfde orde grootte als de P-onttrekking.
- Wanneer het beschikbaar fosfaat slechts beperkt wordt gebufferd is de snelheid waarmee deze daalt goed te voorspellen op basis van het initieel beschikbaar P en de totale P-reserves.



Schematische weergave van de relatie tussen beschikbaar fosfaat in de bodem en de buffering vanuit fosfaatreserves in de toplaag en vanuit diepere bodemlagen. Hoe donkerder de kleur groen hoe hoger de betreffende fosfaatgehaltes. Blauw is de grondwaterstand.

Natte Locaties

- Op natte(re) locaties is de cumulatieve P-onttrekking met uitmijnen hoger dan met verschrallen. Maaien en afvoeren wordt beperkt door de natte omstandigheden.
- Op de natte locaties, waar het grondwater regelmatig tot boven maaiveld staat is een omgekeerd fosfaat profiel in de bodem aanwezig. De fosfaatbeschikbaarheid is in de toplaag van de bodem lager dan in de bodemlagen daaronder. Oorzaken hiervoor kunnen zijn mobilisatie van P onder natte omstandigheden gevolgd door uitspoeling naar diepere bodemlagen. Anderzijds kan P worden aangevoerd met ijzerrijke kwel en neerslaan op de diepte waar de bodem niet langer verzadigd is met water en zuurstof bevat.
- In de proef zijn over de tijd en met de diepte (gemeten tot 50cm diepte) grote fluctuaties gemeten in het beschikbaar P, de totaal beschikbare P-reserves én de bindingscapaciteit in de vorm van Fe-(hydr-)oxiden. Door deze fluctuaties kan niet worden aangetoond dat met 10 jaar uitmijnen de fosfaattoestand van de bodem sneller daalt dan met verschrallen.



Schematische weergave van de relatie tussen beschikbaar fosfaat in de bodem en de buffering vanuit fosfaatreserves in de toplaag en vanuit diepere bodemlagen. Hoe donkerder de kleur groen hoe hoger de betreffende fosfaatgehaltes. Blauw is de grondwaterstand.

In de praktijk

- Bij uitmijnen wordt, ondanks de bemesting met N en K, de voederwaarde van het gras in de loop van de tijd lager door een verandering in minerale samenstelling. Dit heeft consequenties voor de toepassing van het maaisel als veevoer. Zolang de voederwaarde van het maaisel voldoende hoog

is kan het aan melkvee worden gegeven. De minerale samenstelling daalt echter binnen 5 jaar waardoor het alleen nog geschikt is voor droogstaande koeien, jongvee of andere dieren, tenzij de rest van het rantsoen wordt aangepast. Wanneer er voor de dieren storende soorten opkomen kan het maaisel worden gebruikt om (na een eventuele bewerking) de bodemvruchtbaarheid te verbeteren of om als strooisel in de stal te dienen.

