

Naar een nieuw fosfaatbemestingsadvies in de akkerbouw

In opdracht van en gefinancierd door:



PRODUCTSCHAP AKKERBOUW

Dit project is uitgevoerd door:

Auteur(s):

Wim Bussink

Gerjanne Doppenberg

Wim van den Berg

Kees van Wijk

Organisatie:

Nutriënten Management Instituut NMI BV

Nutriënten Management Instituut NMI BV

PPO-AGV

PPO-AGV

Projectnummer:

Dit project maakt deel uit van het Masterplan Mineralenmanagement (MMM). Het MMM is een initiatief van LTO Nederland, de Nederlandse Akkerbouw Vakbond en het Productschap Akkerbouw. Binnen het MMM voeren diverse partijen gezamenlijk onderzoeks- en voorlichtingsprojecten uit op het gebied van bodem, bemesting en water.

Dit rapport is eveneens terug te vinden op www.kennisakker.nl.



Voor uw vragen over het MMM kunt u zich wenden tot Tjitse Bouwkamp (PA).

Louis Braillelaan 80 • Postbus 908 • 2700 AX Zoetermeer

☎ 070 379 75 13 • ✉ mmm@hpa.agro.nl • www.kennisakker.nl

Dit rapport is een uitgave van **Nutriënten Management Instituut NMI BV**

© **Wageningen, 30 juni 2014**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van **NMI BV**

Hoewel de inhoud van deze uitgave met zorg is samengesteld, kunnen hieraan op geen enkele wijze rechten worden ontleend.

INHOUDSOPGAVE

Samenvatting	2
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
2 Achtergrondinformatie	5
2.1 Het huidige fosfaatadvies aardappelen	5
2.2 Naar een nieuw fosfaatadvies aardappelen	6
3 Proefopzet en data verzameling	8
3.1 Opzet en uitvoering proeven 2013	8
3.2 Data eerdere PPO proeven	9
4 Proefresultaten	10
4.1 Perceel-, teelt- en grondgegevens	10
4.2 Detail grondonderzoek	12
4.2.1 <i>Algemeen</i>	12
4.2.2 <i>Desorptiegedrag</i>	13
4.2.3 <i>Desorptie experimenten: voorspellen van fosfaatdesorptiegedrag</i>	14
4.3 Opbrengstgegevens	15
4.4 Het weerjaar 2013	19
5 Statistische analyse opbrengstgegevens	20
5.1 Analysemodel(len)	20
5.1.1 <i>Analysemodel praktijkbedrijven NMI 2013</i>	20
5.1.2 <i>Analyse model drie PPO-AGV proeven</i>	21
5.1.3 <i>Analyse model praktijkproeven en drie PPO-AGV proeven</i>	21
5.2 Anova praktijkproeven 2013	21
5.3 Analyseresultaten praktijkproeven	22
5.4 Analyseresultaten PPO-proeven	23
5.5 Analyseresultaten praktijkproeven plus 3 PPO-proeven	24
6 Naar een conceptadvies	25
6.1 Economisch optimale gift	25
6.2 Naar een conceptadvies	25
6.3 Hoe verder	29
Literatuur en andere bronnen	30
Bijlage 1. Beschikbaarheid van fosfaat	31
Bijlage 2. Statistische analyse	33

SAMENVATTING

Fosfaat is van belang voor een goede gewasproductie. Via het P-gebruiksnormenstelsel daalt de P-bemesting richting evenwichtsbemesting. In de praktijk is er zorg of gewassen dan wel voldoende fosfaat krijgen. Daarom is het belangrijk om te weten wat de bodem zelf aan fosfaat levert en hoe dit in de tijd vrijkomt. Dit om de in de akkerbouwpraktijk toegestane hoeveelheid P zo optimaal mogelijk te kunnen inzetten.

Recent is een grondonderzoekssystematiek ontwikkeld die een beter inzicht geeft in het gedrag van fosfaat in grond. Daarmee is het mogelijk om aan te geven hoeveel fosfaat direct beschikbaar is (op basis van P-CaCl₂), hoe snel er na geleverd kan worden (op basis van de ratio P-AL over P-CaCl₂) en wat de nalevercapaciteit voor fosfaat is (op basis van P-AL). Doel van deze studie is om een nieuw fosfaatbemestingsadvies voor de akkerbouw te ontwikkelen, in eerste instantie voor aardappelen.

Daartoe zijn met het gewas aardappel in 2013 op 58 praktijkpercelen op diverse grondsoorten en in diverse regio's eenvoudige fosfaatproeven met 4 P-bemestingsniveaus (0, 40, 80 en 120 kg P₂O₅/ha) in enkelvoud aangelegd op in totaal 22 bedrijven. Er is naar gestreefd om bedrijven te vinden met per bedrijf 2-3 percelen in het traject Pw-getal tussen 15 en 50, met wel een duidelijk onderling verschil in Pw-getal. De gronden zijn gedetailleerd onderzocht op de beschikbaarheid van fosfaat via desorptie experimenten. De resultaten van deze experimenten bevestigen de resultaten van eerder onderzoek. De desorptiedynamiek van P in de bodem wordt bepaald door de initiële directe beschikbaarheid en de capaciteit van de grond om P te blijven leveren (de buffercapaciteit). De initiële directe beschikbaarheid kan goed worden voorspeld op basis van P-CaCl₂. De buffercapaciteit kan worden voorspeld op basis van de log ratio P-AL over P-CaCl₂.

De aardappelen zijn relatief laat gepoot vanwege het koude voorjaar (gemiddeld zo rond 20 april). De gerealiseerde opbrengst bevindt zich op een goed niveau van ruim 52 ton/ha. Het effect van fosfaatbemesting op de opbrengst bleek beperkt te zijn. Gemiddeld over alleen de percelen met een P-AL < 45 bedraagt de drogestofopbrengst 12,5, 12,8, 12,9 en 12,7 ton per ha en de verse opbrengst respectievelijk 52,0, 53,8, 54,4 en 53,2 ton per ha bij voor respectievelijke de P_{trap} 0, 40, 80, 120 kg P₂O₅/ha. De fosfaatrespons op basis van de P-opname was zwak. Gemiddeld werd 56,9 kg P₂O₅/ha opgenomen.

Statistische analyse van de aardappelopbrengsten geeft aan dat gewasopbrengsten te verklaren zijn op basis van groeiduur, de stikstofgift, P-CaCl₂ en de ratio P-AL/P-CaCl₂. Rekening houdend met omgevingsfactoren (verschillen tussen proeflocaties) kan een ruim 80% verklarend model worden afgeleid. Op basis van de analyse blijkt dat de fosfaattoestand belangrijker is dan de fosfaatgift. Bij een lage toestand kan ongeacht de P-bemesting niet de opbrengst worden gerealiseerd van die bij een hoge toestand. De proefresultaten uit 2013 zijn samengevoegd met een PPO-AGV proef uit 2010. Dit gaf een vergelijkbaar resultaat als de analyse van alleen de 2013 proef.

Op basis van het analyseresultaat van alleen proefjaar 2013 en 2013+2010 is een eerste advies ontwikkeld. Op basis van het modelresultaat kan berekend worden hoeveel meeropbrengst elke extra kg fosfaat geeft. Daarbij is ervan uitgegaan dat elke kg meststoffosfaat die extra gegeven wordt nu minimaal tot 8,3 kg meeropbrengst aan aardappelen moet leiden. Bij de afleiding van het adviesbasis is destijds uitgegaan van 5 kg. Zo bedraagt de optimale gift bij P-CaCl₂ is 1 en P-AL is 20 (bij benadering Pw=23) respectievelijk 70 (proefjaar 2013+2010) en 55 (proefjaar 2013) kg P₂O₅/ha. Op basis van de huidige adviesbasis wordt ongeveer 140 kg P₂O₅/ha geadviseerd. Op basis van de gebruiksnormen mag vanaf 2015 bij Pw < 36 nog 75 kg P₂O₅/ha worden gegeven. Pw 35 komt ongeveer overeen met P-CaCl₂ is 2 en P-AL is 30. De optimale gift bedraagt dan ongeveer 40 kg P₂O₅/ha op basis van zowel alleen proefjaar 2013 als proefjaar 2013+2010. Dit advies houdt nog geen rekening met de gewenste streefwaarden voor de

fosfaattoestand. Daar waar de fosfaatafvoer door de gewassen in de vruchtwisseling groter is dan de fosfaatgift, zal de fosfaattoestand op termijn dalen. Bij uitbreiding van het advies naar alle akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten zal hiervoor een aanvullend advies opgesteld moeten worden.

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

Fosfaat is van belang voor een goede gewasproductie. Tegelijk is het een element waar zo efficiënt mogelijk mee moet worden omgegaan omdat de fosfaatvoorraden in de wereld beperkt zijn. Daarnaast leidt een te hoge bemesting met fosfaat af- en -uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Via het P-gebruiksnormenstelsel daalt de P-bemesting richting evenwichtsbemesting. In de praktijk is er zorg of gewassen dan wel voldoende fosfaat krijgen. Daarom is het belangrijk om te weten wat de bodem zelf aan fosfaat levert en hoe dit in de tijd vrijkomt. Dit om de in de akkerbouwpraktijk toegestane hoeveelheid P zo optimaal mogelijk te kunnen inzetten.

Voor het schatten van de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem wordt gebruik gemaakt van grondonderzoek. In de akkerbouw is daarvoor decennia geleden het Pw-getal ontwikkeld. Het benodigde Pw-getal en de daarbij behorende P-bemesting voor het halen van de optimale opbrengst is in een groot aantal pot- en veldproeven bepaald. Daarbij werd echter geen of nauwelijks gebruik gemaakt van kennis over het gedrag van fosfaat in de grond. Bovendien is op basis van één fosfaatparameter de beschikbaarheid slechts globaal te duiden (zie Bijlage 1 voor meer achtergronden).

