



Bodem- en fosfaatonderzoek

Zwartsluis, Beukers, Doosje en Giethoorn

D. van Rotterdam

M. van Doorn

Referaat

D. van Rotterdam, M. van Doorn, 2021, Bodem- en fosfaatonderzoek Zwartsluis, Beukers, Doosje en Giethoorn, Nutriënten Management Instituut BV, Wageningen, Rapport 1793.N.20, pp 48

Rapport in het kort

De provincie Overijssel is gestart met de planuitwerking van de 2^e fase van de ontwikkeling van de N2000 gebieden de Wieden en Weerribben, waarbij het gaat om de deelgebieden Zomerdijk-Zwartsluis, Beukers, Doosje en Polder Giethoorn. Inrichtingsdoelstellingen zijn gericht op moeras minnende fauna, waarbij er wordt vernat op voormalig agrarisch beheerde percelen. Dit onderzoek geeft inzicht in de bodemopbouw en in de bodemkwaliteit in relatie tot natuurdoelstellingen met een speciale focus op fosfaat. Daarnaast geeft het onderzoek inzicht in de potentiële P-mobilisatie op de korte en lange termijn als gevolg van vernatting. In het geval dat de fosfaattoestand van de bodem te hoog is, is een voorstel gedaan voor mitigerende maatregelen.

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

Alle rechten voorbehouden. Niets uit de inhoud mag worden verveelvoudigd, 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

Arcadis, t.a.v. dhr Ter Harmsel

digitaal

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
1 Inleiding	4
2 Theoretisch kader	6
2.1 Fosfaatchemie in de bodem	6
2.1.1 Kengetallen voor fosfaattoestand van de bodem	7
2.2 Vernatting en P mobilisatie	8
2.2.1 Vernatting van de bodem	9
2.2.2 Kengetallen voor vernatting van de bodem	10
2.2.3 Vernatting en transport	10
2.2.4 Vernatting en sloot	11
3 Aanpak	12
3.1 Monstername bodem	12
3.2 Analyses	13
3.3 Streefwaarden fosfaat voor potentiële natuurontwikkeling	14
4 Resultaten	15
4.1 Algemene bodemkenmerken	15
4.2 Natuurpotentie	16
4.2.1 Fosfaattoestand	16
4.2.2 Kalium	18
4.2.3 Zuurgraad	19
4.3 Risico op P mobilisatie	20
4.4 Verlagen van de fosfaattoestand	25
5 Conclusies	27
6 Literatuur	28
Bijlage I: Overzichtskaart ontwikkelplan Wieden Weerribben	30
Bijlage II: Regionale ligging van de onderzoekslocatie	31
Bijlage III: Monsternamelocaties	32
Bijlage IV: Resultaten bodemanalyses	36
Bijlage V: Diepteprofielen fosfaat	40

Samenvatting

In het kader van de ontwikkeling van de Natura 2000-gebieden de Wieden en Weerribben zijn diverse deelgebieden aangewezen met een opgave vanuit het beheerplan N2000 Wieden Weerribben. De provincie Overijssel is in november 2020 gestart met de planuitwerking voor de uitvoering van de 2^e fase, waarbij het gaat om de deelgebieden Zomerdijk-Zwartsluis, Zomerdijk-Beukers, Doosje en Polder Giethoorn. Het doel van het huidig onderzoek is tweeledig. Enerzijds is het doel om inzicht te krijgen in de bodemopbouw en bodemkwaliteit in relatie tot de beoogde natuurdoelstellingen met een speciale focus op fosfaat (P). Daarnaast is het doel om te bepalen in welke mate het opzetten van het waterpeil leidt tot potentiële P-mobilisatie. Daarnaast is onderzocht wat de effectiviteit is van verschillende mitigerende maatregelen om de fosfaattoestand van de bodem te verlagen.

Op 28 monsternamelocaties zijn op meerdere dieptes grondmonsters genomen. Op 13 locaties is de natuurpotentie onderzocht en is de bodem op verschillende dieptes tot 40cm bemonsterd. Op 15 locatie is de potentiële fosfaatmobilisatie onderzocht. Op deze locaties zijn grondmonsters genomen tot 60cm diepte. Percelen zijn aangehouden als logische eenheden vanwege het historisch agrarisch management en het corresponderende effect op de P-opbouw in de bodem. De monsters zijn onder andere geanalyseerd op meerdere fosfaatfracties (P-CaCl₂, P-AL, P-ox), parameters die belangrijk zijn voor de fosfaatbinding (Fe-ox, Al-ox), het organische stofgehalte, de pH, textuur en het klei-humuscomplex (CEC) met basenverzadiging.

Het onderzoek heeft tot de volgende inzichten en conclusies geleid:

- Deelgebieden Zwartsluis en Beukers bestaan uit venige klei/ kleilig veen;
- Uitzondering is de stroomrug in deelgebied Beukers die bestaat uit humusrijk zand op het lager gelegen deel tot zeer humeus zand op het hoger gelegen deel;
- De percelen van deelgebieden Doosje en Polder Giethoorn bestaan uit matig humeus tot weinig zand;
- Deze verschillen in bodemtype zijn terug te zien in de fosfaattoestand van de bodem (direct beschikbaar en gebonden P) en de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden.
- In de deelgebieden Zwartsluis en Beukers met een venige bodem, is de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat hoog, is de fosfaattoestand van de bodem laag en kan deze worden geclassificeerd als deels optimaal voor voedselarme vegetaties en deels optimaal voor matig voedselrijke vegetaties. Op de stroomrug is de bindingscapaciteit lager en is de fosfaatbeschikbaarheid hoger.
- Voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Zwartsluis) en bloemrijke vegetaties (Beukers) zijn inrichtingsmaatregelen als zodanig niet nodig. Wel zou ingezet moeten worden om met verschrallingsbeheer (maaïen en afvoeren) de fosfaattoestand verder te verlagen op met name de stroomrug (Beukers) en het meest zuidelijk gelegen perceel (9 in Zwartsluis). Afhankelijk van de dichtheid van de bestaande graszode zou deze opengemaakt kunnen worden en zou maaisel uit een referentiegebied opgebracht kunnen worden.
- In de deelgebieden Doosje en Giethoorn met een zandige bodem is de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat laag en is de fosfaattoestand van de bodem verhoogd tot de classificering suboptimaal voor matig voedselrijke vegetaties tot (zeer) voedselrijk.
- In deelgebied Doosje waar nat schraalland wordt beoogd, is de fosfaattoestand tot een diepte van 40cm verhoogd met fosfaat. Het verlagen van de fosfaattoestand met verschrallen of uitmijnen zou vele decennia duren. Voor afgraven is het fosfaat tot 40cm diep in het bodemprofiel nog hoog. De beoogde vegetatie zou heroverwogen kunnen/ moeten worden richting een meer voedselrijke vegetatie zoals kruiden- en faunarijkgasland. Door intensief verschrallingsbeheer zou dit op termijn zich kunnen ontwikkelen richting dotterbloemhooiland.

- In deelgebied Giethoorn is de bindingscapaciteit voor fosfaat laag maar door de sterke oplading is de beschikbaarheid van fosfaat hoog. Dit zou beperkend kunnen zijn voor de ontwikkeling van bloemrijke vegetaties. Waar de fosfaattoestand hoog is, is de kalium beschikbaarheid echter (zeer) laag en is kalium limiterend voor de vegetatie en niet fosfaat.
- In deelgebied Giethoorn is het risico op P-mobilisatie als gevolg van vernatting tot aan maaiveld op de korte termijn hoog. Om de fosfaattoestand te verlagen zou 1 tot 2 decennia moeten worden uitgemijnd. Afgraven van de nutriëntenrijke bouwvoor (30cm) zou een snelle, effectieve, maar ook dure maatregel kunnen zijn. De urgentie is afhankelijk van de waterdoelstellingen.
- In de venige deelgebieden Zwartsluis en Beukers is het directe risico op P-mobilisatie gering. Door de hoge bindingscapaciteit en de hoge P-voorraden kan gedurende een lange periode toch grote hoeveelheden fosfaat vrijkomen.

1 Inleiding

In het kader van de ontwikkeling van de Natura 2000-gebieden de Wieden en Weerribben zijn diverse deelgebieden aangewezen met een opgave vanuit het beheerplan N2000 Wieden Weerribben (Provincie Overijssel, 2017; Bijlage I). De provincie Overijssel is in november 2020 gestart met de planuitwerking voor de uitvoering van de 2^e fase, waarbij het gaat om de deelgebieden Zomerdijk-Zwartsluis, Zomerdijk-Beukers, Doosje en Polder Giethoorn (Provincie Overijssel, 2020). Arcadis stelt hiervoor meerdere producten op. In opdracht van Arcadis voert NMI als onderaannemer het onderdeel “natuur technisch bodemonderzoek” uit, wat als doel heeft om inzicht te verkrijgen in de bodemopbouw en in de bodemkwaliteit in relatie tot natuurdoelstellingen.

Inrichtingsdoelstellingen

Het onderzoek betreft de omvorming van agrarisch beheerd grasland naar onder andere moerasnatuur in een drietal deelgebieden, nabij de bestaande Natura 2000-gebieden. De inrichtingsdoelstellingen van de deelgebieden zijn gericht op moeras minnende fauna (Tabel 1-1). Voor de vegetatie zijn geen doelstellingen apart benoemd anders dan als leefgebied voor genoemde vogelsoorten en otter. Een uitzondering hierop zijn twee percelen in het oostelijk deel van Doosje. Hier wordt nat schraalland en mogelijk blauwgrasland beoogd om aan de sluiten bij het blauwgraslandperceel aan de overzijde van de weg/dijk.

Tabel 1-1 Deelgebieden met de corresponderende inrichtingsdoelstelling

Deelgebied	Opp (ha)	Nr(s) in Bijlage I	Doelstelling inrichting
Zwartsluis & Beukers	65	13a, 13b	Functioneren als verbinding voor de otter. 51 ha voor moerasbroedvogels: roerdomp en bruine kiekendief (broedlocatie). Porseleinhoen profiteert mogelijk. De hogere randen zijn wellicht minder geschikt. De kwartelkoning zal naar verwachting ook kunnen profiteren van de drogere buitenranden (maar het gebied wordt hier niet specifiek voor ingericht).
Doosje	44	13c	Moerasbroedvogels: roerdomp en bruine kiekendief (broedhabitat). Foerageergebied bruine kiekendief. Porseleinhoen profiteert mogelijk. De kwartelkoning zal naar verwachting ook kunnen profiteren van de drogere buitenranden (maar het gebied wordt hier niet specifiek voor ingericht).
Giethoorn	75	14	70ha moerasbroedvogels (roerdomp en bruine kiekendief) en rietzanger 2 ha grote karekiet Foerageergebied voor de bruine kiekendief
Totaal	187		

Vernatten en fosfaat

Omdat de natuurdoelstelling is gericht op vernatten en het agrarisch beheerde percelen betreft, is fosfaat een sleutelement. Fosfaat is door historische bemesting vaak geaccumuleerd in de bodem waar het zich met name aan ijzer(hydr-)oxiden bindt. Wanneer het grondwaterpeil wordt verhoogd en

de bodem verzadigd raakt met water worden de omstandigheden anaeroob (zuurstofloos). Dit leidt ertoe dat de Fe(hydr-)oxiden oplossen en dat het daaraan gebonden fosfaat ook vrijkomt. Dit kan leiden tot een (ernstige) verslechtering van de waterkwaliteit waardoor de verwachte natuurdoelstellingen niet worden gehaald.

De fosfaatreserves in de bodem en de potentiële P-mobilisatie zijn een functie van:

1. (Historisch) management: bepaalt de netto P-balans welk het verschil is tussen P-bemesting en de P-onttrekking door het gewas;
2. Grondsoort: bepaalt vooral de P-bindingscapaciteit in de vorm van Fe-(hydr-)oxiden; en
3. Hydrologische setting: bepaalt of de agrarische P-reserves die zich hebben opgehoopt in de toplaag van de bodem ook zijn uitgespoeld naar diepere bodemlagen als gevolg van fluctuerende grondwaterstanden tot aan maaiveld.

Doelstelling

Het doel van het huidig onderzoek is tweeledig. Enerzijds is het doel om inzicht te krijgen in de bodemopbouw en bodemkwaliteit in relatie tot de beoogde natuurdoelstellingen met een speciale focus op fosfaat (P). Daarnaast is het doel om te bepalen in welke mate het opzetten van het waterpeil leidt tot potentiële P-mobilisatie. Daarnaast is onderzocht wat de effectiviteit is van verschillende mitigerende maatregelen om de fosfaattoestand van de bodem te verlagen.

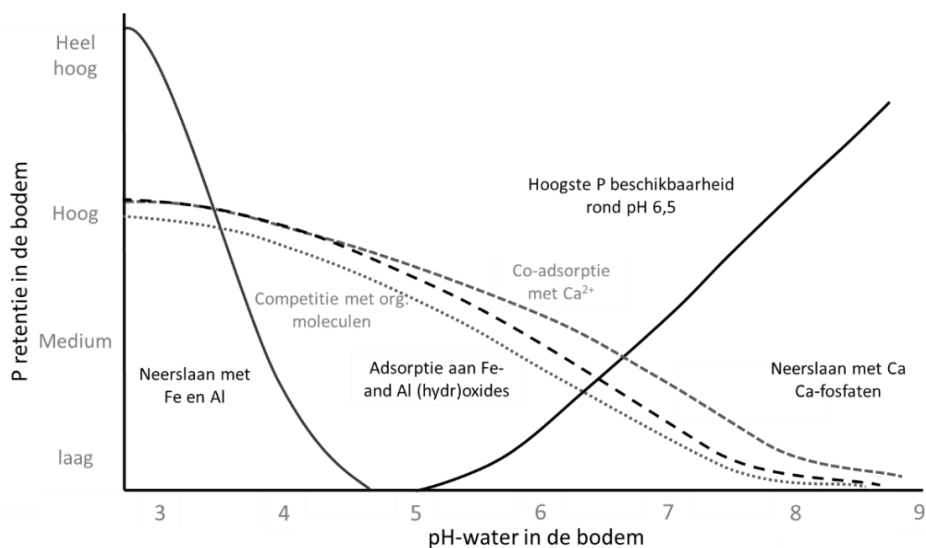
2 Theoretisch kader

2.1 Fosfaatchemie in de bodem

De bodem bestaat uit een vaste matrix met poriën. De poriën zijn gevuld met bodemvocht, lucht, (micro)-organismen en plantenwortels. De vaste matrix bestaat uit de combinatie van minerale delen en organische stof die sterk met elkaar interacteren. Fosfor (P) is in de bodem zowel deel van de minerale als van de organische fase. Afhankelijk van de zuurgraad van de bodem zijn er verschillende processen die de beschikbaarheid van P bepalen.

Bij lage pH wordt de P-beschikbaarheid bepaald door het zeer onoplosbare ijzer-fosfaat. Bij hoge pH is de directe beschikbaarheid ook laag door het vormen van calcium-fosfaten. De oplosbaarheid van deze calcium-fosfaten neemt af met toenemende pH. Bij een zuurgraad van de bodem tussen ongeveer pH 4 en 6.5 is de adsorptie van P aan Fe- en Al(hydr)oxiden het dominante proces dat bepalend is voor de beschikbaarheid van P. De P concentratie in het bodemvocht wordt in deze pH-range bepaald door de binding (adsorptie en desorptie) van P aan het oppervlak van ijzer- en aluminium(hydr)oxides. Dit blijkt voor zowel zand, klei als veengronden het geval te zijn (Schoumans et al., 2015).

De belangrijkste factoren die bepalend zijn voor de adsorptie-desorptie reacties van P aan Fe-oxides, zijn: i) zuurgraad van de bodem; ii) de aanwezigheid van calcium-ionen; en (iii) de aanwezigheid van organische moleculen (Weng et al., 2012). Calcium (Ca) zorgt voor co-adsorptie waardoor minder P kan worden gebonden aan het oppervlak. Daarnaast beïnvloedt Ca de interactie met pH. De lading van Fe- en Al(hydr)-oxiden is niet constant maar is afhankelijk van de pH. Bij een hogere pH wordt het Fe-oxide oppervlak minder positief waardoor minder P kan adsorberen en er dus meer P in de bodemoplossing komt. Echter wanneer er voldoende Ca aanwezig is, neemt de adsorptie van Ca toe met toenemende pH (boven pH 5) en daarmee ook de co-adsorptie met P.

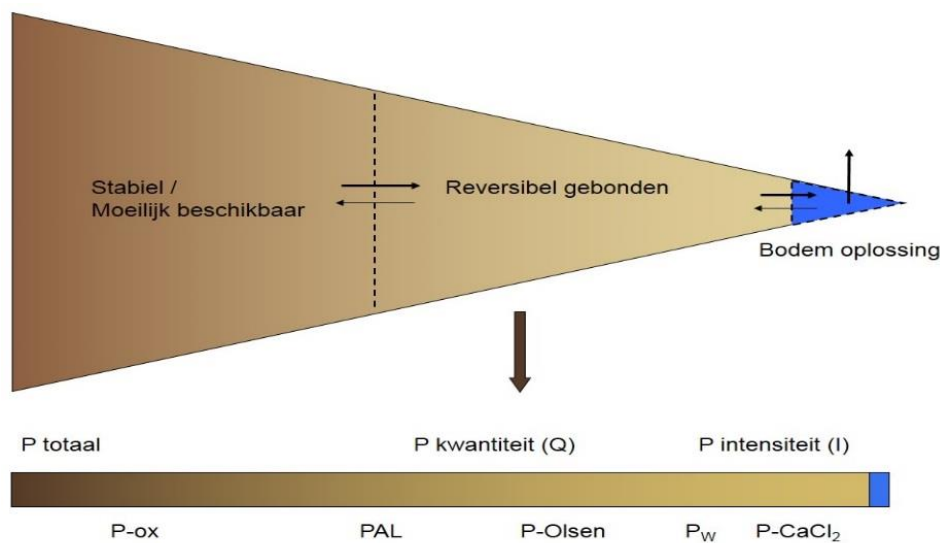


Figuur 2.1 Sterk gesimplificeerde weergave van de belangrijkste processen die de P retentie in de bodem bepalen als functie van de bodem (pH).

Naast co-adsorptie met Ca, kan er ook competitie plaatsvinden tussen fosfaat en andere negatief geladen deeltjes in de bodem. Bijvoorbeeld een toename van sulfaat, en kleine organische moleculen kan leiden tot een hogere P-concentratie door competitie aan het oppervlak. Opgeloste organische moleculen kunnen ook aan het Fe-oxide adsorberen waardoor het adsorptie maximum voor P afneemt.

2.1.1 Kengetallen voor fosfaattoestand van de bodem

Om de fosfaattoestand in de bodem te karakteriseren worden in de praktijk verschillende extractiemethodes gebruikt. Verschillende extractiemethodieken leiden tot een kwantificatie van verschillende “pools” van fosfaat. De totale hoeveelheid fosfaat (P-tot) kan bijvoorbeeld worden bepaald met een heel sterk extractiemiddel als koningswater, terwijl de hoeveelheid fosfaat die direct voor het gewas beschikbaar is kan worden bepaald met een zwak extractiemiddel als calciumchloride (P-CaCl₂). In de Nederlandse landbouwpraktijk wordt de fosfaattoestand ten behoeve van het bemestingadvies gebaseerd op de combinatie van een maat voor de directe P-beschikbaarheid voor de plantenwortel (P-CaCl₂) en een maat voor de beschikbare P reserves die reversibel zijn gebonden aan de bodemdeeltjes (P-AL). In andere landen wordt de fosfaattoestand ten behoeve van het bemestingadvies bepaald op basis van andere extractiemethodes zoals Olsen, Mehlich of Bray. De relatie tussen de uiteenlopende fosfaatparameters en de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem is in Figuur 2.2 weergegeven.



Figuur 2.2 Schematische weergave van de verdeling van P-fracties in de bodem en de verhouding tot standaard meetmethodes (Van Rotterdam & Postma., 2019).

Anders dan in de landbouwpraktijk wordt in het kader van natuurontwikkeling ook P_w of P-Olsen gemeten. Deze methodes zitten wat betreft extractiesterkte tussen P-CaCl₂ en P-AL in (Figuur 2.2). Bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden zijn voor zowel de fosfaatverzadigingsgraad (FVG), P-AL en P-Olsen referentiewaardes afgeleid voor verschillende habitattypes. Deze parameters geven aan hoeveel P reversibel is gebonden en hoeveel P beschikbaar kan komen voor de vegetatie, en zijn daarom in het huidig onderzoek gebruikt.

Met uitzondering van kalkrijke zandgronden met lage gehalten klei en ijzer -en aluminium(hydr)oxiden kan de maximale bindingscapaciteit van een bodem worden bepaald door de som van ijzer- en aluminium(hydr)oxiden te vermenigvuldigen met een empirische factor (vaak 0.5). De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) wordt berekend door P-ox te delen door deze berekende maximale bindingscapaciteit. Bij een hoge FVG is een groot deel van de bindingscapaciteit in de bodem verzadigd met P waardoor dit P ook relatief makkelijk beschikbaar kan komen. Bij een lage FVG is de verhouding tussen de totale P reserves en het oppervlak waar het aan bindt laag. Door de sterke binding van het P

is ook de beschikbaarheid voor de vegetatie laag. Binnen een gebied zijn P-AL en de FVG sterk aan elkaar gerelateerd. Voor natuurontwikkeling zijn voor beide parameters ook vergelijkbare referentiewaarden afgeleid.