8.2 Aanbevelingen

- Uitmijnen is een effectieve maatregel om het voor de vegetatie beschikbare fosfaat in de bodem versneld te doen afnemen op locaties die vooral in de toplaag van de bodem zijn verrijkt met fosfaat en die een beperkte buffering hebben vanuit de totale fosfaatreserves in de bodem. In de praktijk komt dit vaak neer op droge zandgronden met een lage fosfaat bindingscapaciteit.
- Vooral de eerste jaren is uitmijnen effectief vergeleken met verschralen, wanneer het voor de vegetatie beschikbaar fosfaat hoog is en de opbrengst en fosfaat-onttrekking met het afgevoerde gewas hoog zijn.
- Om een inschatting te kunnen maken van de tijdsduur van verschralen en uitmijnen is het belangrijk om niet alleen naar beschikbaar P te kijken maar ook naar de fosfaat fracties van waaruit dit beschikbaar P wordt gebufferd; de totaal beschikbare P-reserves in boven- én ondergrond en de fosfaat bindingscapaciteit van de bodem.
- Vernatten en eventuele inrichtingsmaatregelen moeten plaatsvinden nadat de voedselrijkdom van de bodem is verlaagd om verliezen naar diepere bodemlagen en naar het watersysteem te voorkomen en natuurherstel te optimaliseren.
- Wanneer wordt geëxperimenteerd met natuurontwikkeling moet de proef voor een langere periode worden voortgezet (afhankelijk van de uitgangssituatie maar minimaal 5 jaar) om goede conclusies te kunnen trekken over de verandering in vegetatiesamenstelling en de fosfaattoestand van de bodem. Dit vraagt om lange termijn commitment van betrokken partijen.
- Ondanks dat uitmijnen of verschralen interessante opties zijn voor natuurherstel, is de natuurwaarde gedurende een langere periode beperkt. Om tegemoet te komen aan de doelstelling van natuurorganisaties en de wensen van het publiek kan een gebiedsgerichte aanpak aantrekkelijk zijn. De variatie en natuurpotentie kan worden gebruikt om binnen het gebied te variëren met de verschillende inrichtingsmaatregelen (afgraven, kleinschalig plaggen, uitmijnen, verschralen). Zo kan een interessante variatie worden aangebracht in het te ontwikkelen gebied.
- Bij de herinrichting van een beekdal zijn verschillende partijen betrokken. Een goede afstemming van doelstellingen, verwachtingen en verantwoordelijkheden is in zo'n proces (uiteraard) cruciaal. Dit wordt gedurende het proces vergemakkelijkt door 1 aanspreekpunt per organisatie die kennis van zaken en mandaat heeft.

