

augustus 2011

rapport 1246.1

**Naar een advies voor
fosfaatbemesting op
nieuwe leest;
deel 1 snijmaïs**

Dr. ir. D.W. Bussink (NMI)

Ing. R.F. Bakker (NMI)

Ing. H. van der Draai (NMI)

Dr. ir. E.J.M. Temminghoff (WUR)

nutriënten management instituut nmi bv
postbus 250
6700 ag wageningen
agro business park 10
6708 pw wageningen
tel. (088) 876 12 80
fax (088) 876 12 81
e-mail nmi@nmi-agro.nl
internet www.nmi-agro.nl

© 2011 Wageningen, Nutriënten Management Instituut NMI B.V.

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

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

Disclaimer

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

Verspreiding

Productschap Zuivel
BLGG AgroXpertus

5
5

Inhoud

	pagina
Samenvatting en conclusies	3
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Doelstelling van het onderzoek	6
1.3 Verwacht resultaat	6
1.4 Leeswijzer	6
2 De problematiek van de P-bemestingsadvisering: een nieuwe benadering	7
2.1 Algemeen	7
2.2 Milieu versus bemestingsadvies	7
2.3 P-bronnen in de bodem	8
2.4 P-beschikbaarheid en gewasopname	9
2.5 Naar een nauwkeurige voorspelling van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in de bodem (Van Rotterdam-Los et al., 2009)	10
3 Opzet en uitvoering	15
3.1 Algemeen	15
3.2 Uitvoering (detail) grondonderzoek	15
3.3 Maïsland	16
3.3.1 Praktijkmonitoring	16
3.3.2 Blokkenproef	17
3.4 Data bewerking en statistisch analyse van de resultaten	17
3.4.1 Algemeen	17
3.4.2 REML variantie componenten analyse	17
3.4.3 Niet lineaire regressie bij de overall analyse	18
4 Resultaten detailgrondonderzoek	21
4.1 Relatie PAL en P-CaCl ₂	21
4.2 Hoeveelheid geëxtraheerde organische P (DOP)	22
4.3 Relatie desorptie met PAL en P-CaCl ₂	22
4.4 Conclusie	23
5 Resultaten maïsproeven	25
5.1 Overzicht grondanalyse en bemesting in de maïsproeven	25
5.2 Het P-gehalte in het 10-20cm stadium	26
5.3 Het effect van fosfaat- en stikstofbemesting in de 14 detailproeven	28
5.4 Het effect van fosfaatbemesting over alle demo- en detailproeven	29
5.4.1 Het effect van P-rijenbemesting op de opbrengst	29
5.4.2 Voorbeelden van het effect van PPAE en PAL op de opbrengst	30
5.4.3 Variatie in opbrengst en samenstelling	30
5.4.4 Statistische analyse van het effect van bodem en bemestingsparameters op de opbrengst	31
6 Ontwikkeling bemestingsadvies maïs	35
6.1 De prijs van meststoffosfaat en snijmaïs op de te adviseren fosfaatgift	35
6.2 Het effect van het opbrengstniveau op de te adviseren gift in de rij.	37
6.3 Bemesting en fosfaatwetgeving	38

6.4	Het nieuwe fosfaatadvies	39
6.5	Discussiepunten	39
7	Referenties	43
Bijlage 1	Bodem- en bemestingskenmerken van de 96 maïspcelen die in 2007 en 2008 meededen (n is aantal locaties)	45
Bijlage 2	Testset met 461 praktijkmonsters	49
Bijlage 3	De tekst uit de adviesbasis	51

Samenvatting en conclusies

De Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen heeft in 2006 geconcludeerd dat het advies voor snijmaïs niet langer voldoet, omdat het is gebaseerd op aardappelproeven en het advies vaak hoger is dan toegestaan is op basis van het P-gebruiksnormenstelsel. Om scherper te kunnen bemesten met fosfaat dient zowel de directe beschikbaarheid, de nalevercapaciteit en snelheid bekend te zijn. Het fosfaatadvies voor maïs is gebaseerd op één bepalingmethode Pw. Daarmee kan of de nalevering of de directe beschikbaarheid worden bepaald, maar niet beiden. Fundamenteel onderzoek gestart in 2003 naar desorptiegedrag van fosfaat geeft aan dat de P-dynamiek via twee routinematige methoden van grondonderzoek, PAL en P-CaCl₂ is te beschrijven. Daarbij is P-CaCl₂ een maat voor de directe beschikbaarheid en de ratio PAL/P-CaCl₂ een maat voor het nalevergedrag.

Doel van het onderzoek is de ontwikkeling van een nieuwe adviessystematiek voor maïsland die gebaseerd is op de directe P-beschikbaarheid en het P-naleverend vermogen van de bodem. Het onderzoek is gesubsidieerd door Productschap Zuivel en BLGG AgroXpertus en in samenwerking veevoederbedrijfsleven (ForFarmers, Agrifirm, De Heus, Agerland, Nutreco en Rijnvallei).

In 2007 en 2008 zijn op in totaal 82 maïspancelen op diverse grondsoorten en in diverse regio's fosfaatdemo's aangelegd met 2- of 3 P-niveaus in de rij. De percelen kregen een basisbemesting met ongeveer 45 m³ ha⁻¹ dunne rundermest. De bemesting met P in de rij varieerde tussen 10 en 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ in de vorm van een NP-rijenmeststof, met daarnaast één strook met 0P in de rij en enkel N-rijenmeststof. Op 14 percelen zijn aanvullend mini-blokkenproeven (12veldjes) aangelegd met 3 P-trappen en 2 N-trappen in 2 herhalingen. Op alle percelen is grondonderzoek uitgevoerd en is de toediende mest geanalyseerd. Op een deel van de percelen is onderzoek uitgevoerd naar het desorptiegedrag van fosfaat, om de bevindingen in eerder onderzoek verder te onderbouwen. Kort voor het aanbreken van het praktijk oogstmoment is de opbrengst bepaald door een gedeelte van de strook handmatig te oogsten. Aansluitend is het N- en P-gehalte van de maïs bepaald.

Gemiddeld over alle percelen geeft P-rijenbemesting een meeropbrengst van 990 kg ds ha⁻¹ in 2007 en 430 kg ds ha⁻¹ in 2008 (Tabel 1). Bij P-rijenbemesting is gemiddeld 24 kg P₂O₅ ha⁻¹ gegeven in beide jaren. Het verschil in maïsoopbrengst tussen locaties is zeer groot en varieert van 8 tot 22 ton ds ha⁻¹. Over alle percelen en behandelingen bedroeg de opbrengst gemiddeld 14,3 ton ds ha⁻¹. De P-opbrengst varieert van minder dan 30 tot meer dan 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ en bedraagt gemiddeld 67,4 kg P₂O₅ ha⁻¹. De verkregen drogestof opbrengstgegevens zijn geanalyseerd met niet-lineaire multiple regressie op basis van een dubbel exponentieel model. Daarbij is rekening gehouden met verschillen in productiepotentieel tussen locaties. Er is een model verkregen waarmee de drogestofopbrengst te verklaren is

Tabel 1. Overzicht van het effect van P-rijenbemesting op de opbrengst, de P-opname en de gemiddeld gemeten PAL en PPAE en de gemiddeld gerealiseerde N-rijenbemesting en werkzame N-gift.

Jaar	Prij gem. kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Pmest gem. kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Opbrengst ton ds ha ⁻¹	P-opname kg ha ⁻¹	PAL mg P ₂ O ₅ /100g	PPAE mg P kg ⁻¹	Nrij kg N ha ⁻¹	Nwerkzaam kg N ha ⁻¹
2007	0	61,1	13,67	28,7	41,6	1,84	38,6	159
	24,5	61,1	14,66	30,8			35,7	157
2008	0	58,1	14,11	28,4	34,4	1,32	36,5	178
	24,3	58,1	14,54	29			36	177

uit de werkzame Ngift, de Pgift in de rij, de Pgift met mest (volvelds) en PPAE en de ratio PAL/PPAE ($R^2_{\text{adj}}=70,6\%$). Daarbij had dierlijke mest een zwak effect op de opbrengst in vergelijking tot P geplaatst in de rij. De analyse toonde tevens aan dat meenemen van twee P-parameters significant betere resultaten geeft ten opzichte van één P-parameter (of alleen PAL of alleen PPAE). Ook het onderzoek naar het fosfaatdesorptiegedrag geeft aan dat conform eerder onderzoek de desorptie en daarmee de fosfaatbeschikbaarheid goed te voorspellen is met (PAL/P-CaCl₂) en P-CaCl₂ ($R^2=0,77$).

Op basis van het verkregen model is berekend welke P-gift in de rij via kunstmest bedrijfseconomisch interessant is bij wel of geen fosfaatgift met mest (60 kg P₂O₅ ha⁻¹) voor verschillende fosfaattoestanden (Tabel 2). Uitgangspunt daarbij is dat elke kg fosfaat minimaal 10 kg ds meeropbrengst moet geven. Te zien is dat het advies in de rij bij lage bodemkengetallen lager is dan voorheen en dat het ook bij hogere bodemkengetallen interessant is om wat fosfaat te geven. Met 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ mest is de P-gift in de rij beperkt lager dan zonder mest. Er kan ongeveer overeenkomstig de gebruiksnormen worden bemest.

Tabel 2. Vergelijking van de P-giften op basis van het model en het bemestingsadvies 2002 (CBGV2002) bij wel en geen mesttoediening bij een potentiële opbrengst van 16,5 ton ds ha⁻¹.

PPAE	PAL	Pw	Geen mest		P-gebruiks- norm 2011	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ via mest			
			Advies rij	Advies rij		Advies rij	Totaal	Advies	Totaal
			Model*	CBGV2002		Model *	Model *	CBGV2002	CBGV2002
1	10	18	33	79	85	27	87	49	109
1	20	23	28	72	85	23	83	42	102
2	20	31	24	61	85	20	80	31	91
2	30	36	22	53	75	18	78	23	83
2	40	40	21	45	75	17	77	15	75
2	50	45	19	35	75	16	76	0	60
4	30	44	13	37	75	11	71	0	60
4	40	49	12	32	75	11	71	0	60
4	50	54	12	22	75	10	70	0	60
4	60	58	11	0	70	10	70	0	60
5	50	58	9	0	70	8	68	0	60
5	60	62	9	0	70	8	68	0	60

Geadviseerd wordt om te focussen op mestplaatsing in de rij. Bij een verdere aanscherping van de gebruiksnormen, waardoor de mestgift daalt naar 30-35 m³ ha⁻¹, kan zo voldoende fosfaat worden gegeven. Tegelijkertijd neemt de N- en K-werking van mest toe waardoor minder vaak aanvulling met kunstmestkali nodig zal zijn.

Conclusies:

- Fosfaatplaatsing in de rij is belangrijk voor de opbrengst van snijmaïs.
- De fosfaatbeschikbaarheid baseren op twee kengetallen, PPAE en PAL heeft meerwaarde ten opzichte van één fosfaatkengetal.
- Op basis van proeven in de praktijk is een nieuw fosfaatbemestingsadvies voor maïs af te leiden.

* De Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen heeft in voorjaar 2011 besloten het bemestingsadvies voor snijmaïs aan te passen overeenkomstig het hierboven genoemde model.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Fosfaat is belangrijk voor een goede gewasgroei. Daarnaast dienen gewassen voldoende fosfor (P) te bevatten voor een goede dierprestatie. Via bemesting met fosfaat wordt getracht gewassen met voldoende fosfaat te voorzien (CBGV, 2002). De fosfaatbemestingsadviezen zijn de laatste decennia niet of nauwelijks gewijzigd. Redenen om in 2007 proeven te starten om voor gras- en maïsland nieuwe P-bemestingsadviezen te ontwikkelen waren dat:

- P-bemesting volgens het huidig advies door het gebruiksnormenstelsel vaak niet mogelijk is (Bussink et al., 2006). Bovendien daalt de P-gebruiksnorm de komende jaren verder (richting evenwichtsbemesting);
- de huidige P-bemesting vaak te hoog is waardoor P af- en uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater plaatsvindt. Fosfaat is dan ook aangemerkt als hét probleem (De Rooij & Dekker, 2005) om aan de kaderrichtlijn water (KRW) te voldoen;
- gronden zijn jarenlang verrijkt met P. Het P-bemestingsadvies voor grasland, houdt hier nauwelijks rekening mee (Bussink et al., 2006);
- fosfaaterts als grondstof voor meststoffen schaars dreigt te worden;
- het realiseren van 4,0 g P kg⁻¹ ds in gras niet meer nodig is. Voor een goede dierprestatie is 3,0-3,5 g P kg⁻¹ ds voldoende (Valk, 2003);
- de P-opname door het gewas wordt mede bepaald door de N-bemesting. In het advies wordt daar nu geen rekening mee gehouden (Van Dijk et al., 2005);
- de CBGV (notulen 2006) heeft vastgesteld dat de P-adviezen voor maïs, die afgeleid zijn uit aardappelproeven, niet goed zijn en herzien dienen te worden;
- er twee verschillende adviessystematieken zijn voor grasland en bouwland, hetgeen leidt tot extra kosten voor grondonderzoek bij wisselbouwsituaties; en
- er nieuwe kennis over het gedrag van bodemfosfaat beschikbaar is.

Op basis van de huidige fosfaatkengetallen kan of de directe beschikbaarheid van fosfaat of de nalevercapaciteit van fosfaat wordt voorspeld, maar niet beide. Fundamenteel onderzoek gestart in 2003 door de leerstoelgroep Bodemchemie en chemische bodemkwaliteit t van de Wageningen Universiteit en NMI geeft aan dat een verbetering van de adviezen mogelijk lijkt te zijn door nu juist rekening te houden met zowel de (directe) P-beschikbaarheid in de bodem als met het P-nalevergedrag van de bodem. Dit maakt naar verwachting een scherpere en meer op maat P-bemesting mogelijk zonder dat dit ten koste gaat van opbrengst en gewaskwaliteit. De resultaten na twee jaar fundamenteel onderzoek waren veelbelovend. Via twee routinematige methoden van grondonderzoek, PAL en P-CaCl₂ (Van Rotterdam-Los, 2010) en toepassing van de meest recente bodemchemische kennis bleek de directe P-beschikbaarheid en het P-nalevergedrag goed te beschrijven. Dit werd bevestigd in een potproef met gras in 2005. In 2006 zijn daarop praktijkdemo's uitgevoerd in samenwerking met BLGG AgroXpertus en enkele coöperaties. Dat heeft in december 2006 geleid tot een eerste aanpassing van het BLGG AgroXpertus-fosfaatadvies voor grasland. Gemiddeld was er 15-20 kg minder P₂O₅ ha⁻¹ nodig, maar op sommige percelen was meer P nodig dan op basis van de huidige systematiek. Een uitgebreidere toetsing via veldonderzoek onder uiteenlopende omstandigheden was gewenst.

Met subsidie van Productschap Zuivel en BLGG AgroXpertus en in samenwerking met het

veevoederbedrijfsleven (ForFarmers, Agrifirm, De Heus, Agerland, Nutreco en Rijnvallei) is daarop in 2007 en 2008 onderzoek uitgevoerd op gras- en maïsland op diverse grondsoorten om toe te werken naar een breder inzetbaar advies.

1.2 *Doelstelling van het onderzoek*

Ontwikkeling van een nieuwe adviessystematiek voor grasland en maïsland die gebaseerd is op de directe P-beschikbaarheid in en het P-naleverend vermogen van de bodem. Hiermee blijft het mogelijk om bij een aangescherpt P-beleid een goede gewasproductie en -kwaliteit te behouden, terwijl tegelijkertijd de milieubelasting daalt.

1.3 *Verwacht resultaat*

Er komt een praktijkbreed nieuw P-advies beschikbaar voor gras- en maïsland waarin beter rekening is gehouden met de directe P-beschikbaarheid en het P-nalevergedrag van gronden, zodat optimale P-bemesting binnen het stelsel van gebruiksnormen mogelijk blijft.

1.4 *Leeswijzer*

De uitgevoerde proeven en de verkregen resultaten worden voor maïs en gras in een separaat rapport weergegeven. Dit rapport beschrijft de resultaten van de maïsproeven. In Hoofdstuk 2 wordt daarbij ingegaan op de Pw-adviezen, de beperkingen van één bodemkengetal en nieuwe kennis omtrent de fosfaatbeschikbaarheid. In Hoofdstuk 3 zijn de proefopzet, de uitgevoerde metingen aan grond en gewas en de statistische analysemethodiek beschreven. In Hoofdstuk 4 zijn de resultaten van het grondonderzoek weergegeven. In Hoofdstuk 5 zijn de opbrengstresultaten toegelicht en op basis van deze resultaten is een bemestingadvies afgeleid in Hoofdstuk 6.

2 De problematiek van de P-bemestingsadvisering: een nieuwe benadering

2.1 Algemeen

Fosfaat is belangrijk voor een goede begingroei en optimale opbrengst van het gewas. Fosfaat speelt samen met stikstof een belangrijke rol bij de wortelontwikkeling. Daarbij stimuleert stikstof de wortellengte ontwikkeling in het voorjaar, waardoor er meer fosfaat kan worden opgenomen (Strasser & Werner, 1995). In combinatie met de aanwezigheid van gemakkelijk beschikbaar fosfaat bepaalt dit de fosfaatopname. Fosfaat moet dus vrij dicht bij de wortels aanwezig zijn om te worden opgenomen. Fosfaat stimuleert de P-uitstoeling van grassen en heeft een positief effect op de gewasopbrengst. Een goede P-voorziening heeft effect op het aandeel goede, gewenste grassen; kwalitatief minder goede grassen kunnen bij een lagere P-voorziening beter concurreren. Fosfaat in ruwvoerders is ook van belang voor een goede P-voorziening van vee.

Het bemestingsadvies voor snijmaïs is afgeleid uit aardappelproeven. Het bemestingsadvies voor maïs is in 1991 voor het laatst gewijzigd (notulen CBGV, 1991). Uitgangspunt voor fosfaatbemesting in de rij was dat elke kg fosfaat minimaal 4 kg droge stof meeropbrengst dient te geven. Sindsdien hebben er wel bemestingsproeven met fosfaat plaatsgevonden, maar dat heeft niet geleid tot een bijstelling van het advies. In 2006 heeft de CBGV geconcludeerd dat het bemestingsadvies voor snijmaïs niet langer voldoet.

2.2 Milieu versus bemestingsadvies

De hoge P-bemesting in de landbouw heeft geleid tot P-ophoping, -uit en -afspoeling. Uit- en afspoeling van P leidt tot eutrofiëring van oppervlaktewater, met nadelige neveneffecten zoals een eenzijdige visstand, soortenarmoede en zuurstofloosheid. Verder leidt een hoge P-toestand van gronden tot een verschromping van de soortenrijkdom en verlies aan biodiversiteit. Vanuit Europa zijn er daarom binnen de kaderrichtlijn water (KRW) eisen gesteld aan de concentratie P in het oppervlaktewater. Om hieraan te kunnen voldoen zijn er onder andere fosfaatgebruiksnormen opgesteld voor landbouwgronden. Er mag daarbij niet meer met P worden bemest dan de gebruiksnorm. Voor maïsland geldt, in 2011, een fosfaatgebruiksnorm van respectievelijk 70, 75 en 85 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹, voor de toestand hoog, neutraal en laag. Op termijn zullen deze mogelijk nog verder omlaag gaan, want er wordt naar gestreefd om de gebruiksnorm gelijk te maken aan de afvoer van P via het gewas. Er mag dus minder bemest worden. Voor de boer betekent dit dat er met de P-bemesting een balans gevonden moet worden tussen voldoende P-aanvoer voor een goede en tijdige gewasgroei enerzijds en de gebruiksnormen anderzijds om zo bij te dragen aan het realiseren van een minimale P-uitspoeling en milieubelasting.

Bij het opvolgen van het P-bemestingsadvies voor maïsland, gebaseerd op P_w (CBGV, 2002), dient met alleen mest bij P_w<40 (van toestand zeer laag tot en met ongeveer toestand ruim voldoende) meer dan 85 kg P₂O₅ ha⁻¹ te worden bemest. Dit betekent dat op basis van de gebruiksnormen op ongeveer een derde van het areaal minder bemest mag worden dan volgens de adviesbasis gewenst is. Is er ruimte om wat kunstmestfosfaat in de rij te geven dan wordt het beeld iets gunstiger. Daar staat tegenover dat op een groot deel van het areaal helemaal geen fosfaat nodig is (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Het snijmaïsadvis op basis van CBGV (2002).