Voor het bepalen van de haalbaarheid van verschromen dan wel uitmijnen om de P-toestand te verlagen zijn naast de P Beschikbaarheid ook de totale P reserves in de bodem belangrijk. Als de bodem hoge P totale P reserves heeft wordt het (makkelijker) beschikbare fosfaat (bijvoorbeeld P-AL, P-CaCl₂) lang gebufferd, waardoor het langer duurt om de fosfaattoestand van de bodem te tot een gewenst niveau te verlagen in vergelijking met bodems waar de totale P reserves laag zijn. In dit onderzoek worden de totale P reserves benaderd met P-ox. Een samenvatting van de kentallen waar in dit onderzoek gebruik van wordt gemaakt is opgenomen in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Samenvatting van de gebruikte P-kentallen

Kental	Bepaald met	Indicator voor
P-CaCl ₂	Extractie met calciumchloride	Direct beschikbaar P voor de plantenwortel. Sterk gecorreleerd aan P in oplossing.
P-AL	Extractie met ammonium lactaat	Beschikbare P reserves die reversibel zijn gebonden aan bodemdeeltjes
P-ox	Extractie met oxaalzuur	Totaal beschikbare P reserves
Fosfaatverzadigingsgraad (FVG)	Extractie met oxaalzuur	Hoeveel de maximale P bindingscapaciteit van de bodem is bereikt. Sterk gecorreleerd aan P in oplossing.

2.2 Vernatting en P mobilisatie

De relatie tussen de bodem enerzijds en de waterkwaliteit anderzijds is een complex verhaal dat geduid kan worden door onderscheid te maken tussen de bron (bodem en historische bemesting), transport (van nutriënten naar het watersysteem) en de receptor (het ontvangende watersysteem inclusief onderwaterbodem). Een schematische weergave van de drie componenten en de belangrijkste parameters daarbinnen die samen de uiteindelijke relatie tussen enerzijds de (historische) input van nutriënten, bodem en hydrologie en anderzijds de waterkwaliteit bepalen staat in Figuur 2.3.

Wanneer binnen een systeem iets verandert, zoals het verhogen van de grondwaterstand, moet worden nagegaan wat dit voor invloed heeft op deze drie componenten in een gebied.



Figuur 2.3 Belangrijkste parameters, uitgesplitst naar bron, transport en sloot, die van invloed zijn op de relatie tussen bodem en waterkwaliteit.

2.2.1 Vernatting van de bodem

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 microbiëel 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 oxisch 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 amorphe 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.

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 oxisch 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.

2.2.2 Kengetallen voor vernatting van de bodem

In welke mate ijzerreductie leidt tot fosfaatmobilisatie is afhankelijk van de bodemsamenstelling. Loeb et al., (2008) onderzocht het effect van inundatie op rivierdalgronden en vonden dat de P-mobilisatie sterk gecorreleerd was aan de P-ox:Fe-ox verhouding. Bij een lage ratio is namelijk een overmaat aan bindingscapaciteit aanwezig waarbij fosfaat zeer sterk wordt geadsorbeerd en nauwelijks in oplossing komt. In onderzoek naar het plas-dras zetten van agrarische percelen ten behoeve van weidevogels wordt ook een relatie gevonden tussen de fosfaat verzadigingsgraad (FVG, verhouding P-ox en de som van Fe-ox en Al-ox) en het vrijkomen van fosfaat in het opstaand water (Van Diggelen et al., 2019).

Er is relatief veel onderzoek gedaan naar de onderwaterbodem omdat dit in de zomermaanden, met name in ondiepe sloten, anaeroob wordt. Van Gerven et al., (2011) geeft een overzicht van de ontwikkelde kengetallen waarmee kan worden aangegeven of een waterbodem fosfaat (chemisch) kan naleveren. Een waterbodem gaat fosfaat naleveren bij een P: Fe-verhouding van tenminste 0.1 mol mol^{-1} en een P-gehalte groter dan 1.36 g kg^{-1} . Deze criteria zijn afkomstig van een studie naar zeven zoetwatermeren in Nederland, Denemarken en Zweden (Boers en Uunk, 1990). Jensen et al., (1992) komen met vergelijkbare bevindingen. In hun studie vinden ze dat de fosfaatnalevering vanuit de waterbodem van twaalf Deense ondiepe meren samenhangt met de P:Fe-verhouding van de toplaag van de waterbodem die volgens hen een maat is voor het aantal vrije bindingsplekken van fosfaat aan ijzerhydroxides. Het treffen van maatregelen om de fosfaatnalevering vanuit de waterbodem tegen te gaan heeft volgens hen alleen zin bij een P:Fe-verhouding die lager is dan $0.12 \text{ mol mol}^{-1}$. Andere kengetallen kijken naar de samenstelling van het waterbodemvocht. Zo lijkt de Fe:P-ratio in het waterbodemvocht een goede indicator voor het P-gehalte in het oppervlaktewater. Wanneer deze ratio kleiner is dan 0.1 mol mol^{-1} leidt dit tot hogere P-gehalten in de vijftien onderzochte laagveenwateren en lijkt fosfaatnalevering een rol te spelen (Lamers et al., 1998).

Ook de Fe:S verhouding in het waterbodemvocht lijkt een indicator voor fosfaatnalevering. Wanneer deze ratio kleiner is dan 1 mol mol^{-1} lijkt de waterbodem substantieel meer fosfaat na te leveren (Geurts, 2010). Bobbink et al., (2007) hebben afgeleid dat een verhouding Fe-ox/S <0.5 van de vaste fase een grens is waar beneden de fosfaat (en sulfide)concentratie in het bodemvocht sterk kan gaan oplopen onder anaerobe omstandigheden. Bodemlagen met een Fe/S verhouding tussen 0.5 en 1 kunnen als risicovol beschouwd worden. Hierbij gaat het om Fe-ox en totaal S, beide uitgedrukt in mmol kg^{-1} . Deze ratio geeft een indicatie voor de kans dat ijzer gereduceerd wordt en de buffercapaciteit zal afnemen door het neerslaan van het opgeloste Fe met S. Het geeft echter geen informatie over de hoeveelheid fosfaat die vrijkomt, omdat dat ook afhankelijk is van de hoeveelheid fosfaat die aan dit ijzer geadsorbeerd is.

2.2.3 Vernatting en transport

Water dat door neerslag op een perceel valt komt via diverse transportroutes in de sloot of in het ondiepe grondwater terecht. Door evaporatie en transpiratie verdwijnt een deel van de neerslag weer naar de lucht, de rest stroomt deels door oppervlakkige afspoeling en deels door (ondiepe) uitspoeling naar het watersysteem. De verliezen van nutriënten naar het oppervlaktewater is lager wanneer regenwater (dieper) door het bodemprofiel wordt afgevoerd dan wanneer deze door oppervlakkige afspoeling wordt afgevoerd naar de sloot. Door landbouwkundig gebruik is met name de toplaag van de bodem opgeladen met fosfaat. Oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling kan daarom leiden tot hoge fosfaatconcentraties in het afspoelend water. Bij diepere uitspoeling kan het fosfaat door de interactie tussen water en de bodem weer worden vastgelegd in het bodemprofiel en zal de fosfaatconcentratie lager zijn. Zoals hierboven beschreven kan door interne eutrofiëring de P-concentratie in het bodemvocht sterk toenemen wanneer de bodem verzadigd is met water.

Door het opzetten van het waterpeil veranderen de relatieve bijdrages van oppervlakkige afspoeling en ondiepe uitspoeling. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 2.4. Ondiepe uitspoeling is een functie van het potentiaalverschil tussen waterspiegel in de bodem en waterpeil in de sloot, de breedte van een perceel en de hydraulische geleidbaarheid van de bodem ($f((Dd-Dw), L \text{ en } K)$).

Wanneer het slootpeil wordt verhoogd neemt de waterverzadigde zone in het bodemprofiel toe. Het hoogteverschil tussen water in de bodem en in de sloot wordt kleiner waardoor de druk op het water in de bodem om naar de sloot te stromen afneemt. De ondiepe uitspoeling neemt daardoor af. De waterbergingscapaciteit van de bodem neemt echter ook sterk af. Het regenwater kan dus in veel beperktere mate worden opgenomen door de bodem en zal via oppervlakkige afspoeling worden afgevoerd naar de sloot. Door vernatting neemt de oppervlakkige afspoeling toe omdat de bergingscapaciteit van de bodem afneemt.

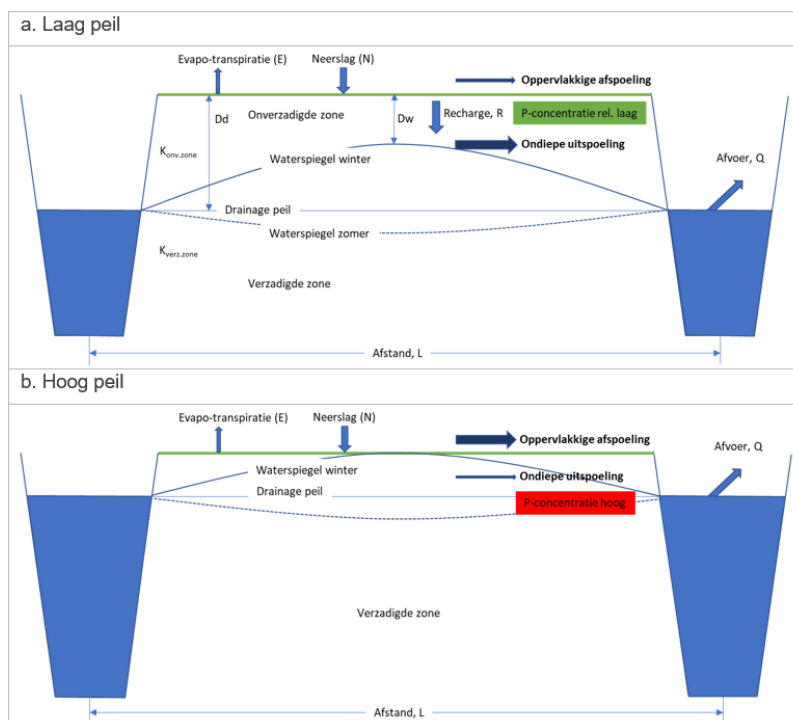
De simpele conclusie dat het verhogen van het waterpeil leidt tot een lagere P-vracht naar de sloot is echter niet te trekken. De verandering naar meer oppervlakkige afspoeling zou dit doen vermoeden maar de P-concentratie in het bodemvocht kan dusdanig hoog worden dat ook een kleine(re) afvoer via ondiepe uitspoeling tot een hoge P-vracht kan leiden. Bodemonderzoek naar de fosfaattoestand in de toplaag van de bodem en de diepere bodemlagen kan hier helderheid in geven.

2.2.4 Vernatting en sloot

In dit rapport wordt ingegaan op het effect van peilverhogen op veranderingen in P-vrachten naar de sloot en niet op het daadwerkelijke effect op de P-concentratie in de sloot. De processen in de sloot kunnen er namelijk voor zorgen dat een mogelijke toename in de P-vracht naar de sloot niet leidt tot een hogere P-concentratie in de sloot omdat bijvoorbeeld de P wordt gebonden in de slootbodem.

Het verdiepen van de sloot leidt er mogelijk toe dat de sloot minder gevoelig is voor temperatuurverschillen en de slootbodem minder snel anaeroob wordt. Dit zou positief zijn omdat de P-mobilisatie uit de slootbodem, en mogelijk ook de vorming van het voor waterplanten giftige sulfide, ook minder is. Een ander positief punt is dat door het opzetten van het waterpeil niet alleen P in de bodem wordt gemobiliseerd maar ook gereduceerde ijzer (Fe(II)). Wanneer deze samen naar een sloot met zuurstof worden getransporteerd zal het Fe(II) oxideren en P binden. Wanneer ook de sulfide vracht toeneemt zal een deel van het Fe reageren met de S waardoor de P concentratie kan stijgen.

De stroomsnelheid van het water is ook een belangrijke factor. Bij een hoge stroomsnelheid vindt veel verdunning plaats. Bij een lage stroomsnelheid heeft het Fe-P meer tijd om te bezinken waardoor de netto vracht afneemt.



Figuur 2.4 Schematische weergave van de situatie bij laag waterpeil in de sloot (a) en bij hoog waterpeil (b)

3 Aanpak

3.1 Monstername bodem

De basis van de bemonsteringsstrategie was het inrichtingsplan zoals is opgesteld onder leiding van Arcadis. Voor de bodembemonstering is onderscheid gemaakt tussen bodemonderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van natuur en bodemonderzoek ten behoeve van fosfaatmobilisatie door vernatting. Voor het natuurpotentie onderzoek is met name de bouwvoor bemonsterd (bovenste 10 tot 40 cm van de bodem). Voor het P mobilisatie onderzoek is ook de bodemlaag hieronder relevant en zijn monsters genomen tot 60cm onder maaiveld.

Op 22 en 26 februari 2021 is de bodem van 28 locaties bemonsterd. De bemonsterde locaties zijn weergegeven in het herinrichtingsplan in Bijlage III. Voor de selectie van monsternamepunten zijn, in overleg met Arcadis, de volgende uitgangspunten opgesteld:

- **Beukers:** focus op de stroomrug met als doel natuurpotentie onderzoek van droog (op de rug) naar nat (lager deel). In de natte rietlanden fosfaatmobilisatie onderzoek. In bloemrijk grasland natuurpotentie onderzoek.
- **Zwartsluis:** bemonstering alleen ten zuiden van de sloot. Aan te leggen droog rietland apart bemonsteren. Rest dotterbloemhooiland.
- **Doosje:** focus op 2.9 ha nat schraalland. Doel natuurpotentie. Meerdere dieptes ivm afgraven (A-horizont en 2x10cm daaronder). In het te ontwikkelen nat riet en moeras fosfaatmobilisatie onderzoek. Huidig rietmoeras niet. Bloemrijk grasland ook meenemen.
- **Giethoorn:** fosfaatmobilisatie onderzoek met de focus op nat riet en krachtrietoevers en moerasoevers. Droog rietland en bloemrijkgrasland ook meenemen.

Percelen zijn aangehouden als logische eenheden vanwege het historisch agrarisch management en het corresponderende effect op de P-opbouw in de bodem. Percelen met een vergelijkbaar historisch management, bodemopbouw en grondwaterstand zijn samengevoegd in het bemonsteringsplan. Bij de bemonstering is een representatief mengmonster per bodemlaag genomen, waarbij het mengmonster is opgesteld uit minimaal 40 steken die verspreid over het areaal zijn genomen. De reden dat een mengmonster is genomen in plaats van een puntmonster is omdat er binnen een perceel sprake kan zijn van een grote variatie in de bodemsamenstelling. Met een mengmonster komt de ruimtelijke schaal waar het bodemmonster representatief voor is overeen met de schaal waarop ook het daaraan gerelateerde advies en beheer betrekking heeft.

Een overzicht van de doelstelling, type onderzoek en de bemonsterde lagen per bemonsteringslocatie zijn opgenomen in Tabel 3-1 en ruimtelijk weergegeven in Bijlage III.

Tabel 3-1 Monsternamelocaties

Deelgebied	Perceelnr(s)	Bestemming	Bemonsteringsdieptes (cm -mv)	Type onderzoek
Beukers	1	Droge stroomrug	0-10	Natuurpotentie
	2	Flanken droge stroomrug	0-10, 10-30	Natuurpotentie
	3,4,5	Nat rietlanden	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	6	Bloemrijk grasland	0-25	Natuurpotentie
	7	Laag mozaïekmoeras	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
Zwartsluis	8	Droog rietland	0-10, 10-30	Natuurpotentie
	9, 10, 12	Dotterbloemhooiland	0-10, 10-30	Natuurpotentie
	11, 13	Moerasoevers	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
Doosje	14, 15	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0-10, 10-20, 20-40	Natuurpotentie
	16, 17	Laag mozaïekgras	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	18	Huidig rietmoeras	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	19	Nat riet	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	20	Extensief/Bloemrijk grasland	0-25	Natuurpotentie
Polder Giethoorn	21, 22, 23	Nat riet	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	24, 25	Droog rietland	0-10, 10-30	Natuurpotentie
	26	Krchtig waterrietoever	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	27	Moerasoevers	0-20, 20-40, 40-60	P mobilisatie
	28	Extensief/Bloemrijk grasland	0-25	Natuurpotentie

3.2 Analyses

In de grondmonsters zijn de volgende fosfaatfracties bepaald:

- P-CaCl₂: een maat voor de directe fosfaatbeschikbaarheid, (P geëxtraheerd met 0.01 M CaCl₂);
- P-AL: een maat voor de vegetatie beschikbare P reserves, (P geëxtraheerd met ammoniumlactaat azijnzuur met pH 3.75);
- P-oxalaat (P-ox): een maat voor totaal P, (P geëxtraheerd met ammoniumoxalaat-oxaalzuurextract);
- Qmax: een maat voor het reactief oppervlak voor P in de bodem berekend als ½ keer de som van Fe-ox + Al-ox. Beide laatste parameters worden ook in een ammonium oxalaat bepaling gemeten.
- De fosfaatverzadigingsgraad (FVG): een maat voor hoe sterk de totaal beschikbare fosfaat gebonden zit aan het reactief oppervlak in de bodem (Qmax), berekend op basis van de procentuele verhouding tussen P-ox en Qmax.

Deze fosfaatfracties leveren de elementen aan waarmee de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en langere termijn goed kan worden beschreven (zie hoofdstuk 2). Naast een uitgebreide analyse van de fosfaattoestand is de status van de andere nutriënten bepaald:

- Stikstof (N-totaal);
- Kalium (direct beschikbaar (K-CaCl₂) en de voorraad in de bodem (K-CEC);
- Zwavel (S-totaal).

Tenslotte zijn de algemene bodemkarakteristieken bepaald:

- Organische stofgehalte;
- Textuur (klei, silt en zand fracties);
- pH;
- CEC, basenverzadiging en de verhouding tussen de basen.

3.3 Streefwaarden fosfaat voor potentiële natuurontwikkeling

Voor de ontwikkeling van natuur -en vegetatietype is de P beschikbaarheid een realistischer en nauwkeuriger indicator dan de totale P reserves in de bodem. In dit onderzoek zijn zowel P-AL als de FVG indicatoren voor de P beschikbaarheid waarmee wordt aangesloten bij de referentiewaardes zoals die intern door het NMI zijn bepaald en die ook aansluiten bij de referentiewaardes zoals ontwikkeld door Wageningen Universiteit en Research en anderen (o.a Timmermans & van Eekeren, 2016; van Delft et al., 2014; Postma et al., 2015). Hoewel informatief, is de FVG geen directe meting van de P-beschikbaarheid omdat deze wordt berekend uit P-ox, Fe-ox en Al-ox. P-AL daarentegen geeft wel een directe maat voor beschikbaar P. P-AL en FVG zijn binnen een gebied vaak aan elkaar gerelateerd. De streefwaarden zijn opgenomen in Tabel 3-2. Voor de beoordeling worden de afzonderlijke beoordelingen op basis van P-AL en FVG gemiddeld en naar beneden afgerond. Als voorbeeld op basis van FVG de uitgangssituatie optimaal is voor voedselarme vegetaties (<12 bij zandgrond) en op basis van P-AL optimaal voor matig voedselrijke vegetatie (P-AL tussen de 10-18) dan wordt de beoordeling “Optimaal voedselarm” (klasse A).

