

oktober 2011

rapport 1246.2

Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 2 grasland

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

Ing. R.F. Bakker (NMI)

Ing. H. van den 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	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Doelstelling van het onderzoek	8
1.3 Verwacht resultaat	8
1.4 Leeswijzer	8
2 De problematiek van de P-bemestingsadvisering: een nieuwe benadering	9
2.1 Algemeen	9
2.2 Milieu versus bemestingsadvies	9
2.3 Adviezen zijn verouderd	10
2.4 P-bronnen in de bodem	11
2.5 P-beschikbaarheid en gewasopname	11
2.6 Naar een nauwkeurige voorspelling van de chemische beschikbaarheid van fosfaat in de bodem (Van Rotterdam-Los et al., 2009)	13
3 Opzet en uitvoering	17
3.1 Algemeen	17
3.2 Uitvoering (detail) grondonderzoek	17
3.3 Uitvoering onderzoek	18
3.3.1 Praktijkmonitoring 2007 en 2008	18
3.3.2 Miniproeven	18
3.4 Databewerking en statistische analyse van de resultaten	20
3.4.1 Algemeen	20
3.4.2 REML variantie componenten analyse	20
3.4.3 Niet lineaire regressie bij de overall analyse	21
4 Resultaten detailgrondonderzoek	23
4.1 Relatie PAL en P-CaCl ₂	23
4.2 Hoeveelheid geëxtraheerde organische P (DOP)	24
4.3 Relatie desorptie met PAL en P-CaCl ₂	24
4.4 Conclusie	25
5 Resultaten graslandproeven	27
5.1 Overzicht grondanalyse en bemesting	27
5.2 Weergegevens	27
5.3 Het effect van fosfaat- en stikstofbemesting in de miniproeven	28
5.4 Versgras analyses 1 ^e snede	30
5.5 Statistische analyse effect bodem- en bemestingsparameters op opbrengst en P-gehalte	31
5.5.1 Variantiecomponenten analyse	31
5.5.2 Niet-lineaire multiple regressie analyse	32
6 Discussie	39
6.1 De opbrengstrespons op P-bemesting nu en vroeger	39
6.2 Het effect van de toestand op de opbrengst	40
6.3 Het effect op P-gehalte	42
7 Naar een nieuw bemestingsadvies	45
Literatuur	49
Bijlage 1. Bodem en bemestingskenmerken van de 58 graspercelen die in 2007 en 2008 meededen	51
Bijlage 2. Kenmerken van de monsters uit 2000-2008 waarvoor een grasanalyse van de 1 ^e snede, de bemesting van de 1 ^e snede en grondonderzoekcijfers (inclusief PPAE) beschikbaar waren	53

Samenvatting en conclusies

Het P-bemestingsadvies voor grasland is vooral gebaseerd op proeven die ruim 50 jaar geleden zijn uitgevoerd. Bemesten volgens dit advies is door de invoering van het gebruiksnormenstelsel nu vaak niet meer mogelijk. Verder houdt het bemestingsadvies geen rekening met de verrijking van gronden met P, het niveau van N-bemesting en een ander graslandmanagement als destijds. Ook is het niet langer nodig te streven naar $4,0 \text{ g P kg}^{-1} \text{ ds}$ in gras. Voor een goede dierprestatie volstaat $3,0\text{-}3,5 \text{ g P kg}^{-1} \text{ ds}$. Scherper bemesten is dus mogelijk en milieukundig gewenst. Om scherper te kunnen bemesten met fosfaat dient zowel de directe beschikbaarheid als de nalevercapaciteit en -snelheid bekend te zijn. Het huidige P-advies voor grasland is gebaseerd op één bepalingsmethode: PAL. Daarmee kan de nalevering maar niet de directe beschikbaarheid worden bepaald. Fundamenteel onderzoek gestart in 2003 naar het desorptiegedrag van fosfaat geeft aan dat de P-dynamiek via twee routinematige methoden van grondonderzoek, PAL en P- CaCl_2 (bij BLGG AgroXpertus PPAE genoemd) is te beschrijven. Daarbij is P- CaCl_2 een maat voor de directe beschikbaarheid en de ratio PAL/P- CaCl_2 een maat voor het nalevergedrag.

Doel van het onderzoek is de ontwikkeling van een nieuwe adviessystematiek voor grasland 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 is uitgevoerd in samenwerking veevoederbedrijfsleven (ForFarmers, Agrifirm, de Heus, Agerland, Nutreco en Rijnvallei).

In 2007 en 2008 zijn op praktijkbedrijven in diverse regio's miniproeven aangelegd. Per bedrijf is gestreefd naar minimaal 2 graslandpercelen met een duidelijk verschillende P-toestand. Dit resulteerde in totaal 58 praktijkpercelen. In 2007 lagen er op een perceel 3 P-trappen in tweevoud. In 2008 lagen er 3 P-trappen en 2 N-trappen. In beide jaren waren er P-trappen van 22 (basisbemesting met dunne rundermest), 45 en $90 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (basisbemesting + kunstmestfosfaat). In 2008 is via de N-trappen een verschil van 40 kg N ha^{-1} in N-bemesting gecreëerd. Over beide jaren resulteerde dit in 436 experimentele eenheden. In de 2^e snede is de P-nawerking gemeten en is er alleen met kunstmest-N bemest. De N-, K- en S-bemesting was zoveel mogelijk conform het bemestingsadvies. Zowel de grasopbrengst als de samenstelling van de 1^e en 2^e snede is gemeten. In 2007 en 2008 is op 144 percelen op diverse grondsoorten de minerale samenstelling van de eerste snede gemonitord. Op deze percelen is van te voren grondonderzoek uitgevoerd en is de uitgevoerde bemesting geregistreerd. Verder waren er monitoringgegevens beschikbaar uit eerdere jaren (vanaf 1999). Samen met de gegevens van 2007 en 2008 leverde dat een set van ongeveer 1000 records met gegevens over grondonderzoek, bemesting en grasgehalte van de 1^e snede op.

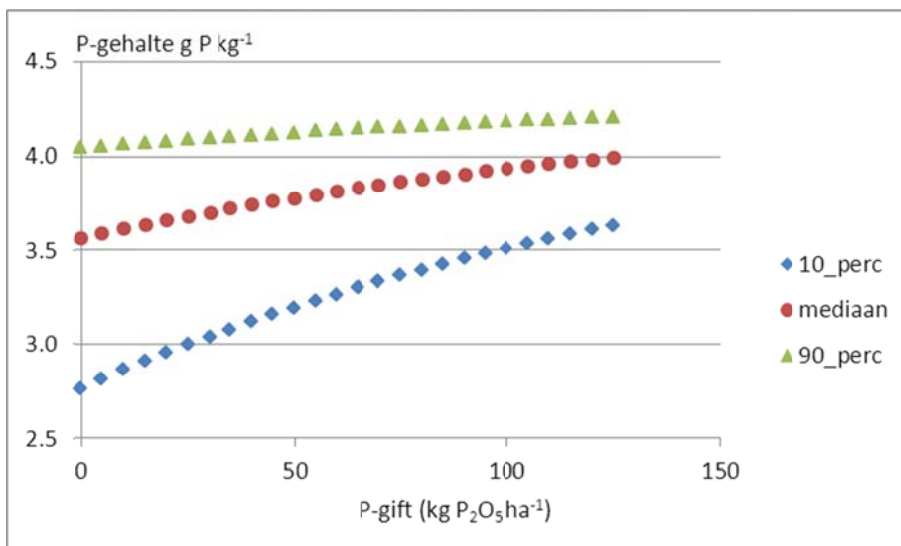
Gemiddeld over alle percelen gaf P-bemesting bovenop een basisgift dierlijke mest geen meeropbrengst. Alleen in de 2^e snede van 2007 werd bij de hoogste P-trap een significante meeropbrengst van $193 \text{ kg ds ha}^{-1}$ verkregen ten opzichte van alleen dierlijke mest. De opbrengst bedroeg gemiddeld $3,4 \text{ ton ds ha}^{-1}$ bij zowel de 1^e als 2^e snede van 2007. In 2008 bedroeg de opbrengst van de 1^e en de 2^e snede respectievelijk 4,5 en $2,5 \text{ ton ds ha}^{-1}$. De P-trappen resulteerden in significante verschillen in P-gehalte in beide jaren in elke snede. De hoogste trap bevatte in de 1^e snede in beide jaren ongeveer $0,4 \text{ g P kg}^{-1} \text{ ds}$ meer dan de laagste trap. In de tweede snede was dit verschil ongeveer $0,25 \text{ g P kg}^{-1} \text{ ds}$. Het weersverloop (droge of natte groeiperiode) had een groot effect op het gemeten P-gehalte.

De verkregen data over drogestofopbrengst 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 in de miniproeven te verklaren is uit de werkzame N- en P-gift, PPAE en de ratio PAL/PPAE ($R^2_{\text{adj}}=69\%$). Andere parameters meenemen zoals grondsoort leidde niet tot een betere verklaring. De analyse toonde tevens aan dat meenemen van twee P-parameters geen betere resultaten geeft ten opzichte van alleen PAL. Vermoedelijk is dit het gevolg van een geringe respons op P-bemesting. Bij een lage toestand gaf $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ $150\text{-}200 \text{ kg ds ha}^{-1}$ meeropbrengst in de 1^e snede. Daarbij gaf een lage toestand een tot $400 \text{ kg ds ha}^{-1}$ lagere opbrengst in de eerste snede ten opzichte van een hoge toestand. Bemesting met $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ bij een lage toestand is niet toereikend om eenzelfde opbrengst te realiseren als bij een hoge toestand zonder P-bemesting. Voor een optimale productie is minimaal PAL 30 gewenst om een opbrengst te realiseren die gelijk is aan een hoge toestand zonder P-bemesting. Het effect van P-bemesting en P-toestand op de drogestofrespons is duidelijk lager dan in ouder onderzoek.

De respons op het P-gehalte van gras in de miniproeven was veel sterker dan op de ds-opbrengst. De analyse toonde tevens aan dat meenemen van twee P-parameters significant betere resultaten geeft ten opzichte van alleen PAL, zowel voor de 1^e als 2^e snede. Hetzelfde werd gevonden voor de gehele dataset 1999-2008. Het onderzoek naar het P-desorptiegedrag gaf eveneens aan dat conform eerder onderzoek de desorptie en daarmee de fosfaatbeschikbaarheid beter te voorspellen is met (PAL/P-CaCl₂) en P-CaCl₂ ($R^2=0,77$) dan op basis van alleen PAL ($R^2=0,61$).

Het P-gehalte in de dataset 2000-2008 kon worden verklaard ($R^2=0,83$) met PPAE, PAL/PPAE, de werkzame N-gift en P-gift, KPAE en pH. Grondsoort was geen significante factor. Daarbij gaven een hogere PPAE, PAL, N-gift, P-gift, KPAE of pH een hoger P-gehalte. In Figuur A is het effect van P-bemesting op het P-gehalte weergegeven. Daarbij resulteerde een lage en hoge toestand in respectievelijk $2,7$ en $4,0 \text{ g P kg}^{-1}$ ds bij geen P-bemesting en is $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ niet toereikend om dit verschil te overbruggen.



Figuur A. Het effect van P-bemesting op het P-gehalte bij 3 P-toestanden; 10_perc. (PPAE= 0,49, PAL=15,5, KPAE=46 en pH=4,6), de mediaan (PPAE= 1,54, PAL=30, KPAE=95 en pH=5,3) en de 90_perc (PPAE= 5,13, PAL=56, KPAE=226 en pH=6,2) voor gegevens van 1999-2008.

Sturen op het P-gehalte in gras is gewenst vanuit oogpunt van diervoeding en het mestbeleid. Voor veehouders die aan P-BEX mee doen is sturen op een laag P-gehalte interessant omdat dit tot minder mestafvoer leidt. Daarom wordt voorgesteld om een nieuw P-bemestingsadvies te baseren op het P-gehalte. In Tabel A is als voorbeeld weergegeven tot welke adviesgiften dit leidt voor de 1^e snede op zandgrond voor de situatie van een pH van 5,2, een N-gift van 100 kg N ha⁻¹ en een KPAE van 95 mg kg⁻¹. In de praktijk wordt voor de eerste snede met dunne rundermest 15-20 kg werkzame P₂O₅ ha⁻¹ (20-25 m³ ha⁻¹) gegeven. Dat betekent dat voor de toestand “neutraal” gemiddeld vrijwel altijd 3,6 g P kg⁻¹ ds en ongeveer 95% van de potentiële opbrengst gerealiseerd wordt. Het model biedt de mogelijkheid om via de N-bemesting (korte termijn) en pH, KPAE en P-toestand (lange termijn) te sturen op P-gehalte voor diverse grondsoorten en bemestingstoestanden.

Tabel A. Voorbeeld: De benodigde werkzame P-gift voor de 1^e snede op zandgrond om een gewenst P-gehalte in 1^e snede gras te realiseren voor een aantal P-bodemvruchtbaarheidssituaties die qua PAL overeenkomen met de klassegrenzen van het P-gebruiksnormenstelsel. Verondersteld is een pH van 5,2, een N-gift van 100 kg N ha⁻¹ en een KPAE van 95 mg kg⁻¹.

PAL	PPAE	P-gehalte gras g P kg ⁻¹ ds						P-Gebruiksnorm kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ 2012 en 2013
		3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	
16*	0,49	139	113	90	70	53	37	120
<27 (L)	1,32	75	48	26	6	0	0	100
27-50 (N)=39	2,21	37	11	5	0	0	0	95
>50 (H)	4,30	0	0	0	0	0	0	85

* Bij een PAL beneden de 16 mag 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ worden gegeven na onderzoek gericht op reparatiebemesting.

Conclusies:

- Extra fosfaatbemesting na een basisgift dierlijke mest geeft geen significante meeropbrengst maar wel een significant hoger P-gehalte.
- De P-toestand is minstens zo belangrijk voor een goede opbrengst of P-gehalte dan P-bemesting. Het effect van een lage toestand op opbrengst of P-gehalte kan door P-bemesting niet volledig worden gecompenseerd.
- De P-beschikbaarheid baseren op twee kengetallen, PPAE en PAL, heeft meerwaarde ten opzichte van één fosfaatkengetal. Dit komt vooral tot uiting op basis van het P-gehalte in gras.
- Op basis van praktijkdata is voor de 1^e snede een nieuw fosfaatbemestingsadvies af te leiden dat stuurt op het P-gehalte van gras. Het advies voor latere sneden hoeft niet te wijzigen.

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, 2008). 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 gras niet meer nodig is. Voor een goede dierprestatie is 3,0-3,5 g P kg⁻¹ ds voldoende (Valk, 2002);
- 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 beiden. Fundamenteel onderzoek gestart in 2003 door de leerstoelgroep Bodemchemie en chemische bodemkwaliteit 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 (Van Rotterdam-Los, 2010) en toepassing van de meest recente bodemchemische kennis bleek 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 en 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.

In opdracht van Productschap Zuivel, BLGG AgroXpertus en veevoederbedrijfsleven 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 graslandproeven. In Hoofdstuk 2 wordt daarbij ingegaan op de PAL-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 proefresultaten toegelicht. In Hoofdstuk 6 is de discussie weergegeven. Op basis van Hoofdstuk 5 en Hoofdstuk 6 is in Hoofdstuk 7 een aanzet gegeven voor een nieuw bemestingsadvies voor grasland.

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.

2.2 Milieu versus bemestingsadvies

De hoge P-bemesting in de landbouw heeft geleid tot ophoping van fosfaat en P –uitspoeling en -afspoeling. Uit- en afspoeling van P leidt tot eutrofiëring van oppervlaktewater, met nadelige neveneffecten zoals een eenzijdige visstand, soortenarmoede en zuurstofloosheid. Een hoge P-toestand van gronden leidt tot een verschraling 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 gebruiksnormen opgesteld voor landbouwgronden. Er mag daarbij niet meer met P worden bemest dan de gebruiksnorm. Voor graslanden geldt, in 2011, een fosfaatgebruiksnorm van respectievelijk 90, 95 en 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹, voor de toestand hoog, neutraal en laag. Op termijn zal deze nog verder omlaag gaan, want er wordt naar gestreefd om de gebruiksnorm gelijk te maken met 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 grasland dat gebaseerd is op PAL (CBGV, 2008) treedt er voor een aanzienlijk deel van het areaal dan al direct een conflict op. Het P-advies (Tabel 2.1) is in veel gevallen hoger dan de gebruiksnorm (90-100 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ in 2010 afhankelijk van de bodemtoestand). In 2010 kon op 40% van de zandgronden niet langer volgens advies worden bemest. Voor klei en veen gold dat voor een nog groter deel van het areaal.

Tabel 2.1. Het huidige P-bemestingsadvies bij beperkt weiden, en 1,5 x maaien na 1^e snede.

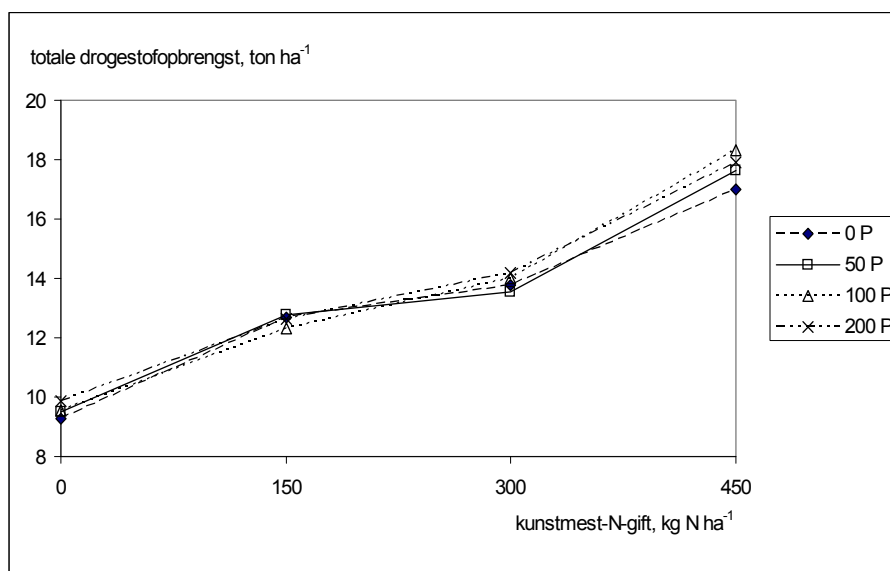
Toestand	huidig P-advies* kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ jaar ⁻¹	% areaal		
		zand	klei	veen
hoog	70	25	17	20
ruim voldoende	80	33	32	21
voldoende	100	24	26	25
vrij laag	125	16	22	30
laag	165	2	3	3

* volgens P-bemestingsadviesbasis (2008).