Recent zijn grondonderzoeksmethoden, gebaseerd op P-CaCl₂ en P-AL, ontwikkeld die een beter inzicht geven in het gedrag van fosfaat in grond (Van Rotterdam-Los, 2010). Daarmee is het mogelijk om aan te geven hoeveel fosfaat direct beschikbaar is, hoe snel er na geleverd kan worden en wat de nalevercapaciteit voor fosfaat is. Zo kan beter worden ingespeeld op de ontwikkeling van de fosfaatbehoefte van gewassen gedurende de groeiperiode. Bekend is namelijk dat veel gewassen vooral bij de begingroei behoefte hebben aan een hoge fosfaatconcentratie bij de jonge wortels, terwijl later in het seizoen met een lagere concentratie kan worden volstaan. Bemestingsadviezen gebaseerd op de combinatie P -CaCl₂ en P-AL geven een realistischer beeld van de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem. Hier kan dan veel beter rekening mee worden gehouden dan nu het geval is waardoor het beschikbare P-quotum beter kan worden ingezet en mogelijk minder fosfaat nodig is dan nu geadviseerd wordt. Op basis van deze nieuwe systematiek zijn afgelopen jaren bemestingsadviezen ontwikkeld voor gras- en maïsland (Bussink et al., 2011a en 2011b; Van Rotterdam et al., 2012). Voor akkerbouwgewassen zijn deze adviezen er nog niet.

Doel van deze studie is om te komen tot een nieuw fosfaatbemestingsadvies voor de akkerbouw dat beter rekening houdt met de directe P-beschikbaarheid en het P-naleverend vermogen van de bodem. Het nieuwe fosfaatbemestingsadvies wordt eerst ontwikkeld voor het akkerbouwgewas aardappel. Daartoe zijn op veel locaties kleine proeven uitgevoerd. Deze informatie aangevuld met andere recente proefresultaten vormt de basis voor een te ontwikkelen nieuw fosfaatadvies voor aardappelen. In een tweede fase is de opschaling naar andere akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen voorzien. Deze studie is een co-productie van NMI (Nutriënten Management Instituut) en PPO-AGV en is uitgevoerd in opdracht van het Productschap Akkerbouw en BLGG AgroXpertus.

Dit rapport beschrijft de resultaten van de proeven. In Hoofdstuk 2 wordt daarbij ingegaan op de P-AL-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 en de proefresultaten toegelicht. In Hoofdstuk 5 zijn de data statistisch geanalyseerd. Op basis van Hoofdstuk 5 is in Hoofdstuk 6 een aanzet gegeven voor een nieuw bemestingsadvies.

2 ACHTERGRONDINFORMATIE

2.1 Het huidige fosfaatadvies aardappelen

Het *huidige* fosfaatadvies voor aardappel is gebaseerd op één parameter, PW-getal, dat staat vermeld in Adviesbasis voor de Bemesting van Akkerbouw- en Vollegrondsgroentengewassen. De meest recente versie 2013 is digitaal in PDF beschikbaar op Kennisakker (www.kennisakker.nl). Het advies bestaat uit een gewasgericht advies voor het behalen van een economisch optimale opbrengst en uit een bodemgericht advies voor handhaving van de streeftoestand van de bodem en eventuele reparatie daarvan.

Tabel 2.1 Geadviseerde hoeveelheden fosfaat in kg P₂O₅/ha (gewasgroep 0, 2002; overige gewasgroepen, 1992).

Pw- getal	Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss gewasgroepen					Zeeklei zeezand gewasgroepen				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
10		185	160	130	100		85	150	110	60
15		170	145	110	80		170	130	90	40
20		150	125	95	60		150	115	65	20
25		135	110	75	40	245 *	135	95	45	0
30	235 *	120	90	55	20	190 *	120	75	20	
35	155 *	105	75	40	0	130 *	105	55	0	
40	95 *	85	55	20		85 **	85	40		
45	70 **	70	40	0		70 **	70	20		
50	55 **	55	20			55 **	55	0		
55	35 **	35	0			35 **	35			
60	20 **	20				20 **	20			
65										

*: Gift plaatsen, dat wil zeggen ondiep in het zaaibed of op plantdiepte toedienen of als rijenbemesting toedienen;

** : Wanneer de meststof wordt geplaatst (bovenin het zaaibed, op plantdiepte of als rijenbemesting), kan worden volstaan met 50-75% van de adviesgift. De besparing is groter naarmate de groeiduur korter, de rijenafstand ruimer, de beworteling ondieper, de dagelijkse vraag naar fosfaat en totale fosfaatopname hoger en de fosfaattoestand lager is.

Opmerkingen bij Tabel 2.1

1. Bij twee teelten per jaar het tweede gewas bemesten met de helft van de geadviseerde hoeveelheden.
2. Pootaardappelen kunnen zwaarder met fosfaat worden bemest dan consumptieaardappelen.
3. Granen met ondervrucht klaver hebben iets meer fosfaat nodig dan granen alleen.
4. Het heeft voordelen als in een bouwplan het fosfaat voor de niet-fosfaatbehoefte gewassen (groepen 3 en 4) aan de fosfaatbehoefte gewassen wordt gegeven. Bij een zeer lage fosfaattoestand kan het nodig zijn alle gewassen een fosfaatbemesting te geven.
5. Bij de fosfaatgiften gelden de volgende rekenformules:
 - Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss: $218-3,3 \cdot Pw$, $195-3,5 \cdot Pw$, $167-3,67 \cdot Pw$, $140-4 \cdot Pw$ voor resp. gewasgroepen 1, 2, 3 en 4
 - Zeeklei, zeezand: $218-3,3 \cdot Pw$, $187-3,71 \cdot Pw$, $155-4,5 \cdot Pw$, $100-4 \cdot Pw$ voor resp. gewasgroepen 1, 2, 3 en 4

De twee adviezen leiden doorgaans tot verschillende uitkomsten. Er moet worden voldaan aan beide adviezen. Het gewasadvies geldt voor het specifieke gewas in betreffend teeltjaar. Bij het bodemadvies gaat het erom dat er op rotatieniveau aan wordt voldaan. Vaak wordt het zo verdeeld over de gewassen in de rotatie dat zo veel mogelijk wordt voldaan aan het gewasadvies. Bij de gewassen waar dat niet het geval is, wordt de bemesting zo verhoogd dat ook wordt voldaan aan het gewasadvies. Er wordt dan meer gegeven dan het bodemadvies. Omgekeerd zal in een bouwplan met weinig fosfaatbehoeftige gewassen het bodemadvies vaak de bemesting bepalen. Er wordt dan meer gegeven dan het gewasadvies.

Naast het bemestingsadvies heeft de akkerbouw te maken met fosfaatgebruiksnormen. Er mag daarbij niet meer met P worden bemest dan de gebruiksnorm. Bij een klassiek bouwplan met aardappelen, bieten en granen kan binnen de gebruiksruijme veelal voldoende fosfaat aan gewassen worden gegeven (Dekker & Postma, 2008) (Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Fosfaatgebruiksnormen voor akkerbouwgrond, kg P₂O₅ per ha.

	Pw	2014	2015 -2017
Hoog	>55	55	50
Neutraal	55-36	65	60
Laag	<36	80	70

* Voor bouwland geldt dat een overschrijding van de fosfaatkorm met maximaal 20 kg P₂O₅ per ha is toegestaan, mits dit in het volgende jaar wordt gecompenseerd.

Via het P-gebruiksnormenstelsel daalt de P-bemesting richting evenwichtsbemesting. In de praktijk is er zorg of gewassen dan wel voldoende fosfaat krijgen. Juist dan is het dan zeer belangrijk om te weten wat de bodem zelf aan fosfaat levert en wanneer. Dit om de in de akkerbouwpraktijk toegestane hoeveelheid P zo optimaal mogelijk te kunnen inzetten.

2.2 Naar een nieuw fosfaatadvies aardappelen

Voor een goed advies is het van belang te kunnen beschrijven hoe fosfaat in de tijd gezien beschikbaar komt. Het vrijkomen van fosfaat (het desorptiegedrag) is goed te beschrijven met ijzerpapiertjes zoals ook het onderzoek van Van Rotterdam-Los (2010, hoofdstuk 2) laat zien. De gebruikte methode bootst gewasonttrekking na onder geconditioneerde omstandigheden door in plaats van een plant een met ijzer (hydr-)oxide gecoat papiertje (Fe-papiertje) in een grond suspensie te plaatsen en op gezette tijden te vervangen (Van der Zee et al., 1988). 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). Uit aansluitende potproeven bleek dat er goed verband bestond tussen het desorptiegedrag van fosfaat zoals bepaald met de ijzerpapiertjes en de P-opname door gras. Tegelijk bleek dat het desorptiegedrag goed te beschrijven was met eenvoudiger methoden van grondonderzoek gebaseerd op extractie met 0,01 M CaCl₂ (P_{PAE} genoemd door BLGG AgroXpertus) en ammoniumlactaat (P-AL) (Van Rotterdam-Los, 2010). Daarmee is het mogelijk om aan te geven hoeveel fosfaat direct beschikbaar is, hoe snel er nageleverd kan worden en wat de nalevercapaciteit voor fosfaat is. Zo kan beter worden ingespeeld op de ontwikkeling van de fosfaatbehoefte van gewassen gedurende de groeiperiode en kan het beschikbare P-quotum beter worden toegewezen aan percelen en teelten. Bovendien is mogelijk minder fosfaat nodig dan nu geadviseerd wordt (zie Bijlage 1 voor details).

Ook een *nieuw* op te stellen advies zal naar verwachting bestaan uit een deel voor de optimale gewasproductie en een deel voor handhaving van de bodemvruchtbaarheid, op dezelfde wijze als het nieuwe fosfaatadvies voor snijmais (zie Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen 2012).

Het advies voor de optimale gewasproductie zal aangeven hoeveel fosfaat nodig is om een optimale productie in het jaar van bemesting te behalen. Dit advies zal naar verwachting veelal beneden de onttrekking van fosfaat door het gewas liggen. In de loop van de tijd zal de bodemvruchtbaarheid bij deze bemesting dalen en daarmee de opbrengst. Bij de ontwikkeling van een advies dient daar daarom rekening mee te worden gehouden zodat kan worden gestuurd op een bepaalde streeftoestand voor de bodemvruchtbaarheid.

De parameters P-AL en P-Calciumchloride (P-CaCl_2) zijn nader omschreven in Bijlage 3 van de Adviesbasis voor de Bemesting van Akkerbouw- en Vollegrondsgroentengewassen.

3 PROEFOPZET EN DATA VERZAMELING

Voor het te ontwikkelen fosfaatadvies zijn veldproeven en laboratorium metingen uitgevoerd en zijn data uit eerdere proeven gebruikt.