Tabel 3-2 Streefwaarden P-AL en FVG voor potentiële natuurontwikkeling

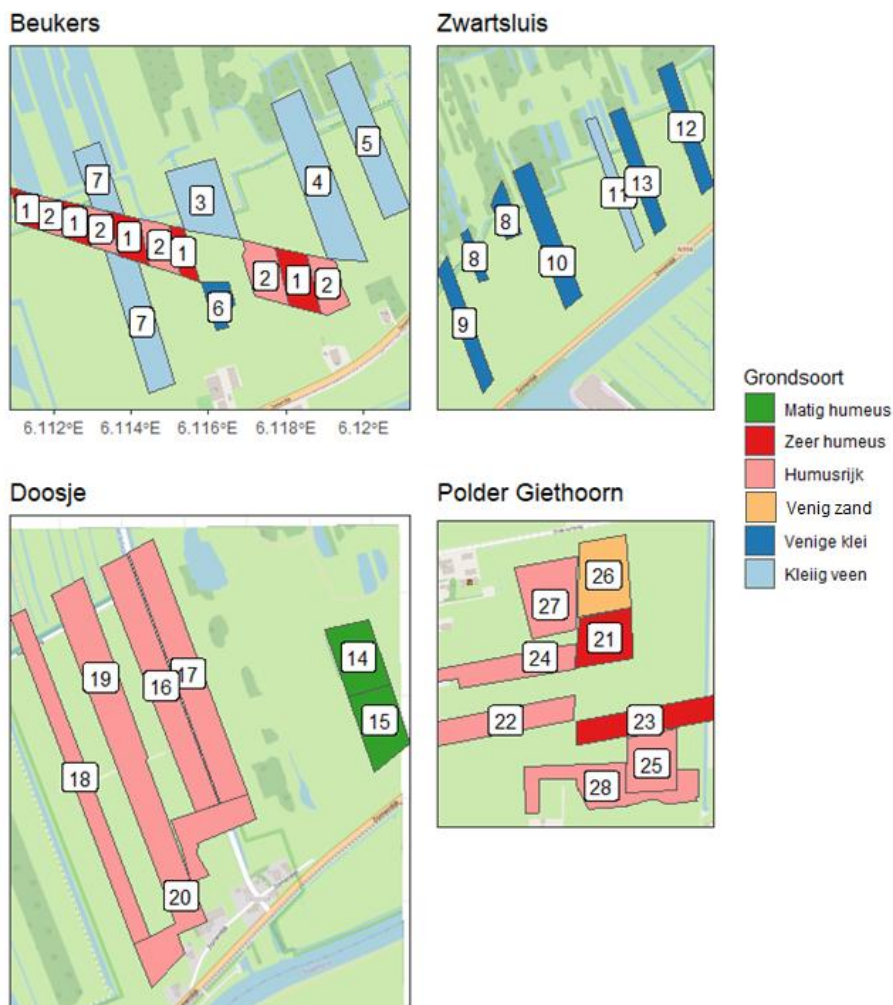
Klasse	Classificering fosfaattoestand van de bodem voor potentiële natuurontwikkeling	P-AL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	FVG zand (%)	FVG veen (%)
A	Optimaal voedselarm	<10	<12	<10
B	Optimaal matig voedselrijk	10 – 18	12 – 18	10 – 15
C	Suboptimaal matig voedselrijk	18 – 26	18 – 26	15 – 23
D	Niet optimaal matig voedselrijk, actie om fosfaattoestand te verlagen is nodig	26 – 40	26 – 40	23 – 36
E	Niet geschikt	>= 40	>= 40	>= 36

De inrichtingsdoelstellingen zijn gericht op moeras minnende fauna, waarbij de vegetatieontwikkeling dient als middel om een geschikt leefgebied te creëren voor een aantal vogelsoorten en de otter (Tabel 3-2). De verwachting is dat de geplande natuurontwikkeling (stroomrug, rietland, extensief/kruidenrijk grasland, mozaïekgras, mozaïekmoeras, waterrietoevers, moerasoever) plaats kan vinden wanneer de fosfaatklasse niet hoger is dan klasse C (suboptimaal matig voedselrijk) en het is optimaal wanneer deze lager is dan klasse B (optimaal voor matig voedselrijke vegetatie). Een uitzondering hierop zijn de twee percelen in het oostelijke deel van deelgebied Doosje (perceelnummers 14 en 15, zie Bijlage II) waar nat schraalland (N10.01) mogelijk blauwgrasland wordt beoogd en deelgebied Zwartsluis waar dotterbloemhooiland (N10.02) wordt beoogd. Voor nat schraalland gelden een P-AL van <10 mg P₂O₅ 100g⁻¹ en een FVG < 12% als streefwaarden (van Rotterdam & Postma, 2019). Dit zou ook optimaal zijn voor Dotterbloemhooiland. Voor dit natuurtipe is optimaal matig voedselrijk ook mogelijk (klasse B)

4 Resultaten

4.1 Algemene bodemkenmerken

De bodemkenmerken variëren zowel binnen een deelgebied als tussen deelgebieden, waarbij zowel het organische stofgehalte als de aard van de minerale delen uiteenlopen (Tabel S4-1 in Bijlage IV). Op basis van de organische stofklasse en de textuur kan de grondsoort worden gekarakteriseerd (ten Cate et al., 1995). Op basis van deze indeling varieert de bouwvoor van matig humeus tot kleiig veen. De resultaten van deze classificatie zijn in Figuur 4.1 voor de bouwvoor van de bodem ruimtelijk weergegeven. De percelen in de deelgebieden Beukers en Zwartsluis bestaan uit venige klei/kleiig veen (met uitzondering van de stroomrug). De percelen in Doosje en Polder Giethoorn bestaan uit matig humeus tot venig zand.



Figuur 4.1 Ruimtelijke weergave van de bodemclassificatie van de bemonsterde percelen (cijfer is perceel ID) volgens ten Cate et al. (1995).

4.2 Natuurpotentie

De presentatie en bespreking van de resultaten is opgedeeld in het onderzoek ten behoeve van de ontwikkeling van natuurlijke vegetaties en het onderzoek naar het risico op fosfaatmobilisatie als gevolg van vernatting. In deze paragraaf wordt het natuurpotentie onderzoek gepresenteerd.

4.2.1 Fosfaattoestand

Resultaten van de fosfaattoestand van de bodem zijn opgenomen in Tabel 4-1. De fosfaattoestand is benaderd als een combinatie van direct beschikbaar fosfaat (P-CaCl₂), beschikbare P reserves die reversibel met bodemdeeltjes zijn gebonden (P-AL), totale beschikbare P reserves (P-ox) en de mate waarin de fosfaat bindingscapaciteit van de bodem is bezet met fosfaat (fosfaatverzadigingsgraad, FVG).

Tabel 4-1 Fosfaatklaas van de bodem gebaseerd van P-AL en en de FosfaatVerzadigingsGraad (FVG). Groen: optimaal voor de beoogde natuurontwikkeling, blauw = suboptimaal voor de beoogde natuurontwikkeling, geel = niet optimaal voor de beoogde natuurontwikkeling, actie om de fosfaattoestand te verlagen is nodig, oranje = beoogde natuurontwikkeling niet mogelijk zonder sterk verlagen fosfaattoestand

Deelgebied,	Per- ceel	Diepte (cm -mv)	Doelstelling	P-CaCl ₂ (mg kg ⁻¹)	P-ox (mg P/kg)	P-AL (mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹)	FVG (%)	P- klasse ¹
Beukers	1	0-10	Droge stroomrug	0.81	446	25	32	C
Beukers	2	0-10	Flanken droge stroomrug	0.35	502	16	18	B
Beukers	2	10-30	Flanken droge stroomrug	0.11	322	11	14	B
Beukers	6	0-25	Bloemrijk grasland	0.25	750	13	12	B
Zwartsluis	8	0-10	Droog rietland	0.25	1189	15	16	B
Zwartsluis	8	10-30	Droog rietland	0.09	418	3	6	A
Zwartsluis	9	0-10	Dotterbloemhooiland	0.25	1400	25	19	C
Zwartsluis	9	10-30	Dotterbloemhooiland	0.09	523	6	9	A
Zwartsluis	10	0-10	Dotterbloemhooiland	0.17	1059	13	15	B
Zwartsluis	10	10-30	Dotterbloemhooiland	0.09	489	4	8	A
Zwartsluis	12	0-10	Dotterbloemhooiland	0.36	1072	10	14	B
Zwartsluis	12	10-30	Dotterbloemhooiland	0.09	468	3	7	A
Doosje	14	0-10	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0.93	409	40	43	D
Doosje	14	10-20	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0.50	427	43	43	E
Doosje	14	20-40	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0.23	313	31	32	D
Doosje	15	0-10	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0.65	424	35	38	D
Doosje	15	10-20	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0.53	369	38	37	D
Doosje	15	20-40	Nat schraalland, mogelijk blauwgrasland	0.30	362	30	29	D
Doosje	20	0-25	Extensief/Bloemrijk grasland	0.40	393	26	23	C
Giethoorn	24	0-10	Droog rietland	2.12	279	24	32	C
Giethoorn	24	10-30	Droog rietland	0.87	208	28	27	D
Giethoorn	25	0-10	Droog rietland	0.45	248	17	27	C
Giethoorn	25	10-30	Droog rietland	0.55	269	26	29	D
Giethoorn	28	0-25	Extensief/Bloemrijk grasland	0.77	241	34	31	D

¹zie Tabel 3-2

Voor **deelgebied Beukers** is de fosfaattoestand van de bodem in de toplaag vrij laag en wordt geclassificeerd als optimaal voor matig voedselarme vegetaties. Alleen de toplaag (bovenste 10cm) op de droge zandrug van het hoger gelegen deel van de stroomrug (perceel 1) is de fosfaattoestand iets hoger en wordt geclassificeerd als suboptimaal voor matig voedselarme vegetaties. In het lager gelegen deel van de stroomrug (perceel 2) is de P toestand lager, en wordt geclassificeerd als optimaal voor matig voedselrijke vegetatie. Voor het perceel waar bloemrijk grasland als doel is gesteld (perceel 6) is de P toestand in de toplaag (0-25cm) in de uitgangssituatie geclassificeerd als optimaal voor de ontwikkeling van bloemrijk grasland. Voor deelgebied Beukers zijn daarmee geen inrichtingsmaatregelen nodig om de P toestand te verlagen. Voor de ontwikkeling van een schralere bloemrijke vegetatie moet met verschrallingsbeheer (maaien en afvoeren) de fosfaattoestand verder worden verlaagd.

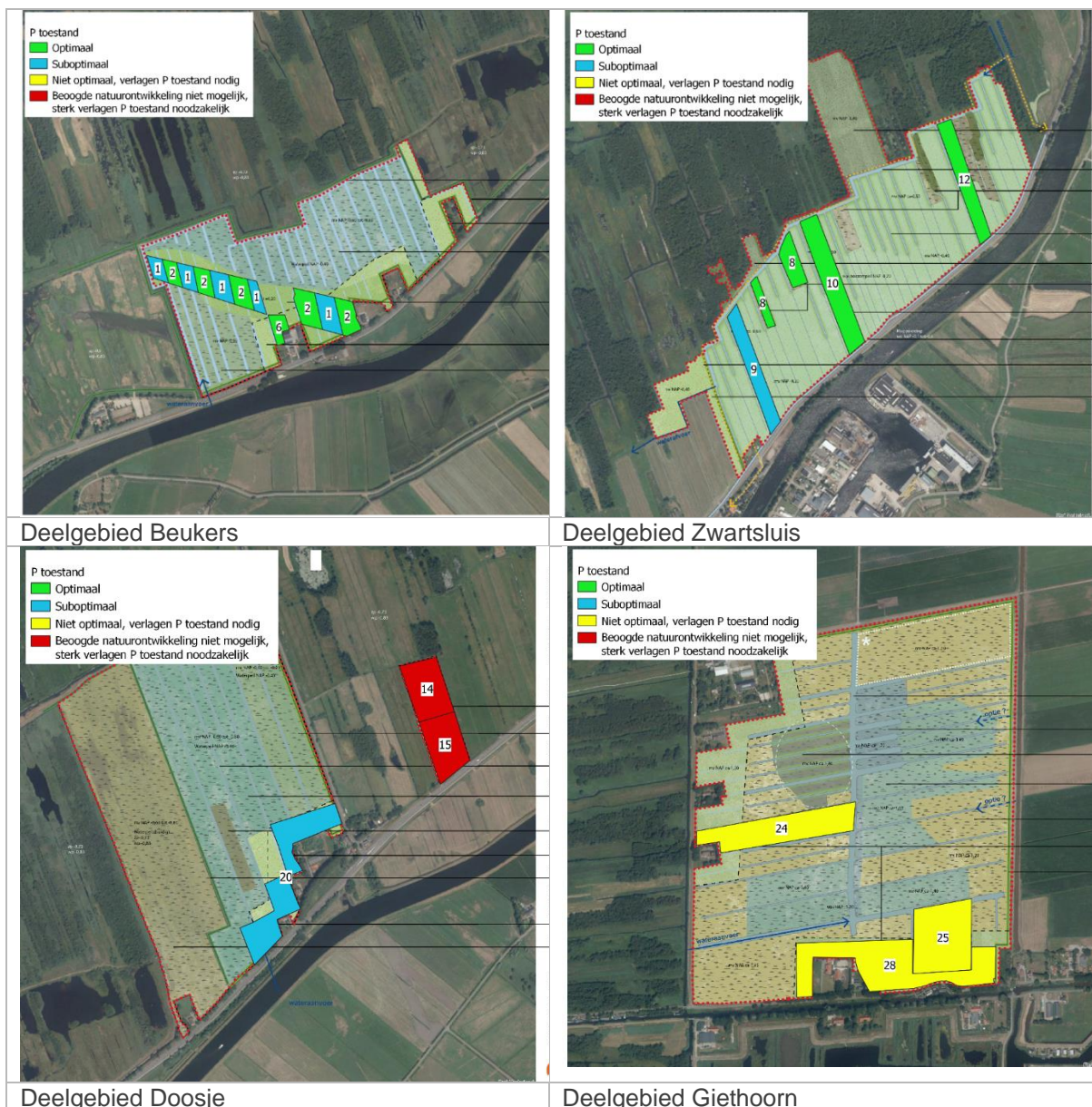
In een groot deel van **deelgebied Zwartsluis** wordt de ontwikkeling van dotterbloemhooiland beoogt. Op de percelen die zijn meegenomen in het natuurpotentie onderzoek (percelen 9, 10 en 12) is de fosfaattoestand optimaal (10 en 12) en suboptimaal (9) voor de beoogde natuurontwikkeling. Het fosfaatgehalte is het hoogst in de toplaag (bovenste 10cm) van perceel 9, waar de fosfaattoestand suboptimaal is voor de beoogde natuurontwikkeling. Direct onder de bovenste 10 cm is de fosfaattoestand echter wel voedselarm. In de percelen die in Zwartsluis zijn onderzocht voor het P-mobilisatie onderzoek is de fosfaattoestand in de toplaag ook laag. Voor deelgebied Zwartsluis zijn geen inrichtingsmaatregelen nodig zijn om de P toestand van de bodem te verlagen. Wel zou overwogen kunnen worden om de toplaag (0-10cm) op het meest zuidelijke perceel (9) actief te verlagen door intensief verschrallingsbeheer, uitmijnen of eventueel het afplaggen van de toplaag. Afhankelijk van de dichtheid van de bestaande graszode zou deze opengemaakt kunnen worden en zou maaisel uit een referentiegebied opgebracht kunnen worden.

Voor **deelgebied Doosje** geldt dat de fosfaattoestand te hoog is op de percelen waar nat schraalland/blauw grasland als doel is gesteld (de meest oostelijk gelegen percelen 14 en 15). Er gelden hier streefwaarden van een P-AL ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1}$) en een fosfaatverzadigingsgraad (FVG in %) van < 12. Het fosfaatgehalte is in alle bemonsterde dieptes (0-10, 10-20 en 20-40cm -mv) echter te hoog (twee tot drie keer de streefwaarde). De ontwikkeling van de gewenste voedselarme vegetatie is hier niet mogelijk zonder het sterk verlagen van de P toestand tot 40cm diepte. Realistisch gezien zou dit met verschrallen of uitmijnen vele decennia duren. Voor afgraven is het fosfaat tot diep (40cm) in het bodemprofiel nog hoog. De beoogde vegetatie zou heroverwogen kunnen/ moeten worden richting een meer voedselrijke vegetatie zoals kruiden- en faunarijkgasland. Door intensief verschrallingsbeheer zou dit op termijn zich kunnen ontwikkelen richting dotterbloemhooiland.

Voor het perceel waar extensief/bloemrijk grasland als doel is gesteld (26) is de P toestand van de toplaag (bovenste 25cm) suboptimaal voor de gewenste vegetatieontwikkeling. Op dit perceel zijn geen inrichtingsmaatregelen nodig om de P toestand te verlagen. Verschrallingsbeheer (intensief maaien en afvoeren) zal voldoende zijn om de nutriëntentoestand verder te doen dalen.

Voor **deelgebied Giethoorn** is de P toestand van de percelen waar de ontwikkeling van droog rietland en extensief/bloemrijk grasland wordt beoogd niet optimaal voor de gewenste natuurontwikkeling. Het verlagen van de fosfaattoestand is hier nodig. Voor het perceel waar bloemrijk grasland (perceel 28) wordt beoogd is het P gehalte in de toplaag (bovenste 25cm) te hoog, voor de percelen waar de wens is om droog rietland te ontwikkelen (percelen 24 en 25) geldt dit voor de bodemlaag direct onder de toplaag (10-30cm -maaiveld). Dat de fosfaatgehalten in de toplaag lager zijn dan het fosfaatgehalte in de bodemlaag hieronder duidt er op dat mogelijk al meerdere jaren verschralling heeft opgetreden (netto negatief P-balans waarin de onttrekking hoger is dan de aanvoer).

De resultaten van de toplaag van de bodem zijn in onderstaande figuren in kaartvorm weergegeven (Figuur 4.2). Inrichtingsmaatregelen zijn nodig om de P toestand te verlagen wanneer het perceel geel of rood is gekleurd.

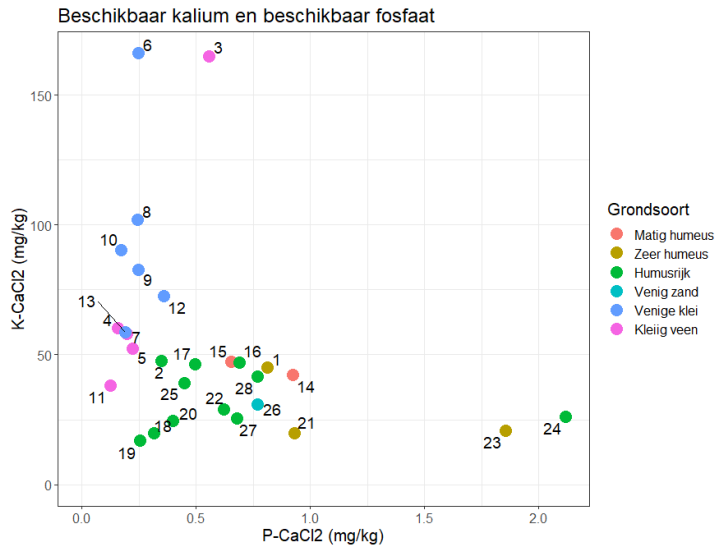


Figuur 4.2 Fosfaattoestand van de toplaag van de bodem in vergelijking met de streefwaarden voor deelgebied Beukers (links boven), Zwartsluis (rechts boven), Doosje (linksonder) en Giethoorn (rechtsonder). Het getal in elk bemonsteringsvlak geeft het perceelnummer aan. Inrichtingsmaatregelen zijn nodig om de fosfaattoestand te verlagen wanneer het perceel geel of rood is gekleurd.

4.2.2 Kalium

Te hoge fosfaatgehalten leggen vaak een restrictie op de natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond. Omdat fosfaat vaak beperkend is voor de vegetatie-ontwikkeling en fosfaat uit historische bemesting sterk bindt aan de bodem wordt hier in natuurontwikkelingstrajecten vaak op gestuurd (van Mullekom et al. 2014; Schippers et al. 2012). Dit geldt met name voor (matig) voedselarme vegetaties. Voor (matig) voedselrijke vegetaties kan naast fosfaat ook kalium limiterend zijn voor de vegetatieontwikkeling (Korevaar, 1986).

In het huidig onderzoek is op een locatie waar kruidenrijk grasland wordt waargenomen de fosfaattoestand (ruim) boven de streefwaarde voor kruidenrijk grasland (perceel 24 in polder Giethoorn). Op deze locatie is van alle percelen het hoogste gehalte aan beschikbaar fosfaat gemeten ($P\text{-CaCl}_2$) maar is het gehalte aan kalium in de bodem zeer laag ($K\text{-CaCl}_2 < 30 \text{ mg/kg}$, Figuur 4.3). Op perceel 23 en 24 is sprake van kaliumlimitatie, wat de ontwikkeling van kruidenrijk grasland mogelijk maakt.

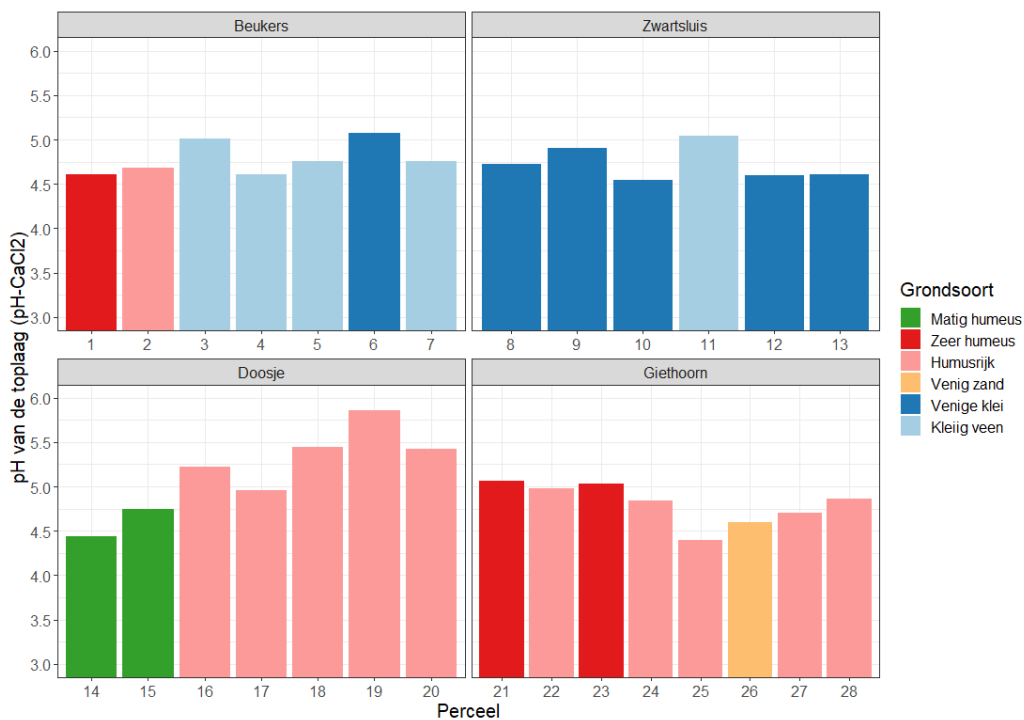


Figuur 4.3 Beschikbaar kalium, en fosfaat in de toplaag (bovenste 10 tot 25cm van de bodem). Het getal in de label geeft het perceelnummer aan.

In Figuur 4.3 is opvallend dat waar fosfaat limiterend wordt voor de vegetatie ($P-CaCl_2 < 0.5 \text{ mg/kg}$ en $P-Al < 10 \text{ mg } P_2O_5/100g$) kan de kalium toestand van de bodem (sterk) toenemen. Met name op de venige bodems is de kalium beschikbaarheid hoog.