2.3 Adviezen zijn verouderd

De basis van het P-bemestingsadvies voor grasland gebaseerd op PAL is ruim 50 jaar oud. Sindsdien heeft een sterke oplading van de bodem met P plaatsgevonden, waardoor de nalevering door de bodem naar verwachting toeneemt. Het huidige P-bemestingsadvies houdt daar geen rekening mee. Het PAL-getal is een maat voor de hoeveelheid P die tijdens het groeiseizoen vanuit de bodem geleverd kan worden. Het PAL-getal zegt echter niets over het direct beschikbare P, of over de snelheid waarmee de gebonden P vanuit de bodem beschikbaar komt. De relatie tussen het PAL-getal van de grond en P-gehalte in het gras is destijds gebaseerd op de gewasrespons in (oude) bemestingsproeven. Er wordt dus geen rekening mee gehouden dat het totale P-gehalte van de bodem nu veel hoger is dan in de jaren 50 als gevolg van de hoge P-bemesting in de afgelopen decennia en de daarmee gepaard gaande oplading van gronden met P. Daarnaast is er een verrijking van de ondergrond door herinzaai en vruchtwisseling opgetreden. Bekend is dat deze lagen bijdragen aan de P-voorziening van het gewas en daarmee aan de gewasopbrengst. Ook de N-bemesting is dalende, waardoor naar verwachting minder P nodig is (N/P-interactie). Verder wordt er nu gebruik gemaakt van efficiëntere grasrassen van veelal monoculturen van Engels raaigras (plus klaver).

Het P-bemestingsadvies is ook gericht op het bereiken van een optimaal P-gehalte in het gewas. Bij het opstellen van het P-bemestingsadvies werd destijds uitgegaan van een gewenst gehalte van $4,0 \text{ g P kg}^{-1}$ ds vanuit oogpunt van diervoeding. Op basis van de huidige inzichten weten we dat een gehalte van $3,3 \text{ g P kg}^{-1}$ ds gras ongeveer toereikend is voor veel rantsoenen (Valk, 2002). Voor een optimale opbrengst volstaat veelal een gehalte van ongeveer $3,5 \text{ g P kg}^{-1}$ ds. Dit is deels afhankelijk van het niveau van N-bemesting. Bij een lagere N-voorziening is de respons op P-bemesting ook lager. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 2.1. Naast een beperking van de P-bemesting geldt er binnen de kaderrichtlijn water vanuit Europa ook een beperking voor de hoeveelheid N-bemesting die er gegeven mag worden. Bij een lage N-bemesting kan de respons op P zo laag worden dat de (extra) gewasopbrengst niet meer rendabel is in vergelijking met de kosten van P-bemesting. Het voorbeeld in Figuur 2.1 laat zien dat bij een N-bemesting van 170 kg N ha^{-1} er weinig respons is op de P-bemesting, ondanks een vrij lage P-toestand.

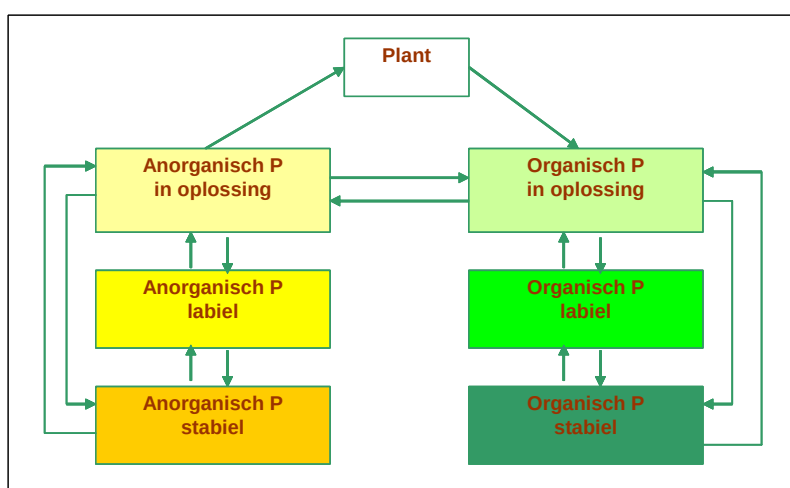


Figuur 2.1. De opbrengstrespons op een zandgrond met P-toestandsklasse "vrij laag" (1995). De P-opbrengstrespons is maximaal 1 ton per hectare, en neemt af met lagere N-bemesting.

De adviezen kunnen dus omlaag enerzijds omdat er minder P in gras hoeft te zitten en anderzijds kan er beter rekening worden gehouden met de P-beschikbaarheid in de grond zonder een verlies aan gewasproductie en -kwaliteit.

2.4 P-bronnen in de bodem

In de bodem komt een groot aantal P-vormen voor, zowel in anorganische als organische vorm (Figuur 2.2). 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 HPO_4^{2-} en H_2PO_4^- . Bij een pH van 7,22 is evenveel H_2PO_4^- als HPO_4^{2-} aanwezig, bij een pH lager dan 7,22 is meer H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} aanwezig en bij een pH hoger dan 7,22 is minder H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-} 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.

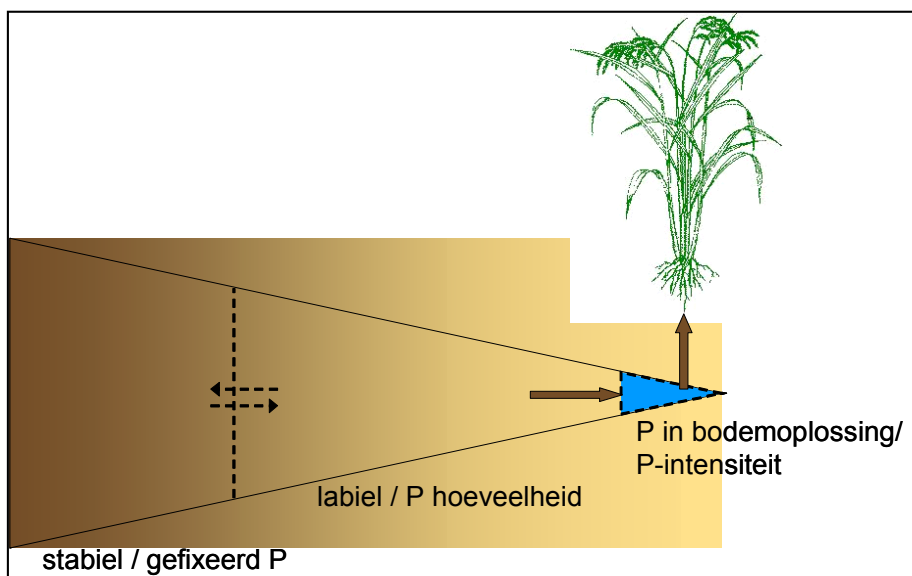


Figuur 2.2. Vormen van fosfaat in de bodem.

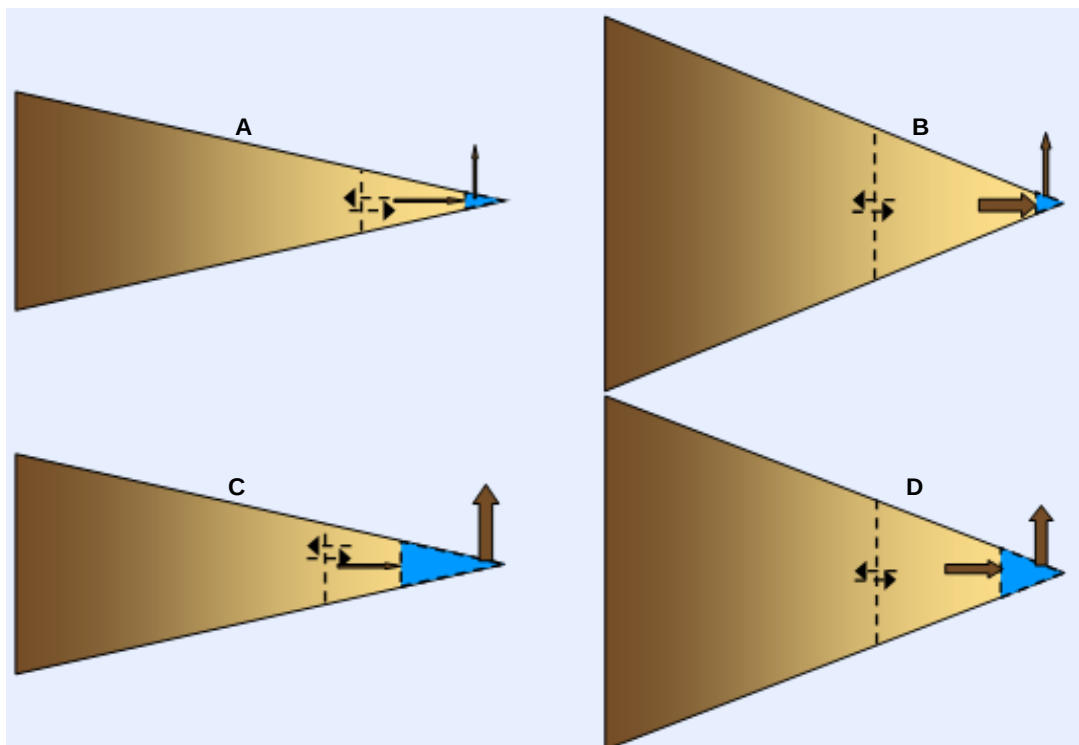
2.5 P-beschikbaarheid en gewasopname

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 2.3). 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 2.3. Een schematische weergave van de P-beschikbaarheid en de gewasopname.



Figuur 2.4. Mogelijke situaties van P-beschikbaarheid in de bodem.

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

- A. Een lage directe beschikbaarheid en een lage nalevercapaciteit
- B. Een lage directe beschikbaarheid en een hoge nalevercapaciteit
- C. Een hoge directe beschikbaarheid en een lage nalevercapaciteit
- D. Een hoge directe beschikbaarheid en een hoge nalevercapaciteit

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).

2.6 *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 CaCl_2 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 bepalingsmethoden en wel met een combinatie van PPAE (een meting in 0,01 M CaCl_2) 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.

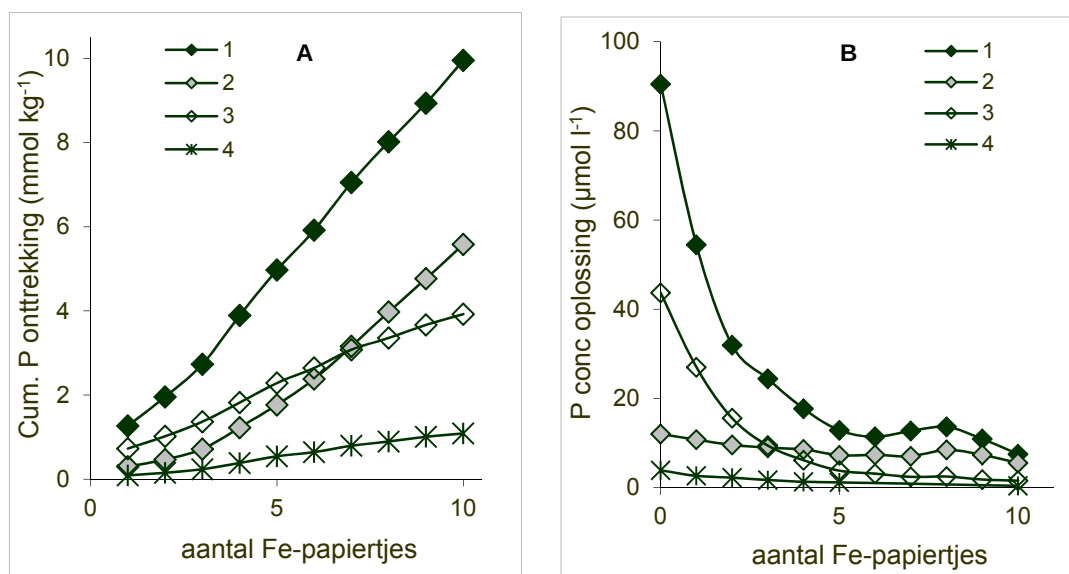
Bijkomend voordeel van deze benadering is dat naast grasland ook bouwland met dezelfde systematiek geanalyseerd en beoordeeld kan worden. Daardoor is bijvoorbeeld geen nieuw P-grondonderzoek nodig wanneer grasland wordt omgezet in maïslaan of vice versa.

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., 2009b). 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 2.5 (A) laat de cumulatieve P-onttrekking (Q_{cum}) door 10 Fe-papiertjes zien en de daar bijhorende P-concentratie in de oplossing (C) op het moment dat ieder papiertje werd vervangen (Figuur 2.5 B). De vier gronden vertonen een grote variatie in Q_{cum} 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 Q_{cum} van grond 3 lager dan van grond 2 (Figuur 2.5 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 ten opzichte van de hoeveelheid die een plant nodig heeft en erg laag ten opzichte van 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 2.5 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 2.5. De verandering in de cumulatieve P-onttrekking door middel 10 Fe-papiertjes (links) en de daar bijhorende P-concentratie in de oplossing op het moment dat ieder papiertje werd vervangen (rechts) voor vier gronden.

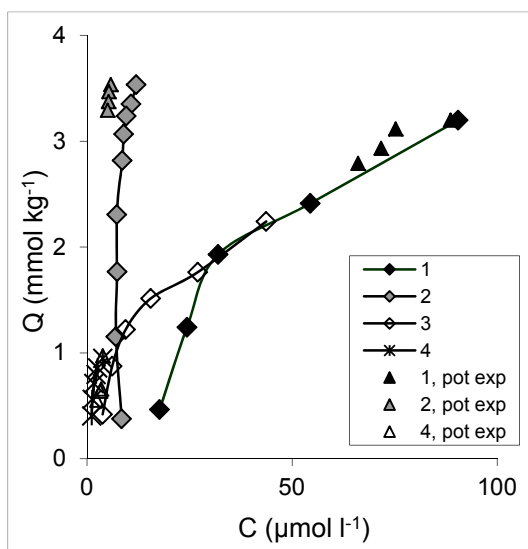
Desorptie-isothermen

De desorptie-experimenten met de Fe-papierjes 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 2.6 staan de desorptie-isothermen weergegeven van dezelfde vier gronden als weergegeven Figuur 2.5. Potexperimenten 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-papierjes (Figuur 2.6). 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- CaCl_2 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-papierjes waarin de relatieve afname in C een nauw verband laat zien met zowel de verhouding PAL over P- CaCl_2 als de verhouding P-Olsen over P- CaCl_2 ($r^2=0,89$ $n=17$).

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 2.6. De desorptie-isotherm van vier gronden, afgeleid door middel van 10 Fe-papierjes die achtereenvolgend in een grondsuspensie zijn geplaatst (Q_0 en C_0 zijn gelijk gesteld aan respectievelijk P-Olsen en P- CaCl_2). Voor grond 1, 2 en 4 is ook de desorptie-isotherm afgebeeld, afgeleid door middel van het onttrekken van P door Engels raaigras in een potexperiment.

van het onttrekken van P door Engels raaigras 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 2.6). (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 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

Het onderzoek is in 2007 en 2008 op een groot aantal praktijkbedrijven uitgevoerd op gras- en maïspcelen, waarbij de ondernemer meewerkt 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 maïspcelen, waarbij de pcelen 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 ruim 50 bedrijven geselecteerd. Deze bedrijven zijn schriftelijk gevraagd of men wilde deelnemen aan de proef. Op deze manier is het gelukt om voldoende bedrijven te werven. Op een enkel bedrijf na was men of deelnemer aan de proef op grasland of de proef op maïslan. Een groot deel van de pcelen deed zowel in 2007 als 2008 mee. Een deel van de 2007 pcelen viel in 2008 af door een gewijzigd gebruikt. Hiervoor zijn nieuwe pcelen gezocht.

Op de graspcelen van deelnemers zijn kleine blokkenproeven aangelegd, met meerdere 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 naast een basisgift dierlijke mest zinvol is om bij te bemesten met fosfaatkunstmest.

In de graslandproeven is de opbrengst en grassamenstelling van de 1^e en 2^e snede gemeten. Van de derde snede zijn versgrasmonsters genomen. Daarna werd de proef stopgezet.

In 2007 is naast standaard grondonderzoek voor een groot deel van de pcelen gedetailleerd grondonderzoek uitgevoerd (zie Hoofdstuk 4). 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 pcelen 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 is navolgende van de veldproeven en het grondonderzoek is in navolgende paragrafen weergegeven.

3.2 Uitvoering (detail) grondonderzoek

In 2007 zijn uit deelnemende gras- en maïspcelen 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 CaCl_2 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 CaCl_2 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- CaCl_2 .

3.3 *Uitvoering onderzoek*

3.3.1 Praktijkmonitoring 2007 en 2008

In voorjaar 2007 en 2008 zijn op 70 en 74 graspercelen op praktijkbedrijven met diverse grondsoorten en uit diverse regio's geselecteerd voor grondmonsterng. Het PAL getal varieerde veelal tussen 10 en 60. Het grondmonster is eerst regulier onderzocht (BLGG AgroXpertus).

Op het perceel wordt de reguliere P-bemesting toegepast, veelal vooral dierlijke mest (ongeveer 23 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Net voor de oogst van de 1^e snede is een versgrasmonster genomen. Door de veehouder is geregistreerd wanneer en hoeveel er is bemest en wanneer er is geoogst. Alleen de 1^e snede is gevolgd. Op deze manier kan een dataset gecreëerd met bodem-, bemestings- en gewasdata. Na de 1^e snede kan de veehouder het perceel normaal gebruiken.