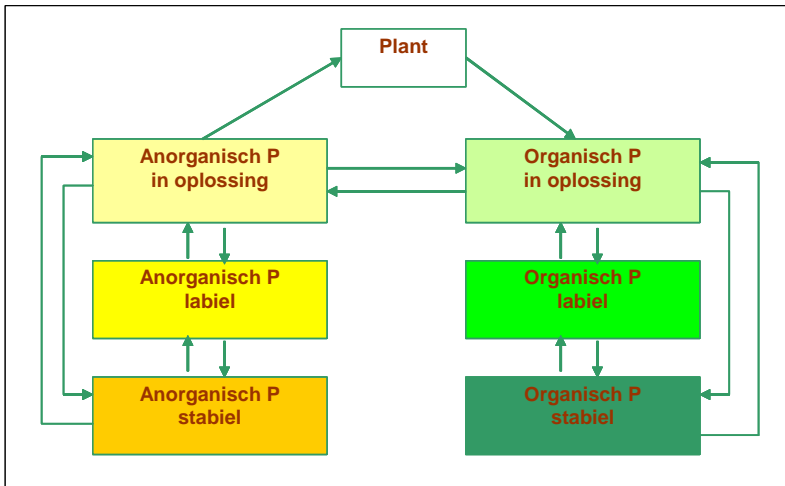
	Pw	Alleen mest*	Alleen kunstmest*	% areaal per grondsoort**		
		kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	zand	klei	veen
Hoog	>60	0	0	48	18	6
Vrij hoog	46-60	70-0	30-0	18	14	6
Ruim voldoende	31-45	120-70	60-35	19	23	19
Voldoende	21-30	150-120	75-60	10	22	26
Laag	11-20	185-150	95-75	5	20	33
Zeer laag	< 11	185	95	0,5	3	10

* volgens P-bemestingsadviesbasis (2008).

** vierde nitraatactieprogramma

2.3 P-bronnen in de bodem

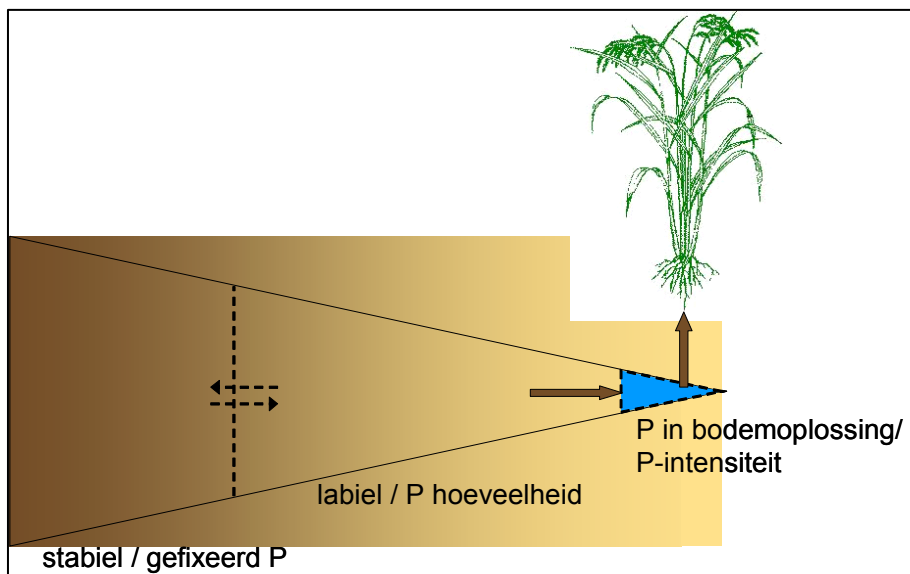
In de bodem komt een groot aantal P-vormen voor, zowel in anorganische als organische vorm (Figuur 2.1). De hoeveelheid P in de bodemoplossing is gering is ten opzichte van de totale P-voorraad van de bodem. Anorganisch P dat in de bodemoplossing aanwezig is, is voor een groot deel beschikbaar voor opname door de plant. De belangrijkste anorganische P-vormen die in de bodemoplossing voorkomen zijn de ionen HPO₄²⁻ en H₂PO₄⁻. Bij een pH van 7,22 is evenveel H₂PO₄⁻ als HPO₄²⁻ aanwezig, bij een pH lager dan 7,22 is meer H₂PO₄⁻ dan HPO₄²⁻ aanwezig en bij een pH hoger dan 7,22 is minder H₂PO₄⁻ dan HPO₄²⁻ aanwezig. Organisch P komt pas na afbraak door micro-organismen beschikbaar voor de plant. De niet-opgeloste anorganische en organische P-verbindingen zijn te verdelen in labiele en stabiele verbindingen. Het labiele P is in evenwicht met de P in oplossing en is de belangrijkste bron voor nalevering van P naar de bodemoplossing (Figuur 2.2). De stabiele P-verbindingen zijn meestal slecht oplosbaar en daardoor ook slecht beschikbaar voor de plant. Tot de stabiele anorganische P-verbindingen behoren onder andere de P-houdende bodemmineralen (bijvoorbeeld apatiet). Tot de labiele anorganische P-verbindingen behoren geadsorbeerd P en ijzer-, aluminium- en calciumfosfaten. In zure gronden is P vaak gebonden aan ijzer (Fe) en aluminium (Al) en in kalkrijke gronden is P meestal gebonden aan calcium (Ca). Organisch P is afkomstig van afgestorven planten, dieren en micro-organismen en van organische producten als mest en compost. De belangrijkste labiele en stabiele organische P-verbindingen in bodems zijn myo-inositol-fosfaten, nucleïnezuur, fosfolipiden en eiwitgebonden P-verbindingen. De totale hoeveelheid organisch P in de bodem is sterk afhankelijk van grondsoort, humusgehalte en (historie van) landgebruik en kan variëren van 20 tot meer dan 90 procent van de totale hoeveelheid P.



Figuur 2.1. Vormen van fosfaat in de bodem.

2.4 P-beschikbaarheid en gewasopname

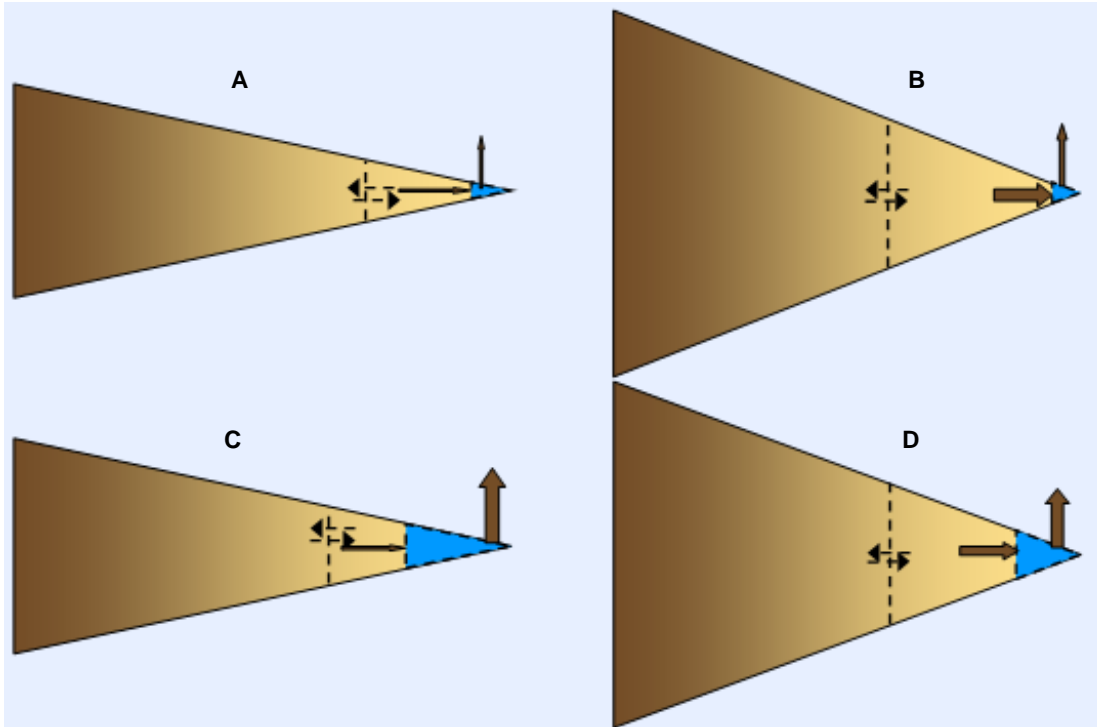
Planten nemen P op uit de bodemoplossing gedurende het groeiseizoen. De hoeveelheid P die direct beschikbaar in de bodemoplossing is slechts een fractie van de hoeveelheid die een plant in totaal opneemt (Figuur 2.2). Er dient P nageleverd te worden uit de labiele pool (weergegeven door de horizontale bruine pijl). Voor de beschikbaarheid is het dus van belang niet alleen de concentratie in bodemoplossing te kennen (de P-intensiteit) – schematisch weergegeven door het blauwe driehoekje - maar ook de hoeveelheid die er vanuit de bodem in totaal nageleverd kan worden (de capaciteit) - schematisch weergegeven door middensegment van de driehoek - en de snelheid van nalevering. De naleveringssnelheid is een functie van zowel de capaciteit als de intensiteit. In Figuur 2.2 is dit conceptueel weergegeven. Daarnaast is het soort gewas van belang, enerzijds omdat er verschil in P-behoefte bestaat tussen diverse gewassen en anderzijds doordat er verschillen zijn in de bewortelingskarakteristiek, waardoor het ene gewas gemakkelijker fosfaat kan opnemen uit de bodem dan het andere.



Figuur 2.2. Een schematische weergave van de P-beschikbaarheid en de gewasopname.

In de praktijk zijn diverse situaties van P-beschikbaarheid denkbaar (Figuur 2.3), zoals:

- Een lage directe beschikbaarheid en een lage nalevercapaciteit
- Een lage directe beschikbaarheid en een hoge nalevercapaciteit
- Een hoge directe beschikbaarheid en een lage nalevercapaciteit
- Een hoge directe beschikbaarheid en een hoge nalevercapaciteit



Figuur 2.3. Mogelijke situaties van P-beschikbaarheid in de bodem.

Het is duidelijk dat deze situaties van P-beschikbaarheid niet te bepalen zijn met één bepalingsmethode, immers of de intensiteit wordt goed bepaald of de capaciteit, maar beide met één methode is niet mogelijk. Toch is het vigerende P-advies afgestemd op een enkele methode. De consequentie is dat de P-adviezen relatief globaal zijn en relatief veel ruis kennen.

Ook de snelheid van nalevering is van belang. Bij een zeer lage intensiteit kan de nalevering zelf bij een zeer hoge capaciteit nog onvoldoende zijn (de zogenaamde P-fixerende gronden). Anderzijds kan de nalevering zelfs bij lage capaciteit voldoende zijn als de intensiteit hoog is. Op basis van bodemchemische kennis kunnen de P capaciteit en de P intensiteit worden gecombineerd tot een relatie die de nalevering van P in gronden over een groeiseizoen goed weergeeft (Van Rotterdam-Los, 2010).

2.5 Naar een nauwkeurige voorspelling van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in de bodem (Van Rotterdam-Los et al., 2009)

Algemeen

In het fundamentele promotie onderzoek van Van Rotterdam-Los (2010) is getracht de P-dynamiek beter te beschrijven. Daartoe werd het P-desorptiegedrag gemeten met behulp van zogenaamde ijzerpapiertjes (in een grondextract van 0,01 M CaCl₂ werd een ijzerpapiertje aangebracht die sterk P kan binden. Deze ijzerpapiertjes dienen dan als een “perfect sink” voor opgelost fosfaat. Er desorbeert hierdoor fosfaat van het bodemoppervlak naar de bodemoplossing en vanuit de bodemoplossing naar het ijzerpapiertje (Van Rotterdam-Los et al., 2009b). Het ijzerpapiertje wordt met enige regelmaat vervangen door een nieuw

ijzerpapiertje onder gelijktijdige meting van de P-concentratie in de bodemoplossing. De hoeveelheid fosfaat op het ijzerpapiertje wordt gemeten. De gedesorbeerde hoeveelheid P kan worden uitgezet tegen de gemeten P-concentratie in de bodemoplossing om een desorptiecurve af te leiden). Het desorptiegedrag was goed te beschrijven met standaard bepalingmethoden en wel met een combinatie van PPAE (een meting in 0,01 M CaCl₂) en PAL of PPAE en P-Olsen. Verder gaven potproeven in 2005 met gras aan dat er een goede relatie bestond tussen het desorptiegedrag van fosfaat en het opnamepatroon van gras.

Separaat aanvullend veldonderzoek moet uitwijzen in hoeverre meer op maat bemesten met P mogelijk wordt door rekening te houden met:

- de direct beschikbare hoeveelheid P;
- de totale nalevercapaciteit gedurende het groeiseizoen; en
- de snelheid van P-nalevering.

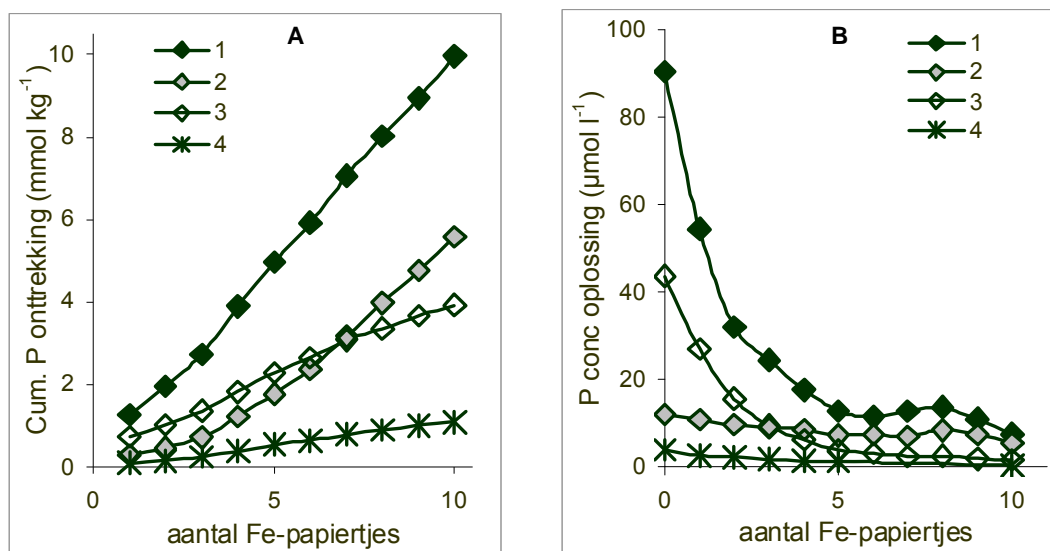
Daartoe is in 2007 het in dit rapport beschreven onderzoek gestart. .

Bijkomend voordeel van deze benadering is dat naast grasland ook bouwland met dezelfde systematiek geanalyseerd en beoordeeld kan worden. Daardoor is bijvoorbeeld geen nieuw P-grondonderzoek nodig wanneer grasland wordt omgezet in maïsland of vice versa.

Beschikbaarheid van P in de bodem

De beschikbaarheid van P in het milieu en de opname van P in een gewas is een dynamisch proces. Deze is onderzocht door experimenten uit te voeren waarbij P aan een grondsuspensie werd onttrokken door een relatief sterke P-adsorbent (ijzer(hydr-)oxide gecoat papier) (Van der Zee et al., 1987; Van Rotterdam-Los et al., 2009) Continue onttrekking werd verkregen door op gezette tijden het Fe-papiertje te vervangen. Deze methode bootst de gewasonttrekking na onder geconditioneerde omstandigheden. De zo onttrokken hoeveelheid P en het effect hiervan op de P-concentratie in de oplossing zijn elke keer als het Fe-papiertje werd vervangen gemeten. Deze experimenten zijn uitgevoerd op sterk van elkaar verschillende Nederlandse landbouwgronden (Van Rotterdam-Los, 2010).

Figuur 2.4 (A) laat de cumulatieve P-onttrekking (Qcum) door 10 Fe-papiertjes zien en de daar bijhorende P-concentratie in de oplossing (C) op het moment dat ieder papiertje werd vervangen (Figuur 2.4 B). De vier gronden vertonen een grote variatie in Qcum gedurende het experiment. De hoeveelheid P die door de eerste Fe-papiertjes wordt onttrokken is nauw verbonden met de initiële concentratie in de oplossing ($r^2=0,97$ $n=17$). In overeenstemming hiermee is de initiële onttrekking van grond 3 groter dan die van grond 2. Echter, met de voortdurende onttrekking van P gedurende het experiment wordt Qcum van grond 3 lager dan van grond 2 (Figuur 2.4 B). Na twee uur heeft het eerste Fe-papiertje uit de verschillende gronden al minstens evenveel P verwijderd als er initieel aan P in de oplossing aanwezig was. Ook in het veld is de P-fractie in de bodemoplossing laag t.o.v. de hoeveelheid die een plant nodig heeft en erg laag t.o.v. de totale hoeveelheid P in de bodem. Tijdens het onttrekken van P aan de bodem moet er dus nalevering plaatsvinden vanuit de vaste fase. De fractie die deze direct beschikbare fractie aanvult is P dat reversibel is gebonden aan het oppervlak van bodemdeeltjes en wordt aangeduid met de term P-kwantiteit (Q). Deze nalevering uit zich in de buffering (weerstand bieden tegen verandering) van C. De mate van buffering varieert echter tussen de gronden (Figuur 2.4 links). Zo is bijvoorbeeld het bufferende vermogen (BP) van grond 2 groter dan van grond 3. Ondanks de initieel hogere C van grond 3 in vergelijking met grond 2, resulteert de lagere BP in een sterke daling van C gedurende de onttrekking van P waardoor de beschikbaarheid afneemt. Zoals we net zagen wordt er uiteindelijk minder P aan grond 3 onttrokken dan aan grond 2. De verandering in de hoeveelheid P die kan worden onttrokken gedurende het experiment vertoont een nauwe relatie met de verandering in C.



Figuur 2.4. De verandering in de cumulatieve P-onttrekking door middel 10 Fe-papertjes (links) en de daar bijhorende P-concentratie in de oplossing op het moment dat ieder papertje werd vervangen (rechts) voor vier gronden.

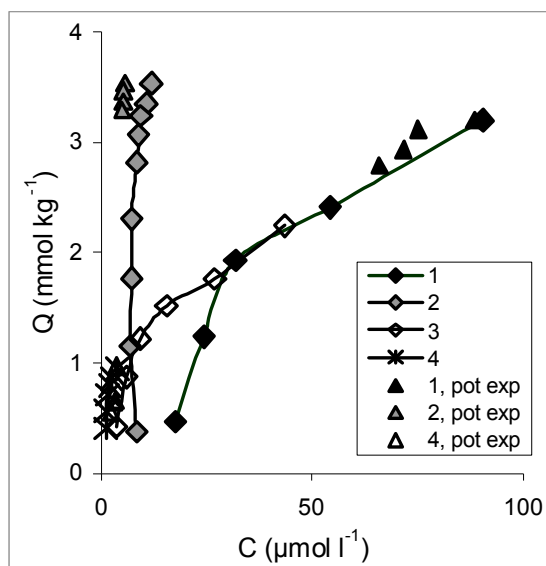
Desorptie-isothermen

De desorptie-experimenten met de Fe-papertjes laten zien dat de beschikbaarheid van P in de bodem niet statisch is maar dynamisch. Ze wordt bepaald door de initiële concentratie in de oplossing, BP en Q. Deze parameters kunnen worden geïntegreerd in een sorptie-isotherm welke de relatie weergeeft tussen Q en C tijdens het onttrekken (of toevoegen) van P aan een bodem. BP is een functie van zowel C als Q en is gerelateerd aan de helling van de desorptie-isotherm.⁷ In Figuur 2.5 staan de desorptie-isothermen weergegeven van dezelfde vier gronden als weergegeven Figuur 2.4. Potexperimenteren met dezelfde gronden en gras laten zien dat gedurende het onttrekken van P via gras vergelijkbare desorptie-isothermen worden verkregen als met de onttrekking via de Fe-papertjes (Figuur 2.5). De dynamische beschikbaarheid van P in een bodem is dus te beschrijven via de desorptie-isotherm.