3.1 Opzet en uitvoering proeven 2013

Algemeen

Het experimentele onderzoek is uitgevoerd voor situaties met uiteenlopende P-toestanden voor diverse grondsoorten en regio's. Op deze manier wordt veel informatie verkregen over de P-respons bij uiteenlopende P-toestanden en andere bodemvruchtbaarheidsfactoren, hetgeen de basis voor een nieuw advies kan vormen. Daartoe zijn een groot aantal eenvoudige proeven op praktijkpercelen aangelegd (miniproeven). Van deze percelen zijn grondmonsters genomen voor regulier en gedetailleerd grondonderzoek naar het desorptiegedrag van fosfaat. In deze miniproeven is de eindopbrengst vastgesteld en is een tussenooft rondom het moment van knolzetting (half juni) uitgevoerd. De tussenooft is van belang, omdat effecten van fosfaatbemesting vooral in de jeugdfase zichtbaar zijn als gevolg van de beperkte beworteling.

Miniproeven

Op een groot aantal (circa 60) praktijkpercelen met aardappelen zijn op diverse grondsoorten en in diverse regio's eenvoudige fosfaatproeven aangelegd met 4 P-bemestingsniveaus (0, 40, 80 en 120 kg P_2O_5 /ha) in enkelvoud om de P-nalevering en de gewasrespons op P te monitoren. Door de keuze voor veel kleine proeven op veel percelen wordt een voldoende variatie in bodemvruchtbaarheidskenngetallen gerealiseerd.

Er is naar gestreefd om bedrijven te vinden met per bedrijf 2-3 percelen in het traject Pw-getal tussen 15 en 50, met wel een duidelijk onderling verschil in Pw-getal. De bedrijven zijn geselecteerd mede met behulp van de BLGG AgroXpertus grondonderzoeksgegevens. Verder mochten deze percelen tussen augustus 2012 en start van proef in het voorjaar 2013 geen mest hebben gehad. Op de geselecteerde percelen van een bedrijf zijn alleen of consumptie- of poot- of zetmeelaardappelen geteeld. Gestreefd werd naar zoveel mogelijk eenzelfde aardappelras per bedrijf en niet gras als voorvrucht.

Op het deel van het perceel waar de proef komt te liggen zijn kort voor de bemesting grondmonsters genomen voor algemeen grondonderzoek en voor detailonderzoek naar het beschikbaar komen van fosfaat. Daartoe zijn in de grondmonsters voor het detailonderzoek allereerst de P-AL en P- $CaCl_2$ gemeten en is ook de fosfaatverzadigingsgraad (FVG) vastgesteld. Om ook inzicht te krijgen in het vrijkomen van P over de tijd (fosfaatkinetiek) zijn desorptie experimenten uitgevoerd in het laboratorium.

De P-desorptiecurve werd bepaald in een 1:10 grondsuspensie in 0,01 M $CaCl_2$ met daarin een ijzerpapiertje. Op gezette tijden werd het ijzerpapiertje vervangen. In totaal zijn 7 Fe-papiertjes gebruikt die achtereenvolgens na in totaal 8, 24, 48, 96, 164, 216 en 264 uur zijn vervangen. De onttrokken hoeveelheid P is elke keer dat het Fe-papiertje werd vervangen gemeten (zie proefschrift Van Rotterdam-Los, 2010; hoofdstuk 2). Het optellen van de hoeveelheid P dat aan elk van de 7 successieve Fe-papiertjes werd gebonden resulteert in de cumulatieve P desorptie (Q_{cum}) gedurende het experiment. Daarnaast is, nadat de eerste drie en het laatste papiertje zijn verwijderd, de concentratie in de oplossing gemeten.

In totaal zijn zo 240 miniproefveldjes gepland. Dit aantal locaties en percelen is nodig om een voldoende betrouwbaar beeld te krijgen voor de uiteenlopende regio's en grondsoorten.

De afmeting van een behandeling bedroeg 3 (4 rijen aardappelen) bij 10 meter. Bij 4 behandelingen geeft dit een proefveldje van 12 bij 10 meter per perceel. De fosfaatrapen zijn aangelegd met de meststof superfosfaat. De N- en K-bemesting gebeurde of door de ondernemer of door NMI. De bemestingshoeveelheden en tijdstippen zijn geregistreerd. Na aanleg van de proef heeft de teler gepoot en vervolgens de gebruikelijke veldwerkzaamheden

gedurende de rest van het seizoen uitgevoerd.. Omdat de fosfaatvoorziening tijdens de begingroei vaak beperkend is, is op één tijdstip kort voor knolvorming een tussen oogst uitgevoerd, waarbij ook de P-opname is bepaald. Kort voor de eind oogst vonden proefrooiingen plaats op de objecten om de aardappelopbrengst te bepalen inclusief de sortering en het onderwatergewicht. Bij BLGG AgroXpertus zijn de aardappelen geanalyseerd op het ds, N- en P-gehalte.

3.2 Data eerdere PPO proeven

Er zijn data uit meerjarige proeven van het fosfaattoestandenproefveld te PPO-Lelystad geselecteerd. Dit betreft de jaren dat het gewas aardappel er in de rotatie lag en waar vanaf 2004 naast het Pw-getal, P-AL ook P-Calciumchloride ($P-CaCl_2$) bepaald. Het gewas aardappel lag in de rotatie in de jaren 2005 en 2010. De fosfaattoestandenproef heeft vier niveaus van fosfaattoestand van de grond. De proefopzet is uitgebreid beschreven door Ehlert et al. (2003). Ook zijn de proefdata 2012 van de fosfaat rijenbestedingsproef met aardappel op PPO-AGV te Lelystad gebruikt (nog niet gepubliceerd).

4 PROEFRESULTATEN

4.1 Perceel-, teelt- en grondgegevens

Tijdens de uitvoering is één perceel afgefallen. In totaal omvatte de proef uiteindelijk 58 percelen op 22 bedrijven op diverse locaties in Nederland (Figuur 4.1). De bedrijven lagen vooral in noord en oost Nederland omdat daar percelen waren met een lage P-toestand. Op twee bedrijven (5 percelen) werden pootaardappelen geteeld, op acht bedrijven zetmeelaardappelen (19 percelen) en op 12 bedrijven consumptieaardappelen (34 percelen). De verdeling van de teelten over de grondsoort is in Tabel 4.1 weergegeven. Op 10 van de 22 bedrijven werd per bedrijf hetzelfde ras geteeld. Op 12 bedrijven werden op de proefpercelen 2 rassen geteeld. In totaal werden 19 verschillende rassen geteeld over alle percelen heen.

Tabel 4.1. De verdeling van de percelen over de teelten en grondsoort.

Teelt	Dalgrond	Dekzand	Löss	Rivierklei	Zeeklei
consumptie	4	0	3	13	14
pootgoed	0	3	0	0	2
zetmeel	10	9	0	0	0



Figuur 4.1. De verspreiding van de proeflocaties.

De geselecteerde percelen kenden een grote diversiteit aan P-toestanden (zie Tabel 4.2, Figuur 4.2). Het lutum-, en organischestofgehalte varieerden eveneens sterk. Voor de algemene bodemeigenschappen (Tabel 4.3) kan onderscheid worden gemaakt tussen kleigronden (n=30) en zandgronden (n=29). De zandgronden hebben over het algemeen een lagere pH (5-95 percentiel range 4,6 – 5,8) dan kleigronden (6,9 – 7,4). Geen van de zandgronden bevat kalk. Daarentegen bevatten 16 van de 30 kleigronden meer dan 1% kalk. Een ander verschil is dat het

organische stofgehalte van de zandgronden (5-95 percentiel range 4,0 – 13,9) gemiddeld hoger is dan van de kleigronden (1,5 – 6,0). Dat komt omdat een deel van de locaties op dalgrond in NO Nederland lag.

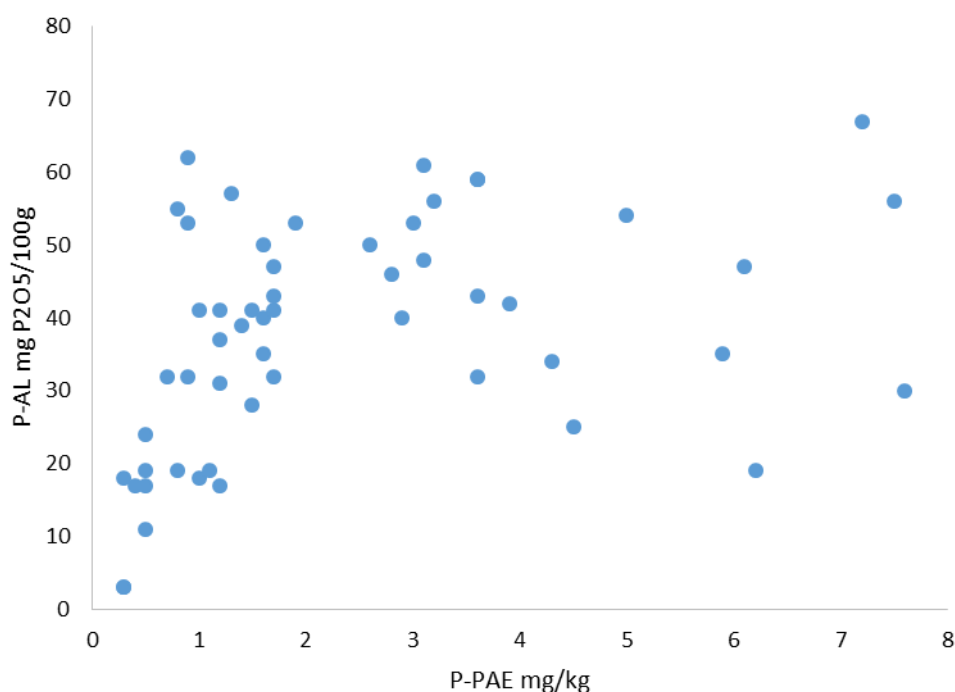
Gemiddeld was de stikstofbemesting aan de krappe kant en was er een grote variatie in de hoeveelheid. Deels is dit veroorzaakt doordat de stikstofbemesting aan de boer werd overgelaten. Op één locatie is geen N gegeven omdat de voorvrucht gras was. Op de percelen zijn 4 P-trappen aangelegd 0, 40, 80 en 120 kg P₂O₅/ha. Gemiddeld betekent dat 60 kg P₂O₅/ha. Op een enkel bedrijf bleek bij controle achteraf toch iets fosfaat te zijn gegeven waardoor gemiddeld over alle bedrijven 61 kg P₂O₅/ha is gegeven.