3.3.2 Miniproeven

Opzet 2007

Op een tiental locaties (26 percelen) is een mini-blokkenproef aangelegd met 3 P-trappen en 2 herhalingen (Tabel 3.1). Dit geeft 156 veldjes (van 3 bij 10 m elk). De veldjes zijn gedurende de eerste 3 sneden gevolgd. Alle percelen kregen een basisbemesting met dierlijke mest (25-30 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$). Om drie P-trappen te krijgen vindt er een aanvulling plaats via kunstmestfosfaat (tripelsuperfosfaat). De P-trappen waren ± 22 (basisbemesting), 45 en 90 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (basisbemesting + kunstmest). Op één perceel is nog een extra blokkenproef aangelegd met dezelfde P-trappen vanuit enkel kunstmest. Op 3 locaties zijn er bovenop de P-trappen nog 2 N-trappen aangelegd (naast basisbemesting uit dierlijke mest aanvulling met 45 kg N ha^{-1}). In totaal zijn er 180 veldjes.

In de 2^e snede is de P-nawerking gemeten en is er alleen met kunstmeststikstof bemest. De N-, K- en S-bemesting was zoveel mogelijk conform het bemestingsadvies.

Zowel de grasopbrengst als de samenstelling van de 1^e en 2^e snede is gemeten. In de 3^e snede is alleen de versgrassamenstelling bepaald. Voor de aanleg en uitvoering van de werkzaamheden op het proefveldje is gebruik gemaakt van een proefveldendienst (Duma Fieldtrial Services). Door op meerdere locaties proeven aan te leggen kunnen meer algemeen geldende uitspraken worden gedaan over de NP-respons van grasland in relatie tot P in de bodem (intensiteit, capaciteit en nalevergedrag).

Opzet 2008

In 2008 is de blokkenproef in uitgebreidere opzet herhaald. Daarbij zijn op elk perceel de 3 P-trappen gecombineerd met 2 N-trappen. Grotendeels deden dezelfde percelen (22) mee als in 2007, aangevuld

met 10 nieuwe percelen. Per perceel werd de proef in enkelvoud aangelegd, waarbij de locaties als herhalingen werden beschouwd. Voor het schatten van de “restvariantie” per perceel zijn de “0” veldjes in tweevoud aangelegd (64 veldjes extra). Dit geeft 8 veldjes (van 3 bij 10 m elk) per locatie en in totaal 256 veldjes. Deze zijn gedurende de 1^e en 2^e snede gevolgd. Zowel de grasopbrengst als de grassamenstelling is gemeten. Voor de aanleg en uitvoering van de werkzaamheden op het proefveldje is mede gebruik gemaakt van een proefveldendienst (Duma Fieldtrial Services).

Tabel 3.1. Overzicht van het aantal locaties bij de miniproeven op grasland

	Snede 1	Snede 2	Snede 3
2007			
Locaties	10	9	7
Percelen	26	24*	19*
P-trappen	3	1	1
N-trappen	2 (op 3 percelen)	1	1
Herhalingen	2	2	
Aantal records	180	162	
2008			
Locaties	14	14	
Percelen	32	30*	
P-trappen	3	1	
N-trappen	2	1	
Herhalingen	1	1	
Aantal records	256	240	

* afname aantal locaties door weidende koeien

Overige data

Fosfaatbemesting heeft naast een opbrengsteffect in het algemeen ook een sterk effect op het P-gehalte van gras. Daarnaast heeft het weerjaar ook effect op de P-respons. Het proefjaar 2007 kende zeer droge omstandigheden tijdens de groeiperiode van de 1^e snede. Daarom zijn 1^e snede data met betrekking tot het P-gehalte aangevuld met data uit andere proeven (die gelopen hebben tussen 1999 en 2008) om zo een eventueel effect van weerjaar op het P-gehalte minder uitgesproken tot uiting te laten komen. Het betreft gegevens uit NMI-proeven (Bussink et al., 2008a en b; 2009) en niet gepubliceerde monitoring gegevens waarvan de bemesting voor de 1^e snede, het grondonderzoek

Tabel 3.2. Aantal records per jaar (en gemiddeld P-gehalte) en het aantal records per grondsoort met grondanalyse, bemestingsdata en gewasanalyse van de 1^e snede.

Jaar	n	Gem. P-gehalte (g kg ⁻¹ ds)	Grondsoort	n
1999	109	4,428	zand	530
2000	7	4,614	zeeklei	150
2001	29	3,979	rivierklei	166
2002	16	4,25	maasklei	18
2005	10	4,65	dalgrond	8
2006	178	3,424	veen	97
2007	351	3,419	venige klei	7
2008	325	3,779	löss	44
			IJsselmeergrond	8

(inclusief PPAE) en de gewasanalyse van de 1^e snede bekend is. Deze data zijn samengevoegd met de gegevens uit paragraaf 3.3.1 en 3.3.2. In totaal zijn er 1025 records (zie Tabel 3.2 en Bijlage 2).

3.4 Databewerking en statistische analyse van de resultaten

3.4.1 Algemeen

De meetdata uit de grasproeven zijn bewerkt tot een databestand met grond-, bemestings-, gewasopbrengst en gewaskwaliteitsgegevens. Dit is gedaan voor zowel de monitoring als de miniproeven. Deze gegevens zijn daarna gescreend op uitbijters c.q. “foutieve waarnemingen” (bijvoorbeeld typefouten). Daarbij is gebruik gemaakt van het statistisch pakket Genstat (1993). Aansluitend zijn de data statistisch geanalyseerd met Genstat. In eerste instantie is voor de miniproeven nagegaan of er effecten waren van de P-bemesting op de gewasopbrengst van de 1^e en 2^e snede. Aansluitend is getracht om 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 omtrent fosfaatbeschikbaarheid (Van Rotterdam-Los, 2010).

Voor de monitoringproeven is nagegaan of een relatie is tussen het P-gehalte en bodem- en bemestingskenmerken. Aansluitend zijn de miniproeven en de monitoringproeven integraal geanalyseerd met betrekking tot het P-gehalte van gras in de 1^e en 2^e snede. Daarbij is de dataset uitgebreid met data uit andere proeven waarin van de 1^e snede het P-gehalte, de bemesting en het grondonderzoek bekend was. Er is een weging toegepast. Indien, zoals bijvoorbeeld bij de miniproeven van 2008, er 8 waarnemingen zijn per perceel dan tellen deze waarnemingen voor 1/8 mee in de analyse. De aldus te verkrijgen relaties vormen de basis 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 wél van invloed zijn maar die níet 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, ras eigenschappen, 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 en P-gehalte. In de miniproeven gegevensset is daarbij gekeken naar het effect van:

1. N- en P- bemestingstrappen in de miniproeven op opbrengst en gehalten;
2. bodem- en bemestingsparameters op de opbrengst en P-gehalte; en

In de monitoringsgegevensset is daarbij gekeken naar het effect van:

3. bodem- en bemestingsparameters op het P-gehalte.

In de REML variantie componenten analyse zijn bij 2 en 3 daartoe een groot aantal bodem- en bemestingsparameters meegenomen en getoetst (Tabel 3.3). Ook interacties tussen parameters zijn meegenomen (voor zover relevant). De continue parameters hadden 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.

Als Random factoren zijn mee opgenomen bij:

1. Loc.Jaar.Perceel, het factorproduct van de factoren klantnummer (identificatie van de locatie), jaar van proefuitvoering en perceel
2. KlJr, het factorproduct van de factoren Klantnummer en Jaar
3. KlJr, het factorproduct van de factoren Klantnummer en Jaar

Tabel 3.3. Parameters die zijn meegenomen in de statistische analyse.

Modelparameter	Toelichting	Eenheid
• PPAE	fosfaat intensiteit	(mg P kg ⁻¹ grond)
• PAL	fosfaat capaciteit	(mg P ₂ O ₅ 100 g ⁻¹ grond)
• OS	= OS-gehalte	(%)
• pH		
• KPAE	kalium beschikbaarheid	(mg K kg ⁻¹ grond)
• MgPAE	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)
• of Ptot (=Pdm+Pkm)		(kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)
• Ndm	N-dierlijke mest	(kg N ha ⁻¹)
• Nkm	N-kunstmest rij	(kg N ha ⁻¹)
• of Ntot (=Ndm+Nkm)		(kg N ha ⁻¹)
• Kkm	K-kunstmest	(kg K ₂ O/ha)
• Kkm	K-dierlijke mest	(kg K ₂ O ha ⁻¹)
• Mgkm	K-kunstmest	(kg MgO ha ⁻¹)
• NLV	stikstofleverend vermogen	(kg N ha ⁻¹)
• Grondsoort (zand,zeeklei, rivierklei, maasklei, veen, löss)		

3.4.3 Niet lineaire regressie bij de overall analyse

Er is een groot verschil in opbrengstniveaus tussen locaties (0,9-7 ton ds ha⁻¹). Met REML kan hiervoor gecorrigeerd worden. Tegelijkertijd is bekend dat respons van gras 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 drogestofopbrengst en P-gehalten van 2007 en 2008, waarbij gecorrigeerd is voor locatie effecten (het verschil in productiepotentieel tussen verschillende locaties als gevolg van bijvoorbeeld verschillen in de vochtvoorziening, 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

$DS_{POT_Locatie_y}$ = 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 wordt de potentiële productiecapaciteit geschat van een locatie en wel zodanig dat het product van potentiële productie en een correctieterm ($1-e^F$) gelijk is aan de gerealiseerde productie (DS_{ACT}). 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 in F worden als exponent geschat zodat alle richtingscoëfficiënten positief zijn, terwijl coëfficiënten $a, b, \dots, i$ negatief zijn.

De modelresultaten worden naast $R^2_{adjusted}$ beoordeeld op basis 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:

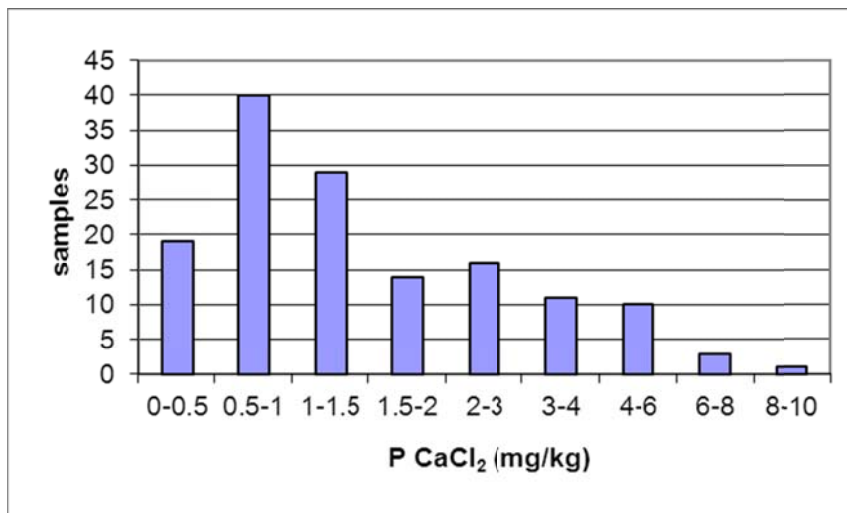
$$AIC = deviance + 2 \times r = 2k - 2\ln(L)$$

Van de 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, maar bevat ook een boete die een stijgende functie is van het aantal geschatte parameters. 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).

4 Resultaten detailgrondonderzoek

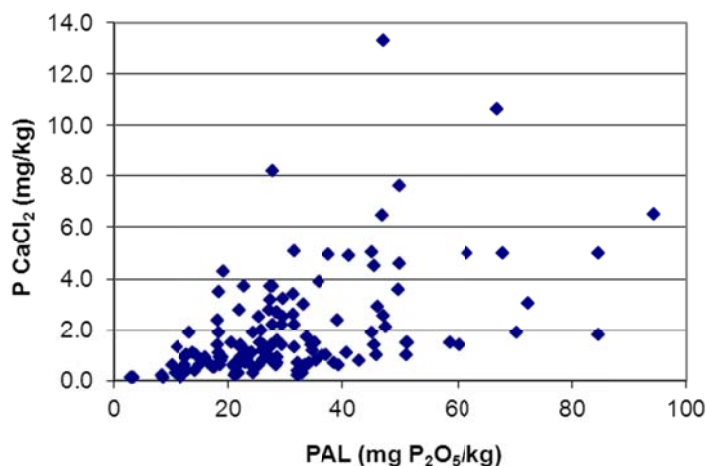
4.1 Relatie PAL en P-CaCl₂

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 concentratiegebied van 0,5-1,5 mg kg⁻¹.



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

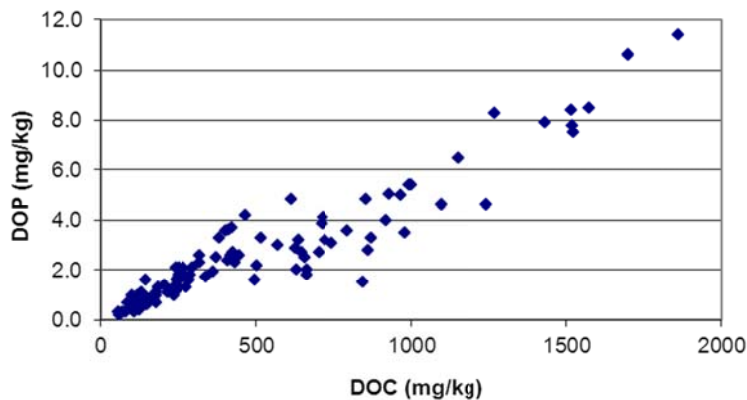
De gronden verschillen ook sterk in PAL gehalten en variëren van 3-180 mg kg⁻¹ P₂O₅. Er is echter nagenoeg geen relatie tussen de gronden ten aanzien van PAL en P-CaCl₂. In Figuur 4.2 is P-CaCl₂ weergegeven als functie van PAL. Duidelijk is te zien dat er gronden zijn met een lage directe P-beschikbaarheid 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⁻¹ 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.

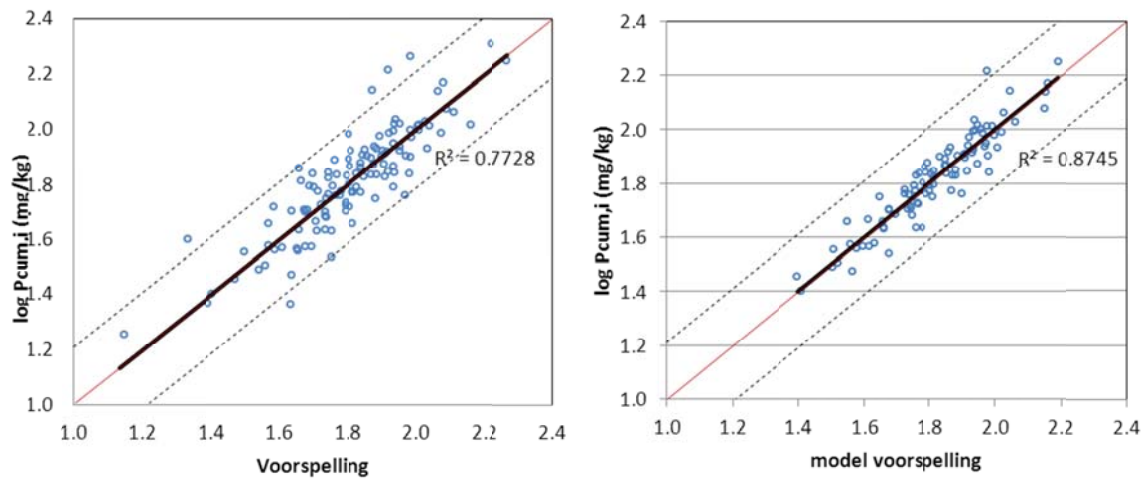


Figuur 4.3. De opgeloste hoeveelheid geëxtraheerde P (DOP) als functie van de hoeveelheid geëxtraheerde organische (kool)stof (DOC).

De rol van DOP in de opname van P voor planten is niet bestudeerd en ligt buiten de scope 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) (r²=0,77). Door nu tevens de log organische stof mee te nemen wordt een nog betere correlatie gevonden (r²=0,87). Door alleen P-CaCl₂ of alleen PAL te gebruiken worden veel minder goede relaties gevonden (resp. r²=0,62 en 0,61).



Figuur 4.4. De gemeten $P_{cum,i}$ als functie van log BP (PAL/P- $CaCl_2$), log P- $CaCl_2$ (a) en als functie van log BP (PAL/P- $CaCl_2$), log P- $CaCl_2$ 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 graslandproeven

5.1 Overzicht grondanalyse en bemesting

De 58 percelen hebben een ruime bandbreedte in bodemparameters (Tabel 5.1 en Bijlage 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 28 kg P₂O₅/ha gegeven via de dierlijke mest. De kaligift bedroeg gemiddeld ongeveer 132 kg K₂O ha⁻¹ met duidelijke verschillen tussen locaties. De stikstofbemesting was relatief hoog met gemiddelde bijna 120 kg N ha⁻¹.