Desorptie-isothermen versus routinematig bodemonderzoek

Een desorptie-isotherm is bodemspecifiek en het bepalen hiervan is arbeidsintensief en duur. Het voorspellen van de desorptie-isotherm is daarom gewenst. Als de aanname wordt gedaan dat de helling van de isotherm constant is en door de oorsprong gaat ($C=0$ bij $Q=0$) dan kan deze lineaire sorptie-isotherm worden bepaald door het meten van zowel een maat voor Q als een maat voor C aan het begin van een experiment of groeiseizoen. Deze Q_0 en C_0 kunnen worden benaderd met een extractiemethode. C_0 kan bijvoorbeeld worden benaderd door P-CaCl₂ en Q_0 door P-Olsen of PAL. Behalve dat Q_0 en C_0 een maat zijn voor respectievelijk de initiële hoeveelheid reversibel gebonden P en de concentratie in de bodemoplossing, komt de verhouding Q_0 over C_0 overeen met de helling van de isotherm en is daarmee een maat voor het vermogen van de grond om C te bufferen (BP). Dit wordt ondersteund door de experimenten met de Fe-papertjes waarin de relatieve afname in C een nauw verband laat zien met zowel de verhouding PAL over P-CaCl₂ als de verhouding P-Olsen over P-CaCl₂ ($r^2=0,89$ $n=17$).

Er zijn echter meerdere kanttekeningen te plaatsen bij de aanname van een lineaire sorptie-isotherm: (i) De desorptie-isotherm van P is vaak een kromme. Hoe dichter een grond bij zijn adsorptiemaximum komt hoe groter de fout bij de aanname van een rechte sorptie-isotherm. Het onttrekken van P leidt dan tot een sterkere daling in C dan op basis van een lineaire isotherm is te verwachten. De versimpeling



Figuur 2.5. De desorptie-isotherm van vier gronden, afgeleid door middel van 10 Fe-papertjes die achtereenvolgend in een grondsuspensie zijn geplaatst (Q_0 en C_0 zijn gelijk gesteld aan respectievelijk P-Olsen en P-CaCl₂). Voor grond 1, 2 en 4 is ook de desorptie-isotherm afgebeeld, afgeleid door middel van het onttrekken van P door Engels raai gras in een potexperiment.

heeft dus vooral effect op de nauwkeurigheid van de voorspelling bij gronden met een relatief lage BP, bijvoorbeeld voor de gronden 1 en 3 (Figuur 2). (ii) Er is geen eenduidige methode om Q_0 te bepalen. PAL en P-Olsen bijvoorbeeld extraheren een behoorlijk verschillende hoeveelheid P. (iii) Verder zal de aanname dat alleen het reversibel gebonden P de P-concentratie in de bodemoplossing buffert bij langdurige onttrekking niet opgaan. De P in dat deel is van de minerale en organische fase en/of P dat is gebonden aan (intern) oppervlak van bodemdeeltjes kan het reversibel gebonden P aanvullen en zo langer dan verwacht op basis van Q_0 een bepaalde, lage, P-concentratie in de bodemoplossing handhaven.

Bij het meten van één enkele fractie, zoals normaal is binnen het routinematig bodemonderzoek, kan geen gedetailleerde informatie worden verkregen over de potentiële P-beschikbaarheid als gevolg van het onttrekken of toevoegen van P aan een grond. Zoals hierboven is besproken is dit inzicht wel te verkrijgen met kennis van de grond specifieke desorptie-isotherm. Ondanks de kanttekeningen bij de aanname van een lineaire sorptie-isotherm betekent de informatie, afgeleid uit de combinatie van een maat voor Q_0 en C_0 , een sprong voorwaarts in de nauwkeurigheid waarmee de P-beschikbaarheid is te schatten. De combinatie van deze twee parameters geeft namelijk inzicht in de schaal van de isotherm en door middel van de verhouding Q over C ook in BP. De onnauwkeurigheid door de aanname van een lineaire isotherm, vooral voor gronden met een lage BP, is te corrigeren door regelmatig grondonderzoek uit te voeren.

3 Opzet en uitvoering

3.1 Algemeen

In 2007 en 2008 zijn op een groot aantal praktijkbedrijven proeven uitgevoerd op gras- en maïspercelen, waarbij de ondernemer meewerkte en dacht in de praktische uitvoering. De bedrijven zijn geselecteerd met behulp van de BLGG AgroXpertus database. Het betrof bedrijven met recent grondonderzoek van meerdere gras- of maïspercelen, waarbij de percelen op een bedrijf een duidelijk verschillende P-toestand hadden (PAL tussen 10 en 50). Er zijn bedrijven geselecteerd op zand, veen, zeeklei, rivierklei en löss. Daarbij is gelet op een zeker mate van ruimtelijke spreiding over Nederland en is getracht deze ook te verdelen over de werkgebieden van het betrokken mengvoerbedrijfsleven. In eerste instantie zijn er ruim 50 bedrijven geselecteerd met maïs. Deze bedrijven zijn schriftelijk gevraagd of men wilde deelnemen aan de proef met bij voorkeur minimaal 2 percelen per bedrijf. Op deze manier is het gelukt om minimaal 20 bedrijven te werven met twee percelen. Een groot deel van de percelen deed zowel in 2007 als 2008 mee. Een deel van de 2007 percelen viel in 2008 af door een gewijzigd gebruik. Hiervoor zijn nieuwe percelen gezocht.

Op de percelen van deelnemers zijn veelal kleine proeven aangelegd, met meerdere P-trappen. Op een aantal percelen zijn blokkenproeven aangelegd met N- en P-trappen. De basisbemesting was een gift dierlijke mest, zodat een P-gift van 0 in principe niet voorkwam. Dit is bewust zo gedaan omdat in de praktijk vrijwel altijd dierlijke mest wordt gegeven. De consequentie is dat het effect van P-bemesting minder scherp is en er vooral antwoord wordt gegeven of het zinvol is om naast een basisgift dierlijke mest bij te bemesten met fosfaatkunstmest. In de maïsproeven zijn de eindopbrengst en de gewassamenstelling bepaald. In 2007 is ook het N- en P-gehalte in het 10-20 cm stadium gemeten.

In 2007 is naast standaard grondonderzoek voor een groot deel van de percelen gedetailleerd grondonderzoek uitgevoerd (zie paragraaf 3.2). Dit is gedaan omdat het fundamentele onderzoek gebaseerd is op een beperkt aantal grondmonsters en het daarom van belang is dit sterk uit te breiden naar meer grondmonsters en meer grondsoorten, waaronder veen, löss en kalkrijke klei.

In 2008 is alleen op de nieuwe percelen standaard grondonderzoek uitgevoerd. Op een beperkt aantal heeft ook gedetailleerd grondonderzoek plaatsgevonden. Van elk bedrijf zijn mestmonsters genomen.

De resultaten van de veldmetingen, het reguliere grondonderzoek en detailonderzoek worden gebruikt om te komen tot een voorzet voor een aangepast bemestingsadvies.

De precieze uitvoering van de veldproeven en het grondonderzoek is in navolgende paragrafen weergegeven.

3.2 Uitvoering (detail) grondonderzoek

In 2007 zijn uit deelnemende gras- en maïspercelen 67 monsters geselecteerd op basis van het standaardonderzoek (met daarin PAL en PPAE). Deze zijn aangevuld met 39 monsters uit andere P-monitoringproeven. In 2008 zijn nog 15 monsters geselecteerd zodat een set van 121 monsters is verkregen. Deze monsters zijn in 2007 en 2008 geanalyseerd op het lab van de universiteit.

De P-desorptiecurve is bepaald door een 1:10 extractie in 0,01 M CaCl₂ uit te voeren met daarin een

ijzerpapiertje. Na respectievelijk 8, 24, 48, 96, 170, 218, 266, 338 en 384 uur werd het ijzerpapiertje vervangen. De hoeveelheid geadsorbeerd P werd gemeten en de concentratie P in de oplossing ten tijde van verwisselen (zie proefschrift Van Rotterdam-Los, 2010; hoofdstuk 2).

Daarnaast is PAL en P-oxalaat (plus Fe en Al) bepaald in separate extracties. Verder is een 2 uren extractie met 0,01 M CaCl₂ uitgevoerd. Hierin is de pH, het C-gehalte en het P-gehalte bepaald. Het P-gehalte werd bepaald via continuous flow analyse (kleurreactie) en via ICP. Via de kleurreactie wordt ortho-fosfaat bepaald, hetgeen overeenkomt met de PPAE analyse van BLGG AgroXpertus. Met de ICP wordt het totaalgehalte aan P in het extract bepaald. Het verschil tussen totaal P en ortho-P is organisch gebonden P in oplossing. Op basis van deze analyses kan een nadere onderbouwing worden gegeven van het vrijkomen van P in gronden en de systematiek zoals die door Van Rotterdam-Los is ontwikkeld, waarbij het desorptiegedrag beschreven kan worden op basis van PAL en P- CaCl₂.

3.3 *Maïsland*

3.3.1 Praktijkmonitoring

Uitvoering 2007

Op 36 maïspcelen zijn op diverse grondsoorten en in diverse regio's eenvoudige fosfaatdemo's aangelegd met overwegend 2 P-niveaus (wel of geen P in de rij). Op een aantal locaties was nog een derde P-trap aanwezig. Op 8 percelen is een mini-blokkenproef aangelegd (zie 3.3.2). De 44 percelen lagen op in totaal 22 praktijkbedrijven. Op de maïspcelen met de fosfaatdemo's werd de gangbare P-bemesting toegepast. De percelen kregen daartoe veelal een basisbemesting met ongeveer 45 m³ ha⁻¹ dierlijke mest (meest dunne rundermest). De samenstelling van de dierlijke mest is geanalyseerd. Daarnaast kregen deze percelen een bemesting met maximaal 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ in de vorm van een NP-rijenmeststof (met op het bedrijf gebruikelijke meststoffen, meest gebruikt zijn NP 20+20 of 26+14, 27+10 of 27+8). Eén strook op het perceel kreeg naast de dierlijke mest een rijenbemesting met enkel 30 kg N ha⁻¹. Er werd voor gezorgd dat het N-niveau in de rij voor de twee stroken ongeveer gelijk was. In juni zijn de velden bezichtigd en zijn monsters in het 10-20 cm stadium genomen. Kort voor het aanbreken van het oogstmoment is de opbrengst bepaald door een gedeelte van de strook handmatig te oogsten. Uit twee rijen is een stuk over lengte 2,5 meter verwijderd met behulp van een hiep. Deze maïs is per 2,5 meter gebundeld en vers gewogen met behulp van een Unster en een driepoot. Na wegen zijn beide bundels ter plekke gehakseld met een tuinhakselaar. Hiervan is een monster genomen voor bepaling van het drogestofgehalte en de samenstelling. In combinatie met opmeten van de strook en de rest van het perceel is de opbrengst vast te stellen.

Uitvoering 2008

Het onderzoek is uitgebreid tot 46 percelen. Grotendeels is het onderzoek voortgezet op dezelfde maïspcelen als in 2007 (4 bedrijven deden niet meer mee in 2008, bijvoorbeeld omdat het maïspceel is omgezet in grasland) aangevuld met percelen op 6 nieuwe bedrijven tot een aantal van 46. Op 6 percelen is een mini-blokkenproef aangelegd (zie 3.3.2). De 52 percelen lagen op in totaal 24 praktijkbedrijven. De uitvoering van de praktijkdemo's was vergelijkbaar met die van 2007 met dien verstande dat bij oogst in september per P-niveau uit 3 rijen over een lengte van 2,5 m maïs is verwijderd. Deze maïs is per 2,5 meter gebundeld en vers gewogen en aansluitend ter plekke gehakseld met een tuinhakselaar.

3.3.2 Blokkenproef

Opzet 2007

Op een 8-tal percelen van de 44 is een mini-blokkenproef aangelegd met 3 P- trappen (0, ± 15 en ± 30 kg P_2O_5 ha⁻¹ in de rij), 2 N-trappen (0 en ± 45 kg extra door breedwerpige bemesting met kunstmest) en 2 herhalingen. De basisbemesting was een (beperkte) basisbemesting met dierlijke mest. Dit geeft 12 veldjes per locatie (van 3 bij 10 m elk) en in totaal 96 veldjes. De N-bemesting in de rij is binnen een perceel zo goed mogelijk gelijk gehouden. Door aanleg op meerdere locaties kunnen meer algemeen geldende uitspraken worden gedaan over de NP-respons van maïs in relatie tot P in de bodem (intensiteit, capaciteit en nalevergedrag). Eind mei/begin juni zijn bladmonsters (10 cm stadium) genomen van deze locaties voor bepaling van het P-gehalte van het blad. Voor de aanleg en uitvoering van de werkzaamheden op het proefveldje is op een aantal locaties van een proefveldendienst (DLV en DUMA Fieldtrial Services). Eind september vond de eindogst plaats. Op de locaties van de proefvelddiensten is de maïs geoogst met een proefveldmachine. Op de andere locaties is de maïs geoogst door NMI op eenzelfde manier als in de monitoringproeven.

Opzet 2008

In 2008 zijn er 6 percelen geselecteerd voor een mini-blokkenproef met eenzelfde opzet als in 2007. Dit geeft 12 veldjes per locatie (van 3 bij 10 m elk) en in totaal 72 veldjes. De verdere opzet en uitvoering was vergelijkbaar met die van 2007.

3.4 *Data bewerking en statistisch analyse van de resultaten*

3.4.1 Algemeen

De meetdata uit de maïsproeven zijn bewerkt tot een databestand met grond-, bemestings-, gewasopbrengst en gewasqualiteitsgegevens. Deze gegevens zijn daarna gescreend op uitbijters cq “foutieve waarnemingen” (bijvoorbeeld typfouten). Daarbij is gebruik gemaakt van het statistisch pakket Genstat (Anonymus, 2003). Aansluitend zijn de data statistisch geanalyseerd met Genstat om zo relaties af te leiden tussen o.a. P-gehalte, gewasopbrengst etc. en bodem-, bemestings- (waaronder de P-bemesting) en gewasparameters, daarbij gebruik makend van die nieuwe inzichten over fosfaatbeschikbaarheid (Van Rotterdam-Los, 2010). De aldus te verkrijgen relaties dienen de basis te vormen voor een te ontwikkelen bemestingsadvies.

Bij de statistische uitwerking is ondersteuning gekregen van W. van de Berg, statisticus bij PPO.

3.4.2 REML variantie componenten analyse

Voor de statistische analyse van de data is in eerste instantie gebruik gemaakt van de REML procedure in het statistische software pakket GenStat 12.1 (REsidual Maximum Likelihood, Genstat 5 comitee, 1993). REML is een analyse techniek waarmee de behandelingseffecten en de variantiecomponenten in een lineair gemengd model geschat kunnen worden. Hiertoe wordt een model opgesteld met zowel vaste (fixed) factoren als willekeurige (random) factoren. Vaste factoren zijn factoren die direct en sterk van invloed zijn en die in verschillende niveaus aangelegd (P-bemestingsniveaus) of gemeten zijn (bijvoorbeeld PPAE en PAL). Willekeurige factoren zijn factoren die wel van invloed zijn, maar die niet van te voren beïnvloedbaar zijn óf die binnen het onderzoek onvoldoende gekwantificeerd (kunnen) worden. Voorbeelden van random factoren zijn proefjaar (vanwege weersinvloeden onvoorspelbaar), percelen op verschillende locaties die onderling verschillen in meerdere bodemeigenschappen, vochtvoorziening, bodemstructuur, raseigenschappen, zaaidatum of oogsttijdstip, etc. Binnen de REML-procedure worden deze factoren als een of enkele verzamelterm(en) meegewogen als Random factor.

Hiermee wordt een deel van de ruis (variatie) in de data verklaard zonder dat het model aan kracht inboet, wat wel het geval zou zijn als de random factoren allemaal afzonderlijk meegenomen zouden moeten worden (verlies aan vrijheidsgraden).

Nagegaan is welke bodem- en bemestingsfactoren van invloed zijn op de opbrengst van maïs. In de maïsdataset is daarbij gekeken naar het effect van:

1. bodem- en bemestingsparameters op het P- en N-gehalte van jonge maïsplantjes (10-20 cm stadium);
2. N- en P- bemesting in de 14 detailproeven op opbrengst en gehalten; en
3. bodem- en bemestingsparameters op de eindopbrengst en minerale samenstelling.

Bij 3 zijn daartoe naast de PPAE, PAL en P-bemesting ook diverse andere bodemparameters meegenomen (Tabel 3.1). Ook interacties tussen parameters zijn meegenomen (voor zover relevant). De continue parameters hebben vaak een groot bereik (van laag naar hoog). De verdeling is dan vaak niet normaal. Daarom is veelal een log-transformatie toegepast voor het verkrijgen van een normale verdeling. In de tekst is de natuurlijke logaritme weergegeven door "ln" voorafgaand aan de parameter.

Tabel 3.1. Parameters die zijn meegenomen in de statistische analyse.

Modelparameter	Toelichting	Eenheid
• NLV	stikstofleverend vermogen	(kg N ha ⁻¹)
• PPAE	fosfaat intensiteit	(mg P kg ⁻¹ grond)
• PAL	fosfaat capaciteit	(mg P ₂ O ₅ /100 gram grond)
• OS	= OS-gehalte	(%)
• pH		
• K-PAE	kalium beschikbaarheid	(mg K kg ⁻¹ grond)
• Mg-PAE	magnesium beschikbaarheid	(mg Mg kg ⁻¹ grond)
• Pkm	P-kunstmest rij	(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
• Pdm	P-dierlijke mest	(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
• Ndm	N-dierlijke mest	(kg N ha ⁻¹)
• Nkm	N-kunstmest rij	(kgN ha ⁻¹)
• Kkm	K-kunstmest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Kkm	K-dierlijke mest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Mgkm	K-kunstmest	(kg MgO ha ⁻¹)

Als Random factoren zijn mee opgenomen bij:

1. Locperceel, het factorproduct van de factoren klantnummer (identificatie van de locatie) en perceel (alleen in 2007 metingen uitgevoerd aan jonge plantjes);
2. KlJr/perceel/herhaling, waarbij KlJr het factorproduct is van de factoren Klantnummer en Jaar; en
3. KlJr, het factorproduct van de factoren Klantnummer en Jaar.

3.4.3 Niet lineaire regressie bij de overall analyse

Er is een groot verschil in opbrengstniveau tussen locaties (8-22 ton ds ha⁻¹). Met REML kan hiervoor gecorrigeerd worden. Tegelijkertijd is bekend dat de respons van maïs op bijvoorbeeld N- of P-bemesting niet lineair is (de meeropbrengst neemt af, naarmate de gift toeneemt).

Variantencomponenten analyse met REML is dan minder geschikt om de opbrengst te modelleren (dit leidt ook tot veel significante modeltermen). Daarom is gebruik gemaakt van niet-lineaire multiple

regressie voor de analyse van de drogestofopbrengsten van 2007 en 2008, waarbij locatie-effecten werden opgenomen in het model (het verschil in productiepotentieel tussen verschillende locaties als gevolg van bijvoorbeeld verschillen in de vochtvoorziening, de gebruikte maïsrassen, de bodemstructuur etc.). Bij de niet-lineaire multiple regressie is een dubbel exponentieel model gebruikt:

$$DS_{ACT_locatie_y} = DS_{POT_Locatie_y} \times (1 - e^F) \quad (1)$$

Met:

$DS_{POT_Locatie_y}$ = potentiële productiecapaciteit, voor alle combinaties van locaties en jaar

$DS_{ACT_Locatie_y}$ = actuele productiecapaciteit, voor alle combinaties van locaties en jaar

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en kunstmestgift
 $= (-e^a \times A - e^b \times B - \dots - e^i \times I)$

Via een iteratieve statistische procedure worden de lineaire parameters, de potentiële productiecapaciteiten per locatie en jaar, en de niet lineaire parameters in $(1 - e^F)$ zodanig geschat, dat het model, het product van DS_{pot} en de factor in $(1 - e^F)$ zo goed mogelijk past bij DS_{act} per locatie en jaar. De opbrengstdervingsfactor F wordt bepaald door niveau van de bodem- en bemestingsparameters. Bij hoge waarden van de bodem- en bemestingsparameters wordt de dervingsfactor F in vergelijking 1 sterk negatief, waardoor $(1 - e^F)$ de waarde 1 benaderd. De actuele productie benadert dan de potentiële productie.

De coëfficiënten van de op te nemen modelparameters A, B...I in F worden als exponent geschat zodat alle richtingscoëfficiënten positief zijn, terwijl coëfficiënten a, b..i negatief zijn.