Tabel 4.2. Overzicht van de grondanalyse en de N-, P- en K-bemesting.

	Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	1 ^e kwartiel	4 ^e kwartiel
Advies Pw	40,52	40	9	83	30	49
P_PAE, mg P/kg	2,345	1,6	0,3	7,6	0,9	3,6
P_AL, mg P ₂ O ₅ /100	39,14	40	3	108	28	53
pH	6,003	5,95	4,4	7,4	5,2	6,9
N_tot, g N/kg	1,966	1,61	0,69	4,95	1,23	2,6
Zwavel, mg S/kg	4,091	4	3	7,3	3,65	4,4
CN quotiënt	13,83	13	6	25	9	17
K, mg S/kg	85,74	82	24	165	68	96
CEC, mmol(+)/kg	132	127,5	32	286	84	168
Lutum, %	11,0	11,1	1	33	8	12,6
Silt, %	25	27	4	69		
Zand, %	58	57	13	90		
Organische stof, %	5,219	4,55	1,3	14,5	2,6	6,1
N-gift, kg N/ha	171,9	176,5	0	334	112	230
P-gift, kg P ₂ O ₅ /ha	61	80	0	160	40	120
K-gift, kg K ₂ O/ha	152,3	150	0	355	116	185

Tabel 4.3. Algemene bodemkenmerken van de onderzochte gronden opgedeeld in zand- en kleigronden.

		aantal	Gem	Mediaan	MIN	MAX	25%	75%	5%	95%
Klei	Lutum, %	30	19	18	5	33	14	24	7	32
	Silt, %	30	39	39	20	69	35	43	27	48
	Zand, %	30	37	38	13	70	27	45	15	57
	pH	30	6,7	6,9	5,8	7,4	6,3	7,2	5,8	7,4
	KZK, %	30	2,0	1,1	0,2	6,6	0,2	3,5	0,2	6,5
	OS, %	30	3,3	2,7	1,3	8,6	2,2	3,9	1,5	6,0
Zand	Lutum, %	29	1,7	1,0	1,0	4,0	1	2	1,0	3,6
	Silt, %	26	10	10	4	14	10	11	6	13
	Zand, %	26	81	82	69	90	79	84	74	88
	pH	26	5,1	5,1	4,4	5,9	4,9	5,4	4,6	5,8
	KZK, %	29	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4
	OS, %	29	7,4	5,8	3,1	14,5	4,8	9,5	4,0	13,9



Figuur 4.2. De fosfaattoestand van de 58 percelen uitgedrukt in P-AL en P-PAE.

4.2 Detail grondonderzoek

4.2.1 Algemeen

Op basis van de combinatie P-AL en P-CaCl₂ laten de onderzochte gronden een zeer grote spreiding zien in fosfaattoestand. Twee van de onderzochte gronden krijgen de waardering zeer laag. Ook P-ox en de FVG zijn voor deze twee gronden laag. Drie gronden krijgen de waardering laag, en nog eens drie gronden zitten op de grens tussen laag en voldoende. Het is opvallend dat alle gronden met deze lage waardering kleigronden zijn. De meeste gronden (75%) hebben volgens deze classificering een voldoende tot vrij hoge fosfaattoestand. Voor 9 gronden is de waardering hoog. Zoals duidelijk te zien is Figuur 4.1 kan de waardering hoog gebaseerd zijn op met name een hoge P-intensiteit (P-CaCl₂) of op een met name hoge P-kwantiteit (P-AL), of op een combinatie.

De verschillende fosfaatkarakteristieken zijn niet of matig aan elkaar gecorreleerd. De hoogste correlatie ($r^2=0,54$) is voor de relatie tussen P-CaCl₂ en FVG (macht) en de relatie tussen P-AL en FVG ($r^2=0,56$, lineair). P-ox is niet gecorreleerd met de andere fosfaatkarakteristieken.

Tabel 4.4 Samenvatting van de fosfaattoestand van de 59 onderzochte gronden.

		Gemiddelde	Mediaan	Minimum	Maximum	5%	95%	St. Dev
P-CaCl ₂	mg/kg	2,3	1,6	0,3	7,6	0,4	6,3	1,9
AdviesPw	mg P ₂ O ₅ /L	41	40	9,0	83	15	71	17
P-AL	mg P ₂ O ₅ /100g	40	40	3,0	108	16	63	18
Al-ox	mmol/kg	33	31	6	78	12	62	16
Fe-ox	mmol/kg	63	46	13	249	15	192	56
P-ox	mmol/kg	14,7	14,0	7,0	28,0	8,7	23,0	5,0
FVG	-	0,18	0,18	0,1	0,37	0,08	0,29	0,07

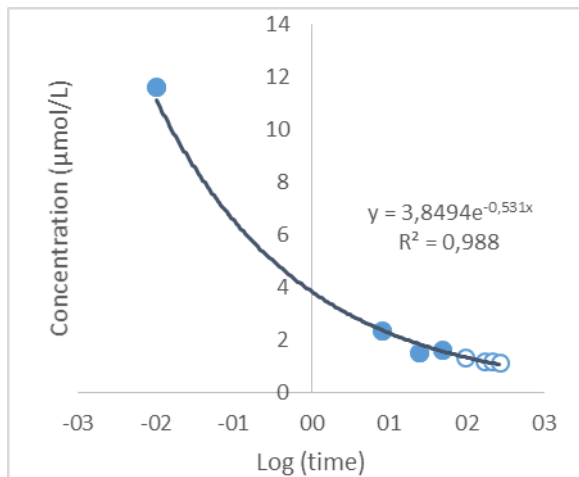
4.2.2 Desorptiegedrag

De variatie tussen de 59 onderzochte gronden is duidelijk terug te zien in het desorptiegedrag (Tabel 4.5). Na 7 Fe-papiertjes (t=264 uur) varieert de hoeveelheid die aan een grond is onttrokken tussen 0,11 en 3,4 mmol kg⁻¹, gemiddeld (1,2 mmol kg⁻¹). Voor het gewas aardappel bedraagt de onttrekking gemiddeld 50 kg P₂O₅ ha⁻¹ (Ehlert et al., 2009) wat omgerekend voor een bouwvoor van 25 cm met een bulkdichtheid 1,3 kg l⁻¹ overeenkomt met ongeveer 0,22 mmol kg⁻¹. Gedurende het desorptie experiment wordt dus gemiddeld ongeveer 5 keer meer P onttrokken dan gedurende een aardappel groeiseizoen. Voor 6 van de 59 gronden (10%!) is de hoeveelheid cumulatief onttrokken P echter na 7 Fe-papiertjes lager dan de gemiddelde P-onttrekking van aardappels (0,22 mmol kg⁻¹).

Tabel 4.5. Samenvatting van het desorptiegedrag van de 59 onderzochte gronden.

Alle gronden		MIN	MAX	5%	50%	95%	Gem	St. Dev
Qcum 8	mmol/kg	0,02	0,55	0,04	0,13	0,3	0,15	0,11
Qcum 24	mmol/kg	0,04	1,09	0,05	0,28	0,7	0,35	0,24
Qcum 48	mmol/kg	0,05	1,70	0,07	0,43	1,1	0,52	0,37
Qcum 96	mmol/kg	0,07	2,28	0,10	0,63	1,5	0,71	0,48
Qcum 168	mmol/kg	0,09	2,81	0,14	0,87	1,9	0,94	0,61
Qcum 216	mmol/kg	0,10	3,19	0,17	0,96	2,1	1,05	0,67
Qcum 264	mmol/kg	0,11	3,40	0,18	1,03	2,4	1,16	0,72
C0	μmol/L	0,97	24,5	1,26	5,17	20,3	7,54	6,26
C8	μmol/L	0,03	6,17	0,13	1,23	4,1	1,69	1,38
C24	μmol/L	0,10	2,42	0,13	0,81	2,1	0,96	0,65
C48	μmol/L	0,10	2,71	0,19	0,77	1,8	0,84	0,58

De concentratie in de oplossing daalt met name de eerste 8 uur sterk (Figuur 4.3). Daarna daalt de concentratie over het algemeen nog maar licht. Na de initiële sterke daling wordt de concentratie in de oplossing sterk gebufferd. Dit is ook gevonden in eerdere desorptie experimenten (Van Rotterdam et al., 2009).

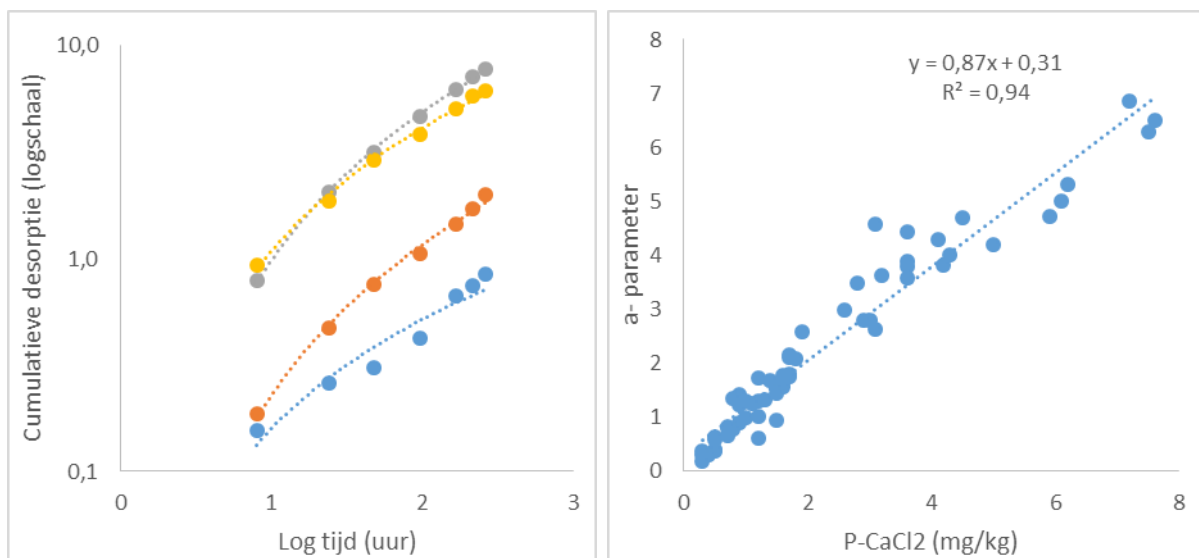


Figuur 4.3. Afname in concentratie gedurende de cumulatieve P-adsorptie (Q_{cum}) aan 7 successieve Fe-papierjes, gefit op de 4 meetpunten. Concentratie op $t=0$ is gelijk gesteld aan de concentratie in een $CaCl_2$ extract.

