



Fosfaattoestand en fosfaatgebruiksnorm

Betekenis van het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem:
ontwerp van een protocol

Phillip Ehlert, Wim Chardon en Saskia Burgers



ALTERRA
WAGENINGEN **UR**

Fosfaattoestand en fosfaatgebruiksnorm

Betekenis van het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem: ontwerp van een protocol

Phillip Ehlert¹, Wim Chardon¹ en Saskia Burgers²

1 Alterra

2 PRI - Biometris

Dit onderzoek is uitgevoerd door Alterra Wageningen UR in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Economische Zaken, in het kader van het Beleidsondersteunend onderzoekthema BO-12.12-002.005.

Alterra Wageningen UR
Wageningen, februari 2014

Alterra-rapport 2500
ISSN 1566-7197

Ehlert, P.A.I., W.J. Chardon en S.L.G.E. Burgers, 2014. *Fosfaattoestand en fosfaatgebruiksnorm; Betekenis van het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem: ontwerp van een protocol*. Wageningen, Alterra Wageningen UR (University & Research centre), Alterra-rapport 2500. 104 blz.; 20 fig.; 27 tab.; 45 ref.

Bodems verschillen in de mate waarin fosfaat wordt vastgelegd en beschikbaar is voor gewas en de mate waarin fosfaat weglekt en daardoor in fosfaatbufferend vermogen. Het fosfaatbufferend vermogen van de bodem wordt gekarakteriseerd met methoden voor grondonderzoek die uitsluitend geven over de snelheid van nalevering en de totale beschikbare voorraad. Analyse van het fosfaatbufferend vermogen versterkt het inzicht in het vermogen van de bodem om fosfaat te leveren aan het gewas en om fosfaat te laten weglekken naar andere milieucompartimenten. De Meststoffenwet maakt geen onderscheid bij het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen naar fosfaatbufferend vermogen van de bodem. Dit rapport onderzoekt de betekenis van het fosfaatbufferend vermogen van de bodem voor het stelsel van fosfaattoestand-afhankelijke fosfaatgebruiksnormen. Daartoe zijn veldproeven met snijmaïs uitgevoerd op landbouwpercelen op zand- en kleigrond die zich onderscheiden in fosfaatbufferend vermogen. De fosfaattoestand werd met verschillende methoden van grondonderzoek bepaald. Deze methoden betreffen de bepaling van de intensiteit en capaciteit. Een combinatie van de intensiteit en capaciteit geeft inzicht in het fosfaatbufferend vermogen van de bodem. De resultaten geven aan dat het effect van fosfaattoestand (intensiteit of capaciteit) op de drogestof-productie minder robuust vast te stellen is als het effect op de fosfaatafvoer. Het rapport geeft combinaties van intensiteit en capaciteit die toegepast kunnen worden bij fosfaatgebruiksnormen. Een ontwerp van een protocol is daarvoor opgesteld.

Trefwoorden: Fosfaat-bufferend vermogen, fosfaatgebruiksnorm, snijmaïs, analysemethode, grondonderzoek, Meststoffenwet.

Dit rapport is gratis te downloaden van www.wageningenUR.nl/alterra (ga naar 'Alterra-rapporten' in de grijze balk onderaan). Alterra Wageningen UR verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2014 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, E info.alterra@wur.nl, www.wageningenUR.nl/alterra. Alterra is onderdeel van Wageningen UR (University & Research centre).

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra-rapport 2500 | ISSN 1566-7197

Inhoud

	Executive summary	5
1	Inleiding	15
	1.1 Fosfaatgebruiksnormen	15
	1.2 Doelstellingen van onderhavige studie	16
	1.3 Methoden voor de bepaling van gewasbeschikbaar bodemfosfaat	16
	1.4 Fosfaattoestand en milieu	19
	1.5 Fosfaatbufferend vermogen	21
2	Aanpak, materiaal en methoden	22
	2.1 Opzet onderzoek en uitvoering	22
	2.1.1 Opzet proef	22
	2.1.2 Keuze fosfaattoestand en standaardisatie bodemeigenschappen	23
	2.1.3 Definitieve selectie	24
	2.1.4 Uitvoering van de veldproeven	24
	2.1.5 Chemische analyse van grond-, gewas en mestmonsters	28
	2.1.6 Methode van toetsing, bewerking en statistische procedures	29
	2.2 Consultatie van laboratorium- en landbouwpraktijk	34
	2.3 Frequenties intensiteit en capaciteit	34
	2.4 Afbakening	34
3	Resultaten	35
	3.1 Selectie van geschikte locaties	35
	3.2 Indicatoren voor intensiteit en capaciteit	39
	3.3 Ontwikkeling van het gewas	40
	3.4 Opbrengst	42
	3.4.1 Fosfaatklassen	42
	3.4.2 Resultaten van statistische analyse	46
	3.5 Predicties	50
	3.5.1 Drogestof	50
	3.5.2 Fosfaatafvoer	52
	3.6 Samenvattende conclusies	53
4	Gangbare analysemethoden op commerciële laboratoria	55
	4.1 Laboratoria	55
	4.2 Frequentie	58
	4.3 Gevolgtrekkingen	61
5	Evaluatie en conclusies	62
	5.1 Beschouwing	62
	5.1.1 Evaluatie snijmaïs	62
	5.1.2 Generalisatie	63
	5.2 Conclusies	64
6	Protocol	66
	6.1 Inleiding	66
	6.2 Concept protocol	66
	6.2.1 Doel	66

6.2.2	Principe	66
6.2.3	Toepassingsgebied	66
6.2.4	Definities	67
6.2.5	Verwijzing naar andere protocollen en normstellende documenten	67
6.3	Technische toelichting	69
6.3.1	Kader voor toepassing van de resultaten van dit onderzoek	69
Literatuur		72
Bijlage 1	Methoden van grondonderzoek op fosfaat in Europa	75
Bijlage 2	Criteria schouw landbouwpercelen	78
Bijlage 3	Zaai- en oogstdata	79
Bijlage 4	Vergelijking fosfaatparameters	80
Bijlage 5	Correlatiecoëfficiënten	91
Bijlage 6	Parameterschattingen en predicties	93

Executive summary

Samenvatting

Het stelsel van fosfaatgebruiksnormen in de Meststoffenwet houdt rekening met de fosfaattoestand van de bodem. Naarmate de fosfaattoestand hoger is, is de fosfaatgebruiksnorm lager. Voor de bepaling van de fosfaattoestand zijn methoden van grondonderzoek aangewezen die afhankelijk zijn van het landgebruik. Voor bouwland wordt een methode van grondonderzoek gebruikt die inzicht geeft in de snelheid of intensiteit waarmee de bodem aan het gewas levert. Voor grasland wordt een methode van grondonderzoek gebruikt die de potentieel beschikbare voorraad beschikbaar voor het gewas, of capaciteit, bepaalt.

Bodems verschillen in de mate waarin fosfaat wordt vastgelegd en beschikbaar is voor gewas, in de snelheid waarmee fosfaat wordt nageleverd en in de duur van deze nalevering. Bodems verschillen eveneens in de mate waarin fosfaat weglekt uit de bodem naar de ondergrond en naar het oppervlaktewater.

Het gewas neemt fosfaat op uit de bodemoplossing. De mate waarin de bodem het gehalte in de bodemoplossing op peil weet te houden - weet te bufferen - en de periode waarover de bodem kan naleveren, bepalen het effect van de fosfaattoestand op de gewasreactie (opbrengst en fosfaatafvoer). De snelheid waarmee de bodem fosfaat kan naleveren wordt in deze studie intensiteit (I) genoemd, de totale voorraad bodemfosfaat die gewas-beschikbaar is wordt in deze studie capaciteit (C) genoemd. Intensiteit en capaciteit bepalen samen het fosfaatbufferend vermogen van de bodem. Er zijn diverse methoden voorgesteld en in de praktijk in gebruik waarmee de intensiteit en capaciteit bepaald kunnen worden.

Het stelsel van fosfaatgebruiksnormen houdt geen rekening met de mate waarin de bodem fosfaat buffert en brengt daardoor geen onderscheid aan tussen bodems die verschillen in intensiteit en capaciteit. Op basis van theoretische overwegingen en empirisch onderzoek zal het gebruik van beide parameters het inzicht vergroten in het vermogen van de bodem om het gewas te voorzien van fosfaat; ook het risico van onwenselijk geacht weglekken van fosfaat kan hiermee beter in beeld worden gebracht. Hoe de relatie is met fosfaatgebruiksnormen is onbekend.

Doelen van dit onderzoek

Het doel van onderhavige studie is 'het bepalen van de grootte van de gewasreactie op fosfaatbemesting als functie van het fosfaat bufferend vermogen van de bodem'. Op basis van de resultaten van deze studie dient de vraag beantwoord te worden of, en zo ja hoe, het fosfaat bufferend vermogen van de bodem onderdeel moet zijn van het stelsel van fosfaattoestand-afhankelijke fosfaatgebruiksnormen.

Bij een positieve beantwoording van deze vraag moet het te hanteren protocol in beeld gebracht worden. Dan moet ook inzicht verkregen zijn of methoden voor grondonderzoek voor fosfaat geïmplementeerd zijn in de huidige uitvoeringspraktijk en welke knelpunten daarbij ondervonden worden.

Werkhypothesen bij dit onderzoek

Bij deze studie zijn de twee onderstaande werkhypothesen leidend geweest:

- informatie over de relatie tussen het fosfaat bufferend vermogen van de bodem en de gewasreactie leidt tot een efficiëntere fosfaatbenutting van meststoffosfaat en bij een gegeven fosfaattoestand tot een hogere gewasopbrengst en een hogere fosfaatopname; en
- het effect van het fosfaat-bufferend vermogen op de gewasreactie is afhankelijk van bodemtype, fosfaattoestand en fosfaatgift.

De werkhypothesen werden getoetst met resultaten van grondonderzoek en gewasrespons op fosfaattoestand en fosfaatbemesting.

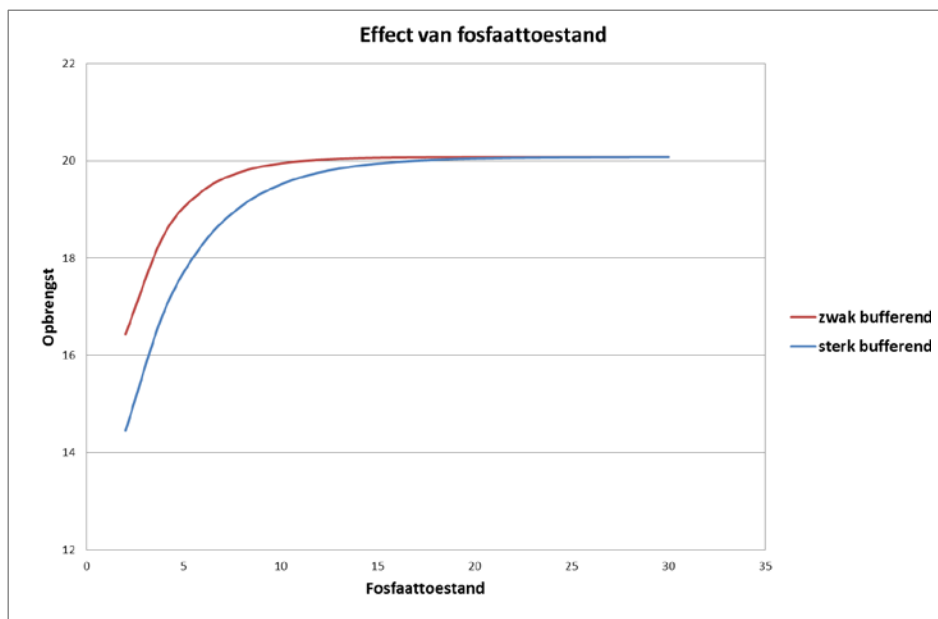
Voor de toetsing van de eerste werkhypothese is het belangrijk dat de interactie tussen een maat voor de intensiteit, voor de capaciteit en fosfaatgift significant is. Dit wordt toegelicht aan de hand van de volgende figuren.

Als het bufferend vermogen betrokken wordt bij de beoordeling van de fosfaattoestand van de bodem dan wordt verwacht dat:

1. Meststoffosfaat efficiënter ingezet wordt.
2. Meststoffosfaat efficiënter benut wordt.
3. Beschikbare voorraden bodemfosfaat efficiënter kunnen worden gebruikt.
4. Bodems die fosfaat lekken in beeld worden gebracht waardoor gericht gestuurd kan worden op beheersing van onwenselijk te hoog weglekken van fosfaat (vooral uitspoeling).

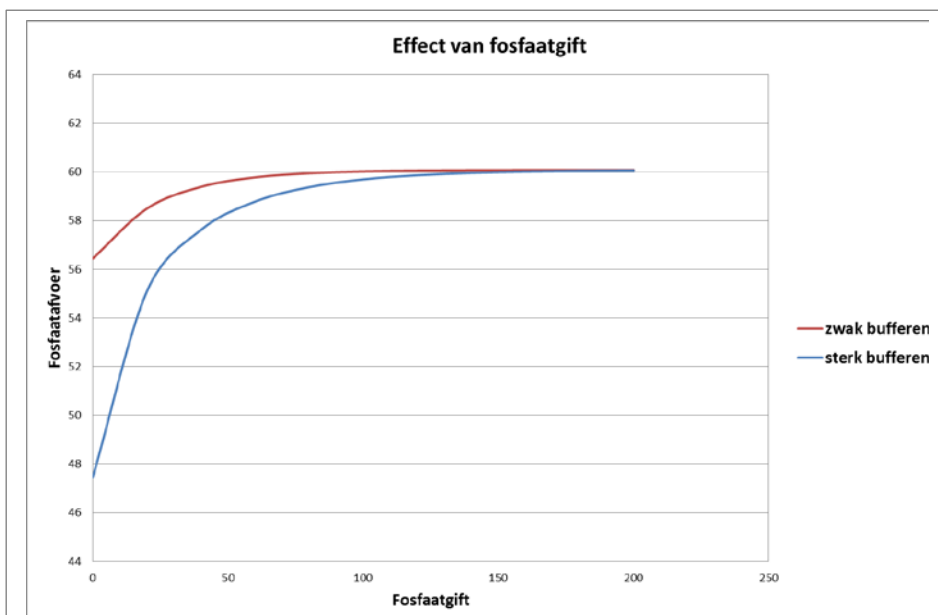
In deze studie wordt een efficiëntere inzet van meststoffosfaat bepaald door een hogere (droge stof)opbrengst per kg toegediende meststoffosfaat gegeven een bepaalde fosfaattoestand. Een efficiëntere benutting bij een efficiëntere inzet gaat gepaard met een hogere fosfaatopname per kg toegediend fosfaat. Als het bufferend vermogen de efficiëntie van meststoffosfaat verbetert dan komt dat tot uitdrukking doordat bij een gelijke fosfaatgift bij eenzelfde fosfaattoestand een zwak bufferende grond het gewas meer fosfaat aanbiedt en dit leidt bij suboptimale omstandigheden tot een verhoging van de opbrengst ten opzichte van een gewas onder exact dezelfde condities bij een sterk bufferende grond.

Deze verwachting is grafisch vorm gegeven in de figuren 1 en 2.



Hoofdstuk 2

Figuur 1 Gegeven eenzelfde fosfaatgift wordt verwacht dat bij eenzelfde fosfaattoestand een zwak bufferende grond het gewas meer fosfaat aanbiedt en dit leidt bij suboptimale omstandigheden tot een verhoging van de opbrengst in vergelijking tot de gewasreactie onder dezelfde condities voor een sterk bufferende grond.



Hoofdstuk 2

Figuur 2 Gegeven eenzelfde fosfaattoestand wordt verwacht dat bij eenzelfde fosfaatgift een zwak bufferende grond het gewas meer fosfaat aanbiedt dan bij suboptimale omstandigheden leidt tot een verhoging van de fosfaatafvoer in vergelijking tot de gewasreactie onder dezelfde condities voor een sterk bufferende grond. In deze studie is fosfaatafvoer in eenzelfde groei- en oogststadium als afgeleide maat voor fosfaatopname genomen.

Een belangrijke conditie bij de figuren is dat verondersteld wordt dat andere nutriënten, pH en andere bodemvruchtbaarheidsfactoren optimaal ingesteld zijn en geen invloed uitoefenen op de gewasreactie. Onder deze omstandigheden zal fosfaatbemesting en fosfaattoestand de gewasreactie (opbrengst en fosfaatopname) kunnen verhogen. Overige bemestingsfactoren hebben dan geen effect. Bij lage fosfaattoestand en/of bemesting produceert het gewas suboptimaal. Door verhoging van fosfaattoestand en/of fosfaatbemesting neemt de opbrengst of de fosfaatopname toe en bereikt tenslotte onder optimale omstandigheden een bepaald niveau (figuur 1 voor opbrengst, figuur 2 voor fosfaatafvoer).

Het fosfaat-bufferend vermogen oefent dus invloed uit op de kromming van de curve onder omstandigheden waarin het gewas suboptimaal voorzien is met fosfaat. De fosfaatopname kan door luxe-consumptie, dat wil zeggen dat de hogere fosfaat-opname niet leidt tot een toename van de drogestofopbrengst, nog wel stijgen, maar uiteindelijk is het aanbod van fosfaat aan het gewas dusdanig groot dat een gewasreactie niet meer optreedt en eenzelfde limiet wordt bereikt. Ook bij luxe-consumptie volgt de gewasreactie qua fosfaatafvoer het geschetste beeld van figuur 2.

Het geschetste beeld van de figuren 1 en 2 wordt bepaald door de drieweg-interactie tussen de intensiteit, de capaciteit en fosfaatbemesting. Bij toepassing van een concept voor het bufferend vermogen dat gebaseerd is op een verhouding van de capaciteit en intensiteit in combinatie met intensiteit (Van Rotterdam Los, 2010) of fosfaatverzadigingsgraad wordt het beeld bepaald door de tweeweg-interactie tussen de verhouding of de fosfaatverzadigingsgraad en fosfaatbemesting.

Veldonderzoek

De werkhypothesen zijn getoetst onder condities die representatief zijn voor de huidige landbouwpraktijk. Daartoe werden landbouwpercelen geselecteerd die verschilden in combinaties van intensiteit en capaciteit. Per grondsoort werden negen veldproeven uitgevoerd. De combinaties van intensiteit en capaciteit werden zoveel als de praktijksituatie toeliet contrasterend gemaakt resulterend in combinaties met lage waarden voor de intensiteit en hoge waarden voor de capaciteit en vice versa. De keuze voor de waarden van de maat voor de intensiteit ($P-CaCl_2$) berust op vigerende inzichten waar een gewasreactie te verwachten is en voor de capaciteit op de

waarderingsklassen voor de fosfaattoestand voor vigerende fosfaatgebruiksnormen (P-Al-getal). Op geselecteerde locaties werden veldproeven aangelegd met vijf fosfaatgiften met tripelsuperfosfaat in vier herhalingen. Dit is een split-plot-proefopzet. De fosfaatmeststof werd in de rij toegediend. Bemesting met andere nutriënten werd gestandaardiseerd naar eenzelfde niet voor het gewas limiterend niveau. Er werd eenzelfde ras snijmaïs geteeld. Verder waren alle overige proefveld-handelingen voor de veldproeven gelijk. Vóór bemesting werden grondmonsters van de bouwvoor 0-25 cm gestoken voor het grondonderzoek op fosfaat. Bij de oogst werden drogestofopbrengst en fosfaatafvoer bepaald.

Grondonderzoek

Het fosfaatbufferend vermogen is met verschillende nationaal en internationaal gangbare methoden van grondonderzoek voor bemestingsadvisering onderzocht. Als maat voor de intensiteit (I) zijn P-CaCl₂ (totaal (ICP) en opgelost (SFA)), Pw-getal (volume en gewicht) gebruikt. Als maat voor de capaciteit (C) zijn P-Al-getal, Pox en de in het buitenland veelvuldig bij bodemvruchtbaarheids-onderzoek toegepaste methoden P-Olsen, P-Mehlich3 en P-Bray gebruikt. Daarnaast werden methoden van grondonderzoek toegepast die informatie geven over fosfaatbodemfracties die fosfaat momentaan (Pi) of over langere termijn (Pox) beschikbaar stellen aan gewas en milieu (uitspoeling). De desorbeerbare fractie fosfaat werd met ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapier (Pi) bepaald door herhaalde extractie in verschillende tijdstappen van 4 t/m 192 uur. De werkhypothesen werden ook getoetst aan de fosfaatverzadigingsgraad (FVG). Dit is een maat voor de verzadiging van de bodem met fosfaat afgeleid uit de molaire verhouding van de hoeveelheid met zuur ammoniumoxalaat extra-heerbaar fosfaat (Pox), ijzer (Fe-ox) en aluminium (Alox). In deze studie is ook onderzocht of het betrekken van een verhouding tussen de capaciteit en intensiteit naast een intensiteitsmaat leidt tot een hogere efficiëntie en benutting van fosfaatmeststof conform het concept voorgesteld door Van Rotterdam (2010). De betekenis van de verhouding tussen capaciteit en intensiteit ten opzichte van FVG verschilt. Naarmate de verhouding tussen capaciteit en intensiteit hoger wordt, neemt het bufferend vermogen voor fosfaat van de bodem toe. Daarentegen neemt bij toename van de FVG het vermogen van de bodem om fosfaat te bufferen af.

Bewerking

De statistische analyse van de split-plot-proef is uitgevoerd volgens de methode van de grootste aannemelijkheid (*maximum likelihood*) met behulp van de Genstat procedure REstricted Maximum Likelihood (REML). In een REML-model wordt in het random deel rekening gehouden met meerdere bronnen van variatie in de data en in het *fixed* deel staan de verklarende variabelen. De verklarende variabelen in het *fixed* deel zijn grondsoort, intensiteit, capaciteit, bemesting en relevante interacties. In het *random* deel zijn veldproef en herhaling opgenomen.

Resultaten

Als eerste werd de relatie verkend tussen een methode van grondonderzoek en de gewasreactie (drogestof, fosfaatafvoer). Daartoe zijn hoofdeffecten fosfaattoestand, fosfaatbemesting en grondsoort op opbrengst en fosfaatafvoer onderzocht. Statistisch betrouwbare relaties tussen drogestofopbrengst, en fosfaattoestand werden minder vaak gevonden dan die tussen fosfaatafvoer en fosfaattoestand.

Relaties tussen drogestofopbrengst en fosfaattoestand:

- waren alleen statistisch significant voor de fosfaatverzadigingsgraad (FVG);
- er werd een aanwijzing gevonden dat toename van de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal of als P-Al-getal tot toename van de drogestofopbrengst leidde.
- geen van de overige methoden P-CaCl₂-SFA, P-CaCl₂-ICP, P-Bray, P-Olsen, P-Mehlich3, Pi of Pox had een significante relatie met opbrengst aan drogestof of gaf een indicatie daartoe.
- een combinatie van twee methoden van grondonderzoek in de vorm van de verhouding (Ratio) tussen een capaciteitsmaat (P-Al-getal of Pox) en een intensiteitsmaat (P-CaCl₂, Pw-getal) verhoogde de voorspellende waarde voor de opbrengst t.o.v. de voorspellende waarde van individuele methoden van grondonderzoek.

Fosfaatafvoer daarentegen had bij alle in Nederland toegepaste methoden en ook de in het buitenland gangbare methoden (P-Bray, P-Olsen, P-Mehlich3):

- een significante relatie met de fosfaattoestand (intensiteit of capaciteit) met uitzondering van Pox.
- de fosfaatverzadigingsgraad had een zeer significante relatie met de fosfaatafvoer evenals ratio's gebaseerd op Pox als capaciteitsmaat en P-CaCl₂-SFA of Pw-getal als intensiteitsmaat.
- ook ratio's gebaseerd op P-Al-getal/P-CaCl₂-SFA hebben een significante relatie met de fosfaatafvoer.

Het onderzoek wijst uit dat in samenhang met de fosfaatgift (3-weg interacties) combinaties van de intensiteitsmaat P-CaCl₂-ICP met de capaciteitsmaat Pox en van de intensiteitsmaat Pw-getal (volume en gewichtsbasis) met de capaciteitsmaat Pox significante relaties geven met de drogestofopbrengst (respectievelijk hoofdstuk 3, tabel 12, bijlage 6 geeft de predicties voor overige combinaties van intensiteit en capaciteit).

Hoofdstuk 3

Tabel 12

Predicties voor de drogestofopbrengst in ton/ha voor verschillende waarden van de intensiteit (P-CaCl₂-ICP) en capaciteit (Pox) voor verschillende fosfaatgiften.

Intensiteit	Capaciteit	Bemesting, kg P ₂ O ₅ / ha			
P-CaCl ₂ -ICP, mg P / kg	Pox mg P / kg	0	30	60	90
1	250	15,8	15,8	15,8	15,9
	500	16,3	16,5	16,8	17,1
	750	16,7	17,3	17,8	18,3
2	250	16,4	16,4	16,5	16,5
	500	16,7	16,9	17,1	17,4
	750	17,0	17,4	17,8	18,2
4,5	250	17,9	18,0	18,0	18,1
	500	17,8	17,9	18,0	18,0
	750	17,7	17,8	17,9	18,0

Bij lage intensiteit verhoogt de drogestofopbrengst bij stijging van de capaciteit en met verhoging van de fosfaatgift. Bij hoge intensiteit wordt geen effect van capaciteit en fosfaatgift vastgesteld.

De fosfaatafvoer is significant gerelateerd aan de volgende combinaties van intensiteit en capaciteit (hoofdstuk 3, tabel 14):

- P-CaCl₂-SFA en Pox
- P-CaCl₂-SFA en P-Al-getal
- P-CaCl₂-ICP en Pox
- Pw-getal (gewicht) en Pox

Predicties voor P-CaCl₂-SFA en Pox, P-CaCl₂-SFA en P-Al-getal en Pw-getal (gewicht) en Pox worden gegeven in bijlage 6).

Tabel 14

Predicties voor de fosforafvoer¹ in kg P/ha gecorrigeerd voor het aantal planten voor verschillende waarden van de intensiteit (P-CaCl₂) en capaciteit (Pox) voor verschillende fosfaatgiften op basis van alle data.

P-CaCl ₂ -ICP, mg P / kg	Pox, mg P / kg	Bemesting, kg P ₂ O ₅ / ha			
		0	30	60	90
1	250	25,6	25,8	26,1	26,3
	550	26,4	26,8	27,3	27,7
	750	27,0	27,5	28,1	28,6
2	250	27,6	28,1	28,6	29,1
	550	27,9	28,4	28,9	29,3
	750	28,1	28,6	29,0	29,5
4,5	250	32,6	33,7	34,9	36,0
	550	31,7	32,2	32,8	33,4
	750	31,0	31,2	31,4	31,6

De twee-weg interacties tussen de verhouding van maten voor de capaciteit (P-Al-getal, Pox) en intensiteit (P-CaCl₂, Pw-getal) en fosfaatbemesting of fosfaatverzadigingsgraad en fosfaatbemesting vonden geen significatie of een aanwijzing daartoe. Dit resultaat is een gevolg van sterke correlatie die al bestaat tussen de verhouding capaciteit/intensiteit en intensiteit.

Conclusies voortkomend uit het veldonderzoek

Landbouwpercelen, geëigend voor het uitvoeren van proefveldonderzoek, met combinaties met zeer lage capaciteit en zeer hoge intensiteit en zeer hoge capaciteit en zeer lage intensiteit konden in de praktijk niet getraceerd worden. Toch vertegenwoordigen geselecteerde locaties een breed bereik in fosfaattoestanden (P-CaCl₂-SFA, P-Al-getal) die betekenis hebben voor de huidige landbouwpraktijk.

De eerste werkhypothese wordt voor verschillende combinaties van maten voor intensiteit en capaciteit als juist getoetst voor de fosfaatafvoer en voor minder combinaties bij drogestofopbrengst als respons.

Het effect van fosfaatbemesting op de verhoging van de drogestofopbrengst is gegeven een combinatie van een maat voor de intensiteit en een maat voor de capaciteit bescheiden (<3%, tabel 12). Het bufferend vermogen van de bodem voor fosfaat stuurt deels het effect van de fosfaatgift op drogestofopbrengst en fosfaatafvoer (hoofdstuk 3, tabel 12). Het effect is bij lage intensiteit waar te nemen in de predicties. Bij hogere intensiteit en capaciteit ontbreekt een effect op opbrengst.

Het effect van fosfaatbemesting op de verhoging van de fosfaatafvoer is groter (10%, hoofdstuk 3, tabel 14) dan dat bij de drogestofopbrengst. Een verhoging van de fosfaatafvoer gaat echter niet gepaard met een verhoging van de drogestofopbrengst. Het gewas neemt wel meer fosfaat op omdat de beschikbaarheid in de bodem meer dan afdoende is, maar benut die extra opname niet door meer drogestof te produceren (luxue consumptie van fosfaat). Bij zeer hoge fosfaattoestanden is er sprake van een daling hetgeen toegeschreven wordt aan een effect van droogte in de beginfase van de ontwikkeling. Die daling is echter niet significant (triviaal).

Effecten van fosfaattoestanden op drogestofopbrengst en meer nog op fosfaatafvoer zijn groter naarmate de maat voor de intensiteit lager is (bij fosfaatgift van 60 kg P₂O₅/ha bij drogestofopbrengst 12% (hoofdstuk 3, tabel 12), bij fosfaatafvoer 27% (tabel 14)). Bij hoge intensiteit draagt het effect van capaciteit steeds minder bij aan verhoging van opbrengst of de fosfaatafvoer en wordt tenslotte triviaal. Sturing op fosfaattoestand voor opbrengst en fosfaatafvoer is daardoor doeltreffender dan die op fosfaatbemesting.

De ontwikkeling van het gewas op zandgrond werd in fase van kieming en de direct daaropvolgende ontwikkelingsfase bepaald door droogte. In daaropvolgende ontwikkelingsfase was vocht niet

¹ Voor de berekening van de fosfaatafvoer in kg P₂O₅/ha dienen de predicties gegeven in kg P/ha vermenigvuldigd te worden met de factor 2,29.

limiterend. Op kleigrond is slemp² opgetreden. Slemp resulteerde in een uitval van planten. Hiervoor is gecorrigeerd door de reactie van het gewas (drogestofopbrengst, fosfaatafvoer) te standaardiseren naar eenzelfde aantal planten overeenkomend met het aantal gezaaide zaden (100.000 zaden/ha). Het effect van bodemtype wordt beïnvloed door het optreden van deze slemp. Na deze correctie naar eenzelfde aantal planten is een effect van bodemtype niet aantoonbaar. Daardoor wordt de tweede werkhypothese niet bevestigd.

Verkenning uitvoeringspraktijk

In Nederland bieden elf commerciële laboratoria grondonderzoek op fosfaat aan.

Laboratoria verschillen in openheid over de procedures die gevolgd worden. Er zijn laboratoria die terughoudend reageren, anderen zijn zeer open over de procedures. De rapportage in hoofdstuk 4 is bepaald door de informatie die alle laboratoria vrij wilden geven voor het publieke domein.

Analyses op P-Al-getal worden door tien laboratoria aangeboden, analyses op Pw-getal en P-CaCl₂ door acht laboratoria en Pox wordt door drie laboratoria aangeboden.

Niet alle aangeboden analyses staan in de scope, dit wil zeggen dat ze niet vallen onder bepalingen van de accreditatie verleend door de Raad van Accreditatie.

Qua uitvoering zijn er verschillen tussen laboratoria, ook als methoden geaccrediteerd zijn. Verschillen berusten op aanpassing (modificatie) van de uitvoering van de analyse waarbij een aangewezen NEN-voorschrift aangepast wordt aan een passende uitvoering op het laboratorium (in-huis-methode). Ook zijn er verschillen in de manier van meting van het fosforgehalte in het extract.

De combinatie van twee methoden van grondonderzoek voor de advisering van fosfaatgiften wordt uitgevoerd door twee laboratoria (P-CaCl₂ en P-Al-getal).

Frequentieverdelingen van de fosfaattoestand van de bodem op basis van twee methoden van grondonderzoek zijn niet beschikbaar in het publieke domein. Hierop wordt niet gemonitord.

Door één laboratorium beschikbaar gestelde data wijzen uit dat de combinatie van een (zeer) hoge intensiteit en (zeer) lage capaciteit en de combinatie van een (zeer) lage intensiteit en een (zeer) hoge capaciteit nauwelijks voorkomen. De vaststelling berust op P-CaCl₂ als maat voor de intensiteit en P-Al-getal als maat voor de capaciteit.

Ontwerp van een protocol

Bij een protocol voor bemonstering van de bodem en bepaling van de fosfaattoestand moeten de volgende aspecten in beschouwing genomen worden:

- Plaatsbepaling van het perceel
- Bepaling van de oppervlakte van het perceel
- Bemonsteringssystematiek
- Aantal steken bij bemonstering
- Tijdstip van bemonstering
- Bemonsteringsdiepte
- Monsternemingstoestellen
- Monsteromvang
- Monsteropslag
- Monstervoorbehandeling
- Criteria voor uitvoerend laboratorium
- Analysevoorschriften
- Voorschriften voor rapportage van analyseresultaten
- Administratieve verplichtingen voortvloeiend uit regelgeving (mestbeleid).

² Bij veel regen wordt de binding tussen bodemdeeltjes verbroken en verliezen de bodemagregaten hun structuur. De bodemdeeltjes vloeien ineen hetgeen de water- en luchthuishouding belemmert. De kieming en opkomst van zaad van mais wordt daardoor geremd.

In deze studie worden alleen de aspecten verbonden aan de analyse van de fosfaattoestand en het fosfaatbufferend vermogen van de bodem beschreven. Een concept voor een protocol waarmee het bufferend vermogen kan worden vastgesteld, wordt gegeven. Voorschriften voor analyse-methoden worden gegeven; verwijzingen of afbakening voor bovengenoemde aspecten worden behandeld.

Criteria voor de fosfaattoestand

Criteria voor het vastleggen van de fosfaattoestand op basis van één of twee methoden van grondonderzoek hangen af of gekozen wordt voor een relatie op basis van opbrengst of op basis van fosfaatafvoer. In dit concept is gekozen voor fosfaatafvoer omdat dit de grondslag vormt van de fosfaatgebruiksnorm. Daarnaast hangt het criterium af van de keuze voor de analysemethoden. In dit concept is gekozen voor toepassing van twee methoden van grondonderzoek, een maat voor de intensiteit en een maat voor de capaciteit om daarmee het fosfaatbufferend vermogen van de bodem te karakteriseren.

Een voorbeeld hoe waarderingsklassen afhankelijk gesteld kunnen worden van onderscheidenlijke maten voor intensiteit (P-CaCl₂-SFA) en capaciteit (Pox) wordt gegeven in tabel 26 van hoofdstuk 6. Daartoe zijn waarderingsklassen voor de fosfaattoestand van de bodem afhankelijk gemaakt van maten voor de intensiteit en capaciteit. De getalswaarden in tabel 26 dienen als illustratie. Opties voor criteria voor waarden van de maten voor intensiteit en capaciteit met toelichting worden gegeven in tabel 27.

De keuze voor de getalswaarden voor de verschillende maten voor intensiteit en capaciteit berust op een globale inschatting waar een gewasreactie te verwachten is (laag) en waar niet (hoog).

Hoofdstuk 6

Tabel 26

Voorbeeld voor criteria voor fosfaattoestanden.

P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	Pox, mg P / kg		
	<200	200 - 400	>400
< 0,5	Laag	Laag	Neutraal
0,5 – 1,5	Hoog	Neutraal	Neutraal
> 1,5	Hoog	Hoog	Hoog

Opties voor criteria voor waarden van de maten voor intensiteit en capaciteit met toelichting worden gegeven in tabel 27.

Als gekozen wordt voor FVG, dan leidt dit tot een keuze in welke mate van oplading van de fosfaattoestand acceptabel wordt geacht met het oog op fosfaatuitspoeling (zie paragraaf 5.1.2). Die oplading is cultuur (gewasrotatie) en bemestingshistorie afhankelijk. Het vergt nadere uitwerking om tot normwaarden te komen.

Toetsing van een uitslag van onderzoek hangt af van de nauwkeurigheidseis die aan een analyseresultaat wordt gesteld. De nauwkeurigheidseis is afhankelijk van de fout van bemonstering van het landbouwperceel inclusief de fout geïntroduceerd door voorbehandeling van het grondmonster en de fout bij analyse van de fosfaattoestand. Een toetsingsgrootte die rekening houdt met beide foutenbronnen is gegeven door Ehlert et al. (2005³).

³ Grenswaarde STP = Uitslag Grondonderzoek + $z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{(v_{\text{tot, STP}})}$ (eenheid grondonderzoek). Hierin is STP de aangewezen methode van grondonderzoek, $z_{1-\alpha}$ het (1- α)-percentiel van de standaard normaal verdeelde variabele, tot v de variantie van de totale fout (steekproeffout + laboratoriumfout) in het geschatte perceelsgemiddelde.

Tabel 27

Opties voor normwaarden voor indeling naar bufferend vermogen.

Intensiteit	Capaciteit	Klasse	Evenwichtsbemesting 60-65 kg P ₂ O ₅ / ha		Evenwichtsbemesting 60-70 kg P ₂ O ₅ / ha	
			Indeling intensiteit	Indeling capaciteit	Indeling intensiteit	Indeling Capaciteit
Pw-getal	Pox	Laag	≤20	≥500	≤20	≥500
		Neutraal	20 – 30	<500	20 - 40	<500
		Neutraal	>30	≥500	>40	≥500
		Hoog	>30	<500	>40	<500
P-CaCl ₂ -SFA	P-Al-getal	Laag	≤ 0,5	≤ 40	≤ 0,5	≤ 40
		Laag	0,5 – 1,0	≤ 30	0,5 – 1,0	≤ 30
		Neutraal	≤ 0,5	40 – 50	≤ 0,5	>40
		Neutraal	0,5 – 1,0	30 – 50	0,5 – 1,0	>30
		Neutraal	1,0 – 1,5	≤ 50	1,0 – 1,5	≤ 60
		Neutraal	1,5 – 2,0	≤ 30	1,5 – 2,0	≤ 40
		Hoog	1,0 – 1,5	>50	1,0 – 1,5	>60
		Hoog	1,5 – 2,0	>30	1,5 – 2,0	>40
		Hoog	>2,0	Geen norm	>2,0	Geen norm
P-CaCl ₂ -SFA	Pox	Laag	≤0,5	<400	≤0,5	<400
		Neutraal	0,5 – 1,0	>400	0,5 - 2,0	Geen norm
		Neutraal	1,0 – 1,5	Geen norm	2,0 -2,5	>600
		Hoog	>1,5	Geen norm	>2,0	≤600
		Hoog	*	*	>2,5	Geen norm

1 Inleiding

1.1 Fosfaatgebruiksnormen

Met de EU Commissie is overeengekomen dat de fosfaatgebruiksnormen voor grasland en bouwland afgestemd moeten worden op de fosfaatafvoer door het gewas. De Europees-rechtelijke grondslag voor fosfaat wordt gevormd door de richtlijnen 75/440/EEG (Drinkwaterrichtlijn), 75/442/EEG (Kaderrichtlijn afvalstoffen) en 2000/60/EG (Kaderrichtlijn water). Nederland is daardoor gehouden om het gebruik van fosfaat op landbouwgronden te reguleren. In dialoog met de Europese commissie is bepaald dat het fosfaatgebruik afgestemd wordt op de afvoer met landbouwkundige producten. Een fosfaatgift gelijk aan de fosfaatafvoer met het geoogste product (gewas, dierlijke producten) wordt in dit kader fosfaatevenwichtsbemesting genoemd.

Op 1 januari 2010 is het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen van kracht geworden en verving het stelsel van generieke fosfaatgebruiksnormen van 2006. Bij het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen wordt rekening gehouden met de fosfaattoestand van de bodem, bij het stelsel van generieke fosfaatgebruiksnormen werd geen rekening gehouden met de fosfaattoestand. De wijziging bij het stelsel is onder andere gebaseerd op adviezen van de Technische Commissie Bodem (TCB, 2007) en de Commissie Deskundigen Meststoffenwet (CDM, 2007) van het ministerie van LNV (is nu EZ) om fosfaatgebruiksnormen af te stemmen op de fosfaattoestand van de bodem. De TCB en de CDM adviseerden beiden om de fosfaatgebruiksnorm te differentiëren naar de fosfaattoestand die de beschikbaarheid voor het gewas aangeeft en daarbij drie klassen te onderscheiden zijn. Beide adviezen werden betrokken bij de beleidsafweging.

Het huidige stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen onderscheidt drie klassen (tabel 1). Een gefaseerde verlaging van de fosfaatgebruiksnorm tot evenwichtsbemesting in 2015 wordt beoogd.

Tabel 1

Fosfaatgebruiksnormen (kg/ha) voor bouwland en grasland (Staatscourant nr. 8459, 17 mei 2011).