De modelresultaten worden naast $R^2_{adjusted}$ vooral beoordeeld op basis van het Akaike Informatie Criterium (AIC), een maat voor de relatieve goodness of fit van een statistisch model. Gegeven een dataset kunnen zo meerdere kandidaatmodellen worden gerangschikt op basis van hun AIC-waarden, waarbij AIC is gedefinieerd als:

$$AIC = -2\ln L + 2K = deviance + 2K$$

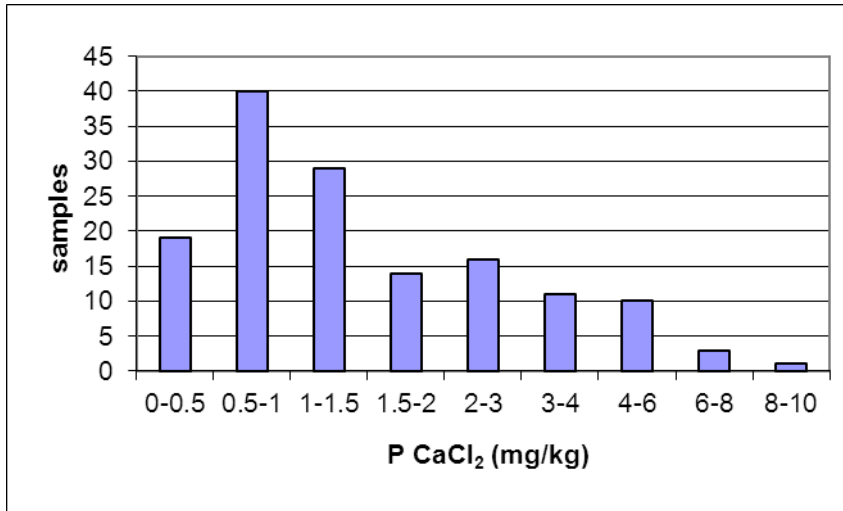
Hierbij is $\ln L$ de loglikelihood en K het aantal parameters in het model. Van een groep van kandidaatmodellen voor de gegevensset is het model met de minimale AIC-waarde het beste model. De AIC levert niet alleen voordelen op met betrekking tot de goodness of fit (deviance), maar bevat ook een boete die een stijgende functie is van het aantal geschatte parameters (2K). Deze boete ontmoedigt overfitting (toename van het aantal vrije parameters in het model verbetert de fit, ongeacht het aantal vrije parameters in het data genererend proces).

Bij de berekening van AIC worden bij Genstat termen buiten beschouwing gelaten die alleen van de data afhangen en niet van het model. De verschillen in AIC zijn daarom informatief, niet de absolute niveaus.

4 Resultaten detailgrondonderzoek

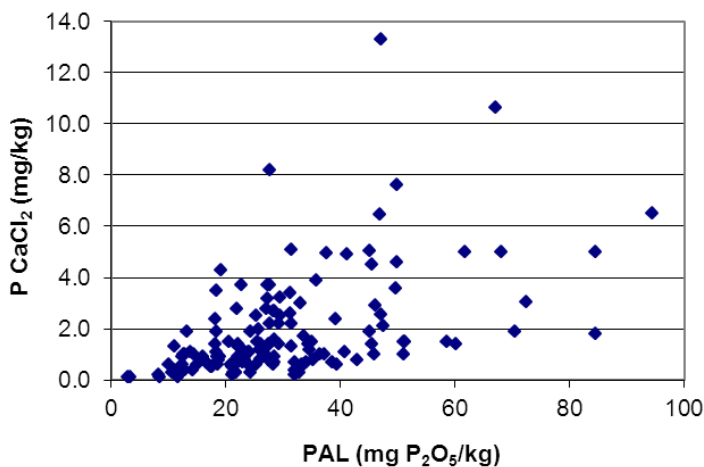
4.1 Relatie PAL en P-CaCl₂

In Figuur 4.1 is een histogram van de fosfaat gehalten van de CaCl₂ extractie van de 121 gronden weergegeven. De P-intensiteit verschilt sterk voor de gronden en varieert van 0-0,5 mg kg⁻¹ tot 8-10 mg kg⁻¹. De meeste gronden (60%) zitten in het concentratie gebied van 0,5-1,5 mg kg⁻¹.



Figuur 4.1. Histogram van het aantal monsters bij een bepaalde P-CaCl₂ gehalte.

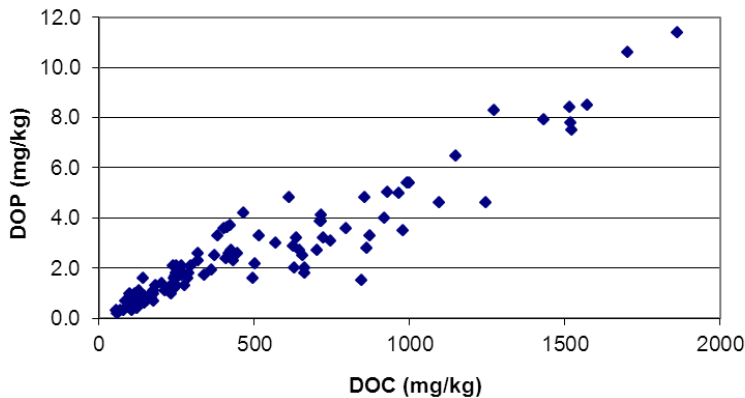
De gronden verschillen ook sterk in PAL gehalten en variëren van 3-180 mg kg⁻¹ P₂O₅. Er is echter nagenoeg geen relatie tussen de gronden ten aanzien van PAL en P-CaCl₂. In Figuur 4.2 is P-CaCl₂ weergegeven als functie van PAL. Duidelijk is te zien dat er gronden zijn met een lage directe P beschikbaarheid maar ook met een hoge directe P-beschikbaarheid maar dat dit niet direct gerelateerd is aan de P-capaciteit (PAL). Oftewel er zijn gronden bij eenzelfde P-capaciteit die een hoge en een lage directe P-beschikbaarheid hebben.



Figuur 4.2. De direct beschikbare P (P-CaCl₂) als functie van de P-capaciteit (PAL mg/100g P₂O₅).

4.2 Hoeveelheid geëxtraheerde organische P (DOP)

In Figuur 4.1 en Figuur 4.2 is P-CaCl₂ weergegeven als ortho-P aangezien dit de direct beschikbare P is voor de plant. Echter ook de hoeveel geëxtraheerde organische P (DOP) is berekend (zie Figuur 4.3) door van de totale concentratie P in het CaCl₂ extract de ortho-P concentratie af te trekken. De hoeveelheid DOP is sterk gerelateerd aan de hoeveelheid opgeloste organische (kool)stof (DOC). Vooral de DOP is de belangrijke fractie in relatie tot P-uitspoeling vanwege een geringe vastlegging in de bodem. In het onderzoek is aan deze fractie geen verder onderzoek verricht.

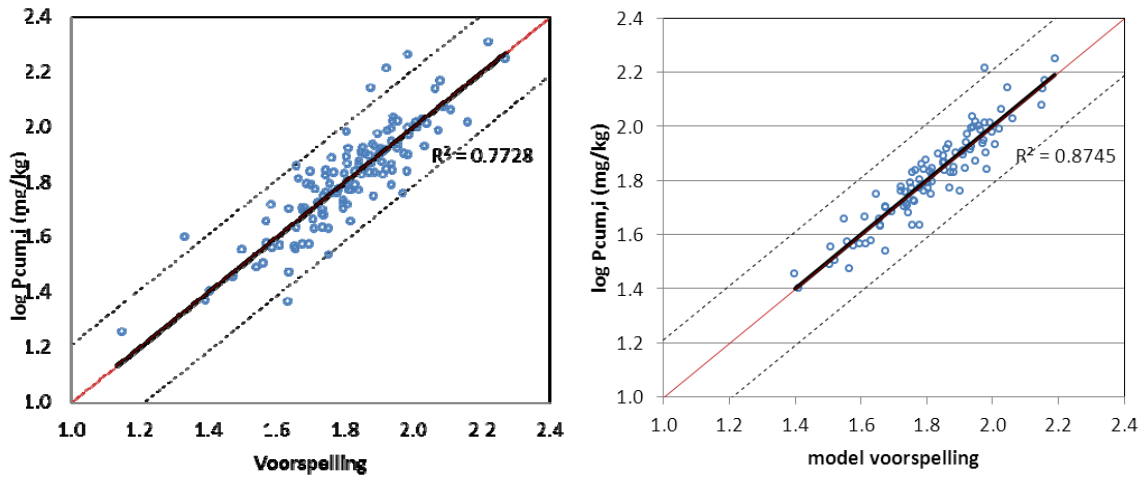


Figuur 4.3. De opgeloste hoeveelheid geëxtraheerde P (DOP) als functie van de hoeveelheid geëxtraheerde organische (kool)stof (DOC).

De rol van DOP in de opname van P voor planten is niet bestudeerd en ligt buiten het bereik van dit onderzoek. Aanvullend onderzoek is noodzakelijk om meer inzicht in de rol van DOP in relatie tot P opname door planten te bestuderen.

4.3 Relatie desorptie met PAL en P-CaCl₂

De hoeveelheid P die gedesorbeerd kan worden in 384 uur met de ijzerpapiermethode (P_{cum,i}) varieert van 6 tot 205 mg kg⁻¹ P. De ijzerpapiermethode is echter arbeidsintensief en duur. Het voorspellen van de desorptie-isotherm is daarom gewenst. Als de aanname wordt gedaan dat de helling van de isotherm constant is en door de oorsprong gaat (C=0 bij Q=0) dan kan deze lineaire sorptie-isotherm worden bepaald door het meten van zowel een maat voor Q als een maat voor C aan het begin van een experiment of groeiseizoen. Deze Q₀ en C₀ kunnen worden benaderd met een extractiemethode. C₀ kan bijvoorbeeld worden benaderd door P-CaCl₂ en Q₀ door P-Olsen of PAL. Behalve dat Q₀ en C₀ een maat zijn voor respectievelijk de initiële hoeveelheid reversibel gebonden P en de concentratie in de bodemoplossing, komt de verhouding Q₀ over C₀ overeen met de helling van de isotherm en is daarmee een maat voor het vermogen van de grond om C te bufferen (BP). De gegevens van alle gronden zijn dan ook gebruikt om te kijken of de desorptie zoals gemeten met de ijzerpapiermethode voorspeld kan worden met behulp van routinematige analyses. De hoeveelheid P die gedesorbeerd wordt van de grond (P_{cum,i}) kan goed voorspeld worden met log BP (PAL/P-CaCl₂), log P-CaCl₂ (Figuur 4.4 ($r^2=0,77$)). Door nu tevens de log organische stof mee te nemen wordt een nog betere correlatie gevonden ($r^2=0,87$). Door alleen P-CaCl₂ of alleen PAL te gebruiken worden veel minder goede relaties gevonden (resp. $r^2=0,62$ en $0,61$).



Figuur 4.4. De gemeten $P_{cum,i}$ als functie van log BP (PAL/P-CaCl₂), log P-CaCl₂ (a) en als functie van log BP (PAL/P-CaCl₂), log P-CaCl₂ en log organische stof (b).

4.4 Conclusie

De resultaten in het onderzoek van Van Rotterdam-Los (2010) voor 20 gronden worden dus bevestigd bij het gebruik van een veel grotere dataset. Het meenemen van de buffercapaciteit (BP) laat een veel betere voorspelling zien dan indien deze wordt weggelaten. Door tevens organische stof mee te nemen wordt een nog iets betere relatie verkregen.

5 Resultaten maïsproeven

5.1 Overzicht grondanalyse en bemesting in de maïsproeven

De 96 percelen hebben een ruime bandbreedte in bodemparameters (Tabel 5.1). Vanuit oogpunt van fosfaatbeschikbaarheid zat het grootste deel van de monsters in het landbouwkundige relevante traject. De pH was op een enkel perceel te laag. De kalivoorziening varieerde vrij sterk. Gemiddeld is er 65 kg P₂O₅ ha⁻¹ gegeven via de dierlijke mest en 13 kg via kunstmest. De kaligift bedroeg gemiddeld ongeveer 250 kg per ha met duidelijke verschillen tussen locaties. De stikstofbemesting was relatief hoog met gemiddelde bijna 230 kg N per ha (het bemestingsadvies gaat uit van 210 min Nmin).

Tabel 5.1. Overzicht van bodem- en bemestingskenmerken op de maïsproefpercelen van 2007 en 2008.

Parameter	n	ontbrekende						
		waarden	gemiddelde	mediaan	minimum	maximum	25 perc	75perc
PPAE (mg P kg ⁻¹)	96	0	1,71	1,17	0,2	10,2	0,65	2,07
PAL (mg P ₂ O ₅ /100g)	96	0	36,4	32,5	8	104	21	47
pH	94	2	5,32	5,1	4	7,5	4,8	5,7
K (mg K kg ⁻¹)	91	5	73	68	28	165	50	86
N_Tot (mg N kg ⁻¹)	96	0	2664	1848	513	11999	1419	3288
KZK (%)	33	63	1,43	0,2	0,1	8,1	0,2	0,6
Lutum (%)	47	49	25,6	26	7	45	14	35
Pdm (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	96	0	65,0	62,6	0	173	48	78,3
Pkm (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	96	0	12,6	15	2,5	30	7	16
Nkmrij (kg N ha ⁻¹)	96	0	33,9	35,3	5,9	60	29,2	39
Ndm (kg N ha ⁻¹)	96	0	181	177	0	408	154	212
Nkmbreed (kg N ha ⁻¹)	96	0	14	0	0	206	0	20
Ngift (kg N ha ⁻¹)	96	0	229	225	74	461	190	252
Ktot (kg N ha ⁻¹)	96	0	254	248	54	490	217	285

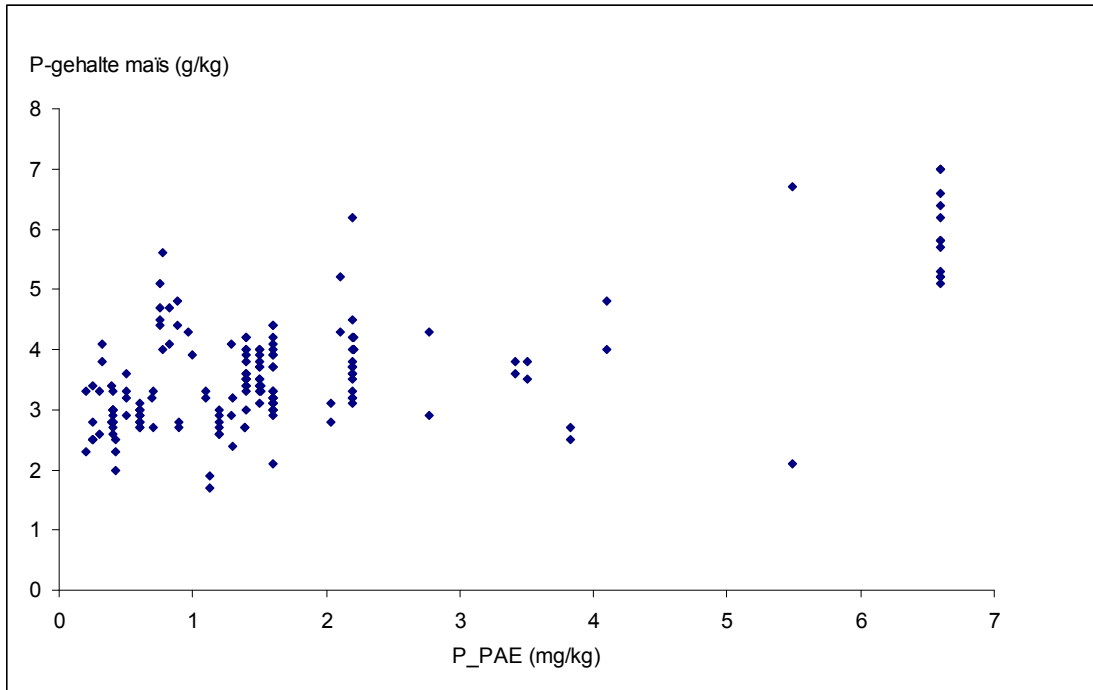
De meeste proeven zijn op zandgrond (47) en klei (32) en een beperkt aantal op venige gronden (13) en löss (4). De PAL en PPAE zijn per grondsoort redelijk vergelijkbaar met dien verstande dat de zeeklei en rivierklei duidelijk hoger fosfaatcijfers hadden dan de andere gronden.

Tabel 5.2. De frequentieverdeling per grondsoort met de minimum, maximum en gemiddelde PPAE- en PAL-waarden van de 96 percelen.

Grondsoort	n	PPAE			PAL		
		gemiddelde	minimum	maximum	gemiddelde	minimum	maximum
Dezand	47	1,64	0,20	10,2	33,4	8	104
Kleilig veen	5	1,27	0,50	3,41	34,6	16	48
Löss	4	1,10	0,20	3,83	29,3	8	68
Maasklei	5	1,30	0,40	2,20	33,2	13	49
Rivierklei	16	2,67	0,85	5,49	42,6	22	61
Veen	8	0,473	0,20	1,00	22,9	8	39
Zeeklei	11	2,63	0,90	6,60	51,8	38	73

5.2 Het P-gehalte in het 10-20cm stadium

In juni 2007 zijn plantjes geoogst in het 10 cm stadium (de mediaan bedroeg 12 cm, met een minimum van 6 en een maximum van 20 cm). Gemiddeld is een P-gehalte gemeten van $3,6 \text{ g P kg}^{-1}$ ds. Het P-gehalte (174 waarnemingen) varieert van minder dan 2 g P kg^{-1} tot bijna 7 g P kg^{-1} (Figuur 5.1). In de Amerikaanse bemestingsadviezen (voorbeeld <http://www.ces.purdue.edu/extmedia/nch/nch-46.html>) wordt veelal een gehalte van 4 tot 6 gram als voldoende gezien voor dit gewasstadium. Ook wordt wel een gehalte van 3 tot 5 gram genoemd (www.eplantscience.com). Een kwart van de metingen zit beneden de 3 g P kg^{-1} .



Figuur 5.1. Het P-gehalte van snijmaïs in het 10 cm stadium uitgezet tegen PPAAE(juni 2007)..

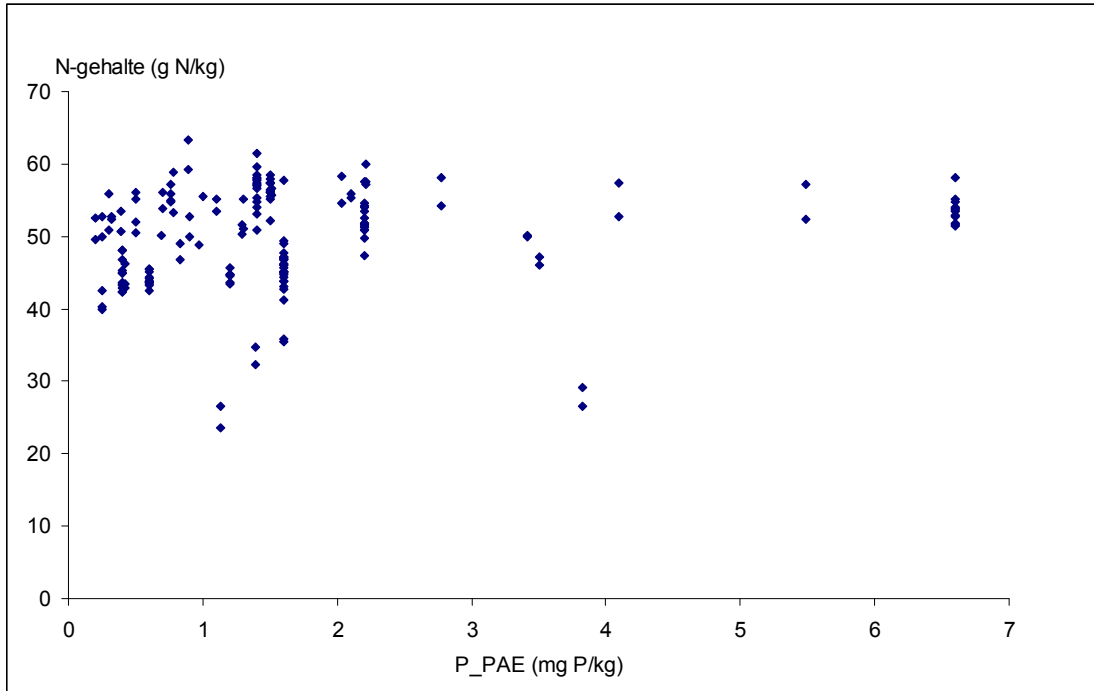
Er is een positief verband tussen de gemeten PPAAE in de bodem en het P-gehalte in de jonge maïs (Figuur 5.1). Statistische analyse met REML en als random model (Locatie*perceel) geeft aan dat het P-gehalte significant wordt beïnvloed door $\log(\text{PPAAE})$ ($p=0,004$) en de P-rijenbemesting ($p=0,006$). De P-gift met volvelds toegediende dierlijke mest, de stikstofgift in de rij of in totaal werkzame stikstof hebben geen significant effect op het P-gehalte. Ook andere parameters zijn niet significant. Verder blijkt dat er een significant positief verband is tussen het P-gehalte in het 10-20 cm stadium en het P-gehalte bij de eindoogst ($p<0,001$). Het P-gehalte in het 10-20 cm stadium vertoont echter geen verband met de eindopbrengst.