4.2.3 Desorptie experimenten: voorspellen van fosfaatdesorptiegedrag

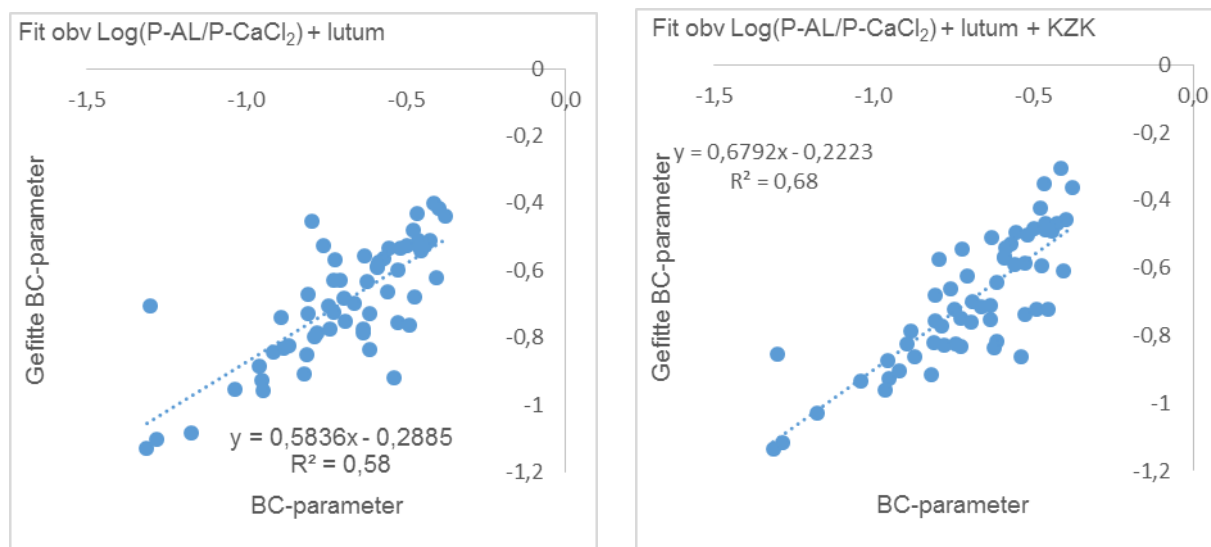
De desorptie over de tijd is voor vier van de 59 gronden weergegeven in Figuur 4.4. De figuur laat zien dat er tussen gronden variatie bestaat in hoeveel P er met het eerste papierje wordt onttrokken en hoe dit verandert gedurende continue onttrekking over de tijd. Het desorptiegedrag kan goed worden beschreven op basis van twee parameters: i) een a-parameter die een maat is voor de direct beschikbare hoeveelheid P; hier gedefinieerd als een a-parameter, en ii) de continuïteit in de P-levering door de bodem. Dit is in feite een maat voor de buffercapaciteit en zal daarom de BC-parameter worden genoemd.

Om het fosfaatdesorptiegedrag van gronden te kunnen voorspellen zijn de twee parameters waarmee het desorptiegedrag kan worden beschreven gekoppeld aan bodemparameters die standaard worden gemeten. De a-parameter is sterk gecorreleerd met P- $CaCl_2$ ($r^2=0,94$, Figuur 4.3). Geconcludeerd kan worden dat naast P- $CaCl_2$ slechts 1 andere parameter nodig is om de dynamische beschikbaarheid van P tijdens de onttrekking door een P-sink (in dit geval 7 successieve Fe-papierjes) te begrijpen. In eerdere studies is afgeleid dat dit P-AL zou kunnen zijn.



Figuur 4.4. De cumulatieve P-desorptie over de tijd voor 4 gronden (linker grafiek). Relatie tussen de gefitte maat voor de initiële desorptie (a-parameter) en P- $CaCl_2$ (rechter grafiek).

Net als in vorige studies (Van Rotterdam, 2010) blijkt ook in deze studie log ratio P-AL over P-CaCl₂ belangrijk voor het voorspellen van de buffercapaciteit voor fosfaat. Voor deze gronden echter lijkt het kleigehalte ook een belangrijke parameter te zijn om de capaciteit van de bodem om P te blijven leveren (BC-parameter), te kunnen voorspellen (Figuur 4.5a). De verklaarde variantie neemt toe van 57% naar 66% wanneer naast de log ratio P-AL over P-CaCl₂ en kleigehalte ook kalkgehalte (KZK) wordt meegenomen (Figuur 4.5b). De toename in verklaarde variantie door kalk neemt sterk af wanneer de 8 gronden met P-CaCl₂ <0,5 mg/kg, Figuur 4.2) buiten beschouwing worden gelaten. Dit komt omdat met alleen lutum en de log ratio P-AL over P-CaCl₂ de verklaarde variantie dan al 69% is en met kalk slechts stijgt naar 71%.



Figuur 4.5. De relatie tussen de voorspelde BC-parameter en de gefitte BC-parameter zoals afgeleid uit de desorptiedata. In de linker figuur is de BC-parameter berekend op basis van de log ratio P-AL over P-CaCl₂ en in de rechter figuur is ook kalkgehalte (KZK) meegenomen in de voorspelling.

De resultaten van de desorptie experimenten bevestigen daarmee de resultaten van eerder onderzoek. De desorptiedynamiek van P in de bodem wordt bepaald door de initiële directe beschikbaarheid en de capaciteit van de grond om P te blijven leveren (de buffercapaciteit). De initiële directe beschikbaarheid kan goed worden voorspeld op basis van P-CaCl₂. De buffercapaciteit kan worden voorspeld op basis van de log ratio P-AL over P-CaCl₂. Deze voorspelling is te verbeteren door zowel het lutumgehalte als, in mindere mate, het kalkgehalte mee te nemen.

4.3 Opbrengstgegevens

De aardappelen werden relatief laat gepoot (Tabel 4.5) vanwege het koude voorjaar (gemiddeld zo rond 20 april). De pootaardappelen werden gemiddeld gesproken half augustus geoogst (114 dagen groeiduur), de consumptie aardappelen half september (144 dagen groeiduur) en de zetmeelaardappelen (163 dagen groeiduur) in de eerste week van oktober. De gerealiseerde opbrengst bevindt zich op een goed niveau (Tabel 4.6 en Figuur 4.6). Tussen de bedrijven en percelen is er wel een behoorlijke spreiding hetgeen ook blijkt uit de opbrengst van 25% beste (4^e kwartiel) en 25% slechtste percelen (1^e kwartiel). Op één perceel was de opbrengst uitzonderlijk laag met minder dan 20 ton consumptieaardappelen. De oorzaak hiervan is niet duidelijk. Op basis van Figuur 4.5 lijkt het effect van fosfaathbemesting op de opbrengst beperkt te zijn. Dat komt voor een deel omdat in Figuur 4.5 ook de hoge P-toestanden mee zijn genomen in de middeling. Indien gekeken wordt naar alle percelen met een P_{AL} < 45 dan bedraagt de

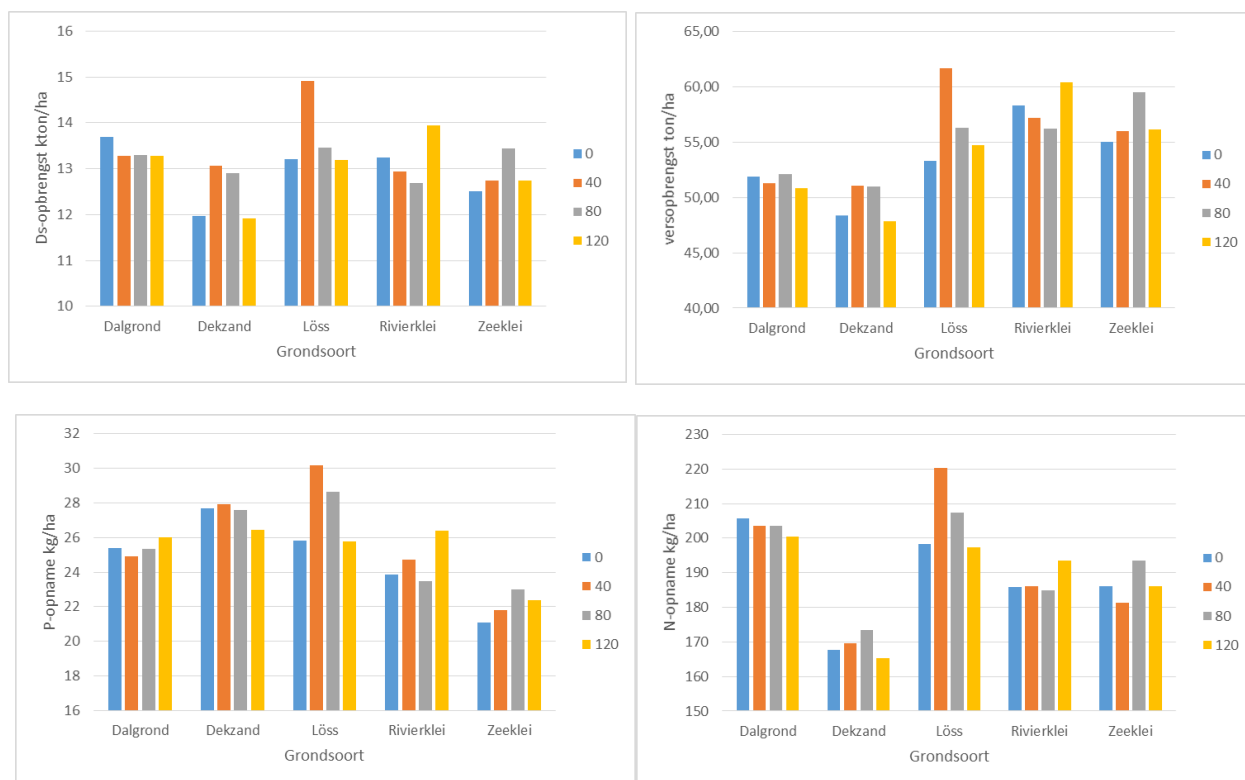
gemiddelde drogestofopbrengst 12,5, 12,8, 12,9 en 12,7 ton ds per ha en de gemiddelde verse opbrengst respectievelijk 52,0, 53,8, 54,4 en 53,2 ton per ha bij voor respectievelijke de Ptrap 0, 40, 80, 120 kg P_2O_5 /ha. De fosfaatrespons op basis van de P-opname is zwak (zie Figuur 4.6). Gemiddeld werd 24,8 kg P ofwel 56,9 kg P_2O_5 /ha opgenomen. Er lijkt geen effect te zijn op de N-opname. Gemiddeld werd er 188 kg N en 318 kg K_2O /ha opgenomen. Verder laat Figuur 4.6 zien dat de opbrengst sterk varieert tussen locaties en teelten en afhankelijk is van de groeiduur.