4.2.3 Zuurgraad

De zuurgraad van de bodem is bij de ontwikkeling van natuurvegetaties (ook) belangrijk. De pH van de toplaag van de bodem varieert van 4.4 tot 5.9 (Figuur 4.4). De pH is in deelgebied Doosje gemiddeld licht hoger dan in de overige deelgebieden. Verder zijn er geen grote verschillen tussen de verschillende deelgebieden.



Figuur 4.4 pH van de toplaag van de bodem, gemeten met een $CaCl_2$ extractie. De Y-as is aangepast naar een bereik van 3-6.

Voor grasland op veengronden geldt een pH(-CaCl₂) tussen de 4.6 en 5.2 als streefwaarde (van Eekeren et al., 2016). Bij een pH boven de 5.2 mineraliseert het veen te snel. Bij de veengronden in het huidig onderzoeksgebied (percelen 3 t/m 13) valt de pH van de toplaag altijd binnen deze streefwaarde. Voor grasland op zandgronden geldt een pH(-CaCl₂) streefwaarde van 4.8-5.5 (tussen de 4.5 en 6.1 bij blauwgrasland, zie van Rotterdam & Postma, 2019). Bij enkele zandgronden waar de wens is om grasland te ontwikkelen is de pH beneden de streefwaarde:

- De stroomrug in deelgebied Beukers (percelen 1 en 2)
- Één van de percelen waar nat schraalland/mogelijk blauwgrasland wordt beoogd in deelgebied Doosje (perceel 14)

Het advies is om de percelen op de stroomrug in deelgebied Beukers en perceel 14 in deelgebied Doosje te bekijken.

4.3 Risico op P mobilisatie

Wanneer de bodem wordt vernat is het mogelijk dat gebonden fosfaat in oplossing komt en uitspoelt richting het watersysteem. Zie paragraaf 2.2 voor het theoretische kader. Anders dan bij kentallen voor natuurpotentie zijn voor de potentiële P-mobilisatie onder andere de totale beschikbare P reserves over de diepte belangrijk (P-ox), in combinatie met de bindingscapaciteit van de bodem (Q_{max} berekend als een functie van Fe + Al-ox) en de fosfaatverzadigingsgraad van de bodem (P-ox / Q_{max}) als maat voor de directe beschikbaarheid. Het risico op P-mobilisatie is op twee manieren doorgerekend:

- Het risico op het op korte termijn vrijkomen van fosfaat na vernatting. Hiervoor dient de ratio tussen P-ox en Fe-ox (mol/mol) als een goede indicatie voor de directe beschikbaarheid (Loeb et al., 2008)
- De potentie voor het vrijkomen van fosfaat over de tijd. Hier wordt verondersteld dat door natte omstandigheden over de tijd ijzer(hydr-)oxiden in oplossing komen, en daarmee het belangrijkste oppervlak voor P-adsorptie afneemt. Dit leidt tot mobilisatie van ijzer en fosfaat (van Rotterdam & Postma, 2019).

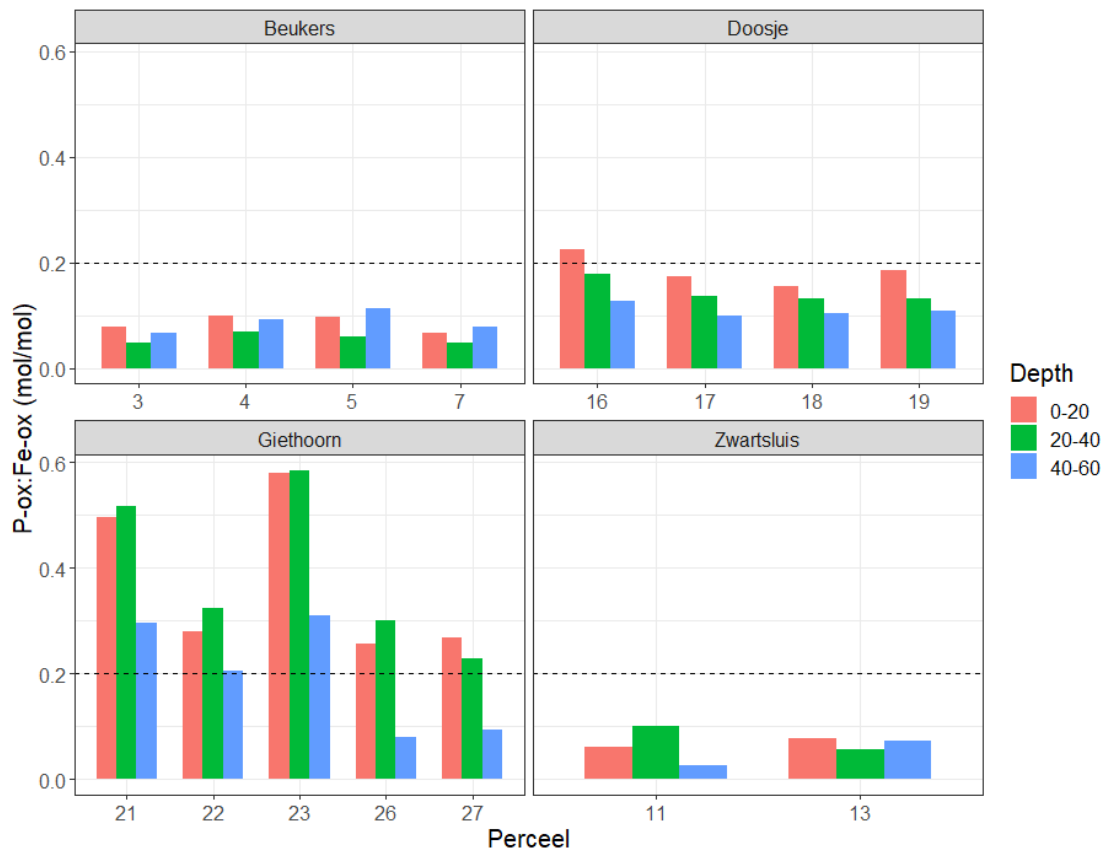
De resultaten zijn hieronder per methodiek beschreven.

Risico op het op korte termijn vrijkomen van fosfaat na vernatting

De ratio tussen P-ox en Fe-ox is, uitgesplitst per bodemtype en locatie, in Figuur 4.5 weergegeven. Het risico op het op korte termijn vrijkomen van fosfaat na vernatting is gering op de kleiig veen/venige klei bodem (Figuur 4.1) van Beukers en Zwartsluis. Veen bevat hoge gehalten aan ijzer(hydr-)oxiden, waardoor de bodem een grote capaciteit heeft om fosfaat te binden aan de bodem en het gebonden fosfaat minder snel vrijkomt dan bij zandgronden met een lage bindingscapaciteit. Daarnaast is de waterdoorlatendheid van veengronden lager dan van zandgronden. Hierdoor kan P in oplossing raken, maar spoelt het minder snel uit dan bij zandgronden. Beide processen leiden ertoe dat het risico op P-emissies op zandgronden die zijn opgeladen met fosfaat door het (historische) agrarische management hoger is dan op veengronden.

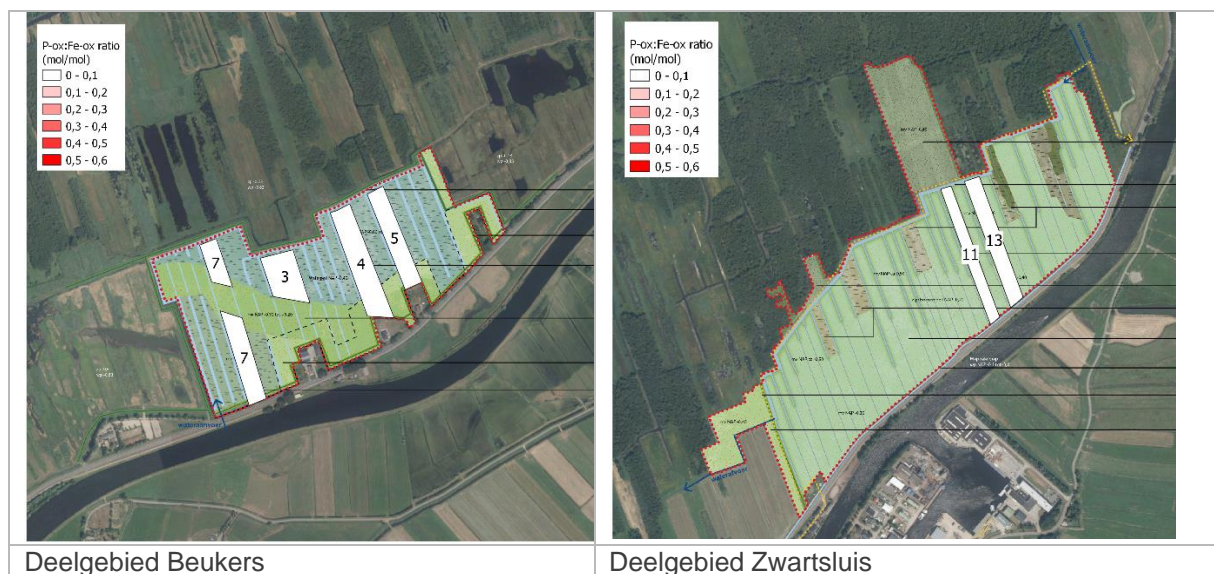
Voor deelgebied Doosje is risico is op het op korte termijn vrijkomen van fosfaat na vernatting laag (enkel de toplaag van perceel 19 heeft een P-ox:Fe-ox ratio licht boven de 0.2). In deelgebied Doosje waar vernatting is voorzien (niet perceel 14 en 15) is de bindingscapaciteit laag maar is de mate waarin de bindingscapaciteit is opgeladen ook beperkt (Figuur 4.5).

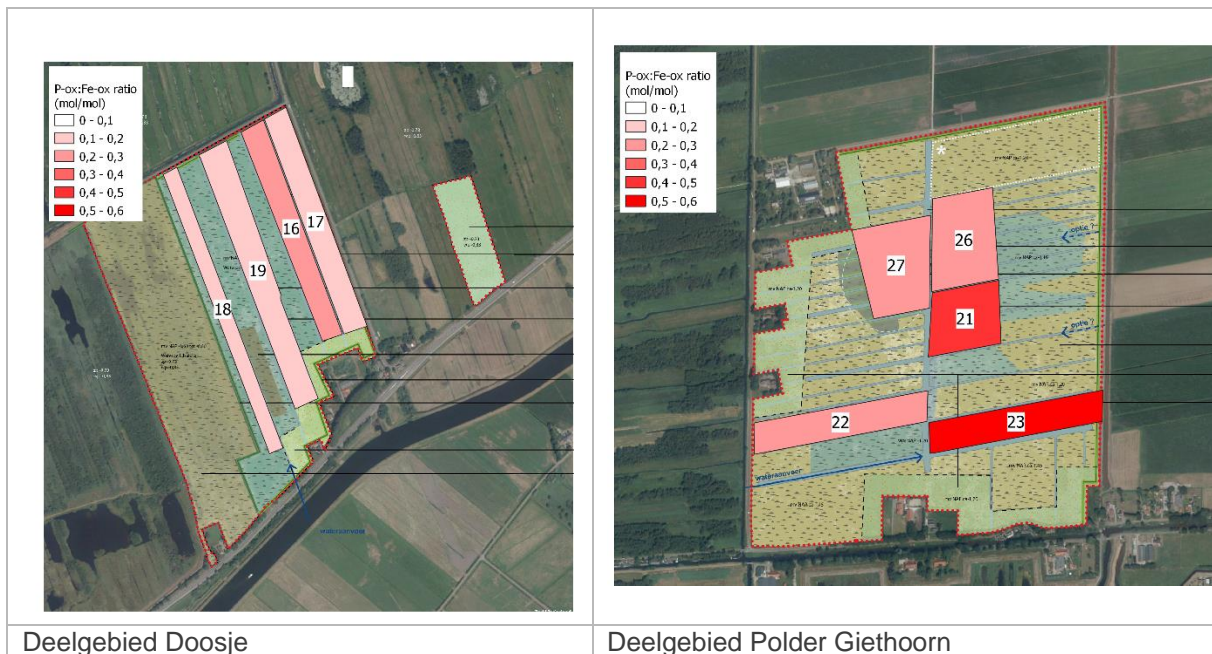
Voor deelgebied Polder Giethoorn geldt dat er op elk perceel een groot risico is op het op korte termijn vrijkomen van fosfaat na vernatting. De bindingscapaciteit is laag maar deze is sterk opgeladen met fosfaat. Het risico is het grootst bij percelen 21 en 23 (Figuur 4.5).



Figuur 4.5 De ratio tussen Fe-ox en P-ox (mol/mol) voor de percelen van het onderzoeksgebied. De stippellijn geeft een ratio van 0.2 weer. Bij een ratio beneden de 0.2 is de kans op interne eutrofiëring gering (van Rotterdam & Thijssen, 2019; van Rotterdam & Postma, 2019; Loeb et al., 2008)

De P-ox:Fe-ox ratio van de toplaag van de percelen is in Figuur 4.6 ruimtelijk weergegeven.





Figuur 4.6 P-ox:Fe-ox ratio (mol/mol) in de toplaag (eerste 20cm) voor deelgebied Beukers (linksboven), Zwartsluis (rechtsboven), Doosje (linksonder) en Giethoorn (rechtsonder).

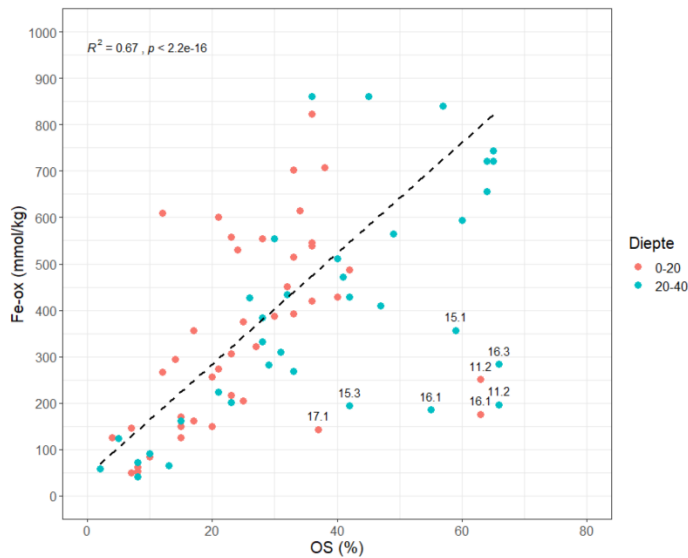
Geconcludeerd wordt dat er in deelgebied Polder Giethoorn een risico is op het op korte termijn vrijkomen van beschikbaar fosfaat na vernatting. Het risico is het grootst op percelen 21 en 23. Hier zouden maatregelen genomen moeten worden die gericht zijn op het verlagen van het fosfaatgehalte in de bodem om dit risico te verlagen. Deze maatregelen zouden genomen moeten worden voordat wordt vernat. De urgentie hangt onder andere af van de afwatering van het gebied (richting natuurgebied of niet) en de ecologische streefwaarden van het watersysteem waar het gebied op afwatert.

De potentie voor het vrijkomen van fosfaat over de tijd

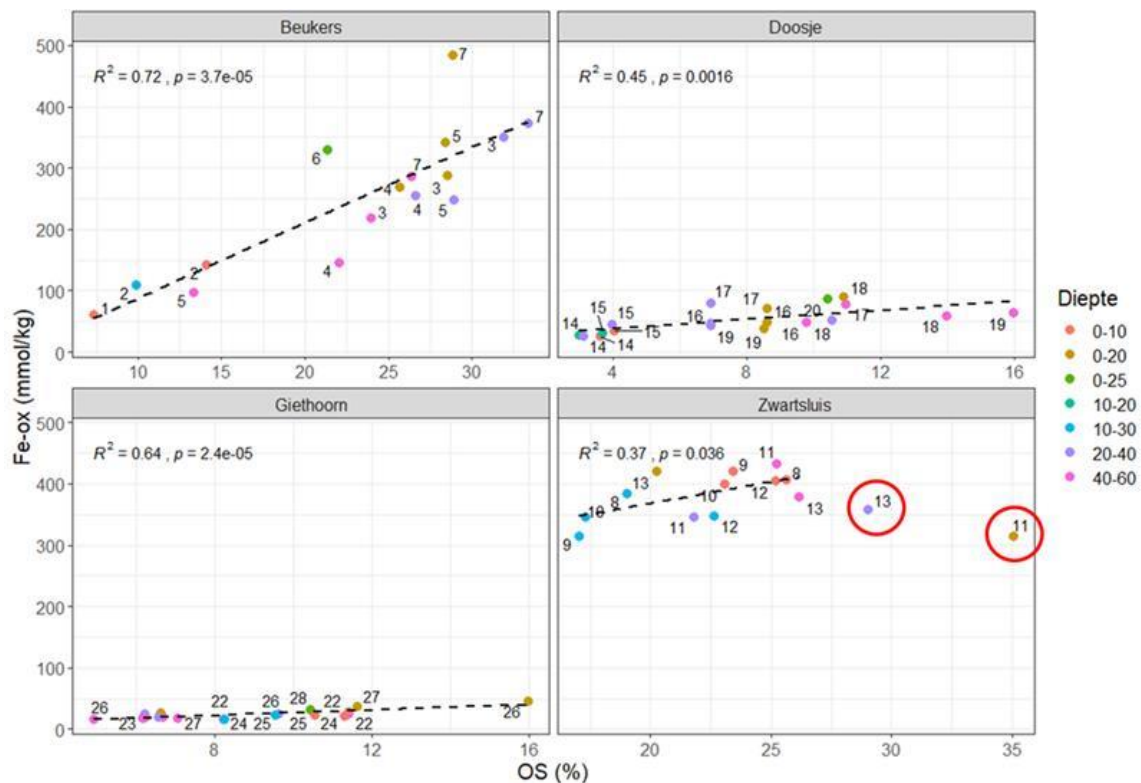
In een vergelijkbare studie op voormalige landbouwgronden in, en in de buurt van, de Wieden en Weerribben werd waargenomen dat op natte locaties (gelabelde punten in Figuur 4.7) Fe-ox lager is dan verwacht zou mogen worden op basis van het organisch stofgehalte (van Rotterdam & Postma, 2019). De interpretatie hiervan is dat (langdurige) natte omstandigheden hebben geleid tot het oplossen en verdwijnen van het belangrijkste oppervlak voor P-adsorptie. Deze interpretatie werd bevestigd door de observatie van zeer lage gehalten aan reversibel gebonden beschikbaar P op deze locaties. Op basis van de lineaire trendlijn in Figuur 4.7 kan worden geschat dat, afhankelijk van de locatie, 52-78% van de ijzeroxiden over de tijd in oplossing is gegaan.

In het huidig onderzoek geldt, net als in van Rotterdam & Postma (2019), voor elk deelgebied een significante lineaire relatie tussen het organisch stofgehalte en het gehalte Fe-ox (Figuur 4.8). Uitzonderingen waar Fe-ox lager is dan verwacht mag worden op basis van het organische stofgehalte zijn twee bodemonsters in deelgebied Zwartsluis:

- De 0-20cm bodemlaag van perceel 11. Hier is het P gehalte (P-ox, P-AL en P-CaCl₂) lager dan in de laag hieronder (20-40cm). In combinatie met de lagere Fe-ox wijst dit op historische uitspoeling van fosfaat van de toplaag naar de laag hieronder door fluctuerende natte omstandigheden. De bodemlaag 40-60cm lijkt juist wat verrijkt met Fe in dit perceel.
- De 20-40cm bodemlaag van perceel 13. Het P-gehalte is hier lager dan in de toplaag (0-20cm) en diepere bodemlaag (gemeten in P-ox, P-AL en P-CaCl₂).



Figuur 4.7 Relatie tussen Fe(hydr)oxiden gemeten in een oxalaat extractie (Fe-ox) en het organisch stofgehalte in de studie van Rotterdam & Postma, 2019.



Figuur 4.8 Relatie tussen Fe(hydr)oxiden gemeten in een oxalaat extractie (Fe-ox) en het organisch stofgehalte, uitgesplitst per deelgebied. De rood omcirkelde punten in deelgebied Zwartsluis zijn buiten de lineaire regressie gelaten (outliers).

Op basis van de relatie tussen het organische stofgehalte en de bindingscapaciteit in de vorm van ijzer(hydr-)oxiden (Fe-ox) is een inschatting gemaakt van het risico dat P over de tijd vrijkomt door het in oplossing gaan van de ijzer(hydr-)oxiden. Aanname is dat over de tijd dezelfde hoeveelheid ijzer(hydr-)oxiden na vernatting in oplossing gaan als in van Rotterdam & Postma, 2019 (52-78%, Figuur 4.7) en dat het daaraan gebonden P vrijkomt. Om ruimtelijk inzicht te geven is in onderstaande figuren per deelgebied het risico op de potentiële P-mobilisatie uit de bovenste 60cm van de bodem weergegeven onder de aanname dat tot maaiveld wordt vernat.



Figuur 4.9 Indicatie van de P mobilisatie uit de bovenste 60cm van de bodem bij vernatting tot maaiveld in deelgebied Beukers (linksboven), Zwartsluis (rechtsboven), Doosje (linksonder) en Giethoorn (rechtsonder).

De potentiële P-mobilisatie is hoog op de veengronden (deelgebieden Beukers en Zwartsluis). Door de hoge gehalten aan ijzer(hydr-)oxiden is er relatief veel fosfaat in de bodem gebonden, wat de potentie heeft om na vernatting geleidelijk vrij te komen. In polder Giethoorn, waar de P-mobilisatie op korte termijn hoog was, is deze op de lange termijn laag omdat de bindingscapaciteit en de totale hoeveelheid P in de bodem laag is.