Het gemiddeld gemeten N-gehalte is $50,1 \text{ g N kg}^{-1}$ ds. Het N-gehalte (180 waarnemingen) varieert daarbij van minder dan 23 g N kg^{-1} tot bijna 65 g N kg^{-1} (Figuur 5.2). Volgens de literatuur is er bij een gehalte tussen 40 en 50 g N kg^{-1} ds voldoende N aanwezig. Op basis hiervan is in minder dan 10 procent van de situaties de N-voorziening aan de krappe kant.

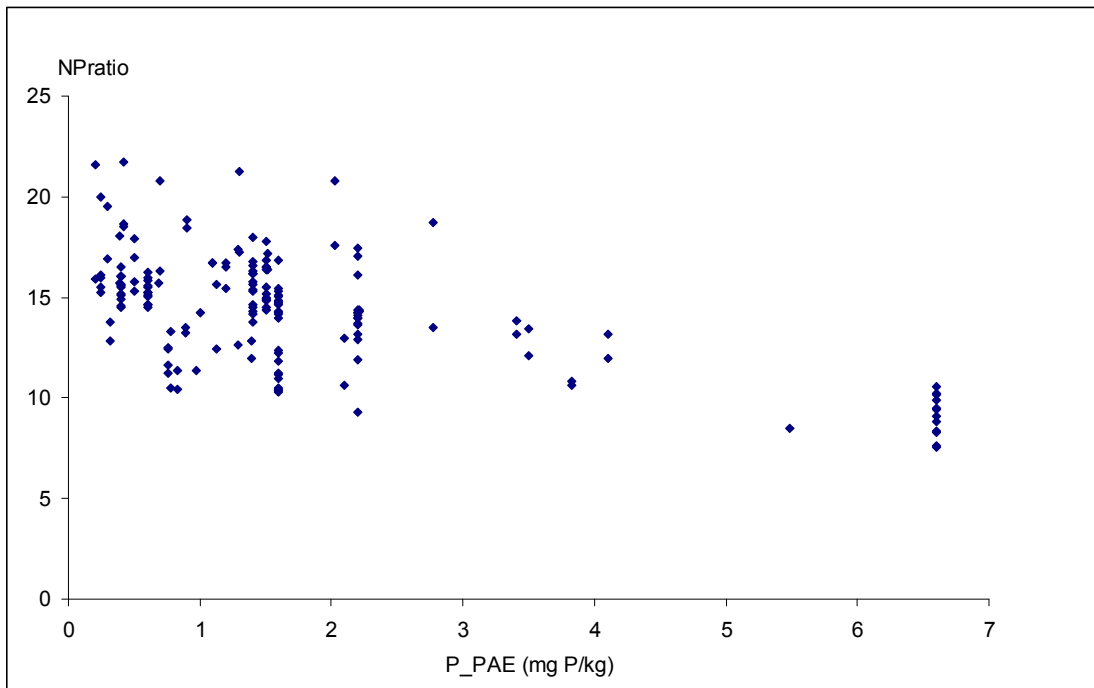
Het N-gehalte toont geen verband met PPAAE (Figuur 5.2). Statistische analyse met REML en als random model (Locatie*perceel) geeft aan dat het N-gehalte alleen significant wordt beïnvloed door de werkzame stikstofgift ($p=0,018$). De P-gift in de rij heeft geen significant effect op het N-gehalte. Ook andere parameters zijn niet significant.

De gemiddeld gemeten NP-ratio bedraagt 14,57. De ratio (174 waarnemingen) varieert daarbij van 8 tot 22. Volgens de literatuur is een ratio tussen 8 en 12 voldoende. De NP-ratio is negatief gecorreleerd met de PPAE (Figuur 5.3) wat ook verwacht mocht worden op basis van Figuur 5.1 en Figuur 5.2.

Statistische analyse met REML en als random model (Locatie*perceel) geeft aan dat de NP-ratio significant negatief wordt beïnvloed door $\log(\text{PPAE})$ ($p=0,003$) en de P-kunstmestgift ($p=0,002$). De werkzame N-gift in de rij en andere parameters hebben geen significant effect op de NP-ratio.



Figuur 5.2. Het N-gehalte van snijmaïs in het 10 cm stadium uitgezet tegen PPAE (juni 2007).



Figuur 5.3. De NP-ratio van snijmaïs in het 10 cm stadium uitgezet tegen PPAE (juni 2007).

5.3 Het effect van fosfaat- en stikstofbemesting in de 14 detailproeven

In 2007 en 2008 zijn op respectievelijk 8 en 6 percelen detailproeven aangelegd. De gerealiseerde bemesting is in Tabel 5.3 weergegeven. De gerealiseerde N-rijenbemesting is per P-trap ongeveer gelijk. De gerealiseerde P-bemesting per P-trap bedroeg respectievelijk 0, 14,2 en 39,3 kg P₂O₅ ha⁻¹. De stikstofbemesting bedroeg respectievelijk ongeveer 149 kg en 195 kg N ha⁻¹ voor de lage N-trap (0) en hoge P-trap (1). De K-bemesting bedroeg 227 kg K₂O ha⁻¹.

Tabel 5.3. De gerealiseerde N- en P-bemesting per N- en P-trap.

	Ptrap 0	Ptrap 1	Ptrap 2
N-bemesting rij (kg ha ⁻¹)	41,3	39,6	39,3
P-bemesting rij (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	0	14,2	39,3
N-bemesting totaal (kg ha ⁻¹)			
N-trap 0	151	148	148
N-trap 1	197	194	194

Het effect van de N- en P-bemesting op opbrengst en samenstelling is geanalyseerd met REML (Genstat, 1983) met als modeltermen Ntrap*Ptrap en als random termen KIj/ perceel/herhaling, waarbij KIj het factorproduct is van de factoren Klantnummer en Jaar.

De analyse laat zien dat een 45 kg hogere N-gift een meeropbrengst geeft van 875 kg ds per ha (Tabel 5.4). Een hogere P-rijenbemesting geeft wel een hogere opbrengst maar het effect is niet significant. Een hogere N-gift geeft ook een significant hoger ruweiwitgehalte (Tabel 5.5), N-opbrengst (Tabel 5.7) en P-opbrengst (Tabel 5.8). Een hogere P-rijenbemesting leidt daarentegen niet tot een significant hoger ruweiwitgehalte (Tabel 5.5), P-gehalte (Tabel 5.6), N-opbrengst (Tabel 5.7) of P-opbrengst (Tabel 5.8). De interactie Ntrap keer Ptrap was niet significant, zowel niet voor de drogestofopbrengst, de N- en P-opbrengst als het N- en P-gehalte.

Tabel 5.4. Het effect van N- en P-niveau op de drogestofopbrengst (kg ds ha⁻¹) in de miniproeven.

Ntrap*	0 (149 kg N ha ⁻¹)	1 (195 kg N ha ⁻¹)	
	14305a	15180b	
Ptrap	0 (0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	1 (14,2 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	2 (39,3 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
	14516a	14750a	14962a
Ntrap\Ptrap	0	1	2
0	14242a	14130a	14542a
1	14790ab	15369b	15381b

* p < 0,001

Tabel 5.5. Het effect van N- en P-niveau op de ruweiwitgehalte (g kg⁻¹ ds) in de miniproeven.

Ntrap*	0 (149 kg N ha ⁻¹)	1 (195 kg N ha ⁻¹)	
	69,74a	72,81b	
Ptrap	0 (0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	1 (14,2 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	2 (39,3 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
	70,8a	71,7a	71,4a
Ntrap\Ptrap	0	1	2
0	68,1a	70,8abc	70,4ab
1	73,4c	72,7bc	72,3bc

* p < 0,001

Tabel 5.6. Het effect van N- en P-niveau op het P-gehalte (g kg⁻¹ ds) in de miniproeven.

Ntrap	0 (149 kg N ha ⁻¹)	1 (195 kg N ha ⁻¹)	
	2,16a	2,14a	
Ptrap	0 (0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	1 (14,2 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	2 (39,3 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
	2,16a	2,11a	2,18a
Ntrap\Ptrap	0	1	2
0	2,13a	2,13a	2,22b
1	2,18ab	2,08a	2,14ab

Tabel 5.7. Het effect van N- en P-niveau op de N-opbrengst (kg N ha⁻¹) in de miniproeven.

Ntrap*	0 (149 kg N ha ⁻¹)	1 (195 kg N ha ⁻¹)	
	157a	175b	
Ptrap	0 (0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	1 (14,2 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	2 (39,3 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
	162a	167a	168a
Ntrap\Ptrap	0	1	2
0	152a	157ab	160abc
1	171cd	177d	177d

* p < 0,001

Tabel 5.8. Het effect van N- en P-niveau op de P-opbrengst (kg P ha⁻¹) in de miniproeven.

Ntrap*	0 (149 kg N ha ⁻¹)	1 (195 kg N ha ⁻¹)	
	30,4a	32,2b	
Ptrap	0 (0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	1 (14,2 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	2 (39,3 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
	31,1a	30,7a	32,2a
Ntrap\Ptrap	0	1	2
0	29,8ab	29,7a	31,8b
1	32,3bc	31,8bc	32,7bc

* p < 0,001

5.4 Het effect van fosfaatbemesting over alle demo- en detailproeven

5.4.1 Het effect van P-rijenbemesting op de opbrengst

In Tabel 5.9 is het effect van P-rijenbemesting op de ds-opbrengst en de P-opbrengst weergegeven.

Gemiddeld over alle percelen leidt P-rijenbemesting tot een meeropbrengst van 990 kg ds ha⁻¹ in 2007

Tabel 5.9. Overzicht van het effect van P-rijenbemesting op de opbrengst, de P-opname en de gemiddeld gemeten PAL en PPAE en de gemiddeld gerealiseerde N-rijenbemesting en werkzame N-gifft.

Jaar	P rij gem. kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	P mest gem kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Opbrengst ton ds ha ⁻¹	P- opname kg ha ⁻¹	PAL (mg P ₂ O ₅ / 100g)	PPAE mg P kg ⁻¹	Nrij kg N ha ⁻¹	N werkzaam kg N ha ⁻¹
2007	0	61,1	13,67	28,7	41,6	1,84	38,6	159
	24,5	61,1	14,66	30,8			35,7	157
2008	0	58,1	14,11	28,4	34,4	1,32	36,5	178
	24,3	58,1	14,54	29			36	177

en 430 kg ds ha⁻¹ in 2008. Bij P-rijenbemesting is gemiddeld ruim 24 kg P₂O₅ ha⁻¹ gegeven in beide jaren. Het is goed gelukt om de N-bemesting in de rij bij wel en geen P-rijenbemesting vergelijkbaar te houden (dat geldt ook voor de werkzame Ngift). Dit betekent dat de opbrengsteffecten in Tabel 5.9 vooral aan P zijn toe te schrijven. Het effect van P-rijenbemesting is in 2008 minder groot dan in 2007 hoewel de bodemkengetallen zelfs wat lager zijn en er dus een groter respons op bemesting verwacht mag worden. Mogelijk dat het weer hierop van invloed is geweest (Tabel 5.10). In 2007 was het tot 6 mei zeer droog. Daarna viel beduidend meer neerslag dan normaal in de maanden mei, juni en juli. De vergelijkbare periode in 2008 was daarentegen een stuk droger. Onder droge omstandigheden is P minder goed beschikbaar waardoor de respons op P-bemesting waarschijnlijk geringer is. Dit zou de reden kunnen zijn voor de lagere meeropbrengst bij P-rijenbemesting in 2008 ten opzichte van 2007. Gemiddeld over alle percelen en behandelingen bedroeg de opbrengst zo'n 14,3 ton ds per ha.

Tabel 5.10. De gemiddelde temperatuur en neerslag in voorjaar en zomer 2007 en 2008 te De Bilt.

Maand	2007		2008	
	T gemiddeld in °C	mm neerslag	T gemiddeld in °C	mm neerslag
april	13,1	0,3	8,9	33
mei	14,1	138	15,7	38
juni	17,5	90	16,5	49
juli	17,0	161	18,1	111
aug	17,1	42	17,4	100

5.4.2 Voorbeelden van het effect van PPAE en PAL op de opbrengst

Gesteld is dat op basis van twee P-kengetallen de P-beschikbaarheid in de bodem beter is te schatten. Ter illustratie zijn in Tabel 5.11 de resultaten op twee locaties gegeven. Bij bedrijf Hoefmans is de PAL vrijwel gelijk op beide percelen maar is de PPAE op perceel 10 duidelijk hoger. Bij perceel 10 is er dan ook een veel geringer effect van P-bemesting op de opbrengst dan bij perceel 170. Op bedrijf Erp is eveneens de PAL vrijwel gelijk op beide percelen, maar is de PPAE op perceel 3 duidelijk hoger. Bij perceel 3 is er dan ook een veel geringer effect van P-bemesting op de opbrengst dan bij perceel 6. De percelen bij Hoefmans laten verder zien dat de laagste P-beschikbaarheid niet automatisch de laagste opbrengst betekent.

Tabel 5.11. Het effect van PPAE, PAL en P-bemesting op de opbrengst.

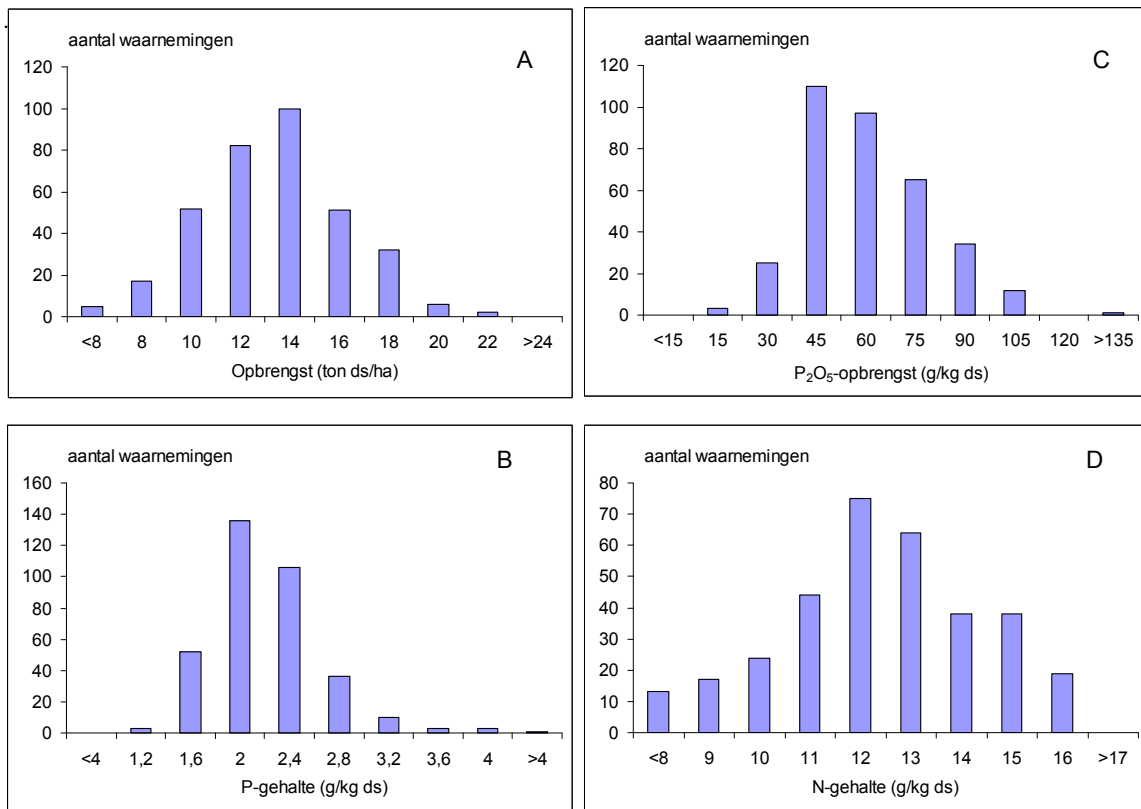
Perceel	PPAE	PAL	Pmest kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Opbrengst, ton ds ha ⁻¹		
				Prij=0 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Prij ≈9 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Prij ≈36 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
Hoefmans 170	1,13	46	33	13,5	15,2	
Hoefmans 10	1,6	41	29	11,2	11,2	12,8
Erp perceel 6	1,51	32	48	9,6	12,6	
Erp perceel 3	2,03	29	48	11,8	13,1	

5.4.3 Variatie in opbrengst en samenstelling

De variatie in maïsoopbrengst tussen locaties is zeer groot. De opbrengst varieert van 8 tot 22 ton ds ha⁻¹ (Figuur 5.4 A). Deze verschillen zijn naast verschillen in P-beschikbaarheid, P-bemesting en N-bemesting te wijten aan standplaatsverschillen en managementeffecten. Zo zijn er percelen bij die zeer

goed vochthoudend zijn, terwijl andere droogtegevoelig zijn. Op sommige percelen is de maïs vroeg gezaaid, op andere pas half mei.

Ook het P-gehalte varieert sterk van minder dan 1,6 tot meer dan 3,6 g P kg⁻¹ ds (Figuur 5.4 B). Het P-gehalte blijkt daarbij niet afhankelijk te zijn van het opbrengstniveau zo blijkt uit analyse (niet getoond). Wel is er een positief verband met de PPAE (maar niet met de PAL) en de N-gift. Gemiddeld bedraagt het P-gehalte 2,064 g P kg⁻¹ ds (Figuur 5.4 C) en bedraagt de mediaan waarde 2,0 g P kg⁻¹ ds. De fosfaatopbrengst varieert eveneens sterk, van minder dan 30 tot meer dan 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Gemiddeld bedraagt de P₂O₅-opname 67,4 kg ha⁻¹ en bedraagt de mediaan waarde 63,6 kg P₂O₅ ha⁻¹. Het N-gehalte varieert van 8 tot 16 g kg⁻¹ ds (Figuur 5.4 D). Het N-gehalte heeft geen verband met het niveau van de N-bemesting, maar wel met de fosfaattoestand. Gemiddeld bedraagt het N-gehalte 11,93 g kg⁻¹ ds en bedraagt de mediaan waarde 12,0 g kg⁻¹ ds.



Figuur 5.4. De frequentieverdeling van de ds-opbrengst, de P₂O₅-opbrengst, het P-gehalte, het N-gehalte.

Doel is om op basis van de proefgegevens een nieuw bemestingsadvies voor fosfaat te ontwikkelen. Door de grote variatie in opbrengstniveau kan niet zonder meer een relatie tussen de drogestofopbrengst en bodem- en bemestingskengetallen worden afgeleid. Er is een weging voor perceelsverschillen nodig (zie navolgende paragraaf).

5.4.4 Statistische analyse van het effect van bodem en bemestingsparameters op de opbrengst

De gehele dataset is in eerste instantie ter oriëntatie geanalyseerd met variantiecomponenten analyse. Dit bleek een model met veel parameters op te leveren (niet getoond), waarbij opviel dat de P uit volvelds toegediende dierlijke mest veel minder effectief is dan P geplaatst in de rij via kunstmest.

Bij het opstellen van het niet-lineaire multiple regressie model is uitgegaan van de parameters die in de REML-variantieanalyse als meest significant naar voren kwamen, zoals de fosfaatbodemengetallen, de fosfaat- en stikstofbemesting. Er leek een zwak effect van de K-bemesting te zijn.