Tabel 4.5. De poot- en oogstdata van de aardappelen op de verschillende percelen en bedrijven inclusief de gebruikte rassen.

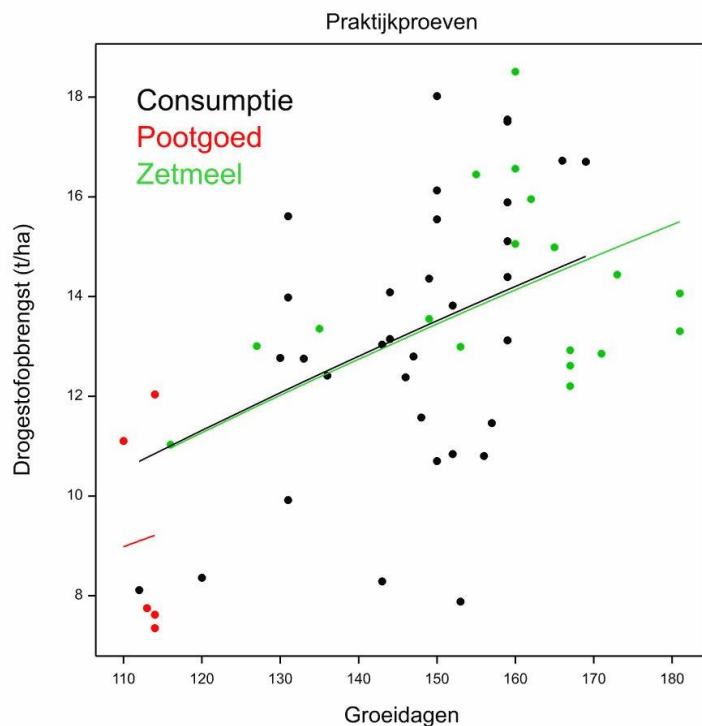
Bedrijf	Perceel	Teelt	Ras	Pootdatum	Oogstdatum
1	Blok 15	zetmeel	Seresta	15-4-2013	24-9-2013
1	Blok 6	zetmeel	04-454 Sloots	18-4-2013	24-9-2013
1	Mulder Rechts	zetmeel	Seresta	22-4-2013	24-9-2013
2	Midden	consumptie	Melody	16-4-2013	10-9-2013
2	Weiland	consumptie	Melody	17-4-2013	10-9-2013
3	Campo	consumptie	Agria	5-4-2013	18-9-2013
4	Kramer voor	consumptie	Hansa	1-5-2013	21-8-2013
4	Tv vooraf	consumptie	Hansa	23-4-2013	21-8-2013
4	KVW 5	zetmeel	Seresta	27-4-2013	21-8-2013
5	Hoge drie	pootgoed	Kennebec	1-5-2013	22-8-2013
5	Driehoek	consumptie	Challenger	29-4-2013	24-9-2013
5	On 't hoes	pootgoed	Challenger	4-5-2013	22-8-2013
6	Stuwweg	consumptie	Fontane	19-4-2013	28-8-2013
6	Maasoever	consumptie	Fontane	19-4-2013	28-8-2013
6	Pont 1	consumptie	Fontane	19-4-2013	28-8-2013
6	Pont 2	consumptie	Fontane	19-4-2013	28-8-2013
7	Laan 1	consumptie	Bintje	14-4-2013	11-9-2013
7	Laan 2	consumptie	Fontane	14-4-2013	11-9-2013
7	Akkersgoos	consumptie	Bintje	14-4-2013	11-9-2013
7	Haastert	consumptie	Fontane	14-4-2013	11-9-2013
8	Slegge	zetmeel	Seresta	22-4-2013	27-8-2013
8	Leemdobben	zetmeel	Festien	20-4-2013	2-10-2013
9	Rechts	pootgoed	Asterix	23-4-2013	15-8-2013
9	Links	pootgoed	Asterix	23-4-2013	15-8-2013
9	Varsseveld	pootgoed	Asterix	23-4-2013	15-8-2013
10	5A	zetmeel	Seresta	25-4-2013	2-10-2013
10	6C	zetmeel	Avarna	25-4-2013	2-10-2013
10	7D	zetmeel	Seresta	25-4-2013	2-10-2013
11	Piening 4	zetmeel	Festien	24-4-2013	8-10-2013
11	Piening 3	zetmeel	Festien	24-4-2013	8-10-2013
11	Piening 2	zetmeel	Festien	24-4-2013	8-10-2013
12	Achter snelweg	zetmeel	Seresta	23-4-2013	5-9-2013
12	Blikveld	zetmeel	Avarna	17-4-2013	7-10-2013
12	Slenerweg	zetmeel	Seresta	19-4-2013	7-10-2013
13	Dam 4L	zetmeel	Avarna	19-4-2013	19-9-2013
13	Dam 3R	zetmeel	Seresta	23-4-2013	19-9-2013
14	M46	consumptie	Agria	15-4-2013	1-10-2013
14	Vijver 9	consumptie	Victoria	1-5-2014	1-10-2013
14	Ossenkampweg	consumptie	Agria	27-4-2013	1-10-2013
15	M96	consumptie	Rosago	22-4-2013	12-9-2013
15	M100	consumptie	Monte	22-4-2013	12-9-2013
16	11 Oost	consumptie	Fontane	20-4-2013	19-9-2013
16	12B	consumptie	Fontane	20-4-2013	19-9-2013
17	Pastoor vijf	consumptie	Agria	21-4-2013	4-9-2013
17	Kerkven	consumptie	Agria	27-4-2013	4-9-2013
17	Kleikamp	consumptie	Agria	24-4-2013	4-9-2013
18	M86	consumptie	Innovator	19-4-2013	25-9-2013
18	M87	consumptie	Innovator	19-4-2013	25-9-2013
18	M88	consumptie	Innovator	19-4-2013	25-9-2013
18	M91	consumptie	Innovator	19-4-2013	25-9-2013
19	Aalst Links	consumptie	Melody	17-4-2013	13-9-2013
19	Ophemert Noord	consumptie	Mozart	19-4-2013	10-9-2013
19	Ophemert Zuid	consumptie	Mozart	19-4-2013	10-9-2013
20	Plateau	consumptie	Fontane	17-4-2013	23-9-2013
20	Pluymen Heek	consumptie	Fontane	17-4-2013	23-9-2013
21	Broekweg	consumptie	Jelly	20-4-2013	23-9-2013
22	Bergjesweg	zetmeel	Festien	5-4-2013	3-10-2013
22	Voetbalveld	zetmeel	Valiant	5-4-2013	3-10-2013

Tabel 4.6. De drogestofopbrengst en versopbrengst voor consumptie-, poot- en zetmeelaardappelen.

	Droge stof			Vers		
	cons	poot	zetmeel	cons	poot	zetmeel
Aantal percelen	136	20	76	136	20	76
Gemiddelde	13,0	9,2	14,2	56,8	44,9	52,1
Mediaan	13,0	8,5	14,0	57,8	42,3	50,4
Minimum	3,9	6,2	9,5	18,2	35,0	38,7
Maximum	18,9	14,2	19,8	85,7	63,0	71,8
1e kwartiel	11,1	7,2	12,4	49,7	40,3	45,9
4e kwartiel	15,2	10,7	15,6	65,8	47,6	57,9



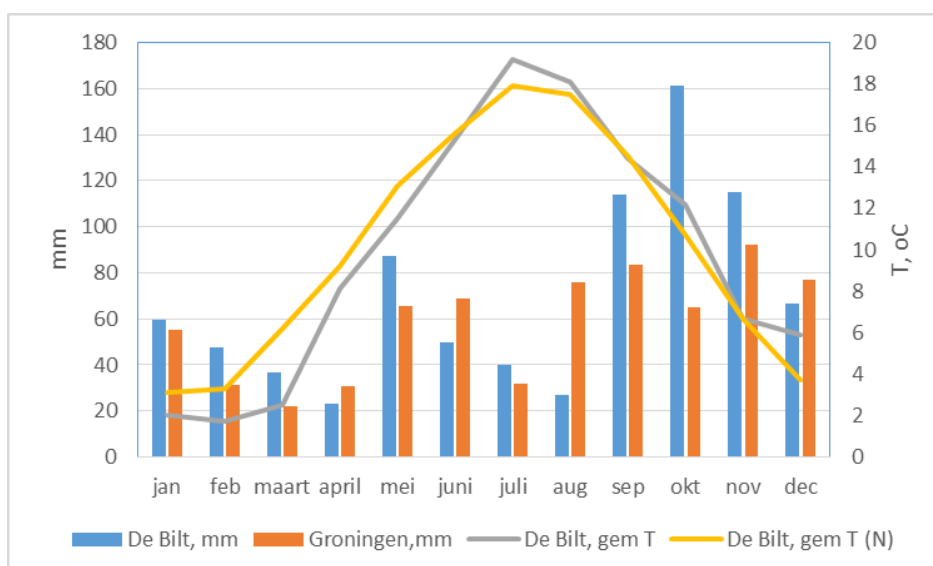
Figuur 4.6. De drogestofopbrengst, versopbrengst, P-opname en N-opname uitgesplitst naar grondsoort en P-trap (0, 40, 80 en 120 kg P₂O₅/ha).



Figuur 4.7. Geschatte opbrengst per perceel (zie Bijlage 2).

4.4 Het weerjaar 2013

Het jaar 2013 kenmerkte zich door een koude start. De maanden januari, februari, maart en april waren duidelijk kouder dan normaal. Zo bedroeg de gemiddelde maandtemperatuur in maart slechts 2,5 °C tegen normaal 6,2 °C.



Figuur 4.8. Neerslaggegevens voor de Bilt en Groningen in 2013 en de gemiddelde maandtemperatuur en normale maandtemperatuur (T(N)) voor de Bilt in 2013.