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

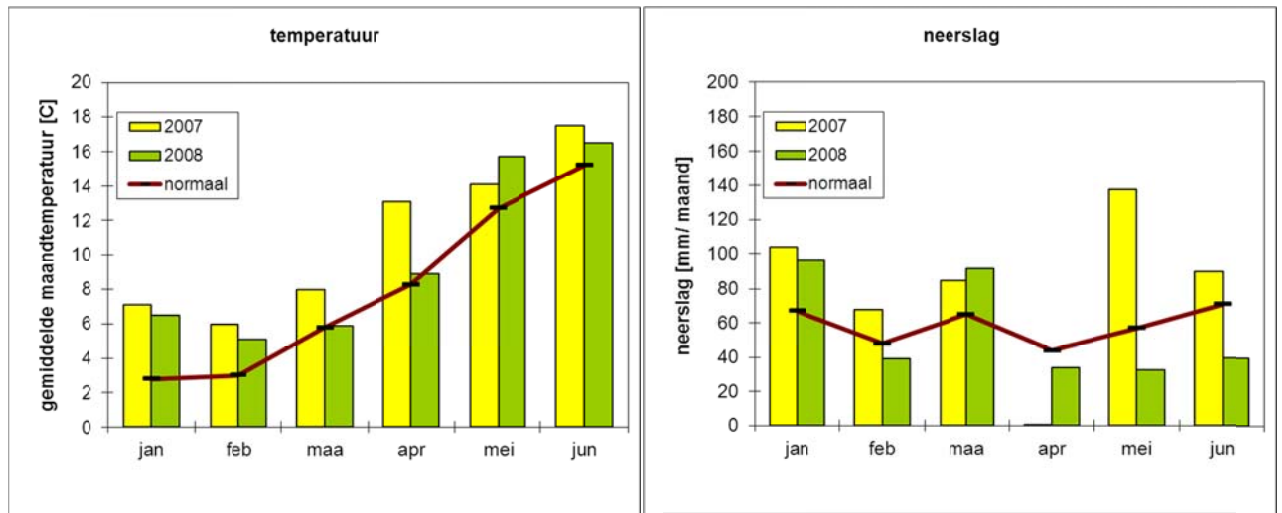
Parameter	n	Ontbrekende						
		waarden	gemiddelde	mediaan	minimum	maximum	25 perc	75 perc
PPAE (mg P kg ⁻¹)	56	2	1,72	1,37	0,20	6,60	0,71	1,93
PAL (mg P ₂ O ₅ / 100 g ⁻¹)	58	0	31,8	27	11,0	111	17,0	38,0
pH	56	2	5,34	5,4	4,30	6,90	4,80	5,80
K (mg K kg ⁻¹)	55	3	113	91	24,0	275	79,0	141
NLV (mg N kg ⁻¹)	58	0	168	184	30,0	250	120	230
Lutum (%)	42	16	17,5	17,0	2,00	48	2,00	30,0
Pmest (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	58	0	28,2	23,0	0	112	16,8	29,9
Pkm (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	58	0	25,2	11,0	0	68	0	67,5
Nmest (kg N ha ⁻¹)	58	0	34,2	34,5	0	72,5	25,7	40,2
Ntot (kg N ha ⁻¹)	58	0	118	116	47,8	186	97,7	128
Ktot (kg K ₂ O ha ⁻¹)	58	0	132	111	0	312	94,5	167

Tabel 5.2. De verdeling van de grasproefpercelen over de grondsoorten.

Grondsoort	Aantal percelen
Zand	30
Zeekei	8
Rivierklei	12
Maasklei	1
Veen	2
Löss	3

5.2 Weergegevens

De gewasgroei wordt in belangrijke mate bepaald door het weersverloop gedurende het groeiseizoen. Uit de weersgegevens van het KNMI (www.knmi.nl) blijkt dat januari, februari en maart zowel in 2007 als 2008 zacht en zeer nat waren. Daardoor kon pas laat bemest worden (half maart tot begin april). Vervolgens was het in 2007 vanaf 22 maart tot 7 mei zeer droog en zeer warm met in april vrijwel geen neerslag. Mei en juni waren daarentegen zeer nat en vrij warm. In 2008 waren april mei en juni normaal tot vrij warm en beduidend droger dan normaal.



Figuur 5.1 Gemiddelde maandtemperaturen en maandelijkse neerslaghoeveelheden gedurende de groeiseizoenen van 2007 en 2008, vergeleken met 'normaal'. 'Normaal' = langjarig gemiddelde 1971-2000. Bron gegevens: www.knmi.nl.

Droge omstandigheden bemoeilijken de opname van fosfaat, hetgeen ook blijkt uit de P-gehalten. Het P-gehalte van de 1^e snede bedroeg gemiddeld 3,38 en 3,71 g P kg⁻¹ ds in respectievelijk 2007 en 2008. De groeiperiode van de 2^e snede in 2008 was droog. Het P-gehalte van de 2^e snede bedroeg gemiddeld 3,77 en 3,22 g P kg⁻¹ ds in respectievelijk 2007 en 2008.

5.3 Het effect van fosfaat- en stikstofbemesting in de miniproeven

Uit Tabel 5.4 en Tabel 5.4 blijkt dat P-bemesting geen significant effect heeft op de grasopbrengst van de 1^e en 2^e snede in 2007 en 2008, met uitzondering van de 2^e snede in 2007. De hoogste P-trap liet een meeropbrengst zien van 193 kg ds ha⁻¹. De grasopbrengstniveaus verschillen wel duidelijk tussen jaren. In 2007 is het gras van de 1^e snede gemiddeld in wat later groeistadium gemaaid dan in 2008. Voor de 2^e snede geldt het omgekeerde.

Tabel 5.3. Het effect van het P-niveau (Ptrap= 22, 45 en 90 kg P₂O₅ ha⁻¹) op de ds-opbrengst, de P-opbrengst, het P-gehalte en het RE-opbrengst van de 1^e snede in 2007 en 2008.

Jaar	Ptrap 1 ^e snede		
	22	45	90
ds-opbrengst (kg ds ha⁻¹)			
2007	3.418a	3.417a	3.387a
2008	4.458b	4.430b	4.511b
P-opbrengst (kg P ha⁻¹)			
2007	10,98a	11,57b	12,09c
2008	16,05d	16,66e	17,75f
P-gehalte (g P kg⁻¹)			
2007	3,213a	3,397b	3,592c
2008	3,587c	3,753d	3,928e
RE-opbrengst (kg RE ha⁻¹)			
2007	615,4a	611,6a	621,3a
2008	673,9b	678,4b	675,1b

Tabel 5.4. Het effect van het P-niveau (Ptrap= 22, 45 en 90 kg P₂O₅ ha⁻¹) op de ds-opbrengst, de P-opbrengst, het P-gehalte en het RE-opbrengst van de 2^e snede in 2007 en 2008.

Jaar	Ptrap 1 ^e snede		
	22	45	90
<u>Ds-opbrengst (kg ds ha⁻¹)</u>			
2007	3.302b	3.39bc	3.495c
2008	2.474a	2.498a	2.473a
<u>P-opbrengst (kg P ha⁻¹)</u>			
2007	11,15c	12,01d	12,76e
2008	7,70a	7,89ab	8,11b
<u>P-gehalte (g P kg⁻¹)</u>			
2007	3,614c	3,756d	3,900e
2008	3,155a	3,21ab	3,327b
<u>RE-opbrengst (kg RE ha⁻¹)</u>			
2007	554,9c	572,0d	585,6e
2008	351,7a	364,2b	350,2a

Het niveau van P-bemesting heeft een significant effect op het niveau van het P-gehalte en de P-opbrengst van de 1^e en 2^e snede in 2007 en 2008. Opvallend is dat het P-gehalte van de 1^e snede duidelijk lager is dan in 2008, ondanks de lager snede opbrengst. Dit is het gevolg van een zeer droge periode van eind maart tot begin mei 2007 waardoor P minder goed beschikbaar is. In de 2^e snede was het omgekeerde het geval. Het P-gehalte in 2008 duidelijk lager dan in 2008. In 2008 was de groeiperiode van de 2^e snede (de meimaand) zeer droog in tegenstelling tot die van 2007 (Figuur 5.1). In 2007 is van de derde snede het P-gehalte bepaald. Dit bedroeg respectievelijk 3,67, 3,81 en 4,06 g P kg⁻¹ voor Ptrap 22, 45 en 90 en was significant van elkaar verschillend.

Tabel 5.5. Het effect van het N-niveau (N1 en N2) op de ds-opbrengst, de P-opbrengst, het P-gehalte en het RE-opbrengst in 2007 en 2008.

	1 ^e snede		2 ^e snede	
	N1	N2	N1	N2
<u>Ds-opbrengst (kg ds ha⁻¹)</u>				
2007*	2.922a	3.450b	3.313b	3.407b
2008**	4.307c	4.626d	2.489a	2.473a
<u>P-opbrengst (kg P ha⁻¹)</u>				
2007*	9,22a	11,76b	11,71a	12,01a
2008**	16,13d	17,51c	7,98a	7,82a
<u>P-gehalte (g P kg⁻¹)</u>				
2007*	3,188a	3,419b	3,750b	3,757b
2008**	3,724c	3,788d	3,262a	3,199a
<u>RE-opbrengst (kg RE ha⁻¹)</u>				
2007*	387,3a	635,3b	536,9b	574,6b
2008**	628,3b	723,6c	348,7a	362,2a

* 1^e snede gemiddeld N1 =57 kg N ha⁻¹ en N2=111 kg N ha⁻¹, 2^e snede gemiddeld 59 kg N ha⁻¹

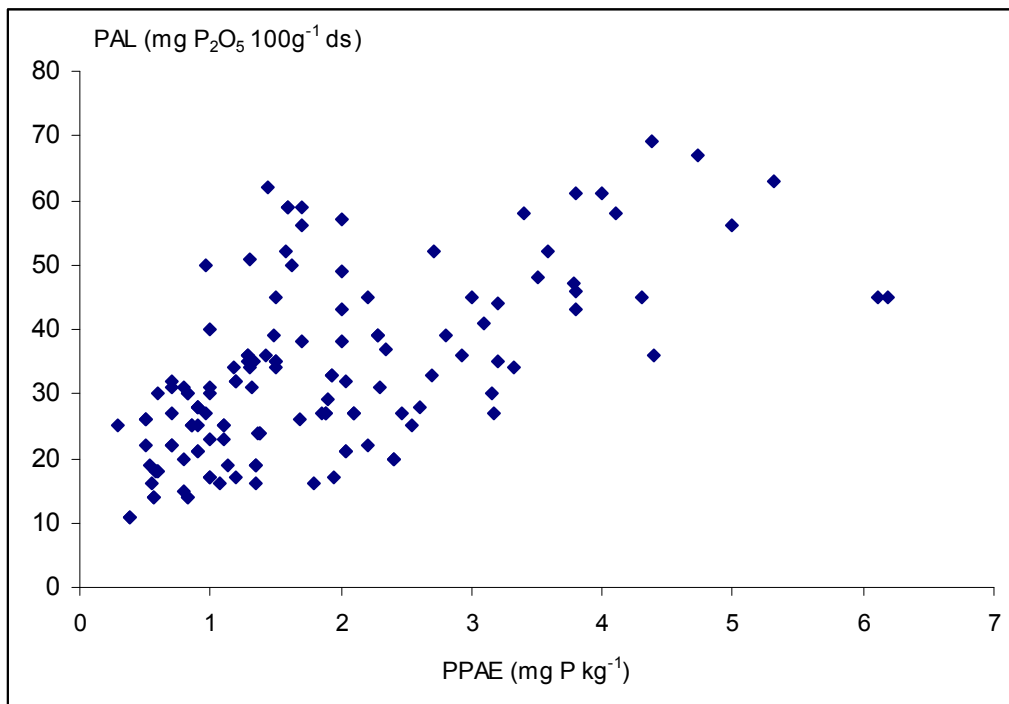
** 1^e snede gemiddeld N1 = 112 N ha⁻¹ en N2=150 kg N ha⁻¹, 2^e snede gemiddeld 53 kg N ha⁻¹

Het niveau van P-bemesting heeft een significant effect op het niveau van het RE-opbrengst van de 2^e snede in 2007 en 2008. Meer P geeft een hogere RE-opbrengst.

Op een deel van de locaties in 2007 en op alle locaties van 2008 waren twee N-niveaus aanwezig. Uit de analyse bleek dat er geen interactie was tussen N-niveau en P-niveau voor zowel ds-opbrengst, P-gehalte, P-opbrengst en RE-opbrengst (Tabel 5.5). Een hogere N-bemesting in de 1^e snede (respectievelijk 54 kg en 38 kg N ha⁻¹ in 2007 en 2008) geeft een significant hogere ds-opbrengst, P-gehalte, P-opbrengst en RE-opbrengst zowel in 2007 als 2008. Er was geen significante nawerking van de hogere N-gift in de 1^e snede op ds-opbrengst, P-gehalte, P-opbrengst en RE-opbrengst, zowel in 2007 als 2008. In de 2^e snede was de N-bemesting op elk veldje van een perceel gelijk en bedroeg deze gemiddeld respectievelijk 59 kg en 53 kg N ha⁻¹ in 2007 en 2008.

5.4 Versgras analyses 1^e snede

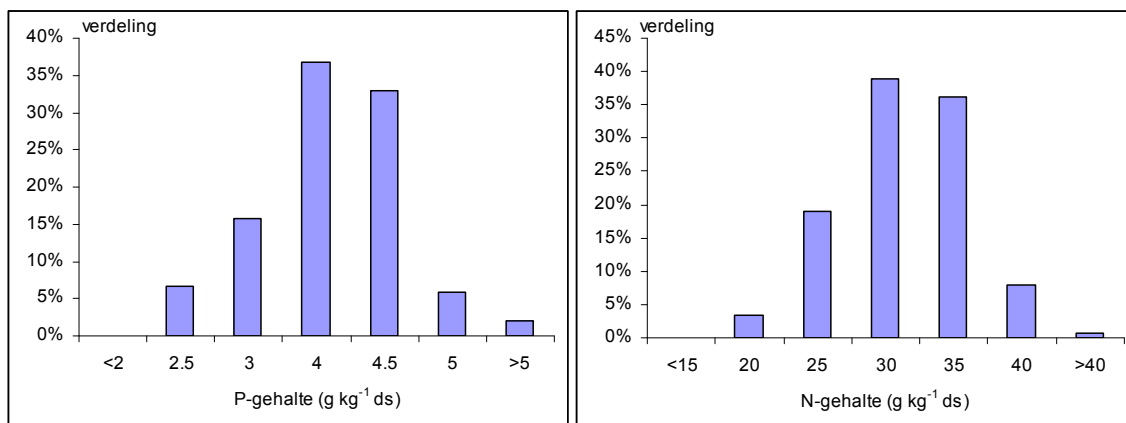
In 2007 en 2008 zijn monsters genomen van de 1^e snede van praktijkpercelen waarvan de bemesting en het grondonderzoek bekend was. In totaal zijn 144 monsters verkregen. Van 7 monsters ontbraken er een aantal parameters zodat er uiteindelijk 137 monsters overbleven. Deze monsters kenden een ruime variatie in bodemtoestand zoals blijkt uit Figuur 5.2.



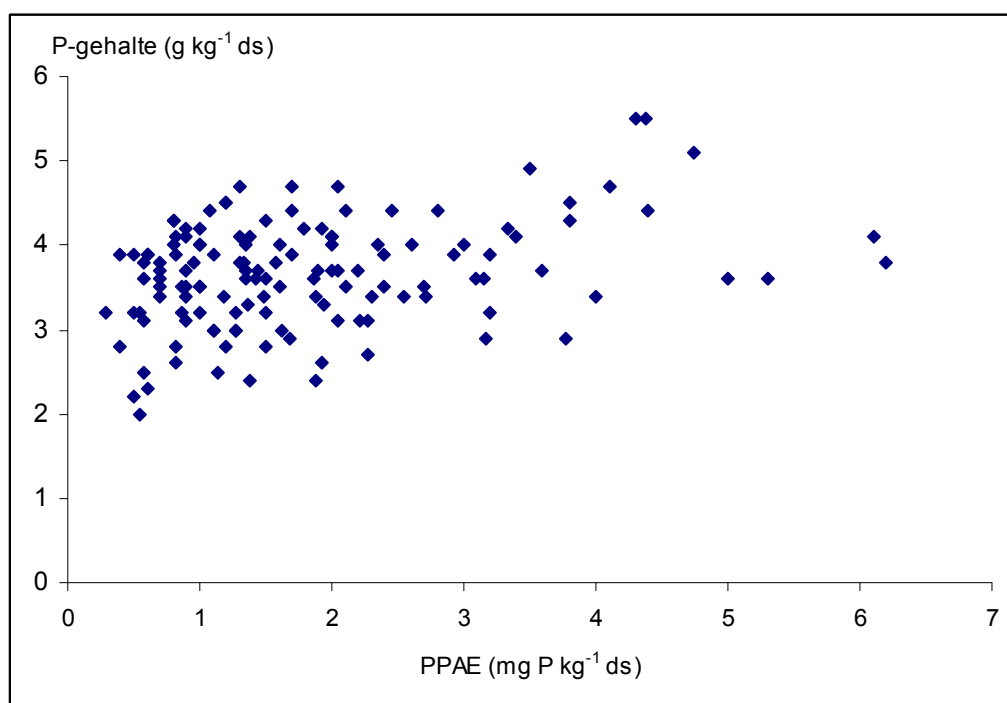
Figuur 5.2. De PAL en PPAE van 137 praktijkpercelen.

De minerale samenstelling van het gras varieerde eveneens sterk zoals blijkt Figuur 5.3. Ongeveer 5% van de monsters had een P-gehalte van minder dan 2,5 g kg⁻¹ ds, hetgeen laag is. Bijna 10% van de monsters had daarentegen een P-gehalte van 5 g kg⁻¹ ds of meer, hetgeen hoog is. Het N-gehalte varieerde eveneens sterk.

Het P-gehalte uitgezet tegen PPAE laat zien dat er zwak verband is tussen alleen PPAE en P-gehalte van het gras (Figuur 5.4). Andere factoren als bijvoorbeeld de N-bemesting en het opbrengststadium zijn eveneens van invloed (zie verderop).



Figuur 5.3. De frequentie verdeling van het P- en N-gehalte van 137 1^e snede grasmonsters uit 2007 en 2008.



Figuur 5.4. De frequentie verdeling van het P- en N-gehalte van 137 1^e snede grasmonsters uit 2007 en 2008.