Bij de niet-lineaire multiple regressie is een dubbel exponentieel model ontwikkeld zoals beschreven in paragraaf 3.5.3., waarbij de drogestofopbrengst verklaard wordt uit een aantal bodem- en bemestingsparameters. Het uiteindelijke model zag er als volgt uit:

$$DS_{ACT_locatie_y} = DS_{POT_Locatie_y} \times (1-e^F)$$

Met:

DS_{pot} = potentiële productiecapaciteit

DS_{ACT} = actuele productiecapaciteit

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en bemesting

Met als opties voor F:

$$F1 = -e^a \times PPAAE - e^b \times ratio - e^c \times \ln(P_{km}+1) - e^d \times \ln(P_{dm}+1) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

$$F2 = -e^a \times PPAAE - e^c \times \ln(P_{km}+1) - e^d \times \ln(P_{dm}+1) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

$$F3 = -e^a \times PAL - e^c \times \ln(P_{km}+1) - e^d \times \ln(P_{dm}+1) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

$$F4 = -e^a \times PPAAE - e^b \times PAL - e^c \times \ln(P_{km}+1) - e^d \times \ln(P_{dm}+1) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

Op deze manier is te vergelijken wat de bijdrage van PPAAE+ratio (PAL/PPAAE) of PPAAE of PAL of PPAAE+PAL is aan de verklaarde variantie. Ook is getest:

$$F5 = -e^a \times PPAAE - e^b \times ratio - e^c \times (\ln(P_{km}+1) + aa \times \ln(P_{dm}+1)) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

In het bemestingsadvies 2002 werd er vanuit gegaan dat de effectiviteit van P-rijenbemesting twee maal die van breedwerpig gegeven fosfaat is. Bij de analyse van model F5 dient de coëfficiënt "aa" dan een waarde van 0,5 te bedragen indien de Pgift in de rij gelijk is aan de Pgift met mest. Gemiddeld is de P-gift met mest 4 keer zo hoog dan de Pgift in de rij (60 om 15 kg P₂O₅ ha⁻¹). De coëfficiënt "aa" zou dan ongeveer 0,125 dienen te bedragen.

$DS_{POT_Locatie_y}$ wordt geschat voor alle combinaties van locatie en jaar (in totaal 37 combinaties).

Omdat in de dervingsfactor F, P_{km} en P_{km} 0 kunnen zijn wordt er 1 bij opgeteld (de natuurlijke logaritme van 0 kan niet). Er zijn 2 uitbijters waardoor het aantal records 345 (n) bedraagt. Het model zonder de term (1-e^F), het lege model, verklaart 65,9% van de variantie (Tabel 5.12). Met de term (1-e^F) wordt bij model F1 70,6% (R²_{adj}) van de variantie verklaard. Het model F1 is significant beter dan F2, F3

Tabel 5.12. Overzicht van niet lineaire modellen voor drogestofopbrengst (n=345).

Model	Onderscheid	R ²	Relatieve verbetering %	AIC
F1	PPAAE +ratio	0,706	12,9	2362
F2	PPAAE	0,695	11,1	2374
F3	PAL	0,687	8,8	2383
F4	PPAAE+PAL	0,675	6,6	2397
	Leeg model	0,659		
F5	ln(P _{km} +1)+aa* ln(P _{dm} +1)	0,700	12,1	2368

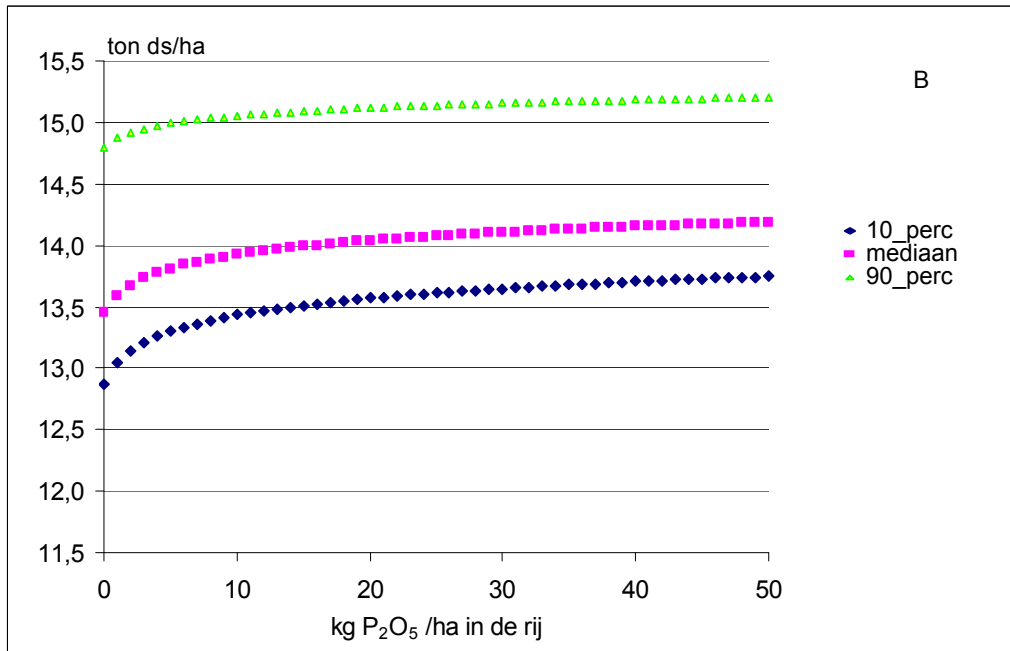
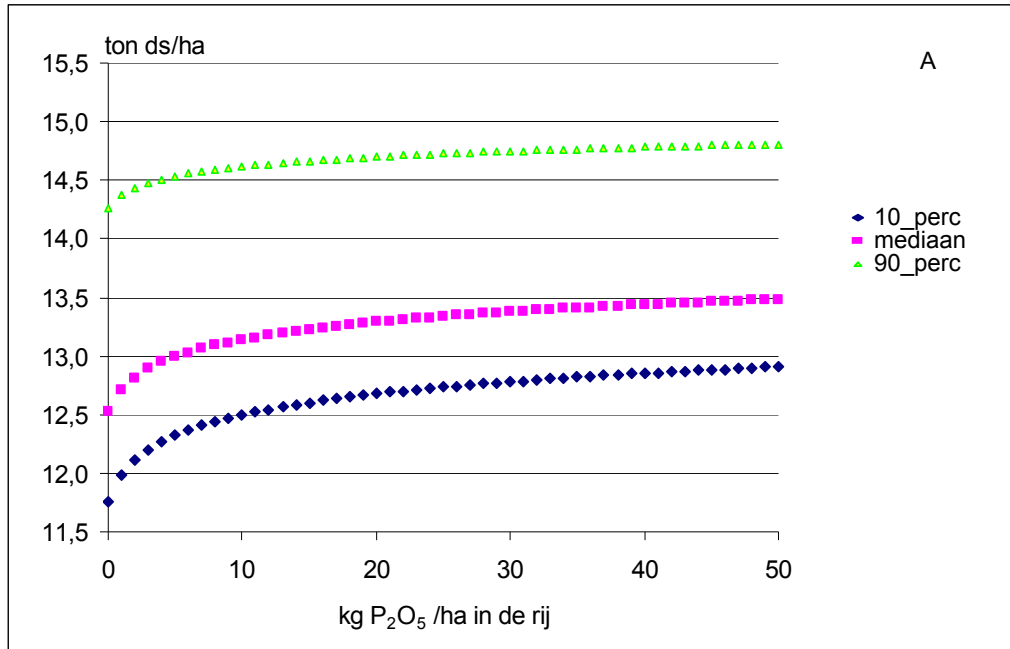
Tabel 5.13. De drogestofopbrengst van 2007 en 2008 verklaard via niet lineaire regressie met een dubbel exponentieel model ($R^2_{ad}=70,6\%$) voor model F1.

Parameter	Constante	Waarde	s.e.
PPAE	A	-1,072	0,272
ratio	B	-4,095	0,247
ln(Pkm+1)	C	-2,652	0,398
ln(Pdm+1)	D	-2,738	0,526
(N werkzaam)	E	-5,930	0,398

en F4 op basis van het Akaike Informatie Criterium (AIC). De modelcoëfficiënten van model F1 zijn in Tabel 5.13 weergegeven. Het model F5 (R^2_{adj} van 70,0%) heeft als uitkomst dat de term “aa” veel kleiner is dan 0,125 (en wel 0,004) en dat “aa” bovendien niet significant is. Dit betekent dat het fosfaat uit dierlijke mest niet significant bijdraagt aan de opbrengst. Om deze reden is het effect van Pdm als separate factor meegenomen in de analyse van F1-F4. De richtingscoëfficiënten c en d van ln(Pdm+1) en ln(Pkm+1) in model F1 (Tabel 5.13) geven aan dat P-rijenbemesting en P uit dierlijke mest qua werking niet van elkaar verschillen en ongeveer even zwaar wegen. Dit lijkt in tegenspraak te zijn met F5. Denkbaar is dat het effect van dierlijke mest geen P-effect, maar bijvoorbeeld een K- en/of S-effect is. De modelcoëfficiënten c en d zijn daarom niet gelijk gesteld. Verder onderzoek moet uitwijzen wat de achterliggende reden is van de bijdrage van de term ln(Pdm+1). Andere termen opnemen in het model zoals OS, pH, etc. gaven geen verbetering, alleen K-bemesting leek van invloed te zijn. Omdat de verbeteringen klein zijn is model F1 niet verder uitgebreid.

In Figuur 5.5 is weergegeven wat het effect is van P-rijenbemesting op de opbrengst op basis van model F1. Daartoe is de potentiële opbrengst ingesteld op 16,5 ton ha^{-1} . Bij deze waarde geeft het model een opbrengst van ruim 14 ton ds ha^{-1} , hetgeen ongeveer gelijk is aan de gemiddeld gerealiseerde opbrengst van 14,3 ton ds ha^{-1} . Verder zijn in model F1 de mediane waarden voor PAL (39) en PPAE (1,4) gebruikt en is de werkzame Ngift op 180 kg N ha^{-1} ingesteld. Te zien is in Figuur 5.5 dat er een sterke respons is op P-rijenbemesting. Deze neemt af naarmate de bodemtoestand hoger is. Door een basisgift dierlijke mest van 60 kg P_2O_5 ha^{-1} neemt de opbrengst ongeveer 1 ton ds ha^{-1} toe bij de mediane toestand zonder rijenbemesting. Eenzelfde opbrengststijging wordt bereikt met ongeveer 50 kg P_2O_5 als kunstmestfosfaat in de rij en geen dierlijke mest. Tegelijk lijkt een bemesting met fosfaat in de rij nog steeds interessant, zelfs bij de hoogste toestand (PPAE=3,5 en PAL=68). Om een bemestingsadvies af te leiden dient bekend te zijn hoeveel meeropbrengst elke extra kg fosfaat moet geven om bedrijfseconomisch interessant te zijn. In Hoofdstuk 6 wordt hier op basis van model F1 nader op ingegaan.

Er is ook sterk effect van N-bemesting; 180 kg N ha^{-1} geeft ongeveer 700 kg meeropbrengst ten opzichte van 100 kg N ha^{-1} .



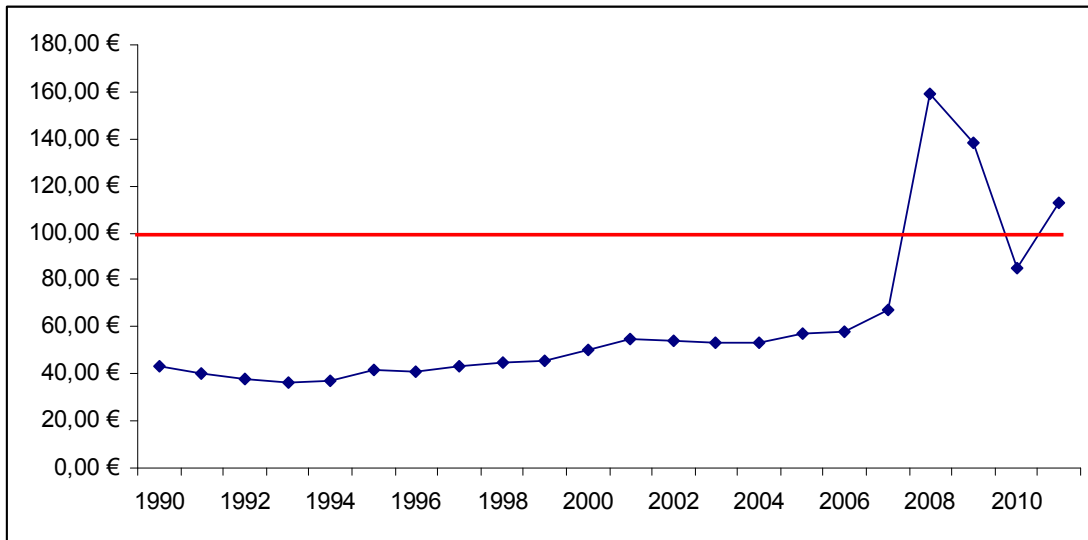
Figuur 5.5. Het effect van P-rijenbemesting op de opbrengst bij geen (A) of 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ (B), drijfmest voor 3 fosfaattoestanden overeenkomend met de 10 _perc. (PPAE= 0,3 en PAL=15), de mediaan (PPAE= 1,39 en PAL=39) en de 90_perc (PPAE= 3,5 en PAL=68) van de gegevensset 2007 en 2008. Er is uitgegaan van een werkzame N-gift van 180 kg N ha⁻¹ en een potentiële opbrengst van 16,5 ton ds ha⁻¹.

6 Ontwikkeling bemestingsadvies maïs

6.1 De prijs van meststoffosfaat en snijmaïs op de te adviseren fosfaatgift

Via formule F1 en Tabel 5.13 kan berekend worden hoeveel fosfaatbemesting met mest en kunstmest bijdraagt aan de gewasopbrengst. In de praktijk wordt veelal 40 tot 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ met mest gegeven. De vraag is dan in hoeverre P-bemesting in de rij zinvol is. Zoals in de figuur te zien neemt bij elke extra kg fosfaat in de rij de meeropbrengst af. Fosfaatbemesting in de rij blijft bedrijfseconomisch interessant zolang de financiële meeropbrengst aan maïs per kg fosfaat hoger is dan de prijs voor meststoffosfaat (strooikosten worden buiten beschouwing gelaten omdat er altijd N in de rij wordt gegeven en de strooikosten niet toenemen indien er een andere meststof wordt toegediend).

De prijs van meststoffosfaat is lange tijd stabiel geweest, maar kent de laatste jaren grote fluctuaties. De laatste jaren schommelt de prijs rond 1€ per kg P₂O₅.



Figuur 6.1. De ontwikkeling van de verbruikersprijs van tripelsuperfosfaat per 100 kg P₂O₅ (bron LEI).

De verbruikersprijs van snijmaïs varieert de laatste jaar tussen 40 en 60 euro per ton product (28% ds). Dit komt overeen met 15 tot 22 cent per kg ds. De prijs die de boer krijgt bij verkoop is lager. Op basis van gesprekken met veevoercoöperaties bedroeg de laatste jaren de verkoopprijs van snijmaïs per kg ds ongeveer 10 cent. Uitgaande van deze prijs dient de laatste te geven kg fosfaat via rijenbemesting minimaal 10 kg meeropbrengst aan droge stof te geven. Bij een prijs van 22 cent per kg ds snijmaïs dient de laatste kg te geven fosfaat 4,5 kg meeropbrengst te geven. Bij de vaststelling van het maïsadvies in 1991 (CBGV) is uitgegaan van een meeropbrengst van minimaal 4 kg ds voor de laatste te geven kg fosfaat. Voor een set van ruim 460 willekeurige grondmonsters (Tabel 6.1, Bijlage 2) met een mediaan van respectievelijk 2,2 en 42 voor PPAE en PAL is nagegaan wat een verschillend omslagpunt (minimaal benodigde meeropbrengst van elke kg fosfaat) voor effect heeft op het niveau van het fosfaatbemestingsadvies. Daartoe is model F1:

$$Ds_{ACT_locatie_y} = DS_{POT_Locatie_y} \times (1 - e^{-F1})$$

$$\text{met: } F1 = -e^a \times PPAE - e^b \times \text{ratio} - e^c \times \ln(P_{km} + 1) - e^d \times \ln(P_{dm} + 1) - e^e \times (\text{werkzame Ngift})$$

iteratief opgelost. In het model wordt daartoe de potentiële opbrengst ingevuld evenals waarden voor het niveau van de dierlijke mestgift, de werkzame N-gift en waarden voor PAL en PPAE. Vervolgens wordt de opbrengst berekend voor X kg P_{km} en X+1 kg P_{km}. Iteratief wordt die X gezocht waarbij $D_{\text{SACT_locatie}_y}(X+1) - D_{\text{SACT_locatie}_y}(X)$ gelijk is het criterium voor de meeropbrengst, bijvoorbeeld 4, 6, 7,5 10 of 15 kg ds ha⁻¹. Deze berekeningen kunnen met behulp van de routine "Oplosser" in Excel voor een groot aantal situaties van PAL en PPAE in één keer worden bepaald.

Tabel 6.1. Het effect van het omslagpunt (minimaal benodigde meeropbrengst van elke kg fosfaat) op de gemiddeld te geven fosfaatgift in de rij op basis van model F1 bij een potentiële opbrengst van 16,5 ton ds ha⁻¹ in vergelijking tot het advies op basis van CBGV 2002 voor de situatie van geen dierlijke en wel breedwerpig toegediende dierlijke mest (60 kg P₂O₅ ha⁻¹).

Omslagpunt	Geen dierlijke mest		60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ via dierlijke mest	
	Prij op basis van model F1	Prij op basis van CBGV 2002	Prij op basis van model F1	Prij op basis van CBGV 2002
kg ds kg ⁻¹ P ₂ O ₅	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹
4	42,9	27,4	30,8	9,7
6	29,8	27,4	21,5	9,7
7,5	24,4	27,4	17,6	9,7
10	18,9	27,4	13,7	9,7
15	13,2	27,4	9,6	9,7

Tabel 6.2. Het effect van PAL en PPAE op het fosfaatadvies in de rij op basis van model F1 en op basis van het CBGV advies 2002 (uitgewerkt naar PAL en PPAE (Bron BLGG AgroXpertus) voor de situatie van een potentiële opbrengst van 16,5 ton per ha en 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ via dierlijke mest.

PAL/PPAE	Fosfaatadvies op basis van model F1						
	1	2	3	4	6	8	10
10	26,8	21,2	15,9	11,9	6,6	(3,7)*	(2,3)*
20	23,1	19,7	15,2	11,4	6,4	(3,7)	(2,2)
30	19,8	18,2	14,4	11,0	6,3	(3,6)	(2,2)
40	17,0	16,9	13,7	10,6	6,1	(3,6)	(2,2)
50	17,0	15,7	13,1	10,2	6,0	(3,5)	(2,2)
60	17,0	14,5	12,4	9,9	5,8	(3,5)	(2,1)
70	17,0	13,5	11,8	9,5	5,7	(3,4)	(2,1)
80	17,0	12,5	11,2	9,2	5,6	(3,3)	(2,1)
PAL/PPAE	Fosfaatadvies op basis van CBGV 2002						
	1	2	3	4	6		
20	40	30	25	15	5		
30	30	25	15	5	0		
40	25	15	5	0	0		
50	15	5	0	0	0		
60	15	0	0	0	0		
70	5	0	0	0	0		
80	0	0	0	0	0		

* Giften beneden de 5 kg zijn praktisch gezien niet strooibaar.

Indien elke kg fosfaat minimaal 4 kg drogestof zou moeten opbrengen dan ligt het advies voor P in de rij op basis van model F1 beduidend hoger dan op basis van het CBGV advies 2002 (Tabel 6.1) dat destijds is afgeleid voor een omslagpunt van 4 kg ds ha⁻¹. Dit geldt zowel voor de situatie met en zonder mesttoediening. Bij een omslagpunt van 10 is het advies op basis van model F1 lager dan op basis van het CBGV advies van 2002. Met mest is daarentegen het CBGV advies lager. Het niveau van de fosfaatgift via dierlijke mest heeft relatief weinig invloed op het optimale niveau van P geplaatst in de rij (maar de mestgift is wel van invloed op het productieniveau zie Figuur 5.5 A en B). De gift op basis van model F1 daalt dan van 18,9 naar 13,7 kg ha⁻¹. Op basis van het CBGV advies daalt de gift van 27,4 naar 9,7 kg ha⁻¹. Het voorgaande blijkt ook uit Tabel 6.2 en Tabel 6.3. Bij een PPAE van 3 en PAL van 60 en 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ via mest wordt op basis van CBGV 2002 geen fosfaat in de rij geadviseerd, terwijl op basis van model F1 nog 12 kg ha⁻¹ wordt geadviseerd. Voor de situatie zonder mest worden vergelijkbare hoeveelheden geadviseerd.

De hoeveelheid te adviseren fosfaat in de rij is op basis van model F1 bij lage fosfaatparameters duidelijk lager dan bij het CBGV advies op basis van PAL en PPAE (bron BLGG AgroXpertus) zoals blijkt uit Tabel 6.2. Echter de te adviseren gift daalt bij hogere waarden van de fosfaatparameters (vooral PAL) relatief minder sterk dan bij het CBGV advies. Ook bij hogere waarden voor PAL en PPAE is het nog rendabel om een kleine fosfaatgift in de rij te geven op basis van model F1.