5 STATISTISCHE ANALYSE OPBRENGSTGEGEVENS

5.1 Analysemodel(len)

5.1.1 Analysemodel praktijkbedrijven NMI 2013

De resultaten van de veldproeven zijn statistisch geanalyseerd met Genstat (VSN International, 2013) met als doel om relaties te ontwikkelen tussen de bodemtoestand en de fosfaatbemesting en de gewasrespons met gebruikmaking van de nieuwe inzichten omtrent fosfaatbeschikbaarheid (H4, van Rotterdam-Los, 2010). Op basis van deze informatie wordt in H6 verkend of een voorloper van een vernieuwd bemestingsadvies kan worden ontwikkeld.

Er is gebruik gemaakt van gemengde modellen, waarbij het fixed model beschreven wordt met een inverse polynome functie (Black, 1993, pagina 49). De toegepaste modellen beschrijven het effect van de soort teelt (poot-, consumptie- of zetmeelaardappel) (1a), 1a plus het aantal groeidagen van het aardappelgewas (1b), 1b plus fosfaattoestand en fosfaatbemesting (1c) en 1c plus stikstoflevering en N-gift (1d). Deze modellen bevatten nog geen random term waarin de ruis als gevolg van verschillende proeflocaties en percelen is verdisconteerd. In model 2 wordt dat wel gedaan voor de situatie van mode 1d. Als random bijdrage voor de praktijkproeven 2013 is dat het “perceel” binnen de proeflocatie “Bedrijf”:

Modellen praktijkbedrijven NMI 2013

Voor de analyse met een gemengd model zijn de waarnemingen op praktijkbedrijven uit 2013 opgevat als 4 waarnemingen, met $P_{gift} = 0, 40, 80$ en $120 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$, voor de volgende fixed modellen

$$\frac{1}{Y} = \alpha_i + E. \quad (1a)$$

$$\frac{1}{Y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + E. \quad (1b)$$

$$\frac{1}{Y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + \frac{\beta_P}{P - PAE + \gamma_{P1} \ln(P_{gift}) + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P - AL}{P - PAE}\right)} + E. \quad (1c)$$

$$\frac{1}{Y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + \frac{\beta_P}{P - PAE + \gamma_{P1} \ln(P_{gift}) + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P - AL}{P - PAE}\right)} + \frac{\beta_N}{N_{gift} + \gamma_N N_{leverbaar}} + E. \quad (1d)$$

En het mixed model bestaat uit:

$$\frac{1}{Y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + \frac{\beta_P}{P - PAE + \gamma_{P1} \ln(P_{gift}) + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P - AL}{P - PAE}\right)} + \frac{\beta_N}{N_{gift} + \gamma_N N_{leverbaar}} + B.P + E. \quad (2)$$

Y = drogestofopbrengst aardappelen (t/ha)

gd = groeiduur (dagen)

i = consumptie, pootgoed, zetmeel

$\alpha_i, \beta_P, \beta_N, \gamma_{P1}, \gamma_{P2}, \gamma_N$ en δ zijn regressieparameters

B en B.P zijn random bijdragen van bedrijf en perceel binnen bedrijf en E is de residuele error term

Het quotiënt $P - AL / P - PAE$ uit (1c), (1d) en (2) wordt verder aangeduid als ratio en $\ln(P - AL / P - PAE)$ als $\ln\text{Ratio}$. Van (1a), naar (1b), (1c), (1d) en (2) neemt het aantal parameters in de modellen toe, de complexiteit wordt groter.

Aanduiding in formules	Aanduiding in GenStat output
α_i ,	Soort : pootgoed, consumptie, zetmeel
δ	reciGrD: (schatter bijdrage aantal groeidagen)
β_P	Pbesch (schatter bijdrage effect P-bodem- en P-bemestingstermen)
β_N	Nbesch (schatter bijdrage effect N-bodem en N-bemesting)
γ_{P1}	$e^{*(b1)}$ (schatter bijdrage Pgift)
γ_{P2}	$e^{*(b2)}$ (schatter bijdrage lnRatio)
γ_N	$e^{*(b3)}$ (schatter bijdrage N-levering)
P-PAE	P-CaCl ₂

5.1.2 Analyse model drie PPO-AGV proeven

De PPO proeven zijn veelal op één locatie uitgevoerd. Bij de proef in 2005 en 2010 was er één N-niveau. De modellen als in 5.2.1 zijn dus niet zonder meer te gebruiken. In het verleden is binnen PPO-AGV vaak een negatief exponentieel model gebruikt, ook wel Mitscherlich curve genoemd, om de P-respons te voorspellen:

$$Y = \mu_i \left(1 - e^{(\beta_0 P_{gift} + \beta_1 P - PAE + \beta_2 \ln Ratio)} \right) + E. \quad (3)$$

Hierbij is μ_i de opbrengst bij proef i bij hoge voorziening met P. Een vergelijkbare formulering met de inverse polynome functie maar met dezelfde predictoren is dan:

$$\frac{1}{Y} = \mu_i + \frac{\beta_P}{P - PAE + \gamma_{P1} P_{gift} + \gamma_{P2} \log\left(\frac{P - AL}{P - PAE}\right)} + E. \quad (4)$$

Model (4) is bijna gelijk aan (1c), zij het dat de bij (1c) het intercept afhangt van soort aardappel (consumptie, pootgoed, zetmeel) en bij (4) hangt het intercept af van de proef (PPO-A 2005, PPO-A 2010 en PPO-Lely 2012). Daardoor is in de PPO-AGV proeven het aantal groeidagen verstrengeld met het intercept. Het opnemen van een lutum als verklarende variabele (op basis van de resultaten van de desorptie proeven) leidde niet tot een hoger percentage verklaarde variantie.

5.1.3 Analyse model praktijkproeven en drie PPO-AGV proeven

Voor het analyseren van de praktijkproeven en de PPO-AGV proeven kan model (2) worden gebruikt. Hierbij wordt voor de factor bedrijf de praktijkbedrijven genomen en bij de PPO-AGV proeven de naam van de proef en het jaar. Voor perceel is gebruikt de perceelsaanduiding zoals aangegeven bij de praktijkbedrijven en bij de PPO-AGV proeven de blokindeling.

5.2 Anova praktijkproeven 2013

De respons op fosfaatbemesting is zwak. Dit blijkt ook uit een eenvoudige ANOVA analyse (Bijlage 2) met Genstat, met als factoren Ptrap en P-CaCl₂niv). Daarbij is de laatste opgedeeld met een P-CaCl₂<2,5 en >= dan 2,5. Na weglaten van 6 uitbijters was er een zwak effect van P-bemesting (P=0,076). Er was geen interactie effect P-CaCl₂niv en Ptrap.

Variate: dsopb (ton/ha)
Overall gemiddelde 13,221

P-CaCl ₂	<2,5	>=2,5		
	13,071	13,470		
aantal	140	84		
Ptrap	0	40	80	120
	12,904	13,301	13,260	13,417
P-CaCl ₂ Ptrap	0	40	80	120
<2,5	12,600	13,129	13,252	13,303
aantal	35	35	35	35
>=2,5	13,410	13,588	13,272	13,608
aantal	21	21	21	21

Boven P-CaCl₂ is 2,5 mg P/kg is er geen opbrengsteffect. Daar beneden is er wel een opbrengsteffect.

ANOVA op alleen die percelen met P-CaCl₂ is <2,5 mg/kg geeft een p-waarde van 0,031. De meeropbrengst is bij Ptrap 40 ruim 500 kg ds/ha hoger dan bij Ptrap 0. Per navolgende trap neemt de meeropbrengst sterk af. Statistisch is de opbrengst bij 40, 80 en 120 niet significant verschillend van elkaar.

5.3 Analyseresultaten praktijkproeven

De resultaten van deze analyse voor praktijkproeven NMI 2013 geven een percentage verklaarde variantie zoals weergegeven in Tabel 5.1. De drie “samengestelde” parameters reciGrD, Pbesch en Nbesch in model 1d en 2 zijn alle drie significant (zie Bijlage 2). Model 2 houdt rekening met de ruis als gevolg van verschillende locaties en percelen. Indien deze ruis als fixed zou worden verondersteld dan bedraagt de verklaarde variantie zo’n 80% voor drogestofopbrengst en bijna 90% voor P-opname.

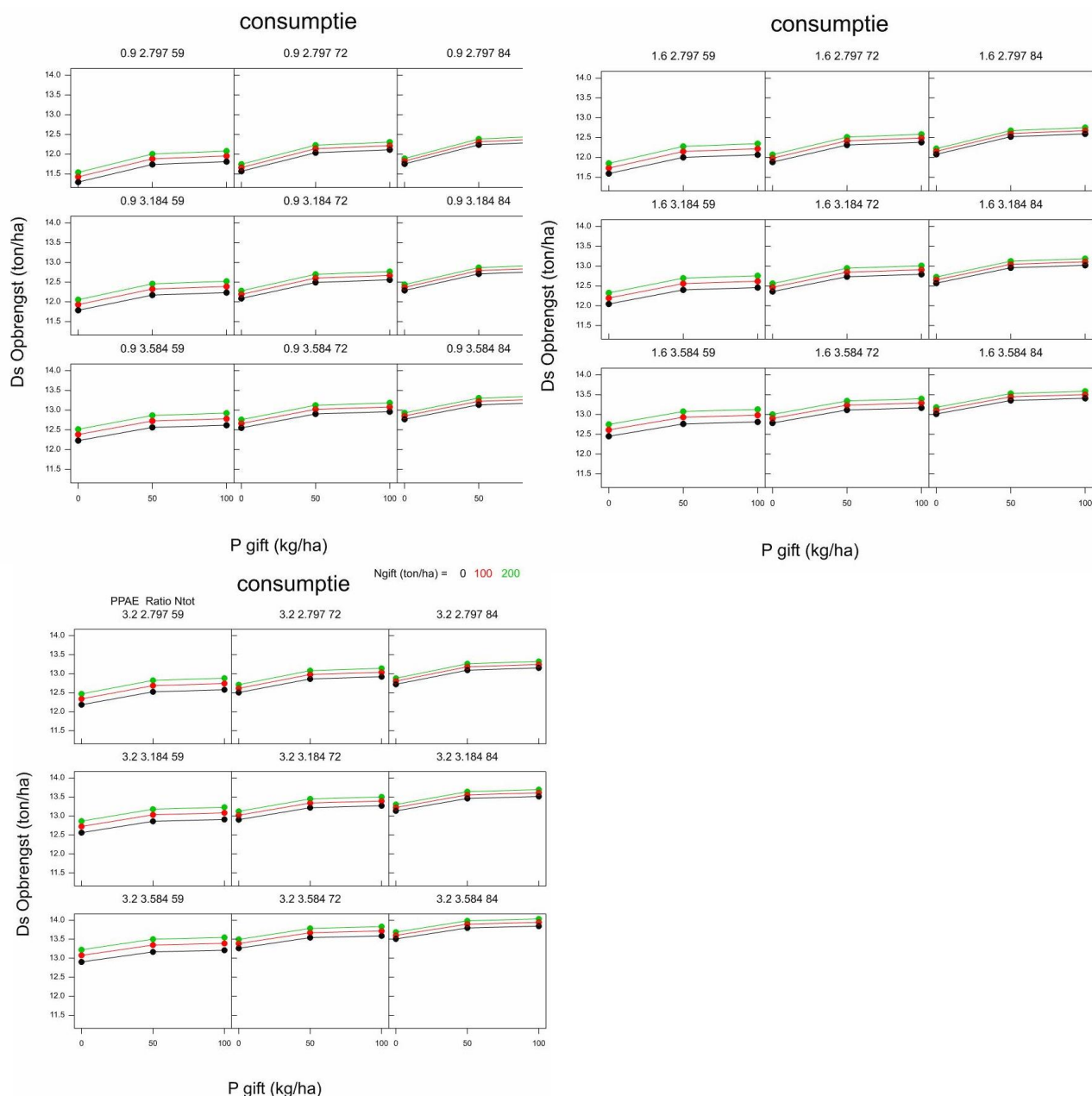
De voorspelfout bij model 2 kan slechts indirect afgeleid worden bij gebruikmaking van model 1d (de berekening is niet weergegeven). De uitkomsten van deze berekening geven aan dat de voorspelfout gemiddeld ongeveer 1,8 ton ds/ha bedraagt bij een opbrengstniveau van 13,1 ton ds/ha.