Door vernatting gaat P-mobilisatie gepaard met het in oplossing gaan van ijzer. Wanneer de omstandigheden weer oxisch (zuurstofrijk) worden zal het ijzer weer neerslaan als ijzer(hydr-)oxide en kan P weer gebonden worden. Het gemobiliseerd fosfaat is een risico maar hoeft daarom niet direct een probleem te vormen voor de waterkwaliteit. Afhankelijk van onder andere de slootdiepte, eigenschappen van de slootbodem en de verblijftijd in het watersysteem kan fosfaat aan dit ijzer binden en vast komen te liggen in het sediment. Bij een lange verblijftijd – en lage stroomsnelheid van het water – kan het ijzerfosfaat uitzakken naar de waterbodem. Bij diepe sloten waar de onderwaterbodem oxisch blijft zal het ijzerfosfaat geen risico vormen. Wanneer de ondiepe slootbodem echter opwarmt en anoxisch (zuurstofloos) wordt kan het ijzerfosfaat weer reduceren en komt fosfaat vrij.

Synthese van het risico op P mobilisatie

In polder Giethoorn bestaat het risico dat op korte termijn fosfaat vrijkomt na vernatting door de hoge directe beschikbaarheid als gevolg van de verhouding van fosfaat tot ijzer op de zandige percelen van deze polder. Afhankelijk van de afwatering (fosfaat streefwaarden waterlichaam waar het perceel op afstroomt) vormt dit een risico voor de waterkwaliteit. In deelgebieden Beukers en Zwartsluis is de potentiële P mobilisatie op de lange termijn (decennia) het grootst door de aanwezigheid van venige klei/kleiig veen met hoge gehalten aan ijzeroxiden en het daaraan gebonden fosfaat. Dit fosfaat zal echter niet direct vrijkomen, maar langzaam over de tijd.

Wat betreft maatregelen wordt geadviseerd om de focus te leggen op het verlagen van de fosfaattoestand in de bodem bij een hoog risico op het op korte termijn vrijkomen van fosfaat (percelen 21, 22, 23, 26 en 27 van polder Giethoorn). Deze verlaging moet plaatsvinden voor vernatting.

4.4 Verlagen van de fosfaattoestand

Om verschillende redenen kan het nodig zijn om de fosfaattoestand van de bodem te verlagen. Dit kan zijn voor de ontwikkeling van beoogde vegetaties of voor het verlagen van de fosfaattoestand om het risico op P-mobilisatie en verliezen naar het watersysteem te beperken. De opties voor het verlagen van de fosfaattoestand zijn:

- Verschralen: verwijderen van P door maaien en afvoeren gewasresten;
- Uitmijnen: bevorderen gewasgroei door middel van bemesting met alle benodigde nutriënten behalve fosfaat. Hiermee wordt na maaien en afvoeren de fosfaatonttrekking gemaximaliseerd.
- Plaggen: verwijderen van de zoden (5-10cm-mv)
- Afgraven: verwijderen van de fosfaatrijke toplaag (diepte afhankelijk van de fosfaattoestand in het bodemprofiel)

De tijd die het zou duren om de P-toestand door middel van uitmijnen tot het gewenste niveau voor natuurontwikkeling te doen dalen kan op twee manieren worden berekend. In de theoretische benadering wordt de daling van de fosfaatbeschikbaarheid (FVG) berekend door de daling van de totale P-reserves in de bodem gelijk te stellen aan de P-onttrekking door het gewas. In dit onderzoek worden de totale P-reserves benaderd met P-ox. Het aantal uitmijnjaren kan ook worden berekend op basis van de (empirische) resultaten van een 10-jarige uitmijnproef in een beekdal in Drenthe. Deze proef heeft aangetoond dat ook op basis van P-AL een inschatting gemaakt kan worden van het aantal uitmijnjaren. De resultaten van de theoretische benadering en de empirische benadering (beekdal Drenthe) rekenmethodes staan in Tabel 4-2.

Voor de twee percelen waar nat schraalland/blauw grasland wordt beoogd (meest oostelijke percelen 14 en 15 in deelgebied Doosje) duurt het lang voordat de fosfaattoestand middels uitmijnen op een gewenst niveau is gebracht (18-26 jaar). Wanneer er wordt gekozen voor afplaggen moet er minstens 40 centimeter worden afgegraven voordat de fosfaattoestand geschikt is voor nat schraalland/blauw grasland (Bijlage V). Voor deze locatie zou daarom ook gekozen kunnen worden voor een andere natuurdoelstelling richting een meer voedselrijke vegetatie zoals kruiden- en faunarijkgasland. Door intensief verschralingsbeheer zou dit op termijn zich kunnen ontwikkelen richting dotterbloemhooiland, mits de vochttoestand dit toelaat.

Voor het reduceren van het risico op P mobilisatie door vernatting in polder Giethoorn zou het op basis van uitmijnen één tot enkele decennia duren voordat het risico is beperkt. Een andere optie is om de fosfaatrijke toplaag te verwijderen (bovenste 30 centimeter van de bodem). Onder de 30cm rijke toplaag is het fosfaatgehalte laag (Bijlage V).

Tabel 4-2 Berekening van het aantal uitmijnjaren die het zou duren om de fosfaattoestand in de onderzochte percelen te doen dalen tot een niveau waar de gewenste vegetatie zich potentieel kan ontwikkelen (natuurpotentie) of wanneer de P-ox:Fe-ox ratio beneden de 0.2 ligt (P mobilisatie). De berekening is uitgevoerd op basis van de P-verzadigingsgraad (FVG) in combinatie met de totale P-reserves (P-ox) en op basis van P-AL

Perceel	Deelgebied	Uitmijnjaren op basis van P-AL	Uitmijnjaren op basis van FVG (P-ox)	Waarom uitmijnen/verschralen
14	Doosje	18	26	Natuurpotentie
15	Doosje	18	25	Natuurpotentie
24	Giethoorn	2	2	Natuurpotentie
25	Giethoorn	1	5	Natuurpotentie
28	Giethoorn	1	5	Natuurpotentie
21	Giethoorn	nvt	25	P mobilisatie
22	Giethoorn	nvt	15	P mobilisatie
23	Giethoorn	nvt	23	P mobilisatie
26	Giethoorn	nvt	9	P mobilisatie
27	Giethoorn	nvt	11	P mobilisatie

Zuivering van fosfaat door nat riet

Op enkele percelen in deelgebied Doosje en Giethoorn wordt de ontwikkeling van nat riet beoogd (perceel 18 in Doosje en percelen 21 t/m 23 in Giethoorn). Riet kan hier als middel dienen om de fosfaattoestand te verlagen. Riet neemt over de tijd fosfaat op, wat uit het systeem kan worden weggehaald door maaien en afvoeren (o.a. van der Bolt et al., 2010; de Haan et al., 2012; de Buck et al., 2012). De absolute hoeveelheid fosfaat die op korte termijn na vernatting vrijkomt is echter onbekend, en daarmee het zuiveringsrendement. Het zuiveringsrendement blijkt verder uit praktijkproeven zeer uiteen te lopen en moeilijk te kwantificeren (van de Buck et al., 2012). De effectiviteit van fosforopname door riet wordt o.a. beïnvloedt door het type riet, het waterpeil, de hoeveelheid fosfaat, het rietoppervlak en de maalfrequentie. In het praktijkonderzoek van de Buck et al., (2012) was de optimale maalfrequentie elke drie jaar. Voor het huidig onderzoeksgebied is het maaibeheer grotendeels afhankelijk van de natuurdoelstellingen. Maaien is noodzakelijk om verruiging tegen te gaan, maar kan zorgen voor verstoring van moerasbroedvogels. Mozaïekbeheer, waar er gefaseerd wordt gemaaid, kan hier mogelijk een oplossing bieden.

Omdat het nat rietland een fauna doelstelling heeft, lijkt het niet/ minder geschikt om met maaien en afvoeren het rietland te gebruiken voor verschraling.

5 Conclusies

Conclusies

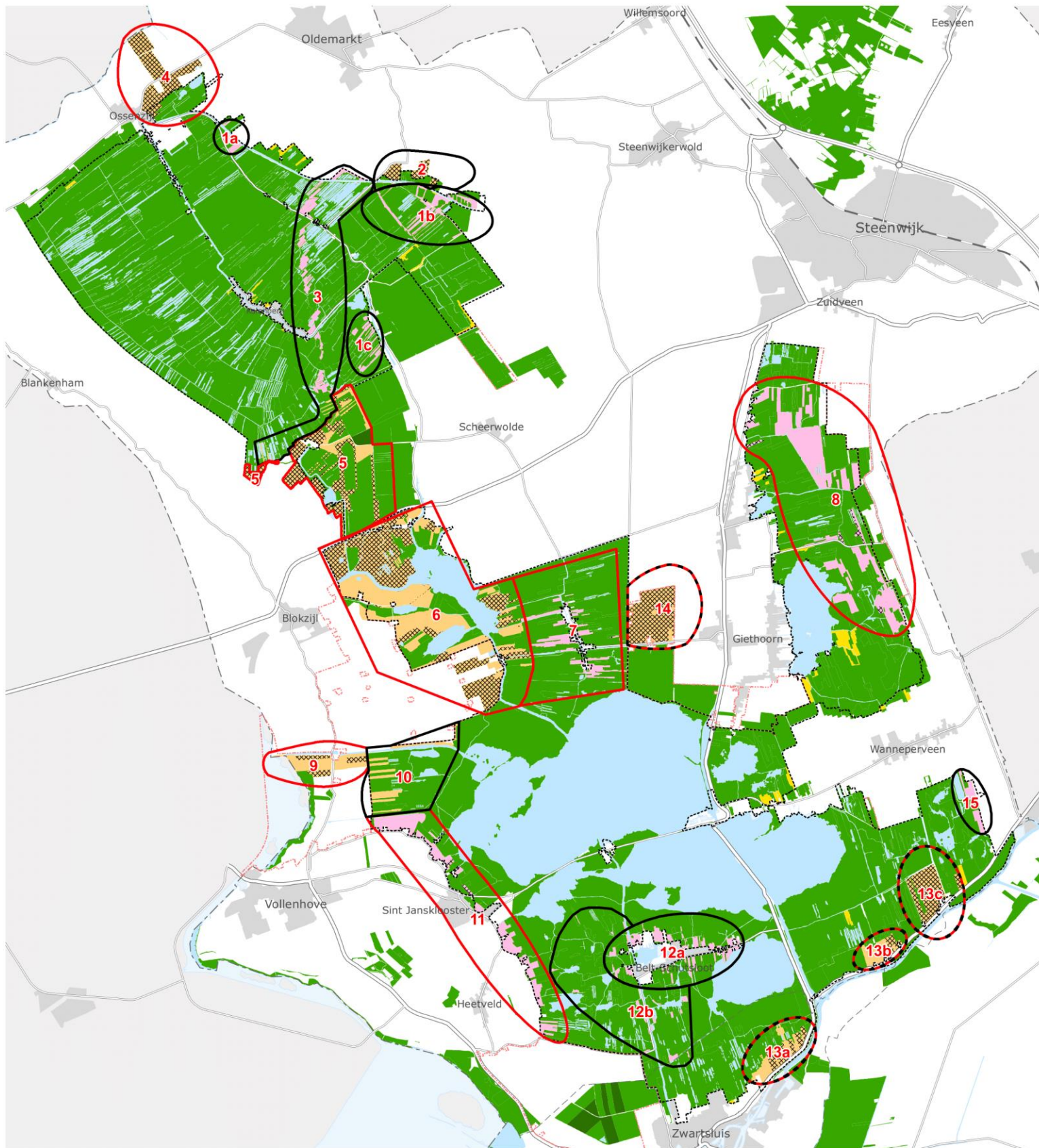
- Deelgebieden Zwartsluis en Beukers bestaan uit venige klei/ kleilig veen;
- Uitzondering is de stroomrug in deelgebied Beukers die bestaat uit humusrijk (lager gelegen deel) tot zeer humeus (hoger gelegen deel) zand;
- De percelen van deelgebieden Doosje en Polder Giethoorn bestaan uit matig humeus tot weinig zand;
- Deze verschillen in bodemtype zijn terug te zien in de fosfaattoestand van de bodem (direct beschikbaar en gebonden P) en de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden.
- In de deelgebieden Zwartsluis en Beukers met een venige bodem, is de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat hoog, is de fosfaattoestand van de bodem laag en kan deze worden geclassificeerd als deels optimaal voor voedselarme vegetaties en deels optimaal voor matig voedselrijke vegetaties. Op de stroomrug is de bindingscapaciteit lager en is de fosfaatbeschikbaarheid hoger.
- Voor de ontwikkeling van een dotterbloemhooiland (Zwartsluis) en bloemrijke vegetaties (Beukers) zijn inrichtingsmaatregelen als zodanig niet nodig. Wel zou ingezet moeten worden om met verschrallingsbeheer (maaïen en afvoeren) de fosfaattoestand verder te verlagen op met name de stroomrug (Beukers) en het meest zuidelijk gelegen perceel (9 in Zwartsluis). Afhankelijk van de dichtheid van de bestaande graszode zou deze opengemaakt kunnen worden en zou maaisel uit een referentiegebied opgebracht kunnen worden.
- In de deelgebieden Doosje en Giethoorn met een zandige bodem is de bindingscapaciteit van de bodem voor fosfaat laag en is de fosfaattoestand van de bodem verhoogd tot de classificering suboptimaal voor matig voedselrijke vegetaties tot (zeer) voedselrijk.
- In deelgebied Doosje waar nat schraalland wordt beoogd, is de fosfaattoestand tot een diepte van 40cm verhoogd met fosfaat. Het verlagen van de fosfaattoestand met verschrallen of uitmijnen zou vele decennia duren. Voor afgraven is het fosfaat tot 40cm diep in het bodemprofiel nog hoog. De beoogde vegetatie zou heroverwogen kunnen/ moeten worden richting een meer voedselrijke vegetatie zoals kruiden- en faunarijkgasland. Door intensief verschrallingsbeheer zou dit op termijn zich kunnen ontwikkelen richting dotterbloemhooiland.
- In deelgebied Giethoorn is de bindingscapaciteit voor fosfaat laag maar door de sterke oplading is de beschikbaarheid van fosfaat hoog. Dit zou beperkend kunnen zijn voor de ontwikkeling van bloemrijke vegetaties. Waar de fosfaattoestand hoog is, is de kalium beschikbaarheid echter (zeer) laag en is kalium limiterend voor de vegetatie en niet fosfaat.
- In deelgebied Giethoorn is het risico op P-mobilisatie als gevolg van vernatting tot aan maaiveld op de korte termijn hoog. Om de fosfaattoestand te verlagen zou 1 tot 2 decennia moeten worden uitgemijnd. Afgraven van de nutriëntenrijke bouwvoor (30cm) zou een snelle, effectieve, maar ook dure maatregel kunnen zijn. De urgentie is afhankelijk van de waterdoelstellingen.
- In de venige deelgebieden Zwartsluis en Beukers is het directe risico op P-mobilisatie gering. Door de hoge bindingscapaciteit en de hoge P-voorraden kan gedurende een lange periode toch grote hoeveelheden fosfaat vrijkomen.

6 Literatuur

- Bobbink, R., Hart, M., Kempen, M. v., Smolders, F., & Roelofs, J. (2007). *Grondwaterkwaliteitsaspecten bij vernatting van verdroogde natte natuurparels in Noord-Brabant*. Nijmegen: B-WARE.
- Boers, P., & Uunk, J. (1990). *Methode voor het schatten van de nalevering van fosfaat door de waterbodem na vermindering van de externe belasting*. Lelystad: Rijkswaterstaat.
- de Buck, A., van Gerven, L., van Kleef, J., van der Schoot, J., van Wijk, G., Buijert, A., & van der Bolt, F. (2012). *Helofytenfilters in sloten*. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving: Alterra.
- de Haan, J., Schoot, v. d., de Buck, A., & Sival, F. (2012). Zuivering van sloot- en drainwater in helofytenfilters is kosteneffectief. *H2O*, 23 - 25.
- Dobben, H. F., Wamelink, G. W., Slim, P. A., Kaminski, J., & Piórkowski, H. (2015). Species-rich grassland can persist under nitrogen-rich but phosphorus-limited conditions. *Plant Soil*, 451 - 466.
- Geurts, J. J., Smolders, A. J., Banach, A. M., van de Graaf, J. P., Roelofs, J. G., & Lamers, L. P. (2010). The interaction between decomposition, net N and P mineralization and their mobilization to the surface water in fens. *Water Research*, 3487-3495. doi:10.1016/j.watres.2010.03.030
- Jensen, H., Kristensen, P., Jeppesen, E., & Skytthe, A. (1992). Iron:phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia*, 235, 731-743.
- Jr, W. P., & Khalid, R. (1974). Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions. *Science*, 53-55. doi:10.1126/science.186.4158.53
- Kemmers, R., & Nelemans, J. (2007). *Vergroting van de fosfaatadsorptiecapaciteit en afname van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in gronden door wisselvochtigheid*. Wageningen: Alterra.
- Lamers, L. P., Tomassen, H. B., & Roelofs, J. G. (1998). Sulfate-Induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science & Technology*, 32(2), 199-205.
- Lamers, L., Lucassen, E., Smolders, F., & Roelofs, J. (2005). Fosfaat als adder onder het gras bij 'nieuwe natte natuur'. *H2O*, 17, 28-30.
- Loeb, R., Lamers, L. P., & Roelofs, J. G. (2008). Prediction of phosphorus mobilisation in inundated floodplain soils. *Environmental Pollution*, 156(2), 324-331. doi:10.1016/j.envpol.2008.02.006
- Postma, R., Rotterdam, D. v., Hut, H., Warners, H., Blaauw, R., Schepers, A., . . . Haas, M. d. (2015). *Fosfaatuitmijning voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond in Drenthe; Eindrapport 2010 - 2014*. Wageningen: NMI.
- Provincie Overijssel. (2017). *Natura 2000-beheerplan definitief - De Wieden en Weerribben*. Zwolle: Provincie Overijssel.
- Provincie Overijssel. (2020, november 25). Provincie Overijssel, Kennisgeving Notitie Reikwijdte en Detailniveau Natura 2000 De Wieden fase 2. *Provinciaal Blad*.

- Schippers, W., Bax, I., & Gardenier, M. (2012). *Ontwikkelen van kruidenrijk grasland*. Lunteren: Drukkerij AMV.
- Schoumans, O. (2015). *Phosphorus leaching from soils: process description, risk assessment and mitigation*. Wageningen: Wageningen University.
- Smolders, A., Moonen, M., Zwaga, K., Lucassen, E., Lamers, L., & Roelofs, J. (2006). Changes in pore water chemistry of desiccating freshwater sediments with different sulphur contents. *Geoderma*, 272-383.
- Smolders, F., Roelofs, J., & Lucassen, E. (2011). Goede grond voor natuur - Abiotisch bodemcondities sturen vegetatieontwikkeling in natuurgebieden. *Bodem*, 2, 11-13.
- ten Cate, J., van Holst, A., Kleijter, H., & Stolp, J. (1995). *Handleiding bodemgeografisch onderzoek - Richtlijnen en voorschriften*. Wageningen: DLO-Staring Centrum.
- Timmermans, B. G., & van Eekeren, N. (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. (2010). *Evenwichtige verschraling van natuurpercelen*. Bunnik: Louis Bolk.
- van Delft, S. (2013). *Natuurpotentie in graslanden bij Muggenbeet en Duinigermeer*. Wageningen: Alterra.
- van Delft, S., Maas, G., & Brouwer, F. (2014). *Fosfaatonderzoek Noorderpark*. Wageningen: Alterra.
- van der Bolt, F., de Buck, A., & van Hoorn, M. (2010). *Zuiverend riet in sloten*. Wageningen: Alterra.
- van der Grift, B. (2017). *Geochemical and hydrodynamic phosphorus retention mechanisms in lowland catchments*. Utrecht: Utrecht University.
- van Eekeren, N., Deru, J., Lenssinck, F., & Bloem, J. (2016). *Bodemkwaliteit op veengrond*. Driebergen: Louis Bolk Instituut.
- van Gerven, L., Hendriks, R., Harmsen, J., Beumer, V., & Bogaart, P. (2011). *Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem*. Wageningen: Alterra.
- van Mullekom, M., Smolders, F., & Timmermans, B. (2014). *Van landbouw naar natuur*. B-WARE en het Louis Bolk Instituut.
- van Rotterdam, D., & Postma, R. (2019). *Fosfaatonderzoek Wieden en Weerribben*. Wageningen: NMI.
- van Rotterdam, D., & Thijssen, D. (2019). *Effecten plasdras op fosfaat-emissie uit landbouwgronden; monitoring en oplossingen in Noord-Holland*. Wageningen: Nutriënten Management Instituut.
- van Rotterdam, D., Postma, R., de Haas, M., & de Pater, J. (2016). *Fosfaatonderzoek Bossche Broek*. Wageningen: Nutriënten Management Instituut.
- Verstraten, J., van Middelkoop, J., Philipsen, A., van Dongen, C., Bussink, D., Bos, A., . . . van Eekeren, N. (2021). *Bemestingsadvies*. Wageningen: Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen.

Bijlage I: Overzichtskaart ontwikkelplan Wieden Weerribben



Uitwerkingsgebieden N2000 met een opgave vanuit het Ontwerp beheerplan N2000 Wieden Weerribben

Status: ambtelijk voorstel

aanduidingen

Uitwerkingsgebied Natura 2000

Definitie uitwerkingsgebied: gebieden uit de Ecologische Hoofdstructuurkaart van de Omgevingsvisie, waar nieuw te realiseren natuur of maatregelen buiten bestaande natuur nodig zijn

Beschikbaar voor uitvoering N2000 maatregelen

Inrichten en gewijzigd beheer

Geen inrichting, wel gewijzigd beheer

Uitvoeringsperiode van 6 jaar

Uitwerkingsgebied Natura 2000 die tot het deelgebied behoort. De cirkel heeft geen betekenis voor de witte of groene gebieden die er in liggen.