5.5 Statistische analyse effect bodem- en bemestingsparameters op opbrengst en P-gehalte

5.5.1 Variantiecomponenten analyse

De miniproeven zijn in eerste instantie ter oriëntatie geanalyseerd met variantiecomponenten analyse. Daarbij is drogestofopbrengst, en wel "ln(drogestofopbrengst)", gemodelleerd op basis van bodem- en bemestingsparameters. Daarbij zijn voor zowel ds-opbrengst van de 1^e snede als het P-gehalte in gras van de 1^e snede twee modellen ontwikkeld"

- model 1 en 3 zijn gebaseerd op PPAE en ratio (=PAL/PPAE); en
- model 2 en 4 zijn gebaseerd op PAL.

Dit verkregen modellen bevatten veel modeltermen:

Model 1 (ds-opbrengst):

$$\begin{aligned} \text{FIXED} = & \text{Constant} + (\text{Pdm} + \text{Ndm} + \text{Nkm}) * \ln \text{PPAE} + \ln \text{KPAE} + \text{OS} * (\ln \text{PPAE} + \text{Ndm} + \text{Kdm}) \\ & + \ln \text{ratio} * \text{Grond} + \text{Ndm} * (\text{Kdm} + \text{Ndm}) + (\text{Ndm} + \ln \text{KPAE}) * \text{pH} \\ & + \ln \text{NLV} * (\text{Ndm} + \text{Ndm} + \ln \text{ratio} + \text{Kdm}) \end{aligned} \quad \text{vgl. (1)}$$

$$\text{RANDOM} = \text{KIJr}$$

$$R^2_{\text{adj}} = 80,54\%$$

Model 2 (ds-opbrengst):

$$\begin{aligned} \text{FIXED} = & \text{Constant} + (\text{Pdm} + \text{Ndm} + \text{Nkm}) * \ln \text{PAL} + \ln \text{KPAE} + \text{OS} * (\ln \text{PAL} + \text{Ndm} + \text{Kdm}) \\ & + \ln \text{PAL} * \text{Grond} + \text{Ndm} * (\text{Kdm} + \text{Ndm}) + (\text{Ndm} + \ln \text{KPAE}) * \text{pH} \\ & + \ln \text{NLV} * (\text{Ndm} + \text{Ndm} + \text{Kdm}) \end{aligned} \quad \text{vgl. (2)}$$

$$\text{RANDOM} = \text{KIJr}$$

$$R^2_{\text{adj}} = 75,17 \%$$

Model 3 (P-gehalte):

$$\begin{aligned} \text{FIXED} = & \text{Constant} + \ln \text{PPAE} * (\text{Pdm} + \ln \text{KPAE} + \text{Kdm} + \text{OS} + \text{Grond}) \\ & + \text{Nkm} + \ln \text{NLV} * \ln \text{ratio} + \text{Pdm} * \text{pH} + \text{Grond} * \text{Pkm} \end{aligned} \quad \text{vgl. (3)}$$

$$\text{RANDOM} = \text{KIJr}$$

$$R^2_{\text{adj}} = 64,44\%$$

Model 4 (P-gehalte):

$$\text{FIXED} = \ln \text{PAL} * (\text{Pdm} + \text{Ndm} + \text{OS} + \text{Grond}) + \text{Ndm} + \ln \text{KPAE} * \text{pH} + \text{Pkm} * \text{Grond} \quad \text{vgl. (4)}$$

$$\text{RANDOM} = \text{KIJr}$$

$$R^2_{\text{adj}} = 57,78\%$$

Uit model 1 en model 3 blijkt dat het percentage verklaarde variantie beduidend hoger is op basis van PPAE en ratio dan op basis van alleen PAL (model 2 en 4). Vanwege de vele modeltermen in vooral model 1 en 2, waarschijnlijk mede een gevolg van een zwak effect van P-bemesting op de grasopbrengst, is besloten over te gaan naar niet-lineaire multiple regressie.

5.5.2 Niet-lineaire multiple regressie analyse

Ds-opbrengst

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 fosfaatbodemkengetallen en de fosfaat- en stikstofbemesting.

Bij de niet-lineaire multiple regressie is een dubbel exponentieel model ontwikkeld zoals beschreven in paragraaf 3.3.3., waarbij de drogestofopbrengst of het P-gehalte verklaard worden uit een aantal bodem- en bemestingsparameters:

$$D_{\text{ACT_locatie}_y} = D_{\text{POT_Locatie}_y} \times (1 - e^{-F}) \quad \text{(vgl. 5)}$$

$$P_{\text{ACT_locatie}_y} = P_{\text{POT_Locatie}_y} \times (1 - e^{-F}) \quad \text{(vgl. 6)}$$

Met

F = dervingsfactor, welke is opgebouwd uit bodemeigenschappen en bemesting

Voor het modelleren van de drogestofopbrengst op basis van vgl. 5 zijn voor F voor de 1^e snede de navolgende relaties voor de dervingsfactor F gebruikt:

$$F1 = -e^a \times \ln(PPAE) - e^b \times \ln(\text{ratio}) - e^c \times P_{\text{tot}} - e^d \times (\text{werkzame Ngift})$$

$$F2 = -e^a \times \ln(PPAE) - e^c \times P_{\text{tot}} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^e \times \text{NLV}$$

$$F3 = -e^a \times \text{PAL} - e^f \times P_{\text{km}} - e^g \times P_{\text{dm}} - e^d \times (\text{werkzame Ngift})$$

$$F4 = -e^a \times \text{PAL} - e^c \times P_{\text{tot}} - e^d \times (\text{werkzame Ngift})$$

DS_{POT_Locatie} is geschat voor alle combinaties van locatie en jaar (in totaal 28 combinaties). Er zijn 9-11 uitbijters. Het model voor vgl. 5 zonder de term $(1-e^F)$, het lege model, verklaart 66,8% van de variantie. Met de term $(1-e^F)$ wordt bij model F1, F2, F3 en F4 slechts een paar procent meer verklaard (Tabel 5.6). Andere parameters (waaronder grondsoort) waren niet significant. Voor de 2^e snede kon geen model worden ontwikkeld op basis van vgl.5.

Tabel 5.6. De modelcoëfficiënten met s.e. voor de drogestofopbrengst van de 1^e snede.

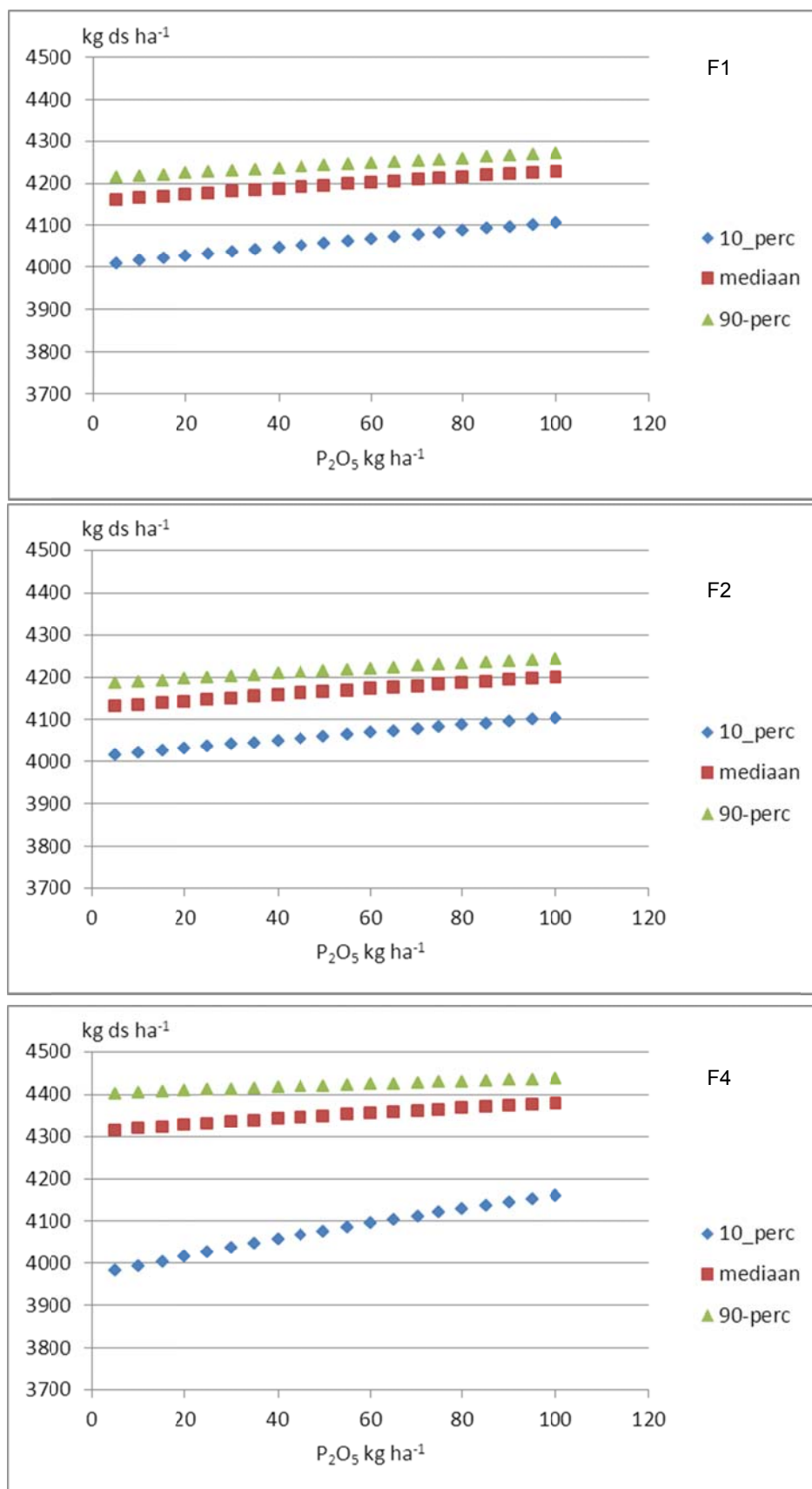
Coëfficiënt	Model dervingsfactor							
	F1		F2		F3		F4	
	r.c	s.e.	r.c	s.e.	r.c	s.e.	r.c	s.e.
a	-1,106	0,505	-1,779	0,927	-2,755	0,277	-2,812	0,290
b	-1,572	0,510						
c	-6,07	1,100	-6,16	1,20			-5,417	0,790
d	-4,194	0,444	-4,392	0,481	-4,472	0,346	-4,525	0,278
e			-5,915	0,610				
f					-6,28	1,89		
g					-4,483	0,808		
n	410*		408*		426**		426	
R ² _{adj} (%)	69,1		69,2		69,5		69,5	

* initieel 419 records met respectievelijk 9 en 11 uitbijters (van enkel percelen ontbraken de PPAE waarden).

** initieel 436 records met respectievelijk 10 uitbijters.

Bij de modellen F1 en F2 is nagegaan of de werking van dierlijke mest (50% van die van kunstmest) en die van kunstmest verschilde. Dit bleek niet het geval te zijn. Het opnemen van de som van de werking dierlijke mest en kunstmest (P_{tot}) leidde tot modellen net significant beter waren op basis van het Akaike criterium. Bij F3 lijkt dierlijke mest wel significant. Echter het opnemen van de som van de werking dierlijke mest en kunstmest (P_{tot}) leidde tot eenzelfde percentage verklaarde variantie en een lagere Akaike. Op basis van deze bevindingen zijn er geen aanwijzingen dat de werking van dierlijke mest voor de 1^e snede afwijkt van 50%.

In onderstaande figuur is voor de modeldervingsfactoren F1, F2 en F4 weergegeven wat het effect van fosfaatbemesting is op de opbrengst. De potentiële opbrengst is daarbij op 4500 kg ds ha⁻¹ gesteld. Bij deze opbrengst wordt bij invullen in het model van de mediane waarden ongeveer de gemiddelde gerealiseerde opbrengst uit de proeven (4090 kg ds ha⁻¹) teruggevonden. Het effect van P-bemesting op de opbrengst is beperkt. Bij een lage toestand (de 10_{perc}) geeft 100 kg fosfaatbemesting



Figuur 5.5. Het effect van P-bemesting bij F1, F2, en F4 op de opbrengst bij een mediane Ngift van 119 kg N ha⁻¹ bij 3 P-toestanden; 10_perc. (PPAE= 0,32, PAL=14), de mediaan (PPAE= 1,67, PAL=31) en de 90_perc (PPAE= 4,03, PAL=42) voor de miniproefgegevens uit 2007 en 2008.

ongeveer 100-150 kg meeropbrengst. Het opbrengstniveau bij het 90_perc is bij ongeveer 200 kg ds ha⁻¹ lager dan bij F4. Deze verschillen zijn mogelijk het gevolg de geringere verbetering in de verklaarde variantie door fosfaattoestand en bemesting mee te nemen ten opzichte van een leeg model.

Er is een duidelijk effect van de fosfaattoestand op het opbrengstniveau. Dit komt het sterkst naar voor in model F4 met als fosfaatparameter PAL. Bij een lage toestand (10_perc) is de opbrengst 300 kg lager dan bij de mediane toestand. Bij de modellen F1 en F2 is dit ongeveer 150 kg ds ha⁻¹. Met 100 kg P-bemesting per ha is het effect van een lage toestand (10_perc) maar beperkt te verhogen en blijft deze lager dan die bij de mediane toestand zonder fosfaatbemesting. Voor een optimale productie is minimaal PAL 30 gewenst om een opbrengst te realiseren die gelijk is aan een hoge toestand zonder P-bemesting. Dat het effect van een lage toestand niet gecompenseerd kan worden door een hoge bemesting is eerder gevonden (Den Boer et al., 1995).

P-gehalte 1^e en 2^e snede

Voor het modelleren van het P-gehalte zijn als opties voor F op basis van vgl. 6 voor de 1^e snede de volgende relaties gebruikt:

$$\begin{aligned}
 F5 &= -e^a \times \text{PPAE} - e^b \times \text{ratio} - e^f \times \text{Pkm} - e^g \times \text{Pdm} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^h \times \text{pH} \\
 F6 &= -e^a \times \text{PPAE} - e^b \times \text{ratio} - e^c \times \text{Ptot} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^h \times \text{pH} - e^i \times \text{effGrond} \\
 F7 &= -e^a \times \text{PAL} - e^f \times (\text{Pkm}) - e^g \times (\text{Pdm}) - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^h \times \text{pH} \\
 F8 &= -e^a \times \text{PAL} - e^c \times \text{Ptot} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^h \times \text{pH} - e^i \times \text{effGrond}
 \end{aligned}$$

En als opties voor F voor vgl.6 voor de 2^e snede:

$$\begin{aligned}
 F9 &= -e^a \times \text{PPAE} - e^b \times \text{ratio} - e^c \times \text{Ptot} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^e \times \text{NLV} - e^h \times \text{pH} \\
 F10 &= -e^a \times \text{PAL} - e^c \times \text{Ptot} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^e \times \text{NLV} - e^h \times \text{pH}
 \end{aligned}$$

Voor de 1^e snede is P_{POT_Locatie_y} geschat voor alle combinaties van locatie en jaar (in totaal 28 combinaties). Er zijn 6 uitbijters. Het model voor vgl. 6 zonder de term (1-e^F), het lege model, verklaart 40,3% van de variantie. Met de term (1-e^F) wordt bij model F5, F6, F7 en F8 30-34% procent meer verklaard (Tabel 5.6). Naast de fosfaatbodemparemeters en de fosfaat - en stikstofbemesting heeft pH een significant effect op het P-gehalte. Bij de analyse bleek dat zeekleigrond zich afwijkend gedroeg van de andere grondsoorten. Daarop is het effect van grondsoort (zeeklei) meegenomen als factor in de

Tabel 5.7. De modelcoëfficiënten met s.e. voor het P-gehalte van de 1^e snede.

	Model F5		Model F6		Model F7		Model F8	
	r.c	s.e.	r.c	s.e.	r.c	s.e.	r.c	s.e.
a	-1,31	0,235	-1,895	0,363	-3,844	0,212	-4,565	0,323
b	-4,778	0,228	-5,31	0,345				
c			-6,405	0,333			-6,324	0,308
d	-7,222	0,597	-7,825	0,646	-6,543	0,445	-7,444	0,53
f	-5,815	0,205			-5,453	0,185		
g	-6,687	0,798			-6,77	1,07		
h	-2,635	0,208	-2,932	0,171	-2,233	0,153	-2,799	0,158
i			-1,221	0,234			-0,585	0,148
n	413*		413*		413		413	
R ² _{adj} (%)	73,5		74,5		70,0		72,9	

* initieel 419 records en 6 uitbijters.

analyse. Het meenemen van grondsoort heeft bij F8 een groter effect op dan bij F6. Het P-gehalte in gras is beter te voorspellen op basis van PPAE en ratio dan op basis van alleen PAL (zie F5 en F7).

Voor de 2^e snede is $P_{\text{POT_Locatie}_y}$ geschat voor alle combinaties van locatie en jaar (in totaal 28 combinaties). Er is 1 uitbijter. Het model voor vgl. 6 zonder de term $(1-e^F)$, het lege model, verklaart 76,4% van de variantie. Met de term $(1-e^F)$ wordt bij model F9 en F10 ongeveer 11% procent meer verklaard. De werkzame P-gift (Ptot) bij de 1^e snede is significant. De nawerking van P uit dierlijke mest van de 1^e snede voegt niets toe (logisch want het betreft een lineaire additie) en leidt dus niet tot een significante verbetering van de modellen bij F9 en F10.

Tabel 5.8. De modelcoëfficiënten met s.e. voor het P-gehalte van de 2^e snede.

Coëfficiënt	Modeldervingsfactor			
	F9		F10	
	r.c	s.e.	r.c	s.e.
a	-2,233	0,455	-4,528	0,429
b	-5,090	0,43		
c'	-6,421	0,404	-6,035	0,342
d	-7,212	0,609	-6,447	0,564
e	-7,378	0,494	-6,988	0,503
h	-2,619	0,144	-2,156	0,149
n	385*		385*	
R ² _{adj} (%)	87,2		86,1	

* initieel 386 records en 1 uitbijters.