Cultuur	Methode	Pw-getal, mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	Klasse	2013	2014	2015
Bouwland	Pw-getal, mg P ₂ O ₅ L ⁻¹	<36	Laag	85	80	75
		36 – 55	Neutraal	65	65	60
		>55	Hoog	55	55	50
Grasland	P-Al-getal, mg P ₂ O ₅ /100 g	<27	Laag	100	100	100
		27 – 50	Neutraal	95	95	90
		> 50	Hoog	85	85	80

Bij de invoering van het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen werd rekening gehouden met de vigerende bemestingsadviezen voor fosfaat bij openteelten, zoals die opgesteld werden door de Commissies van Bemesting voor verschillende landbouwsectoren (grasland, akkerbouwgewassen, vollegrondsgroenten, bloembollen, boomkwekerijgewassen, fruit, buitenbloemen). Deze adviezen zijn gebaseerd op toepassing van de fosfaatmethoden P-Al-getal van Egnér et al. (1960) en Pw-getal van Sissingh (1972). Deze methoden bepalen een deel van de totale hoeveelheid bodemfosfaat en beogen het gewas-beschikbaar deel van het bodemfosfaat te bepalen. Het P-Al-getal vindt toepassing op grasland, het Pw-getal vindt toepassing bij overige open teelten. Naast P-Al-getal en Pw-getal is een aantal van andere methoden grondonderzoek in gebruik in Nederland.

Het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen maakt geen onderscheid naar het fosfaatbufferend vermogen van de bodem. Bodems met een zwak bufferend vermogen ontvangen bij

eenzelfde fosfaattoestand (Pw-getal of P-Al-getal) eenzelfde fosfaatgebruiksnorm. Als het bufferend vermogen betrokken kan worden bij de differentiatie van fosfaatgebruiksnormen naar fosfaattoestand, dan heeft dat in potentie voordelen:

1. Meststoffosfaat wordt efficiënter ingezet.
2. Meststoffosfaat wordt efficiënter benut.
3. Beschikbare voorraden bodemfosfaat kunnen efficiënter worden gebruikt.
4. Bodems die fosfaat lekken worden in beeld gebracht waardoor gericht gestuurd kan worden op beheersing van onwenselijk geacht te hoge fosfaat weglekken (vooral uitspoeling).

Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I, nu het ministerie van Economische Zaken) heeft in het kader van het vijfde actieprogramma voor de Nitraatrichtlijn het initiatief genomen om onderzoek te entameren naar de perspectieven om het bufferend vermogen te betrekken bij de uitvoering van het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen. Dit rapport geeft uitvoering aan dit initiatief. Dit rapport focust op bouwland.

1.2 Doelstellingen van onderhavige studie

Het algemene doel van onderhavige studie is 'het bepalen van de grootte van de gewasreactie op fosfaatbemesting als functie van het fosfaat bufferend vermogen van de bodem'. Op basis van de resultaten van deze studie moet de vraag beantwoord worden of en zo ja hoe het fosfaat bufferend vermogen van de bodem onderdeel moet zijn van het stelsel van fosfaattoestand-afhankelijke fosfaatgebruiksnormen. De specifieke doelen zijn als volgt geformuleerd:

- Het bepalen van een systematiek voor het onderscheiden van verschillen in bufferend vermogen van Nederlandse bodems, ter verbetering van het stelsel van gedifferentieerde gebruiksnormen als functie van fosfaattoestand van de bodem.
- Het kalibreren van die systematiek op gewasreactie geënt op beoogde indelingen van de gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen.
- Het opstellen van een protocol voor de vaststelling van de fosfaattoestand van de bodem waarbij rekening gehouden wordt met het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem.

Opbouw van het rapport

In het vervolg van dit inleidende hoofdstuk wordt de achtergrond van de studie en de methoden voor de bepaling van de fosfaattoestand in de bodem toegelicht.

In hoofdstuk 2 worden de aanpak, de methoden van uitvoering en bewerking beschreven.

Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van het laboratorium en veldonderzoek.

In hoofdstuk 4 wordt de huidige uitvoeringspraktijk voor grondonderzoek verkend.

Hoofdstuk 5 evalueert en beantwoordt de doelstellingen. Daarnaast worden de conclusies met aanbevelingen gegeven. Hoofdstuk 6 geeft een ontwerp voor een protocol met toelichting.

1.3 Methoden voor de bepaling van gewasbeschikbaar bodemfosfaat

Gewassen nemen fosfaat op uit de bodemoplossing. De hoeveelheid fosfaat in de bodemoplossing is gering. Ruwweg bevat een bodem 0,5 kg fosfaat/ha in oplossing. Die hoeveelheid is over het algemeen voldoende om het gewas voor één dag te voorzien van voor gewasgroei en -ontwikkeling noodzakelijke fosfaat. De bodem moet dus fosfaat naleveren om aan de dagelijkse vraag van het gewas te kunnen voldoen. Landbouwbodems bevatten in doorsnee meer dan afdoende fosfaat om die nalevering direct te kunnen leveren. Niet alle fosfaat in de landbouwbodem is echter beschikbaar voor het gewas.

Water-oplosbaar meststoffosfaat toegediend aan de bodem is beschikbaar voor het gewas. Echter, zodra dit fosfaat aan de bodem wordt toegediend gaat het reacties aan met de bodem. Er vindt herverdeling plaats van fosfaat over bodemfracties. Bij die herverdeling wordt de beschikbaarheid van het fosfaat voor het gewas verlaagd en daarmee wordt ook de benutting van meststoffosfaat beperkt.

Uitbatingspercentages van meststoffosfaat (de hoeveelheid fosfaat die uit meststoffosfaat wordt opgenomen) zijn in de orde van grootte van 15-30% (Syers et al., 2008; Johnston en Syers, 2009).

Het merendeel van het fosfaat dat een gewas opneemt, is afkomstig van bodemfosfaat (> 80%). Vandaar dat de fosfaattoestand van de bodem bepalend is voor de opbrengst en fosfaatopname van landbouwgewassen. Een bepaling van het totaalgehalte aan fosfaat in de bodem geeft geen uitsluitsel over de hoeveelheid die daadwerkelijk beschikbaar is⁴. Een groot aantal biologische en chemische methoden zijn over een periode van meer dan 100 jaar ontwikkeld om de voorraad gewas-beschikbaar fosfaat te bepalen. Een enquête onder deelnemers van COST actie 832⁵ toonde aan dat in de EU27 zo'n zestien methoden toegepast worden bij bemestingsadvisering op basis van grondonderzoek (bijlage 1). Bovendien kent eenzelfde methode verschillende modificaties en uitvoeringspraktijken (Neyroud en Linscher, 2003; Jordan Meille et. al. 2012). Modificaties van methoden komen voor, zowel tussen EU lidstaten als binnen een lidstaat. Relatief veel gebruikte methoden in de EU zijn gebaseerd op extracties met ammoniumlactaat azijnzuur (AL) van Egnér en Riem (1955) of natrium-bicarbonaat van Olsen et. al., (1954).

In Nederland worden verschillende methoden van chemisch grondonderzoek al dan niet gecombineerd toegepast om de fosfaattoestand van de bodem vast te stellen voor landbouwkundige doeleinden (zie Schoumans et al., 2004):

- Pw-getal
- P-Al-getal
- P-CaCl₂⁶
- P-Spurway
- Totaal-P (alleen bij bosbouw en natuurontwikkeling)

Milieukundig onderzoek naar het gedrag van P in de bodem wordt in Nederland uitgevoerd met behulp van de volgende methoden (Schoumans et al., 2004, 2005; Ehlert et al. 2008; Koopmans et al. 2003):

- P_{1:2} (waterextractie).
- P-CaCl₂ (verschillende concentraties 0,002-0,1 M CaCl₂ en verschillende verhoudingen grond/vloeistof).
- FosfaatVerzadigingsGraad (FVG) afgeleid uit ammoniumoxalaat extraheerbare fractie aan fosfaat gerelateerd aan gelijktijdig geëxtraheerde fracties aluminium en ijzer (Pox, Alox, Fe-ox). Pox definieert de hoeveelheid quasi-irreversibel gebonden voorraad fosfaat in de bodem. Hiermee wordt de fractie bodemfosfaat aangegeven die traag (diffusie bepaald, naleveringssnelheid > één dag) nalevert aan de bodemoplossing.
- Reversibel gebonden fosfaat (Pi). Pi definieert de hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat in de bodem. Deze bodemfractie levert instantaan na aan de bodemoplossing. De bepaling berust op een desorptie-isotherm gebruikmakend van een herhaalde extractie met ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapier bij verschillende tijdstappen.
- Adsorptie-isotherm. De mate waarin fosfaat door de bodem wordt vastgelegd, wordt bepaald door bekende hoeveelheden fosfaat toe te dienen aan een suspensie van grond in een achtergronds-electrolyt (bijvoorbeeld 0,005 M CaCl₂) en te bepalen welk deel daarvan resteert in de vloeistoffase.
- Anionen-uitwisselingshars, een techniek die eenzelfde informatie geeft als een desorptie-isotherm.
- Dialyse membraantechnieken, technieken die specifieke informatie geven over veranderingen in de samenstelling van bodemvocht.
- Radioactief gemerkt fosfaat (P³²), een techniek die specifieke informatie levert over de verdeling van gemerkt fosfaat over de fosfaatbodemfractie. Door de hoge halfwaardetijd wordt dit alleen toegepast bij kortdurende experimenten.
- Totaal P (relevant voor massabalansen).

⁴ Bosbouw vormt hierop een uitzondering. Door het langjarige karakter van de teelt kan op marginale gronden totaal-fosfaat betekenis hebben.

⁵ Cost action 832: Quantifying the Agricultural Contribution to Eutrophication.

⁶ Door BLGG AgroXpertus PPAE genoemd.

Met de methoden van grondonderzoek voor bemestingsonderzoek en milieukundig onderzoek kunnen verschillen in fosfaattoestand veroorzaakt door verschillen in bemesting worden vastgesteld (Johnston et al., 2001; Schoumans et al., 2005). Echter, het gedrag van fosfaat in de bodem is afhankelijk van bodemeigenschappen en een enkelvoudige bepaling van de fosfaattoestand geeft daardoor maar beperkte informatie over het gedrag van fosfaat in een bepaalde bodem. Mede daarom wordt er gezocht naar combinaties van twee of meer methoden van grondonderzoek (Ehlert et al., 2005; Van Rotterdam-Los 2010,; Salm et al, 2009).

Onderzoek naar relaties tussen Pw-getal en P-CaCl₂ wees uit dat bij lage fosfaattoestand beide methoden onderling geen relatie hebben. Daardoor werd geen uitsluitsel verkregen over de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Pas door hoge fosfaattoestanden erbij te betrekken worden relaties tussen deze twee methoden van grondonderzoek vastgesteld (Ehlert et al, 2007).

Onderzoek naar de landbouwkundige betekenis van P-CaCl₂ en P-Al-getal heeft recent geleid tot invoering van bemestingsadviezen voor snijmaïs en recent voor grasland (Bussink et al., 2011a; Bussink et al., 2011b). Een waardering van de fosfaattoestand voor akkerbouwland op basis van P-CaCl₂ in combinatie met P-Al-getal wordt (nog⁷) niet gegeven. Tot bepaalde waarden van combinaties⁸ van P-CaCl₂ en P-Al-getal wordt aanbevolen om bij bemesting van snijmaïs op te vullen tot onttrekking in verband met het handhaven van de bodemvruchtbaarheid. Bij grasland is de advisering in 2012 generieker geworden, op zand wordt tot en met P-Al-getal 40 mg P₂O₅/100 g en op overige grondsoorten tot en met P-Al-getal 30 mg P₂O₅/100 g geadviseerd op basis van de combinatie van P-CaCl₂ en P-Al-getal. Vanaf een P-Al-getal van 50 mg P₂O₅/100 g wordt geen bemesting meer geadviseerd.

In het algemeen maakt het niet uit welke methoden van grondonderzoek gekozen wordt om effecten van behandelingen met verschillende fosfaatgiften in de tijd te vervolgen, dat wil zeggen dat verschillen in fosfaatmanagement kwalitatief vastgesteld kunnen worden (Johnson et al., 2001; Neyroud en Lischer, 2003). Echter niet alle methoden zijn in staat om het lot van fosfaatoverschotten kwantitatief in beeld te brengen (Ehlert en Johnston, 2001). Een toename in overschot hoeft niet te leiden tot een verandering in de waarde van de fosfaattoestand. De in Nederland gebruikte methoden zijn als volgt te rangschikken (Neyroud en Lischer, 2003):

P-totaal > Pox > P-Al-getal > Pi(iron-hydroxidepaper) > Pw-getal > P-CaCl₂

Een voorbeeld voor het ontbreken van een relatie tussen een accumulerend fosfaatoverschot in de bodem en methoden van grondonderzoek op fosfaat wordt gegeven in tabel 2. Tabel 2 geeft resultaten van zes jaar onderzoek op veeljarige veldproeven met verschillende grondsoorten in Engeland, Nederland, België en Duitsland. In de tabel wordt aangegeven welk fosfaatoverschot nodig is om de fosfaattoestand bij de start van het onderzoek te handhaven. De referentie is evenwichtsbemesting (P1) waarbij aanvoer gelijk is aan de afvoer van fosfaat met de oogst in het voorafgaande jaar. In Engeland had de veldproef al een 27-jarige voorgeschiedenis van *steady state* bemesting. Braunschweig had bij aanleg ook een voorgeschiedenis van bemesting waarmee per aangelegde behandeling rekening gehouden moest worden. Marknesse en Braunschweig hadden bij aanleg een lage waardering van de fosfaattoestand, Tinlot (Wallonië) een hoge waardering volgens vigerende Waalse bemestingsadviezen. Bij de veldproef in Engeland, waarbij al jarenlang eenzelfde bemestingsregime werd uitgevoerd, blijkt doorgaans met geen van de methoden een bevredigende relatie met de fosfaatoverschotten vastgesteld te kunnen worden. Bij een opbouwfase (Marknesse en België) worden verbanden tussen veranderingen in fosfaatoverschotten en veranderingen in fosfaattoestanden vastgesteld. Bij een lage fosfaattoestand zijn er geen grote verschillen tussen methoden, zij het dat in zes jaar geen relatie op basis van grondonderzoek met P-CaCl₂ wordt vastgesteld. Bij een hoge toestand heeft elke methode doorgaans een relatie met het overschot. Bij de

⁷ Wordt ontwikkeld <http://www.bemestingsadvies.nl/>

⁸ Vanaf P-CaCl₂ van 7 mg P/kg en P-Al-getal van 70 mg P₂O₅/100 g wordt geen bemesting meer geadviseerd (<http://www.bemestingsadvies.nl/>).

bepaling van de hoeveelheid fosfaat die nodig is om de uitgangstoestand te handhaven, maakt het uit welke methode gekozen wordt. Dat scheelt factoren in fosfaatoverschot (tabel 2). De keuze van een methode van grondonderzoek wordt bepaald door het doel waarvoor gemonitord wordt. Het maakt uit of een methode geselecteerd wordt om de gewasbehoefte vast te stellen of het lot van een fosfaatoverschot in de tijd te vervolgen.

Tabel 2

De hoeveelheid fosfaat die nodig is om de fosfaattoestand op de uitgangstoestand te handhaven. De fosfaatgiften zijn geen fosfaatbemesting (P0), evenwichtsbemesting (P1), tweemaal de gift evenwichtsbemesting (P2) en driemaal de gift evenwichtsbemesting (P4). De tabel geeft het fosfaatoverschot aan dat nodig is om de fosfaattoestand bij aanvang van de proef te handhaven.

Methode	Locatie Broom's Barn, England	Marknesse, Nederland	Tinlot, België	Braunschweig, Duitsland
P-Olsen	(1)	>P0 <P1	(>P3)ns	(1)
P-EDTA	(1)	>P0 <P1	>P1 <P2	(1)
P-CAL	(>P1 <P2)ns	(>P0 <P1)ns	>P2 <P3	>P0 <P1
P-CaCl ₂	(1)	(1)	>P3	<P0
Pw-getal	(<P0)ns	>P0 <P1	>P1 <P2	(<P0)ns

(1): geen relatie tussen een verandering in het fosfaatoverschot in de tijd en een verandering in de fosfaatbepalingsmethode;

ns: Niet significant maar wel een trend waarneembaar (p=0,05).

1.4 Fosfaattoestand en milieu

De diagnostiek om de risico's van fosfaatverzadiging te bepalen met grondonderzoek is opgesteld door Van der Zee et al. (1990a en 1990b). Deze diagnostiek is toegepast bij het kwantificeren van fosfaatverzadigde bodems en fosfaatlekkende bodems. Voor duiding van fosfaatverzadigde gronden, de actuele fosfaattoestand van Nederland en de risico's op fosfaatlekkende gronden wordt verwezen naar Schoumans et al., (2004 en 2005) en Schoumans (2007).

De parameters van grondonderzoek voor bemestingsadvisering zijn in meer of mindere mate geëigend om risico's op weglekken van fosfaat vast te stellen. Voor het Pw-getal zijn mechanistische concepten ontwikkeld (De Willigen en Van Noordwijk, 1986; Van Noordwijk et al., 1996, Schoumans en Groenendijk, 2000) evenals voor P-CaCl₂ (Koopmans, 2003; Van Rotterdam - Los, 2010). De voorraad reversibel gebonden fosfaat (P_i) wordt bij deze concepten toegepast (Ehlert et al., 2003, Van der Salm en Schoumans, 2000 en 2008). Omdat deze bepalingmethoden niet destructief zijn, kan een idee verkregen worden van het desorptiegedrag van P in de bodem en daardoor over de mate waarin P voor het gewas maar ook in de bodemoplossing vrijkomt. Van oudsher werd het Pw-getal geïnterpreteerd als een maat voor de intensiteit waarmee bodem fosfaat kan naleveren. Tegenwoordig wordt deze methode opgevat als een desorptiemaat (éénpunts-desorptie-isotherm). P-CaCl₂ wordt opgevat als een maat voor de intensiteit. De fosfaatbodemfracties die direct fosfaat naleveren aan de bodemoplossing worden samengebracht onder reversibel gebonden fosfaatfractie (P_i).

De verhouding tussen de capaciteit (P-Al-getal/P-CaCl₂) wordt opgevat als een indicatie voor het vermogen van de bodem om een intensiteitsmaatstaf op een gewenst niveau te handhaven c.q. te bufferen (Van Rotterdam, 2010). De bepaling van de fosforconcentratie in bodemvocht vraagt specifieke bemonsteringsmethoden van het bodemvocht. Als alternatief wordt een grondmonster met demiwater geschud in een nauwe verhouding grond/water (P_{1:2}).

Het P-Al-getal maar ook Pox zijn gebaseerd op een destructieve extractie van grond. De methoden worden opgevat als een middel om de totale voorraad gewasbeschikbaar fosfaat (capaciteit) in de bodem te bepalen (P-Al-getal) of de totale voorraad die kan bedragen aan fosfaatuitspoeling (Pox). Met het extractiemiddel van het P-Al-getal⁹ wordt minder fosfaat geëxtraheerd dan met Pox¹⁰.

Er bestaat een variatie in de reversibiliteit van de binding van fosfaat aan bodembestanddelen (Syers et al., 2008). In de bodem komen verschillende fracties voor die met onderscheidenlijke analytische methoden kunnen worden geëxtraheerd, en verschillen in beschikbaarheid voor het gewas en voor uitspoeling/afspoeling. Het handhaven van een kritische hoeveelheid beschikbaar fosfaat voor een gegeven grond en landgebruiksvorm (sector) en de daarmee gemoeide hoeveelheid fosfaat hangt af van welke fosfaatbodemfractie gewasbeschikbaar zijn (Syers et al., 2008). Het handhaven van die kritische hoeveelheid is belangrijk voor de boer (rendement) en het milieu (verlies naar andere milieucompartimenten).

Adviezen voor toepassingen van methoden voor grondonderzoek om milieukundige implicaties te kunnen verkennen worden gegeven door Koopmans et al., (2003), Schoumans et al., (2005), Salm et al., (2009). Pw-getal en P-CaCl₂ voldoen. Aanvullende informatie over de sorptiecapaciteit (Alox en Fe-ox) is nodig. Informatie over kalkloze dekzanden is afdoende voorhanden maar bij overige grondsoorten ontbreekt vaak noodzakelijk informatie over bodemchemische karakteristieken waardoor aanvullende onderzoek gewenst is.

De keuze van een methode van grondonderzoek wordt bepaald door het doel waarvoor gemonitord wordt. Het maakt uit of een methode geselecteerd wordt om een landbouwkundige doelstelling of een milieukundige doelstelling te monitoren. In Nederland wordt tot op heden volstaan worden met Pw-getal op bouwland en P-Al-getal op grasland. Alternatieven zijn in ontwikkeling. Het is door de wetgever toegestaan om het Pw-getal te berekenen uit P-CaCl₂ en P-Al-getal¹¹.

Randvoorwaarden

Het doel van een toepassing van een analysemethode voor grondonderzoek bepaalt welke randvoorwaarden gelden. Vanuit het oogpunt van de toepassing in de praktijk voor monitoringsdoeleinden zijn wel een aantal criteria en randvoorwaarden af te leiden, zoals:

- robuustheid;
- reproduceerbaarheid;
- interpreteerbaarheid;
- gangbaar;
- goedkoop.

Hierbij wordt onder robuustheid een maat verstaan voor de mogelijkheid tot ongewenste beïnvloeding van de uitkomst: reproduceerbaarheid is een maat voor de herhaalbaarheid bij herhaling van de bemonstering (onder andere weersomstandigheden, etc.); interpreteerbaarheid is een maat voor het verklaren van de uitkomst op basis van biofysische en biogeochemische overwegingen; gangbaar zegt iets over het gebruik in de praktijk en het criterium 'goedkoop' spreekt voor zichzelf. De criteria en randvoorwaarden zijn belangrijk bij het nemen van monsters in het veld maar ook voor de analysemethode in het laboratorium.

Analysemethoden verschillen in robuustheid. Methoden die een kleine fractie van de totale voorraad bodemfosfaat bepalen (~ intensiteitsmaatstaven zoals P_{1:2}, P-CaCl₂ en Pw-getal) zijn gevoeliger voor beïnvloeding door teelt- en bemestingsmaatregelen dan methoden die een grotere fractie van die totale voorraad bepalen (~ capaciteitsmaatstaven zoals P-Al-getal en Pox). Zo zal bekalking van de bodem bij intensiteitsmaatstaven leiden tot een verlaging van de fosfaatbeschikbaarheid (dus lagere waarden voor deze parameters) dan bij capaciteitsmaatstaven. Ook zoutniveau (EC-waarde) kan een

⁹ 0,1 M Ammoniumlactaat en 0,2 M azijnzuur, pH 3,5

¹⁰ Een ruwe indicatie: met P-Al-getal wordt hoogstens 50% van de totale voorraad bodemfosfaat bepaald, bij Pox kan meer dan 90% van die voorraad bepaald worden.

¹¹ Tweede kamer der Staten Generaal, vergaderjaar 2009-2010, 28385, Nr. 183.

effect hebben op het analyseresultaat naarmate de methode een kleiner deel van de fosfaatbodemfractie extraheert. In dit opzicht is een P-Al-getal robuuster dan een Pw-getal of P-CaCl₂. De aanwezigheid van (colloïdale) deeltjes in een extractievloeistof kan leiden tot een afwijkende waarde bij Pw-getal (Salm et al., 2009). Verschillen in zoutbelasting van grondmonsters kunnen eveneens leiden tot afwijkingen bij monitoring van trends.

Herhaalbaarheden verschillen tussen methoden ook bij vergaande standaardisatie op het laboratorium. Pw-getal is een maatstaf voor desorptie van fosfaat. De desorptie wordt afgebroken na twee uur schudden (*end-over-end*). Daarnaast wordt een volume grond toegepast¹². Andere methoden wegen een gewicht grond in. Dit wordt zeer intensief geschud waardoor een evenwicht bereikt wordt (P-CaCl₂). Andere methoden werken bij een constant(er) zoutniveau (P-CaCl₂) of (gebufferde) zuurgraad (P-Al-getal). Herhaalbaarheid van P-CaCl₂ en P-Al-getal is daardoor beter dan die van Pw-getal. In het kader van de COST-actie 832 werden bij P-Al-getal echter slechte herhaalbaarheden vastgesteld (Neyroud en Lischer, 2003).

1.5 Fosfaatbufferend vermogen

De mate waarin een bodem fosfaat vasthoudt dan wel vrijgeeft, is afhankelijk van fysische, chemische en biologische eigenschappen van de bodem. Onder Nederlandse bodemomstandigheden zijn bodem-chemische eigenschappen meest bepalend. Veengronden vormen hierop een uitzondering. Daar bepaalt de afbraak van organische stof de herverdeling en de beschikbaarheid van verschillen fracties bodemfosfaten (totaal fosfaat, organisch gebonden fosfaat, quasi - irreversibel gebonden fosfaat, irreversibel gebonden fosfaat en fosfaat in de bodemoplossing). Bodems verschillen in de snelheid en mate waarin fosfaat van meststof herverdeeld wordt over bodembestanddelen en daardoor in de mate waarin fosfaat de beschikbaarheid voor het gewas verliest. Dit geldt voor bodems die niet te zwaar belast zijn met fosfaat. Bij zwaar belaste bodems is er nauwelijks/geen sprake van enige herverdeling en daardoor is het risico op fosfaatuitspoeling groot. De beschikbaarheid van bodemfosfaten voor verhoging van de fosforconcentratie in de bodem is dus afhankelijk van de bodemeigenschappen en in het bijzonder van de mate waarin de bodem opgeladen is met fosfaat.

De eigenschap waarin de concentratie in het bodemvocht van de bodem verandert bij wijziging van de oplading van de bodem wordt buffering genoemd. Een alternatief gebruik van het begrip bufferend vermogen is de eigenschap van de bodem om de voorraad gewasbeschikbaar fosfaat op peil te houden. Dit peil hangt af van gewenste productiviteitsdoelen van de bodem.

Zowel bij de bepaling van de hoeveelheid fosfaat in de bodem die voor het gewas beschikbaar is als bij de bepaling van milieu-effecten van fosfaattoestanden hebben intensiteits- en/of capaciteitsmaatstaven betekenis (Paauw et al., 1972; Van der Zee et al., 1990a, 1990b; Chardon en Van Faassen, 1999; Schoumans en Groenendijk, 2000).

Het gebruik van beide parameters versterkt het inzicht in het vermogen om fosfaat te leveren aan het gewas. Ook een onwenselijk geacht (te hoog) weglekken van fosfaat naar andere milieucompartimenten wordt met beide parameters in beeld gebracht.

¹² Landbouwgewassen exploiteren een volume grond. Om grondsoorteffecten met verschillen in volume-gewichten uit te schakelen wordt vaker een standaardisatie naar volume uitgevoerd. Dit kan door een volume grond in te wegen of door een standaardisatie naar het gehalte aan organische stof uit te voeren. Het volumegewicht van de bodem wordt o.a. bepaald door het gehalte aan organische stof.

2 Aanpak, materiaal en methoden

2.1 Opzet onderzoek en uitvoering

De betekenis van het fosfaat-bufferend vermogen is onderzocht op zand- en kleigronden die verschillen in bufferend vermogen. Daartoe is een integrale proef ontworpen met één toetsgewas (snijmaïs) en voor deze proef zijn landbouwpercelen geselecteerd die beantwoorden aan vereisten voor proefuitvoering. Er is gekozen voor een toetsing in de praktijk onder GLP. Daardoor is aansluiting bij huidige uitvoering van het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen.

Voor de bepaling van intensiteits- en capaciteitsmaatstaven zijn in Nederland gangbare methoden (P-CaCl₂, Pw-getal, P-Al-getal) en in het buitenland toegepaste methoden (P-Olsen, P-Bray en P-Mehlich³) gebruikt. Voor bepaling van het bufferend vermogen van de bodem zijn ook Pi (reversibel gebonden fosfaat), Pox (quasi irreversibel gebonden fosfaat) en fosfaatverzadigingsgraad (Pox, Alox en Fe-ox) geanalyseerd.

Als bemestingstechniek werd rijenbemesting gekozen. Rijenbemesting verhoogt de benutting van meststoffosfaat bij gewassen met een zwak ontwikkeld wortelstelsel in de beginfase van de gewasontwikkeling en onder suboptimale fosfaatvoorziening uit de bodem. Deze bemestingstechniek is de standaard bij het gewas snijmaïs¹³.

2.1.1 Opzet proef

Een proefopzet is ontworpen waarbij zowel intensiteit als capaciteit varieerden. Dit leverde in beginsel negen verschillende combinaties van intensiteit en capaciteit (tabel 3).

Tabel 3

Opzet proef, indeling van fosfaattoestand naar intensiteit en capaciteit.

Intensiteit (snelheid van fosfaatlevering)	Capaciteit (totale gewas-beschikbare voorraad)		
	Laag	Midden	Hoog
Laag	x	x	x
Midden	x	x	x
Hoog	x	x	x

Twee grondsoorten werden gekozen die representatief zijn voor de Nederlandse landbouw: dekzand (zand) en zeeklei. Daardoor bestond de proef uit negen veldproeven op zandgrond en negen veldproeven op zeeklei.

Binnen een veldproef werd de gewasreactie op fosfaatbemesting getoetst door vijf fosfaattrappen (fosfaatgiften) aan te leggen. De hoogte van de fosfaatgift verschilde per veldproef. De gewasreactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is in het algemeen zwak. Bij de onderscheiden klassen van fosfaattoestanden van het stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen (Pw-getal van 36 mg P₂O₅/L en 55 mg P₂O₅/L) is een heel beperkte opbrengstreactie te verwachten van hooguit enkele procenten op fosfaatbemesting ten opzichte van de maximaal te behalen opbrengst. De fosfaatgiften werden daarom ingesteld op de hoogte van de fosfaattoestand van het landbouwperceel en varieerden

¹³ Door fosfaatmeststof bij gewas wortels te plaatsen, wordt het fosfaat efficiënter benut. Het bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen en vollegroendgroenten, die de basis legt voor het fosfaatbemestingsadvies voor snijmaïs, houdt een factor 2 efficiëntie verhoging aan.

tussen veldproeven: het bereik in giften (laagste fosfaatgift versus hoogste fosfaatgift) bij toestanden met een hoge waardering van de fosfaattoestand was klein, bij lage fosfaattoestanden was het bereik groter. Drie bereiken 0-180 kg P₂O₅/ha, 0-150 kg P₂O₅/ha en 0-90 kg P₂O₅/ha werden onderscheiden voor situaties waarbij (i) een meetbare gewasreactie verwacht werd (~5%), (ii) een beperkte gewasreactie verwacht werd (~2%) en (iii) een zeer beperkte gewasreactie verwacht werd (<1%).

Gelet op de verwachte zwakke gewasreactie, vooral bij hogere fosfaattoestanden, werden vier herhalingen aangelegd.

Alle veldproeven hadden eenzelfde opzet. Behandelingen werden binnen een herhaling geloot.

2.1.2 Keuze fosfaattoestand en standaardisatie bodemeigenschappen

Bij een gegeven bereik in Pw-getal is een bereik aanwezig in P-CaCl₂ en P-Al-getal en vice versa (tabel 4).

Tabel 4

Gemiddelden met minimum en maximumwaarden voor P-CaCl₂ en P-Al-getal voor dekzand en zeeklei voor drie klassen van Pw-getal (Ehlert et al., 2007¹⁴).

Pw-getal, mg P ₂ O ₅ /L	P-CaCl ₂ , mg P/kg		P-Al-getal, mg P ₂ O ₅ /100 g	
	Gemiddelde	Bereik	Gemiddelde	Bereik
0-25	0,5	0 - 5,5	38	4 - 86
25-50	1,3	0,2 - 8,6	44	6 - 131
50-75	3,7	0,3 - 13,4	53	5 - 115

Op basis van het onderzoek van Van Rotterdam Los (2010) is gekozen voor de combinatie van P-CaCl₂ en P-Al-getal als referentie voor intensiteit respectievelijk capaciteit. Significante gewasreacties op bouwland op fosfaatbemesting treden vooral op bij Pw-getal lager dan 25 mg P₂O₅/L (Ehlert et al., 2013). Bij P-Al-getal werd aangesloten bij de indeling volgens de fosfaatgebruiksnormen. Dit leidde tot de groepering van fosfaattoestanden gegeven in tabel 5.

Tabel 5

Klassegrenzen voor indeling van de fosfaattoestand op basis van P-CaCl₂ en P-Al-getal.

Klasse	P-CaCl ₂ , mg P/kg	P-Al-getal, mg P ₂ O ₅ /100g		
		Laag 27	Midden 27-50	Hoog 50
Laag	≤ 0,9	x	x	x
Midden	0,9 - 2	x	x	x
Hoog	> 2	x	x	x

Om invloed van bodemeigenschappen die de fosfaatbeschikbaarheid mede bepalen te beheersen, is een standaardisatie uitgevoerd bij de selectie van voor het onderzoek gewenste landbouwpercelen. De daarbij gehanteerde criteria staan in tabel 6.

¹⁴ Data van tabel 3 zijn afkomstig van de database beschreven door Ehlert et al., 2007.

Tabel 6

Selectiecriteria voor pH, organische stof en lutum voor dekzand en zeeklei

Grondsoort	Organische stof, %	pH 0,01 M CaCl ₂	Lutum (deeltjes < 2 µm)
Dekzand	3 - 4	5 - 6	(*)
Zeeklei	2 - 3	6,7 - 7,6	12 - 22

(*) Bij dekzand wordt lutum in standaard grondonderzoek niet meegenomen. Het aantal gegevens over het lutumgehalte is laag. Beschikbare meetwaarden wijzen op gehalten lager dan 4%.

2.1.3 Definitieve selectie

Op basis van de selectiecriteria van de tabellen 5 en 6 is in de landbouwpraktijk gezocht naar locaties die geschikt zijn om veldproeven uit te voeren. Op basis van databases beschikbaar gesteld door Wageningen UR Unifarm, Wageningen UR Alterra en Blgg AgroXpertus werden potentiële geschikte locaties vastgesteld. Deze databases bevatten informatie over de fosfaattoestand, gegevens van algemeen grondonderzoek (pH, organische stof, lutum) en grondsoort (naast administratieve gegevens). Vervolgens werd het beoogde perceel geschouwd. De criteria van de schouw worden in bijlage 2 gegeven. Als het perceel geschikt werd bevonden voor de aanleg en uitvoering van een veldproef, dan werd de bodem bemonsterd (laag 0-25 cm) en werden P-CaCl₂-SFA¹⁵ (opgelost fosfaat), Pw-getal en P-Al-getal en daarnaast pH-0,01M CaCl₂ en organische stof (gloeiverlies) bepaald. Gegevens van databases en nieuwe meetwaarden kwamen met regelmaat niet overeen omdat een verloop in de fosfaattoestand was opgetreden of dat een andere parameter in waarde (pH, organische stof) afweek of de locatie ongeschikt was voor de aanleg en/of uitvoering van de veldproef. Er werd dan gezocht naar een alternatieve locatie. Dit proces van selectie vroeg aandacht en tijd. De klasse-indeling van P-CaCl₂ bleek voor kleigrond redelijk in de praktijk te traceren te zijn, voor zandgrond bleken de zeer lage waarden slecht te traceren en dat vroeg aandacht. Combinaties van lage intensiteit en hoge capaciteit en hoge intensiteit en lage capaciteit waren zeer lastig te traceren. Een hoge intensiteit met een lage capaciteit werd uiteindelijk niet getraceerd. Gemiddeld genomen was een contrast tussen de verschillende fosfaatklassen aanwezig, dat wil zeggen dat de verschillende combinaties van laag, midden en hoog per intensiteitsmaatstaf of capaciteitsmaat getraceerd waren. Verder bleek een afdoende variatie in intensiteits- en capaciteitsmaatstaven. Een bereik in lage waarden voor P-CaCl₂ met een bereik in P-Al-getal van lage tot hoge waarden werd in de praktijk getraceerd en deze uitgangssituatie vormt een essentiële voorwaarde voor het vaststellen van de reactie van het gewas op fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Er werd daarom tot uitvoering van de veldproeven overgegaan.

Nadat vastgesteld werd dat percelen qua fosfaattoestand en parameters van algemeen grondonderzoek aan opgelegde criteria afdoende beantwoorden, werden de veldproeven aangelegd en werd de bouwvoor van 0-25 cm per herhaling opnieuw bemonsterd en werden fosfaatparameters opnieuw bepaald. Vastgesteld werd dat tussen de herhalingen grote verschillen in intensiteits- en capaciteitsmaatstaven bij een aantal locaties zich voordeden. Daardoor kwamen binnen een veldproef verschillende combinaties van intensiteit en capaciteit voor.

2.1.4 Uitvoering van de veldproeven

De aanleg, zaai en oogst van de snijmaïs werd uitgevoerd door Wageningen UR Unifarm. Met proefveldhouders werd een overeenkomst afgesloten voor gewasverzorging en oogstproducten. De uitvoering volgt voor elke veldproef een identiek protocol.

2.1.4.1 Afmetingen veldproef

Alle veldproeven hadden dezelfde opzet en afmetingen. De ligging van de herhalingen (blokken) was afhankelijk van de geografische mogelijkheden van het landbouwperceel. Bij langwerpige (en relatief smalle) percelen werden de herhalingen 1 en 2 in elkaars verlengde aangelegd en idem dito voor de

¹⁵ In een extract van 0,01 M CaCl₂ komt fosfor voor in opgeloste vorm en in een gesuspendeerde vorm. Fosfor in oplossing wordt bepaald met een kleuringsreactie via Segmented Flow Analysis (SFA), de totale hoeveelheid fosfor in oplossing wordt bepaald met Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS, in deze tekst ICP).

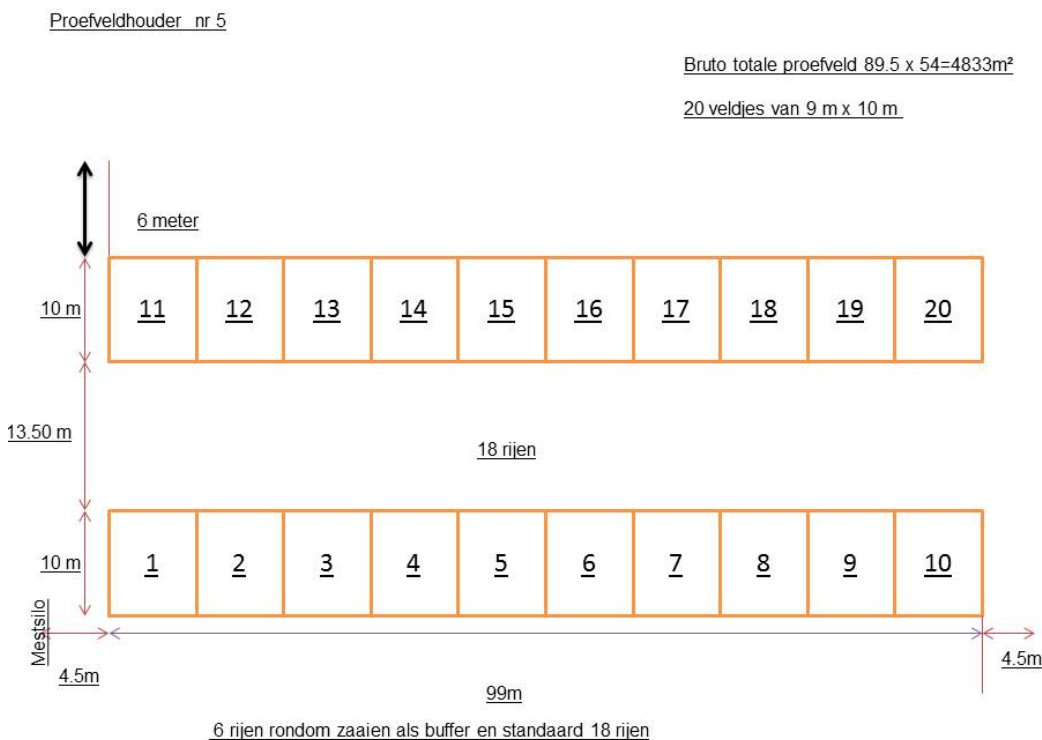
herhalingen 3 en 4 (schema 1). Bij vierkante landbouwpercelen werden de herhalingen achter elkaar aangelegd (schema 2). Per veldproef werden de behandelingen verloot binnen de herhalingen. Tussen de herhalingen werden 18 rijen snijmaïs gezaaid. Elk veldje had een bruto omvang van 9 x 10 m. Per veldje werden twaalf rijen snijmaïs gezaaid.

2.1.4.2 Gewas

Op alle locaties werd snijmaïs (Zea mais L. ras LG32.34) gezaaid. Op alle locaties werd dezelfde zaaiafstand gebruikt. Het zaaizaad is op 8 cm diepte aangebracht. Rijafstand was 75 cm. Gelijktijdig met de zaai werd rijenbemesting toegepast.