- Periode 1
- Start jaar 3 van periode 1
- Periode 2

Ecologische hoofdstructuur

bestaande natuur, water

bestaande natuur

nieuw te realiseren natuur, netto begrensd

uitwerkingsgebied Natura 2000, geen opgave vanuit beheerplan N2000

Natura 2000 begrenzing

Vogelrichtlijngebied

Vogel- en Habitatrichtlijngebied

Ontwikkelopgave deelgebieden: nummering conform concept beheerplan N2000 januari 2016

- 1a. Hagenbroekweg, Ossenzijl
- 1b. Lakeweg
- 1c. Heuvenweg
- 2. Meenthebrug

- 3. Hoogeweg
- 4. Verbindingszone Weerribben-Rottige Meenthe (Ossenzijl)
- 5. Noordmanen (Baarlingerweg)
- 6. Muggbeet (Moddergat / Valse Trog)
- 7. Omgeving Dwarsgracht
- 8. Weidevogelreservaat Giethoorn
- 9. Verbinding Wieden-Vollenhovermeer
- 10. Duinweg Leeuwte
- 11. Sint Jans klooster / Voet Hoge Land
- 12a. Omgeving Belt-Schutsloot
- 12b. Omgeving Oostelijke Wetering
- 13a. Zomerdijk / Zwartsluis
- 13b. Zomerdijk / Beukers
- 13c. Doosje
- 14. Polder Giethoorn
- 15. Middenweg / Kooiweg

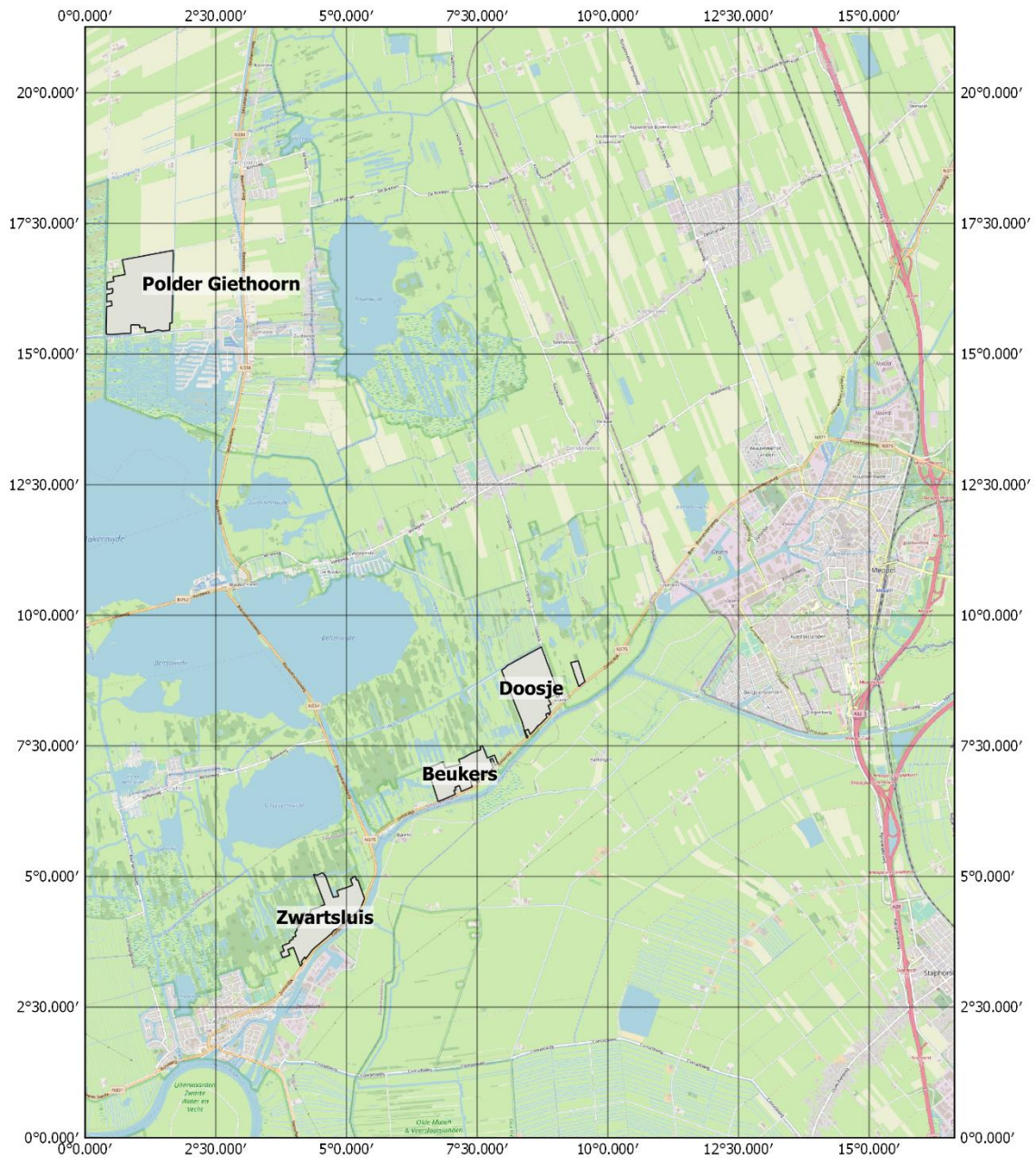
Beleidsinformatie, april 2016, nr. 160149b



provincie overijssel

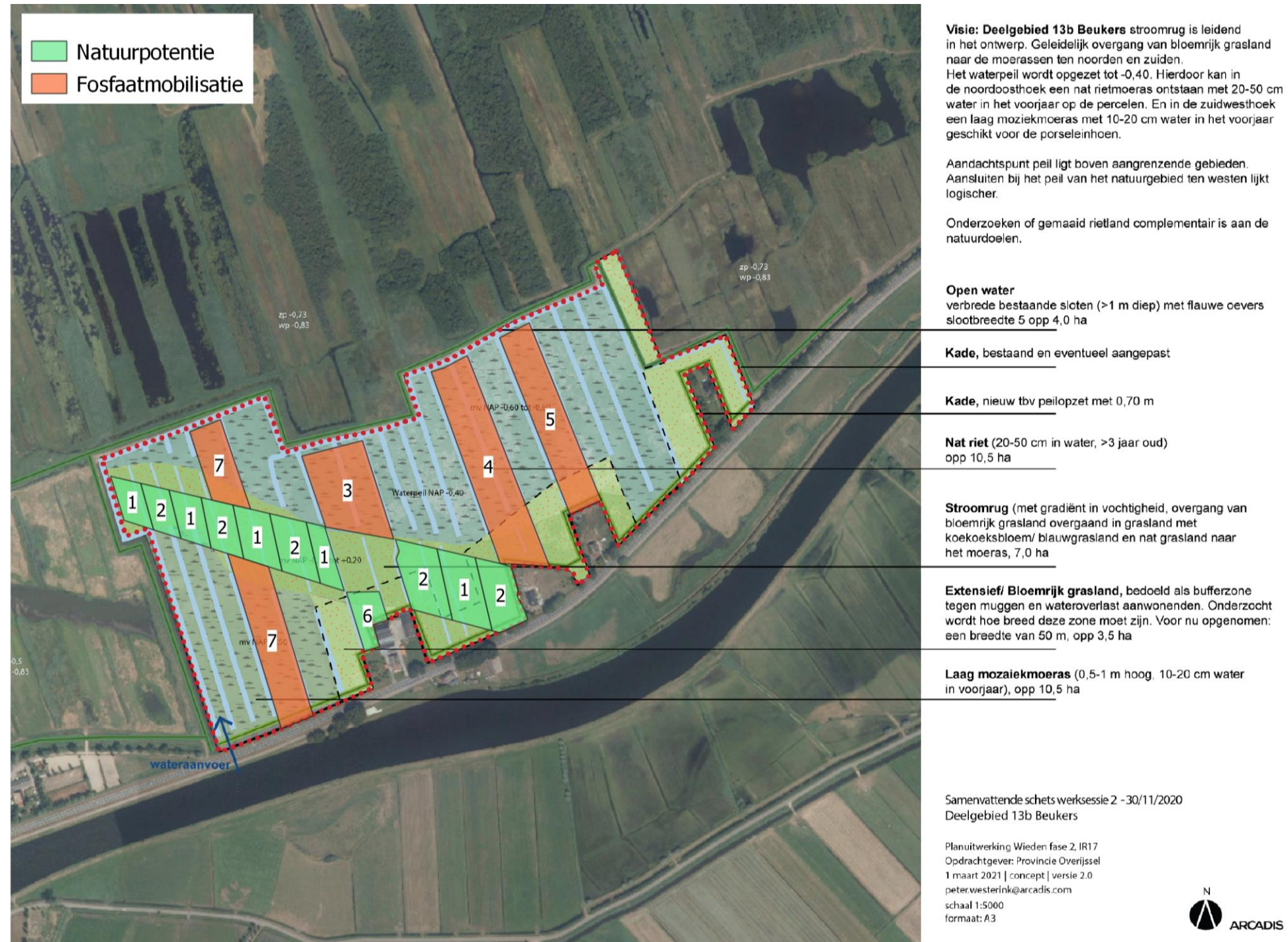
Figuur S1-1: Uitwerkingsgebieden N2000 met een opgave vanuit het Ontwerp beheerplan N2000 Wieden Weerribben (Provincie Overijssel, 2017)

Bijlage II: Regionale ligging van de onderzoekslocatie

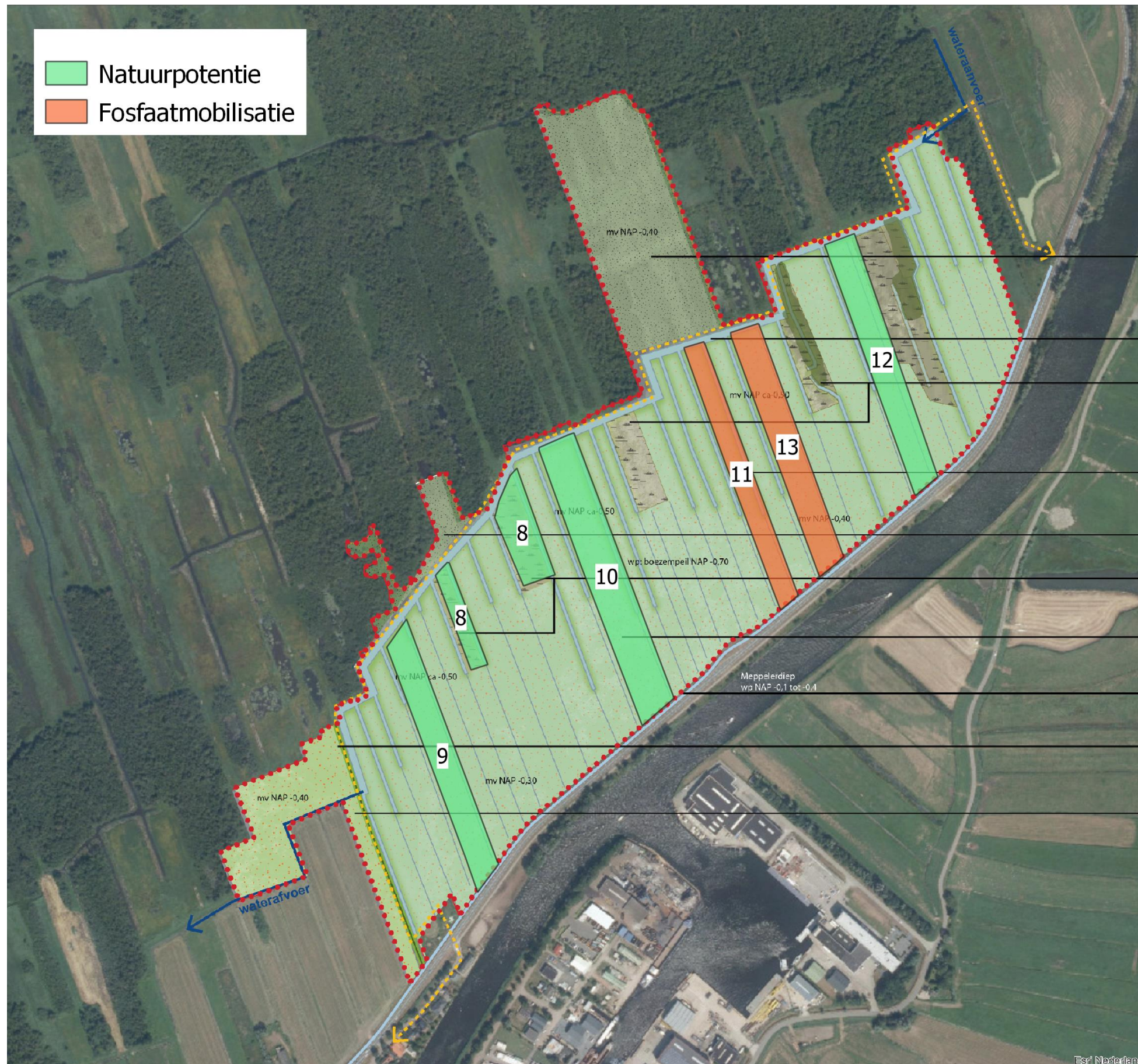


Figuur S2-1: Situering van de deelgebieden “Polder Giethoorn”, “Doosje”, “Beukers” en “Zwartsluis”

Bijlage III: Monsternamelocaties



Figuur S3-1: Monsternamelocaties deelgebied "Beukers"



Visie: Deelgebied 13a Zwartsluis sluit aan bij de omliggende natuur met eenzelfde waterpeil op boezemniveau. Het gebied vormt de overgang van het Meppelerdiep naar de Landen achter de singel. Een gradiënt van droog naar nat met: bloemrijk grasland > dotterbloem hooiland > trilveen/ veenmosrietland / drijftillen. Het plangebied vormt de aansluiting voor de otter op het gebied Olde Maten. Onderzoeken of gemaaid rietland complementair is aan de natuurdoelen.

Petgaten/ veenmosrietland, gebied sluit aan bij omliggende natuur van Landen achter de Singel, opp 4,5 ha

Open water
verbrede bestaande sloten (>1 m diep) met flauwe oevers
slootbreedte 5 en 10 m, opp 4,1 ha

Bestaand droog rietland, met bossages, opp 2,3 ha

Moerasoevers (>1 m hoog, 2-5 m breed, overjarig),
gekoppeld aan de verbrede sloten op de lage delen
6 km oever, opp 3,0 ha

Soortenrijke hooiland, 2,4 ha
huidig peil -1,0 tot -0,7 handhaven

Rietland (overjarig + opslag), opp 0,85 ha

Dotterbloem hooiland, 24 ha
gradiënt in vochtigheid afhankelijk van huidige maaiveld

Dijksloot Zomerdijk, onderzoeken of een kade langs
de Zomerdijk nodig is irt peilopzet van 30 cm.

Kade tbv peilopzet met 30 cm

Meekoppelkans: wandelpad
toets op verstoring noodzakelijk

Samenvattende schets werksessie 2 - 30/11/2020
Deelgebied 13a Zwartsluis

Planuitwerking Wieden fase 2, IR17
Opdrachtgever: Provincie Overijssel
1 maart 2021 | concept | versie 2.0
peter.westerink@arcadis.com
schaal 1:5000
formaat: A3



Figuur S3-2: Monsternamelocaties deelgebied "Zwartsluis"



Visie: Deelgebied 13c Doosje De hoogteligging van het gebied zorgt voor de verdeling van natuurtypen van west naar oost: bestaand rietland, nieuw nat rietland en laag mozaïekmoeras. Om deze typen te realiseren is een peil van NAP -0,40 m nodig in het voorjaar.

Aandachtspunt peil ligt boven aangrenzende gebieden. Waterinlaat vanuit het Meppelerdiep is noodzakelijk. Aansluiten bij het peil van de omliggende natuurgebieden lijkt logischer. Onderzoeken of gemaaid rietland complementair is aan de natuurdoelen.

Nat grasland, mogelijk blauwgrasland (afgraven toplaag) aansluiten bij blauwgraslandperceel aan overzijde weg/ dijk opp 2,9 ha

Laag mozaïekmoeras (0,5-1 m hoog, 10-20 cm water in voorjaar), opp 6,9 ha

Open water verbrede bestaande sloten (>1 m diep) met flauwe oevers slootbreedte 5 opp 2,5 ha

Nat riet (20-50 cm in water, >3 jaar oud) opp 11,5 ha

Bestaand rietland, opp 0,9 ha

Kade, nieuw tbv peilopzet met 1,20 m

Kade, bestaand en eventueel aangepast

Extensief/ Bloemrijk grasland, bedoeld als bufferzone tegen muggen en wateroverlast aanwonenden. Onderzocht wordt hoe breed deze zone moet zijn. Voor nu opgenomen: een breedte van 50 m, opp 3,5 ha

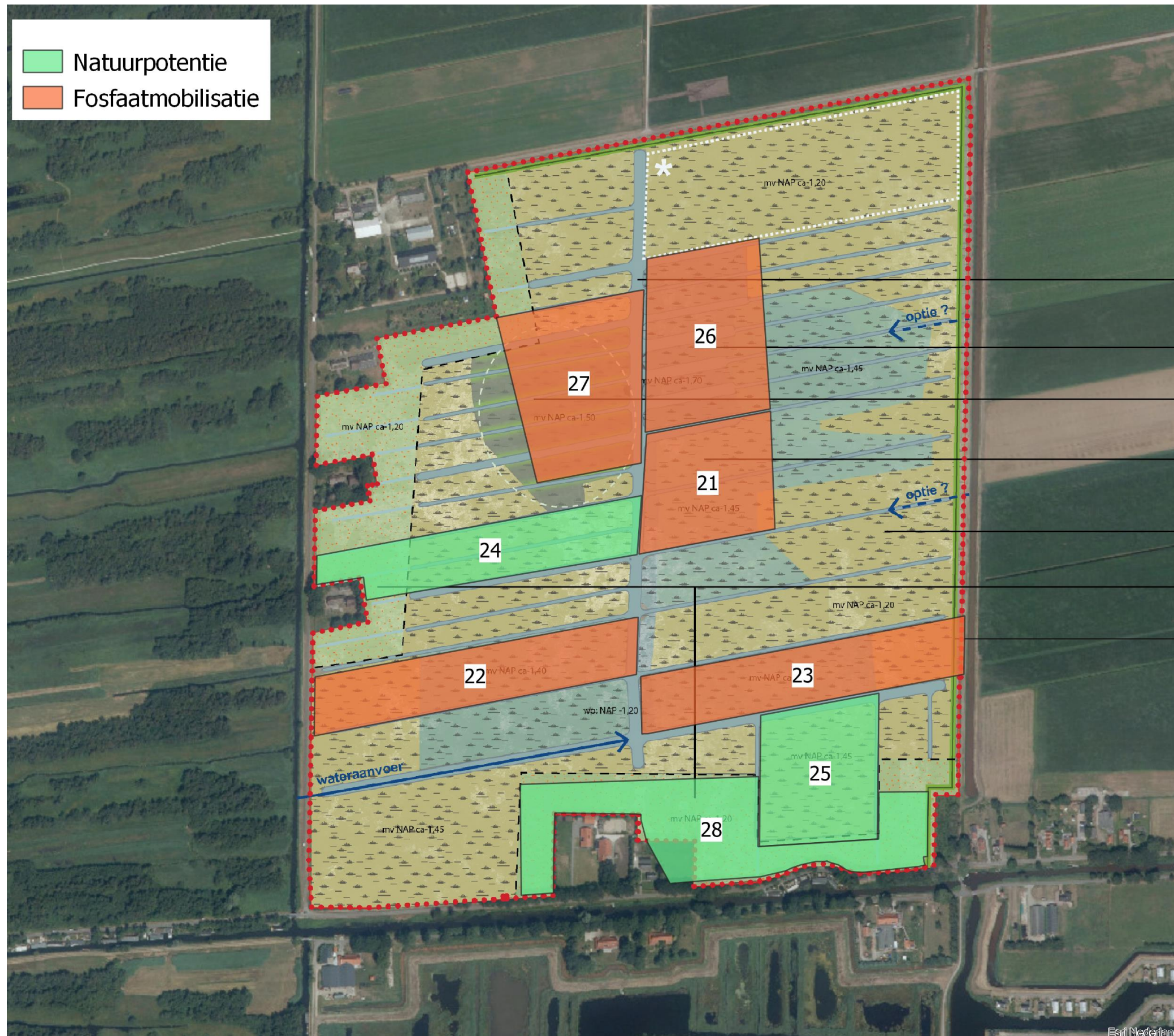
Huidig rietmoeras, opp 17,1 ha

Samenvattende schets werksessie 2 - 30/11/2020
Deelgebied 13c Doosje

Planuitwerking Wieden fase 2, IR17
Opdrachtgever: Provincie Overijssel
1 maart 2021 | concept | versie 2.0
peter.westerink@arcadis.com
schaal 1:5000
formaat: A3



Figuur S3-3: Monsternamelocaties deelgebied "Doosje"



Open water
 verbrede bestaande sloten (>1 m diep) met flauwe oevers
 slootbreedte 5, 10 en 15 m, opp 8,3 ha