P-gehalte 1^e snede van grasmonsters 1999-2008

Voor het modelleren van het P-gehalte zijn als opties voor F op basis van vgl. 6 voor de 1^e snede de volgende relaties gebruikt:

$$F11 = -e^a \times \ln(\text{PPAE}) - e^b \times \text{ratio} - e^c \times \text{Ptot} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^h \times \text{pH} - e^i \times \text{KPAE}$$

$$F12 = -e^a \times \text{PAL} - e^c \times \text{Ptot} - e^d \times (\text{werkzame Ngift}) - e^h \times \text{pH} - e^i \times \text{KPAE}$$

Tabel 5.9. De modelcoëfficiënten met s.e. voor het P-gehalte van de 1^e snede van grasmonsters 1999-2008.

Coëfficiënt	Model dervingsfactor			
	F11		F12	
	r,c	s,e,	r,c	s,e,
a	-0,695	0,169	-3,585	0,176
b	-4,929	0,259		
c'	-5,061	0,218	-4,965	0,229
d	-5,855	0,322	-5,963	0,395
h	-1,846	0,134	-2,619	0,364
i	-6,166	0,31	-5,82	0,247
n	952*		952*	
R ² _{adj} (%)	82,9		81,8	

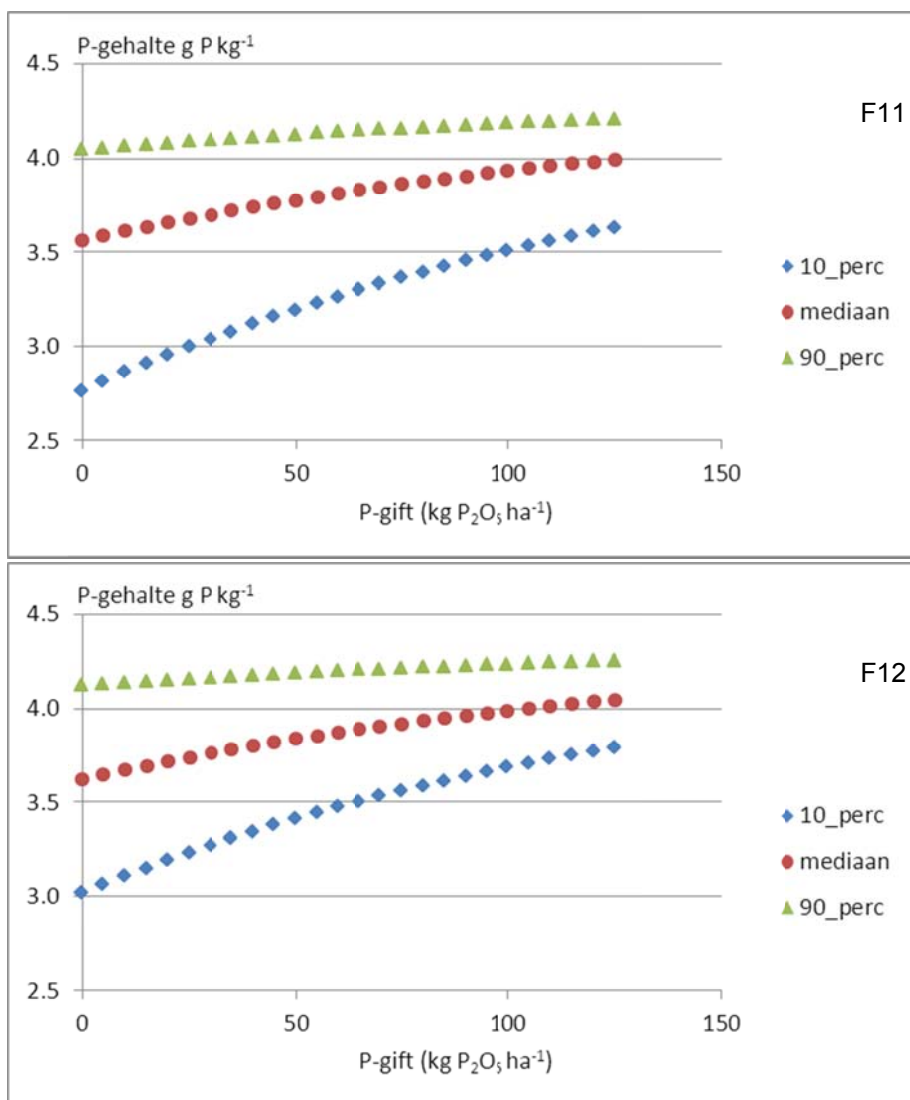
* initieel 986 records en 34 uitbijters

Voor de 1^e snede is $P_{\text{POT_Locatie}_y}$ geschat voor alle combinaties van locatie en jaar. Er zijn 34 uitbijters. P-bodemparameters en de P- en N-bemesting heeft pH en KPAE een significant effect op het P-gehalte. Den Boer et al. (2001) vonden in de analyse van gegevens van Praktijkcijferbedrijven eveneens dat een hogere pH een betere P-beschikbaarheid geeft. In latere studie kon dit niet eenduidig bevestigd worden. Ook Agterberg & Henkens (1995) noemen pH als een van invloed zijnde factor. Overigens is ook denkbaar dat de parameter pH de effecten van grondsoort deels ondervangt (bijvoorbeeld jonge zeeklei), waardoor geen effect van grondsoort wordt gevonden in tegenstelling tot de miniproef gegevens van 2007 en 2008. Een hogere K-toestand (KPAE) geeft op basis van model F11 en F12 een hoger P-gehalte gras. Dit is als volgt te verklaren; een groot aanbod van kationen in de bodem leidt tot een hoge K-opname van gras. Indien er veel kationen worden opgenomen dienen er ook meer anionen te worden opgenomen. Dit kan door een hogere opname van nitraat sulfaat of fosfaat. Lock et al. (2002) vonden in proeven met rietzwenkgras dat fosfaat de K-opname van gras stimuleerde. Ook correlatieberekeningen tussen P-gehalte en de minerale samenstelling toont aan dat er een positieve correlatie is tussen P-gehalte en het K-gehalte en het Mg-gehalte.

Het P-gehalte in gras is beter te voorspellen op basis van $\ln(\text{PPAE})$ en ratio dan op basis van alleen PAL. In Figuur 5.6 is voor de modelderivingsfactoren F11 en F12 weergegeven wat het effect van P-bemesting is op het P-gehalte. Het potentiële P-gehalte is daarbij op $4,35 \text{ ds kg}^{-1} \text{ ds}$ gesteld. Bij deze opbrengst wordt bij invullen in het model van de mediane waarden ongeveer het gemiddelde P-gehalte uit de proeven ($3,68 \text{ ds kg}^{-1} \text{ ds}$) teruggevonden. Uit de figuur blijkt dat bij F12 (op basis van PAL) lage P-gehalten minder goed worden meegenomen dan bij F11 (bij P-gift = 0 en 10_perc wordt respectievelijk een waarde van 2.77 en 3.02 voorspeld). De voorkeur wordt daarom gegeven aan F11, mede vanwege het hogere percentage verklaarde variantie (ook op basis van het Akaike criterium is model F11 significant beter dan model F12).

Model F11 laat verder zien dat bij een lage toestand (10_perc) er $100 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ nodig is om eenzelfde P-gehalte te realiseren als bij de mediane waarden. Er zou zelfs $260 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ nodig zijn om eenzelfde P-gehalte realiseren als bij de 90_perc zonder bemesting.

Verder geeft een hogere pH, of een hogere KPAE of een hogere N-gift een hoger P-gehalte in gras.

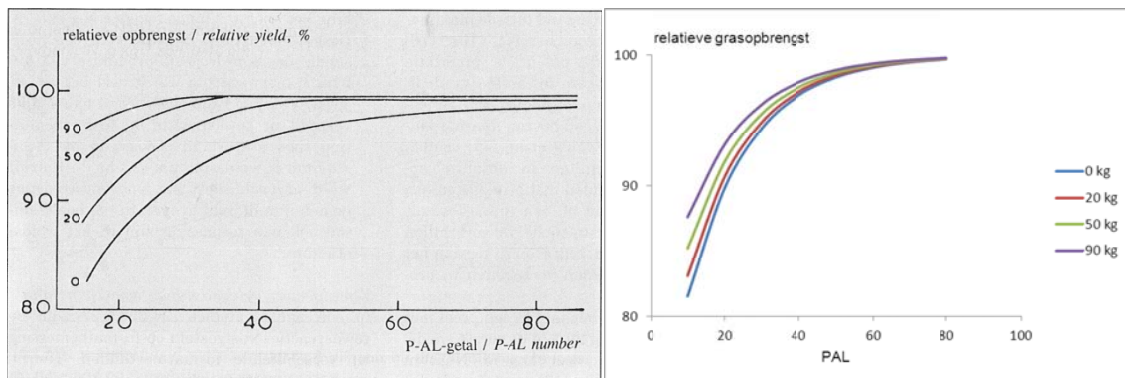


Figuur 5.6. Het effect van P-bemesting bij F11 en F12 op het P-gehalte bij 3 P-toestanden; 10_perc. (PPAE= 0,49, PAL=15,5, KPAE=46 en pH=4,6), de mediaan (PPAE= 1,54, PAL=30, KPAE=95 en pH=5,3) en de 90_perc (PPAE= 5,13, PAL=56, KPAE=226 en pH=6,2) voor gegevens van 1999-2008.

6 Discussie

6.1 De opbrengstrespons op P-bemesting nu en vroeger

De miniproeven laten over alle locaties heen zien dat een aanvullende P-bemesting met kunstmest na een basisgift dierlijke mest geen effect heeft op de drogestofopbrengst van de 1^e snede (Tabel 5.3 en Tabel 5.4). Nadere analyse laat zien dat het effect van P-bemesting afhankelijk is van de P-toestand. Maar het effect van P-bemesting op de opbrengst is zwak. Op basis van Figuur 5.5 en Figuur 6.1 valt op te maken dat P-bemesting maximaal zo'n 5 % meeropbrengst geeft bij lage P-toestanden. Dit is veel minder dan in ouder onderzoek werd gevonden. Bij een lage toestand werd tot ruim 10% meeropbrengst gevonden door fosfaatbemesting zo lieten Agterberg & Henkens (1995) zien in hun studie naar de grondslagen van het bemestingsadvies op grasland dat vooral gebaseerd is op werk van Van der Paauw eind veertiger jaren van de vorige eeuw. In Figuur 6.1 (links) is een voorbeeld te zien van de gewasreactie die destijds werd gevonden. In dezelfde figuur is weergegeven wat de gewasreactie was in de proeven van 2007 en 2008. Ook Den Boer et al., (1995) vonden in proeven tussen 1989 en 1994 een sterk effect van P-bemesting bij een lage PAL. Er werden incidenteel meeropbrengsten tot ruim 1000 kg ds ha⁻¹ vastgesteld bij een P-gift van 50 kg P₂O₅ ha⁻¹. De overall analyse van deze proeven laat zien dat 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ bij een lage PAL zo'n 600 kg (20%) meeropbrengst geeft per ha.



Figuur 6.1. Het effect van fosfaatbemesting en PAL op de relatieve opbrengst op basis van oud onderzoek (links, Agterberg & Henkens, 1995) en de miniproeven uit 2007 en 2008 (rechts)

Tabel 6.1. Effect van P-toestand en kunstmest-P-gift op de drogestofopbrengst (ton ds ha⁻¹) van de 1^e snede in proeven op zandgrasland die uitgevoerd zijn tussen 1989 en 1994 (Den Boer et al., 1995).

PAL	Kunstmest P-trap kg				
0-5cm/5-20cm	P ₂ O ₅ ha ⁻¹				
	0	25	50	75	100
10/10	2,1	2,4	2,6	2,6	2,7
20/10	2,3	2,6	2,8	2,8	2,9
20/20	3,3	3,4	3,5	3,5	3,5
30/30	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6
40/40	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6

De vraag is waarom de P-repons in de miniproeven duidelijk lager is dan in eerder onderzoek. Een belangrijke reden hiervoor kan zijn dat de fosfaatbemesting relatief laat is uitgevoerd (half maart en later). Zowel 2007 als 2008 kenmerkten zich door een zachte en natte maanden januari, februari en maart. Door deze natte omstandigheden kon pas relatief laat mest worden uitgereden op de

praktijkpercelen. Aansluitend werd kunstmestfosfaat gegeven. Door deze weersomstandigheden is de grasgroei mogelijk al op gang gekomen terwijl er nog geen meststof was toegediend. Tegelijkertijd zorgen een hogere bodemtemperatuur en vochtige omstandigheden voor een betere beschikbaarheid van bodemfosfaat. Daardoor kan de werking van mest(stof)fosfaat mogelijk niet volledig tot uitdrukking zijn gekomen. Daar komt nog bij dat het vanaf 20 maart 2007 tot begin mei 2007 niet geregend heeft. Dit bemoeilijkt de opname van fosfaat zoals ook blijkt uit de relatief lage P-gehalten (Tabel 5.3).

Een geheel andere reden waarom de opbrengstrespons gering is in de miniproeven kan zijn dat de fosfaatrespons afgezwakt is als gevolg van het feit dat de P-balans van percelen al jaren positief is. Tegelijkertijd is door graslandvernieuwing en het inwerken van mest ook meer fosfaat beschikbaar in diepere lagen - in tegenstelling tot 60 jaar geleden -, wat bijdraagt aan een betere P-beschikbaarheid en een zwakkere respons in de drogestofopbrengst bij P-bemesting (zie Tabel 6.1 20/10 en 20/20).

Agterberg & Henkens, (1995) geven aan dat Van der Paauw in latere sneden geen sterke reactie van fosfaat op de opbrengst verwachtte. Daarom is het bemestingsadvies zoals we dat kennen vooral een 1^e snede advies. Het fosfaatadvies voor latere sneden is er vooral op gericht om de onttrekking te compenseren. Breemhaar (1957) en meer recentelijk Den Boer et al., (1995) en (Boons-Prins et al., 1997, 1998, 1999 en 2000) toonden aan dat het effect van fosfaatbemesting bij een lage toestand niet beperkt blijft tot de 1^e snede. In latere sneden (vooral na de 2^e snede) werden ook meeropbrengsten verkregen na bemesting bij lage toestanden. In de miniproeven werd in één proefjaar een significante meeropbrengst gevonden in de 2^e snede. In de proeven van Den Boer et al. (1995) leverde de 1^e snede relatief de grootste bijdrage aan de meeropbrengst op jaarbasis. Deze bedroeg ruim 10% (1,5 ton ds ha⁻¹) bij PAL 10 door een jaargift van 100 kg P₂O₅ ha⁻¹.

In de miniproeven werd in de 2^e snede geen significant hogere opbrengst gevonden door fosfaatbemesting. In de 3^e snede zijn geen opbrengstbepalingen meer uitgevoerd.

6.2 *Het effect van de toestand op de opbrengst*

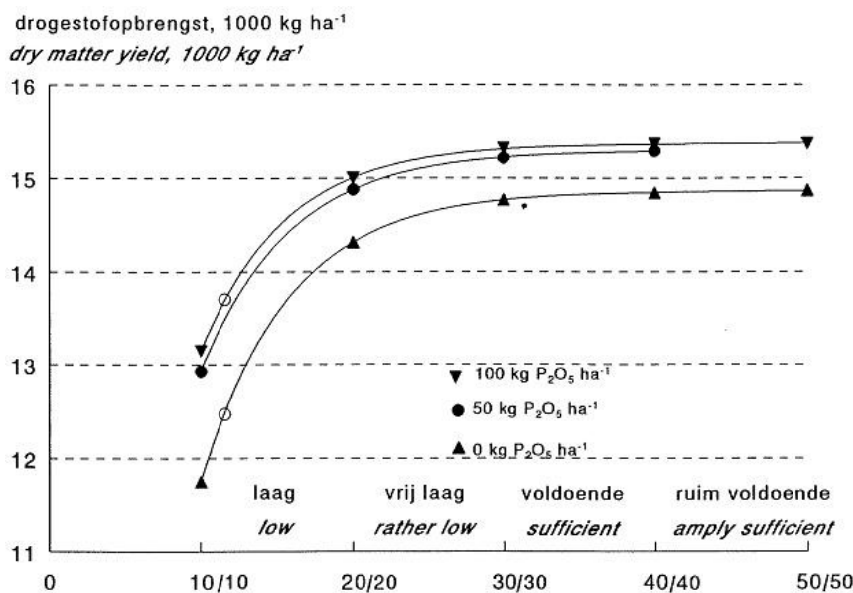
De miniproeven laten zien dat het opbrengstniveau sterk beïnvloed wordt door de P-toestand. Bij een hoge P-toestand kan op basis van de verkregen modellen (Figuur 5.5) wel 400 kg ds ha⁻¹ (5-10%) meer gerealiseerd worden dan bij een lage toestand. In Figuur 6.1 (rechts) bedraagt op basis van model F4 bij geen P-bemesting de opbrengst bij PAL 10 ongeveer 80%, bij PAL 30 94% en PAL 50 98%. Om die reden is sturen op een hogere fosfaattoestand via bemesting voor een hoger productiepotentieel interessant voor situaties met bijvoorbeeld een PAL<30. Dit resultaat stemt goed overeen met resultaten van oud onderzoek van Van der Pauw (Agterberg & Henkens, 1995), zoals weergegeven in Figuur 6.1 (links)

Den Boer et al. (1995) vonden in 5 jarig onderzoek een veel groter effect van de P-toestand op de opbrengst. Bij een lage P-toestand in de bovengrond PAL 10/10 bedroeg de opbrengst 60% van die bij PAL 40/40 (Tabel 6.1).