Literatuur

- Aggenbach C.J.S., M.P. Berg, J. Frouz, T. Hiemstra, L. Norda, J. Roymans, R. van Diggelen (2017) Handreiking voor de omvorming van landbouwgronden naar schrale natuur. Kennisnetwerk OBN www.natuurkennis.nl/Uploaded_files/Publicaties/handreiking-landbouwschraal-def.f3aea3.pdf
- Amery F., B. Vandecasteele, T. D'Hose, S. Nawara, A. Elsen, W. Odeurs, H. Vandendriessche, D. Arlotti, S.P. McGrath, M. Cougnon, E. Smolders (2021) Dynamics of soil phosphorus measured by ammonium lactate extraction as a function of the soil phosphorus balance and soil properties. *Geoderma* 385 <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114855>.
- Bussink, D., de Haas, M., Postma, R., & Walraven, N. (2012). Risico van fosfaatemissie uit landbouwgronden in Drenthe - deel II XRF metingen. Wageningen: Nutriënten Management Instituut.
- Chardon, W. (2008). Uitmijnen of afgraven van voormalige landbouwgronden ten behoeve van natuurontwikkeling: een studie in het kader van 'Bodemdiensten'. Wageningen: Alterra.
- Chardon W.J., Sival F.P., Kemmers R.H., Delft B., Koopmans, G.F. (2009) Is het mogelijk om met uitmijnen in plaats van ontgronden voldoende fosfaat kwijt te raken? *De Levende Natuur* 110 - 1
- Dodd, R., Mcdowell, R., & Condon, L. (2012). Using Nitrogen Fertiliser to Decrease Phosphorus Loss from High Phosphorus Soils. Conference: New Zealand Grasslands Association, 74.
- Johnston, A. E. & Poulton, P. R., 2019. Phosphorus in Agriculture: A Review of Results from 175 Years of Research at Rothamsted, UK. *Journal of Environmental Quality*, 9, 48(5), pp. 1133-1144.
- Nawara S., T. van Dael, E. De Cooman, A. Elsen, R. Merckx, E. Smolders, F. Amery (2018) Testing soil phosphorus in a depleting P scenario: an accelerated soil mining experiment *European Journal of Soil Science* 69 – 5 pp 804-815
- Kemmers, R. H., Kuiters, A. T., Slim, P. A., & Bakker, J. P. (2006). Is ontgronden noodzakelijk voor natuurherstel op voormalige landbouwgronden? *De Levende Natuur*, 107(4), 170-175.
- Kemmers, R., & Nelemans, J. (2007). Vergroting van de fosfaatadsorptiecapaciteit en afname van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in gronden door wisselvochtigheid. Wageningen: Alterra.
- Koopmans G F, W J Chardon, P A I Ehler, J Dolfing, R A A Suurs, O Oenema, W H van Riem (2004) Phosphorus availability for plant uptake in a phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *J Environ Qual*. May-Jun 2004;33(3):965-75 Postma R, Boer DJ den & Draai H van der (2009) Fosfaatonderzoek en bemestingsadvies t.b.v. natuurontwikkeling in Roeghoorn. NMI-rapport 1327, Wageningen, 15 pp.
- Postma R, Hut H, Warners H, Ettema K, Smits AH, Hidding H, Verbeek S, Hofstra R, Smeenge H, Boer DJ den & Haas MJG de (2011-I) Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; tussenrapport I. NMI, Wageningen, 30 pp.
- Postma R, Hut H, Warners H, Ettema K, Smits AH, Hidding H, Verbeek S, Hofstra R, Smeenge H, Boer DJ den & Haas MJG de (2011-II) Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; Resultaten 2010. Tussenrapport 2. NMI, Wageningen, 34 pp.
- Schelfhout, S. (2019). Restoration of species-rich *Nardus* grasslands via phosphorus-mining. Ghent: Ghent University.
- Schelfhout, S., Schrijver, A. D., Vanhellemont, M., Vangansbeke, P., Wasof, S., Perring, M. P., . . . Mertens, J. (2019). Phytomining to re-establish phosphorus-poor soil conditions for nature restoration on former agricultural land. *Plant Soil*, 440, 233-246.
- Schelfhout, S., Schrijver, A. D., Verheyen, K., BEelde, R. D., Haessaert, G., & Mertens, J. (2018). Phosphorus mining efficiency declines with decreasing soil P concentration and varies across crop species. *International Journal of Phytoremediation*, 1549-7879.
- Timmermans, B. G., & Eekeren, N. v. (2016). Phytoextraction of Soil Phosphorus by Potassium-Fertilized Grass-Clover Swards. *Journal of Environmental Quality*, 701-708.

- Timmermans, B., Eekeren, N. v., Finke, E., Smeding, F., & Bos, M. (2010). Fosfaat uitmijnen op natuurpercelen met gras/klaver en kalibemesting - handreiking voor de praktijk. Driebergen: Louis Bolk Instituut.
- Van der Salm, C., Chardon, W. J., Koopmans, G. F., van Middelkoop, J. C., & Ehlert, P. A. (2009). Phytoextraction of Phosphorus-Enriched Grassland Soils. *Journal of Environmental Quality*, 38(2), 751-761.
- Van Mullekom, M., Smolders, F., & Timmermans, B. (2016). Van landbouw naar natuur - een efficiënte en effectieve aanpak. B-WARE en het Louis Bolk Instituut.
- Van Rotterdam, D., & van Doorn, M. (2021). Bodem- en fosfaatonderzoek Zwartsluis, Beukers, Doosje en Giethoorn. Wageningen: NMI.
- Van Rotterdam D, Hut H, Warners H, Ettema K, Blaauw R, Scheper A, Hidding H, Verbeek S, Hofstra R, Smeenge H, Haas MJG de & Postma R (2014) Bodemkwaliteit voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; Resultaten 2013. Tussenrapport 5. NMI, Wageningen, 26 p.



Nutriënten Management Instituut BV
Nieuwe Kanaal 7c
6709 PA Wageningen

tel: (06) 29 03 71 03
e-mail: nmi@nmi-agro.nl
website: www.nmi-agro.nl