Krachtig waterrietoever (3 m hoog, 50 cm water)
 2 km oever, opp 5,0 ha

Moerasoevers (>1 m hoog, 2-5 m breed,
 overjarig) 2 km oever, opp 5,0 ha

Nat riet (20-50 cm in water, >3 jaar oud)
 opp 13,5 ha

Droog rietland (overjarig + opslag)
 35,0 ha gradiënt in vochtigheid

Extensief/ Bloemrijk grasland, bufferzone 50
 opp 10,5 ha

Kade

*** Zoekgebied rietland, jaarlijks gemaaid**
 tbv rietteelt, mogelijk interessant voor de
 porseleinhoen en als tijdelijk foeragegebied
 voor de roerdomp, gemarkerd zoekgebied: 5,5 ha
 als overgang naar de landbouwgronden ten noorden

Samenvattende schets werksessie 2 - 24/11/2020
 Deelgebied 14 Polder Giethoorn

Planuitwerking Wieden fase 2. IR17
 Opdrachtgever: Provincie Overijssel
 16 december 2020 | concept | versie 2.0
 peter.westerink@arcadis.com
 schaal 1:5000
 formaat: A3



Figuur S3-4: Monsternamelocaties deelgebied "Polder Giethoorn"

Bijlage IV: Resultaten bodemanalyses

Algemene bodemkenmerken

Tabel S4-1: Algemene bodemsamenstelling in de toplaag (0-10, 0-20 of 0-25 cm) van de onderzochte locaties op basis van organische stofgehalte (OS), klei-, silt- en zandgehalte, pH., kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) en de bezetting hiervan

Deelgebied	Perceel	Diepte (cm-mv)	OS (%)	Klei (%)	Zand (%)	Silt (%)	pH- CaCl2	CEC (mmol/kg)	Ca-bezetting CEC (%)	Al-bezetting CEC (%)
Beukers	1	0-10	7	4	73	16	5	69	47	5
Beukers	2	0-10	14	8	54	26	5	151	51	3
Beukers	3	0-20	29	13	29	33	5	341	58	1
Beukers	4	0-20	26	11	37	32	5	258	58	3
Beukers	5	0-20	28	13	32	33	5	321	63	2
Beukers	6	0-25	21	15	35	33	5	297	60	1
Beukers	7	0-20	29	18	27	33	5	329	70	2
Zwartsluis	8	0-10	26	17	25	38	5	258	60	2
Zwartsluis	9	0-10	23	19	24	38	5	309	62	1
Zwartsluis	10	0-10	23	20	21	40	5	264	60	2
Zwartsluis	11	0-20	35	12	23	34	5	551	68	0
Zwartsluis	12	0-10	25	19	21	39	5	293	62	2
Zwartsluis	13	0-20	20	23	19	42	5	269	66	2
Doosje	14	0-10	4	2	84	10	4	23	52	19
Doosje	15	0-10	4	4	84	8	5	40	57	8
Doosje	16	0-20	9	4	76	11	5	117	76	1
Doosje	17	0-20	9	4	75	12	5	108	74	2
Doosje	18	0-20	11	5	69	13	5	144	83	0
Doosje	19	0-20	9	5	75	9	6	130	92	0
Doosje	20	0-25	10	4	72	13	5	130	99	0
Giethoorn	21	0-20	6	4	81	8	5	71	88	2
Giethoorn	22	0-20	11	4	72	12	5	100	94	2
Giethoorn	23	0-20	7	4	81	8	5	72	88	2
Giethoorn	24	0-10	11	4	72	12	5	93	90	2
Giethoorn	25	0-10	11	4	75	11	4	95	55	9
Giethoorn	26	0-20	16	3	66	15	5	99	92	4
Giethoorn	27	0-20	12	3	73	12	5	77	95	4
Giethoorn	28	0-25	10	4	73	11	5	134	63	2

Fosfaat

Tabel S4-2 Fosfaatparameters over de diepte, benaderd met P-AL, P-CaCl₂, P-ox, Qmax (0.5 * (Fe-ox + Al-ox)) en de FosfaatVerzadigingsGraad (FVG, bepaald als P-ox / Qmax)

Deelgebied	Perceel	Diepte (cm -mv)	P-AL (mg P2O5 100g ⁻¹)	P-CaCl2 (mg P kg ⁻¹)	P-ox (mg P kg ⁻¹)	Qmax (mmol kg ⁻¹)	FVG (%)
Beukers	1	0-10	25	0.8	446	46	32
Beukers	2	0-10	16	0.3	502	92	18
Beukers	2	10-30	11	0.1	322	73	14
Beukers	3	0-20	11	0.6	694	180	12

Deelgebied	Perceel	Diepte (cm -mv)	P-AL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	P-CaCl ₂ (mg P kg ⁻¹)	P-ox (mg P kg ⁻¹)	Qmax (mmol kg ⁻¹)	FVG (%)
Beukers	3	20-40	6	0.2	520	213	8
Beukers	3	40-60	11	0.6	446	138	10
Beukers	4	0-20	14	0.2	833	171	16
Beukers	4	20-40	7	0.1	554	162	11
Beukers	4	40-60	13	0.1	417	98	14
Beukers	5	0-20	14	0.2	1025	216	15
Beukers	5	20-40	8	0.2	462	155	10
Beukers	5	40-60	3	0.2	342	71	15
Beukers	6	0-25	13	0.2	750	196	12
Beukers	7	0-20	8	0.2	1019	283	12
Beukers	7	20-40	5	0.2	564	221	8
Beukers	7	40-60	8	0.2	701	172	13
Zwartsluis	8	0-10	15	0.2	1189	236	16
Zwartsluis	8	10-30	3	0.1	418	233	6
Zwartsluis	9	0-10	25	0.2	1400	241	19
Zwartsluis	9	10-30	6	0.1	523	191	9
Zwartsluis	10	0-10	13	0.2	1059	234	15
Zwartsluis	10	10-30	4	0.1	489	206	8
Zwartsluis	11	0-20	8	0.1	601	196	10
Zwartsluis	11	20-40	17	0.2	1090	212	17
Zwartsluis	11	40-60	7	0.1	367	271	4
Zwartsluis	12	0-10	10	0.4	1072	243	14
Zwartsluis	12	10-30	3	0.1	468	216	7
Zwartsluis	13	0-20	11	0.2	1025	249	13
Zwartsluis	13	20-40	6	0.1	638	219	9
Zwartsluis	13	40-60	11	0.2	868	225	12
Doosje	14	0-10	40	0.9	409	30	43
Doosje	14	10-20	43	0.5	427	32	43
Doosje	14	20-40	31	0.2	313	31	32
Doosje	15	0-10	35	0.7	424	36	38
Doosje	15	10-20	38	0.5	369	32	37
Doosje	15	20-40	30	0.3	362	40	29
Doosje	16	0-20	26	0.7	344	39	29
Doosje	16	20-40	23	0.2	257	41	20
Doosje	16	40-60	11	0.1	196	39	16
Doosje	17	0-20	24	0.5	387	52	24
Doosje	17	20-40	18	0.2	338	58	19
Doosje	17	40-60	8	0.1	242	57	14
Doosje	18	0-20	25	0.3	434	58	24
Doosje	18	20-40	21	0.1	211	36	19
Doosje	18	40-60	8	0.1	193	42	15
Doosje	19	0-20	23	0.3	217	33	21
Doosje	19	20-40	23	0.1	180	36	16
Doosje	19	40-60	10	0.4	217	52	13
Doosje	20	0-25	25	0.4	393	55	23
Giethoorn	21	0-20	31	0.9	304	27	37
Giethoorn	21	20-40	38	0.8	297	26	37
Giethoorn	21	40-60	17	0.2	182	28	21
Giethoorn	22	0-20	22	0.6	248	35	23
Giethoorn	22	20-40	28	0.5	167	24	22

Deelgebied	Perceel	Diepte (cm -mv)	P-AL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	P-CaCl ₂ (mg P kg ⁻¹)	P-ox (mg P kg ⁻¹)	Qmax (mmol kg ⁻¹)	FVG (%)
Giethoorn	22	40-60	16	0.2	165	34	16
Giethoorn	23	0-20	63	1.9	480	32	48
Giethoorn	23	20-40	73	1.7	446	29	50
Giethoorn	23	40-60	25	0.3	180	27	21
Giethoorn	24	0-10	24	2.1	279	29	32
Giethoorn	24	10-30	28	0.9	208	25	27
Giethoorn	25	0-10	17	0.4	248	29	27
Giethoorn	25	10-30	26	0.6	269	30	29
Giethoorn	26	0-20	24	0.8	372	46	26
Giethoorn	26	20-40	21	0.9	232	30	25
Giethoorn	26	40-60	7	0.0	41	22	6
Giethoorn	27	0-20	20	0.7	316	37	27
Giethoorn	27	20-40	12	0.4	136	21	21
Giethoorn	27	40-60	5	0.1	53	23	7
Giethoorn	28	0-25	34	0.8	341	36	31

Stikstof en kalium

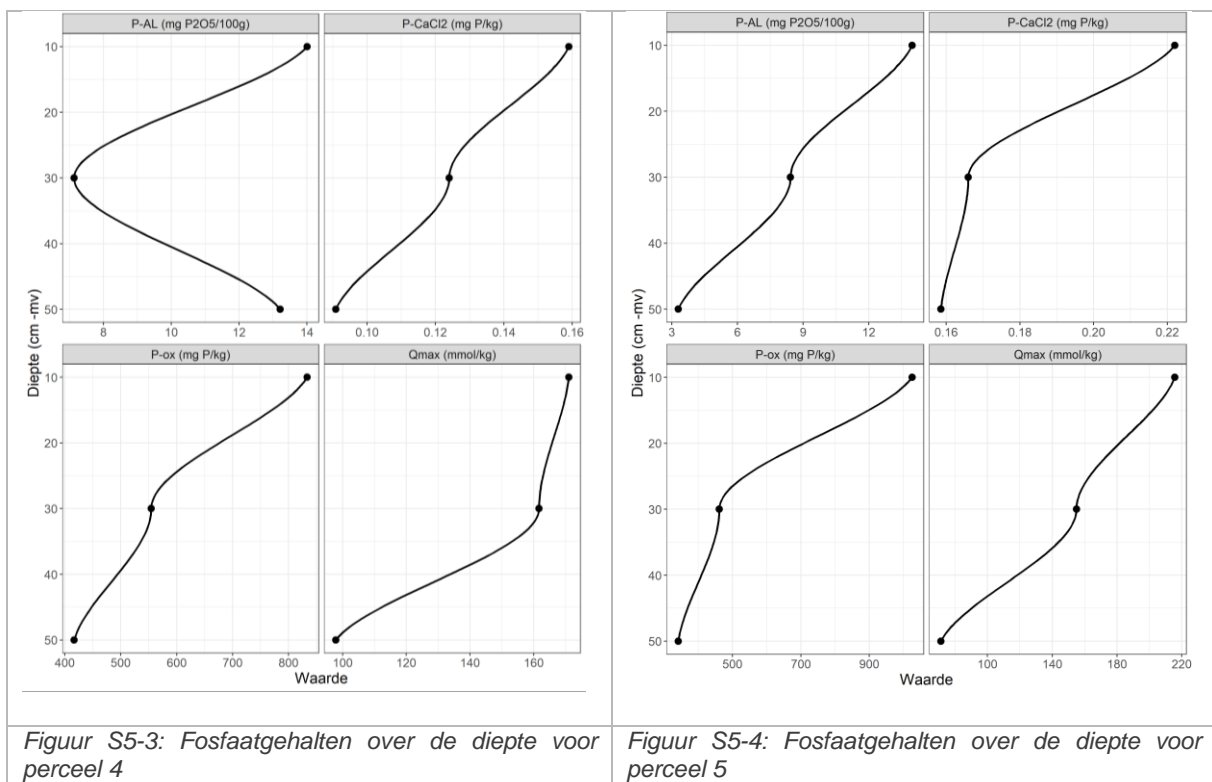
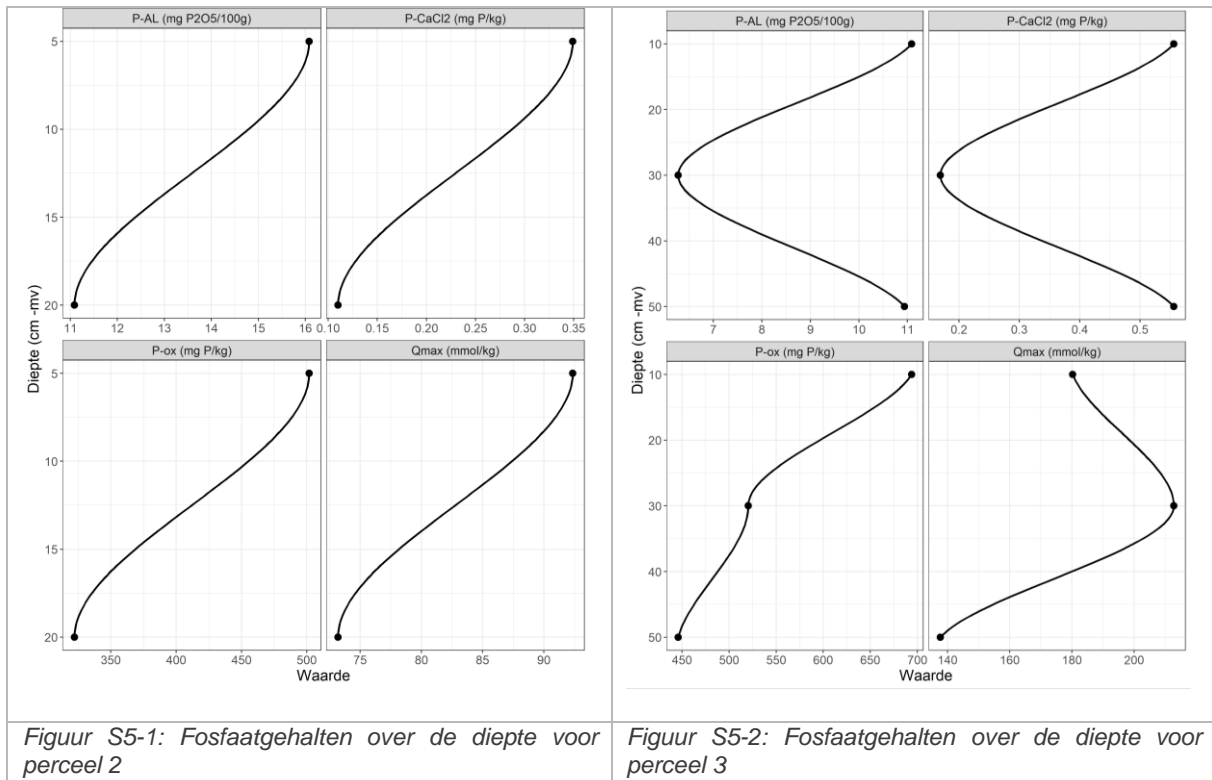
Tabel S4-3 Gehalten aan beschikbaar kalium (K-CaCl₂), totaal stikstof (N-tot) en beschikbare stikstofverbindingen (NH₄, NO₂ en NO₃ gemeten in een CaCl₂ extractie) over de diepte

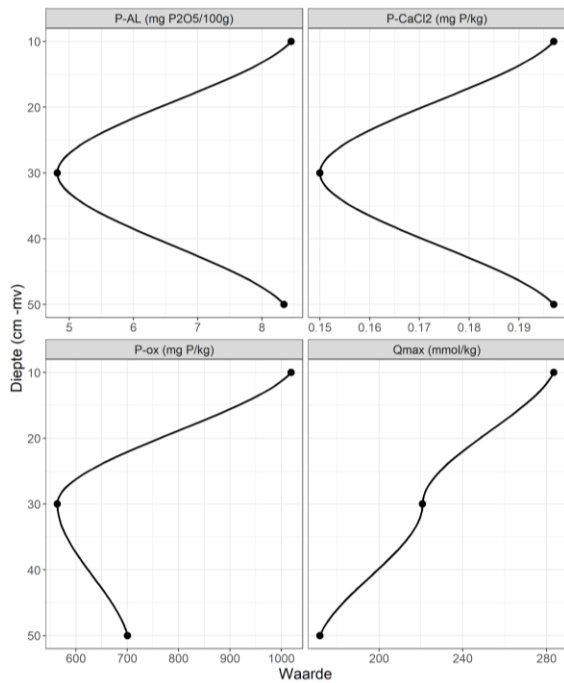
Deelgebied	Perceel	Diepte (cm -mv)	K-CaCl ₂ (mg/kg)	N-tot (mg/kg)	N-NH ₄ -CaCl ₂ (mg/kg)	N-NO ₂ -CaCl ₂ (mg/kg)	N-NO ₃ -CaCl ₂ (mg/kg)
Beukers	1	0-10	45.1	2.9	12.2	0.029	5.4
Beukers	2	0-10	47.7	5.3	9.6	0.025	12.6
Beukers	2	10-30	24.4	3.9	3.6	0.023	9.0
Beukers	3	0-20	165	12.7	12.7	0.094	28.1
Beukers	3	20-40	98	13.8	7.4	0.086	31.8
Beukers	3	40-60		9.3			
Beukers	4	0-20	60.2	9.9	6.2	0.062	24.2
Beukers	4	20-40	35.9	11.4	6.3	0.082	21.9
Beukers	4	40-60		6.9			
Beukers	5	0-20	52.4	10.7	8.9	0.084	26.1
Beukers	5	20-40	27.7	11.3	5.8	0.076	16.4
Beukers	5	40-60		4.6			
Beukers	6	0-25	166	9	6.5	0.089	17.1
Beukers	7	0-20	58	11.8	7.0	0.039	26.4
Beukers	7	20-40	32.7	14.6	6.3	0.076	25.6
Beukers	7	40-60		9.7			
Zwartsluis	8	0-10	102	11.1	11.6	0.084	21.1
Zwartsluis	8	okt-30	39.3	8	4.5	0.107	20.4
Zwartsluis	9	0-10	82.6	10.1	7.7	0.079	26.5
Zwartsluis	9	okt-30	30.4	7.5	3.4	0.07	20.6
Zwartsluis	10	0-10	90.2	10.3	8.4	0.025	31.6
Zwartsluis	10	okt-30	38.6	7.3	4.6	0.062	16.3
Zwartsluis	11	0-20	38.2	21.4	5.5	0.086	16.6
Zwartsluis	11	20-40	61	9.5	5.8	0.102	19.4
Zwartsluis	11	40-60		10.8			
Zwartsluis	12	0-10	72.7	11.3	9.4	0.026	15.0
Zwartsluis	12	okt-30	34.4	10	4.8	0.064	14.2

Deelgebied	Perceel	Diepte (cm - mv)	K-CaCl2 (mg/kg)	N-tot (mg/kg)	N-NH4-CaCl2 (mg/kg)	N-NO2-CaCl2 (mg/kg)	N-NO3-CaCl2 (mg/kg)
Zwartsluis	13	0-20	58.6	9.4	6.6	0.04	16.8
Zwartsluis	13	20-40	35.1	14.8	6.3	0.061	15.5
Zwartsluis	13	40-60		11.2			
Doosje	14	0-10	42.2	1.5	3.1	0.015	1.0
Doosje	14	okt-20	14.9	1.2	1.3	0.014	1.1
Doosje	14	20-40	14.6	1.1	1.4	0.014	1.1
Doosje	15	0-10	47.2	1.6	3.7	0.014	1.8
Doosje	15	okt-20	28.8	1.6	2.3	0.015	2.0
Doosje	15	20-40	16.4	1.5	1.5	0.017	2.1
Doosje	16	0-20	47.1	3.5	4.8	0.094	5.8
Doosje	16	20-40	15.1	2.4	2.1	0.029	4.6
Doosje	16	40-60		3.4			
Doosje	17	0-20	46.3	3.5	4.3	0.056	6.7
Doosje	17	20-40	15.4	2.5	2.1	0.031	4.7
Doosje	17	40-60		4.1			
Doosje	18	0-20	19.8	4.6	3.6	0.074	4.0
Doosje	18	20-40	13.1	4.2	3.6	0.059	4.7
Doosje	18	40-60		5.2			
Doosje	19	0-20	16.9	3	3.6	0.104	3.2
Doosje	19	20-40	13.2	2.2	2.8	0.039	2.7
Doosje	19	40-60		6			
Doosje	20	0-25	24.4	4.5	3.2	0.084	6.5
Giethoorn	21	0-20	19.7	2.1	2.3	0.028	1.2
Giethoorn	21	20-40	24.2	1.8	1.9	0.025	2.4
Giethoorn	21	40-60		1.9			
Giethoorn	22	0-20	29	3.8	4.0	0.052	3.2
Giethoorn	22	20-40	10.3	2.2	2.4	0.021	2.2
Giethoorn	22	40-60		3.5			
Giethoorn	23	0-20	20.8	2.3	2.8	0.018	1.2
Giethoorn	23	20-40	23.9	2.1	2.3	0.019	2.1
Giethoorn	23	40-60		2			
Giethoorn	24	0-10	26.2	4.3	5.8	0.095	2.9
Giethoorn	24	okt-30	13.6	2.6	2.4	0.028	3.4
Giethoorn	25	0-10	39.1	3.7	5.0	0.039	5.7
Giethoorn	25	okt-30	21.1	3.2	2.3	0.033	5.7
Giethoorn	26	0-20	30.9	5.1	3.8	0.059	7.3
Giethoorn	26	20-40	10.1	2.6	1.7	0.019	3.2
Giethoorn	26	40-60		1.3			
Giethoorn	27	0-20	25.6	4	3.8	0.06	6.1
Giethoorn	27	20-40	7.42	2	1.4	0.015	3.4
Giethoorn	27	40-60		2.1			
Giethoorn	28	0-25	41.6	3.7	3.8	0.051	7.2