Tabel 6.3. Het effect van PAL en PPAE op het fosfaatadvies in de rij op basis van model F1 en op basis van het CBGV advies 2002 (uitgewerkt naar PAL en PPAE (Bron BLGG AgroXpertus) voor de situatie van een potentiële opbrengst van 16,5 ton per ha en 0 kg P₂O₅ ha⁻¹ via dierlijke mest.

	Fosfaatadvies op basis van model F1						
PAL\PPAE	1	2	3	4	6	8	10
10	34,1	27,0	20,2	15,0	11,1	8,2	4,6
20	29,3	24,9	19,2	14,4	10,8	8,1	4,6
30	25,1	23,1	18,2	13,9	10,5	7,9	4,5
40	21,6	21,4	17,3	13,4	10,2	7,7	(4,4)
50	21,6	19,8	16,5	12,9	9,9	7,5	(4,3)
60	21,6	18,4	15,7	12,4	9,6	7,3	(4,3)
70	21,6	17,1	14,9	12,0	9,3	7,1	(4,2)
80	21,6	15,8	14,2	11,5	9,0	7,0	(4,1)
	Fosfaatadvies op basis van CBGV 2002						
PAL\PPAE	1	2	3	4	6		
20	70	60	55	45	35		
30	60	55	45	35	30		
40	55	45	35	30	20		
50	45	35	30	20	0		
60	45	30	20	10	0		
70	35	20	0	0	0		
80	30	0	0	0	0		

* Giften beneden de 5 kg zijn praktisch gezien niet strooibaar.

6.2 Het effect van het opbrengstniveau op de te adviseren gift in de rij.

De fosfaatrespons is gemodelleerd als het product van de potentiële opbrengst maal een dervingsfactor. Deze aanpak heeft als consequentie dat de berekende fosfaatgiften in de rij lineair afhankelijk zijn van

het opbrengstniveau. Bij een potentiële opbrengst van 22 ton ds ha⁻¹ zijn de berekende giften dan een factor 1,25 hoger dan bij een potentiële opbrengst van 16,5 ton ds ha⁻¹. De vraag is of dit principieel juist is.

Fosfaat in de rij is in het jeugd stadium belangrijk. Een jonge maïsplant heeft relatief weinig wortels en een hoge fosfaatbehoefte. De concentratie in de bodemoplossing en de mate waarin deze concentratie gehandhaafd kan blijven door nalevering vanuit de vaste fase bepaalt of maïs voldoende fosfaat op kan nemen (natuurlijk speelt de vochtvoorziening daarbij een rol). Bij lage concentraties en of een lage buffercapaciteit van de bodem zorgt aanvulling van fosfaat met kunstmest of mest ervoor dat er voldoende P beschikbaar is (dit is ook vastgesteld bij de analyse van maïs in het 10-20cm stadium). Het P-gehalte is sterk gecorreleerd met PPAE en de fosfaatgift in de rij). Naarmate de maïsplant groeit komt er steeds meer wortelmassa en neemt het doorwortelde oppervlak sterk toe. Dat betekent dat met een lagere concentratie in de bodemoplossing volstaan kan worden dan kort na opkomst van de maïs. Anderzijds produceert maïs onder gunstige groeiomstandigheden (goede vochtvoorziening en goede bodemstructuur naast een goede voorziening met andere nutriënten als N en K) veel meer drogestof dan onder ongunstige groeiomstandigheden. In de proeven zijn grote opbrengstverschillen gemeten tussen locaties; 8-22 ton ds ha⁻¹). Indien maïs op perceel met 20 ton productie per ha eenzelfde hoeveelheid wortelmassa heeft als maïs die 10 ton produceert dan moet er per eenheid wortelmassa twee keer zoveel fosfaat worden opgenomen. In dat geval zou het logisch zijn dat de fosfaatgift lineair toeneemt met de opbrengst. Echter de meeste gewassen hebben een relatief constante spruit wortelverhouding, hetgeen betekent dat bij een hogere bovengrondse productie er ook een hogere ondergrondse productie van wortels is. Dit zou betekenen dat de fosfaatgift minder dan evenredig hoeft toe te nemen om toch die hoge productie te realiseren, indien de wortelmassa even effectief is als die bij percelen met een lagere drogestofproductie. Daarnaast speelt de vochtvoorziening zelf een rol met betrekking tot de beschikbaarheid en opname van fosfaat door de plantenwortel. Bij een goede vochtvoorziening kan een lagere fosfaatbeschikbaarheid van de bodem volstaan zo lieten experimenten van De Willigen en Van Noordwijk zien (1987). Op basis van de voorafgaande redenering lijkt het niet zo waarschijnlijk dat fosfaatgift in de rij lineair gerelateerd is aan het niveau van de drogestofproductie. Om deze reden is vooralsnog bij het opstellen van bemestingsadvies van één opbrengstniveau uitgegaan (zie volgende paragraaf).

6.3 Bemesting en fosfaatwetgeving

Nederland kent het stelsel van fosfaatgebruiksnormen voor het gebruik van fosfaat op landbouwgrond. De fosfaatgebruiksnorm kent drie categorieën die afhankelijk zijn van de fosfaattoestand. Tot 2015 daalt de toegestane fosfaatgift geleidelijk (Tabel 6.4). Voor 2011 zijn giften van respectievelijk 85,70 en 65 kg P₂O₅ ha⁻¹ toegestaan. In Tabel 6.5 is weergegeven hoe de fosfaatadvisering op basis van model F1 en CBGV2002 zich verhoudt tot de gebruiksnormen. Voor de situatie geen mest wordt vooral op basis van model F1 de gebruiksnorm onderschreden. In feite wordt een optimale opbrengst gerealiseerd bij een fosfaatgift die veel lager is dan de onttrekking (ongeveer 65 kg P₂O₅ ha⁻¹). De consequentie is dat de

Tabel 6.4. De toegestane fosfaatgift (kg P₂O₅ ha⁻¹) op bouwland als functie van de fosfaattoestand.

Pw	Categorie	2010	2011	2012	2013	2015*
<36	Laag	85	85	85	85	75
36-55	Neutraal	80	75	70	65	60
>55	Hoog	75	70	65	55	50

* onzeker

Tabel 6.5. Vergelijking van de fosfaatgiften per op basis van model F1 en CBGV2002 bij wel en geen mesttoediening.

PPAE	PAL	Pw	Geen mest		P-gebruiks- norm 2011	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ via mest			
			Advies rij Model F1*	Advies rij CBGV2002		Advies rij Model F1*	Totaal Model F1*	Advies CBGV2002	Totaal CBGV2002
1	10	18	33	79	85	27	87	49	109
1	20	23	28	72	85	23	83	42	102
2	20	31	24	61	85	20	80	31	91
2	30	36	22	53	75	18	78	23	83
2	40	40	21	45	75	17	77	15	75
2	50	45	19	35	75	16	76	0	60
4	30	44	13	37	75	11	71	0	60
4	40	49	12	32	75	11	71	0	60
4	50	54	12	22	75	10	70	0	60
4	60	58	11	0	70	10	70	0	60
5	50	58	9	0	70	8	68	0	60
5	60	62	9	0	70	8	68	0	60

* potentiële opbrengst van 16,5 ton ds ha⁻¹ en omslagpunt 10 kg ds ha⁻¹

fosfaatbodemkengetallen langzaam dalen. Afhankelijk van de toestand is dat misschien enkele jaren acceptabel maar op de lange termijn niet. Immers lagere fosfaatbodemkengetallen zullen ertoe leiden dat het productieniveau omlaag gaat, zoals ook blijkt uit Figuur 5.5.

Voor de situatie met een mestgift van 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ wordt inclusief de adviesgift in de rij per gebruiksnormcategorie ongeveer conform de gebruiksnorm bemest.

6.4 Het nieuwe fosfaatadvies

De bevindingen van de proeven zijn uitgebreid toegelicht en besproken in de Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen in 2010 en 2011. Op basis van de proefresultaten en de ontwikkeling van de gebruiksnormen is in voorjaar 2011 besloten het bemestingsadvies voor snijmaïs te baseren op model F1. Daarbij is voornamelijk gekozen voor 1 potentieel opbrengstniveau en wel van 16,5 ton ha⁻¹ en een omslagpunt van 10 kg ds ha⁻¹. Op basis van deze uitgangspunten zijn twee adviestabellen opgesteld. Eén voor de situatie van geen mesttoediening en één voor de situatie van 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ zijnde het best passende bemestingsniveau met dierlijke mest op basis van de gebruiksnormen. De adviestabellen zijn sinds voorjaar 2011 op www.bemestingsadvies.nl beschikbaar en zijn in Bijlage 3 weergegeven.

6.5 Discussiepunten

Werking dierlijke mest

Op basis van de modelanalyse zijn er aanwijzingen dat de P-bemesting uit dierlijke mest niet relevant is voor een directe bijdrage aan de opbrengst (natuurlijk blijft de P uit mest van belang om de toestand te handhaven). Dit is als volgt te verklaren. Dierlijke mest wordt veelal breedwerpig toegediend kort voor het zaaien. Na grondbewerking zit de mest verdeeld in de toplaag van de bodem. Maïs wordt op een diepte van ongeveer 7 cm gezaaid. De maïswortels groeien in een soort omgekeerde V-vorm naar

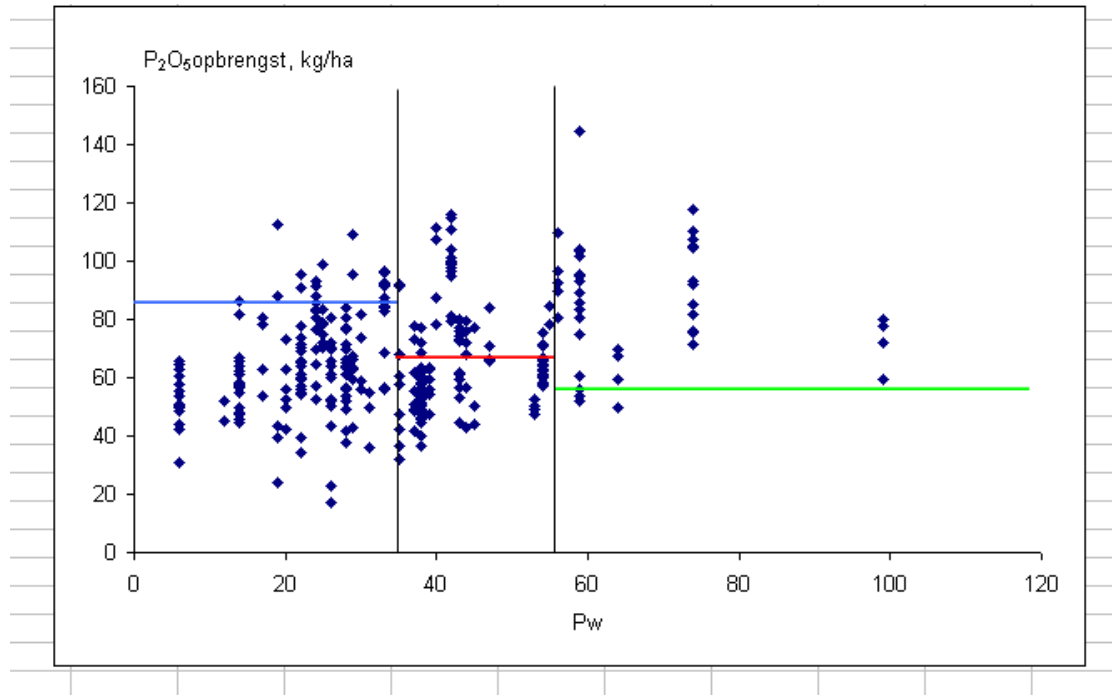
beneden. Daar de rijafstand van maïs ongeveer 75 cm bedraagt, is een groot deel van de toegediende mestfosfaat niet bereikbaar voor de plantenwortels in tegenstelling tot in de rij geplaatst fosfaat. Onderzoek in de afgelopen jaren geeft aan dat de werking van mest geplaatst in de rij niet verschilt van kunstmest geplaatst in de rij (Debergh, 2008; Krebbers, 2010) en dit onderzoek heeft aangetoond dat fosfaat geplaatst in de rij positief werkt op de drogestofopbrengst. Dit betekent dat naar de toekomst toe ingezet moet worden op mestplaatsing in de rij, temeer daar op veel melkveebedrijven gezien de eigen mestproductie er nauwelijks ruimte is voor aanvoer van kunstmestfosfaat. Bovendien worden de gebruiksnormen tot 2015 verder aangescherpt. Dit betekent dat op percelen met de toestand hoog naar alle waarschijnlijkheid nog maar 50 kg P_2O_5 ha⁻¹ aangevoerd mag worden, overeenkomend met 30-35 m³ mest per ha. Bij deze beperkte giftgrootte is het niet alleen uit oogpunt van fosfaat, maar ook uit oogpunt van kali en stikstof interessant om mest in de rij te plaatsen. Met 30-35 m³ (200-230 kg K₂O) zal de kalivoorziening op vooral de zandpercelen te krap worden, waardoor aanvulling met kunstmestkali nodig is. Naast de kosten voor deze meststof betekent het vaak extra toedieningskosten, omdat kali veelal breedwerpig wordt toegediend. Bovendien zal er meer N in de rij gegeven moeten worden voor een optimale N-voorziening. Door nu de mest in de rij te plaatsen is te bewerkstelligen dat maïs optimaal van fosfaat wordt voorzien, terwijl tegelijkertijd de N-werking van de mest (een factor 1,25) en de K-werking van de mest toeneemt, waardoor K-bemesting met kunstmest mogelijk achterwege kan blijven. In welke mate de K-werking toeneemt, is op dit moment niet bekend. Daarvoor is aanvullend onderzoek nodig.

Tegelijk dient ingezet te worden op systemen waarbij mest met voldoende capaciteit kan worden toegediend. Mesttoediening in de rij in combinatie met de zaai van maïs gaat te langzaam.

Perspectiefvoller lijkt een systeem waarbij eerst mest wordt toegediend met behulp van GPS, waarna aansluitend of enige tijd later met GPS maïs gezaaid wordt precies op/of net naast de stroken waar mest is toegediend.

Fosfaatonttrekking in relatie tot P-gebruiksnorm

Gemiddeld bedraagt de fosfaatopname 67,4 kg P_2O_5 ha⁻¹ met grote verschillen tussen locaties, variërend van minder dan 30 tot meer dan 100 kg per ha (zie Figuur 5.4). Opgedeeld naar gebruikstoestand laag, neutraal en hoog is een opname van respectievelijk 64,5, 65,3 en 85,3 kg P_2O_5 ha⁻¹ gemeten in deze proef. Bij deze gebruikstoestanden mag in 2013 respectievelijk 85, 65 en 55 kg P_2O_5 ha⁻¹ aangevoerd worden. Bij de toestand laag is de onttrekking lager dan de toegestane gift, bij de toestand hoog is het net andersom. Op basis van deze proef wordt voor de toestand laag en neutraal met de gebruiksnorm fosfaatonttrekking ruim tot net gecompenseerd. Bij de toestand hoog is de onttrekking 30 kg hoger dan de gebruiksnorm. Gemiddelde past de gebruiksnorm voor de percelen in deze studie. Voor individuele percelen kan de situatie sterk verschillen (Figuur 6.2). Zo heeft respectievelijk 14%, 37% en 93% van de percelen een onttrekking die hoger is dan de gebruiksnorm voor respectievelijk de klasse laag, neutraal en hoog. Voor de ondernemer is het opbrengsttechnisch interessant om zijn bodemtoestand te handhaven en voor de situatie laag deze minimaal richting neutraal te brengen, omdat een hogere toestand een hogere opbrengst geeft op basis van model F1.



Figuur 6.2. De fosfaatopname als functie van de P_w (de gekleurde lijnen geven de gebruiksnorm per toestandklasse aan).

7 Referenties

- De Willigen P & Van Noordwijk M (1987) Roots, plant production and nutrient use efficiency. PhD thesis Agricultural University Wageningen, The Netherlands, 282 pp
- Debergh A (2008). Mais én mest in rijen; Rijenbemesting drijfmest teelttechnisch en bedrijfseconomisch interessant. *Veeteelt* 1, 32-33
- Melsted, WS, Motto HW & Peck TR (1969). Critical plant nutrient composition values useful in interpreting plant analysis data. *Agron. J.* 61:17-20
- Dumenil L (1961). Nitrogen and phosphorus composition of corn leaves and corn yields in relation to critical levels and nutrient balance. *SSSA Proc.* 25:295-298
- Krebbers H (2010). Mest in rij, ook op klei. *Techniek is er, capaciteit moet omhoog. Veehouderijtechniek*, maart 2010, 21-23
- Strasser B & Werner W (2004) Influence of form and placement of N and P fertilizer on root development, phosphate uptake, and growth of sunflowers (*Helianthus annuus*) and sweet sorghum (*Sorghum bicolor*). *Journal of Agronomy and Crop Science* 175. 157-165
- Van der Zee SEATM, Fokkink LGJ & Van Riemsdijk WH (1987) A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Science Society America Journal* 51, 599-604
- Van Rotterdam-Los AMD, Bussink DW, Temminghoff EJM, & Van Riemsdijk WH.(2009) Naar een betrouwbare schatting van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in de bodemvoorspelling van fosfaatopname door Engels raaigras. *Bodem* 19 (5), 27-29
- Van Rotterdam AMD, Temminghoff EJM, Schenkeveld WDC, Hiemstra T & Van Riemsdijk WH (2009). Phosphorus removal from soil using Fe oxide-impregnated paper: processes and applications. *Geoderma* 151, 282-289
- Van Rotterdam- Los AMD (2010). The potential of soils to supply phosphorus and potassium; processes and predictions. PhD Thesis, Wageningen, pp 143

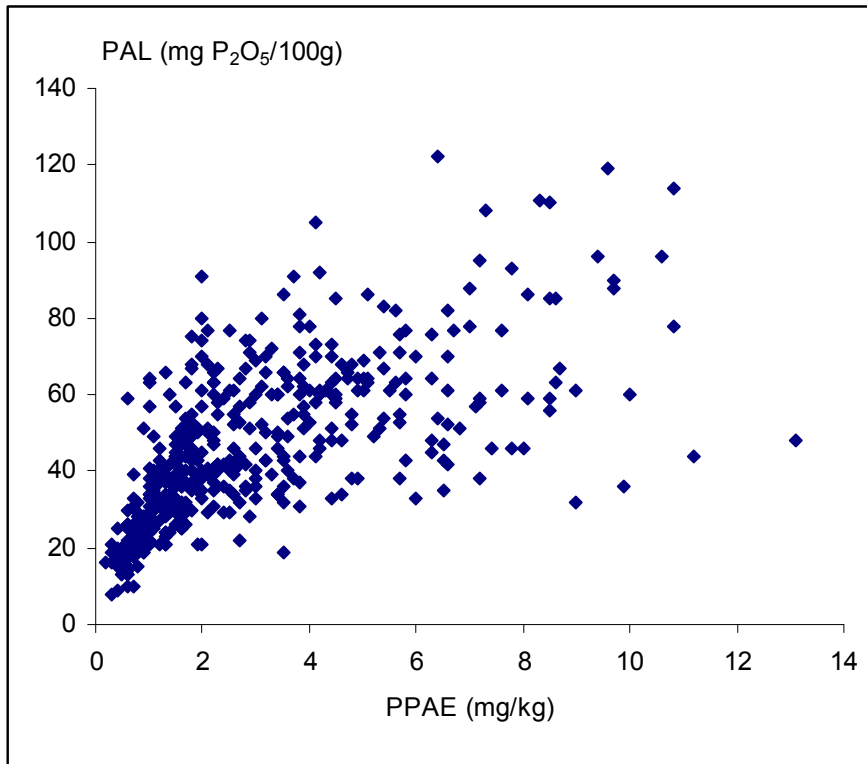
Bijlage 1. Bodem- en bemestingskenmerken van de 96 maïspcelen die in 2007 en 2008 meededen (n is aantal locaties)