2.1.4.3 Bemonstering van de bodem voor de teelt

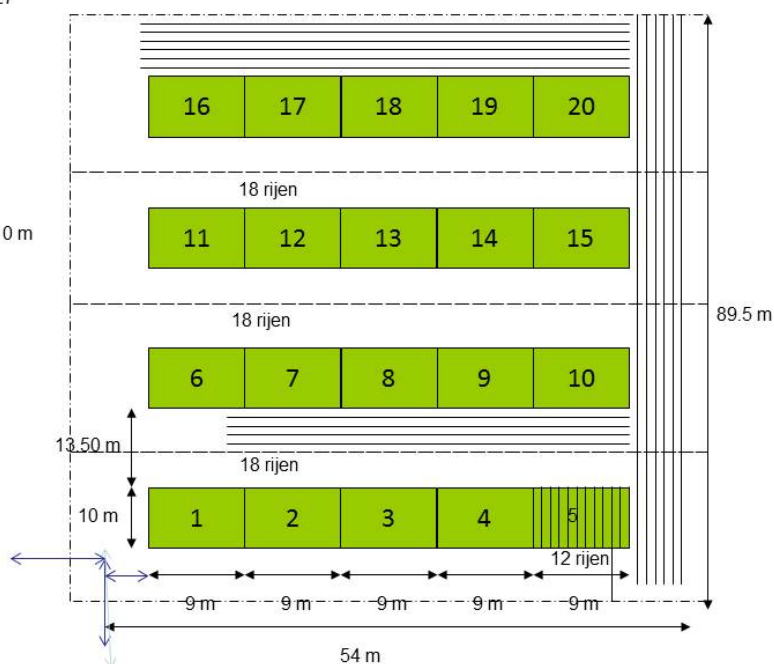
Bij aanleg van de veldproef werden van de bodemlagen 0-30 cm en 30-60 cm bodemonsters gestoken voor de bepaling van de voorraad aan minerale stikstof (1 M KCl). Het aantal steken bedroeg twaalf per veldje. Vervolgens werd per herhaling van de bodemlaag 0-25 cm een grondmonster gestoken voor grondonderzoek op fosfaatparameters. Het aantal steken bedroeg 40 per veldje.



Schema 1 Voorbeeld van ligging van de herhalingen bij langwerpig perceel. De herhaling 2 (veldjesnummers 6-10) ligt in het verlengde van herhaling 1 (veldjesnummers 1-5) en evenzo die van herhaling 4 (veldjesnummers 16-20) ten opzichte van herhaling 3 (veldjesnummers 11-15).

Bruto totale proefveld
89.5 x 54=4833m²

20 veldjes van 9 m x 10 m



Schema 2 Voorbeeld van ligging van de herhalingen bij vierkant perceel. De herhalingen 1 tot en met vier liggen achter elkaar (respectievelijk veldjesnummers 1-5, 6-10, 11-5 en 16-20).

2.1.4.4 Bemesting

De fosfaatbemesting werd uitgevoerd met tripelsuperfosfaat afkomstig van dezelfde batch van productie. De meststof bevatte 41,9% P_2O_5 oplosbaar in neutraal ammonium citraat en 41,0% P_2O_5 oplosbaar in water. Alle fosfaatmeststof is als rijenbemesting toegediend. De meststof werd daarbij op 5 cm afstand van het zaad geplaatst. De precisie van plaatsing en dosering werd vooraf getoetst. Alle giften (tot 180 kg P_2O_5 /ha) konden met deze bemestingsapparatuur geplaatst worden.



Foto 1 De meststof tripelsuperfosfaat werd eerst in een sleuf aangebracht op 8 cm diepte (variatie 7-9 cm).



Foto 2 Daarna werd het zaad van snijmaïs geplaatst op 5 cm diepte (variatie 4,5-6 cm) 5 cm van de in rijen geplaatste tripelsuperfosfaat.

Stikstofbemesting werd gestandaardiseerd tot 200 kg N/ha als kalkammonsalpeter onder in achtmeling van de minerale stikstofvoorraad in de bodemlaag 0-30 cm. De stikstofvoorraden in de bodemlaag 30-60 cm was verwaarloosbaar (< 10 kg/ha).

Kaliumbemesting werd volgens bemestingsadvies waarbij snijmaïs onderdeel is van een gewasrotatie. De bepaling van de kaliumgift berust op meting van de kaliumtoestand van de bodem. Deze bepaling werd gedaan in het grondmonster dat van de hele veldproef was genomen en dat diende voor de selectie van de locatie. In dit monster werd organische stof en pH in 0,01 M CaCl₂ bepaald. Gegevens van lutum waren afkomstig van de databestanden.

2.1.4.5 Oogst

De oogst is uitgevoerd met de proefveldoogstmachine van Wageningen UR Unifarm. Per veldproef zijn alle handelingen uitgevoerd door dezelfde mensen van Unifarm met een identieke taakverdeling. Voor de feitelijke oogst werden de netto veldjes vrijgemaakt. Netto veldjes zijn de delen van de veldjes die daadwerkelijk geoogst werden voor opbrengstbepaling en voor bemonstering van gewas voor chemisch gewasonderzoek. Het netto oogstoppervlak bedroeg zes rijen met een lengte van 10 m (60 m²). Bij één veldproef (Herkingen) was de stand van het gewas heterogeen. Daarom werden hier acht rijen van 10 m geoogst.

Bemonstering van gewas bij de oogst

Het gewas is geoogst in deegrijpheid stadium van de korrel, dit komt overeen met 32-36% drogestof.

Voorafgaande aan de oogst werden per veldje van het netto veldje 20 stengels geoogst voor chemisch gewasonderzoek. De monsternamen vond vlak voor de oogst plaats. Hierbij werd om de tien planten een representatieve plant geoogst. Representatief betekent in dit verband goed passend bij de stand van het gewas.

Het gewicht van deze 20 stengels werd bepaald en betrokken bij de oogst verkregen met de proefveldoogstmachine. Dit gewasmonster is chemisch gewasonderzoek op N en P en drogestof (veldgewas 105°C en 70-105°C) onderzocht. De stengels voor het chemisch gewasonderzoek zijn daarbij gewassen om ze te ontdoen van aanhangende grond, gedroogd en vervolgens gehakseld conform voorschriften voor voorbehandelingen van gewasmonsters. Het gewasmonstermateriaal werd tot voorbehandeling gekoeld bewaard bij 4°C.

De oogst werd met de proefveldoogstmachine uitgevoerd en werd de opbrengst bepaald. De snijmaïs werd hierbij gehakseld. Van het gehakselde materiaal werd het drogestofgehalte bij 105°C bepaald.



Foto 3 Bemonstering van de oogst voor chemisch gewasonderzoek. Uit de continue stroom gehakselde snijmaïs werden submonsters genomen en verzameld totdat een verzamelgewicht van circa 2 kg verkregen was.

Bemonstering van de bodem bij de oogst

Na de oogst werd de bouwvoor van 0-25 cm opnieuw bemonsterd. Sleuven, geïndiceerd door de stoppels snijmaïs, werden gemeden om bemonstering van kunstmeststofresten te voorkomen. Alle bemonsteringen werden uitgevoerd door dezelfde monsterneming. Het aantal steken per veldje bedroeg 40.

2.1.5 Chemische analyse van grond-, gewas en mestmonsters

Alle grond- en gewasmonsters werden geanalyseerd door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) van Wageningen UR. Dit laboratorium is geaccrediteerd door de Raad van Accreditatie (L 342). CBLB voerde de volgende analyses na standaard voorbehandeling van grond- en gewasmonsters (Houba et al., 1997a, 1997b en Temminghoff en Houba, 2004).

Grond

- Minerale stikstof, 1:2,5 (w/v) extractie met 1 M KCl, één uur schudden.
- pH-CaCl₂, 1:10 (w/v) extractie met 0,01 M CaCl₂, twee uur schudden.
- Organische stof, bepaling van het gloeiverlies bij 550°C.
- P-CaCl₂ (totaal P met ICP en ortho-P (opgelost) met SFA), extractie als pH waarna bepaling van fosfaat in het extract volgde.
- K-CaCl₂ extractie als pH en P-CaCl₂ waarna bepaling van het kaliumgehalte in het extract volgde.
- Pw-getal, 1:60 (w/v) extractie met water, 22 uur incubatie en één uur, alle handelingen bij 20°C, tevens werd het gewicht van het schepje grond van 1,2 cm³ bepaald.
- P-Al-getal, 1:20 (w/v) extractie met 0,1 M ammonium lactaat – 0,2 M azijnzuur bij pH 3,75, vier uur schudden bij 20°C.
- Pox, Fe-ox en Alox, 1:20 (w/v) extractie met ammonium oxalaat – oxaalzuur bij 20°C gedurende twee uur. In het gefilterde extract wordt fosfor, ijzer en aluminium bepaald (ICP-AES).
- Pi, extractie van fosfaat uit grond met behulp van een met ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapiertje in zeven opeenvolgende tijdstappen vervangen: 4, 8, 24, 48, 72, 144 en 192 uur (respectievelijk Pi4, Pi8, Pi24, Pi48, Pi72, Pi144 en Pi192).
- P-Olsen, 1:20 (w/v) extractie met natriumcarbonaat (0,5 M NaHCO₃) bij pH 8,5.

- P-Bray, 1:7 (w/v) extractie met 0,03 M ammonium fluoride (NH₄F) en 0,025 M zoutzuur (HCl), één uur schudtijd.
- P-Mehlich3, 1:10 (w/v) extractie met een mengsel van 0,2 M azijnzuur, 0,25 M NH₄NO₃, 0,015 M NH₄F, 0,013 M HNO₃, 0,001 M EDTA, 5 minuten extractieduur bij 24-27°C.

De methoden voor grondonderzoek zijn beschreven door Houba et al., 1997a, 1997b en 2000. P-Mehlich3 is beschreven door Kovar en Pierzynski (2009).

Als representanten voor een intensiteitsmaatstaf (I) gelden P-CaCl₂-SFA, P-CaCl₂-ICP, Pw-getal en fracties Pi.

Representanten voor een capaciteitsmaatstaf (C) zijn P-Al-getal, Pox, P-Mehlich3, P-Olsen en P-Bray. Berekening van de fosfaatverzadigingsgraad (Pox/(Alox + Fe-ox)) volgt Van der Zee (1999a) en de Ratio C/I volgt Van Rotterdam (2012).

Gewas

Het gewas is geanalyseerd op:

- Drogestof vers-105°C
- Drogestof 70-105°C
- N-totaal, na destructie met H₂SO₄-H₂O₂-Se
- P-totaal, na destructie met H₂SO₄-H₂O₂-Se

Meststof

Het monster tripelsuperfosfaat (handelsproduct) werd geanalyseerd door LUFA Nord-West. Dit laboratorium is geaccrediteerd door het Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) onder D-PL-14165-01-00 (methode ISO 11885).

2.1.6 Methode van toetsing, bewerking en statistische procedures

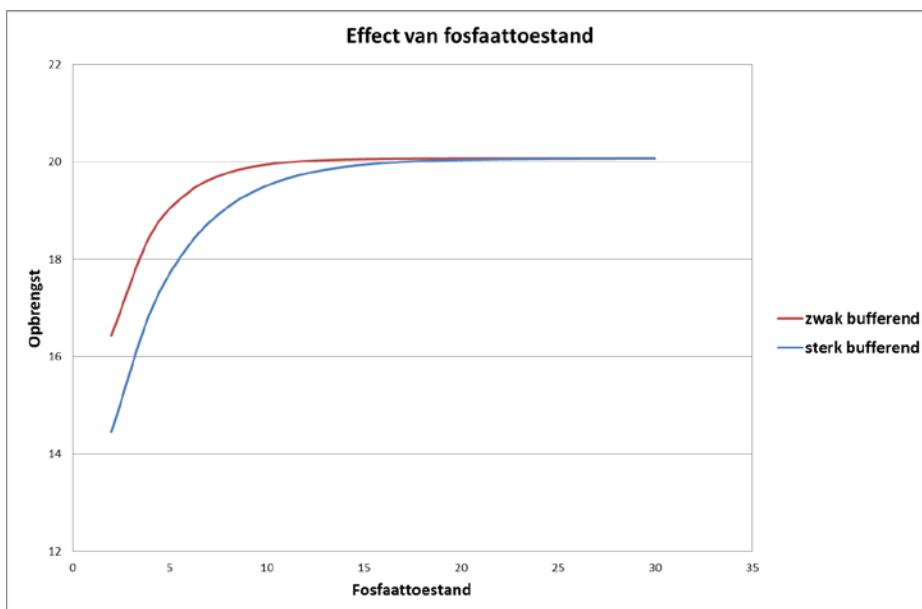
2.1.6.1 Methode van toetsing met formulering van werkhypotheses bij statistische analyse

Als het bufferend vermogen betrokken wordt bij de beoordeling van de fosfaattoestand van de bodem dan wordt verwacht dat (§ 1.4):

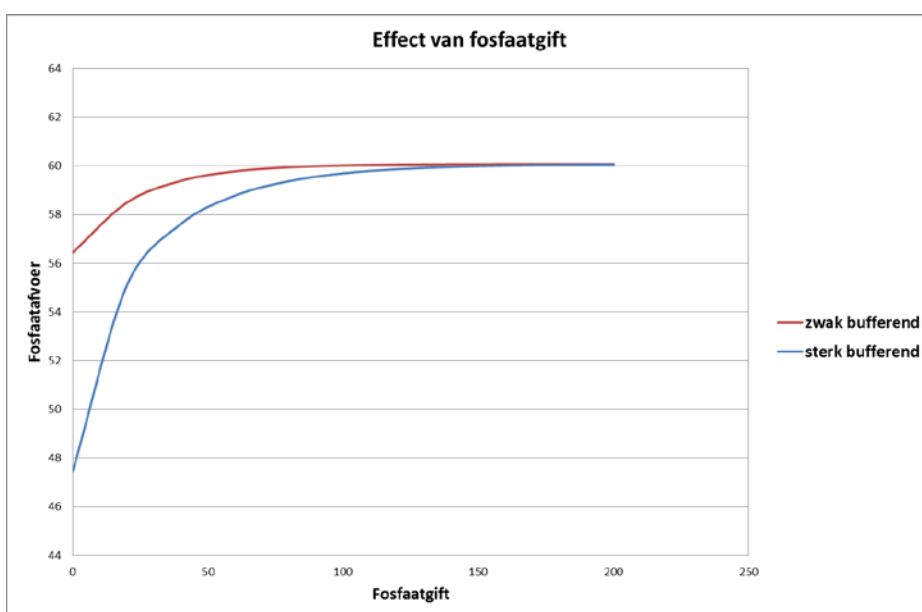
1. Meststoffosfaat efficiënter wordt ingezet.
2. Meststoffosfaat efficiënter wordt benut.
3. Beschikbare voorraden bodemfosfaat efficiënter kunnen worden gebruikt;
4. Bodems die fosfaat lekken worden in beeld gebracht waardoor gericht gestuurd kan worden op beheersing van onwenselijk geacht te hoge fosfaat weglekking (vooral uitspoeling).

In deze studie wordt een efficiëntere inzet van meststoffosfaat bepaald door een hogere (drogestof)opbrengst per kg toegediende meststoffosfaat gegeven een bepaalde fosfaattoestand. Een efficiëntere benutting bij een efficiëntere inzet gaat gepaard met een hogere fosfaatopname per kg toegediend fosfaat. Als het bufferend vermogen de efficiëntie van meststoffosfaat verbetert, dan komt dat tot uitdrukking doordat bij een gelijke fosfaatgift bij eenzelfde fosfaattoestand een zwak bufferende grond het gewas meer fosfaat aanbiedt hetgeen bij suboptimale omstandigheden leidt tot een verhoging van de opbrengst ten opzichte van een gewas onder exact dezelfde condities bij een sterk bufferende grond.

Deze verwachting is grafisch vorm gegeven in figuren 1 en 2. Een belangrijke conditie bij de figuren is dat verondersteld wordt dat andere nutriënten, pH en andere bodemvruchtbaarheidsfactoren optimaal ingesteld zijn en geen invloed uitoefenen op de gewasreactie. Onder deze omstandigheden zal fosfaatbemesting en fosfaattoestand de gewasreactie (opbrengst en fosfaatopname) kunnen verhogen. Overige bemestingsfactoren hebben dan geen effect. Bij lage fosfaattoestand en/of bemesting produceert het gewas suboptimaal. Door verhoging van fosfaattoestand en/of fosfaatbemesting neemt de opbrengst of de fosfaatopname toe en bereikt tenslotte onder optimale omstandigheden een bepaald niveau (figuur 1 voor opbrengst, figuur 2 voor fosfaatafvoer).



Figuur 1 Gegeven eenzelfde fosfaatgift wordt verwacht dat bij eenzelfde fosfaattoestand een zwak bufferende grond het gewas meer fosfaat aanbiedt hetgeen bij suboptimale omstandigheden leidt tot een verhoging van de opbrengst in vergelijking tot de gewasreactie onder dezelfde condities voor een sterk bufferende grond.



Figuur 2 Gegeven eenzelfde fosfaattoestand wordt verwacht dat bij eenzelfde fosfaatgift een zwak bufferende grond het gewas meer fosfaat aanbiedt hetgeen bij suboptimale omstandigheden leidt tot een verhoging van de fosfaatafvoer in vergelijking tot de gewasreactie onder dezelfde condities voor een sterk bufferende grond. In deze studie is fosfaatafvoer in eenzelfde groei- en oogststadium als afgeleide maatstaf voor fosfaatopname genomen.

Het fosfaat-bufferend vermogen oefent dus invloed uit op de kromming van de curve onder omstandigheden waarin het gewas suboptimaal voorzien is met fosfaat. Bij een combinatie van fosfaattoestand en fosfaatgift waarbij:

1. aan de dagelijkse vraag van het gewas naar fosfaat wordt voldaan en
2. de bodem in staat is om optimaal fosfaat aan te bieden voor het doorlopen van alle fase van de gewasontwikkeling

oefent het bufferend vermogen geen effect meer uit op de drogestof-productie. De fosfaatopname kan door luxe-consumptie¹⁶ nog wel stijgen maar uiteindelijk is het aanbod aan fosfaat aan het gewas dusdanig groot dat een gewas-reactie niet meer optreedt en eenzelfde limiet wordt bereikt. Ook bij luxe-consumptie volgt de gewas-reactie qua fosfaatafvoer het geschetste beeld van figuur 2.

De werkhypothese die in deze studie wordt onderzocht is dat door het bufferend vermogen voor fosfaat van de bodem te betrekken bij het grondonderzoek op fosfaat meststoffosfaat efficiënter kan worden ingezet en benut. Een efficiëntere inzet leidt gegeven een fosfaatgift en gegeven een fosfaattoestand tot een hogere opbrengst en een hogere fosfaatopname.

Het gewas neemt fosfaat op uit de bodemoplossing. De mate waarin de bodem het gehalte in de bodemoplossing op peil weet te houden (weet te bufferen) en de periode waarover de bodem kan na leveren, bepalen het effect van de fosfaattoestand en het effect van bemesting op de gewasreactie. De snelheid waarmee de bodem fosfaat kan naleveren wordt in deze studie intensiteit genoemd, de totale voorraad bodemfosfaat die gewas-beschikbaar is, wordt in deze studie capaciteit genoemd. Intensiteit (I) en capaciteit (C) bepalen samen het effect van de fosfaattoestand. Indien een verandering in C niet leidt tot een verandering in I, buffert de bodem.

Afgeleiden voor bufferend vermogen zijn Ratio (naast een intensiteitsmaatstaf) zoals voorgesteld door Van Rotterdam Los (2010, 2012) en de fosfaatverzadingsgraad (Van der Zee, 1990). Naar mate de Ratio (C/I) toeneemt, wordt het bufferend vermogen hoger, naarmate de fosfaatverzadingsgraad hoger wordt, neemt het bufferend vermogen af.

De tweede werkhypothese is dat bodemsoort het effect van het fosfaat-bufferend vermogen op de gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatgift mede bepaald.

In de praktijk is de aanname dat uitsluitend fosfaattoestand en/of de fosfaatgift de opbrengstreactie bepaald een sterke vereenvoudiging. Klimaat, bodemeigenschappen (fysische, chemische en biologische), gewaseigenschappen (fysiologische, genetische) zijn bepalender voor de gewasreactie dan de factor fosfaat. Bij statistische analyse dienen de invloeden van andere factoren zoveel mogelijk beheerst te worden maar juist omdat andere factoren domineren, vormt beheersing van door andere factoren ingebracht variatie een belangrijk aandachtspunt bij opzet, uitvoering en analyse van meetgegevens.

De bodemchemische eigenschappen verschillen per bodemsoort. In deze studie is verkennend onderzocht of bodemsoort een factor is waarmee rekening gehouden dient te worden bij de interpretatie van effecten van het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem.

2.1.6.2 Bewerking

Standaardisatie

Door droogte kiemde het zaad op een aantal veldproeven op zandgrond traag. In het algemeen leverde dat echter geen uitval van planten op. Wel kwamen zonder aanwijsbare oorzaak rijen voor die over het geheel een slechtere stand vertoonden. Bij kleigrond heeft droogte niet geleid tot vertraagde kieming. Wel waren er in deze ontwikkelingsfase incidentele zware regenbuien die pleksgewijs op veldproeven op kleigrond tot verslemping leidden. Die verslemping leidde in een aantal gevallen tot een slechtere opkomst. Verkennende statistische analyses hebben uitgewezen dat een deel van de aanwezige variantie in de meetgegevens van drogestof en fosfaatopname toegewezen kon worden aan een verschillend aantal planten. Daarom is ook een standaardisatie uitgevoerd naar een gelijk aantal planten. Meetgegevens werden per veldje omgerekend naar 100.000 planten/ha. Zowel feitelijke

¹⁶ Gewassen kunnen in staat zijn om meer fosfaat op te nemen dan nodig is voor de drogestof-productie. Fosfaatopname zonder dat daar een vermeerdering van de drogestof-productie tegenover staat, wordt ook wel luxe-consumptie genoemd. In deze studie wordt ervan uitgegaan dat de luxe-consumptie eindig is. Landbouwgewassen hebben doorgaans namelijk een beschermingsmechanisme tegen een opname van een overmaat omdat die leidt tot fytotoxiciteit. Het optreden van dergelijke vormen van fytotoxiciteit ligt buiten het bereik van een verantwoord landbouwkundig gebruik van fosfaat.

meetgegevens als naar 100.000 planten gestandaardiseerde opbrengst en fosfaatafvoer worden gerapporteerd.

Statistische analyse

In de statistische analyse moet rekening worden gehouden met de proefopzet, achttien veldproeven bestaande uit vier herhalingen waarbinnen vijf fosfaatgiften zijn verloot over de veldjes. Op het niveau van de veldproeven is de grondsoort bekend en de kwalitatieve indeling van intensiteit en capaciteit (laag, midden, hoog). Naast deze kwalitatieve indeling zijn verschillende maten voor intensiteit en capaciteit ook gemeten per herhaling per veldproef. Daarmee is de proefopzet feitelijk een zogenoemde splitplot-proefopzet waarbij verschillende factoren een rol spelen op verschillende niveau's van experimentele eenheden. Grondsoort kan alleen variatie verklaren tussen de veldproeven, intensiteit en capaciteit kunnen alleen variatie verklaren op het niveau van herhalingen en de bemesting kan variatie verklaren op het niveau van veldjes. In de analyse moet de parameter van iedere variabele op het goede niveau worden geschat en getoetst. Dit kan volgens de methode van de grootste aannemelijkheid (*maximum likelihood*) met behulp van de Genstat procedure REstricted Maximum Likelihood (REML). In een REML-model wordt in het random deel rekening gehouden met meerdere bronnen van variatie in de data en in het *fixed* deel staan de verklarende variabelen.

Fixed : Constant + Grondsoort + Intensiteit + Capaciteit + Bemesting + Intensiteit x Capaciteit + Intensiteit x Bemesting + Capaciteit x Bemesting + Intensiteit x Capaciteit x Bemesting (1)

Random : Veldproef + Veldproef.herhaling (2)

In deze studie is ook onderzocht of het betrekken van een verhouding tussen de capaciteit en intensiteit naast een intensiteitsmaatstaf leidt tot een hogere efficiëntie en benutting van fosfaatmeststof conform het concept voorgesteld door Van Rotterdam (2010) volgens:

Fixed: Constant + Grondsoort + Intensiteit + Ratio + Bemesting + Ratio x Bemesting (3)

Hierin is

Ratio = Capaciteit/Intensiteit (4)

De interactie Ratio x Bemesting is toegevoegd om de werkhypothese te toetsen dat rekening houdend met het bufferend vermogen fosfaatbemesting efficiënter kan worden toegepast.

Het randomdeel is conform vergelijking (2).

Voor de betekenis van Ratio en de inhoudelijke achtergronden wordt verwezen naar Van Rotterdam (2010, 2012).

Vergelijking (3) is gemodificeerd door Ratio te vervangen door FosfaatVerzadigingsGraad (FVG). De betekenis van Ratio en FVG verschilt. Naarmate de Ratio hoger wordt, neemt het vermogen van de bodem om de intensiteit constant te houden toe. Daarentegen neemt bij toename van de FVG het vermogen van de bodem om de intensiteit te handhaven af.

In vergelijking (3) kunnen niet alle interacties van vergelijking (1) opgenomen worden. Zo is de interactie tussen Intensiteit x Ratio gelijk aan de Capaciteit¹⁷ en de drieweg interactie tussen Intensiteit x Ratio x Bemesting = Capaciteit x Bemesting (zie voetnoot). De interactie Intensiteit x Bemesting bleek veelvuldig niet significant te zijn en werd om deze reden niet opgenomen in vergelijking (3). De betekenis van Ratio voor de verhoging van de efficiëntie en benutting van fosfaatmest is onderzocht voor P-CaCl₂ (SFA en ICP), Pw-getal, P-Al-getal en Pox. Andere parameters

¹⁷ Intensiteit * Capaciteit/Intensiteit = Capaciteit

voor grondonderzoek op fosfaat werden niet bij dit deel van de analyse betrokken omdat inmiddels vastgesteld was dat P-Olsen, P-Bray en P-Mehlich3 als capaciteitsmaatstaf t.o.v. het P-Al-getal niet tot een wezenlijke verbetering leidt¹⁸.

In het *fixed* deel werden verschillende combinaties van maatstaven voor intensiteit en capaciteit opgenomen.

Bemesting is de fosfaatgift in kg P₂O₅/ha.

De werkhypothese vraagt toetsing van het effect van het bufferend vermogen door een combinatie van een intensiteits- en capaciteitsmaatstaf op opbrengst en fosfaatafvoer. In deze studie wordt onderzocht of het gebruik van een combinatie van een intensiteits- en capaciteitsmaatstaf als maat voor het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem bij de interpretatie van grondonderzoek op fosfaat betrokken moet worden om de fosfaatgift efficiënter in te kunnen zetten. In vergelijking (1) gaat het om de drieweg interactie intensiteit* capaciteit*bemesting omdat de werkhypothese de relatie onderzoekt van fosfaatbemesting op opbrengst of fosfaatafvoer en de afhankelijkheid ervan van een intensiteitsmaatstaf of een capaciteitsmaatstaf. In vergelijking (2) wordt deze afhankelijkheid weergegeven in de tweeweg interactie ratio*bemesting of FVG*bemesting.

De werkhypothese aangaande het grondsoorteffect wordt in dit onderzoek verkend door vast te stellen of er een verschil is qua niveau (opbrengst of fosfaatafvoer).

De selectie van de veldproeven berustte op P-CaCl₂ en P-Al-getal. Na selectie en aanleg van de veldproeven kwamen resultaten van chemisch grondonderzoek op andere fosfaatbepalingen beschikbaar. Daarbij werd vastgesteld dat een veldproef op zandgrond geselecteerd voor de combinatie hoge intensiteit en hoge capaciteit heel hoge waarden voor andere fosfaatbepalingen heeft. Het bereik sloot daardoor niet aan. Omdat deze veldproef, naast twee andere veldproeven op zandgrond tevens droogteschade heeft opgelopen, waren de opbrengsten en fosfaatafvoeren qua niveau relatief laag. De veldproef had grote invloed op de resultaten van statistische analyse ondanks correctie voor locatie. In deze studie worden daarom resultaten van statistische analyse gegeven met data van deze veldproef en zonder data van deze veldproef¹⁹. De data zonder gegevens van deze veldproef worden hierna aangeduid met deelverzameling. Op zandgrond hadden ook de veldproeven met de combinatie hoge intensiteit en lage capaciteit, lage intensiteit en middelbare capaciteit en middelbare intensiteit en lage capaciteit een periode met droogte tijdens de kieming.

In een andere benadering van de analyse van de data is onderzocht of de relatie tussen bemesting en drogestofproductie of de fosfaatafvoer per veldproef per herhaling zou kunnen worden beschreven door een lineaire of exponentiële vergelijking. Als de relatie goed vast te stellen is, zou de fosfaatgift berekend kunnen worden die nodig is om de fosfaattoestand (Intensiteit en Capaciteit) op eenzelfde uitgangstoestand te kunnen handhaven. Dit werd bepaald per veldproef per herhaling waarna de het effect van grondsoort, intensiteit en capaciteit hierop werd onderzocht. De data bleken dit niet toe te laten. Deze benadering wordt daarom niet verder uitgewerkt. De opzet van de veldproeven was erop gericht om het effect van fosfaatbemesting vast te stellen voor bepaalde combinaties van een intensiteits- en capaciteitsmaatstaf. Dit effect was generiek gezien per veldproef niet vast te stellen. Een integrale bewerking waarbij een exponentieel model met meerdere verklarende variabelen wordt

¹⁸ Analyse van P-Olsen, P-Bray en P-Mehlich3 leverde 24 statistische modellen:

In geen van de modellen was de interactie met Bemesting significant met uitzondering van P-Olsen bij de niet gecorrigeerde drogestofopbrengst. Bij de gecorrigeerde drogestofopbrengst was de interactie niet significant. Dit resultaat wordt geïnterpreteerd als een grondsoort effect.

In twee modellen was P-Mehlich3 als hoofdeffect significant bij niet voor het aantal planten gecorrigeerde drogestofopbrengst of fosforafvoer. Na correctie was het hoofdeffect niet significant.

Wel is het zo dat in de meeste modellen de interactie tussen een intensiteitsmaatstaf en P-Olsen, P-Mehlich3 en P-Bray als een capaciteitsmaatstaf significant was. Hierin verschillen deze parameters niet van P-Al-getal als capaciteitsmaatstaf.

¹⁹ Bij de berekening van de Ratio's tussen een capaciteitsmaatstaf en een intensiteitsmaatstaf was er geen sprake van uitbijters. Statistische analyse met de Ratio's berusten op alle data.

gefit, past niet bij de structuur van de data en zal daarmee leiden tot foutieve schattingen van de modelparameters met te kleine standaardfouten.

De analyses zijn uitgevoerd met het statistisch pakket Genstat 15th Edition (<http://www.vsni.co.uk/software/genstat>).

2.2 Consultatie van laboratorium- en landbouwpraktijk

Onder laboratoria die grondonderzoek voor de landbouwpraktijk uitvoeren, is een enquête gehouden over de huidige methoden van fysisch-chemisch grondonderzoek en hun ervaringen met de (in-huis) methoden. Een aantal respondenten wezen op de vertrouwelijke aard van de verstrekte informatie. In deze rapportage wordt de verstrekte informatie gegeneraliseerd en anoniem gegeven.

2.3 Frequenties intensiteit en capaciteit

Onderzocht werd of de combinaties van intensiteit en capaciteit frequent verschillen. Daartoe zijn vier databases (bestanden 1 t/m 4) geraadpleegd. Bestand 1 is de database van het onderzoek gerapporteerd door Ehlert et al. (2007). Bestand 2 is afkomstig van het project fosfaatverliesnormen en heeft betrekking op grasland. De data zijn ter beschikking gesteld door dr. ir. C. van der Salm. Bestand 3 geldt voor het seizoen 2008-2009 en is beschikbaar gesteld door ir. A. Reijneveld van Blgg AgroXpertus en bestand 4 is gerapporteerd door Reijneveld en Oenema (2012).

2.4 Afbakening

Deze studie gaat niet in op enig effect van toepassing van het fosfaat-bufferend vermogen op de mate van fosfaatuitspoeling.

De studie dient niet een onderbouwing van een bemestingsadvies.

3 Resultaten

3.1 Selectie van geschikte locaties

Het selecteren van geschikte locaties die beantwoorden aan een onderscheidenlijke indeling van fosfaattoestanden naar intensiteit en capaciteit en tegelijk beantwoorden aan vereisten voor uitvoering van een veldproef en in 2011 een teelt van snijmaïs hadden, heeft veel aandacht gevraagd. Gegevens van grondonderzoek in databestanden, die soms vier jaar oud waren, werden met enige regelmaat niet bevestigd bij herbemonstering en analyses. Door bemesting of andere oorzaken was er een verloop in een fosfaattoestand opgetreden (hetzij P-CaCl₂, hetzij P-Al-getal). Qua fosfaattoestanden, potentieel zeer geschikte percelen bleken daarnaast met enige regelmaat niet te beantwoorden aan vereisten voor de uitvoering van een veldproef (te kleine percelen, afgedekte vuilstort, verschillen in bouwvoordikte binnen een perceel, storende bodemlagen, compactie/slemp of niet tot overeenstemming kunnen geraken met de beoogde proefveldhouder). Het aantal percelen dat aan de gewenste proefopzet kon voldoen was beperkt (tabellen 7 en 8). Combinaties van hoge waarden voor P-CaCl₂ bij lage waarden voor het P-Al-getal werden niet getraceerd en idem voor combinaties met lage waarden voor P-CaCl₂ en hoge waarden voor P-Al-getal. Tabellen 7 en 8 vatten de meetgegevens samen van de herhalingen van de veldproeven. Binnen een veldproef bleken tussen de herhalingen²⁰ - soms zeer - grote verschillen in P-CaCl₂ of P-Al-getal aanwezig. Echter herhalingen zijn er om verschillen op te vangen. Met name bij lagere waarden P-CaCl₂ werd een groot bereik in P-Al-getal gevonden waardoor binnen een veldproef verschillende combinaties van intensiteit en capaciteit aanwezig waren (figuren 1 en 2).

De locaties voor de veldproeven lagen verspreid over Nederland. De zandlocaties lagen bij Geesteren (Gld), Haaksbergen, Haps, Hengelo (Gld), Meddo, Ruurlo en Wageningen (drie verschillende kavels op verschillende locaties). De kleilocaties lagen bij Ens, Herkingen, Ouddorp, Rockanje, Sint Jacobaparochie, Sleeuwijk, Spijkenisse, Wageningen en Wehe den Hoorn.

²⁰ Herhalingen zijn er om verschillen op te vangen.

Tabel 7

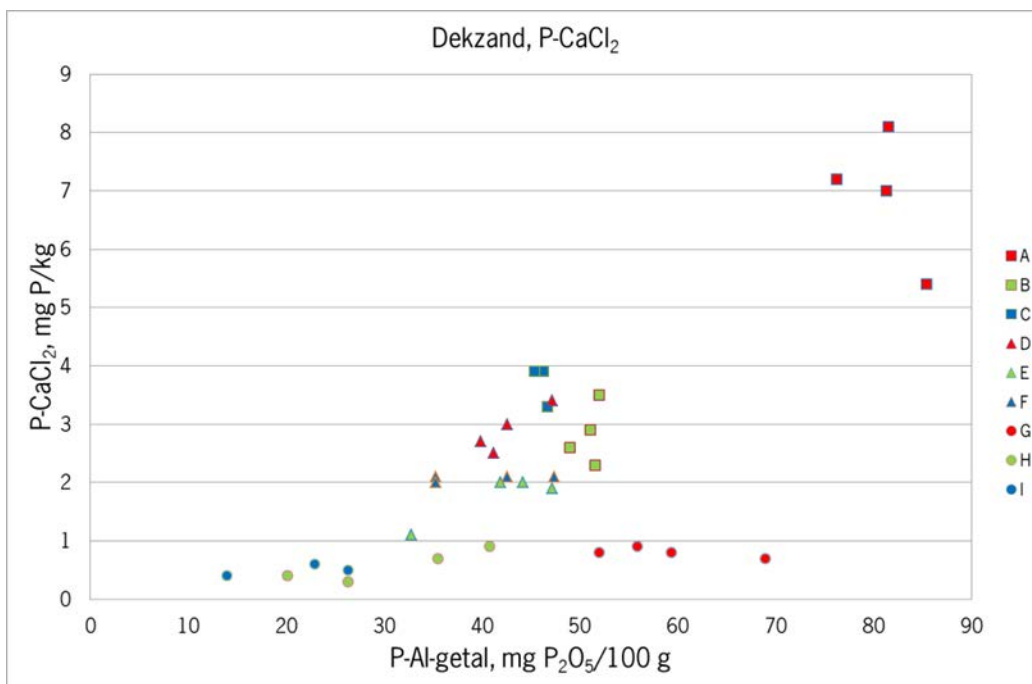
Gemiddelde, mediaan, minimum, maximum, standaardafwijking en aantal waarnemingen van P-CaCl₂-SFA (mg P/kg) en verdeeld over negen klassen van P-Al-getal (mg P₂O₅/100 g) voor de veldproeven op zeeklei (klei) en dekzand (zand). Gegevens berusten op meetgegevens voor iedere herhaling.

Grondsoort	P-Al-getal Klasse	P-CaCl ₂ -SFA					
		Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
Klei	< 20	0,5	0,5	0,2	0,7	0,35	2
	20-30	0,8	0,9	0,3	1,2	0,39	4
	30-35	0,6	0,5	0,4	1,0	0,32	3
	35-40	1,5	1,7	0,9	1,9	0,53	3
	40-45	1,2	1,1	0,7	1,8	0,48	4
	45-50	1,4	1,0	0,6	2,9	0,88	9
	50-55	1,5	1,0	0,7	3,4	1,00	7
	55-60	1,9	1,3	1,1	3,4	1,27	3
	> 60	1,2	1,2	1,2	1,2	*	1
Zand	< 20	0,4	0,4	0,4	0,4	0,00	2
	20-30	0,5	0,5	0,3	0,6	0,13	4
	30-35	1,1	1,1	1,1	1,1	*	1
	35-40	1,9	2,1	0,7	2,7	0,84	4
	40-45	2,1	2,1	0,9	3,0	0,70	6
	45-50	3,1	3,3	1,9	3,9	0,77	8
	50-55	2,4	2,6	0,8	3,5	1,16	4
	55-60	0,9	0,9	0,8	0,9	0,07	2
	> 60	5,7	7,0	0,7	8,1	2,95	5
Alle grondsoorten	< 20	0,4	0,4	0,2	0,7	0,21	4
	20-30	0,6	0,6	0,3	1,2	0,33	8
	30-35	0,8	0,8	0,4	1,1	0,35	4
	35-40	1,7	1,9	0,7	2,7	0,70	7
	40-45	1,7	1,9	0,7	3,0	0,76	10
	45-50	2,2	2,1	0,6	3,9	1,18	17
	50-55	1,8	1,9	0,7	3,5	1,09	11
	55-60	1,5	1,1	0,8	3,4	1,08	5
	> 60	4,9	6,2	0,7	8,1	3,21	6

Tabel 8

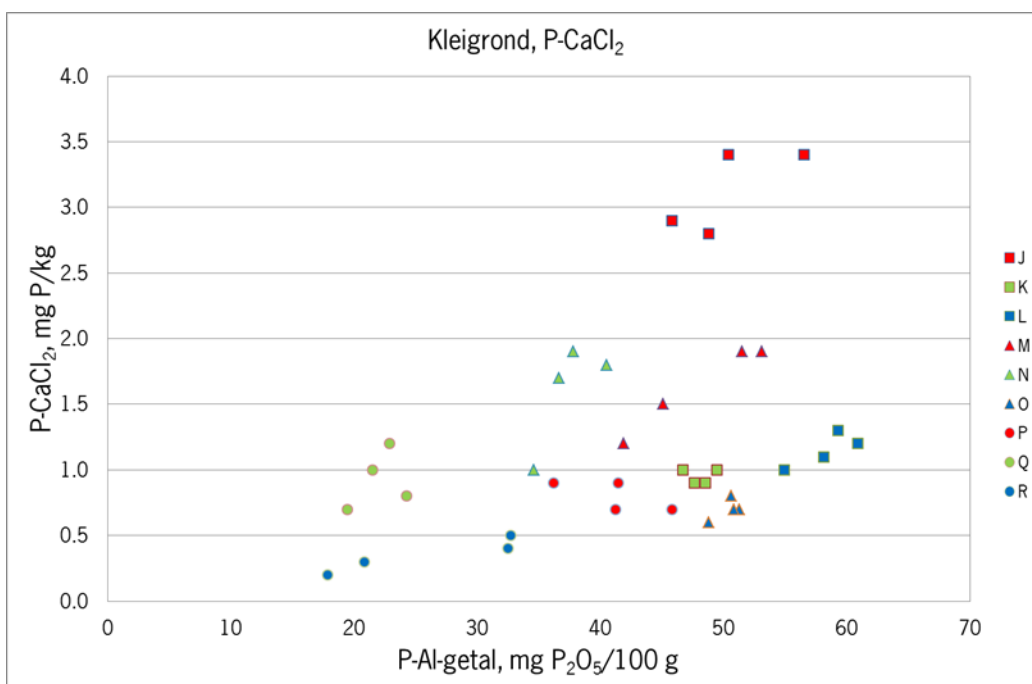
Gemiddelde, mediaan, minimum, maximum, standaardafwijking en aantal waarnemingen van P-Al-getal (mg P₂O₅/100 g) en verdeeld over negen klassen van P-CaCl₂-SFA (mg P/kg) voor de veldproeven op zeeklei (klei) en dekzand (zand). Gegevens berusten op meetgegevens voor iedere herhaling.