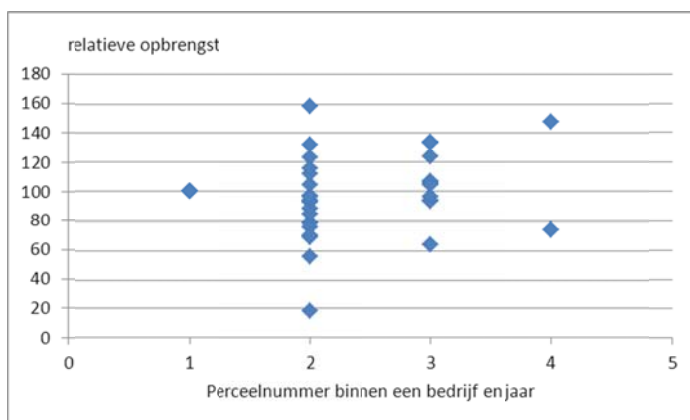
Een belangrijke vraag is of bij een lage fosfaattoestand en een hoge fosfaatgift eenzelfde opbrengst gerealiseerd kan worden dan bij een hoge toestand. Van der Paauw et al. (1951) vonden geen verschillen in absolute opbrengst tussen gronden met een lage en een hoge fosfaattoestand bij een ruime fosfaatbemesting in de 1^e snede. Van 't Hart (1949) vond wel verschillen. De verschillen die 't Hart (1949) vond schreven Van der Paauw et al. (1951) toe aan het feit dat de proefvelden verschillen in productievermogen. Daarentegen vonden Den Boer et al., (1995) wel dat fosfaatbemesting het effect van een lage toestand niet volledig kan compenseren (Tabel 6.1). Bij PAL 10/10 wordt 60% procent van de opbrengst gerealiseerd bij 0 kg P₂O₅ ha⁻¹ en 75% bij 100 kg P₂O₅ ha⁻¹. Dit effect is ook op jaarbasis

zichtbaar, maar is tot 15% opbrengstverschil afgezwakt (Figuur 6.2) bij 100 kg P_2O_5 ha⁻¹.

De resultaten van den Boer et al. (1995) zijn gebaseerd op proeven die steeds op dezelfde hetzelfde percelen zijn uitgevoerd waarbij in de loop van de tijd een verschil in P-toestand (PAL) ontstond binnen behandelingen op hetzelfde perceel. In de miniproeven hebben op de meeste bedrijven meerdere percelen meegelopen. Nagegaan is per bedrijf en per jaar of de hoogste opbrengst werd gerealiseerd op het perceel met de hoogste PPAE. Dit lijkt niet het geval te zijn. Daartoe is de opbrengst van de percelen relatief weergegeven waarbij per bedrijf en per jaar het perceel met de hoogste PPAE op 100 gesteld is. Dan blijkt dat op 18 percelen met een lagere PPAE de opbrengst lager is en op 13 percelen met een lagere PPAE de opbrengst hoger is dan op het perceel met de hoogste PPAE (Figuur 6.3). Cumulatief gaven deze 18 en 13 percelen een opbrengst van respectievelijk 80 en 123. Op basis van PAL werd hetzelfde beeld gevonden. De bevindingen in de miniproeven lijken daarmee in overeenstemming met die van Van der Paauw et al. (1951). De veronderstelling bij de statistische analyse op basis van een dubbel exponentieel model dat het productiepotentieel binnen een locatie



Figuur 6.2. Het verband tussen PAL (bodemlaag 0-5cm en 5-20cm) en de jaaropbrengst bij 0, 50 of 100 kg P_2O_5 ha⁻¹ per jaar (toegediend voor de 1^e snede (naar Den Boer et al., 1995).



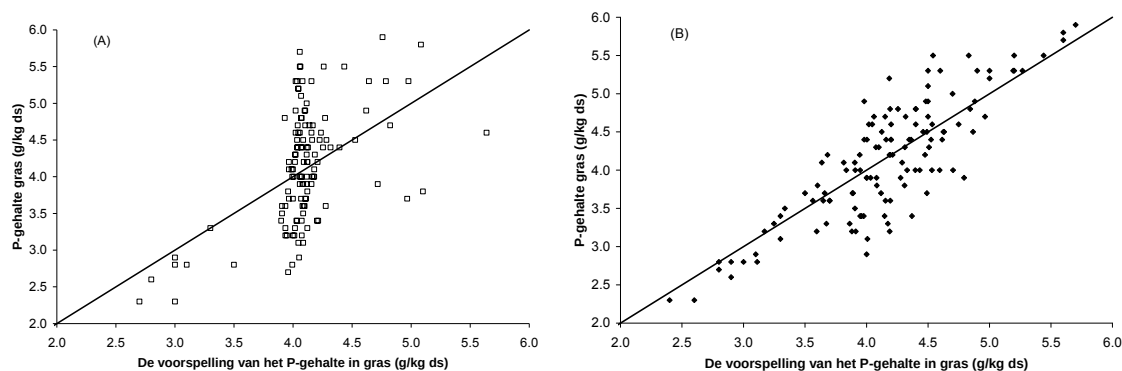
Figuur 6.3. De relatieve opbrengst van de percelen met niet de hoogste PPAE op PAL in vergelijking tot het perceel met de hoogste PPAE of PAL. Perceelnummer 2 betekent het perceel met de op één na hoogste PPAE of PAL. Perceel 3 betekent het perceel met de op twee na hoogste PPAE of PAL.

gelijk is lijkt dus gerechtvaardigd.

Praktisch gezien is er minder verschil met de bevindingen van Den Boer et al. (1995) dat bij een lage toestand met hoge bemesting niet dezelfde opbrengst bereikt kan worden als bij een hoge toestand. Figuur 6.1 (rechts) laat zien dat bij PAL 10 en 90 kg P₂O₅ ha⁻¹ ongeveer 88% van de potentiële opbrengst wordt gerealiseerd, ofwel bij lange na geen 100%.

6.3 Het effect op P-gehalte

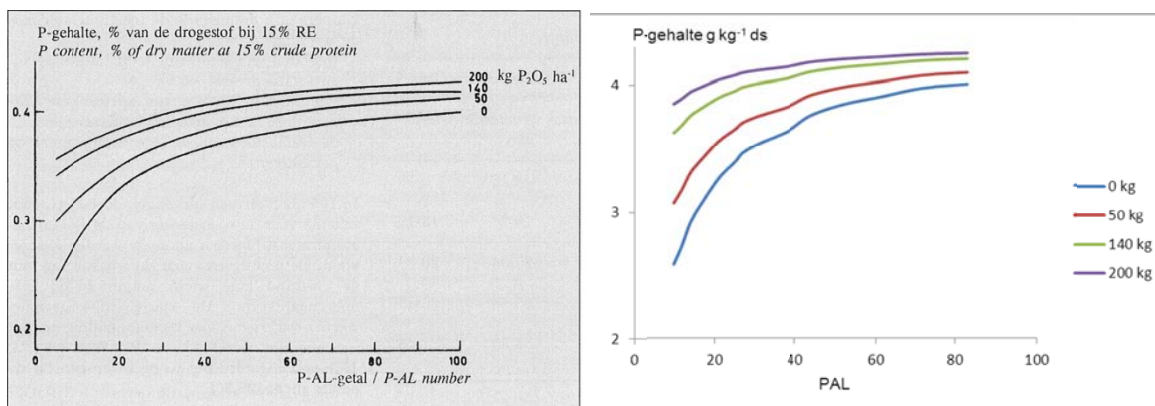
Aanleiding voor het uitgevoerde onderzoek was mede de nieuwe inzichten over P-beschikbaarheid. Op basis van werk van Los- Van Rotterdam (2010) kon geconcludeerd worden dat de beschikbaarheid van P met twee kengetallen beter is weer te geven dan op basis van één kengetal. Via een monitoringstudie in 2006 naar het effect van P-bemesting op het P-gehalte in gras kon dit bevestigd worden. Het P-gehalte in gras was veel beter te voorspellen op basis van PPAE en PAL dan op basis van alleen PAL (Figuur 6.4).



Figuur 6.4. De vergelijking van het gemeten P-gehalte in (meerjarig) gras en het voorspelde P-gehalte in gras gebaseerd op (A) PAL en (B) een combinatie van PAL en P-CaCl₂. De data zijn afkomstig van monitoringsgegevens in Nederland (Van Rotterdam-Los et al., 2009a).

Bij de analyse van de drogestofopbrengst kwam de meerwaarde van twee kengetallen niet duidelijk naar voren omdat de drogestofrespons op fosfaat zwak was, waardoor de modellen F1 en F4 maar een paar procent extra verklaring opleverden ten opzichte van een leegmodel. Voor het P-gehalte is het beeld veel duidelijker (zie pagina 38). Het P-gehalte wordt sterk beïnvloed door de P-toestand en de P-bemesting. Model F11 is in Figuur 6.5 (rechts) nader uitgewerkt naar het effect van P-bemesting op het P-gehalte van gras bij verschillende P-toestanden voor PPAE en PAL. Daarbij is op de x-as alleen de PAL weergegeven zonder de daarbij behorende PPAE. Bij PAL 10 (en PPAE 0,25) kan met 50 en 140 kg P₂O₅ ha⁻¹ het P-gehalte met respectievelijk 0,5 en 1,0 g kg⁻¹ ds worden verhoogd (Op basis van model F12 zijn de stijgingen ongeveer even groot). Het beeld is vergelijkbaar aan dat wat in ouder onderzoek is gevonden (in Figuur 6.5, links). Daar steeg het P-gehalte met 0,8 g kg⁻¹ ds bij PAL 10 en 140 kg P₂O₅ ha⁻¹. Meer recent vond Den Boer et al. (1995) bij PAL10 bij een gift van 50 en 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ een stijging van het P-gehalte met respectievelijk 0,4 en 0,7 g kg⁻¹ ds.

Een hogere P-toestand leidt eveneens tot een duidelijk hoger P-gehalte. Op basis van model F11 stijgt het P-gehalte gaande van PAL 10 naar PAL 80 met 1,4 g P kg⁻¹ ds (Figuur 6.5, rechts) tegen 1,1 g P kg⁻¹ ds in oud onderzoek (Figuur 6.5, links). Op basis van model F12 is deze stijging slechts 0,1 g P kg⁻¹ (niet getoond). In de proeven van Den Boer et al. (1995) steeg het P-gehalte met 1,5 g P kg⁻¹ ds over het traject van PAL 10 naar PAL 40.



Figuur 6.5. Het P-gehalte in 1^e snede gras als functie van fosfaatbemesting en PAL op basis van oud onderzoek (links, Agterberg & Henkens, 1995) en als functie ln(PPAE) en ratio (PAL/PPAE) op basis van de miniproeven uit 2007 en 2008 (rechts) en een potentieel P-gehalte van 4,35 g P kg $^{-1}$ ds. Daarbij is voor de vergelijkbaarheid op de x-as als fosfaatparameter alleen de PAL weergegeven (PAL 16, 27, 39 en 50 corresponderen met PPAE 0,49, 1,32, 2,21 en 4,30).

In model F11 is het P-gehalte niet alleen afhankelijk van de P-toestand, de P-bemesting en de N-bemesting maar ook van de K-toestand.

7 Naar een nieuw bemestingsadvies

Het bemestingsadvies is in principe gebaseerd op 1^e snede proeven van der Paauw eind veertiger jaren. Na overgang van P-citroen op PAL in 1958 is het advies in 1983 sterk gewijzigd (Agterberg & Henkens, 1995). Nadien hebben nog slechts beperkt wijzigingen plaatsgevonden. Deze hadden onder andere betrekking op het na de 1^e snede compenseren van de onttrekking en het in 2002 invoeren van een 0-10 cm advies.

Agterberg & Henkens (1995) stelt dat een advies op basis van een P-gehalte ook mogelijk zou zijn geweest. Maar dat is tot op heden niet gebeurd. Het voorstel is om dat nu wel te doen om een aantal redenen:

- Het betreft een gegevensreeks van 1999-2008, waardoor het effect van een (afwijkend) individueel seizoen minder sterk doorwerkt in de resultaten dan bij de miniproeven in 2007 en 2008.
- Het P-gehalte heeft effect op de dierprestatie. In het verleden is uitgegaan van een streefwaarde van 4 g kg⁻¹ ds. Op basis van onderzoek van Valk (2002) dient gras ongeveer 3,3 g P kg⁻¹ ds te bezitten in rantsoenen met een belangrijk aandeel maïs. Met de bemesting zou dus op basis van model F11 (Tabel 5.9 en Figuur 5.6) gestuurd kunnen worden op dit P-gehalte.
- In het bemestingsbeleid wordt gestreefd naar een lager gebruik van P. Via de voeding zou de aanvoer met 20 miljoen ton moeten worden teruggebracht. Voor veehouders die P moeten afvoeren is het interessant om aan P-BEX mee te doen. Daarin wordt namelijk ook het P-gehalte in voer geregistreerd. Een lager P-gehalte in voer leidt tot een lagere P-excretie per dier. Dit resulteert in een lagere P-productie en daarmee een lager overschot aan P en dus minder P-afvoer via mest. Wel daalt dan ook het P-gehalte in mest maar deze daling heft de daling in de af te voeren hoeveelheid kuubs maar voor een klein deel op. Het is dus voor veel bedrijven gunstig om strak te sturen op het P-gehalte.
- Sturen op P-gehalte werkt dezelfde richting op als sturen op drogestofopbrengst.

Een bemestingsadvies ontwikkelen op basis van P-gehalte met model F11 (voor de gegevensset 1999-2008) is dus zinvol. In het navolgende wordt daarom aangegeven hoe de resultaten van deze studie zijn te gebruiken voor het optimaliseren van de bemesting en wel toegepast op de waarderingsklassen van het gebruiksnormenstelsel. De huidige wet- en regelgeving sturen aan op een fosfaattoestand 'neutraal'. Dit komt overeen met een PAL tussen 27 en 50. Het midden van deze klasse komt overeen met PAL 39. In de dataset met grasmonsters 1999-2008 komt deze PAL overeen met een PPAE van 2,2 (Tabel 7.1).

Het model F11 heeft echter een bepaalde ruis. De standaardfout van de waarnemingen bedraagt 0,221 g P kg⁻¹ ds. Dit betekent dat bij een gewenste waarde (die in feite voor elk bedrijf afzonderlijk vastgesteld dient te worden afhankelijk van het rantsoen) van 3,3 g P kg⁻¹ ds deze met 95% zekerheid ligt tussen 2,9 en 3,7 g P kg⁻¹ ds. Om er zeker van te zijn dat 3,3 g P kg⁻¹ ds gerealiseerd wordt dient de streefwaarde dus 3,7 g P kg⁻¹ ds te bedragen. In Tabel 7.1 is voor situaties die overeenkomen met de klassegrenzen van de fosfaatgebruiksnormen (laag, neutraal en hoog) weergegeven bij welke PAL hoeveel kg P₂O₅ ha⁻¹ nodig is om een bepaald P-gehalte in gras te realiseren. Dit is als voorbeeld gedaan voor zandgrond voor de situatie van een pH van 5,2, een N-gift van 100 kg N ha⁻¹ en een KPAE van 95 mg kg⁻¹. De getoonde PPAE komt overeen met de gemeten PPAE in de dataset 1999-2008. Voor de P-toestand neutraal blijkt 0 tot 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ (gemiddeld 11 kg P₂O₅ ha⁻¹ bij PAL 39) nodig te zijn om 3,7 g P kg⁻¹ ds te realiseren.

In de praktijk wordt voor de 1^e snede veelal 20 tot 25 m³ dunne rundermest per ha gegeven. Dit komt overeen met een werkzame P-gift van 15-20 kg P₂O₅ ha⁻¹. Dat betekent dat voor de toestand "neutraal" gemiddeld vrijwel altijd 3,6 g P kg⁻¹ ds gerealiseerd wordt, ofwel dat in 95% van de gevallen het P-

gehalte in gras meer dan 3,2 g P kg⁻¹ ds bedraagt. Bij deze gift wordt een opbrengst gerealiseerd (Tabel 7.2) die voor de toestand neutraal tussen 94 en 98 % van de potentiële opbrengst ligt op basis van model F4. Op basis van model F1 is dit 87 tot 92% (bij een N-gift van meer dan 150 kg N per ha wordt een vergelijkbare berekende opbrengst verkregen als bij model F4).

Overigens wordt voor situaties waar geen P-gift nodig is om het streefgehalte te bereiken toch aangeraden om een kleine gift te geven via de mest. Het is bekend dat gras positief reageert op een kleine P-gift ongeacht de toestand en naast P heeft gras ook K nodig. Met een mestgift van 20-25 m³ ha⁻¹ wordt zo veelal ook voldoende K gegeven voor een optimale groei.

Tabel 7.1. Voorbeeld: De benodigde P-gift voor de 1^e snede op zandgrond om een gewenst P-gehalte in 1^e snede gras te realiseren voor een aantal P-bodemvruchtbaarheidssituaties die qua PAL overeenkomen met de klassegrenzen van het P-gebruiksnormenstelsel. Verondersteld is een pH van 5,2, een N-gift van 100 kg N ha⁻¹ en een KPAE van 95 mg kg⁻¹.

PAL	PPAE	P-gehalte gras g P kg ⁻¹ ds						P-Gebruiksnorm kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ 2012 en 2013
		3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,3	
16*	0,49	139	113	90	70	53	37	120
<27 (L)	1,32	75	48	26	6	0	0	100
27-50 (N)=39	2,21	37	11	5	0	0	0	95
>50 (H)	4,30	0	0	0	0	0	0	85

* Bij een PAL beneden de 16 mag 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ worden gegeven na onderzoek gericht op reparatiebemesting.

Tabel 7.2. De relatieve opbrengst (%) van de 1^e snede als functie van de fosfaatbodemvruchtbaarheid op basis van model F1 en F4 bij een gift van 15-20 kg P₂O₅ ha⁻¹. Verondersteld is een pH van 5,2, een N-gift van 100 kg N ha⁻¹ en een KPAE van 95.

PAL	PPAE	Relatieve opbrengst (%)	
		Model F4	Model F1
16	0,49	88,1	87,0
27	1,32	93,9	89,9
39	2,21	97,0	91,0
50	4,30	98,5	92,1

Op basis van wat hiervoor is aangegeven kan het bemestingsadvies voor de 1^e snede ingericht worden op sturen op een P-gehalte van 3,7 g P kg⁻¹ ds.