Bijlage V: Diepteprofielen fosfaat

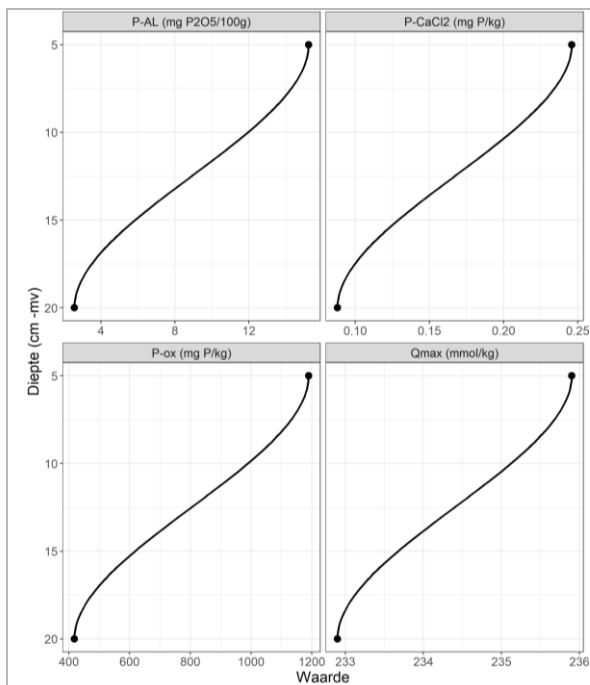
Beukers



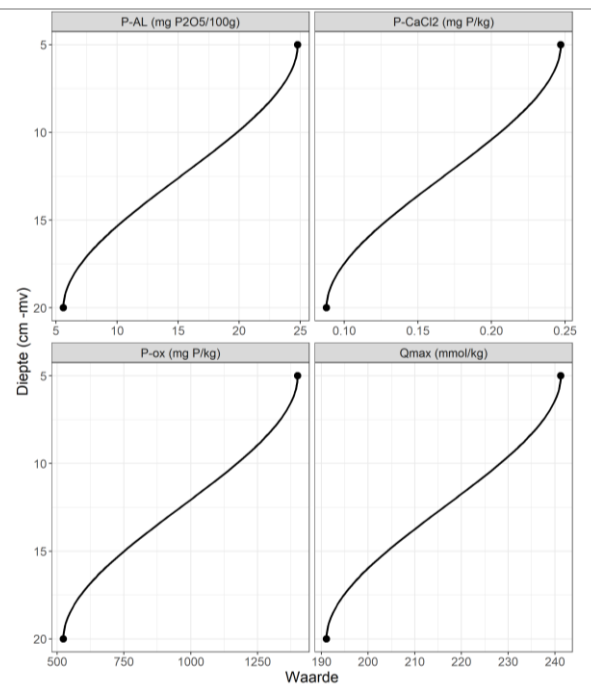


Figuur S5-5: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 7

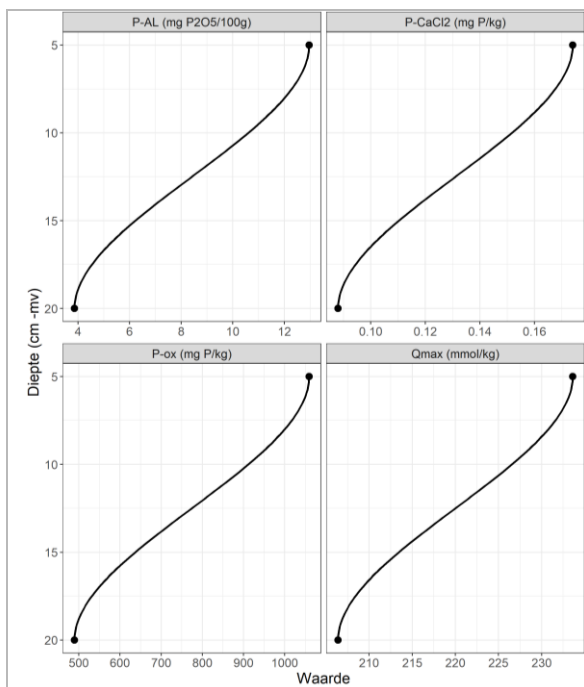
Zwartsluis



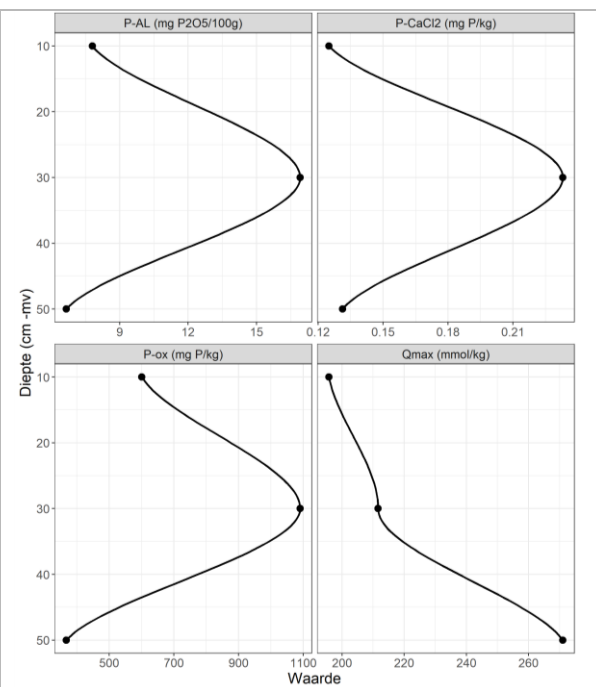
Figuur S5-6: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 8



Figuur S5-7: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 9

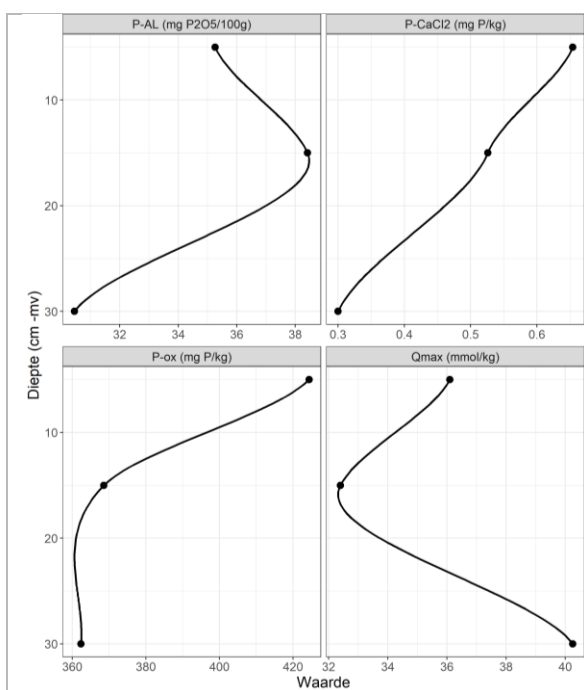


Figuur S5-8: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 10

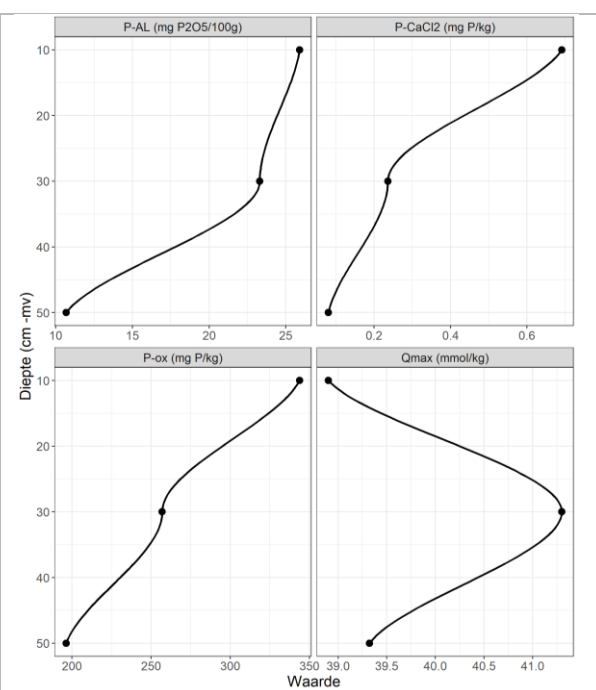


Figuur S5-9: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 11

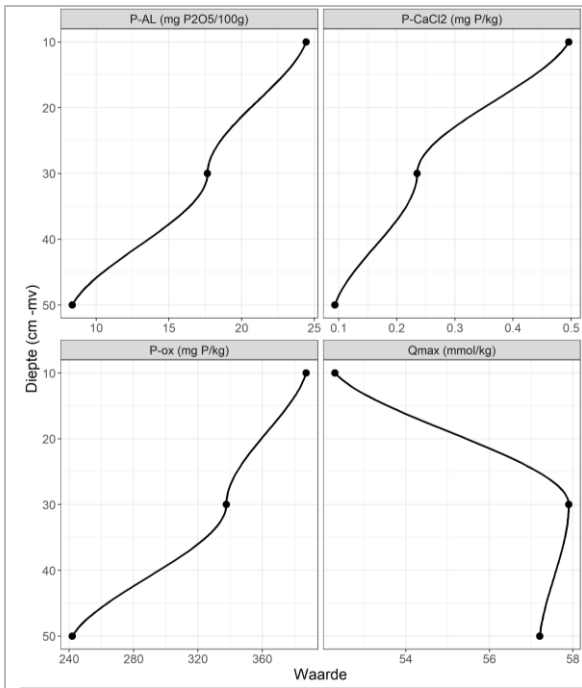
Doosje



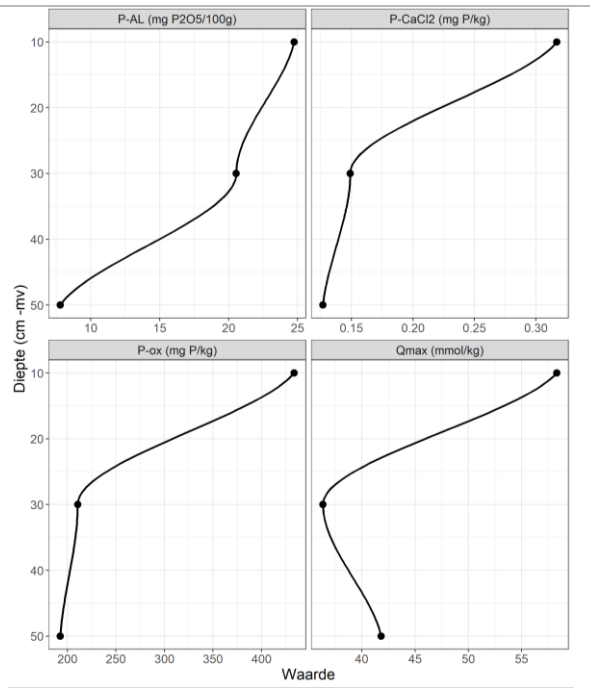
Figuur S5-10: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 14



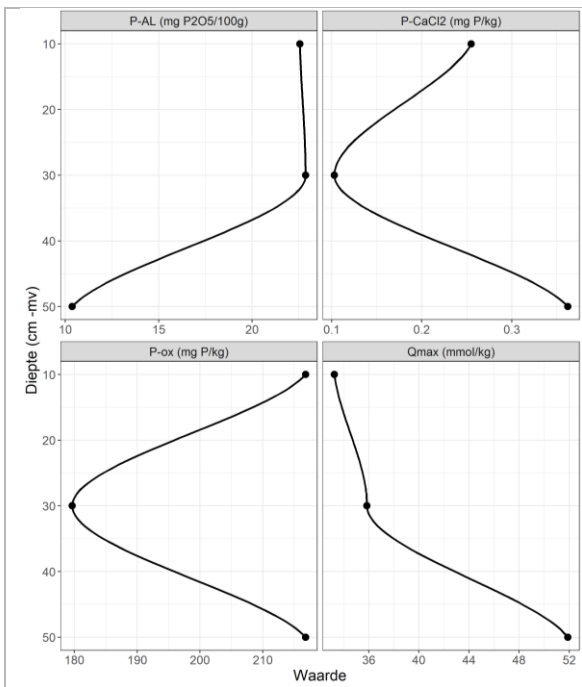
Figuur S5-11: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 15



Figuur S5-12: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 16

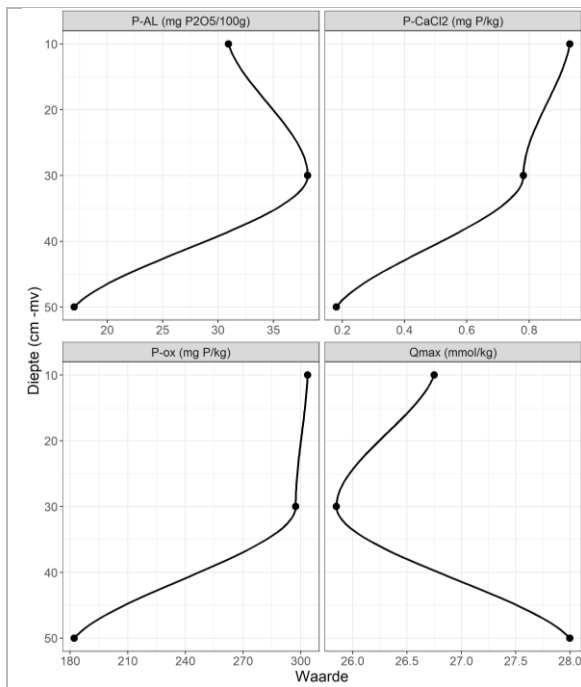


Figuur S5-13: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 18

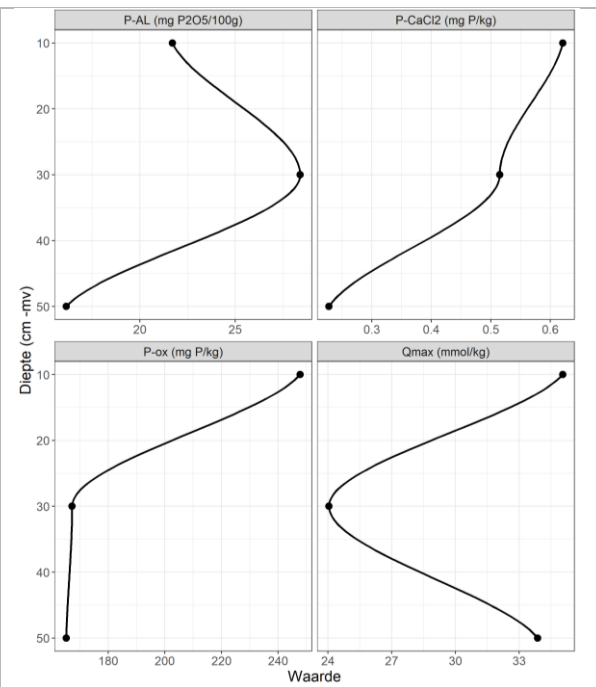


Figuur S5-14: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 19

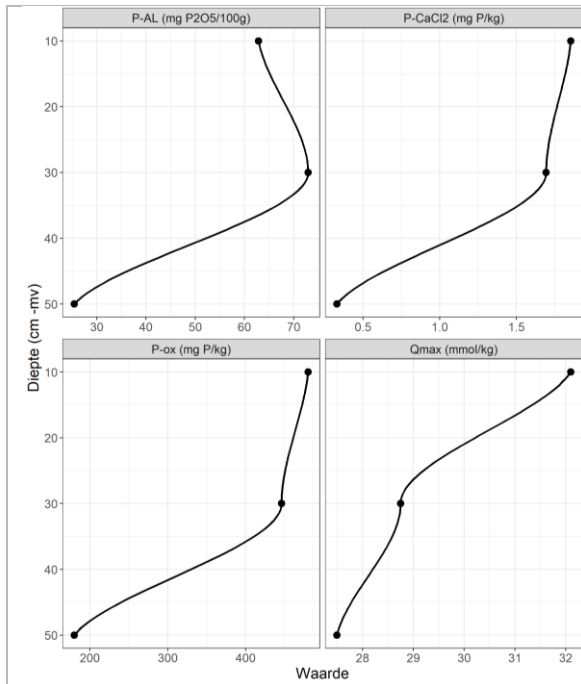
Polder Giethoorn



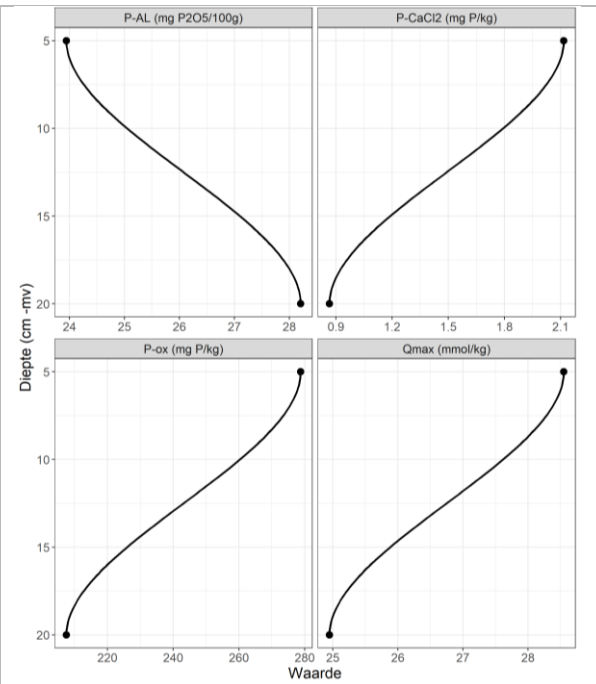
Figuur S5-15: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 21



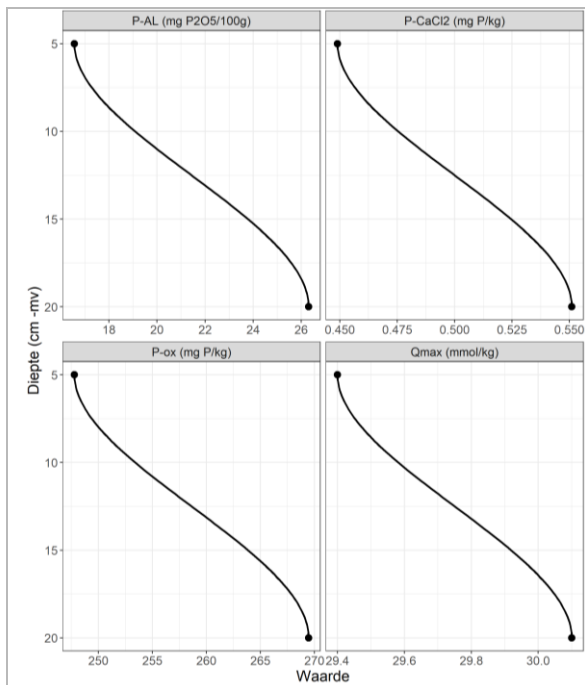
Figuur S5-16: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 22



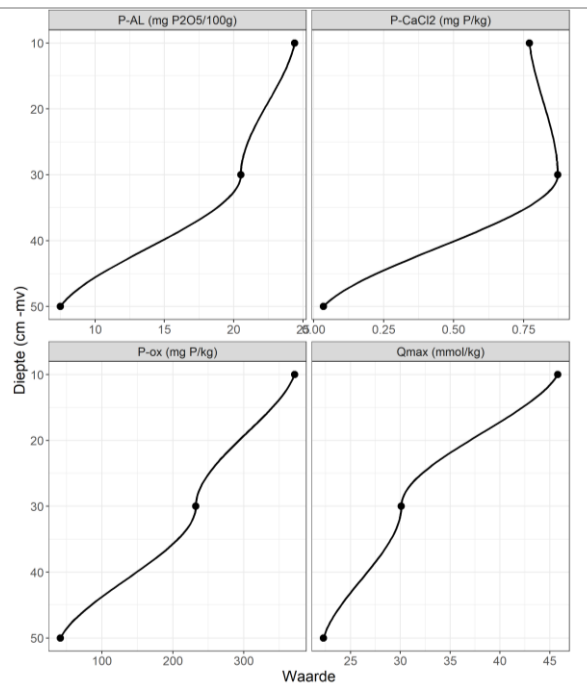
Figuur S5-17: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 23



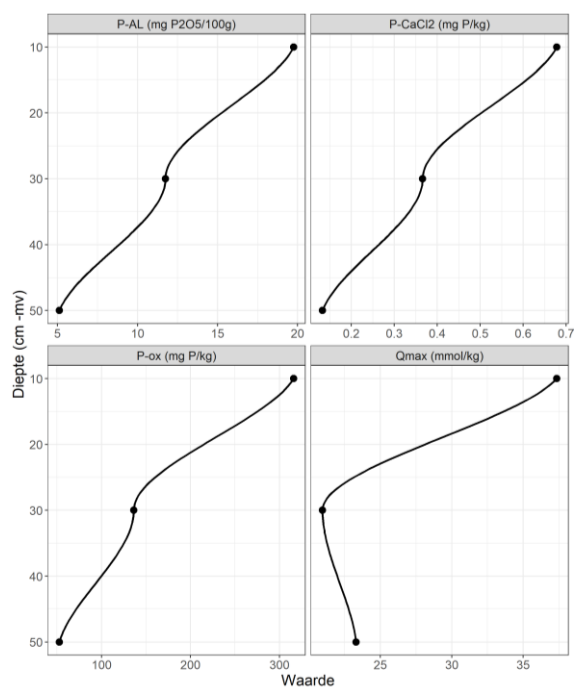
Figuur S5-18: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 24



Figuur S5-19: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 25



Figuur S5-20: Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 26



Figuur S5-21 Fosfaatgehalten over de diepte voor perceel 27



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