Grondsoort	P-CaCl ₂ Klasse	P-Al-getal Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Aantal
Klei	< 0,5	24	21	18	33	7,7	3
	0,5-1,0	41	46	19	51	10,5	13
	1,0-1,5	45	48	22	61	14,6	10
	1,5-2,0	44	43	37	53	7,0	6
	2,0-2,5	*	*	*	*	*	0
	2,5-3,0	47	47	46	49	2,1	2
	3,0-3,5	53	53	50	57	4,4	2
	3,5-4,0	*	*	*	*	*	0
	>4,0	*	*	*	*	*	0
Zand	< 0,5	19	17	14	26	5,9	4
	0,5-1,0	45	46	23	69	16,4	8
	1,0-1,5	33	33	33	33	*	1
	1,5-2,0	47	47	47	47	*	1
	2,0-2,5	43	43	35	52	6,0	7
	2,5-3,0	45	45	40	51	5,6	4
	3,0-3,5	46	47	43	47	2,1	4
	3,5-4,0	48	46	45	52	3,6	3
	>4,0	81	81	76	85	3,8	4
Alle grondsoorten	< 0,5	20	21	14	33	6,7	7
	0,5-1,0	46	43	19	69	12,8	21
	1,0-1,5	47	44	22	61	14,3	11
	1,5-2,0	45	45	37	53	6,5	7
	2,0-2,5	43	43	35	52	6,0	7
	2,5-3,0	47	46	40	51	4,5	6
	3,0-3,5	47	48	43	57	4,7	6
	3,5-4,0	46	48	45	52	3,6	3
	>4,0	81	81	76	85	3,8	4



Figuur 1 Verdeling van de fosfaattoestand $P\text{-CaCl}_2\text{-SFA}$ ten opzichte van $P\text{-Al}$ -getal bij dekzand. A t/m I zijn verschillende locaties.

Bij lage waarden²¹ van $P\text{-CaCl}_2$ komen grotere verschillen in $P\text{-Al}$ -getal voor dan bij hogere waarden.



Figuur 2 Verdeling van de fosfaattoestand $P\text{-CaCl}_2$ ten opzichte van $P\text{-Al}$ -getal bij zeeklei. J t/m R zijn verschillende locaties. Op zeeklei is het bereik in $P\text{-CaCl}_2$ kleiner ($\leq 3,4$ mg P/kg) dan bij dekzand ($\leq 8,1$ mg P/kg).

²¹ Elke meetwaarde berust op een bemonstering van elke herhaling met 40 steken.

3.2 Indicatoren voor intensiteit en capaciteit

Het fosfaat-bufferend vermogen wordt afgeleid van intensiteits- en capaciteitsmaatstaven voor bodemfosfaat. Een groot aantal methoden worden toegepast om de beschikbaarheid van bodemfosfaat voor het gewas vast te stellen (bijlage 1). Een aantal perspectief biedende methoden om onderscheid tussen verschillen in beschikbaarheid van bodemfosfaat voor gewas of het in stand houden van bodemvruchtbaarheid werd geselecteerd. Bodemchemische en bodemfysische concepten hanteren definities voor de voorraad reversibel gebonden fosfaat en (quasi)-irreversibel gebonden fosfaat (Koopmans et al., 2005; Van Rotterdam-Los, 2010). Daarbij wordt reversibel gebonden fosfaat bepaald met een - herhaalde extractie - met ijzerhydroxide geïmpregneerd filterpapiertje (Pi). Door deze sequentiële extracties uit te voeren wordt de totale reversibel aanwezig veronderstelde bodemvoorraad bepaald. In dit onderzoek werden daartoe zeven maal een op elkaar volgende extractie uitgevoerd (Pi4, Pi8, Pi24, P48, Pi72, Pi144, Pi192 met 4 t/m 192 tijdsduur in uren). Pi wordt verondersteld een maatstaf te zijn voor het direct (momentaan) naleveren van bodemfosfaat aan het gewas.

Quasi-irreversibel gebonden fosfaat wordt bepaald met een zure extractie van ammoniumoxalaat-oxaalzuur (Pox). Pox is een maatstaf voor de potentie waarmee bodemfosfaat gewasbeschikbaar (of beschikbaar voor uitspoeling) is. Pox is een maatstaf voor de nalevering op langere termijn.

Pi en Pox zijn onderzoeksmethoden maar hebben voor bemestingsdoeleinden (nog) geen toepassing gevonden in de landbouwpraktijk. P-CaCl₂ en P-Al-getal zijn afgeleiden die wel in de landbouwpraktijk nu toegepast worden. Het zijn praktische afgeleiden van Pi en Pox (Van Rotterdam Los, 2010). In Nederland worden P-CaCl₂-SFA en Pw-getal aangemerkt als maatstaven om de intensiteit waarmee bodemfosfaat vrijkomt te bepalen en P-Al-getal wordt aangemerkt als een maatstaf voor de capaciteit.

Andere - mondiaal - veel toegepaste methoden zijn P-Olsen, P-Mehlich3 en P-Bray. Er wordt een generieke interpretatie aan deze methoden gegeven: de voorraad gewasbeschikbaar fosfaat in de bodem wordt er mee bepaald. In klassieke bemestingsleer worden deze parameters geïnterpreteerd als een maatstaf voor de capaciteit.

Methoden van grondonderzoek hanteren verschillende eenheden waarmee fosfaat wordt uitgedrukt (mg P₂O₅/L, mg P₂O₅/100 g, mg P/kg). Voor onderlinge vergelijking zijn in deze paragraaf alle methoden gestandaardiseerd naar mg P/kg.

De methoden van grondonderzoek verschillen zeer in de mate waarmee fosfaat uit een grondmonster wordt geëxtraheerd. Met P-CaCl₂-SFA wordt de geringste hoeveelheid geëxtraheerd, met Pox de grootste hoeveelheid. De trend is als volgt:

$$\text{P-CaCl}_2\text{-SFA} < \text{P-CaCl}_2\text{-ICP} < \text{Pw-getal}_w^{22} < \text{Pi4} < \text{P-Olsen} < \text{Pi192} < \text{P-Mehlich3} < \text{P-Bray} < \text{P-Al-getal} < \text{Pox}$$

De gemiddelde fosforgehalten bij aanvang van de veldproeven op klei- en zandgrond worden gegeven in tabel 9. Bijlage 4 geeft de gemiddelden, medianen, minima, maxima en standaardafwijking voor de metingen bij aanvang en na de oogst (P-CaCl₂-SFA, Pw-getal en P-Al-getal). Met CaCl₂ wordt een factor 225-300 minder fosfor geëxtraheerd dan met zuur ammoniumoxalaat-oxaalzuur (Pox). Omgerekend naar een hoeveelheid fosfaat per ha in de bouwvoor extraheert de intensiteitsmaatstaf P-CaCl₂ gemiddeld in dit onderzoek 8 à 16 kg P₂O₅/ha, een capaciteitsmaatstaf als Pox extraheert gemiddeld 2.425-3.760 kg P₂O₅/ha²³.

²² Pw-getal_w is het Pw-getal (mg P₂O₅/L) herleidt op mg P/kg grond.

²³ Bij een bouwvoor van 3.10⁶ kg komt 1 mg P/kg grond overeen met circa 6,9 kg P₂O₅/ha.

Tabel 9

Gemiddelde fosforgehalten bij aanvang van de veldproeven op klei- en zandgrond in mg P/kg.

Grond	P-CaCl ₂ -SFA	P-CaCl ₂ -ICP	Pw-getal _w	Pi4	P-Olsen	Pi192	P-Mehlich3	P-Bray	P-Al-getal	Pox
Klei	1,2	2,2	13	12	43	50	86	90	185	353
Zand	2,4	3,0	15	18	65	91	206	65	200	547

De methoden verschillen eveneens in de mate waarin zij onderling aan elkaar gecorreleerd zijn (bijlage 5). Indien methoden sterk aan elkaar gecorreleerd zijn dan hebben zij kwalitatief een vergelijkbare waarde bij interpretatie van gegevens van grondonderzoek. Lage correlatiecoëfficiënten tussen een intensiteits- en een capaciteitsmaatstaf wijst op aanvullende betekenis zoals die past voor interpretatie van bufferend vermogen. Bijlage 5 geeft de correlatiecoëfficiënten voor kleigrond, zandgrond en voor beide grondsoorten. Bij kleigrond worden lagere correlatiecoëfficiënten vastgesteld dan bij zandgrond. Pox is op kleigrond niet gecorreleerd met andere parameters met uitzondering van P-Olsen (correlatiecoëfficiënt 0,7). De correlatiecoëfficiënten voor P-Al-getal met P-CaCl₂, Pw-getal_w, Pi (4-192) zijn hoger (~0,1 à 0,4) maar nog steeds zwak. Andere parameters zijn redelijk tot sterk onderling gecorreleerd (0,7-0,9).

Op zandgrond zijn de correlatiecoëfficiënten in het algemeen hoger (bijlage 5). Capaciteits- en intensiteitsmaatstaven zijn doorgaans onderling redelijk tot goed gecorreleerd. P-Bray, P-Olsen en P-Mehlich3 hebben met P-CaCl₂-SFA zwakke correlaties.

De veldproef op zandgrond te Geesteren werd geselecteerd als een locatie met op basis van P-CaCl₂-SFA en P-Al-getal een representant van een combinatie van hoge intensiteit en hoge capaciteit. Die selectie is succesvol geweest. Na selectie bleken overige methoden van grondonderzoek op fosfaat ten opzichte van meetwaarden van andere veldproeven op zandgrond aanzienlijk hoger te zijn²⁴. Er is vaak geen sprake van een goede aansluiting in het bereik waardoor de veldproef een extreem vertegenwoordigd (uitbijter). Deze veldproef oefent daardoor grote invloed uit op de correlaties (bijlage 5) en misschien ook op de statistische analyse. Correlatiecoëfficiënten zonder deze veldproef (deelverzameling) worden met name bij de capaciteitsmaatstaven (fors) lager bij zandgrond en bij de combinatie zand- en kleigrond (bijlage 5).

De zwakkere correlaties tussen P-CaCl₂-SFA en capaciteitsmaatstaven als Pox en P-Al-getal, betekent dat het effect van intensiteit en capaciteit beter onafhankelijk geschat kunnen worden maar de vraag is of dit leidt tot een wezenlijk verschillend resultaat van de statistische analyse gebaseerd op alle data ten opzichte van deelverzameling. De snijmaïs van de veldproef op zandgrond heeft bij de beginontwikkeling een periode met droogte gekend.

Het weglaten van de data van de veldproef met een hoge intensiteit en hoge capaciteit ressorteert in een effect: de drieweg interactie verloor significantie en daarenboven namen de predicties van drogestof toe. Daarnaast nam echter - niet beredeneerbaar - de voorspelde opbrengst af bij lage intensiteit en lage capaciteit met toenemende bemesting. Deze waarneming is reden geweest om de data van alle veldproeven te betrekken bij de analyse.

3.3 Ontwikkeling van het gewas

De achttien veldproeven werden door Wageningen UR Unifarm gezaaid in de periode van 20/4-2/5 (bijlage 3).

²⁴ De Ratio's geven wel een aaneensluitend bereik.



Foto 4 Onregelmatige opkomst door droogte bij een veldproef op zandgrond (Meddo).

De periode van kieming werd bij de veldproeven op dekzand gekenmerkt door droogte. Op twee locaties op zand (P-Al-getal 35-50 mg P_2O_5 /100 g en P-CaCl₂ 1,2-2,4 mg P/kg (Wageningen Born 2.6) en P-Al-getal $\geq$ 50 mg P_2O_5 /100 g en P-CaCl₂ <1,2 mg P/kg (Meddo)) leidde dit tot een vertraging in de kieming vergeleken met andere veldproeven op zand en tot een onregelmatige opkomst binnen veldjes (foto 4). Bij andere locaties op zand was de bouwvoor weliswaar droog maar gaf geen zichtbaar verschil in kieming en opkomst tussen herhalingen en veldjes. Gedurende de gewasontwikkeling werd de door droogte opgelopen achterstand weer te niet gedaan (foto 5). De veldproeven op kleigrond hadden geen last van droogte. Enkele forse voorjaarsbuien in de perioden van kieming en begin van de ontwikkeling leidde wel tot slemp (foto 6). Het optreden van slemp verschilde tussen veldproeven en binnen een veldproef. De locatie Sleeuwijk vertoonde geen verschijnselen van slemp, alle overige locaties hadden licht tot matige slemp. Het optreden van slemp leidde in een aantal gevallen tot uitval van planten. Vandaar dat bij de oogst het aantal maisplanten werd vastgelegd.



Foto 5 Toch ontwikkelde de snijmaïs tot een goed gewas (Meddo)

Bij de oogst waren veldjes aangedaan door droogteschade of slemp bij de begin ontwikkeling qua stand niet te onderscheiden van niet aangedane veldjes.



Foto 6 Regenbuien veroorzaakten slemp (Spijkenisse)

Door het optreden van droogte en slemp vroeg onkruidbestrijding aandacht. De chemische bestrijding bij de locatie Wehe den Hoorn was niet effectief, vermoedelijk door regen direct na aanwending. Onkruiddruk heeft hier de opbrengst gedrukt.

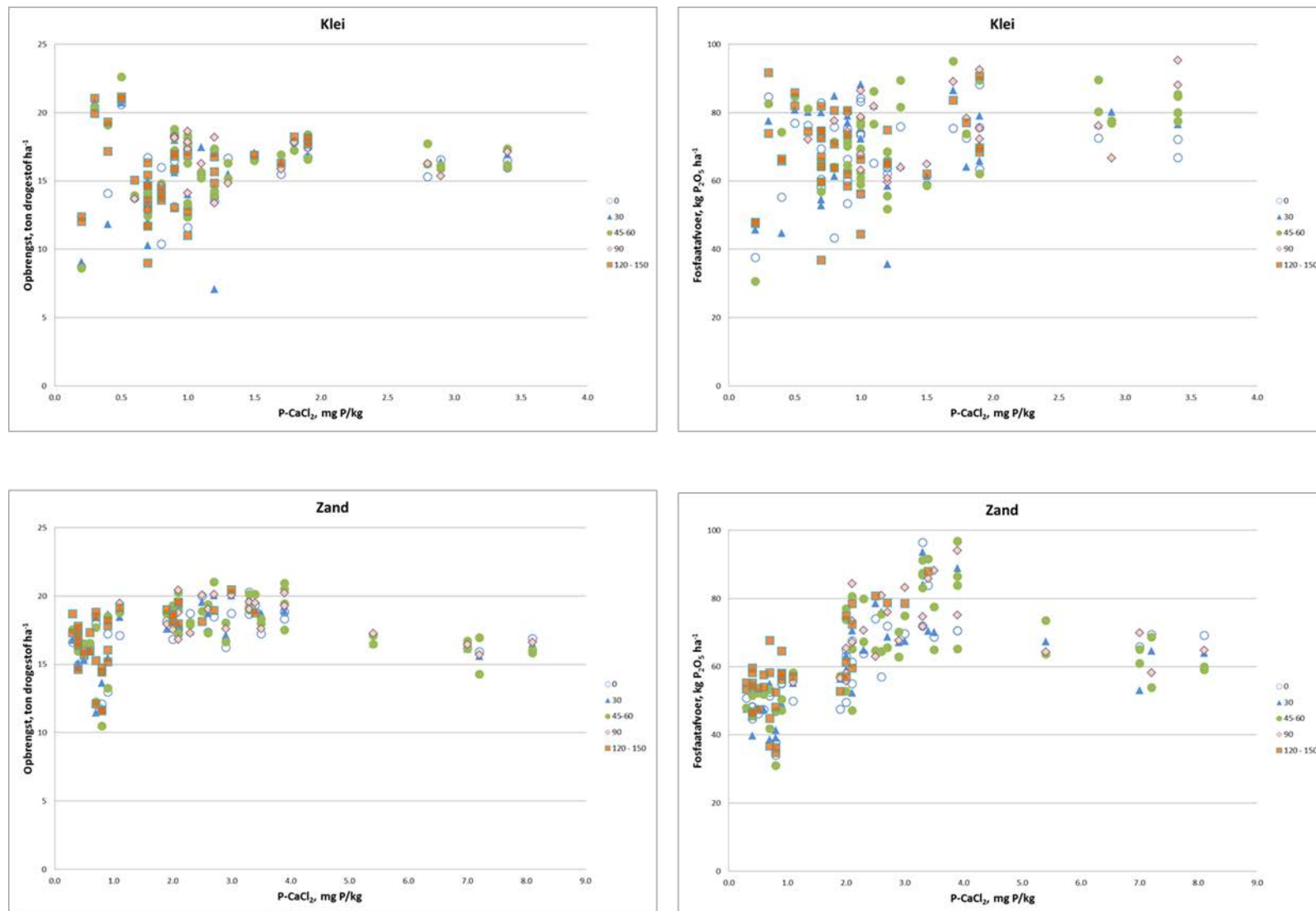
3.4 Opbrengst

Het streven was om de oogst van de snijmaïs uit te voeren in het stadium dat de korrel deegrijp was. De inhoud van de korrel is dan stevig en aan de spilzijde nog wat vochtig. Het gewas produceert dan (net nog) wat drogestof, daarna wordt ingeteerd op de drogestofproductie (door verademing). Oogstdata zijn gegeven in bijlage 3. Gemiddeld was bij de oogst het drogestofgehalte 32,7% maar er was variatie tussen en binnen een veldproef. Vijf veldproeven (Wehe den Hoorn, St. Jacobsparochie, Rockanje, Wageningen (zand, 2x) werden geoogst bij wat lagere drogestofgehaltes. Omdat locatie in het randomdeel van de REML analyse is opgenomen, wordt rekening gehouden met een verschil in groeistadium bij de statistische analyse.

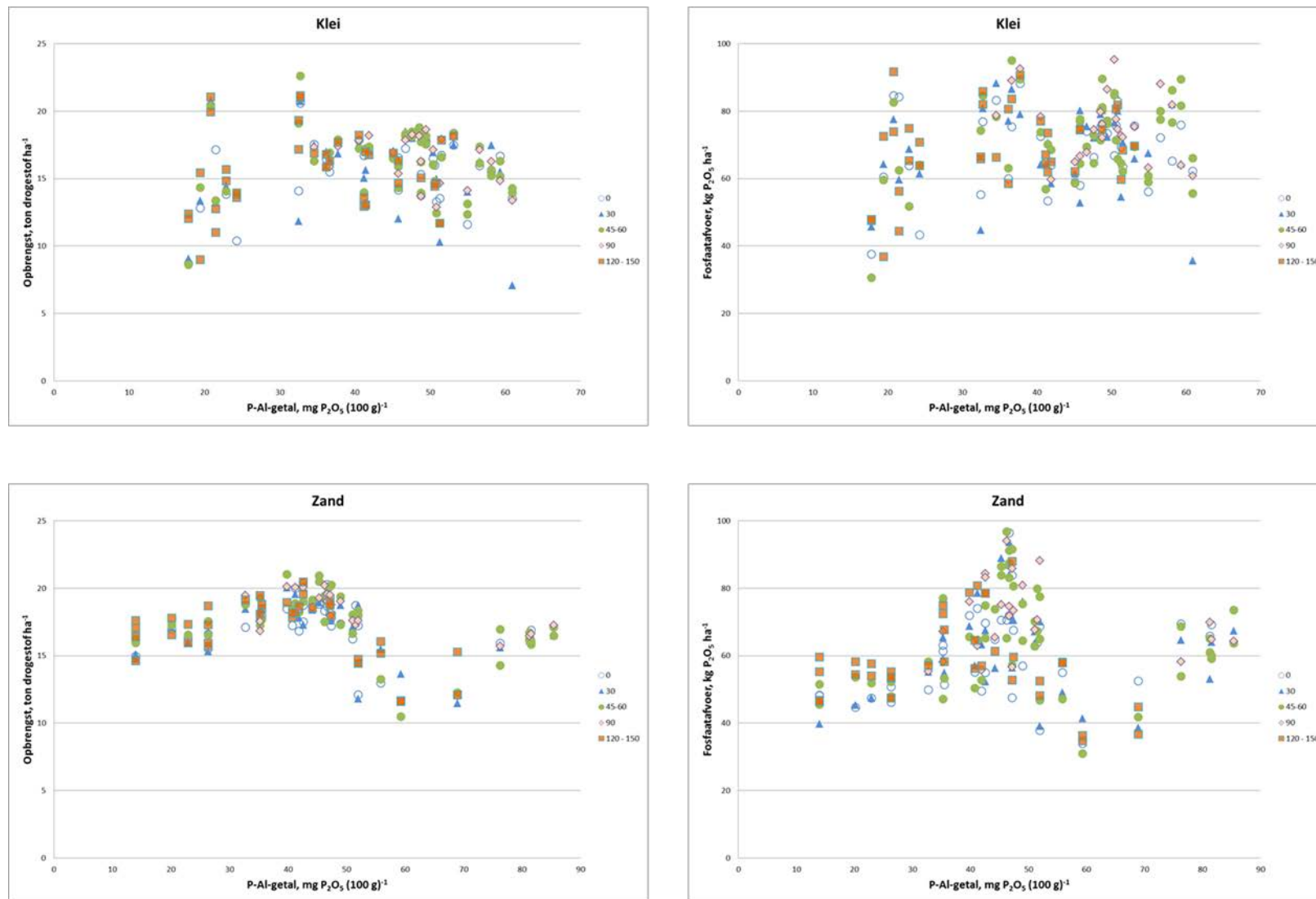
3.4.1 Fosfaatklassen

Een indruk van de verkregen drogestofopbrengsten (ton drogestof/ha) en fosfaatafvoer (kg P_2O_5 /ha) geven figuren 3 en 4. Gemiddeld werd op zandgrond een opbrengst van 17,2 ton drogestof/ha gerealiseerd; op kleigrond 16,9 ton drogestof/ha (gestandaardiseerd naar 100.000 planten/ha). Tussen de locaties binnen een grondsoort waren niveauverschillen aanwezig die niet veroorzaakt werden door de aangelegde behandelingen met fosfaatbemesting of door de fosfaattoestanden.

De effecten van bemesting en fosfaattoestand waren variabel. Gemiddeld bedroeg de opbrengst zonder fosfaatbemesting 95,1% van de maximaal behaalde opbrengst door met fosfaat te bemesten (bereik 79,3-101,3%). Het bereik in deze relatieve opbrengsten was echter niet eenduidig terug te herleiden op combinaties van lage fosfaattoestand als P-CaCl₂ en P-Al-getal.



Figuur 3 Drogestofopbrengst en fosfaatafvoer als functie van de fosfaattoestand als P-CaCl₂-SFA en fosfaatgift voor klei- en zandgrond.



Figuur 4 Drogestofopbrengst en fosfaatafvoer als functie van de fosfaattoestand als P-Al-getal en fosfaatgift voor klei- en zandgrond.

3.4.2 Resultaten van statistische analyse

De rapportage van resultaten van de statistische analyse volgt toetsing van de werkhypotheses (2.1.6.1.). Naast hoofdeffecten wordt de rapportage gefocust²⁵ op de bespreking van relevante interacties, namelijk de tweeweg interacties van Ratio's met gift of FVG met gift (vergelijking (3)) en de drieweg interactie van intensiteit, capaciteit en gift (vergelijking (1)). De rapportage geeft het resultaat van statistische analyse met alle data en voor de deelverzameling onder uitsluiting van de een veldproef op zandgrond met een hoge intensiteit en een hoge capaciteit.

3.4.2.1 Opbrengst

Hoofdeffecten

De drogestofproductie (ton drogestof/ha) zonder en met standaardisatie naar 100.000 planten reageerde significant op de fosfaatverzadigingsgraad (FVG). Bij Pw-getal en Pw-getal omgerekend naar gewicht (Pw-getal_w) was er een aanwijzing voor een reactie op fosfaattoestand. Bij Pi (Pi₄ t/m/ Pi₁₉₂) was er eveneens voor enkele fracties een aanwijzing. Bij overige parameters van grondonderzoek werd geen statistisch betrouwbare relatie vastgesteld (tabel 10). Bij de Ratio's P-Al-getal/P-CaCl₂-SFA, P-Al-getal/Pw-getal, Pox/P-CaCl₂ en Pox/Pw-getal was het hoofdeffect significant of sterk significant met uitzondering van de drogestofproductie gestandaardiseerd naar 100.000 planten bij P-Al-getal/Pw-getal.

Twee-weg interacties

De interacties tussen Ratio's waarbij P-Al-getal of Pox als capaciteitsmaatstaf werd gehanteerd en P-CaCl₂-SFA als intensiteitsmaatstaf waren sterk significant voor de opbrengst na standaardisatie. Zonder standaardisatie naar eenzelfde aantal planten waren de interacties met Pox zeer sterk significant. Twee-weg interacties met FVG met P-CaCl₂-SFA of Pw-getal als maat voor de intensiteit waren niet significant.

Drie-weg interacties

De drieweg interacties tussen P-CaCl₂-ICP.Pox.Fosfaatgift, Pw-getal.Pox.Fosfaatgift en Pw-getal_w. Pox.Fosfaatgift bij standaardisatie naar 100.000 planten waren significant.

Deelverzameling

Op zandgrond vormt de veldproef met de combinatie van hoge intensiteit en hoge capaciteit een uitzondering voor Pox. Pox is dermate hoog dat er geen goede aansluiting is met het bereik gevormd door andere veldproeven. De veldproef kan daardoor het resultaat van statistische analyse beïnvloeden (uitbijter). Dit is onderzocht door dezelfde statistische analyses uit te voeren op de data zonder de meetgegevens van deze veldproef. De verzameling data zonder meetgegevens van deze veldproef wordt deelverzameling genoemd.

De deelverzameling zonder data van de combinatie hoge intensiteit en hoge capaciteit op zandgrond leidde bij eenzelfde grondslag van statistische analyse tot wijzigingen. Bij hoofdeffecten vonden de maten voor de intensiteit eerder significantie dan bij de volledige verzameling data. Ratio's als hoofdeffect leverden echter een vergelijkbaar resultaat in vergelijking het resultaat gebaseerd op alle data zonder standaardisatie naar 100.000 planten, na standaardisatie nam de significantie van de ratio van P-Al-getal/Pw-getal toe en die gebaseerd op Pox af (tabel 10).

²⁵ Bespreking van alle hoofdeffecten en interacties bij zeventien methoden van grondonderzoek, twee grondsoorten, alle mogelijke verschillende (deels arbitraire) combinaties van intensiteits- en capaciteitsmaatstaven leidt tot een te omvangrijk en daardoor verwarrend overzicht.

Tabel 10

P-waarde²⁶ van de F-toets van de hoofdeffecten voor drogestof opbrengst, fosfaatafvoer zonder en met standaardisatie naar 100.000 planten voor alle data en voor de deelverzameling (beperkt).

Parameter	Drogestof opbrengst		Drogestof opbrengst 100.000 planten		Fosfaatafvoer		Fosfaat-afvoer 100.000 planten	
	Alle data	Beperkt	Alle data	Beperkt	Alle data	Beperkt	Alle data	Beperkt
P-CaCl ₂ -SFA	0,30	0,01*	0,30	0,07~	0,006**	<0,001***	0,027*	0,002**
P-CaCl ₂ -ICP	0,30	0,02*	0,32	0,13	0,014*	<0,001***	0,072~	0,014*
Pw-getal	0,16	0,02*	0,07~	0,01*	0,008**	<0,001***	0,011*	0,003**
Pw-gewicht _w	0,10	0,01*	0,06~	0,01*	0,005**	<0,001***	0,009**	0,004**
P-Al-getal	0,64	0,46	0,07~	0,06~	0,051~	0,043*	0,008**	0,010*
P-Olsen	0,57	0,31	0,17	0,08~	0,26	0,22	0,17	0,15
P-Mehlich3	0,64	0,91	0,44	0,35	0,44	0,38	0,14	0,14
P-Bray	0,96	0,90	0,32	0,33	0,17	0,17	0,07~	0,086~
Pi4	0,23	0,02*	0,09~	0,004**	0,01*	<0,001***	0,01**	<0,001***
Pi8	0,46	0,10	0,13	0,02*	0,04*	0,003**	0,03*	0,006**
Pi24	0,37	0,08~	0,09~	0,02*	0,04*	0,005**	0,03*	0,009**
Pi48	0,37	0,07~	0,09~	0,02*	0,04*	0,005**	0,03*	0,010*
Pi72	0,42	0,09~	0,12	0,02*	0,04*	0,005**	0,03*	0,011*
Pi144	0,47	0,10	0,15	0,03*	0,05~	0,007**	0,04*	0,016*
Pi192	0,51	0,12	0,17	0,04*	0,06~	0,010*	0,05~	0,023*
Pox	0,56	0,17	0,38	0,21	0,44	0,37	0,43	0,48
FVG	0,05~	0,02*	0,02*	0,01*	<0,001***	<0,001***	<0,001***	<0,001***
Ratio P-Al-getal/ P-CaCl ₂ -SFA	<0,001***	0,005**	0,016*	0,016*	<0,001***	0,59	0,009**	0,82
Ratio P-Al-getal/ Pw-getal	0,014*	0,005**	0,217	0,041*	0,062~	0,55	0,50	0,62
Ratio Pox/ P-CaCl ₂ -SFA	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,015*	<0,001***	0,98	<0,001***	0,93
Ratio Pox/ Pw-getal	<0,001***	<0,001***	<0,001***	0,027*	<0,001***	0,49	<0,001***	0,87

De resultaten van analyse van de twee-weg interacties van de deelverzameling waren vergelijkbaar met die van de volledige verzameling data.

Er is geen opvallend verschil tussen de resultaten van statistische analyse met de deelverzameling ten opzichte van de analyse gebaseerd op alle data van de drie-weg interacties.

Algemene bevindingen van de analyse van de droge stofopbrengst

Voor de toetsing van de eerste werkhypothese is het belangrijk dat de interactie tussen een maat voor de intensiteit, voor de capaciteit en fosfaatgift significant is. Deze eerste werkhypothese toetst juist, dat wil zeggen dat er is een significante interactie, voor P-CaCl₂-ICP en Pw-getal of Pw-getal als maat voor de intensiteit en Pox als maat voor de capaciteit, een aanwijzing voor een betekenis hebben de drieweg interactie is gevonden voor de combinatie van Pw-getal met P-Al-getal. Bij overige combinaties van maten voor intensiteit en capaciteit, waaronder de in het buitenland gehanteerde methoden van grondonderzoek (P-Olsen, P-Bray of P-Mehlich3) kon een betekenisvolle drie weg interactie niet worden vastgesteld. Door het weglaten van de veldproef op zandgrond met de combinatie hoge intensiteit en hoge capaciteit wordt geen significante drieweg interactie vastgesteld.

²⁶ Aanduidingen P-waarde (Burgers en Oude Voshaar, 2010):

P-waarde	Omschrijving	Notatie
0,05 < P < 0,10	Aanwijzing voor een verschil	~
0,01 < P < 0,05	Significant	*
0,001 < P < 0,01	Sterk significant	**
P < 0,001	Zeer sterk significant	***

3.4.2.2 Fosfaatafvoer

Fosfaatklassen

Gemiddeld werd op zandgrond een fosfaatafvoer van 60,4 kg P_2O_5 /ha gerealiseerd; op kleigrond 74,2 kg P_2O_5 /ha (gestandaardiseerd naar 100.000 planten/ha. Tussen de locaties binnen een grondsoort waren - net - als bij de drogestofproductie - niveauverschillen aanwezig die niet veroorzaakt werden door de aangelegde behandelingen of door de geselecteerde fosfaattoestanden (als onderscheidenlijke combinaties van intensiteit en capaciteit). Fosfaattoestanden varieerden per indelingsklasse. Met beide variantiebronnen is rekening gehouden bij de uitvoering van de statistische analyse (REML, zie hoofdstuk 2.1.6). De effecten van bemesting en fosfaattoestand waren variabel maar deze variatie was minder groot dan die bij de drogestofproductie. Gemiddeld bedroeg de fosfaatafvoer zonder fosfaatbemesting 87,8% van de maximaal behaalde fosfaatafvoer bij bemesting met fosfaat (bereik 71,3-99,2%).

Hoofdeffecten

De fosfaatverzadingsgraad (FVG) is zeer sterk significant met en zonder standaardisatie naar 100.000 planten per ha. P- $CaCl_2$ -SFA, Pw-getal en Pw-getal_w zijn sterk significant (tabel 10). Ook Pi4 is sterk significant maar met toename van de bepaling van de voorraad reversibel gebonden fosfaat neemt de mate van significantie af. P192 geeft nog een aanwijzing voor een verband. P-Al-getal geeft eveneens een aanwijzing, gestandaardiseerd naar 100.000 planten/ha is het verband sterk significant. Capaciteitsmaatstaven P-Olsen, P-Bray, P-Mehlich3 en Pox hebben geen aanwijsbare relatie met de fosfaatopname; P-Bray geeft een aanwijzing voor een relatie na standaardisatie naar 100.000 planten/ha.

Bij de Ratio's P-Al-getal/P- $CaCl_2$ -SFA, P-Al-getal/Pw-getal, Pox/P- $CaCl_2$ en Pox/Pw-getal was het hoofdeffect significant of sterk significant met uitzondering van de fosfaatafvoer al dan niet gestandaardiseerd naar 100.000 planten bij de Ratio P-Al-getal/Pw-getal.

Twee-weg interacties

Toetsing van vergelijking 3 geeft aan dat bij geen van de twee-weg interacties met fosfaatafvoer of fosfaatafvoer gestandaardiseerd naar 100.000 planten significant was bij toetsing van modellen met Ratio's met P-Al-getal of Pox als capaciteitsmaatstaven en P- $CaCl_2$ of Pw-getal als intensiteitsmaatstaven (vergelijking 3). Deze bevinding is gelijklopend als FVG in plaats van Ratio wordt toegepast in vergelijking 3.

Drie-weg interacties

De fosfaatafvoer zonder standaardisatie naar 100.000 planten heeft een sterk significante interactie tussen P- $CaCl_2$ -SFA.Pox.Fosfaatgift. Na standaardisatie zijn de volgende interacties significant tot sterk significant (tabel 12):

- P- $CaCl_2$ -SFA.P-Al-getal.Fosfaatgift
- P- $CaCl_2$ -SFA.Pox.Fosfaatgift
- P- $CaCl_2$ -ICP.Pox.Fosfaatgift
- Pw-getal_w.Pox.Fosfaatgift

Deelverzameling

De deelverzameling zonder data van de combinatie hoge intensiteit en hoge capaciteit op zandgrond leidde bij eenzelfde grondslag van statistische analyse eveneens tot wijzigingen (tabel 11).

Het resultaat van statistische analyse van de deelverzameling is hoofdlijnen voor hoofdeffecten en voor twee-weg interacties vergelijkbaar met die van de analyse van alle data. Het onderscheidend vermogen nam (wat) toe.

Tabel 11

P-waarde van de F-toets na REML met grondsoort, fosfaatgift en de aangegeven methoden voor grondonderzoek op fosfaat voor de twee-weg interacties conform vergelijking (3) en drie-weg interacties conform vergelijking (1) gebaseerd op alle data en op de deelverzameling (Beperkt).

Respons	Interactie	Verg.	P-waarde	
			Alle data	Beperkt
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	P-CaCl ₂ -ICP.Pox.Fosfaatgift	1	0,061	0,089
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pw-getal.Pox.Fosfaatgift	1	0,033	0,074
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pw-getal _w .Pox.Fosfaatgift	1	0,021	0,062
Drogestof opbrengst	Ratio (P-Al-getal/P-CaCl ₂ -SFA).Fosfaatgift	3	0,003	0,005
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Ratio (P-Al-getal/P-CaCl ₂ -SFA).Fosfaatgift	3	0,006	0,016
Drogestof opbrengst	Ratio (P-Al-getal/Pw-getal).Fosfaatgift	3	0,004	0,005
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Ratio (P-Al-getal/Pw-getal).Fosfaatgift	3	0,028	0,041
Drogestof opbrengst	Ratio (Pox/P-CaCl ₂ -SFA).Fosfaatgift	3	<0,001	<0,001
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Ratio (Pox/P-CaCl ₂ -SFA).Fosfaatgift	3	0,007	0,015
Drogestof opbrengst	Ratio (Pox/Pw-getal).Fosfaatgift	3	<0,001	<0,001
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Ratio (Pox/Pw-getal).Fosfaatgift	3	0,019	0,027
Fosfaatafvoer	P-CaCl ₂ -SFA.Pox.Fosfaatgift	1	0,010	0,15
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	P-CaCl ₂ -SFA.PAlgetal.Fosfaatgift	1	0,049	0,15
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	P-CaCl ₂ -SFA.Pox.Fosfaatgift	1	0,008	0,12
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	P-CaCl ₂ -ICP.Pox.Fosfaatgift	1	0,049	0,54
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pw-getal.Pox.Fosfaatgift	1	0,050	0,36
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pw-getal _w .Pox.Fosfaatgift	1	0,040	0,58

Belangrijk verschil ten opzichte van het resultaat van de volledige databestand is dat geen van de ratio's enige significante relatie hadden met de fosfaatafvoer. Echter doorgaans werden dan de intensiteitsmaatstaven significant wat niet het geval was bij analyse op basis van alle data (resultaten statistische analyse zijn niet gegeven).

De resultaten van analyse van de twee-weg interacties van de deelverzameling waren vergelijkbaar met die van de volledige verzameling data, dat wil zeggen dat deze interactie niet significant was bij analyse van de deelverzameling.

Het meest opvallende verschil tussen de resultaten van statistische analyse met de deelverzameling was dat de drie-weg interacties noch gebaseerd op P-Al-getal noch gebaseerd op Pox significantie vond (tabel 11). De veldproef op zandgrond met een hoge intensiteit en hoge capaciteit bepaalt het resultaat bij toetsing van de drieweg interactie. Verschillende veldproeven op zandgrond zijn in de beginfase door droogte geremd bij kieming en ontwikkeling van het gewas. Droogte beïnvloedt de fosfaatbeschikbaarheid. Gewassen vragen een hogere fosfaatbeschikbaarheid als vocht limiterend is. De achtergrond is dat diffusie het fosfaattransport in de bodem naar gewaswortels bepaalt. Bij droogte wordt deze diffusie geremd. Fosfaat wordt daardoor minder goed beschikbaar voor het gewas. Voor dit onderzoek naar de betekenis van het fosfaatbufferend vermogen is droogte daarom geen nadelig aspect. In tegendeel, verwacht mag worden dat droogte contrasten tussen bodem die verschillen in

bufferend vermogen vergroot. Droogte is daarom geen reden om de invloedrijke veldproef uit te sluiten. Bovendien zijn ook gewassen op andere veldproeven op zandgrond in hun beginontwikkeling geremd door droogte. Het bereik in fosfaattoestanden is een aandachtspunt. De veldproef is echter geselecteerd op hoge waarden voor de intensiteit en capaciteit. Als zodanig vormt de veldproef een wezenlijk onderdeel van de proefopzet en daarmee een wezenlijke bouwsteen van de kalibratie van de gewasreactie op fosfaatgift en fosfaattoestand. In het vervolg van deze rapportage wordt daarom uitgegaan van de resultaten van statistisch onderzoek op basis van alle data. Het resultaat van de analyse met de deelverzameling wijst wel uit dat de effecten van een breed bereik in capaciteit bij lage intensiteit op opbrengst en in het bijzonder op de fosfaatafvoer bescheiden zijn.

Algemene bevindingen van de analyse van de fosfaatafvoer

Een aantal noties kunnen dan gemaakt worden bij deze statistische resultaten.

- De fosfaatafvoer reageert sterker op variatie in fosfaattoestand dan de drogestofopbrengst.
- De parameter Pox in combinatie met P-CaCl₂-SFA, P-CaCl₂-ICP of Pw-getal geeft een sterker (meer significant) verband met gewasopbrengst en fosfaatopname dan de parameter P-Al-getal in combinatie met P-CaCl₂-SFA, P-CaCl₂-ICP of Pw-getal.
- Bij fosfaatafvoer heeft P-CaCl₂-SFA vaker een voorspellende waarde dan P-CaCl₂-ICP.
- Tweeweg interacties van de fosfaatgift met de verhouding van een maat voor de capaciteit en de intensiteit of een fosfaatverzadigingsgraad blijken geen significante relatie te hebben. De eerste werkhypothese toetst niet juist.

3.5 Predicties

De interpretatie van statistische resultaten en interacties vraagt kennis van statistiek. Door voorspellingen met verkregen parameterschattingen van REML-analyses te geven, kan echter een beeld gegeven worden van de betekenis van de resultaten van de statistische analyse, waardoor deze begrijpelijker worden.

In deze paragraaf worden voor dit doel predicties voor drogestof-productie en fosfaatafvoer gegeven. De parameterschattingen waarop deze predicties gebaseerd zijn met hun standaardfouten worden gegeven in bijlage 6.

Predicties op basis van vergelijking (3) ontbreken. In het algemeen konden de data voor drogestofopbrengst en fosfaatafvoer van dit onderzoek niet beschreven worden met deze vergelijking.

3.5.1 Drogestof

Predicties bij toepassing van model (1)

Predicties voor de afhankelijkheid van de drogestof-productie van de intensiteit P-CaCl₂-ICP en Pox worden gegeven in tabel 12. Deze predicties worden beperkt tot fosfaatgiften van 90 kg P₂O₅/ha omdat hogere fosfaatgiften extrapolatie betekent buiten het meetbereik voor hoge waarden van P-CaCl₂-ICP of Pox. De volgende observaties kunnen dan gemaakt worden.