Parameter	Grond	n	Gemiddelde	Minimum	Maximum	25perc	75perc	Mediaan
P_PAE (mg P kg ⁻¹)	10	47	1,644	0,2	10,2	0,6225	1,75	1
	20	11	1,27	0,5	3,41	0,8475	1,471	1,1
	40	16	1,097	0,2	3,83	0,31	1,569	0,6
	45	5	1,298	0,4	2,2	1	1,6	1,29
	60	5	2,665	0,845	5,49	1,1863	4,447	1,59
	62	8	0,473	0,20	1,0	0,225	0,69	0,375
	71	4	2,625	0,9	6,6	1,15	4,1	1,5
PAL (mg P ₂ O ₅ /100g)	10	47	33,39	8	104	20,25	43,25	29
	20	11	34,64	16	48	24,75	43	38
	40	16	29,26	8	68	17	38	22,6
	45	5	33,2	13	49	24,25	45,25	32
	60	5	42,6	22	61	34	55	39
	62	8	22,9	8	39	14,5	31,5	22,0
	71	4	51,75	38	73	40,5	63	48
pH	10	45	5,226	4	7,4	4,6	5,7	5,1
	20	11	5,773	5	7,4	5,025	6,2	5,5
	40	16	5,253	4,1	7,5	4,4	5,8	5
	45	5	5	4,3	5,8	4,75	5,2	5
	60	5	4,8	4,2	5,4	4,5	5,025	4,9
	62	8	5,283	5	5,6	5,1	5,45	5,284
	71	4	5,875	5,1	7,5	5,25	6,5	5,45
K (mg k kg ⁻¹)	10	43	68,3	32	165	48,25	80	62
	20	11	74	28	140	52	90,5	64
	40	15	71,29	35	131	54,5	87,75	66
	45	5	97,2	59	140	77,75	116,75	94
	60	5	73,4	32	134	35,75	110	62
	62	8	77,92	44,33	139	55,5	91,5	73
	71	4	78,5	43	140	52	105	65,5
Mg (mg Mg/ kg)	10	43	174	23	524	90,5	247,5	138
	20	11	130,8	62	241	83	178,2	110
	40	15	175,6	49	454	106,75	210,8	140,6
	45	5	104,8	36	206	52,5	136,2	111
	60	5	142,1	23	297,5	44,75	282,9	60
	62	8	145,6	65	270	71	208,5	135,3
	71	4	66,2	25	110	31,5	101	65
N_Tot (mg N kg ⁻¹)	10	47	2765	513	10808	1489	3624	1923
	20	11	1968	947	4223	1388	2283	1798
	40	16	4067	1052	11999	1548	6254	1850
	45	5	1798	1280	2206	1546	2022	1910
	60	5	2430	634	4998	1209	4023	1419
	62	8	2013	513	4223	1298	2536	1850

	71	4	1393	664	2407	684	2102	1251
Parameter	Grond	n	Gemiddelde	Minimum	Maximum	25perc	75perc	Mediaan
KZK	10	17	0,924	0,1	6,1	0,2	0,425	0,2
(5)	20	2	4,2	0,6	7,8	0,6	7,8	4,2
	40	10	1,82	0,1	8,1	0,2	1	0,25
	45	1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	60	0	*	*	*	*	*	*
	62	2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
	71	1	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3
Lutum	10	25	27,72	7	44	14	41,25	32
(%)	20	4	20,25	14	31	14,5	26	18
	40	14	24,06	7	45	13	32	26
	45	1	11	11	11	11	11	11
	60	0	*	*	*	*	*	*
	62	2	38,5	36	41	36	41	38,5
	71	1	8	8	8	8	8	8
Pdm	10	47	68,95	0	149,7	56,7	86,41	63
(kg P ₂ O ₅	20	11	53,4	0	80	46,8	72	47,4
ha ⁻¹)	40	16	72,02	0	172,72	15,75	88,9	72,56
	45	5	66,24	46,55	79,8	56,53	79,8	65,2
	60	5	59,92	42	79,8	52,5	69,3	56
	62	8	49,8	38,4	56,8	43,2	56,4	52
	71	4	56,4	48	64	52,4	60,4	56,8
Pkm	10	47	11,31	2,5	26,67	5,438	15,2	10
(kg P ₂ O ₅	20	11	12,57	5,25	16	10,5	15,02	15
ha ⁻¹)	40	16	16,56	7	26	13,125	20	17,73
	45	5	15,97	15	17	15	16,57	16,43
	60	5	16	10	30	10	18,75	15
	62	8	9,21	3,75	21,5	4,875	11,34	8
	71	4	10,5	6	16	6	15	10
Nkmrij	10	47	31,58	5,9	60	24,75	38,27	33,55
(kg N ha ⁻¹)	20	11	35,99	26,25	41,25	35,25	38,84	35,83
	40	16	42,61	24	53	37,12	52,35	40,25
	45	5	35,3	30,4	39	34,04	36,7	35,93
	60	5	28,53	23,5	35,25	23,5	31,61	30
	62	8	29,19	19,87	35,25	23,5	33,98	31,72
	71	4	34,22	32,7	35,97	32,7	35,73	34,1
Ndm	10	47	194,4	0	297,5	165,3	230	208,4
(kg N ha ⁻¹)	20	11	167,2	0	253,5	150,2	198	176,8
	40	16	174,6	0	408	48,8	216,9	169,6
	45	5	177,6	129,5	210	157,2	210	172
	60	5	168,3	152	210	153,5	181,1	154
	62	8	150,7	132	172,8	138	163,4	149
	71	4	163,4	132	176	152,4	174,4	172,8

Parameter	Grond	n	Gemiddelde	Minimum	Maximum	25perc	75perc	Mediaan
Nkmbreed (kg N ha ⁻¹)	10	47	12,75	0	108	0	0	0
	20	11	22,86	0	205,55	0	17,21	0
	40	16	23,87	0	94,5	0	53,98	0
	45	5	9,18	0	22,95	0	22,95	0
	60	5	0	0	0	0	0	0
	62	8	5,4	0	21,6	0	10,8	0
	71	4	11,38	0	23	0	22,75	11,25
Ngift (kg N ha ⁻¹)	10	47	238,8	74	366,7	204,6	278,4	235,2
	20	11	226,1	180	312,5	212,1	240,7	212,1
	40	16	240,8	134,5	461	137,7	246,6	209,8
	45	5	222,1	165,4	272	196,7	248,3	225,4
	60	5	196,8	177,5	240,4	177,5	211,2	187,2
	62	8	185,3	167,2	205,5	172,3	201,2	181,5
	71	4	209	190	235	197,8	220,2	205,5
Ktot (kg K ₂ O ha ⁻¹)	10	47	260,6	54	430	232,4	284,6	269,5
	20	11	234	100	310	200,1	279	244
	40	16	249,9	111	489,6	155	253,2	230,5
	45	5	292,8	236	333	253,2	321,8	318
	60	5	240,2	204	318	213,8	263,2	217
	62	8	228,8	186	300	199	258,5	214,5
	71	4	258,5	186	300	217	300	274

Parameter	Ontbrekende							
	n	waarden	gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	25 perc	75perc
P_PAЕ (mg P kg ⁻¹)	96	0	1,707	1,165	0,2	10,2	0,645	2,065
PAL (mg P ₂ O ₅ /100g)	96	0	36,35	32,5	8	104	21	47
pH	94	2	5,316	5,1	4	7,5	4,8	5,7
K (mg K kg ⁻¹)	91	5	73,25	68	28	165	50	86,25
N_Tot (mg N kg ⁻¹)	96	0	2664	1848	513	11999	1419	3288
KZK (%)	33	63	1,427	0,2	0,1	8,1	0,2	0,6
Lutum (%)	47	49	25,62	26	7	45	14	35
Pdm (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	96	0	64,95	62,55	0	172,7	48	78,3
Pkm (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	96	0	12,61	15	2,5	30	7	16
Nkmrij (kg N ha ⁻¹)	96	0	33,87	35,25	5,9	60	29,23	39
Ndm (kg N ha ⁻¹)	96	0	180,8	176,8	0	408	154	211,5
Nkmbreed (kg N ha ⁻¹)	96	0	14,24	0	0	205,6	0	20,25
Ngift (kg N ha ⁻¹)	96	0	228,9	225,4	74	461	189,6	252,1
Ktot (kg N ha ⁻¹)	96	0	253,6	248	54	489,6	217	285

Bijlage 2. Testset met 461 praktijkmonsters

Een set van 461 grondmonsters met een mediaan van respectievelijk 2,2 en 42 voor PPAE en PAL.

Bijlage 3. De tekst uit de adviesbasis

3.3 Maïs: Fosfaat

De adviesgift voor fosfaat is afhankelijk van de grondsoort, de fosfaattoestand en de gewasbehoefte. Het advies bestaat uit een gewasgericht en een bodemgericht advies. Aan beide adviezen moet worden voldaan voor een landbouwkundig goed resultaat.

3.3.1 Bodemgericht advies om fosfaattoestand te veranderen

Tabel 3.6 geeft de waardering van de fosfaattoestand op basis van Pw-getal. De waardering is gelijk voor alle grondsoorten.

Tabel 3.6 Waardering van de fosfaattoestand op bouwland

Waardering	Pw-getal
Zeer laag	< 11
Laag	11 – 20
Voldoende	21 – 30
Ruim voldoende	31 – 45
Vrij hoog	46 – 60
Hoog	> 60

Op veeljarige proefvelden is gebleken dat bij gewassen als aardappelen en bieten bij een lage fosfaattoestand en een bemesting volgens advies een lagere opbrengst wordt verkregen dan bij een voldoende fosfaattoestand met de daarbij horende bemesting. Dit zal zeker ook gelden voor andere fosfaatbehoefte gewassen, zoals maïs en erwten. Tabel 3-7 geeft de streefwaarden waarbij dit nadelige opbrengsteffect niet meer optreedt. Bovendien geeft tabel 3-7 de range in fosfaattoestand aan waarin geadviseerd wordt de fosfaattoestand te handhaven.

Voor het handhaven van een bestaande fosfaattoestand moet gemiddeld over het bouwplan de fosfaatafvoer door de gewassen en de onvermijdbare fosfaatverliezen worden gecompenseerd. Voor de onvermijdbare verliezen kan worden uitgegaan van 20 kg P2O5/ha/jaar.

De gemiddelde fosfaatafvoer kan worden geschat door de opbrengst van de verschillende gewassen te vermenigvuldigen met een gemiddeld fosfaatgehalte. Met snijmaïs en CCM/MKS/korrelmaïs wordt bij een gemiddeld opbrengstniveau van 16,5 ton circa 75 kg fosfaat per ha afgevoerd. Indien bij de teelt van CCM, MKS of korrelmaïs het stro achterblijft op het land kan circa 25 kg P2O5 per ha in mindering worden gebracht op de onttrekking.

Naast het compenseren van de fosfaatonttrekking en verliezen kan het nodig zijn de fosfaattoestand van de bodem te verhogen. Tabel 3-8 geeft de hoeveelheid fosfaat die boven de onttrekking nodig is om het Pw-getal te verhogen tot Pw-getal 25 op zeekei en Pw-getal 30 op de overige gronden.

Tabel 3.7. Het gewenste Pw-getal en het traject waarbinnen geadviseerd wordt de toestand te handhaven

Grondsoort	Streefgetal	Toestand handhaven
Zeelei	25	25 t/m 45
Zand, rivierklei, löss	30	30 t/m 45

Tabel 3.8. Hoeveelheid fosfaat (kg P₂O₅/ha) die boven de onttrekking nodig is om het Pw-getal te verhogen tot Pw-getal 25 op zeelei en Pw-getal 30 op de overige gronden

Pw-getal	Zeelei	Zand, rivierklei, löss
1	1500	1710
5	1130	1340
10	780	990
15	490	700
20	230	440
25	0	210
30	0	0

Opmerkingen bij tabel 3.8:

- Door het optreden van negatieve effecten van **grote fosfaatgiften** in één keer, wordt geadviseerd niet meer dan 500 kg P₂O₅/ha/jaar te geven
- Wanneer aanmerkelijk dieper wordt geploegd dan 25 cm op kleigrond en 20 cm op zand- en dalgrond, kan voor het bereiken van de gewenste fosfaattoestand **meer fosfaat nodig kan zijn dan het advies aangeeft**. Dit kan ook het geval zijn op zeer kalkrijke of sterk ijzerhoudende gronden.

Vanaf 2011 is het gewasgerichte advies gebaseerd op PAL-getal en P-Calciumchloride (P-CaCl₂). In de toekomst zal het bodemgerichte advies ook gebaseerd worden op deze twee kenmerken.

3.3.2 Advies voor optimale gewasproductie en handhaving van bodemvruchtbaarheid

Het advies is opgedeeld in een deel voor de optimale gewasproductie en een deel voor handhaving van de bodemvruchtbaarheid. Het advies voor de optimale gewasproductie geeft aan hoeveel fosfaat in de rij nodig is om een optimale productie in het jaar van bemesting te behalen. Dit advies ligt beneden de onttrekking van fosfaat door snijmaïs. In de loop van de tijd zal de bodemvruchtbaarheid bij deze bemesting dalen en daarmee de opbrengst. Daarom wordt geadviseerd om aan te vullen tot onttrekking om de bodemvruchtbaarheid te handhaven.

In tabel 3-9 en tabel 3-10 en staan de fosfaatgiften in de rij vermeld die nodig zijn bij de huidige fosfaattoestand, uitgedrukt in PAL en P-Calciumchloride (P-CaCl₂), om de economisch optimale opbrengst te bereiken. Dit is gegeven zonder een breedwerpige gift en met een breedwerpige gift van 60 kg P₂O₅ per ha. Het P₂O₅ in de rij kan gegeven worden met dierlijke mest of met kunstmest. Advies voor optimale gewasproductie en handhaving van bodemvruchtbaarheid

Tabel 3.9. Gewasgericht advies (kg P₂O₅ per ha) voor maïs (continueelt en vruchtwisseling) op alle grondsoorten. Basis is een gift in de rij voor een optimale gewasproductie in het jaar van bemesting, afhankelijk van de P toestand (P-CaCl₂ en PAL).

P-CaCl ₂	P-AL-getal	Advies in de rij kg P ₂ O ₅ per ha	
1	10	34	
1	15	32	
1	20	29	
1	25	27	
1	30	25	Advies: opvullen tot
1	35	23	onttrekking* ivm
1	40	22	handhaving
1	45	22	bodemvruchtbaarheid
1	50	22	
1	55	22	
1	60	22	
1	65	22	
1	70	22	
2	15	26	
2	20	25	
2	25	24	
2	30	23	Advies: opvullen tot
2	35	22	onttrekking* ivm
2	40	22	handhaving
2	45	21	bodemvruchtbaarheid
2	50	20	
2	55	19	
2	60	18	
2	65	18	
2	70	17	
3	20	19	
3	25	19	
3	30	18	
3	35	18	
3	40	17	Advies: opvullen tot
3	45	17	onttrekking* ivm
3	50	17	handhaving
3	55	16	bodemvruchtbaarheid
3	60	16	
3	65	15	
3	70	15	
4	25	14	
4	30	14	
4	35	14	
4	40	13	Advies: opvullen tot
4	45	13	onttrekking* ivm

P-CaCl ₂	P-AL-getal	Advies in de rij kg P ₂ O ₅ per ha	
4	50	13	Handhaving
4	55	13	Bodemvruchtbaarheid
4	60	12	
4	65	12	
4	70	12	
5	30	11	
5	35	10	
5	40	10	
5	45	10	Advies: opvullen tot
5	50	10	onttrekking* ivm
5	55	10	Handhaving
5	60	10	Bodemvruchtbaarheid
5	65	9	
5	70	9	
6	35	8	
6	40	8	
6	45	8	Advies: opvullen tot
6	50	8	onttrekking* ivm
6	55	7	handhaving
6	60	7	bodemvruchtbaarheid
6	65	7	
6	70	7	
7	40	6	
7	45	6	
7	50	6	Advies: opvullen tot
7	55	6	onttrekking* ivm
7	60	6	handhaving
7	65	6	bodemvruchtbaarheid
7	70	5	
8	45	0	
8	50	0	
8	55	0	
8	60	0	
8	65	0	
8	70	0	
10	50	0	
10	55	0	
10	60	0	
10	65	0	
10	70	0	
10	75	0	

*Onttrekking bij 16,5 ton opbrengst in drogestof is ca. 75 kg P₂O₅ per ha

Tabel 3.10. Gewasgericht advies (kg P₂O₅ per ha) voor maïs (continueelt en vruchtwisseling) op alle grondsoorten. Basis is een gift met 60 kg P₂O₅ breedwerpig (35-40 m³ per ha dunne mest rundvee) en afhankelijk van de P toestand (P-CaCl₂ en P-AL) een advies in de rij.

P-CaCl ₂	P-AL-getal	Advies in de rij kg P ₂ O ₅ per ha	Basisgift breedwerpig kg P ₂ O ₅ per ha
1	10	27	60
1	15	25	60
1	20	23	60
1	25	21	60
1	30	20	60
1	35	18	60
1	40	17	60
1	45	17	60
1	50	17	60
1	55	17	60
1	60	17	60
1	65	17	60
1	70	17	60
2	15	20	60
2	20	20	60
2	25	19	60
2	30	18	60
2	35	18	60
2	40	17	60
2	45	16	60
2	50	16	60
2	55	15	60
2	60	15	60
2	65	14	60
2	70	13	60
3	20	15	60
3	25	15	60
3	30	14	60
3	35	14	60
3	40	14	60
3	45	13	60
3	50	13	60
3	55	13	60
3	60	12	60
3	65	12	60
3	70	12	60
4	25	11	60
4	30	11	60
4	35	11	60
4	40	11	60
4	45	10	60

P-CaCl ₂	P-AL-getal	Advies in de rij kg P ₂ O ₅ per ha	Basisgift breedwerpig kg P ₂ O ₅ per ha
4	50	10	60
4	55	10	60
4	60	10	60
4	65	10	60
4	70	10	60
5	30	8	60
5	35	8	60
5	40	8	60
5	45	8	60
5	50	8	60
5	55	8	60
5	60	8	60
5	65	8	60
5	70	7	60
6	35	6	60
6	40	6	60
6	45	6	60
6	50	6	60
6	55	6	60
6	60	6	60
6	65	6	60
6	70	6	60
7	40	5	60
7	45	5	60
7	50	5	60
7	55	5	60
7	60	0	60
7	65	0	60
7	70	0	60
8	45	0	0
8	50	0	0
8	55	0	0
8	60	0	0
8	65	0	0
8	70	0	0
10	50	0	0
10	55	0	0
10	60	0	0
10	65	0	0
10	70	0	0
10	75	0	0

Opmerkingen bij Tabel 3.9 en Tabel 3.10:

- Bij hoge fosfaattoestand is het niet nodig om een gift toe te dienen om de bodemvruchtbaarheid in stand te houden. De bodemvruchtbaarheid is immers te hoog.
- De geadviseerde rijenbemesting is de fosfaatgift die op basis van de gewasreactie in het jaar van toedienen, terugverdiend wordt. Op den duur gaat hierbij echter de bodemvruchtbaarheid achteruit. Geadviseerd wordt om giften op te vullen tot onttrekking om de bodemvruchtbaarheid te handhaven. Uitgaande van een opbrengst van 16,5 ton ds per ha is dat totaal 75 kg P₂O₅ per ha.
- Om de mest goed in de bouwvoor te houden en niet erbovenop dient bij rijenbemesting met drijfmest niet meer dan 35-40 m³ per ha te worden toegediend. Doordat met relatief zware machines over geploegd land wordt gereden is op lagere en/of zwaardere gronden de kans op structuurschade aanwezig. Voorkom dat zaad in de drijfmest terecht komt. Dit heeft een slechte opkomst tot gevolg. Door GPS is het wel mogelijk om eerst drijfmest toe te dienen en later te zaaien met eventueel aanvullende rijenbemesting met kunstmest.
- Bij lage P-CaCl₂ en P-AL-getallen is het mogelijk dat het advies niet gedekt wordt door de rijenbemesting met drijfmest. Het wordt afgeraden om de rijenbemesting met drijfmest aan te vullen met fosfaatkunstmest die breedwerpig wordt toegediend omdat dit weinig effectief is bij dergelijke bemestingsniveaus (Schröder et al. 1997, van der Schoot en van Dijk 2001).
- Aangeraden wordt om eventuele aanvulling van drijfmest met nitraathoudende stikstofkunstmest niet tegelijkertijd te geven met de drijfmestrijenbemesting omdat daarbij grote N verliezen via denitrificatie kunnen optreden.
- Dien bij het gebruik van fosfaat in de vorm van een minerale meststof, deze als rijenbemesting toe. Geef niet meer dan 120 kg kunstmest uit stikstof én fosfaat in de rij om gewasschade te voorkomen.
- Diep ondergeploegde mest werkt onvoldoende tijdens de jeugdgroei van maïs. Daarom moet men erop letten dat de mest in de bovenste 10 cm van de bouwvoor terecht komt.
- Bij de teelt van CCM, MKS of korrelmaïs kan bij de volgende teelt de bemestende waarde van het achtergebleven stro (circa 25 kg P₂O₅ per ha) meegerekend worden als fosfaat dat de bodemvruchtbaarheid in stand houdt.