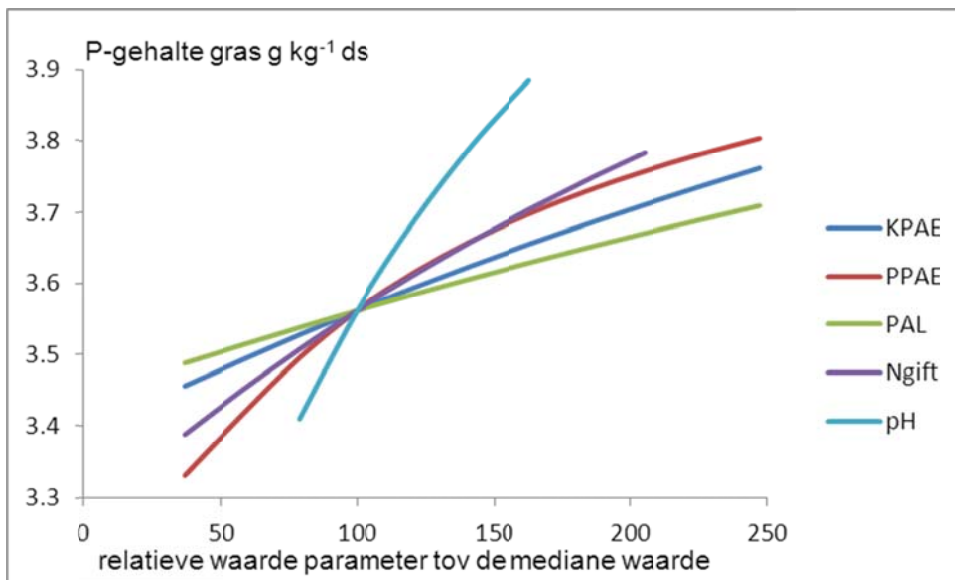
Behalve het directe effect van P-bemesting op het P-gehalte en de opbrengst is het ook van belang om een optimale P-toestand te bereiken. Is de P-toestand relatief laag dan dient de P-aanvoer de P-afvoer duidelijk te overtreffen. Van Dijk et al. (2005) concluderen op basis van een vijfjarige proef op zandgrasland dat bij alleen maaien op jaarbasis ruim 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ nodig is om een PAL van 25 te handhaven bij een N-bemestingsniveau tussen 300 en 400 kg N ha⁻¹. In het verleden hebben de Vries & Dechering (1960) afgeleid dat 10-15 kg P₂O₅ ha⁻¹ nodig is om de PAL 1 eenheid te laten stijgen. In het huidige bemestingsadvies wordt ook rekening gehouden met het feit dat extra fosfaat nodig is bij een lage toestand om de toestand te verhogen. Het huidige hoogste advies van 110 kg P₂O₅ ha⁻¹ bij toestand laag bestaat voor een deel uit een hoeveelheid om de opbrengst te verhogen plus een deel

om toestand te verhogen (Agterberg & Henkens, 1995).

Indien we de berekende adviezen (Tabel 7.1) voor de 1^e snede vergelijken met de huidige geadviseerde giften bij PAL 16 en 27 (respectievelijk 110 en 45 kg P₂O₅ ha⁻¹) dan stemmen die gemiddeld redelijk goed overeen. Het bemestingsadvies voor later sneden is erop gericht om de onttrekking te compenseren. Gegeven het feit dat bij de 1^e snede bemesting mede gestuurd wordt op het beïnvloeden van de P-toestand en gegeven het feit dat door maaien van latere sneden fosfaat wordt afgevoerd blijft het gewenst om deze onttrekking te compenseren om de P-toestand niet te laten dalen. Alleen bij hoge toestanden kan de P-bemesting achterwege blijven om zo de P-toestand wat om laag te brengen. Dit zit ook in het huidige bemestingsadvies. Op basis van het werk van Rotterdam-Los (2010) kan in principe worden berekend hoe lang de P-bemesting achterwege zou kunnen blijven bij hoge P-toestanden om bijvoorbeeld in de P-gebruiksnormen klasse neutraal terecht te komen. Praktisch gezien wordt kali al snel beperkend na enkele maaisneden, waardoor met kunstmestkali bemest zou moeten worden om sterke opbrengstdervingen te vermijden. Op veel bedrijven is dit ongewenst omdat er op bedrijfsniveau voldoende kali aanwezig is in mest. Geen mest op percelen met een hoge toestand leidt dan mogelijk tot een te hoge kaligift op andere percelen.

Naast de P-toestand is de N-bemesting, de pH en de K-toestand van invloed op het P-gehalte. In Figuur 7.1 is weergegeven wat het effect van de parameters in model F11 is op het P-gehalte van 1^e snede gras. Verdubbeling of halvering geeft respectievelijk 0,1-0,25 g kg⁻¹ ds stijging of daling van het P-gehalte. Daar de parameters allemaal dezelfde kant opwerken zal bijvoorbeeld een hoge N-gift en een hogere KPAE en pH sterk doorwerken in het P-gehalte.

Naast P-bemesting en P-toestand kan door beïnvloeding van de bodem-pH, KPAE en de N-gift gestuurd worden op het P-gehalte van gras.



Figuur 7.1. Het effect van een individuele parameter in model F11 op het P-gehalte van 1^e snede gras ten opzichte van het mediane niveau van het P-gehalte en de modelparameters KPAE, PPAE, PAL, N-gift en pH. Daarbij is elke parameter relatief ten opzichte van zijn mediane waarde weergegeven. Alleen de P-bemesting is op 0 gesteld.

Literatuur

- Agterberg GC & Henkens PLCM (1995). Grondslagen van het fosfaatbemestingsadvies grasland. Meststoffen 1995, 12-23.
- Boons-Prins ER, Van Middelkoop JC, Den Boer DJ & Van Dijk TA (2003a) Suboptimale N- en P-bemesting van grasland. Bosma Zathe, 1997. NMI-verslag 306.97.
- Boons-Prins ER, Van Dijk TA, Den Boer DJ & Van Middelkoop JC (2003b) Suboptimale N- en P-bemesting van grasland. Bosma Zathe, 1998. NMI-verslag 306.98.
- Boons-Prins ER, Van Dijk TA, Den Boer DJ & Van Middelkoop JC (2004a) Suboptimale N- en P-bemesting van grasland. Bosma Zathe, 1999. NMI-verslag 306.99.
- Boons-Prins ER, Van Dijk TA & Den Boer DJ (2004b) Suboptimale N- en P-bemesting van grasland. Bosma Zathe, 2000. NMI-verslag 306.00.
- Breemhaar D (1957) Enige resultaten van een serie fosfaat proefvelden op rivierklei-grasland. Landbouwvoorlichting 14, 31-38.
- Bussink Wim, van Riemsdijk Willem & Temminghoff Erwin (2005). Fosfaatbemesting op andere leest schoeien. H₂O, 25 februari 2005, pagina 11.
- Bussink Wim (2006). Naar een nieuwe P-bemestingsadvies. Presentatie workshop PZ, 1 november 2006. Nijkerk.
- Bussink DW, Valk H, Bakker RF & Klop A (2009). Naar een nieuwe Na-behoefte norm voor melkvee en verantwoorde Na-bemesting op grasland. NMI-rapport O896.05, Wageningen.
- Bussink DW, Van Schöll L, Van de Draai H & Bakker RF (2008a). Demonstratie nieuwe P-adviessystematiek: minder P-bemesting kan. NMI-rapport 1153, Wageningen.
- Bussink DW, Van Schöll L, Van de Draai H & Bakker RF (2008b). Demonstratie nieuwe P-adviessystematiek: minder P-bemesting kan. NMI-rapport 1160, Wageningen.
- CBGV (2008). Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen (www.bemestingsadvies.nl)
- De Rooij M & Dekker B (2005). Kaderrichtlijn water. Belangrijke onderwerpen voor de toekomst op Europees niveau, H₂O nr. 20, pag.20.
- De Vries O & Decherling FJA (1960). Grondonderzoek. Bedrijfslaboratorium voor grondonderzoek. Mariëndaal-Oosterbeek 4^e druk.
- Den Boer DJ, Van Middelkoop JC, André G, Wouters AP & Everts H (1995) Effecten fosfaattoestand en fosfaatbemesting op graslandopbrengst en P-gehalte. Meststoffen 1995, 32-37.
- Den Boer DJ, Van Middelkoop JC & Chardon WJ (2001) Fosfaattoestand en- uitspoeling in afhankelijkheid van gebruik en bodemvruchtbaarheid. Rapport 364.97, Nutriënten Management Instituut, Wageningen.
- Genstat Committee (1993) Genstat 5 Release 3 Reference Manual. Oxford Science Publications, Clarendon Press, Oxford, 796 pp.
- 't Hart ML (1949) Opbrengst en gebruik van grasland in Nederland. Maandblad Landbouwvoorlichtingsdienst 6 (344).
- Lock TR, Kallenbach RL, Blevins DG, Reinbott TM & Bishop-Hurley GJ (2002). Adequate Soil Phosphorus Decreases the Grass Tetany Potential of Tall Fescue Pasture. Plant Management Network (<http://www.plantmanagementnetwork.org/pub/cm/research/tetanyfescue/>).
- Valk H (2002) Nitrogen and phosphorus supply of dairy cows. Proefschrift Universiteit Utrecht. pp204
- Van Dijk TA (1989) Het gebruik van dierlijke mest op grasland. 3. Fosfaatwerking van geïnjecteerde dunne rundermest in het jaar van toediening. Meststoffen 1989 nr. 2/3, 5-9.
- Van Dijk TA, Boons-Prins ER, & Den Boer DJ Suboptimale N- en P-bemesting van grasland. Bosma Zathe, 1995-2000 (2005). Verslag S306.01, Nutriënten Management Instituut, Wageningen.
- Van der Paauw F, De La Lande Cremer LCN. Toetsing van grondonderzoek naar fosfaattoestand op

- Nederlands grasland. Verslagen Landbouwkundige Onderzoekingen nr 57.15.
- Wattel-Koekkoek EJW, Bussink DW & Boer HC (2002). Effecten van bekalking van grasland op de beschikbaarheid van fosfaat. Rapport 811.02, Nutriënten Management Instituut, Wageningen.
- Van der Zee SEATM, Fokkink LGJ and 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, and Van Riemsdijk WH.(2009a) 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, and Van Riemsdijk WH (2009b). 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 58 graspercelen die in 2007 en 2008 meededen

Parameter	Grond	n	Gemiddelde	Minimum	Maximum	25perc	75perc	Mediaan
P_PAE (mg P kg ⁻¹)	10	30	1,28	0,29	4,03	0,49	1,66	1,21
	20	8	3,22	0,2	6,58	0,49	6,58	2,44
	40	12	2,03	0,8	4,59	1,19	2,09	1,68
	45	1	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62	1,62
	60	2	1,00	0,3	1,70	0,30	1,70	1,00
	71	3	1,27	1,00	1,70	1,03	1,55	1,10
PAL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	10	30	29,5	13	46	18	38	30
	20	8	58	15	111	17	111	41
	40	12	23,8	14	31	19,5	29	24
	45	1	21	21	21	21	21	21
	60	2	36	11	61	11	61	36
	71	5	23,6	11	31	20	29,5	24
KPAE (mg K kg ⁻¹)	10	30	96	24	212	78	136	89
	20	7	210	95	275	128	275	226
	40	12	80	59	94	70	89	85
	45	1	163	163	163	163	163	163
	60	2	150	94	206	94	206	150
	71	3	139	70	212	86,	193	135
pH	10	30	5,1	4,4	6,3	4,8	5,6	4,9
	20	8	5,9	5,4	6,3	5,8	6,1	5,9
	40	12	5,5	4,6	6,9	5,3	5,8	5,4
	45	1	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8	5,8
	60	2	4,6	4,3	4,9	4,3	4,9	4,6
	71	3	5,7	5,6	5,9	5,6	5,8	5,8
NLV (kg N ha ⁻¹)	10	30	157	30	230	109	226	184
	20	8	188	120	230	139	223	216
	40	12	188	93	230	163	230	211
	45	1	154	154	154	154	154	154
	60	2	250	250	250	250	250	250
	71	5	121	98	153	98	139	120
Iutum (%)	10	16	2	2	2	2	2	2
	20	8	31	30	34	30	33	30
	40	12	25	6	48	19	29	25
	45	1	32	32	32	32	32	32
	60	2	40	39	41	39	41	40
	71	3	15	14	15	14	15	15
Pmest (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	10	30	24,8	0	62,1	16,8	28,4	21,5
	20	8	51,7	0	112	0	112	38,6
	40	12	25,8	17,8	43	17,9	28,8	23,6
	45	1	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4	18,4
	60	2	36	36	36	36	36	36

	71	5	14,8	11,8	22,7	11,9	17,5	11,9
Pkm	10	30	30,7	0	68	0	67,5	22
(kg P ₂ O ₅	20	8	25,3	0	68	0	45	22,25
ha ⁻¹)	40	12	11,2	0	67,5	0	22,25	0
	45	1	0	0	0	0	0	0
	60	2	33,7	0	67,5	0	67,5	33,75
	71	5	27	0	67,5	0	67,5	0
Nmest	10	30	32,1	0	40,4	25,7	39,6	34,4
(kg N ha ⁻¹)	20	8	37,4	0	72,5	0	72,5	40,8
	40	12	40,4	33,5	58,1	34,5	41,7	37,3
	45	1	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
	60	2	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3	38,3
	71	5	25,1	17,5	39,4	21,4	27,4	22,6
Ntot	10	30	117	47,7	163	97,7	124	117
(kg N ha ⁻¹)	20	8	118	60	186	87,9	146	115
	40	12	125	95,8	154	114,3	145	116
	45	1	64,8	64,78	64,8	64,8	64,8	64,8
	60	2	138	118,2	158	118,2	158	138
	71	5	108	88,64	134	88,6	122	112
Ktot	10	30	137	0	312	94,5	151	103
(kg K ₂ O	20	8	131	0	227	0	212	197
ha ⁻¹)	40	12	132	106	167	108	153	129
	45	1	107	107	107	107	107	107
	60	2	167	167	167	167	167	167
	71	5	101	77	144	87,8	113	91,5

Parameter	n	Ontbrekende waarden	gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	25 perc	75perc
PPAE (mg P kg ⁻¹)	56	2	1,72	1,37	0,20	6,60	0,71	1,93
PAL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)	58	0	31,8	27	11,0	111	17,0	38,0
pH	56	2	5,34	5,4	4,30	6,90	4,80	5,80
K (mg K kg ⁻¹)	55	3	113	91	24,0	275	79,0	141
NLV (mg N kg ⁻¹)	58	0	168	184	30,0	250	120	230
Lutum (%)	42	16	17,5	17,0	2,00	48	2,00	30,0
Pmest (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	58	0	28,2	23,0	0	112	16,8	29,9
Pkm (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	58	0	25,2	11,0	0	68	0	67,5
Nmest (kg N ha ⁻¹)	58	0	34,2	34,5	0	72,5	25,7	40,2
Ntot (kg N ha ⁻¹)	58	0	118	116	47,8	186	97,7	128
Ktot (kg K ₂ O ha ⁻¹)	58	0	132	111	0	312	94,5	167

Bijlage 2. Kenmerken van de monsters uit 2000-2008 waarvoor een grasanalyse van de 1^e snede, de bemesting van de 1^e snede en grondonderzoekcijfers (inclusief PPAE) beschikbaar waren

Grondsoort	n	gemiddelde	_10,0%	_90,0%	Mediaan
PPAE (mg P kg ⁻¹)					
1)					
10	530	2,193	0,48	4,78	1,52
20	150	2,306	0,2	6,58	0,77
40	166	2,088	0,8	4,59	1,87
45	18	1,691	1,186	1,937	1,62
50	8	2,915	2,46	3,33	2,99
60	97	3,046	0,428	8,472	1,38
62	7	0,907	0,372	1,284	0,90
71	44	1,837	1	3,353	1,70
87	8	1,71	0,805	3,402	1,38
PAL (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹)					
10	530	34,69	16,5	52,5	34,00
20	150	56,89	17	142,5	17,00
40	166	24,89	14	33	24,00
45	18	22,44	17	33	21,00
50	8	30,38	27	37,5	27,50
60	97	35,91	12	61	31,00
62	7	25	17	33,4	25,00
71	44	26,55	19	34,1	24,00
87	8	42,62	35	62,2	39,00
KPAE (mg K kg ⁻¹)					
1)					
10	530	96,7	30	144	88,00
20	138	174,5	95	275	141,50
40	166	83,3	51,1	102,5	82,00
45	18	136,8	76	163	163,00
50	8	128,6	91,7	170	125,50
60	97	243,4	94	418,4	208,00
62	7	90,9	61,4	126	77,00
71	44	122,9	64,8	212	118,50
87	8	203,5	159,96	277,5	184,60
Ptot (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)					
10	512	38,04	13,44	84,08	28,98
20	150	64,75	0	112,28	60,59
40	159	42,85	17,85	90,86	36,00
45	18	39,58	12	86,38	40,38
50	8	22,33	4,32	41,4	20,00
60	95	32,21	14	58,05	28,19
62	7	18,93	14,25	24	16,00
71	44	28,88	11,9	79,4	20,40
87	8	61,62	38	95,4	55,50

Ntot (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹)	n	gemiddelde	_10,0%	_90,0%	Mediaan
Grond					
10	512	105,5	57	138,4	111,00
20	150	103,4	60	146	109,33
40	159	110,7	85,2	153,9	114,12
45	18	91,3	57	134,5	64,78
50	8	107,5	95,76	119,8	107,15
60	95	89,3	51	120,6	84,92
62	7	91,5	65,52	120,4	93,90
71	44	104,5	40,54	143,4	98,80
87	8	109	89	124	113,02
pH					
10	530	5,206	4,5	6	5,10
20	150	5,826	5,4	6,7	5,80
40	166	5,558	4,61	6,5	5,40
45	18	5,717	5,25	5,8	5,80
50	8	4,963	4,5	5,79	4,80
60	97	4,937	4,4	5,3	4,90
62	7	4,8	4,12	5,5	4,80
71	44	5,848	5,59	6,2	5,90
87	8	7,437	7,3	7,5	7,50