Het effect van fosfaatbemesting in het traject 30 – 90 kg P₂O₅/ha is zeer beperkt ook bij lage waarden voor de fosfaattoestand (P-CaCl₂-ICP en Pox). Effecten van fosfaattoestanden doen zich sterker gelden.

Verhoging van P-CaCl₂-ICP leidt tot een hogere toename van de drogestofproductie dan bij verhoging van Pox.

Het effect van bemesting doet zich sterker gelden als de intensiteit laag is in vergelijking tot de capaciteit.

Bij hoge intensiteit en capaciteit is het effect van bemesting zeer beperkt. Wijzigingen zijn zo gering dat dit geen betekenis heeft. Omdat de veldproef met hoge waarden voor Pox (of P-Al-getal, zie figuur

4) lagere drogestofopbrengsten hadden dan bij middelbare waarden, neemt - niet passend bij de eerste werkhypothese - predictie van de drogestofproductie enigszins af. Dit is geen significant effect en daardoor triviaal.

Bij lage intensiteit bij hoge capaciteit, i.e. de bodem buffert sterk, heeft bemesting een sterker opbrengstverhogend effect dan bij hoge intensiteit en hoge capaciteit. De predicties wijzen op een effect van het bufferend vermogen van de bodem maar deze predicties worden wel bepaald door andere niet tot de proefopzet behorende factoren.

Tabel 12

Predicties voor de drogestofproductie in ton/ha voor verschillende waarden van de intensiteit (P-CaCl₂-ICP) en capaciteit (Pox) voor verschillende fosfaatgiften.

P-CaCl ₂ -ICP, mg P / kg	Pox mg P / kg	Bemesting, kg P ₂ O ₅ / ha			
		0	30	60	90
1	200	15,7	15,7	15,6	15,6
	500	16,3	16,5	16,8	17,0
	800	16,8	17,4	17,9	18,4
2	200	16,3	16,3	16,3	16,4
	500	16,7	16,9	17,1	17,3
	800	17,1	17,5	17,9	18,3
4,5	200	17,8	18,0	18,1	18,3
	500	17,8	17,9	18,0	18,1
	800	17,7	17,8	17,8	17,9

Predicties bij toepassing van model (3)

Predicties worden gegeven voor de Ratio gebaseerd op P-Al-getal en P-CaCl₂-SFA (tabel 13). Een Ratio in model 3 geeft uitsluitsel of een bodem sterk buffert. Hoge waarden (>30) van deze Ratio worden veroorzaakt door relatief hoge waarden van het P-Al-getal t.o.v. lage waarden van P-CaCl₂-SFA (< 1 mg P/kg). Bij P-CaCl₂ > 2 mg P/kg daalt de ratio onder de waarde 20. Hoge waarden van de Ratio gaan bij P-CaCl₂-SFA dus gepaard met lage waarden van de intensiteit. Het effect van de intensiteit P-CaCl₂-SFA is niet significant, daarom worden geen predicties gegeven als functie van deze intensiteitsmaatstaf. De predicties tonen aan dat met toename van de Ratio, de drogestofproductie afneemt. Naarmate de Ratio hoger wordt, is het opbrengstverhogend effect van fosfaatbemesting hoger maar het effect ervan blijft achter bij het effect van bemesting bij lage Ratio's. Bij lage waarden van de Ratio draag bemesting minder bij aan de verhoging van de opbrengst in vergelijking tot hoge waarden.

Tabel 13

Predicties voor de drogestofproductie in ton/ha voor verschillende waarden van de Ratio. P-Al-getal/P-CaCl₂-SFA) voor verschillende fosfaatgiften.

Ratio, P-Al-getal / P-CaCl ₂ -SFA	Bemesting, kg P ₂ O ₅ / ha			
	0	30	60	90
15	17,6	17,6	17,6	17,6
25	17,1	17,2	17,2	17,3
35	16,7	16,8	16,8	16,9
45	16,2	16,3	16,4	16,5
55	15,8	15,9	16,0	16,2
65	15,4	15,5	15,6	15,8
75	14,9	15,1	15,2	15,4

3.5.2 Fosfaatafvoer

Predicties bij toepassing van model (1)

Predicties voor de afhankelijkheid van de fosfaatopname van de intensiteit P-CaCl₂-ICP en Pox worden gegeven in tabel 14 voor alle data. Deze leiden tot de volgende observaties.

Naarmate de bemesting hoger is, wordt meer fosfaat opgenomen door het gewas en vervolgens met het geoogste gewas afgevoerd. Deze toename van de fosfaatafvoer is echter beperkt en staat in geen verhouding tot de meststofgift (bv. 4 kg P/ha toename, dit is 9 kg P₂O₅/ha bij een meststofgift van 90 kg P₂O₅/ha).

Bij een lage intensiteit neemt de fosfaatafvoer toe met toename van de capaciteit. Bij toenemende waarden voor de intensiteit neemt de fosfaatafvoer nog steeds toe maar vermindert naarmate de capaciteit hoger wordt. Er is een omslagpunt. Bij hoge waarden voor de intensiteit (4,5 mg P/kg) neemt de fosfaatafvoer af met toenemende waarden van de capaciteit: bij lage capaciteit (Pox 200 mg P/kg) wordt bij een hoge intensiteit meer fosfaat afgevoerd dan bij hoge capaciteit.

Hoge intensiteiten bij lage capaciteiten stellen het fosfaat makkelijker beschikbaar voor opname door het gewas dan hoge intensiteit bij hoge capaciteit. Bij lage waarden voor P-CaCl₂-ICP en Pox ligt een aanwijzing dat het bufferend vermogen een rol speelt bij fosfaatafvoer. Bij hoge waarden van P-CaCl₂ en Pox is een ander effect aanwezig dat niet door grondonderzoek of bemesting wordt bepaald. Vermoedelijk is dit effect terug te leiden op de droogte tijdens de beginontwikkeling.

In bijlage 6 worden predicties gegeven bij 25^e, 50^e en 75^e percentielwaarden voor maten voor de intensiteit en capaciteit die significant zijn.

Pox is in 7 van de modellen een maat voor de capaciteit die significant bijdraagt aan de betekenis van een maat voor de intensiteit (tabel 12). Bij P-Al-getal is alleen bij fosfaatafvoer gestandaardiseerd naar 100.000 planten per ha een significante interactie gevonden. Pox brengt daardoor de betekenis van de maat voor de capaciteit beter in beeld. P-CaCl₂-SFA brengt bij drie modellen voor fosfaatafvoer de intensiteitsmaatstaf in beeld, P-CaCl₂-ICP bij twee modellen (opbrengst en fosfaatafvoer). Pw-getal herleid op gewichtsbasis brengt twee modellen (opbrengst en fosfaatafvoer) een intensiteitsmaatstaf in beeld en Pw-getal bij één model (opbrengst).

Tabel 14

Predicties voor de fosforafvoer²⁷ in kg P/ha gecorrigeerd voor het aantal planten voor verschillende waarden van de intensiteit (P-CaCl₂) en capaciteit (Pox) voor verschillende fosfaatgiften op basis van alle data.

	P-CaCl ₂ -ICP, mg P / kg	Pox, mg P / kg	Bemesting, kg P ₂ O ₅ / ha					
			0	30	60	90	120	150
1		200	25,7	25,9	26,1	26,3	26,6	26,8
		500	26,3	26,7	27,1	27,5	27,9	28,3
		800	26,8	27,4	28,0	28,6	29,2	29,8
2		200	27,7	28,2	28,7	29,2	29,7	30,2
		500	27,8	28,3	28,7	29,2	29,7	30,2
		800	27,9	28,3	28,8	29,2	29,7	30,1
4,5		200	32,6	33,9	35,2	36,4	37,7	38,9
		500	31,6	32,3	32,9	33,6	34,3	34,9
		800	30,6	30,7	30,7	30,8	30,8	30,9

Predicties bij toepassing van model (3)

Interacties tussen Ratio's en fosfaatgift zijn niet significant, predicties worden daarom niet gegeven.

3.6 Samenvattende conclusies

In dit hoofdstuk zijn de resultaten gegeven van veldonderzoek van achttien veldproeven op zandgrond en kleigrond. De locaties op praktijkpercelen werden geselecteerd op verschillen in maten voor intensiteit en capaciteit. De selectie werd uitgevoerd op P-CaCl₂-SFA en P-Al-getal voor representanten van respectievelijk intensiteit en capaciteit.

Landbouwpercelen, geëigend voor het uitvoeren van proefveldonderzoek, met combinaties met zeer lage capaciteit en zeer hoge intensiteit en zeer hoge capaciteit en zeer lage intensiteit konden in de praktijk niet getraceerd worden. Toch vertegenwoordigen geselecteerde locaties een breed bereik in fosfaattoestanden (P-CaCl₂-SFA, P-Al-getal) die een betekenis hebben voor de huidige landbouwpraktijk en die een onderscheid aan brengen tussen combinaties van maten voor intensiteit en capaciteit (P-CaCl₂-SFA en P-Al-getal).

De ontwikkeling van het gewas op zandgrond werd in fase van kieming en de direct daaropvolgende ontwikkelingsfase bepaald door droogte. In daaropvolgende ontwikkelingsfase was vocht niet limiterend. Op kleigrond heeft vochttekort bij geen van de ontwikkelingsfasen een rol gespeeld. Op kleigrond is slemp²⁸ opgetreden. Slemp resulteerde in een uitval van planten. Hiervoor is gecorrigeerd door de reactie van het gewas (drogestofproductie, fosfaatafvoer) te standaardiseren naar eenzelfde aantal planten overeenkomend met het aantal gezaaide zaden (100.000 zaden/ha). Het effect van bodemtype wordt beïnvloed door het optreden van deze slemp. Na deze correctie naar eenzelfde aantal planten is een effect van bodemtype niet aantoonbaar. Daardoor wordt de tweede werkhypothese niet bevestigd.

De eerste werkhypothese wordt voor verschillende combinaties van maten voor intensiteit en capaciteit als juist getoetst voor de fosfaatafvoer en voor minder combinaties bij drogestofproductie

²⁷ Voor de berekening van de fosfaatafvoer in kg P₂O₅/ha dienen de predicties gegeven in kg P/ha vermenigvuldigd te worden met de factor 2,29.

²⁸ Bij veel regen wordt de binding tussen bodemdeeltjes verbroken en verliezen de bodemagregaten hun structuur. De bodemdeeltjes vloeien ineen hetgeen de water- en luchthuishouding belemmert. De kieming en opkomst van zaad van maïs is daardoor geremd.

als respons. Deze bevinding is een bevestiging van eerdere vaststellingen fosfaatopname/fosfaat-afvoer beter gecorreleerd is met fosfaatbemesting en fosfaattoestand (Paauw et al., 1972).

Bufferend vermogen van de bodem voor fosfaat stuurt het effect van de fosfaatgift op drogestofopbrengst en fosfaatafvoer (tabel 11). Het effect van fosfaatbemesting op de verhoging van de drogestofopbrengst is gegeven een combinatie van een maat voor de intensiteit en een maat voor de capaciteit echter bescheiden (<3%, tabel 12). Het effect van fosfaatbemesting op de verhoging van de fosfaatafvoer is groter (10%, tabel 14). Een verhoging van de fosfaatafvoer gaat echter niet gepaard met een verhoging van de drogestofproductie. Het gewas neemt wel meer fosfaat op omdat de beschikbaarheid in de bodem meer dan afdoende is, maar benut die extra opname niet door meer drogestof te produceren (luxe consumptie van fosfaat).

Effecten van fosfaattoestanden op drogestof-productie en meer nog op fosfaatafvoer zijn groter naarmate de maat voor de intensiteit lager is (bij fosfaatgift van 60 kg P_2O_5 /ha bij drogestofproductie 12% (tabel 12), bij fosfaatafvoer 27% (tabel 14)). Bij hoge intensiteit draagt het effect van capaciteit steeds minder bij aan verhoging van opbrengst of de fosfaatafvoer en wordt tenslotte triviaal. Sturing op fosfaattoestand voor opbrengst en fosfaatafvoer is daardoor doeltreffender dan die op fosfaatbemesting.

De veldproeven op zandgrond zijn in hun ontwikkelingsfase (kieming en daaropvolgende ontwikkeling) geremd door droogte. De uiteindelijke productie op zandgrond is vergeleken met die op kleigrond echter in het algemeen zelfs hoger (17,2 ton drogestof/ha op zandgrond versus 16,9 ton drogestof/ha op kleigrond). Voor de productie is de remmende werking van droogte niet relevant. De gemiddelde fosfaatafvoer op zandgrond is lager (26 kg P/ha op zandgrond en 32 kg P/ha op kleigrond). De veldproef op zandgrond met de hoogste waarden voor intensiteit en capaciteit heeft niet de hoogste opbrengst en fosfaatafvoer gegeven. De fosfaatafvoer was bij deze veldproef echter hoger in verhouding tot de drogestofproductie bij veldproeven met lagere fosfaattoestanden maar die hogere drogestofopbrengsten gaven. Ook bij de veldproef op zandgrond met een hoge intensiteit en hoge capaciteit is daardoor een aanwijzing dat er sprake was van luxe consumptie van fosfaat maar mogelijk door het optreden van droogte tijdens de beginontwikkeling is deze luxe consumptie beperkt.

4 Gangbare analysemethoden op commerciële laboratoria

Hoofdstuk 3 rapporteert onderzoeksresultaten waaruit blijkt dat het betrekken van het fosfaatbufferend vermogen van de bodem effectiever de fosfaatgift stuurt bij bepaling van drogestofopbrengst en nog meer bij de bepaling van de fosfaatafvoer. Daardoor zijn verschillende methoden van grondonderzoek op fosfaat in beeld. Verkend is welke methoden bij commerciële laboratoria voor grondonderzoek en bemestingsadvisering in gebruik zijn. In dit hoofdstuk worden de resultaten van deze verkenning gepresenteerd. Tevens is verkend welke knelpunten men daarbij ondervindt. Tenslotte is een verkenning uitgevoerd naar het voorkomen van onderscheidenlijke combinaties van intensiteit en capaciteit in Nederlandse bodems.

4.1 Laboratoria

Laboratoria van grondonderzoek voor bemestingsadvisering zijn geconsulteerd over de methoden voor grondonderzoek op fosfaat die op routinebasis worden aangeboden aan de landbouwpraktijk. Bij consultatie werden de volgende vragen voorgelegd:

1. Welke methoden biedt u de landbouwpraktijk aan?
2. Volgen de analyses een NEN-voorschrift of hanteert u een in-huis ontwikkelde methode?
3. Maken deze methoden onderdeel uit van de scope van uw Accreditatie? Zo nee, kunt u aangeven waarom niet?
4. Wat zijn uw ervaringen bij de uitvoering van deze analysemethoden. Zijn de methoden gelijk qua uitvoering? Als zij ongelijk zijn qua uitvoering, wat is / zijn daarbij dan de oorzaken? Ondervindt u problemen bij de uitvoering van een methode (bijvoorbeeld slechte herhaalbaarheid)?
5. Voert u analyses uit in (collegiale) samenwerking met andere laboratoria?
6. Zijn de monsters vooral afkomstig uit een specifieke regio? Zo ja, welke?
7. Heeft de invoering van fosfaatgebruiksnormen stimulerend gewerkt op het aantal analyses?
8. Kunt u een ruwe indicatie geven van het aantal monsters dat per jaar geanalyseerd wordt?

De consultatieronde startte met 23 bedrijven. Elf bedrijven bieden actief grondonderzoek op fosfaat aan. De door deze bedrijven verstrekte informatie is geanonimiseerd samengevat, er was geen unanimitieit voor het openbaar maken van gevraagde informatie. De verstrekte informatie is in dit rapport daarom gegeneraliseerd.

Tabel 16 vat de resultaten van de consultatie samen voor P-CaCl₂-SFA, Pw-getal en P-Al-getal en de informatie die vrijgegeven werd naar aanleiding van de vragen. Er wordt aangegeven welke andere methoden van grondonderzoek op fosfaat aangeboden zijn.

De consultatie leidt tot de volgende bevindingen.

P-Al-getal

Op één na bieden alle laboratoria een analyse op P-Al-getal aan. Deze laboratoria blijken het NEN-voorschrift als principe te hanteren. Vijf laboratoria hebben P-Al-getal opgenomen in hun scope²⁹. De scopes komen voor het NEN-voorschrift niet overeen. De scopes van vier laboratoria wijzen uit dat in één geval een gelijkwaardige d.w.z. aan het NEN-voorschrift beantwoordende methode wordt

²⁹ 'scope van accreditatie' ook wel scope genoemd is de verklaring van de Raad voor Accreditatie voor welke activiteiten en/of werkerterreinen de accreditatie van een conformiteitsbeoordelende instelling (CBI) van toepassing is.

gehanteerd. In drie overige situaties wordt een eigen methode gehanteerd wordt gebaseerd op het NEN-voorschrift. Daarnaast meten sommige laboratoria spectrofotometrisch (kleuringsreactie), andere via ICP (atoomemissie). Bij een meting via ICP wordt een hogere waarde voor P-Al-getal gemeten dan via een spectrofotometrische meting (Ulén, 2006). Vijf laboratoria meten fosfaat in het extract spectrofotometrisch en één met ICP, voor vier laboratoria is dit niet bekend.

Pw-getal

Het Pw-getal wordt door acht laboratoria bepaald conform de methode van Sissingh (1972), twee laboratoria berekenen deze waarde uit P-Al-getal en P-CaCl₂. Er is geen NEN-voorschrift. Het voorschrift van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet (bijlage Ac) wordt gevolgd maar alle laboratoria hanteren ook hier een in-huis methode. Vijf laboratoria hebben de methode opgenomen in hun scope. Vier laboratoria gebruiken een eigen methode, de methode van één laboratorium is conform de standaardmethodiek. Vijf laboratoria meten het fosfaat in het extract spectrofotometrisch (~SFA), één met ICP³⁰, voor twee laboratoria is dit niet bekend.

P-CaCl₂

Er zijn zeven laboratoria die deze methode aanbieden. De fosfaatbepaling berust op een kleuringsreactie (SFA). Er zijn twee laboratoria waar de methode gangbaar is; bij overige laboratoria is er weinig vraag naar. Twee laboratoria hebben de analyse als eigen methode in hun scope opgenomen. Twee laboratoria meten spectrofotometrisch, één met ICP en bij de overige laboratoria is het niet bekend.

Pox

Drie laboratoria voeren deze methode uit; de scope meldt de methoden.

Drie laboratoria analyseren grondmonsters afkomstig uit andere landen. Laboratoria die in het buitenland gevestigd zijn, zijn ook actief op de Nederlandse markt. Het omgekeerde geldt ook, Nederlandse laboratoria zijn onder andere ook actief in België (Wallonië, Vlaanderen), Duitsland en Denemarken.

³⁰ De uitvoeringsregeling Meststoffenwet schrijft de kleuringsreactie voor (spectrofotometrisch).

Tabel 16

Samenvattend overzicht van informatie verstrekt door geconsulteerde laboratoria die grondonderzoek op fosfaat aanbieden.

Laboratorium	methoden									Overige informatie					
	P-Al-getal			Pw-getal			P-CaCl ₂			Aantal x1000 (2)	Overige methoden (3)	Uitvoering (11)	Herkomst	Stimulans (12)	Freq. verdeling
	Toegepast	Methode	Scope	Toegepast	Methode (1)	Scope	Toegepast	Methode	Scope						
1	J	NEN	J	J	E	J	J	E	N	<< 1		Z	Oost NI	G	nvt
2	N	nvt	nvt	N	nvt	nvt	N	nvt	nvt	2-4	Sp (4)	U	nvt.	G	nvt
3	J	NEN	N	J	E	N	(J)	E	N	3-40		Z	Noord NI	J	J
4	J	NEN	J	N	nvt	nvt	N	nvt	nvt	?	div. (5)	U	P-Al /Int.	G	?
5	J	NEN	J	J	B,E	J	J	E	J	40-50	ox. (6)	Z	Land/Int.	(J)	J
6	J	NEN	J	J	E	J	J	E	N	2-4	ox. (6)	Z	Land/Int.	(J)	J
7	J	NEN	nvt	J	B	nvt	J	E	nvt	2-4	ox.,Pt (7)	Z	Land/Int.	G	N
8	J	NEN	N	J	E	N	N	nvt	nvt	<< 1	1:2 (8)	Z	Landelijk	J	nvt
9	J	NEN	N	N	nvt	nvt	N	nvt	nvt	< 1	1:2 (9)	Z	Landelijk	G	nvt
10	J	NEN	J	J	E	J	(J)	E	N	2		Z	Zuid NI	G	J
11	J	NEN	N	J	E	J	J	E	J	2-4	div. (10)	Z	nvt	G	nvt

- (1) Toelichting Pw-getal methode: E = Eigen methode; B = Berekend uit P-Al en P-CaCl₂; B,E: normaliter Berekend, Eigen methode op verzoek.
- (2) Toelichting aantalx1000: dit betreft de P-Al, Pw-getal en P-CaCl₂-analyses, dus niet eventuele overige methoden.
- (3) Toelichting overige methoden.
- (4) Spurway-methode , licht zure extractie.
- (5) CAL-(Calcium-Acetat-Lactat), DL-(Double Lactate), P-Olsen, P-oxalaat.
- (6) Oxalaat-extractie met analyse op P, Fe en Al.
- (7) Oxalaat-extractie met analyse op P, Fe en Al; P-totaal na H₂SO₄-extractie.
- (8) 1:2 extr. met 100 ml veldvochtige grond aangevuld tot 200 ml met water.
- (9) 1:2 extr. met 100 ml veldvochtige grond met 200 ml water.
- (10) Diverse methoden: P-totaal, P-Olsen, P-Bray, P-Bray, P-Mehlich3.
- (11) Toelichting Uitvoering: Z = Zelf uitgevoerd, U = Uitbesteed.
- (12) Toelichting Stimulans: G = Geen stimulans regelgeving op aantal analyses bemerkt, J = wel.

4.2 Frequentie

Er bestaat geen publiek toegankelijke monitoring van de fosfaattoestand van de Nederlandse bodem op basis van combinaties van intensiteits- en capaciteitsmaatstaven (P-CaCl₂, Pw-getal, P-Al-getal, Pox of alternatieve methoden). Hoe vaak bepaalde combinaties van intensiteit en capaciteit voorkomen is daarom nagegaan met vier databestanden van onderzoek of beschikbaar gesteld door een uitvoerend laboratorium. Het eerste bestand (bestand 1, bouwland) is afkomstig van Ehlert et al., (2007), het tweede bestand (bestand 2) is afkomstig van een onderzoeksproject over fosfaatverliesnormen en heeft betrekking op grasland³¹. Het derde en vierde bestand betreffen gegevens beschikbaar gesteld door Blgg AgroExpertus.

De referentie voor indeling van de fosfaattoestanden van de bodem wordt gevormd door de rubricering van fosfaattoestanden in klassen zoals opgenomen in het 4^e actieprogramma van de Nitraatrichtlijn (tabel 17).

Tabel 17

Fosfaatklassen inclusief arealen voor bouwland en grasland van het 4^e Actieprogramma³².

Fosfaat-klassen	Bouwland		Grasland		Percentage totale areaal, % Bouw- en grasland
	Pw-getal	Areaal x 1000	PAL-getal	Areaal x 1000	
Laag	< 36	276,7	< 27	202	25
Neutraal	36-55	307,7	27-50	570	45
Hoog	> 55	355,6	> 50	228	30
Totaal		940		1000	100

Tabel 18

Procentuele verdeling van Pw-getal en P-Al-getal bij toepassing van de klasse-indeling gegeven in het 4^e actieprogramma van de Nitraatrichtlijn (Bestand 1, n=1620).

Pw-getal	P-Al-getal			Per klasse Pw-getal, %
	Laag	Neutraal	Hoog	
Laag	14	25	6	45
Neutraal	1	11	13	25
Hoog	1	6	24	30
Per klasse P-Al-getal, %	16	42	42	100

³¹ Data zijn beschikbaar gesteld door dr. C. van der Salm.

³² Het vierde actieprogramma is niet expliciet in de herkomst van deze data en daardoor is het aantal waarnemingen niet bekend. Naar beeldvorming heeft Schoumans (2007) de grondslag gevormd. Het aantal waarnemingen is dan 55.000.

Tabel 19

Procentuele verdeling van Pw-getal en P-Al-getal bij toepassing van de klasse-indeling gegeven in het 4^e aktieprogramma van de Nitraatrichtlijn (Bestand 2, n=2146).

Pw-getal	P-Al-getal			Per klasse Pw-getal, %
	Laag	Neutraal	Hoog	
Laag	34	30	3	67
Neutraal	1	23	2	27
Hoog	0	1	5	6
Per klasse P-Al-getal, %	36	54	10	100

Combinaties van klassen Pw-getal x P-Al-getal klassen laag-laag, laag-neutraal, neutraal-neutraal, neutraal-hoog en hoog-hoog komen met regelmaat voor. Combinaties van neutraal-laag, hoog-laag en laag-hoog worden weinig aangetroffen.

Voor de combinatie van P-CaCl₂ (dit is P-CaCl₂-SFA) met P-Al-getal biedt het 4^e Aktieprogramma geen referentie omdat informatie over de frequentie van voorkomen van P-CaCl₂-SFA ontbreekt. Bovendien moet een waardering gehecht worden aan waarden voor P-CaCl₂ hetgeen ten tijde van het opstellen van het 4^e Aktieprogramma nog in ontwikkeling was. Recent ingevoerde bemestingsadviezen voor snijmaïs reiken een handvat³³ aan. Er worden in de bemestingsadviezen weliswaar geen waarderingsklassen onderscheiden maar wel gewasgerichte bemestingsadviezen voor maïs in continuteelt en vruchtwisseling. Bij deze bemestingsadviezen gelden bereiken van 1 – 10 mg P/kg voor P-CaCl₂. Bij P-Al-getal is de rubricering van het 4^e aktieprogramma gevolgd. De gevoeligheid voor indeling van P-CaCl₂ in klassen wordt geïllustreerd door twee classificaties toe te passen bij bestand 1 en bij bestand 2 (Tabellen 20 t/m 23).

Tabel 20

Procentuele verdeling van P-CaCl₂-SFA bij drie klassen en van P-Al-getal bij toepassing van de klasse-indeling gegeven in het 4^e aktieprogramma van de Nitraatrichtlijn (Bestand 1, n=1620). Het bereik van P-CaCl₂-SFA is ingedeeld in klassen < 0,7 mg P/kg, 0,7-1,5 mg P/kg en > 1,5 mg P/kg.

P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	P-Al-getal			Per klasse P-CaCl ₂ , %
	Laag	Neutraal	Hoog	
< 0,7	15	8	4	27
0,7-1,5	4	11	3	19
> 1,5	5	18	32	55
Per klasse P-Al-getal, %	24	37	39	100

Tabel 21

Procentuele verdeling van P-CaCl₂-SFA bij drie klassen en van P-Al-getal bij toepassing van de klasse-indeling gegeven in het 4^e aktieprogramma van de Nitraatrichtlijn (Bestand 1, n=1620). Het bereik van P-CaCl₂-SFA is ingedeeld in klassen < 3,0 mg P/kg, 3,0 - 7,0 mg P/kg en > 7,0 mg P/kg.

P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	P-Al-getal			Per klasse P-CaCl ₂ , %
	Laag	Neutraal	Hoog	
< 3,0	22	29	12	63
3,0-7,0	2	6	16	24
> 7,0	1	2	10	13
Per klasse P-Al-getal, %	24	37	39	100

³³ <http://www.bemestingsadvies.nl/bemestingsadvies.html>.

Tabel 22

Procentuele verdeling van P-CaCl₂-SFA bij drie klassen en van P-Al-getal bij toepassing van de klasse-indeling gegeven in het 4^e actieprogramma van de Nitraatrichtlijn (Bestand 2, n=2146). Het bereik van P-CaCl₂-SFA is ingedeeld in klassen < 0,7 mg P/kg, 0,7-1,5 mg P/kg en > 1,5 mg P/kg.

P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	P-Al-getal			Per klasse P-CaCl ₂ , %
	Laag	Neutraal	Hoog	
<0,7	31	9	0	40
0,7-1,5	7	24	0	31
>1,5	3	18	8	29
Per klasse P-Al-getal, %	41	51	8	100

Combinaties van klassen P-CaCl₂-SFA x P-Al-getal klassen laag-laag, neutraal-neutraal en neutraal-hoog komen met regelmaat voor als lage waarden voor indelingscriteria gekozen worden. Bij verruiming valt 63% in de klasse met lage intensiteit (bestand 1) of 88% (bestand 2). Combinaties van neutraal-laag, hoog-laag en laag-hoog worden weinig aangetroffen. Bestand 2 moet onderzoek om effecten van evenwichtsbemesting op de lange termijn volgen. De uitgangssituatie van dit veldonderzoek is geconditioneerd door fosfaattoestanden ruim voldoende. Veeljarige onderzoek waarbij ook fosfaatoverschotten van 40 kg P₂O₅/ha/jaar betrokken zijn, heeft echter nog niet geleid tot een wezenlijke verhoging van de fosfaattoestand.

Tabel 23

Procentuele verdeling van P-CaCl₂-SFA bij drie klassen en van P-Al-getal bij toepassing van de klasse-indeling gegeven in het 4^e actieprogramma van de Nitraatrichtlijn (Bestand 2, n=2146). Het bereik van P-CaCl₂-SFA is ingedeeld in klassen < 3,0 mg P/kg, 3,0-7,0 mg P/kg en > 7,0 mg P/kg.

P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	P-Al-getal			Per klasse P-CaCl ₂ , %
	Laag	Neutraal	Hoog	
<3,0	41	46	1	88
3,0-7,0	1	4	5	10
>7,0	0	0	2	2
Per klasse P-Al-getal, %	41	51	8	100

Bestanden 3 en 4 geven een indruk hoe de verdeling in de bemestingspraktijk is (tabellen 24 en 25).

Tabel 24 geeft de verdeling op basis van bemestingsseizoen 2006-2007 van het Blgg AgroExpertus voor gras- en bouwland (inclusief maïs). Blgg AgroExpertus meet vanaf 2004 uitsluitend P-CaCl₂ en P-Al-getal. Om de waardering van de fosfaattoestand op bouwland vast te stellen, wordt gebruik gemaakt van een berekend Pw-getal. De berekening berust op multivariate regressieanalyse met gemeten P-CaCl₂ en P-Al-getal. De regressievergelijkingen kunnen ook toegepast worden om P-CaCl₂ te berekenen als Pw-getal als bekende wordt aangenomen (de waarde van de waarderingstoestand van de bodem voor Pw-getal is bekend). Daarbij wordt rekening gehouden met de grondsoortindeling. De berekening werd uitgevoerd door ir. A. Reijneveld (Blgg AgroExpertus) met een grondsoortindeling van de bemestingsadviezen voor grasland. De klassengrenzen van Pw-getal en P-Al-getal van bemestingsadviezen voor akkerbouw en grasland werden vervolgens omgerekend naar P-CaCl₂ en leidde tot indelingscriteria van de klassen laag, voldoende en hoog.

Gerangschikt naar waarderingsklassen van bemestingsadviezen komen combinaties van laag-voldoende, voldoende-voldoende, voldoende-hoog en hoog-hoog frequent voor (tabel 25).

Gerangschikt naar klassen < 1 mg P/kg, 1-2 mg P/kg en > 2 mg P/kg komen bij zeeklei de combinaties laag-laag, laag-neutraal, midden-neutraal, hoog-neutraal en hoog-hoog frequent voor.

Tabel 24

Procentuele verdeling van de fosfaattoestanden over berekende waarderingsklassen van bemestingsadviezen voor intensiteit (P-CaCl₂-SFA) en capaciteit (P-AL-getal) op gras- en bouwland voor het seizoen 2007-2008 (bestand 3). Het aantal grondmonsters is 27.086. Data zijn beschikbaar gesteld door en gerubriceerd door Arjan Reijneveld (Blgg AgroXpertus).

Klasse P-CaCl ₂ -SFA	P-AL-getal			Per klasse P-CaCl ₂ , %
	Laag	Voldoende	Hoog	
Laag	4	1	0	5
Voldoende	15	39	17	72
Hoog	1	7	16	23
Per klasse P-AL-getal, %	20	47	33	100

Tabel 25

Procentuele verdeling van de fosfaattoestanden over klassen voor intensiteit (P-CaCl₂-SFA) en capaciteit (P-AL-getal) op grasland op zeelei voor het seizoen 2009 (Bestand 4, n=5172). Bron: Reijneveld en Oenema, 2012.

Klasse P-CaCl ₂ -SFA (waarden in mg P/kg)	P-AL-getal, mg P ₂ O ₅ /100 g			Per klasse P-CaCl ₂ , %
	Laag (<27)	Neutraal (27-50)	Hoog (>50)	
Laag (< 1)	16	14	4	34
Midden (1-2)	5	17	2	24
Hoog (> 2)	3	27	11	41
Per klasse P-AL-getal, %	24	58	17	100

Alle bestanden indiceren dat combinaties van een hoge intensiteit en een lage capaciteit dan wel een lage intensiteit en hoge capaciteit niet frequent voorkomen.

4.3 Gevolgtrekkingen

In Nederland bieden elf commerciële laboratoria grondonderzoek op fosfaat aan.

Laboratoria verschillen in openheid over de procedures die gevolgd worden. Er zijn laboratoria die terughoudend reageren, anderen zijn zeer open over de procedures. De rapportage in dit hoofdstuk is bepaald door de informatie die alle laboratoria vrij wilde geven voor het publieke domein.

Analyses op P-AL-getal worden door tien laboratoria aangeboden, analyses op Pw-getal en P-CaCl₂ door respectievelijk acht en zeven laboratoria en Pox wordt door drie laboratoria aangeboden.

Niet alle aangeboden analyses staan in de scope, dus vallen niet onder bepalingen van de accreditatie.

Qua uitvoering zijn er verschillen tussen laboratoria ook indien methoden geaccrediteerd zijn. Verschillen berusten op aanpassing (modificatie) van de uitvoering van de analyse waarbij een aangewezen NEN-voorschrift aangepast wordt aan een passende uitvoering op het laboratorium (in-huis-methode). Ook zijn er verschillen in de meting van het fosforgehalte in het extract.

De combinatie van twee methoden van grondonderzoek voor de advisering van fosfaatgiften wordt uitgevoerd door twee laboratoria (P-CaCl₂ en P-AL-getal).

Frequentieverdelingen van de fosfaattoestand van de bodem op basis van twee methoden van grondonderzoek zijn niet beschikbaar in het publieke domein. Er wordt hierop niet gemonitord.

Door één laboratorium beschikbare gestelde data wijzen uit dat de combinatie van een (zeer) hoge intensiteit en (zeer) lage capaciteit en de combinatie van een (zeer) lage intensiteit en een (zeer) hoge capaciteit nauwelijks voorkomen. De vaststelling berust op P-CaCl₂ als maat voor de intensiteit en P-AL-getal als maat voor de capaciteit.

5 Evaluatie en conclusies

5.1 Beschouwing

5.1.1 Evaluatie snijmaïs

De reactie van snijmaïs op fosfaattoestand en fosfaatbemesting is onderzocht. De fosfaattoestand is daarbij bepaald met verschillende methoden van grondonderzoek die onderscheid aanbrengen in de snelheid waarmee de bodem fosfaat (intensiteit) afstaat in samenhang met de totale voorraad beschikbaarheid (capaciteit). Het onderzoek is uitgevoerd onder sterk gestandaardiseerde vorm van proefvelduitvoering omdat bekend is dat de reactie van gewassen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand zwakker is dan die welke bij suboptimale voorziening met stikstof optreedt. Snijmaïs wordt bij bemestingsadvisering ingedeeld bij de gewassen die sterk op fosfaattoestand en fosfaatbemesting reageren. De resultaten van onderzoek wijzen inderdaad uit dat snijmaïs op fosfaatbemesting en fosfaattoestand reageerde.

Beoogd werd om scherpe scheiding aan te brengen tussen klassen van intensiteit (P-CaCl₂) en capaciteit (P-Al-getal). Het traceren van voor het onderzoek geschikte landbouwpercelen met een lage capaciteit en hoge intensiteit bleek niet succesvol. Data van hoofdstuk 4 wijzen uit waarom; deze combinatie komt sowieso in de landbouwpraktijk niet veel voor. Het zoeken naar een landbouwperceel dat daarnaast ook nog beantwoordt aan vereisten voor de uitvoering van veldproeven (bijlage 2) wordt dan belemmerd in slagingskans.

Na het traceren van geschikte landbouwpercelen werd vastgesteld dat de variatie van de fosfaattoestand van de bodem binnen een veldproef sterk varieerde. Gemiddeld over de herhalingen kwam de fosfaattoestand van de bodem wel overeen met die welke op basis van één grondmonster van de veldproef was vastgesteld (data niet gegeven). Die variatie wijst op de noodzaak om een verantwoord bemonsteringsprotocol toe te passen voor het bepalen van de fosfaattoestand.

De fosfaatmeststof is in rijen bij het zaad geplaatst. Dit is conform de huidige uitvoeringspraktijk. Die uitvoeringspraktijk stopt echter bij giften van circa 30 kg P₂O₅ per ha. In dit onderzoek zijn hogere fosfaatgiften toegepast, waardoor 'luxe' consumptie is opgetreden, d.w.z. het gewas neemt wel meer fosfaat op maar deze extra opname leidt niet tot extra drogestofproductie. Vooral bij lage waarden voor Pox of P-Al-getal en hoge waarden voor P-CaCl₂ of Pw-getal is de toename van de fosfaatopname sterker dan de drogestofproductie (tabellen 12 en 14, bijlage 6).

De ontwikkeling van de snijmaïs op zandgrond werd in de begin-ontwikkeling getroffen door droogte. Daardoor trad vertraging van kieming van het zaad op. Die vertraging werd later gecompenseerd. Bij kleigrond trad door het optreden van slemp uitval van planten op. Die uitval is reden geweest om een standaardisatie naar eenzelfde aantal (100.000) planten per ha uit te voeren. De gemiddelde opbrengst op kleigrond gestandaardiseerd naar 100.000 planten/ha was 16,9 ton drogestof/ha en 17,2 ton drogestof/ha op zandgrond. Deze gerealiseerde drogestofopbrengsten op de veldproeven is hoger dan de praktijk in 2011 heeft gerealiseerd; de gemiddelde opbrengst van snijmaïs in Nederland in 2011 was namelijk 16,2 ton drogestof/ha (LEI, 2012). De opbrengst in 2011 was gelijk aan de gemiddelde opbrengst in 2009; beide jaren geven de hoogst geregistreerde opbrengsten in de periode 1985-2011. Op veldproeven worden door selectie van homogene landbouwpercelen gemiddeld genomen hogere opbrengsten gerealiseerd dan in de praktijk.

De veldproef op zandgrond met hoge intensiteits- en capaciteitswaarden beïnvloedt het resultaat van onderzoek. Indien deze veldproef betrokken wordt bij analyse, worden significante effecten van het bufferend vermogen en de fosfaatgift vastgesteld (drie-weg interacties). Een deelverzameling zonder data van deze veldproef geeft echter geen aantoonbaar significant effect van een interactie tussen fosfaatgift, intensiteit en capaciteit. De conclusies in deze rapportage volgen de uitkomsten van de

statistische analyse van de volledige dataset. Droogte kwam voor op meerdere locaties op zandgrond. Bij de locatie met hoge intensiteit en hoge capaciteit heeft het gewas meer fosfaat opgenomen dan omgezet werd in drogestof (luxe consumptie). Limitatie van beschikbaarheid van fosfaat in de bodem is hier niet het geval. De toegepaste vorm van statistiek - multivariate regressie-analyse met REML - houdt rekening met niet beheersbare variantie afkomstig van de locatie.

Opvallend is dat geen van de in het buitenland gebruikte methoden voor fosfaatonderzoek enige relatie hadden met de opbrengst of de fosfaatafvoer. De orde van grootte van deze parameters komt overeen met de gangbare waarderingsklassen voor bemestingsadviezen die in het buitenland gehanteerd worden (Jordan Meille et al., 2012, P-Bray³⁴). Het is dus niet zo dat het bereik in fosfaattoestanden in dit onderzoek afwijkend hoger is dan die welke in het buitenland voorkomen. In dit onderzoek is een verdeling over klassen laag tot hoog aanwezig. Een reden voor het ontbreken van enige significant effect is niet achterhaald.

5.1.2 Generalisatie

Dit onderzoek dient de beantwoording van de vraag of *het stelsel van fosfaatgebruiksnormen gedifferentieerd naar fosfaattoestand van de bodem ook rekening zou moeten houden met het fosfaatbufferend vermogen van de bodem*. Het onderzoek wijst uit dat bepaalde combinaties van intensiteits- en capaciteitswaarden als diagnostisch kenmerk voor het bufferend vermogen inderdaad de relatie tussen de fosfaatgift (of fosfaatgebruiksnorm) en de drogestofproductie of de fosfaatafvoer significant verbetert. Het onderzoek werd uitgevoerd met snijmaïs als toetsgewas. In deze paragraaf worden de mogelijkheden onderzocht voor generalisatie van verkregen onderzoeksresultaten naar andere gewassen voor een generieke toepassing.

In de bemestingsadvisering wordt het concept van het fosfaatbufferend vermogen al toegepast. Zo worden combinaties van P-CaCl₂ en P-Al-getal toegepast bij bemestingsadvisering voor grasland en snijmaïs (Bussink et al., 2011a; Bussink et al., 2011b).

Bij grasland is de fosfaatadviesgift afhankelijk van P-CaCl₂ en P-Al-getal en het na te streven fosforgehalte van de 1^e snede gras. Hierbij wordt onderscheid aangebracht naar grondsoorten (dekzand, (zee)klei en löss of veen). Voor overige sneden is het bemestingsadvies qua gift niet gekoppeld aan meetwaarden van bodemanalyses, maar is bedoeld om de onttrekking van het gewas te compenseren³⁵. Het beweidings- en maaieregime bepaalt dan de jaarlijkse totale fosfaatgift. Bij uitsluitend maaien is deze totale bemestingsgift hoog; zodra ook (meerdere malen) beweid wordt, neemt de geadviseerde fosfaatgift af.

Bij snijmaïs is de fosfaatadviesgift afhankelijk van P-CaCl₂ en P-Al-getal, maar worden geen grondsoorten onderscheiden. De gewasgerichte adviesgiften zijn ongeacht de fosfaattoestand (P-CaCl₂ en P-Al-getal) lager dan de afvoer (maximaal 34 kg P₂O₅/ha). Ook hier is het advies om de fosfaatafvoer te compenseren³⁶, dit advies berust op het bodemgerichte bemestingsadvies dat dient om een fosfaattoestand op de waardering voldoende te handhaven.

Voor overige teelten in de opengrond wordt de adviesgift bepaald uit een berekend Pw-getal bepaald met regressievergelijkingen gebaseerd op P-CaCl₂ en P-Al-getal³⁷ (Ehlert et al., 2007). De bemestingsadviezen volgen die voor op Pw-getal en fosfaatgift gekalibreerde fosfaatgiften.

³⁴ <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM1310.pdf>.

³⁵ Bij een maaisnede van 3 ton per ha is de onttrekking ongeveer 25 kg P₂O₅ per ha en bij zwaardere maaisneden evenredig meer, bij beperkt weiden 4 kg P₂O₅ per ha en bij onbeperkt weiden 2 kg P₂O₅ per ha (<http://www.bemestingsadvies.nl>). Bij lichtere sneden (<2500 kg ds/ha) wordt 20 kg P₂O₅/ha geadviseerd indien het P-Al-getal ≤ 50 mg P₂O₅/100 g is; bij hogere waarde voor het P-Al-getal wordt geen advies meer gegeven om de afgevoerde fosfaat te compenseren. Bij beweiding zijn de afvies lager, er wordt dan rekening gehouden met de excretie voor het dier.

³⁶ De adviesbasis geeft een afvoer van 75 kg P₂O₅/ha (= 32,8 kg P/ha) bij een opbrengst van 16,5 ton drogestof/ha.

³⁷ In 2013 wordt onderzoek uitgevoerd naar de gewasreactie van aardappel op basis van grondonderzoek met P-CaCl₂ en P-Al-getal (NMI, PPO-agv).

Grasland is qua areaal het belangrijkste landbouwgewas (988.262 ha in 2011³⁸). Snijmaïs met 258.000 ha is het volgende grote areaal (227800 ha). Akkerbouw omvat een reeks van gewassen die in 2011 535.042 ha cultuurland in gebruik namen. Vollegrondsgroenteteelt besloeg 88.552 ha. Van deze gewassen is een beperkt areaal aan te merken als gewassen die op fosfaatbemesting reageren. Op basis van de indeling van gewassen volgens de Bemestingsadviesbasis voor Akkerbouw- en Vollegrondsgroentegewassen (Van Dijk en Van Geel, 2012) is zo'n 293.000 ha niet als fosfaatbehoefstig aan te merken (gewasgroepen 2, 3 en 4). Circa 238.000 ha werd in 2011 beteeld met gewassen die op fosfaatbemesting reageren (gewasgroep 0: 51.000 ha en gewasgroep 1: 187.000 ha). Snijmaïs is een representant van gewasgroep 1 en is daarmee in beginsel ook een representant voor akkerbouwgewassen die in gewasgroep 1 geplaatst worden.

Hoewel bepaalde gewassen fosfaatbehoefstig genoemd worden, is de gewasreactie op fosfaatbemesting en fosfaattoestand vaak beperkt. In het bereik van fosfaatgebruiksnormen met bijhorende indelingsklassen van fosfaattoestanden zijn de effecten ervan op de opbrengst (en kwaliteit) gering (enkele procenten van de fysieke opbrengst bij suboptimale bemesting). De fosfaatafvoer verschilt tussen gewassen. Die fosfaatafvoer wordt bepaald door de fosfaatbemesting en de fosfaattoestand (Ehlert et al., 2009). Bij fosfaattoestand neutraal en bijhorende fosfaatgebruiksnormen is de variatie in fosfaatgehalte van het gewas en fosfaatafvoer gering. De afvoer is dan te schatten uit de drogestofproductie en een kengetal voor de fosfaatafvoer per ton drogestof.

5.2 Conclusies

Het effect van fosfaattoestand (intensiteit of capaciteit) op de drogestof-productie werd als hoofdeffect significant vastgesteld bij toepassing van de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) en bij Ratio's gebaseerd op P-Al-getal of Pox als capaciteitsmaatstaven en P-CaCl₂-SFA of Pw-getal als intensiteitsmaatstaven. De gewasopbrengst was gerelateerd aan Pw-getal en P-Al-getal. Echter, de gewasopbrengst was niet gerelateerd aan P-CaCl₂-SFA, P-CaCl₂-ICP, P-Bray, P-Olsen, P-Mehlich3, Pi of Pox.

Als naar één methode van grondonderzoek wordt gestreefd bij het stelsel van fosfaattoestand-afhankelijke fosfaatgebruiksnormen, dan komen daarvoor FVG, Pw-getal en P-Al-getal het meest in aanmerking. Deze methoden hebben zowel met drogestofopbrengst als fosfaatafvoer een relatie.

Combinaties van methoden die inzicht verschaffen in de fosfaatintensiteits- en capaciteitstoestand van de bodem (P-Al-getal/P-CaCl₂-SFA; Pox/P-CaCl₂-SFA; P-Al-getal/Pw-getal; Pox/Pw-getal) hebben weliswaar een (zeer) sterk significante interactie met de fosfaatgift, echter het hoofdeffect van de intensiteitsmaatstaf is dan niet significant. Dit wordt veroorzaakt door de combinatie van hoge waarden van Ratio's (de verhouding tussen fosfaatintensiteits- en capaciteitstoestand van de bodem) die samen gaan met (zeer) lage waarden van de intensiteit.

De fosfaatafvoer had bij alle in Nederland toegepaste methoden een significante relatie met de fosfaattoestand (intensiteit of capaciteit) met uitzondering van Pox en de in het buitenland gangbare methoden (P-Olsen, P-Mehlich3). De fosfaatverzadigingsgraad had een zeer significante relatie met de fosfaatafvoer. Ratio's gebaseerd op Pox met als intensiteitsmaatstaven P-CaCl₂-SFA of Pw-getal zijn eveneens zeer significant. Ratio's gebaseerd op P-Al-getal zijn alleen significant bij P-CaCl₂-SFA.

Combinaties van P-CaCl₂-ICP met Pox en Pw-getal met Pox hebben een significante relatie met de drogestofproductie. De fosfaatafvoer is significant gerelateerd aan de combinaties P-CaCl₂-SFA en Pox, P-CaCl₂-SFA en P-Al-getal, P-CaCl₂-ICP en Pox en Pw-getal (op gewichtsbasis) en Pox, allen in combinatie met de bemesting. Een significante interactie tussen een Ratio of een FVG met bemesting werd niet vastgesteld.

³⁸ LEI, 2012. Land- en tuinbouwcijfers 2012, LEI Wageningen UR, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), LEI-rapport 2012-056.

Als intensiteitsmaatstaf voldoen P-CaCl₂ (ICP, SFA) en Pw-getal (volume of gewichtsbasis) als indicator voor de snelheid waarmee fosfaat door de bodem wordt geleverd.

Pox is in zeven modellen de capaciteitsmaatstaf die significant bijdraagt aan de betekenis van een intensiteitsmaatstaf. Bij P-Al-getal is alleen bij fosfaatafvoer gestandaardiseerd naar 100.000 planten per ha een significante interactie gevonden. Pox brengt daardoor de betekenis van de capaciteitsmaatstaf beter in beeld dan P-Al-getal. Ook bij toepassing van Ratio's blijkt Pox als capaciteitsmaatstaf tot een groter onderscheidend vermogen te leiden dan het P-Al-getal. Op basis van de resultaten van dit onderzoek is Pox daardoor robuuster dan P-Al-getal.

P-CaCl₂-SFA wordt in drie modellen met fosfaatafvoer significant vastgesteld, P-CaCl₂-ICP bij één model met drogestofproductie. Op basis van de resultaten van dit onderzoek is P-CaCl₂-SFA daardoor robuuster dan P-CaCl₂-ICP.

Significante verbanden tussen fosfaattoestand gemeten als fosfaatverzadigingsgraad en opbrengst en fosfaatafvoer als functie van de fosfaatbemesting werden vastgesteld. Hetzelfde is vastgesteld voor Ratio's. De interactie van een Ratio of van een fosfaatverzadigingsgraad met bemesting was niet significant. Echter bij geen van deze parameters was de interactie met bemesting en de fosfaatverzadigingsgraad significant bij fosfaatafvoer als respons. Een concept gegeven in vergelijking (3) kan met verkregen onderzoeksgegevens niet worden vastgesteld.

Samenvattend, de volgende methoden komen in aanmerking voor vaststelling van het fosfaat bufferend vermogen van de bodem in een stelsel van fosfaattoestand-afhankelijke fosfaatgebruiksnormen:

Bij keuze voor één parameter, als drogestofproductie de keuze bepaalt:

1. Fosfaatverzadigingsgraad (FVG)

Bij keuze van één parameter, als fosfaatafvoer de keuze bepaalt:

1. Fosfaatverzadigingsgraad (FVG)
2. P-CaCl₂-SFA
3. P-CaCl₂-ICP
4. Pw-getal
5. P-Al-getal

Bij keuze voor een combinatie van een intensiteits- en een capaciteitsparameters:

1. Combinatie van P-CaCl₂-SFA en Pox
2. Combinatie van Pw-getal en Pox

Consultatie van laboratoria gaf aan dat P-CaCl₂, Pw-getal en P-Al-getal behoren tot de standaardmethoden van grondonderzoek. Pox is een methode die laboratoria in huis hebben maar deze methode wordt weinig toegepast. Er is daardoor afdoende draagvlak in de huidige uitvoeringspraktijk voor introductie van FVG, combinaties van P-Al-getal, P-CaCl₂-SFA en Pox en Pw-getal en Pox.

6 Protocol

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt een concept beschreven voor het protocol ter vaststelling van de fosfaat--toestand van de bodem waarbij rekening gehouden kan worden met het fosfaatbufferend vermogen van de bodem.

Bij een protocol voor bemonstering van de bodem en bepaling van de fosfaattoestand dienen de volgende aspecten in beschouwing genomen te worden:

- Plaatsbepaling van het perceel
- Bepaling van de oppervlakte van het perceel
- Bemonsteringssystematiek
- Aantal steken bij bemonstering
- Tijdstip van bemonstering
- Bemonsteringsdiepte
- Monsternemingstoestellen
- Monsteromvang
- Monsteropslag
- Monstervoorbehandeling
- Criteria voor uitvoerend laboratorium
- Analysevoorschriften
- Voorschriften voor rapportage van analyseresultaten
- Administratieve verplichtingen voortvloeiend uit regelgeving (mestbeleid)

In deze studie worden in het bijzonder de aspecten verbonden met de analyse van de fosfaattoestand en het fosfaatbufferend vermogen van de bodem beschreven.

6.2 Concept protocol

6.2.1 Doel

Dit protocol beschrijft de methoden van bemonstering en grondonderzoek waarmee de fosfaattoestand van de bodem van een perceel bepaald moet worden. Op basis daarvan kan worden afgeleid welke fosfaatgebruiksnorm geldt.

6.2.2 Principe

Dit protocol dient de toepassing van een maatstaf voor het fosfaatbufferend vermogen van de bodem bij het aanwijzen van fosfaatgebruiksnormen op basis van grondonderzoek. Daartoe worden zowel de intensiteit, waarmee de bodem fosfaat aan het gewas en het milieu afstaat, bepaald als mede de capaciteit, dus de totale voorraad bodemfosfaat die beschikbaar is voor het milieu maar die ook kan bijdrage aan belasting van het milieu.

6.2.3 Toepassingsgebied

Het protocol is uitsluitend van toepassing voor percelen landbouwgrond die in aanmerking komen voor een fosfaatgebruiksnorm op basis van grondonderzoek.

6.2.4 Definities

Fosfaattoestand. De hoeveelheid fosfaat in de bouwvoor of zode, bepaald met bij ministeriële regeling aangewezen methoden van grondonderzoek.

Fosfaatbindend vermogen. Het vermogen van de bouwvoor of zode om fosfaat te binden, bepaald met bij ministeriële regeling aangewezen methoden van grondonderzoek.

Fosfaatbufferend vermogen. Het vermogen van de bouwvoor of zode om fosfaat te bufferen, bepaald met bij ministeriële regeling aangewezen methoden van grondonderzoek.

6.2.5 Verwijzing naar andere protocollen en normstellende documenten

6.2.5.1 Plaatsbepaling en oppervlakte van het perceel

Bij de plaatsbepaling en de oppervlaktebepaling van het landbouwperceel kan aangesloten worden bij de systematiek van de Gecombineerde Data-Inwinning (GDI)³⁹.

6.2.5.2 Bemonstering

Bemonsteringssystematiek + aantal steken

Er geldt al een protocol voor de bemonstering van landbouwpercelen voor aanwijzing van fosfaatarme gronden⁴⁰. Dit protocol is in beginsel ook van toepassing bij de bepaling van het fosfaatbufferend vermogen van de bodem. Het aantal steken bij bemonstering is afhankelijk van de variatie die in de veldsituatie voorkomt en van de nauwkeurigheidseis die gesteld wordt⁴¹.

Tijdstip van bemonstering

Het verdient aanbeveling om de bemonstering uit te voeren op een tijdstip dat past in de bedrijfsvoering. Dit is veelal het tijdstip waarop verwacht mag worden dat gewasbeschikbaar laag is, bijvoorbeeld na de teelt van granen. Echter deze beschikbaarheid van fosfaat is ook door bekalking te beïnvloeden. Geadviseerd wordt om geen bemonstering uit te voeren binnen een periode van minimaal twee maanden na bekalking (Ehlert, 2009).

Bemonsteringsdiepte

De resultaten van dit onderzoek zijn gebaseerd op een bemonstering van de bodemlaag 0-25 cm. Omdat de bemonstering bouwland betreft waarbij grondbewerking⁴² standaard is, mag zonder meer ervan uitgegaan worden dat de fosfaattoestanden van bodemlagen 0-10 cm en 0-25 cm gelijk zijn. De bemonsteringsdiepte van gras- en bouwland kunnen daardoor op elkaar afgestemd worden.

Monsternemingstoestellen, monsteromvang en monsteropslag

Onderzoek naar monsternemingstoestellen, monsteromvang en monsteropslag behoren niet tot het object van studie van dit onderzoek.

³⁹ De plaatsbepaling van het perceel wordt bepaald door de hoekpunten met GPS (x- en y-coördinaten) vast te leggen. Daarmee ligt ook het oppervlak van het perceel vast. Tevens worden naam en adresgegevens van de landbouwer, en het KvK-nummer en BSN-nummer vastgelegd, zodat een unieke plaatsbepaling wordt verkregen. Die vastlegging is eenmalig en geldig zolang de perceelsgrootte niet verandert (Ehlert, 2009).

⁴⁰ Bijlage C, Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.

⁴¹ Het aantal steken is afhankelijk van de nauwkeurigheidseis. In de praktijk is veel variatie in het veld aanwezig. Variogrammen leggen deze variatie vast. In beginsel zijn variogrammen nodig voor intensiteits- en capaciteitsmaatstaven. Variogrammen voor de combinaties van zowel intensiteit- als capaciteitsmaatstaven zijn niet beschikbaar. Geostatistisch onderzoek is geen onderdeel van dit onderzoek geweest. Omdat juist bij bodems die fosfaatarm zijn, variatie groter is dan bij bodems met goede bodemvruchtbaarheid, zal toepassing van het protocol zoals voorgesteld voor het aanwijzen van fosfaatarme landbouwpercelen adequaat zijn.

⁴² In de biologische landbouw worden ook welk systemen met minimale bodembewerking of zelf geen grondbewerking toegepast. Fosfaat zal zich dan vooral ophopen in de bovenste 10 cm van het bodemprofiel.

6.2.5.3 Monstervoorbehandeling

Monstervoorbehandeling volgt NEN 570i:2006.

NEN 5709:2006. Bodem - Monstervoorbehandeling voor de bepaling van organische en anorganische parameters in grond. ICS 13.080.10.

6.2.5.4 Analysemethoden

De fosfaatverzadigingsgraad kan bepaald worden met NEN 5776:2006. Dit voorschrift geeft de bepaling van Pox, Alox en Fe-ox. Indien gekozen wordt voor uitsluitend Pox is bepaling van Alox en Fe-ox niet nodig.

NEN 5776: 2006. Bodem - Bepaling van ijzer, aluminium en fosfor in een ammoniumoxalaat-oxaalzuurextract voor het vaststellen van de fosfaatverzadiging. ICS 13.080.10.

P-CaCl₂ kan bepaald worden met NEN 5704:1996:

NEN 5704:1996. Bodem. Monstervoorbehandeling van grond. Extractie met een calciumchloride-oplossing (0,01 mol). ICS 13.080-20.

Voor de bepaling van het fosforgehalte in het extract is geen specifieke NEN-norm beschikbaar. In beginsel is NEN-EN-ISO 6878:2004 toepasbaar (P-CaCl₂-SFA):

NEN-EN-ISO 6878:2004. Water - Bepaling van fosfor - Ammoniummolybdaat spectrometrische methode

Voor Pw-getal is het concept NEN-voorschrift niet uit ontwikkeld. De uitvoeringsregeling Meststoffen-wet geeft in bijlage C de analysemethode. Voor P-Al-getal geldt NEN 5793:2010.

NEN 5793:2010 nl. Bodem - Bepaling van fosfaat in grond extraheerbaar met een ammoniumlactaat-azijnzuurbuffer (P-AL), ICS 13.080.10.

6.2.5.5 Criteria laboratorium

Het laboratorium moet door de Raad van Accreditatie erkend zijn om aangewezen methoden van grondonderzoek voor de vaststelling van de fosfaatgebruiksnorm op basis van grondonderzoek te mogen uitvoeren. Hiervoor is nodig een uniek analysesnummer en het accreditatiecodenummer van het laboratorium (L-nummer).

6.2.5.6 Criteria fosfaattoestand

Criteria voor het vastleggen van de fosfaattoestand op basis van één of twee methoden van grondonderzoek hangen af of gekozen wordt voor een relatie op basis van opbrengst of op basis van fosfaatafvoer. Daarnaast hangt het criterium af van de keuze voor de analysemethoden.

In dit concept is gekozen voor toepassing van twee methoden om daarmee het fosfaatbufferend vermogen van de bodem te karakteriseren.

De keuze voor de getalswaarden voor de verschillende maten voor intensiteit en capaciteit berust op een globale inschatting waar een gewasreactie te verwachten is (laag) en waar niet (hoog).

Tabel 26

Voorbeeld voor criteria voor fosfaattoestanden.

P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	Pox, mg P / kg		
	< 200	200 - 400	> 400
< 0,5	Laag	Laag	Neutraal
0,5 – 1,5	Hoog	Neutraal	Neutraal
> 1,5	Hoog	Hoog	Hoog

6.2.5.7 Toetsing

De toetsing is afhankelijk of de nauwkeurigheidseis die opgelegd wordt. Als de nauwkeurigheidseis zowel de bemonsteringsfout van de bodem als de analysefout betreft bij de toetsing, dan geldt eenzelfde grondslag als gegeven door Ehlert et al., 2005.

6.2.5.8 Voorschriften voor rapportage van analyseresultaten

De voorschriften voor rapportage van analyseresultaten behoren niet tot het object van studie van dit onderzoek.

6.2.5.9 Administratieve verplichtingen bij fosfaatgebruiksnormen.

Administratieve verplichtingen bij fosfaatgebruiksnormen behoren niet tot het object van studie van dit onderzoek.

6.3 Technische toelichting

6.3.1 Kader voor toepassing van de resultaten van dit onderzoek

Het protocol voor het aanwijzen van percelen die in aanmerking komen voor een naar fosfaattoestand gedifferentieerde fosfaatgebruiksnorm is in hoofdstuk 6 gegeven. In deze paragraaf worden de onderdelen van het protocol stap voor stap besproken voor zover deze stappen direct voortkomen uit dit onderzoek. Stappen verbonden aan bemonstering van de bodem, voorbehandeling, genormaliseerde analyse protocollen, criteria voor uitvoerende laboratoria en voorschriften voor rapportage van analyseresultaten en administratieve verplichtingen zijn geen nieuwe onderdelen van het protocol voor grondonderzoek voor het vaststellen van de hoogte van een fosfaatgebruiksnorm; hiervoor voorziet de Meststoffenwet al in bepalingen. Dit onderzoek leidt niet tot een andere - gewijzigde - uitvoering ervan. De technische toelichting betreft nieuwe onderdelen van een protocol.

De resultaten van dit onderzoek vragen afweging. Bepalend zal worden of het vastgestelde effect van het bufferend vermogen op de gewasreactie geleet op de frequentie van het voorkomen van bepaalde combinaties van intensiteits- en capaciteitsmaatstaven in de landbouwpraktijk afdoende robuust zijn om tot implementatie bij een stelsel van gedifferentieerde fosfaatgebruiksnormen over te gaan. De methoden voor de bepaling van intensiteit en capaciteit dienen aangewezen te worden: hierbij is van belang of de huidige uitvoeringspraktijk bij laboratoria leidend is of dat de bevindingen van dit onderzoek richtinggevend worden cq. aansluiting gezocht wordt bij resultaten van onderzoek naar de mate waarin de Nederlandse bodem fosfaatverzaaid is (Van der Zee et al., 1990a; Vander Zee et al., 1990b, Schoumans et al. 2004b, 2005, 2008, Schoumans, 2007; Bolt et al., 2008, 2012), Klijne et al., 2007)).

In deze paragraaf wordt het protocol stap voor stap besproken voorzover dit de opname van het bufferend vermogen van de bodem voor fosfaat betreft.

6.3.1.1 Doel

Het protocol is er uitsluitend op gericht om op basis van een wetenschappelijk verantwoorde analyse van de fosfaattoestand van de bodem aan te tonen dat een perceel landbouwgrond in aanmerking komt voor een gebruiksnorm passend bij een toestand laag of toestand neutraal.

6.3.1.2 Principe

Het principe van het protocol berust op de analyse van een verantwoord verkregen en verwoord voorbehandeld grondmonsters op fosfaattoestand op basis van aangewezen methoden van grondonderzoek.

6.3.1.3 Afbakening

In het protocol is de volgende afbakening opgenomen.

Het protocol dient uitsluitend om de fosfaattoestand vast te stellen volgens twee aangewezen methoden van grondonderzoek op fosfaat voor het vaststellen van een fosfaatgebruiksnorm. Elke andere toepassing valt buiten het werkgebied van het protocol.

6.3.1.4 Toepassingsgebied

Het protocol is uitsluitend van toepassing voor percelen landbouwgrond die in aanmerking komen voor een naar de klasse Laag of de klasse Neutraal aangewezen gebruiksnorm voor fosfaat vanwege het beantwoorden aan daartoe geldende criteria. Er zijn geen andere toepassingen voorzien van dit protocol.

6.3.1.5 Definities

Het protocol voert een aantal begrippen die hier worden gedefinieerd. Alleen aangewezen methoden van grondonderzoek mogen worden toegepast om uitsluitel te geven over de fosfaattoestand van het perceel landbouwgrond. Dit wordt in de definitie vastgelegd. Het betreft de volgende begrippen:

Bij *fosfaattoestand* en bij *fosfaatbindend vermogen* wordt de methode of worden methoden van chemisch grondonderzoek vastgelegd.

Bij *fosfaatbufferend vermogen* wordt vastgesteld dat dit kenmerk van de bodem of fosfaat te bufferen bepaald wordt door twee bij ministeriële regeling aangewezen methoden van grondonderzoek.

6.3.1.6 Verwijzingen

Het protocol maakt gebruik van bestaande protocollen en concepten van protocollen. Daarom zijn er verwijzingen naar andere protocollen en naar normstellende documenten.

Verwijzingen

NEN 5709:2006. Bodem - Monstervoorbehandeling voor de bepaling van organische en anorganische parameters in grond. ICS 13.080.10.

NEN 5776: 2006. Bodem - Bepaling van ijzer, aluminium en fosfor in een ammoniumoxalaat-oxaalzuurextract voor het vaststellen van de fosfaatverzadiging. ICS 13.080.10.

NEN 5704:1996. Bodem. Monstervoorbehandeling van grond. Extractie met een calciumchloride-oplossing (0,01mol). ICS 13.080-20.

NEN-EN-ISO 6878:2004. Water - Bepaling van fosfor - Ammoniummolybdaat spectrometrische methode

Pw-getal: Uitvoeringsregeling Meststoffenwet in bijlage C de analysemethode.

NEN 5793:2010 nl. Bodem - Bepaling van fosfaat in grond extraheerbaar met een ammoniumlactaat-azijnzuurbuffer (P-AL), ICS 13.080.10.

Verwijzing naar andere normstellende documenten inzake betrokken monsternemer, laboratorium, waarborg correcte bemonstering, accreditatie uitvoerend laboratorium behoort niet tot het object van deze studie.

6.3.1.7 Fysisch – chemisch grondonderzoek

6.3.1.8 Toetsing

In tabel 27 worden voor drie mogelijke combinaties van intensiteits- en capaciteitsmaatstaven opties geformuleerd voor criteria. Deze opties zijn gebaseerd op fosfaatafvoer.

Tabel 27

Opties voor normwaarden voor indeling naar bufferend vermogen.

Intensiteit	Capaciteit	Klasse	Evenwichtsbemesting 60-65 kg P ₂ O ₅ / ha		Evenwichtsbemesting 60-70 kg P ₂ O ₅ / ha	
			Indeling intensiteit	Indeling capaciteit	Indeling intensiteit	Indeling capaciteit
Pw-getal	Pox	Laag	≤20	≥500	≤20	≥500
		Neutraal	20 – 30	<500	20 - 40	<500
		Neutraal	>30	≥500	>40	≥500
		Hoog	>30	<500	>40	<500
P-CaCl ₂ -SFA	P-Al-getal	Laag	≤ 0,5	≤ 40	≤ 0,5	≤ 40
		Laag	0,5 – 1,0	≤ 30	0,5 – 1,0	≤ 30
		Neutraal	≤ 0,5	40 – 50	≤ 0,5	>40
		Neutraal	0,5 – 1,0	30 – 50	0,5 – 1,0	>30
		Neutraal	1,0 – 1,5	≤ 50	1,0 – 1,5	≤ 60
		Neutraal	1,5 – 2,0	≤ 30	1,5 – 2,0	≤ 40
		Hoog	1,0 – 1,5	>50	1,0 – 1,5	>60
		Hoog	1,5 – 2,0	>30	1,5 – 2,0	>40
		Hoog	>2,0	Geen norm	>2,0	Geen norm
P-CaCl ₂ -SFA	Pox	Laag	≤0,5	<400	≤0,5	<400
		Neutraal	0,5 – 1,0	>400	0,5 - 2,0	Geen norm
		Neutraal	1,0 – 1,5	Geen norm	2,0 -2,5	>600
		Hoog	>1,5	Geen norm	>2,0	≤600
		Hoog	*	*	>2,5	Geen norm

Als gekozen wordt voor FVG, dan leidt dit tot een keuze voor welke mate van oplading van de fosfaat-toestand acceptabel wordt geacht met het oog op fosfaatuitspoeling (zie paragraaf 5.1.2). Die oplading is cultuur en bemestingshistorie afhankelijk. Het vergt nadere uitwerking om tot normwaarden te komen.

Toetsing van een uitslag van onderzoek hangt af van de nauwkeurigheidseis die aan een analyseresultaat wordt gesteld. De nauwkeurigheidseis is afhankelijk van de fout van bemonstering van het landbouwperceel inclusief de fout geïntroduceerd door voorbehandeling van het grondmonster en de fout bij analyse van de fosfaattoestand. Een toetsingsgrootte die rekening houdt met beide foutenbronnen is gegeven door Ehlert et al., 2005⁴³).

⁴³ Grenswaarde STP = Uitslag Grondonderzoek + $z_{1-\alpha} \cdot \sqrt{(v_{\text{tot, STP}})}$ (eenheid grondonderzoek). Hierin is STP de aangewezen methode van grondonderzoek, $z_{1-\alpha}$ het (1- α)-percentiel van de standaard normaal verdeelde variabele, tot v de variantie van de totale fout (steekproeffout + laboratoriumfout) in het geschatte perceelsgemiddelde.

Literatuur

- Aarts, H.F.M., C.H.G. Daatselaar en G. Holshof, 2008. Bemesting, meststofbenutting en opbrengst van productiegrasland en snijmaïs op melkveebedrijven. Rapport / Plant Research International 208, Wageningen.
- Bolt, F.J.E. van der, E.M.P.M. van Boekel, O.A. Clevering, W. van Dijk, I.E. Hoving, R.A.L. Kselik, J.J.M. de Klein, T.P. Leenders, V.G.M. Linderhof, H.T.L. Massop, H.M. Mulder, G.J. Noij, E.a. van Os, N.B.P. Polman, L.V. Renaud, S. Reinhard, O.F. Schoumans en D.J.J. Walvoort, 2008. Ex-ante evaluatie landbouw en KRW: Effect van voorgenomen en potentieel aanvullende maatregelen op de oppervlaktewaterkwaliteit voor nutriënten. Wageningen, Alterra-rapport 1687.
- Bolt, F.J.E. van der en O.F. Schoumans (eds), 2012. Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex-post, Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2318.
- Burgers, S.L.G. en J.H. Oude Voshaar, 2010. Statistiek voor onderzoekers; met voorbeelden uit landbouw- en milieuwetenschappen. 3^e geheel herziene druk. Wageningen, Wageningen Academic. ISBN nr. 9789086861385.
- Bussink D.W. , R.F. Bakker, H. van der Draai en E.J.M Temminghoff, 2011. Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 1 snijmaïs. Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V. rapport 1246.1.
- Bussink D.W. , R.F. Bakker, H. van der Draai en E.J.M Temminghoff, 2011. Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 2 grasland. Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V. rapport 1246.2.
- Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen, <http://www.bemestingsadvies.nl>.
- Ehlert, P.A.I. and A.E. Johnston, 2001. Chapter 4. Fate of phosphorus in soil. In: The effect of phosphate fertilizer management strategies on soil phosphorus status and crop yields in some european countries. A.E. Johnston, P.A.I. Ehlert, M. Kuecke, B. Amar, K.W. Jaggard & C. Morel (Eds). Actes Editions, 2001. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat, Maroc. ISBN: 9981-801-49-6. pp. 59-100.
- Ehlert, P.A.I., Schoumans, O.F., Brus, D.J., Groot, W.J.M. de, Visschers, R. en Pleijter, M., 2005. Protocol voor het aanwijzen van gronden die in aanmerking komen voor een verhoogde gebruiksnorm voor fosfaat. Technische uitwerking. Alterra rapport 1201. Alterra, Wageningen.
- Ehlert, P.A.I., Burgers, S.L.G.E, Bussink, D.W., Temminghoff, E.J.M., Erp, P.J. van, en Riemsdijk, W.H. van, 2007. Deskstudie naar de mogelijkheden van het aanwijzen van fosfaatarme gronden op basis van P-PAE. Stand van zaken 2006. Alterra rapport 1458.
- Houba, V.J.G., I. Novozamsky en E. Temminghoff, 1997a. Soil analysis procedures. Extraction with 0,01 M CaCl₂. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University, the Netherlands, 06170411.
- Houba, V.J.G., J.J. van der Lee en I. Novozamsky, 1997b. Soil analytical procedures. Other procedures (Soil and Plant analysis, part 5B. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University, the Netherlands, 06175208.
- Houba, V.J.G., E.J.M. Temminghoff, G.A. Gaikhorst, G.A., W. van Vark, 2000. Soil analysis procedures using 0.01 M Calcium Chloride as extraction reagent. Communications in Soil Science and Plant Analysis 31 (2000) - p. 1299 - 1396.
- Johnston, A.E., P.A.I. Ehlert, M. Kuecke, B. Amar, K.W. Jaggard & C. Morel, 2001: The effect of phosphate fertilizer management strategies on soil phosphorus status and crop yields in some european countries. Actes Editions, 2001. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat, Maroc. ISBN: 9981-801-49-6
- Johnston, A.E. and K. Syers, 2009. A New Approach to Assessing Phosphorus Use Efficiency in Agriculture. Better Crops/Vol. 93 (No. 3): 14-16.
- Jordan-Meille, L., G. H. Rubæk, P. Ehlert, V. Genot, G. Hofman, K. Goulding, K J. Recknagel, G. Provolo and P. Barraclough 2012. An overview of fertiliser-P recommendations in Europe: Soil testing, calibration, and fertiliser recommendations. Soil Use and Management 28(4): 419-435. doi: 10.1111/j.1475-2743.2012.00453.x.

-
- Klijne, A. de, A. E. J. Hooijboer, D. W. Bakker, O. F. Schoumans en A van den Ham, 2007. Milieukwaliteit en nutriëntenbelasting. Achtergrondrapport milieukwaliteit van de Evaluatie Meststoffenwet 2007. RIVM rapport 680130001/2007.
- Kodde, J., 1994. Adviesbasis voor de bemesting van fruitgewassen in de vollegrond. Grondonderzoek. Bladonderzoek. Informatie en Kennis Centrum Akker- en Tuinbouw. Afdeling fruitteelt. Ministerie LNV.
- Koopmans, G.F., W. J. Chardon, P. de Willigen, and W. H. van Riemsdijk, 2004. Phosphorus Desorption Dynamics in Soil and the Link to a Dynamic Concept of Bioavailability. *J. Environ. Qual.* 33:1393–1402.
- Koopmans, G.F., 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, the Netherlands, 168 p.
- Koopmans, G.G., W. J. Chardon, P. H. M. Dekker, P. F. A. M. Römkens¹, and O. F. Schoumans, 2006. Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. *Soil Science* 171 (2): 103-116.
- Kovar, J.L. en G.M. Pierzynski, 2009. Methods of Phosphorus soil analysis for soils, sediments, residuals and water. Second edition. Southern Cooperative Series Bulletin No. 408, Virginia Tech University. http://www.sera17.ext.vt.edu/Documents/P_Methods2ndEdition2009.pdf
- Kreij, C. de, 1999. Bemestings Adviesbasis Buitenbloemen. Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente. Naaldwijk. ISSN 1387 – 2427.
- LEI, 2012. Land- en tuinbouwcijfers. LEI Wageningen UR, Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). ISSN 1386-9566, LEI-rapport 2012-056.
- Neyroud, J.A., en Lischer P., 2003. do different methods used to estimate soil phsophorus availability across Europe give comparable results? *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 166: 422-431.
- Oenema, O., Dijk, T.A. van, 1994. Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Rapport van de technische projectgroep "P-deskstudie". Ministerie van LNV, VROM en V&W, Landbouwschap en Centrale Landbouworganisaties, Project Verliesnormen, Deelrapport I.
- Oenema, O., W. Chardon, P. Ehlert, K. van Dijk, O. Schoumans en W. Rulkens, 2012. Phosphorus fertilisers from by-products and wastes. International Fertiliser Society, Proceedings nr. 717. ISBN 978-0-85310-354-7 (ISSN 1466-1314).
- Paauw, F. van der, Sissingh, H.A. en Ris, J., 1971. Een verbeterde methoden van de extractie van fosfaat uit grond met water: het Pw-getal. Verslagen van landbouwkundig onderzoek 749.
- Prummel, J. 1974. Veranderingen in het Pw-getal in de loop van de tijd en onder invloed van de bemesting. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 9-74, Haren, Nederland
- Reijneveld, J.A., en O. Oenema, 2012. Evolution du statut phosphaté des sols de prairies aux Pays-Bas. Conséquences pour les recommandations de fertilisation. *Fourrages* 210: 190-119.
- Rommelink, G.J., K. Blanken, J.C. Curth-van Middelkoop, W. Ouweltjes, H. Wemmenhove, H. 2011. Handboek melkveehouderij, Wageningen, UR. Handboek / Wageningen UR Livestock Research 22. <http://edepot.wur.nl/186283>.
- Syers, J.K., A.E. Johnston en D. Curtin, 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. Reconciling changing concepts of soil phosphorus behaviour with agronomic information. *FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin* no. 18. Rome, Italy: FAO.
- Van Rotterdam-Los, A.M.D., 2010. The potential of soils to supply phosphorus and potassium, processes and predictions. Wageningen University, Wageningen. 144pp
- Rotterdam-Los A.M.D. van, W. Bussink, E.J.M. Temminghoff, W. Bussink en W.H. van Riemsdijk, 2012. Predicting the potential of soils to supply phosphorus by integrating soil chemical processes and standard soil tests. *Geoderma Volumes* 189–190: 617–626.
- Salm, C., van der, Chardon, W.J., Koopmans, G.F., Middelkoop, J.C. van & Ehlert, P.A.I., 2009. Phytoextraction of phosphorus enriched grasssoil. *Journal of Environmental Quality Journal of Environmental Quality* 38, 751 - 761.
- Salm, C., van der, O.F. Schoumans, D. Walvoort, P. Groenendijk en M. Pleijter, 2009. A simple approach to identify critical source area for phosphorus leaching in the Netherlands. *Geophysical Research Abstracts* 11. EGU 2009-3623.
- Schoumans, O.F. en P. Groenendijk, 2000. Modeling soil phosphorus levels and phosphorus leaching from agricultural land in the Netherlands. *Journal of Environmental Quality* 29 (1): 111-116.
- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I. & Chardon, W.J., 2004. Evaluatie van methoden voor het karakteriseren van gronden die in aanmerking komen voor reparatiebemesting. *Alterra Wageningen, rapport* 730.3.

-
- Schoumans, O.F., 2004b. Inventarisatie van de fosfaatverzadiging van landbouwgronden in Nederland. Alterra Wageningen, rapport, 730.4.
- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I. & Chardon, W.J., 2005. Mogelijkheden tot de beantwoording van beleidsvragen inzake aanpassing van fosfaatverliesnormen. Alterra Wageningen, rapport 1181.
- Schoumans, O.F., 2007. Trends in de fosfaattoestand van landbouwgronden in Nederland in de periode 1998-2003. Rapportage in het kader van de Evaluatie Meststoffenwet 2007. Alterra rapport 1537.
- Schoumans, O.F., P. Groenendijk, L. Renaud en F.J.E. van der Bolt, 2008. Nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater. Vergelijking tussen landbouw- en natuurgebieden. Wageningen, Alterra, Alterrarapport 1700.
- Syers, J.K., Johnston, A.E. and Curtin, D., 2008. Efficiency of soil and fertilizer phosphorus use. Reconciling changing concepts of soil phosphorus behavior with agronomic information. FAO fertilizer and plant nutrition bulletin 18. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome. ISBN 978-92-5-105929-6.
- Temminghoff, E.J.M. en V.J.G. Houba, 2004. Plant analysis: procedures. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ulén, B., 2006. A simplified risk assessment for losses of dissolved reactive phosphorus through drainage pipes from agricultural soils. Acta Agric. Scand. Sect. B - Soil Plant Sci. 56: 307-314
- Willigen, P. de, en Noordwijk, M. van, 1978. Berekeningen over de fosfaatopname door een gewas in afhankelijkheid van worteldichtheid en fosfaatrijkdom van de grond. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 19-78, Haren, Nederland.
- Wijk, C., van & Berg, W., van den, 2000. Onderzoek naar de meerwaarde van P-CaCl₂ extractiemethode in het P-bemestingsadvies van kropsla. Interne publicatie. Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt (vertrouwelijk rapport).
- Zee, S.E.A.T.M. van der, Riemsdijk, W.H. van, Haan, F.A.M. de, 1990a. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Landbouwuniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Wageningen, Nederland.
- Zee, S.E.A.T.M. van der, Riemsdijk, W.H. van, Haan, F.A.M. de, 1990b. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking. Landbouwuniversiteit, Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Wageningen, Nederland.

Bijlage 1 Methoden van grondonderzoek op fosfaat in Europa

Tabel B.1

Methoden van grondonderzoek in de EU (COST actie 832).

Land	Methode	Schudverhouding grond:vloeistof	Referentie
Oostenrijk	CAL	1:20 (w/v) 0,05 M calcium lactaat + 0,05 M calcium acetaat + 0,3 M azijnzuur, pH 4,1, schudduur 2 uur	Schüller, 1969
	DL	1:50 (w/v), 0,02 m calcium lactaat + 0,02 M zoutzuur, pH 3,7, schudduur 1 uur	Egnér and Riehm, 1955
	Water	1:20 (w/v) extractie met water	ÖNORM L 1092
België	AL	1:20 (w/v) met 0,1 M ammonium lactaat + 0,2 M azijnzuur, pH 3,75, schudduur 2 uur	Egnér et al., 1960
	EDTA-Ac	1:5 (w/v), 0,5 N ammonium azijnzuur + 0,002 M EDTA, pH 4,65, schudduur 0,5 uur	Cottenie, 1979
Denemarken	Olsen	1 : 20 (w/v), 0,5 M natriumbicarbonaat, pH 8,5, 30 minuten roeren	Olsen et al, 1954
Finland	Morgan	1:10 (v/v), 0,5 M Ammonium azijnzuur + 0,5 M azijnzuur, pH 4,65, schudduur 1 uur	Vuorinen & Mäkitie, 1955
Duitsland	CAL	1:20 (w/v) 0,05 M calcium lactaat + 0,05 M calcium azijnzuur + 0,3 M azijnzuur, pH 4,1, schudduur 2 uur	Schüller, 1969
	DL	1:50 (w/v), 0,02 m calcium lactaat + 0,02 M zoutzuur, pH 3,7, schudduur 1 uur	Egnér and Riehm, 1955
Griekenland	Bray-1	1:7 (w/v) 0,03 M ammonium fluoride + 0,0125 M HCl, 1 minuten schudduur	Bray & Kurtz, 1945
	Olsen	1 : 20 (w/v), 0,5 M natriumbicarbonaat, pH 8,5, 30 minuten roeren	Olsen et al, 1954
Hongarije	AL	1:20 (w/v) 0,1 M ammonium lactaat + 0,2 M azijnzuur, pH 3,75, schudduur 2 uur	Egnér et al., 1960

Land	Methode	Schudverhouding grond:vloeistof	Referentie
Ierland	Morgan	6,5:30 (v/v), natrium acetaat, aangezuurd, pH 4,8, schudduur 0,5 uur	Morgan, 1941
Italië	Bray-1	1:7 (w/v) 0,03 M ammonium fluoride + 0,0125 M HCl, schudduur 1 minuut	Bray & Kurtz, 1945
	Olsen	1 : 20 (w/v), 0,5 M natriumbicarbonaat, pH 8,5, 30 minuten roeren	Olsen et al, 1954
Nederland	Water	1:60 (v/v) water, 20°C, 22 uur incubatie, schudduur 1 uur	Sissingh, 1971
	Water	1:2 (v/v) water, schudduur 20 minuten	Sonneveld, 1990
	AL	1:20 (w/v) with 0,1 M ammonium lactaat + 0,2 M azijnzuur, pH 3,75, schudduur 2 uur	Egnér et al., 1960
	CaCl ₂	1:10 (w/v) with 0,01 M calcium chloride, schudduur 2 uur	Houba et al, 1990
Noorwegen	AL	1:20 (w/v) met 0,1 M ammonium lactaat + 0,2 M azijnzuur, pH 3,75, schudduur 1,5 uur	Egnér et al., 1960
Polen	CaCl ₂	1:10 (w/v) with 0,01 M calcium chloride, schudduur 2 uur	Houba et al, 1994
	DL	1:50 (w/v), 0,02 M calcium lactaat + 0,02 M zoutzuur, pH 3,7, schudduur 1 uur	Egnér and Riehm, 1955
	Olsen	1 : 20 (w/v), 0,5 M natriumbicarbonaat, pH 8,5, 30 minuten roeren	Olsen et al, 1954
Roemenië	AL	1:20 (w/v) 0.1 M ammonium lactaat + 0,2 M azijnzuur, pH 3,75, schudduur 2 uur	Egnér et al., 1960
	MoCa	1:40 (w/v) 0,3% or 0,6% ammoniumheptamolybdaat + 0.01 M calciumchloride, pH 4,3.	Borlan et al, 1982
Spanje	Bray-1	1:7 (w/v) 0,03 M ammonium fluoride + 0,0125 M HCl, schudduur 1 minuut	Bray & Kurtz, 1945
	Olsen	1 : 20 (w/v), 0,5 M natriumbicarbonaat, pH 8,5, 30 minuten roeren.	Olsen et al, 1954
Zweden	AL	1:20 (w/v) 0.1 M ammonium lactaat + 0,2 M azijnzuur, pH 3,75, schudduur 2 uur.	Egnér et al., 1960
Zwitserland	AmAc	1:10 0,5 M ammonium acetaat + 0,5 M azijnzuur + 0,02 M EDTA, pH 4,65, schudduur 1 uur,	Anonymous, 1996, Cottenie 1979 gemodificeerd.
		Water+CO ₂ 1:2,5 (w/v) met CO ₂ -verrijkt water, pH 3,5-4,0, schudduur 1 uur	Anonymous, 1996
Verenigd Koninkrijk	Olsen	1:20 (w/v), 0,5 M natriumbicarbonaat, pH 8,5, 30 minuten roeren	Olsen et al, 1954
	Morgan	6.5:30 (v/v), natrium acetaat, pH 4,8, schudduur 0,5 uur.	Morgan, 1941
	Anion-	1:20 (w/v), 100 ml of water + 2,8 ml Exchange kationen uitwisselingshars + 4,0 ml anionenuitwisselingshars, schudduur 16 uur; extractie met 1M ammoniumchloride, pH 2,0, schudduur 30 minuten	Somasiri & Edwards, 1992

Bronvermelding bij bijlage 1

Anonymous, 1996. Méthodes de référence de Stations Fédérales de Recherches Agronomiques, vol 1. Analyse de Terre pour Conseiller de Fumure. Editions des Stations Fédérales. Zürich-Reckenholz. Switzerland.

Borlan, A., Cr. Hera et al, 1982. Opredelenie podvijniĥ fosfatov, ekstrahiruieimĥ molibdatom ammonia i ĥlorstĥm kaliem-MoCa ĥn: Agrohimiĥeskie metodĥ issledovania fofatonog rejima pociv. Sbornik metodov. Acad. SH. Nauk. G.D.R. Instit. Pitania Rast. Jena: 45-48.

Bray, R.H., L.T. Kurtz, 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci. 59: 39-45.

Cottenie, A, 1979. Workshop on the standardisation of analytical methods for manure, soils, plant and water. C.E.E. Agricultural series. EUR 6369 EN.

Egnér, H. en H. Riehm, 1955. Die Doppellaktatmethode. In: R. thon. R. Hermann en E. Knikemann (eds.). die Untersuchung von Boden Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs und Forschungsanstalten. Methodenbuch I. Nuemann Verlag, radenbeul and Berlin. Based on: Egnér, H., 1932. Meddlande report No. 425. Från Centralanstalten for Forsoksvasendet poa jordbrukssomrao det. Avdelnignen Forlantbrukskemie, Stockholm, Nr. 51.

-
- Egnér, H., H. Riehm en W.R. Domingo, 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoff-zustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kung. Lnatbr. Hdgsk. Ann.26: 199-215.
- Houba, V.J.G., I. Novozamsky, Th. M. Lexmond en J.J. van der Lee, 1990. Applicability of 0.01 M CaCl_2 as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. Communication in Soil Science and Plant Analysis 21: 2281-2290.
- Morgan, M.F., 1941. Chemical soil diagnosis by the universal soil testing system. Connecticut Agricultural Experimental Station Bulletin 450, Connecticut.
- Olsen, S.R., C.V. Cole, F.S. Watanabe en L.A. Dean, 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extracting with sodium bicarbonate; USDA Circ. 939. U.S. Government Printing Office: Washington, DC. 1954.
- ÖNORM L 1092. Chemische Bodenuntersuchungen: Bestimmung wasserlöslicher Stoffe. Reference L. 1092.
- Schüller, H. 1969. Die CAL-methode, eine neue Methode zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Phosphates in Böden. With a summary: The CAL-method, a new method to determine the availability of phosphate in soils. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 123: 48-63.
- Sissingh, H.A., 1971. Analytical technique of the method used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. Plant and Soil 34: 483-486.
- Somasiri, L.L.W. and A.C. Edwards, 1992. An ion exchange resin method for nutrient extraction of agricultural advisory soil samples. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23: 645-657.
- Sonneveld, C., 1990. Estimating quantities of water-soluble nutrients in soils using a specific 1:2 by volume extract. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 21: 1257-1265.
- Vuorinen, J. en O. Mäkitie, 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeological Publications 63: 1-44.

Bijlage 2 Criteria schouw landbouwpercelen

Geselecteerde landbouwpercelen werden beoordeeld op geschiktheid voor de aanleg van een veldproef met snijmaïs. Bij de schouw werden de volgende aspecten betrokken om tot een oordeel op geschiktheid voor uitvoering van de veldproef te komen.

Registratie perceel

Algemene karakteristieken van het perceel;

Ligging: is makkelijk het veld te bereiken i.v.m. de uit te voeren proefveldwerkzaamheden;

Ruimte: is er voldoende ruimte om proefveldhandelingen uit te voeren;

Homogeniteit: is het perceel homogeen in structuur en kleur;

bemonster werd op verschillende plekken de bodem en beoordeel de bouwvoordiepte, is die voldoende homogeen over het veld verdeeld;

Bij kleigrond, is er geen verloop in het kleigehalte in de diepte;

Bij zandgrond, is er geen verloop in het organische stofgehalte (kleur) in de diepte;

Indien er een verloop in het klei- of organische stofgehalte wordt waargenomen, kijk dan of dat verloop afdoende opgevangen kan worden met de herhalingen.

Drainage: hoe wordt gedraineerd? Past de opzet van de veldproef bij de ligging van de drainage buizen. Kan de opzet van de veldproef aangepast worden zonder dat dit stoort bij uitvoering?

(Vergraven) sloten: (vergraven) sloten in landbouwperceel moeten ontbreken;

Beschaduwing: beschaduwing door bomen moet afwezig zijn;

Electriciteitsmasten: deze moeten in de directe omgeving van de veldproef ontbreken.

Als het landbouwperceel positief beoordeeld werd, dan werd overgegaan tot de aanleg van de veldproef.

Als het besluit positief is, zet het proefveld uit op beoogde hoekpunten van de blokken (herhalingen), dit om de proefveldhouder te attenderen op de ligging bij zijn werkzaamheden. Bij grondbewerkingen dient de proefveldhouder de paaltjes weg te zetten.

Bepaal de hoekpunten van de veldproef met GPS.

neem dan een grondmonster per blok van het perceel (10 steken tot exact 25 cm per blok, in totaal exact 40 steken).

Grondmonsters dienen per blok in een geplastificeerde zak meegenomen te worden naar Wageningen; in totaal zijn dit vier zakken per locatie. De inhoud van de zakken wordt beoordeeld op verloop in textuur en organische stof. Na goedkeuring wordt hiervan één monster samengesteld. Dit mengmonster dient bij CBLB te worden afgegeven ter attentie van Phillip Ehlert/Monique Driessen. Meldt tijdig de komst van de grondmonsters.

Bijlage 3 Zaai- en oogstdata

Tabel B3.1

Zaai- en oogstdata van de snijmais in 2011 op 9 kleilocaties en 9 zandlocaties.

Locatie	Zaaidata	Oogstdata	Grond	Code
Rockanje	21-apr	21-sep	klei	23
Spykenisse	21-apr	30-sep	klei	15
Werkendam	22-apr	26-sep	klei	20
Ouddorp	22-apr	6-okt	klei	25
Herkingen	22-apr	18-okt	klei	16A
Wageningen	26-apr	3-okt	klei	29
Ens	28-apr	6-okt	klei	18
Wehe den Hoorn	29-apr	17-okt	klei	11
St Jacobaparochie	29-apr	17-okt	klei	19
Wageningen	20-apr	19-sep	zand	9
Wageningen	20-apr	19-sep	zand	27
Wageningen	20-apr	22-sep	zand	28
Haps	26-apr	30-sep	zand	5
Ruurlo	27-apr	5-okt	zand	4
Haaksbergen	27-apr	5-okt	zand	6
Meddo	27-apr	11-okt	zand	21
Hengelo Gld	28-apr	11-okt	zand	26
Geesteren Gld	2-mei	10-okt	zand	22

Bijlage 4 Vergelijking fosfaatparameters

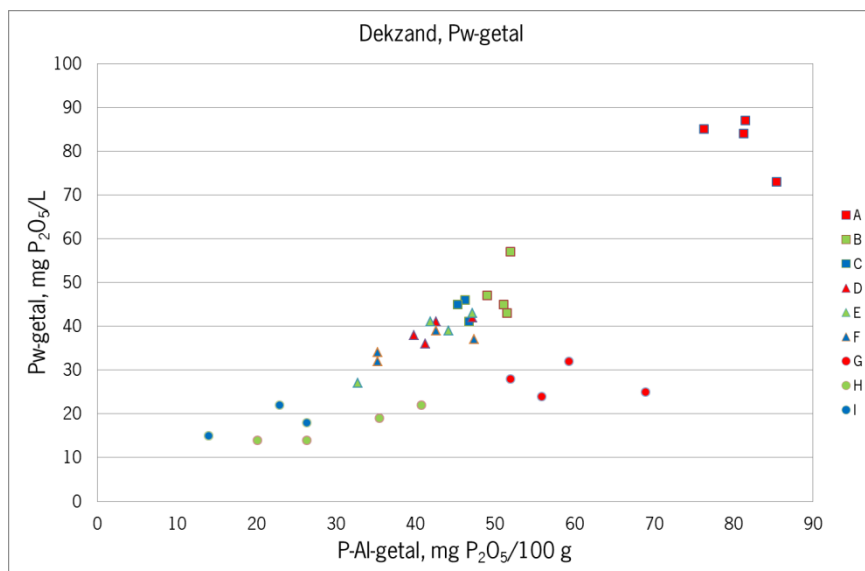
Bodemvruchtbaarheidsparameters	Eenheid	Kleigrond, n=180					Zandgrond, n=180					Beide grondsoorten, n=360				
		Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard-afwijking	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard-afwijking	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard-afwijking
Bij aanvang																
PCaCl ₂ -ICP	mg P/kg	2,2	1,9	1,3	4,8	0,871	3,0	2,7	0,5	8,8	1,936	2,6	2,2	0,5	8,8	1,552
PCaCl ₂ -SFA	mg P/kg	1,2	1,0	0,2	3,4	0,796	2,4	2,1	0,3	8,1	1,950	1,8	1,2	0,2	8,1	1,602
Pw-getal-volumebasis	mg P ₂ O ₅ /L	35	36	10	56	10,88	39	39	14	87	18,91	37	37	10	87	15,52
Pw-getal-gewichtsbasis	mg P/kg	13	13	3	24	4,56	15	16	5	32	6,85	14	14	3	32	5,89
P-Al-getal	mg P ₂ O ₅ /100 g	42	46	18	61	11,88	46	46	14	85	17,20	44	46	14	85	14,85
P-Bray	mg P/kg	90	91	23	129	24,28	248	241	53	390	85,15	169	122	23	390	100,56
P-Olsen	mg P/kg	43	41	21	69	12,69	65	57	25	114	23,20	54	50	21	114	21,87
P-Mehlich3	mg P/kg	86	85	35	118	19,58	206	171	64	449	101,83	146	110	35	449	94,78

Bodemvruchtbaarheidsparameters	Eenheid	Kleigrond, n=180					Zandgrond, n=180					Beide grondsoorten, n=360				
		Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard- afwijking	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard- afwijking	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaard- afwijking
Na de oogst																
P-CaCl ₂ .SFA	mg P/kg	1,2	1,0	0,1	3,4	0,725	2,5	1,9	0,2	9,0	2,023	1,8	1,3	0,1	9,0	1,648
Pw-getal-volumebasis	mg P ₂ O ₅ /L	34	34	8	61	11,08	37	35	10	86	17,85	35	34	8	86	14,91
Pw-getal-gewichtsbasis	mg P/kg	13	13	3	23	4,23	14	13	4	34	6,58	13	13	3	34	5,54
P-Al-getal	mg P ₂ O ₅ /100 g	41	46	17	63	12,10	45	44	10	84	16,90	43	45	10	84	14,81

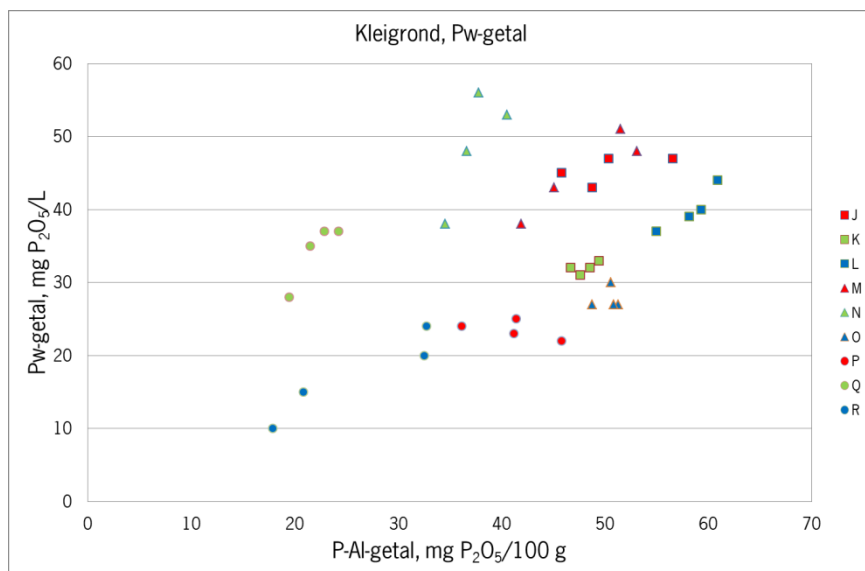
Milieu-parameters	Eenheid	Kleigrond, n=180					Zandgrond, n=180					Beide grondsoorten, n=360						
		Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	Standaardafwijking		
Bij aanvang																		
Pi4	mg P/kg	12	12	3	23	4,22		18	18	6	46	9,85		15	13	3	46	8,18
Pi8	mg P/kg	19	19	6	35	6,38		28	26	9	67	14,56		23	21	6	67	12,08
Pi24	mg P/kg	31	29	12	56	10,16		47	45	15	105	22,10		39	33	12	105	19,12
Pi48	mg P/kg	37	36	16	68	12,54		63	62	20	134	28,68		50	42	16	134	25,50
Pi72	mg P/kg	41	39	18	78	14,23		72	72	22	161	33,48		57	47	18	161	30,08
Pi144	mg P/kg	47	43	21	89	16,73		86	85	26	194	41,05		67	54	21	194	36,94
Pi192	mg P/kg	50	45	24	95	17,95		91	89	27	205	44,21		71	59	24	205	39,48
Fe	mg Fe/kg	2389	2160	1026	4987	1028		2196	2598	341	3767	1060		2292	2316	341	4987	1047
Al	mg Al/kg	459	381	241	988	207		1038	932	583	2205	398		748	693	241	2205	430
Pox	mg P/kg	353	347	189	607	105		548	557	273	1013	183		450	396	189	1013	178
FVG	mmol P/(mmol Fe+mmol Al)	0,20	0,20	0,11	0,32	0,0467		0,23	0,23	0,12	0,35	0,0503		0,21	0,21	0,11	0,35	0,0501
Bindings-capaciteit	(mmol Fe + mmol Al)/kg	59,8	52,5	28,5	125,9	24,3		77,8	82,6	47,4	100,8	16,1		68,8	68,8	28,5	125,9	22,5

In paragraaf 3.1 wordt de vergelijking gemaakt voor dekzand en zeeklei hoe P-CaCl₂ zich verhoudt tot P-Al-getal. In deze bijlage worden dezelfde vergelijkingen gemaakt voor respectievelijk Pw-getal, Pox, FosfaatVerzadigingsgraad (FVG), P-Olsen, P-Mehlich3, P-Bray, Pi-4 (na 4 uur, één ijzerhydroxide geïmpregneerd papiertje), Pi-192 (na 192 uur na wisseling van 7 ijzerhydroxide geïmpregneerd papiertjes).

Pw-getal op dekzand volgt P-Al-getal. De intensiteitsklasse Laag (door P-CaCl₂ bepaald) heeft een afwijkend lagere stijging. Op zeeklei is geen trend vast te stellen.

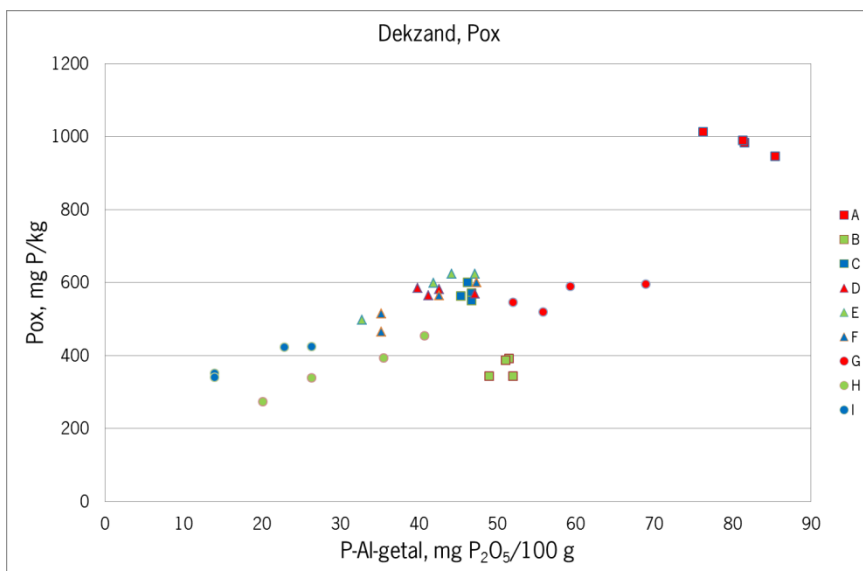


Figuur B4.1 Verdeling van de fosfaattoestand Pw-getal ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

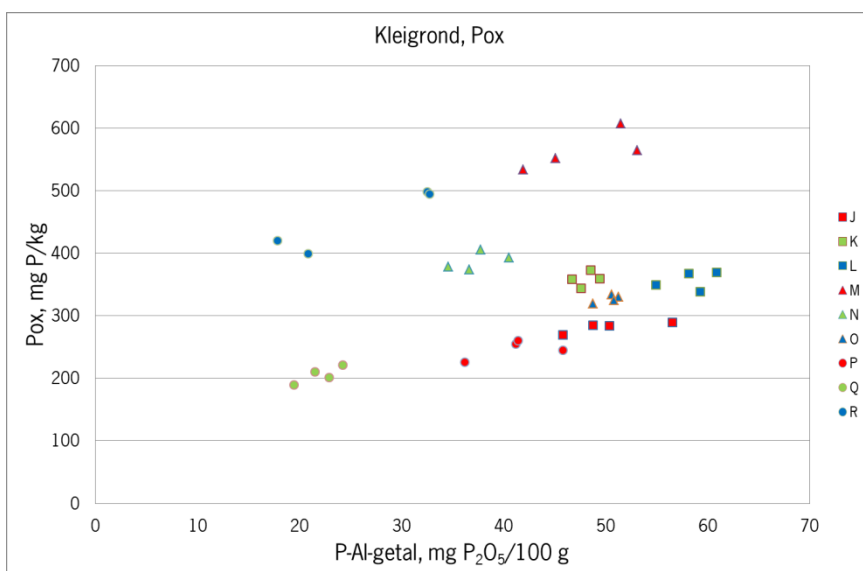


Figuur B4.2 Verdeling van de fosfaattoestand Pw-getal ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J t/m R zijn verschillende veldproeven.

Pox op dekzand volgt P-Al-getal. De intensiteitsklasse Laag (door P-CaCl₂ bepaald) heeft een afwijkend lagere niveau maar een vergelijkbare stijging. Op zeeklei is geen trend vast te stellen.

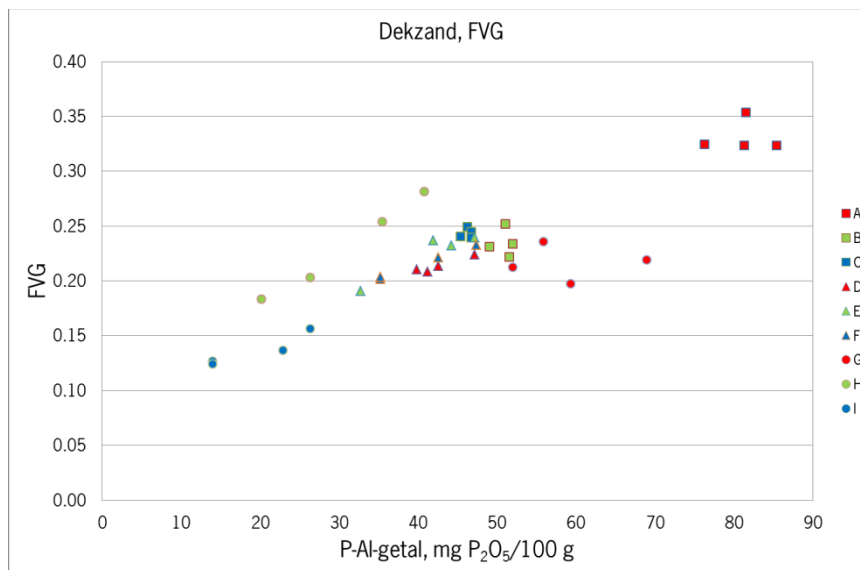


Figuur B4.3 Verdeling van de fosfaattoestand Pox ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

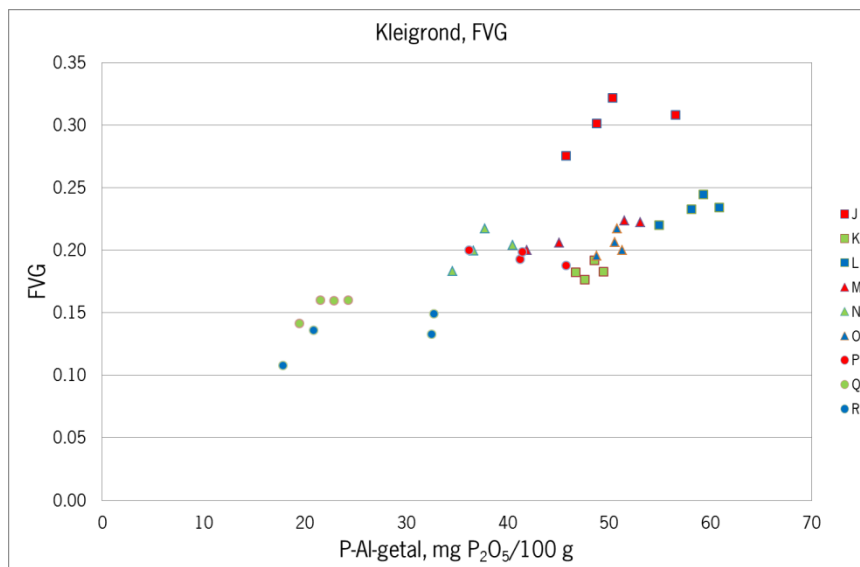


Figuur B4.4 Verdeling van de fosfaattoestand Pox ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

De fosfaatverzadigingsgraad blijkt bij stijgende P-Al-getal op dekzand eveneens te stijgen maar bij hogere P-Al-getal waarden (> 40 mg $P_2O_5/100$ g) is er geen verband indien de hoogste P-Al-getallen er niet bij betrokken worden. Bij zeeklei is er sprake van stijging. Opnieuw vormt de combinatie Hoog (als P- $CaCl_2$) met hogere waarden voor P-Al-getal een uitzondering, er worden hogere FVG vastgesteld.

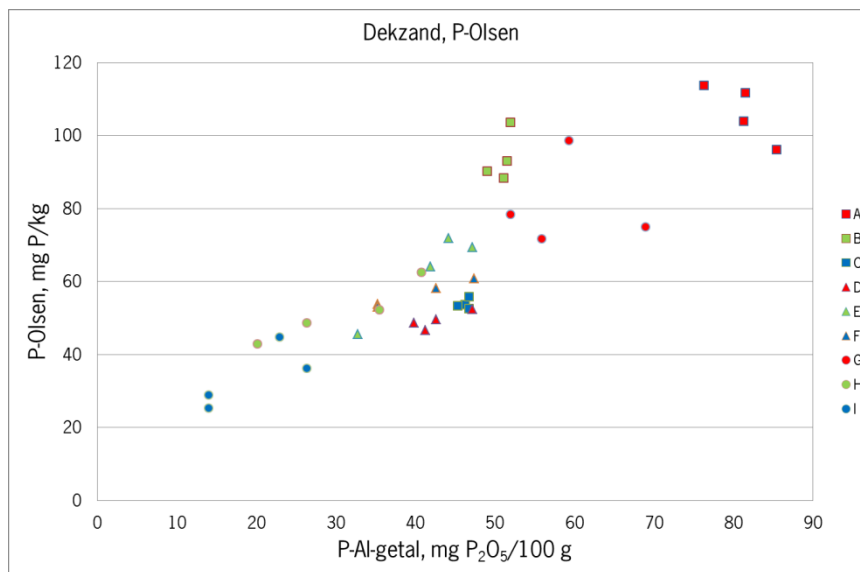


Figuur B4.5 Verdeling van de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

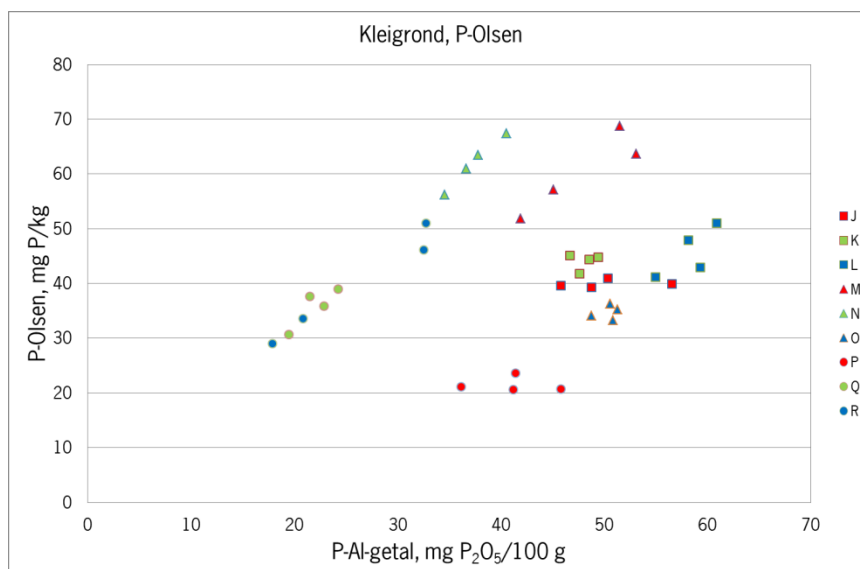


Figuur B4.6 Verdeling van de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

Op dekzand volgt P-Olsen het P-Al-getal, op kleigrond is er geen consistent beeld. Bij sommige veldproeven is er sprake van een trend dat P-Olsen toeneemt met stijgende waarden van het P-Al-getal, bij andere veldproeven is geen trend vast te stellen.

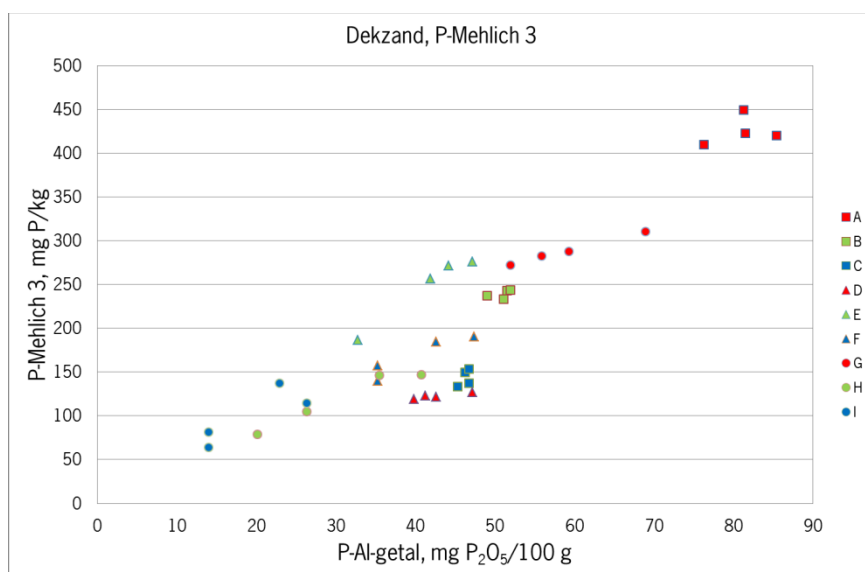


Figuur B4.7 Verdeling van de fosfaattoestand P-Olsen ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

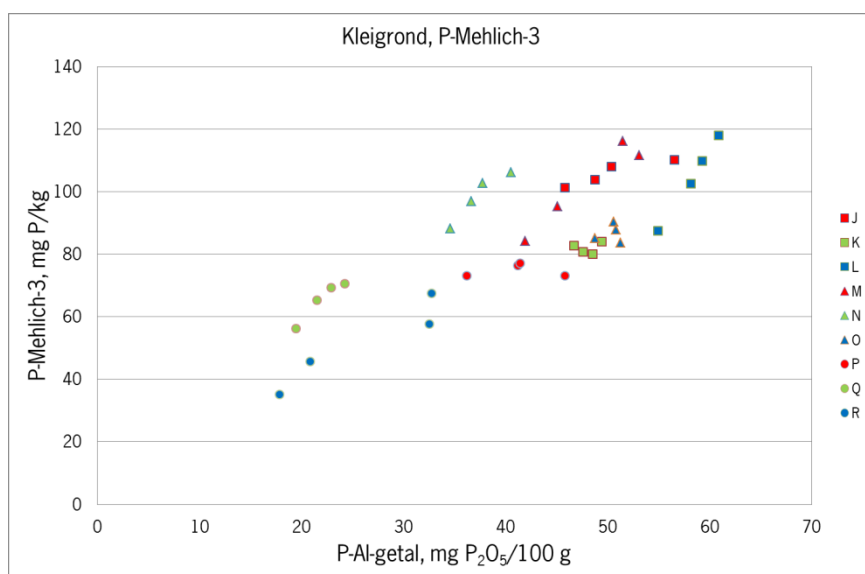


Figuur B4.8 Verdeling van de fosfaattoestand P-Olsen ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

P-Mehlich3 volgt bij dekzand en zeeklei het P-Al-getal, tussen veldproeven is er sprake van enig (maar beperkt) verschil in verschil.

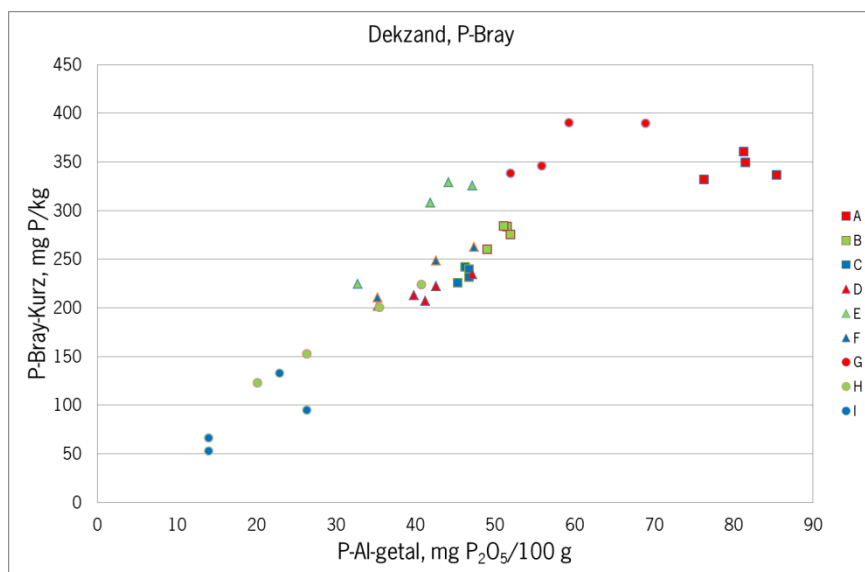


Figuur B4.9 Verdeling van de fosfaattoestand P-Mehlich3 ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

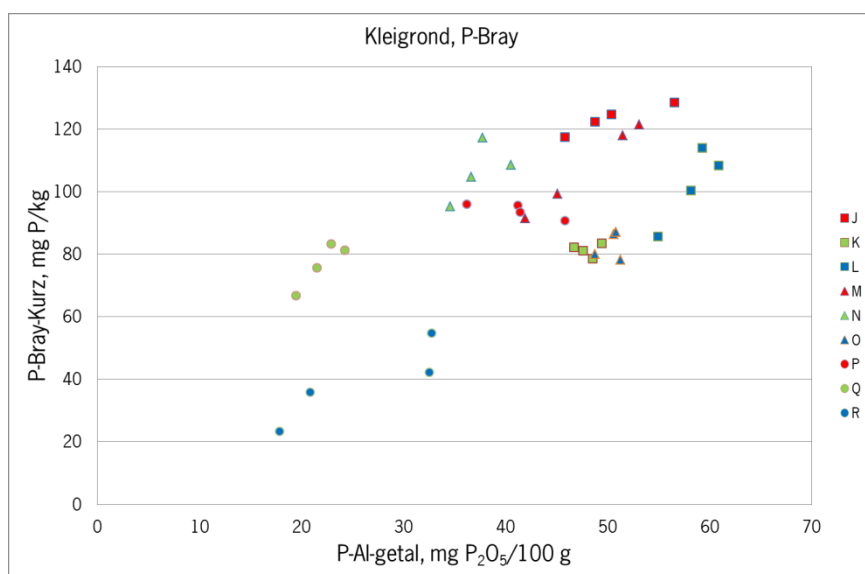


Figuur B4.10 Verdeling van de fosfaattoestand P-Mehlich3 ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

P-Bray volgt eveneens het P-Al-getal op zowel dekzand als zeeklei.

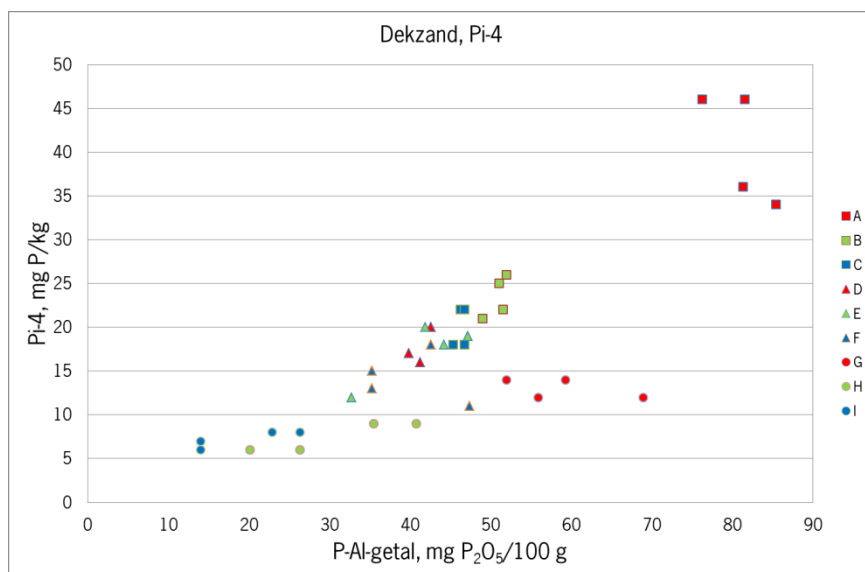


Figuur B4.11 Verdeling van de fosfaattoestand P-Bray ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

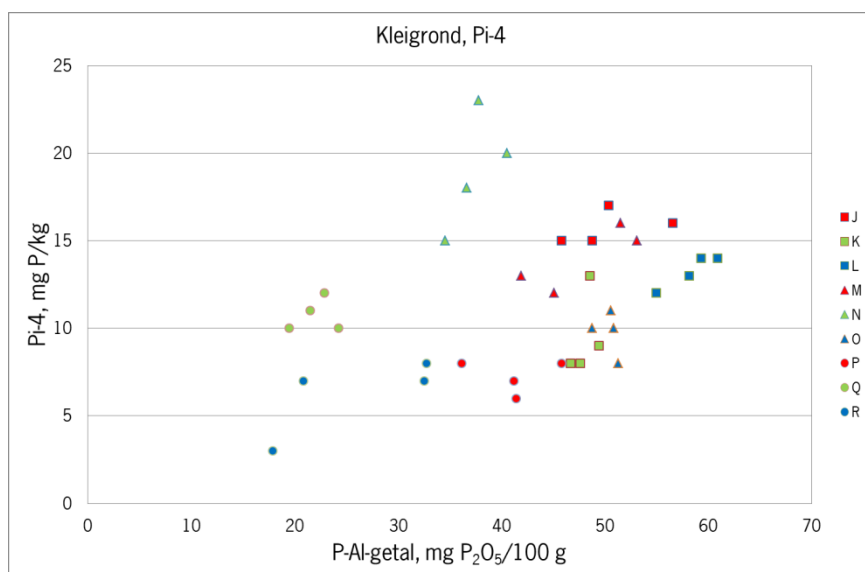


Figuur B4.12 Verdeling van de fosfaattoestand P-Bray ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

Pi-4 geeft een met het Pw-getal vergelijkbaar beeld. Pi-4 op dekzand volgt P-Al-getal. De intensiteitsklasse Laag (door P-CaCl₂ bepaald) heeft een afwijkend lagere stijging. Op zeeklei is geen trend vast te stellen.

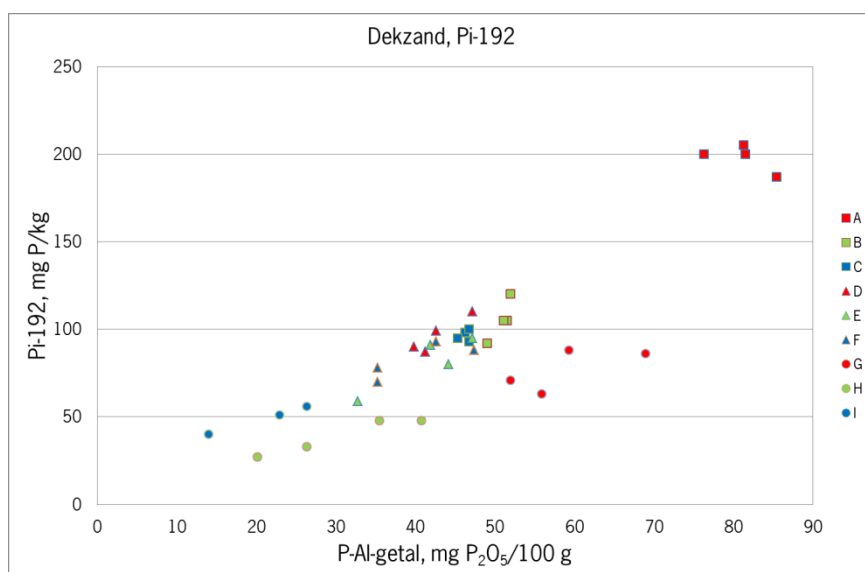


Figuur B4.15 Verdeling van de fosfaattoestand Pi-4 ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.

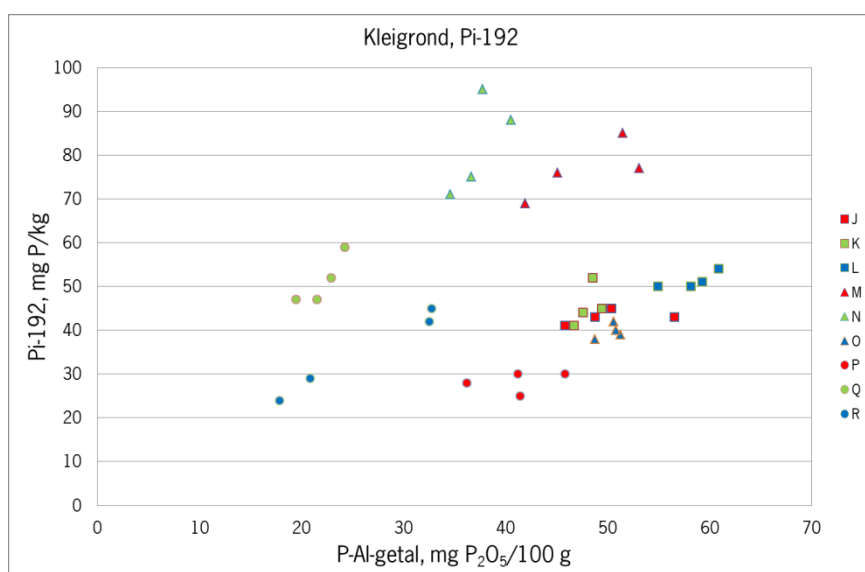


Figuur B4.16 Verdeling van de fosfaattoestand Pi-4 ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

Pi-192 geeft een met het Pw-getal vergelijkbaar beeld. Pi-192 op dekzand volgt P-Al-getal. De intensiteitsklasse Laag (door P-CaCl₂ bepaald) heeft een afwijkend lagere stijging. Op zeeklei is geen trend vast te stellen.



Figuur B4.17 Verdeling van de fosfaattoestand Pi-192 ten opzichte van P-Al-getal bij dekzand. Codes A t/m I zijn verschillende veldproeven.



Figuur B4.18 Verdeling van de fosfaattoestand Pi-192 ten opzichte van P-Al-getal bij zeeklei. Codes J/R zijn verschillende veldproeven.

Bijlage 5 Correlatiecoëfficiënten

Correlatiecoëfficiënten voor methoden van grondonderzoek op fosfaat voor kleigrond (n=180), zandgrond (n=180) en gecombineerd (n=360).

Grond	Methode	P-CaCl ₂ -SFA	P-CaCl ₂ -ICP	Pw-getal _w	Pi4	P-Olsen	Pi192	P-Mehlich3	P-Bray-Kurz	P-Al-getal	Pox
Klei	P-CaCl ₂ -SFA	-									
	P-CaCl ₂ -ICP	0,96	-								
	Pw-getal _w	0,69	0,62	-							
	Pi4	0,72	0,70	0,85	-						
	P-Olsen	0,34	0,36	0,81	0,71	-					
	Pi192	0,34	0,33	0,86	0,79	0,91	-				
	P-Mehlich3	0,71	0,62	0,81	0,77	0,56	0,55	-			
	P-Bray	0,80	0,71	0,77	0,76	0,36	0,47	0,91	-		
	P-Al-getal	0,39	0,29	0,40	0,32	0,22	0,11	0,80	0,64	-	
	Pox	-0,01	0,05	0,40	0,17	0,71	0,53	0,22	-0,03	0,20	-
Zand	P-CaCl ₂ -SFA	-									
	P-CaCl ₂ -ICP	0,99	-								
	Pw-getal _w	0,97	0,97	-							
	Pi4	0,95	0,96	0,97	-						
	P-Olsen	0,63	0,67	0,72	0,78	-					
	Pi192	0,95	0,95	0,96	0,96	0,77	-				
	P-Mehlich3	0,64	0,67	0,70	0,77	0,89	0,81	-			
	P-Bray	0,46	0,52	0,58	0,59	0,82	0,63	0,85	-		
	P-Al-getal	0,75	0,78	0,80	0,82	0,87	0,88	0,90	0,87	-	
	Pox	0,81	0,82	0,79	0,80	0,57	0,87	0,77	0,63	0,81	-
Klei + Zand	P-CaCl ₂ -SFA	-									
	P-CaCl ₂ -ICP	0,98	-								
	Pw-getal _w	0,88	0,88	-							
	Pi4	0,93	0,92	0,91	-						
	P-Olsen	0,65	0,63	0,71	0,80	-					
	Pi192	0,87	0,84	0,86	0,94	0,85	-				
	P-Mehlich3	0,69	0,65	0,60	0,78	0,87	0,84	-			
	P-Bray	0,57	0,52	0,48	0,65	0,80	0,73	0,90	-		
	P-Al-getal	0,65	0,66	0,68	0,68	0,64	0,65	0,70	0,58	-	
	Pox	0,71	0,67	0,65	0,73	0,72	0,85	0,79	0,70	0,59	-
		P-CaCl ₂ -SFA	P-CaCl ₂ -ICP	Pw-getal _w	Pi4	P-Olsen	Pi192	P-Mehlich3	P-Bray	P-Al-getal	Pox

Bijlage 5 vervolg. Correlatiecoëfficiënten voor methoden van grondonderzoek op fosfaat voor de deelverzameling (n=160) en gecombineerd met kleigrond (n=340).

Grond	Methode	P-CaCl ₂ -SFA	P-CaCl ₂ -ICP	Pw-getal _w	Pi4	P-Olsen	Pi192	P-Mehlich3	P-Bray-Kurz	P-Al-getal	Pox
Zand	P-CaCl ₂ -SFA	-									
	P-CaCl ₂ -ICP	0,98	-								
	Pw-getal _w	0,90	0,93	-							
	Pi4	0,86	0,90	0,95	-						
	P-Olsen	0,25	0,34	0,56	0,59	-					
	Pi192	0,84	0,87	0,95	0,93	0,58	-				
	P-Mehlich3	0,03	0,16	0,39	0,42	0,84	0,45	-			
	P-Bray	0,25	0,37	0,51	0,53	0,80	0,59	0,91	-		
	P-Al-getal	0,43	0,52	0,61	0,62	0,79	0,73	0,79	0,93	-	
	Pox	0,39	0,45	0,42	0,35	0,09	0,52	0,36	0,59	0,55	-
Klei +	P-CaCl ₂ -SFA	-									
Zand	P-CaCl ₂ -ICP	0,96	-								
	Pw-getal _w	0,78	0,79	-							
	Pi4	0,83	0,81	0,85	-						
	P-Olsen	0,38	0,36	0,53	0,68	-					
	Pi192	0,69	0,62	0,75	0,87	0,77	-				
	P-Mehlich3	0,31	0,25	0,27	0,53	0,81	0,64	-			
	P-Bray	0,44	0,35	0,30	0,57	0,75	0,71	0,95	-		
	P-Al-getal	0,38	0,41	0,49	0,45	0,45	0,35	0,48	0,44	-	
	Pox	0,34	0,28	0,36	0,39	0,52	0,67	0,55	0,63	0,28	-

Bijlage 6 Parameterschattingen en predicties

Model respons en parameters met variantiecomponenten worden gegeven in Tabellen B6.1, B6.2 en B6.3. Voor predicties wordt geadviseerd om binnen het bereik voor methoden van grondonderzoek gegeven in Tabel B6.4. te blijven. Middelbare waarden van het gegeven bereik geven een preciezere schatting dan grenswaarden.

De drogestofopbrengst is in ton per ha en gestandaardiseerd naar 100.000 planten per ha (YDS100000). De fosforopname is in kg P per ha (Popn). Indien gestandaardiseerd naar 100.000 planten dan wordt dit aangegeven met Popn100000. P-CaCl₂-ICP, P-CaCl₂-SFA, Pw-gewicht en Pox in mg P/kg, P-Al-getal in mg P₂O₅/L en Pw-getal in mg P₂O₅/L.

Predicties hebben betekenis binnen het bereik van verklarende variabelen waarmee de parameterschattingen in de tabellen B6.2 – B6.7 verkregen zijn. In tabel B6.1 wordt een advies gegeven voor een passend bereik voor toepassing van de parameterschattingen. Bij de proefopzet zijn combinaties van intensiteit en capaciteit afgestemd op het bereik in fosfaatgiften. Het bereik in giften (laagste fosfaatgift versus hoogste fosfaatgift) bij toestanden met een hoge waardering van de fosfaattoestand was klein, bij lage fosfaattoestanden was het bereik groter. Drie bereiken 0-180 kg P₂O₅/ha, 0-150 kg P₂O₅/ha en 0-90 kg P₂O₅/ha werden onderscheiden voor situatie waarbij een meetbare gewasreactie verwacht werd (~5%), een beperkte gewasreactie verwacht werd (~2%) en een zeer beperkte gewasreactie verwacht werd (<1%). Toepassing van hoge waarden voor fosfaattoestanden en hoge bemestingsgiften leidt daardoor tot extrapolatie buiten het toepassingsgebied van de hier gegeven parameterschattingen.

Tabel B6.1

Intensiteit en capaciteitsmaatstaven met hun dimensie en geadviseerd bereik voor toepassing bij berekening van predicties. Onzekerheden van predicties aan grenswaarden van het meetbereik zijn groot.

Maatstaf	Methode	Eenheid	Bereik	
			ondergrens	bovengrens
Intensiteit	P-CaCl ₂ -SFA	mg P/kg	0,2	4
Intensiteit	P-CaCl ₂ -ICP	mg P/kg	0,5	5
Intensiteit	Pw-getal	mg P ₂ O ₅ /L	10	60
Intensiteit	Pw-getal-gewicht	mg P/kg	5	20
Capaciteit	P-Al-getal	mg P ₂ O ₅ /100 g	20	60
Capaciteit	Pox	mg P/kg	200	600

Tabel B6.2

Model respons en parameters met variantiecomponenten, vergelijking (1).

Respons	Intensiteit	Capaciteit	Locatie	Herhaling	Veldje (residual)
YDS100000	P-CaCl ₂ -ICP	Pox	2,15 (0,99)	1,37 (0,35)	2,18 (0,16)
YDS100000	Pw-getal	Pox	2,18 (0,18)	1,26 (0,33)	2,18 (0,18)
YDS100000	Pw-gewicht	Pox	2,07 (0,96)	1,25 (0,33)	2,17 (0,18)
Popn100000	PCaCl ₂ -ICP	Pox	20,4 (8,49)	5,97 (1,70)	13,18 (1,11)
Popn100000	Pw-getal	Pox	18,9 (7,89)	5,43 (1,59)	13,19 (1,11)
Popn100000	Pw-gewicht	Pox	20,2 (8,32)	5,19 (1,54)	13,17 (1,11)
Popn100000	PCaCl ₂ -SFA	P-Al-getal	16,5 (6,94)	5,20 (1,55)	13,22 (1,11)
Popn100000	PCaCl ₂ -SFA	Pox	19,7 (8,17)	5,35 (1,57)	13,04 (1,09)
Popn	PCaCl ₂ -SFA	Pox	7,62 (3,65)	5,64 (1,48)	9,76 (0,82)

Tabel B6.3

Parameterschattingen voor hoofdfactoren met tussen haakjes de standaardfout (se), vergelijking (1).

Respons	Constante	Grondsoort	Intensiteit	Capaciteit	Fosfaatgift
YDS100000	17,3 (0,6)	-0,13 (0,9)	0,39 (0,32)	0,0019 (0,0030)	0,0053 (0,0019)
YDS100000	17,2 (0,6)	0,28 (0,9)	0,062 (0,029)	0,0005 (0,0032)	0,0053 (0,0018)
YDS100000	17,2 (0,6)	0,20 (0,9)	0,16 (0,076)	0,0002 (0,0033)	0,0056 (0,0018)
Popn100000	33,3 (1,7)	-6,5 (2,6)	1,90 (0,84)	-0,001 (0,0077)	0,018 (0,0047)
Popn100000	32,4 (1,7)	-5,0 (2,6)	0,23 (0,07)	-0,0063 (0,0083)	0,017 (0,045)
Popn100000	32,5 (1,7)	-5,1 (2,6)	0,62 (0,20)	-0,0078 (0,0085)	0,022 (0,0050)
Popn100000	34,1 (1,5)	-7,5 (2,1)	2,2 (0,90)	0,060 (0,066)	0,019 (0,0048)
Popn100000	34,2 (1,7)	-7,7 (2,5)	2,9 (0,90)	-0,0027 (0,0075)	0,022 (0,0050)
Popn	32,8 (1,2)	-5,3 (1,7)	3,4 (0,68)	-0,0038 (0,0058)	0,021 (0,0043)

Tabel B6.4

Parameterschattingen voor interacties van hoofdfactoren met tussen haakjes de standaardfout (se), vergelijking (1).

Respons	Intensiteit *Capaciteit	Intensiteit *Fosfaatgift	Capaciteit*Fosfaatgift	Intensiteit*Capaciteit*Fosfaatgift
YDS100000	-0,0012 (0,0008)	-0,0013 (0,0018)	0,000017 (0,000012)	0,000009 (0,000005)
YDS100000	-0,00015 (0,000077)	-0,00014 (0,00014)	0,000016 (0,000011)	-0,0000010 (0,0000005)
YDS100000	-0,00042 (0,00022)	-0,00044 (0,00035)	0,00019 (0,000012)	-0,0000031 (0,0000013)
Popn100000	-0,0032 (0,0019)	0,0037 (0,0044)	-0,000019 (0,000030)	-0,000024 (0,000012)
Popn100000	-0,00031 (0,00020)	0,00015 (0,00033)	-0,000011 (0,000029)	-0,0000023 (0,0000012)
Popn100000	-0,00086 (0,0005)	0,00030 (0,00086)	-0,000012 (0,000030)	-0,0000047 (0,0000033)
Popn100000	-0,0047 (0,027)	0,0086 (0,0048)	-0,00028 (0,000031)	-0,000032 (0,000012)
Popn100000	-0,0049 (0,0020)	0,0086 (0,0048)	-0,000035 (0,000031)	-0,000032 (0,000012)
Popn	-0,0055 (0,0016)	0,0085 (0,0042)	-0,000016 (0,000027)	-0,000028 (0,000010)

Tabel B6.5

Model respons en parameters met variantiecomponenten zonder de combinatie van hoge intensiteit en hoge capaciteit op zandgrond, vergelijking (1).

Respons	Intensiteit	Capaciteit	Locatie	Herhaling	Veldje (residual)
YDS100000	P-CaCl ₂ -ICP	Pox	2,01 (1,01)	1,44 (0,38)	2,22 (0,19)
YDS100000	Pw-getal	Pox	2,01 (0,97)	1,34 (0,36)	2,21 (0,19)
YDS100000	Pw-gewicht	Pox	2,14 (1,02)	1,32 (0,36)	2,21 (0,19)
Popn100000	PCaCl ₂ -ICP	Pox	19,1 (8,34)	6,37 (1,84)	13,42 (1,16)
Popn100000	Pw-getal	Pox	19,2 (8,17)	5,86 (1,74)	13,43 (1,16)
Popn100000	Pw-gewicht	Pox	20,6 (8,66)	5,56 (1,68)	13,42 (1,16)
Popn100000	PCaCl ₂ -SFA	P-Al-getal	16,7 (7,19)	5,50 (1,66)	13,26 (1,15)
Popn100000	PCaCl ₂ -SFA	Pox	18,3 (7,94)	5,70 (1,7)	13,3 (1,14)
Popn	PCaCl ₂ -SFA	Pox	4,41 (2,61)	6,07 (1,62)	10,0 (0,86)

Tabel B6.6

Parameterschattingen voor hoofdfactoren met tussen haakjes de standaardfout (se) zonder de combinatie van hoge intensiteit en hoge capaciteit op zandgrond,, vergelijking (1).

Respons	Constante	Grondsoort	Intensiteit	Capaciteit	Fosfaatgift
YDS100000	17,2 (0,6)	-0,28 (0,9)	0,47 (0,35)	0,0025 (0,0033)	0,0056 (0,0018)
YDS100000	16,9 (0,6)	0,24 (0,9)	0,070 (0,030)	0,0008 (0,0034)	0,0054 (0,0017)
YDS100000	17,0 (0,6)	0,21 (0,9)	0,18 (0,080)	0,0018 (0,0058)	0,00036 (0,00052)
Popn100000	32,6 (1,6)	-6,9 (2,5)	2,31 (0,91)	-0,0014 (0,0086)	0,018 (0,0045)
Popn100000	31,9 (1,7)	-5,0 (2,6)	0,24 (0,079)	-0,0066 (0,0089)	0,017 (0,0043)
Popn100000	32,1 (1,7)	-5,0 (2,7)	0,66 (0,20)	-0,0095 (0,0093)	0,018 (0,0046)
Popn100000	33,6 (1,5)	-7,9 (2,2)	2,93 (1,05)	0,049 (0,087)	0,015 (0,0045)
Popn100000	33,3 (1,6)	-8,2 (2,5)	3,22 (0,95)	-0,0025 (0,0082)	0,022 (0,0048)
Popn	31,9 (0,93)	-6,1 (1,5)	3,87 (0,61)	-0,0018 (0,0058)	0,019 (0,0041)

Tabel B6.7

Parameterschattingen voor interacties van hoofdfactoren met tussen haakjes de standaardfout (se) zonder de combinatie van hoge intensiteit en hoge capaciteit op zandgrond, vergelijking (1).

Respons	Intensiteit *Capaciteit	Intensiteit *Fosfaatgift	Capaciteit*Fosfaatgift	Intensiteit*Capaciteit*Fosfaatgift
YDS100000	0,00061 (0,0025)	-0,0012 (0,0019)	0,000017 (0,000013)	0,000023 (0,000015)
YDS100000	-0,0000047(0,00022)	-0,00013 (0,00014)	0,000019 (0,000012)	-0,0000022 (0,0000014)
YDS100000	-0,00036 (0,00051)	-0,00034 (0,00036)	0,000021 (0,000013)	-0,0000048 (0,0000031)
Popn100000	-0,0040(0,0061)	0,0043 (0,0047)	-0,0000077 (0,000032)	-0,000023 (0,000038)
Popn100000	-0,00015 (0,00053)	0,00023 (0,00036)	-0,0000024 (0,000031)	-0,0000023 (0,0000035)
Popn100000	-0,0010(0,0012)	0,00052 (0,00089)	-0,0000053 (0,000032)	-0,0000076 (0,0000078)
Popn100000	-0,071 (0,074)	0,0041 (0,0049)	-0,00081 (0,00058)	-0,00086 (0,00059)
Popn100000	-0,0031 (0,0063)	0,0102 (0,0052)	-0,000031 (0,000034)	-0,000063 (0,000040)
Popn	-0,0059 (0,0045)	0,0095 (0,0045)	-0,000012 (0,000029)	-0,000048 (0,000034)

Tabel B6.8

Parameterschattingen voor hoofdfactoren en interacties met tussen haakjes de standaardfout (se), vergelijking (3).

Respons	Intensiteit	Capaciteit	Constante	Grond-soort	Inten-siteit ¹	Ratio	Fosfaatgift	Ratio* Fosfaatgift
YDS	P-CaCl ₂ -SFA	P-Al-getal	16,1 (0,60)	1,02 (0,87)	-0,34 (0,29)	-0,07 (0,017)	0,0029 (0,0011)	0,00014 (0,000046)
YDS100000	P-CaCl ₂ -SFA	P-Al-getal	17,11 (0,58)	-0,17 (0,84)	-0,16 (0,28)	-0,043 (0,017)	0,0035 (0,0016)	0,00018 (0,000064)
YDS	Pw-getal	P-Al-getal	15,9 (0,60)	1,47 (0,86)	0,0073 (0,027)	-1,94 (0,88)	0,0032 (0,0011)	0,0066 (0,0023)
YDS100000	Pw-getal	P-Al-getal	17,0 (0,53)	0,10 (0,75)	0,034 (0,024)	-0,46 (0,82)	0,0041 (0,0015)	0,0070 (0,0032)
YDS	P-CaCl ₂ -SFA	Pox	15,6 (0,86)	1,95 (1,24)	-0,54 (0,29)	-0,0067 (0,00092)	0,0026 (0,0011)	9,74E-06 (2,78E-06)
YDS100000	P-CaCl ₂ -SFA	Pox	16,7 (0,71)	0,64 (1,03)	-0,51 (0,27)	-0,0061 (0,00088)	0,0035 (0,0016)	1,06E-05 (3,92E-05)
YDS	Pw-getal	Pox	14,8 (0,94)	3,63 (1,35)	-0,071 (0,030)	-0,42 (0,059)	0,0026 (0,0011)	0,00058 (0,00015)
YDS100000	Pw-getal	Pox	16,0 (0,76)	2,05 (1,10)	-0,053 (0,028)	-0,37 (0,057)	0,0037 (0,0016)	0,00050 (0,00021)

¹ Als hoofdfactor is intensiteit in vergelijking (3) niet significant.

In deze bijlage worden predicties gegeven voor combinaties van intensiteit en capaciteit die een significante drie-weg interactie uitwezen. De waarden voor de intensiteit en capaciteitsmaatstaven berusten op de 25^e, 50^e en 75^e percentielwaarden van de meetwaarden van de verschillende methoden van grondonderzoek die bij dit onderzoek werden toegepast.

Tabel B.9

Predicties voor de drogestofproductie in ton per ha bij verschillende fosfaatgiften voor P-CaCl₂-ICP als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha.

Intensiteit P-CaCl ₂ -ICP, mg P / kg	Capaciteit Pox, mg P / kg	Fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ / ha						
		0	30	60	90	120	150	180
1,6	340	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
1,6	396	16,4	16,5	16,7	16,8	17,0	17,2	17,3
1,6	546	16,6	16,9	17,1	17,4	17,7	18,0	18,2
2,2	340	16,6	16,7	16,8	16,9	17,0	17,1	17,3
2,2	396	16,7	16,8	17,0	17,1	17,2	17,4	17,5
2,2	546	16,8	17,1	17,3	17,5	17,8	18,0	18,2
3,2	340	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7
3,2	396	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,8	17,9
3,2	546	17,2	17,4	17,6	17,8	17,9	18,1	18,3

Tabel B.10

Predicties voor de drogestofproductie in ton per ha bij verschillende fosfaatgiften voor Pw-getal als intensiteitparameter en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha.

Intensiteit Pw-getal, mg P ₂ O ₅ /L	Capaciteit Pox, mg P/kg	Fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ /ha						
		0	30	60	90	120	150	180
26	340	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8
26	396	16,2	16,3	16,5	16,7	16,8	17,0	17,1
26	546	16,2	16,5	16,8	17,1	17,4	17,7	18,0
37	340	17,0	17,1	17,2	17,4	17,5	17,6	17,7
37	396	17,0	17,1	17,3	17,4	17,5	17,7	17,8
37	546	16,9	17,1	17,3	17,5	17,8	18,0	18,2
44	340	17,6	17,7	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2
44	396	17,5	17,7	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2
44	546	17,4	17,5	17,7	17,8	18,0	18,1	18,3

Tabel B.11

Predicties voor de drogestofproductie in ton per ha bij verschillende fosfaatgiften voor Pw-getal op gewichtsbasis als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha.

Intensiteit Pw-getal gewichtsbasis, mg P/kg	Capaciteit Pox, mg P/kg	Fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ /ha						
		0	30	60	90	120	150	180
9,4	340	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,7	16,8
	396	16,1	16,2	16,4	16,6	16,8	17,0	17,1
	546	16,1	16,4	16,7	17,1	17,4	17,7	18,0
13,8	340	17,0	17,1	17,2	17,3	17,5	17,6	17,7
	396	17,0	17,1	17,3	17,4	17,5	17,7	17,8
	546	16,8	17,1	17,3	17,5	17,7	18,0	18,2
17,5	340	17,8	17,9	18,0	18,1	18,2	18,3	18,4
	396	17,7	17,8	18,0	18,1	18,2	18,3	18,4
	546	17,5	17,6	17,8	17,9	18,0	18,2	18,3

Tabel B.12

Predicties voor de fosfaatafvoer in kg P₂O₅ per ha bij verschillende fosfaatgiften voor P-CaCl₂-ICP als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha. Waarden berusten op predicties vermenigvuldigd met 2,29.

Intensiteit P-CaCl ₂ -ICP, mg P/kg	Capaciteit Pox, mg P/kg	Fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ /ha						
		0	30	60	90	120	150	180
1,6	340	62	63	64	65	66	67	67
1,6	396	62	63	64	65	66	67	68
1,6	546	63	64	65	66	67	68	69
2,2	340	64	65	67	68	69	70	72
2,2	396	64	65	67	68	69	70	71
2,2	546	65	66	67	68	69	70	71
3,2	340	68	70	72	73	75	77	78
3,2	396	68	70	71	73	74	76	78
3,2	546	68	69	70	72	73	74	75

Tabel B.13

Predicties voor de fosfaatafvoer in kg P_2O_5 per ha bij verschillende fosfaatgiften voor Pw-getal als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha. Waarden berusten op predicties vermenigvuldigd met 2,29.

Intensiteit Pw-getal, mg P_2O_5 / L	Capaciteit Pox, mg P / kg	Fosfaatbemesting, kg P_2O_5 / ha						
		0	30	60	90	120	150	180
26	260	62	63	64	65	66	67	68
26	340	61	62	63	64	65	66	67
26	396	60	61	62	63	65	66	67
37	546	68	69	70	71	73	74	75
37	600	67	68	69	71	72	73	74
37	260	65	66	67	68	69	71	72
44	340	71	73	74	76	77	79	80
44	396	70	72	73	75	76	77	79
44	546	68	69	70	71	72	74	75

Tabel B.14

Predicties voor de fosfaatafvoer in kg P_2O_5 per ha bij verschillende fosfaatgiften voor Pw-getal op gewichtsbasis als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha. Waarden berusten op predicties vermenigvuldigd met 2,29.

Intensiteit Pw-getal gewichtsbasis, mg P / kg	Capaciteit Pox, mg P / kg	Fosfaatbemesting, kg P_2O_5 / ha						
		0	30	60	90	120	150	180
7.	260	61	62	63	64	65	66	67
9,4	340	60	61	62	63	65	66	67
9,4	396	58	60	61	62	64	65	66
9,4	546	67	69	70	71	73	74	75
9,4	600	67	68	69	70	72	73	74
13,8	260	64	65	66	68	69	70	71
13,8	340	73	75	76	78	79	81	82
13,8	396	72	73	75	76	78	79	81
13,8	546	69	70	71	72	73	74	75

Tabel B.15.

Predicties voor de fosfaatafvoer in kg P_2O_5 per ha bij verschillende fosfaatgiften voor P-CaCl₂-SFA als intensiteitsmaatstaf en P-Al-getal als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha. Waarden berusten op predicties vermenigvuldigd met 2,29.

Intensiteit P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	Capaciteit P-Al-getal, mg P_2O_5 / 100 g	Fosfaatbemesting, kg P_2O_5 / ha						
		0	30	60	90	120	150	180
0,75	35	59	60	61	62	63	64	65
0,75	46	63	64	65	66	67	68	69
0,75	51	64	65	66	67	68	69	70
1,2	35	62	63	64	65	66	68	69
1,2	46	65	66	67	68	69	70	71
1,2	51	66	67	68	69	70	71	72
2,6	35	69	71	73	75	77	78	80
2,6	46	70	72	73	75	76	78	79
2,6	51	71	72	73	75	76	77	78

Tabel B.16

Predicties voor de fosfaatafvoer in kg P₂O₅ per ha bij verschillende fosfaatgiften voor P-CaCl₂- SFA als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf bij standaardisatie naar 100.000 planten per ha. Waarden berusten op predicties vermenigvuldigd met 2,29.

Intensiteit P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	Capaciteit Pox, mg P / kg	Fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ / ha						
		0	30	60	90	120	150	180
0,75	340	60	61	62	63	63	64	65
0,75	396	60	61	62	63	64	65	65
0,75	546	61	62	63	64	65	65	66
1,2	340	63	64	65	66	68	69	70
1,2	396	63	64	65	66	68	69	70
1,2	546	63	64	65	66	67	68	69
2,6	340	71	73	76	78	81	83	86
2,6	396	71	73	75	77	79	82	84
2,6	546	70	71	73	75	76	78	79

Tabel B.17

Predicties voor de fosfaatafvoer in kg P₂O₅ per ha bij verschillende fosfaatgiften voor P-CaCl₂- SFA als intensiteitsmaatstaf en Pox als capaciteitsmaatstaf zonder standaardisatie naar 100.000 planten per ha. Waarden berusten op predicties vermenigvuldigd met 2,29.

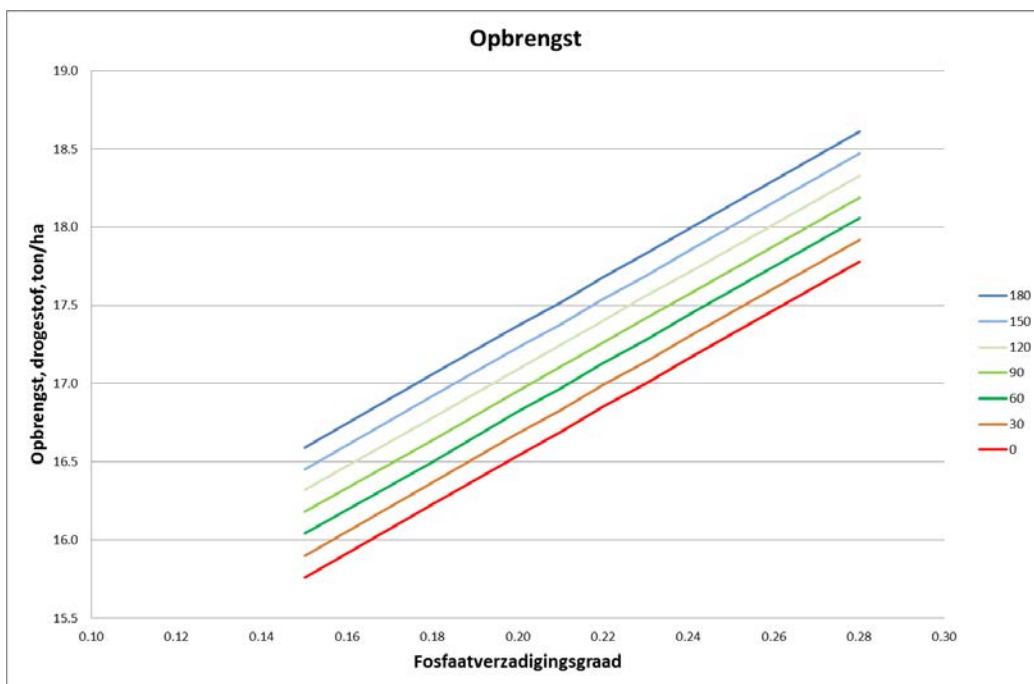
Intensiteit P-CaCl ₂ -SFA, mg P / kg	Capaciteit Pox, mg P / kg	Fosfaatbemesting, kg P ₂ O ₅ / ha						
		0	30	60	90	120	150	180
0,75	340	59	59	60	61	61	62	63
0,75	396	59	60	60	61	62	63	63
0,75	546	59	60	61	62	63	64	65
1,2	340	62	63	64	65	66	67	68
1,2	396	62	63	64	65	66	67	68
1,2	546	62	63	64	65	66	67	68
2,6	340	73	75	77	79	81	83	86
2,6	396	72	74	76	78	80	82	84
2,6	546	70	72	73	75	77	78	80

Tabel B6.18

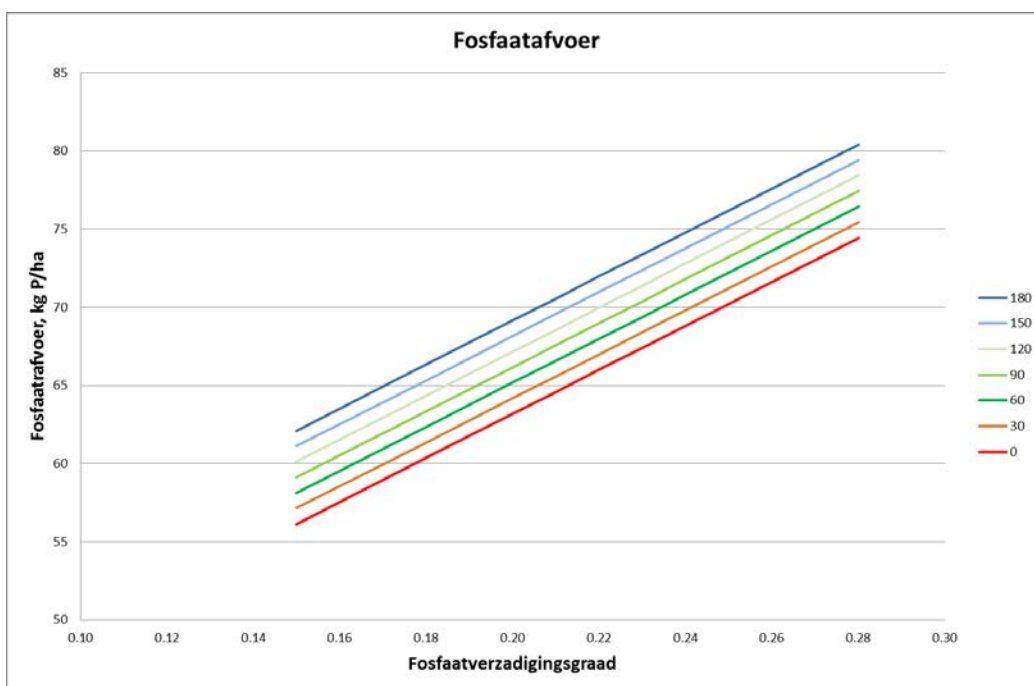
Parameterschattingen met standaardfout (se) voor hoofdfactoren per methode van grondonderzoek zonder interacties (A) vlgs. $\text{response} = C + \text{grondsoort} + \text{STP} + \text{Fosfaatgift}$. Voor relaties waarbij tenminste een aanwijzing was voor een effect van de methode van grondonderzoek op de responsvariabele worden parameterschattingen met standaardfout gegeven.

Respons (1)	Methode van grondonderzoek (2)	Constante	se Constante	Grondsoort (3)	se Grondsoort	Methode van grondonderzoek (STP)	se STP	Fosfaatgift (4)	se Fosfaatgift
Fosfaatafvoer	P-CaCl ₂ -ICP	31,39	1,317	-4,53	1,886	1,35	0,518	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	P-CaCl ₂ -ICP	32,86	14,606	-6,91	2,295	1,09	0,591	1,44E-02	3,78E-03
Fosfaatafvoer	PCaCl ₂ -SFA	31,79	1,322	-5,34	1,923	1,59	0,534	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	PCaCl ₂ -SFA	33,27	1,615	-7,73	2,343	1,43	0,318	1,44E-02	3,78E-03
Drogestof opbrengst	P-Al-getal	15,88	0,653	1,52	0,925	0,01	0,025	3,62E-03	1,10E-03
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	P-Al-getal	16,99	0,539	0,13	0,764	0,04	0,032	4,57E-03	1,54E-03
Fosfaatafvoer	P-Al-getal	31,03	1,511	-3,82	2,141	0,11	0,054	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	P-Al-getal	32,68	1,609	-6,55	2,280	0,16	0,056	1,44E-02	3,78E-03
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pw-getal	17,00	0,523	0,11	0,741	0,04	0,021	4,57E-03	1,54E-03
Fosfaatafvoer	Pw-getal	31,12	1,368	-3,99	1,939	0,14	0,052	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pw-getal	32,70	1,558	-6,59	2,209	0,15	0,056	1,44E-02	3,78E-03
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pwgewicht	17,03	0,517	0,06	0,735	0,11	0,055	4,58E-03	1,54E-03
Fosfaatafvoer	Pwgewicht	31,22	1,331	-4,21	1,890	0,41	0,134	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pwgewicht	32,80	1,578	-6,79	2,240	0,41	0,150	1,44E-02	3,78E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	P-Bray	34,39	2,015	-9,96	3,218	0,03	0,013	1,43E-02	3,78E-03
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pi4	17,14	0,529	-0,18	0,770	0,07	0,041	4,55E-03	1,54E-03
Fosfaatafvoer	Pi4	31,17	1,401	-5,19	2,029	0,28	0,100	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi4	33,30	1,561	-7,79	2,257	0,28	0,108	1,44E-02	3,78E-03
Fosfaatafvoer	Pi8	31,54	1,437	-4,84	2,083	0,16	0,072	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi8	33,19	1,585	-7,57	2,294	0,17	0,077	1,44E-02	3,78E-03

Respons (1)	Methode van grondonderzoek (2)	Constante	se Constante	Grondsoort (3)	se Grondsoort	Methode van grondonderzoek (STP)	se STP	Fosfaatgift (4)	se Fosfaatgift
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pi24	17,20	0,534	0,29	0,788	0,03	0,019	4,55E-03	1,54E-03
Fosfaatafvoer	Pi24	31,72	1,450	-5,21	2,127	0,10	0,048	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi24	33,42	1,607	-8,03	2,353	0,12	0,051	1,44E-02	3,78E-03
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	Pi48	17,25	0,548	-0,39	0,820	0,03	0,015	4,55E-03	1,54E-03
Fosfaatafvoer	Pi48	31,88	1,488	-5,53	2,212	0,08	0,038	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi48	33,62	1,655	-8,42	2,453	0,09	0,041	1,44E-02	3,78E-03
Fosfaatafvoer	Pi72	31,93	1,494	-5,62	2,231	0,07	0,032	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi72	33,65	1,664	-8,48	2,478	0,08	0,035	1,44E-02	3,78E-03
Fosfaatafvoer	Pi144	31,92	1,521	-5,61	2,280	0,06	0,027	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi144	33,63	1,698	-8,46	2,537	0,06	0,030	1,44E-02	3,78E-03
Fosfaatafvoer	Pi192	31,85	1,533	-5,47	2,292	0,05	0,026	1,33E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	Pi192	33,57	1,708	-8,32	2,546	0,06	0,077	1,44E-02	3,78E-03
Drogestof opbrengst	FVG (****)	16,05	0,679	1,18	0,970	14,89	7,481	3,64E-03	1,10E-03
Drogestof opbrengst, 100.000 planten	FVG	17,12	0,557	-0,13	0,796	15,51	6,553	4,59E-03	1,51E-03
Fosfaatafvoer	FVG	31,58	1,465	-4,92	2,089	58,05	15,290	1,34E-02	3,26E-03
Fosfaatafvoer, 100.000 planten	FVG	33,20	1,637	-7,58	2,334	61,50	16,315	1,45E-02	3,78E-03



Figuur B6.1 Opbrengst aan drogestof voor 100.000 planten als functie van fosfaatverzadigingsgraad bij verschillende fosfaatgiften (Fosfaatafvoer is berekend door fosforafvoer volgens tabel B6.5 te vermenigvuldigen met de factor 2,29).



Figuur B6.2 Fosfaatafvoer voor 100.000 planten als functie van fosfaatverzadigingsgraad bij verschillende fosfaatgiften (Fosfaatafvoer is berekend door fosforafvoer volgens tabel B6.5 te vermenigvuldigen met de factor 2,29).

Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2500
ISSN 1566-7197



Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

To explore
the potential
of nature to
improve the
quality of life



Alterra Wageningen UR
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 317 48 07 00
www.wageningenUR.nl/alterra

Alterra-rapport 2500
ISSN 1566-7197

Alterra Wageningen UR is hét kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

De missie van Wageningen UR (University & Research centre) is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen 9 gespecialiseerde onderzoeksinstituten van stichting DLO en Wageningen University hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.000 medewerkers en 9.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.