Tabel 5.1. Het percentage verklaarde variantie (R_{adj}^2), voor de fixed modellen 1a, 1b, 1c, 1d en 2 voor drogestofopbrengst en voor P-opname (alleen model2). In Bijlage 2 zijn de details weergegeven.

Model	drogestofopbrengst				P-opname	
	1a	1b	1c	1d	2	2
R_{adj}^2	18,3%	28,9%	30,6%	35,3%	~ 79%*	~ 87%*
R_{adj}^2 (2)	18,7%	29,9%	31,8%	37,4%	~ 83%*	~ 88%*

* schatting

In Figuur 5.1 is weergegeven hoe model 1d uitpakt voor consumptieaardappelen. Het is duidelijk te zien dat de fosfaattoestand (P-CaCl₂ en lnRatio) veel bepalender is voor de opbrengst dan de fosfaatgift. Ook de N-levering en N-bemesting zijn relevant. Voor pootaardappelen en zetmeelaardappelen is het beeld vergelijkbaar (behalve dat het opbrengstniveau verschilt).

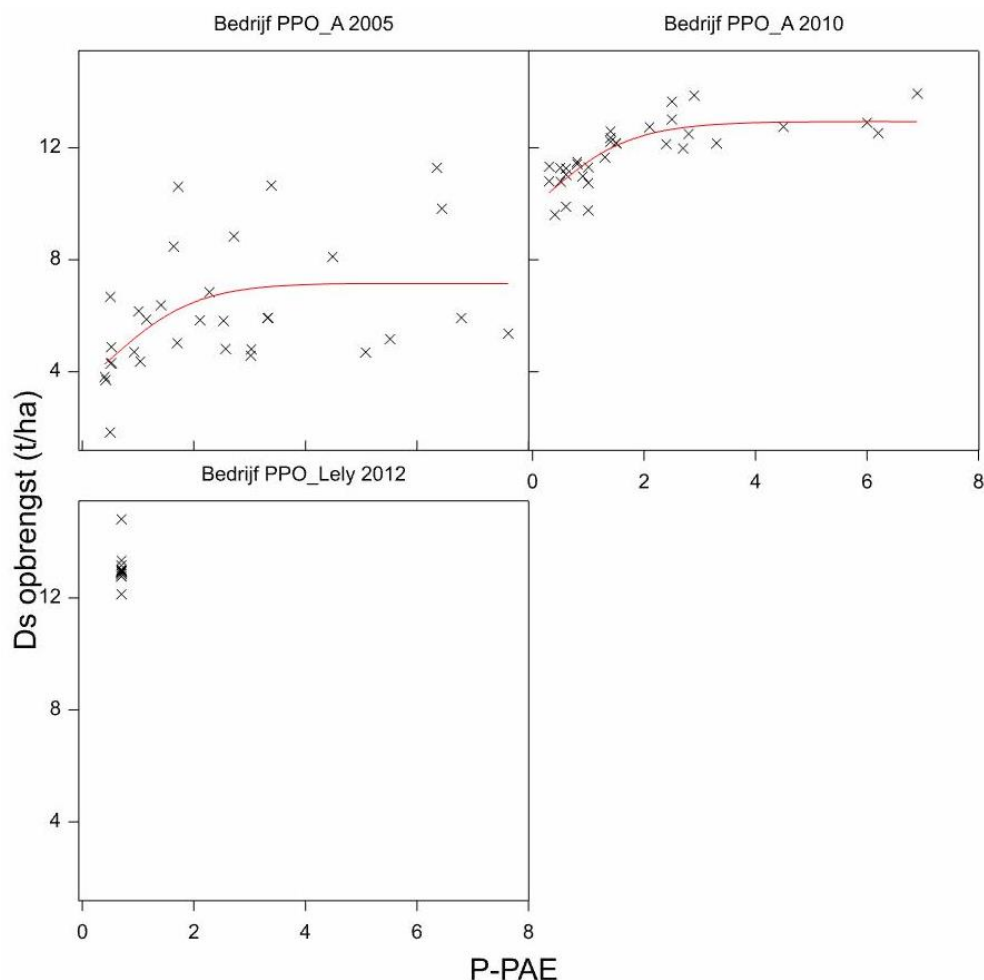


Figuur 5.1. Voorspelling drogestofopbrengst volgens model (1d) voor consumptie aardappelen op de praktijkbedrijven bij P- CaCl_2 (P-PAE) is 0,95, 1,60 en 3,40. Boven elk van de 9 plots staat het niveau van P-PAE, lnRatio en N-leverbaar (kg/ha). Binnen elk van de 9 figuren staat bij P-gift 0, 50 en 100 kg P_2O_5 /ha de voorspelling van de drogestofopbrengst bij N-gift 0, 100 en 200 kg/ha.

5.4 Analyseresultaten PPO-proeven

Uit de analyse van de PPO-proeven uit 2005 en 2010 kwam naar voren dat fosfaatbemesting geen of heel beperkt effect had op de opbrengst.

De proef van 2012 heeft een aantal combinaties van P- en N-giften. Voor alleen de N-gift van 150 kg/ha is de drogestofopbrengst over 4 herhalingen niet verschillende tussen de 3 fosfaattrappen 0, 50 en 100 kg P_2O_5 /ha. De opbrengst bedraagt gemiddeld 13,0 ton ds/ha (Bijlage 2). Wel blijkt uit de analyse dat de P-toestand een duidelijk effect heeft (Figuur 5.2).



Figuur 5.2. Het effect van $P\text{-CaCl}_2$ op de opbrengst bij model 3 met alleen $P\text{-CaCl}_2$ in de exponent.

5.5 Analyseresultaten praktijkproeven plus 3 PPO-proeven

In de PPO-proeven was er vrijwel geen effect van P-bemesting op de opbrengst. Uit de PPO-proeven zijn alleen de proeven uit 2010 meegenomen in de gezamenlijke analyse. Dat leverde 37 gegevens extra op. De analyseresultaten laten een lagere r^2 zien dan bij alleen de proeven uit 2013 (Tabel 5.1).

De voorspelfout bij model 2 kan slechts indirect afgeleid worden bij gebruikmaking van model 1d (de berekening is niet weergegeven). De uitkomsten van deze berekening geven aan dat de voorspelfout gemiddeld ongeveer 1,7 ton ds/ha bedraagt bij een opbrengstniveau van 13,1 ton ds/ha. Na verwijdering van 5 uitbijters bedraagt de voorspelfout 1,3 ton ds/ha

Tabel 5.2. Het percentage verklaarde variantie (R_{adj}^2), voor de fixed modellen 1a, 1b, 1c, 1d en 2 voor drogestofopbrengst en voor P-opname (alleen model2). In Bijlage 2 zijn de details weergegeven.

Model	drogestofopbrengst				P-opname	
	1a	1b	1c	1d	2	2
R_{adj}^2	17,9%	23,3%	26,1%	26,9%	~ 81%*	~ 83%*

* schatting

6 NAAR EEN CONCEPTADVIES

6.1 Economisch optimale gift

De modelresultaten in Hoofdstuk 5 kunnen gebruikt worden om een eerste versie van fosfaatbemestingsadvies af te leiden door het modelresultaat van model 2 (zie Bijlage 2, pagina 36-37) te gebruiken, waarbij de te geven fosfaatgift een functie is van de groeiduur, P-AL, P-CaCl₂ en N-gift en daarmee van de doelopbrengst. Op basis van het modelresultaat kan berekend worden hoeveel meeropbrengst elke extra kg fosfaat geeft. Daarbij moet elke kg fosfaat die extra gegeven wordt minimaal de prijs van meststoffosfaat compenseren. Van belang is om vast te stellen welke prijsverhouding gebruikt dient te worden.

De fosfaatbemestingsadviezen voor aardappel zijn in het verleden afgeleid voor een prijsverhouding 1: 5. Dat wil zeggen 1 kg fosfaat dient 5 kg meeropbrengst te geven. In Tabel 6.1 is op basis van het prijspeil 2012 weergegeven hoeveel meeropbrengst 1 kg fosfaat moet geven. De prijs van de referentiemeststof tripelsuperfosfaat wordt in KWIN 2012 op € 0,97 per kg P₂O₅ gesteld.

Tabel 6.1. Minimale benodigde opbrengsttoename per kg fosfaatbemesting om directe kosten meststof van € 0,97 per kg P₂O₅ terug te verdienen.

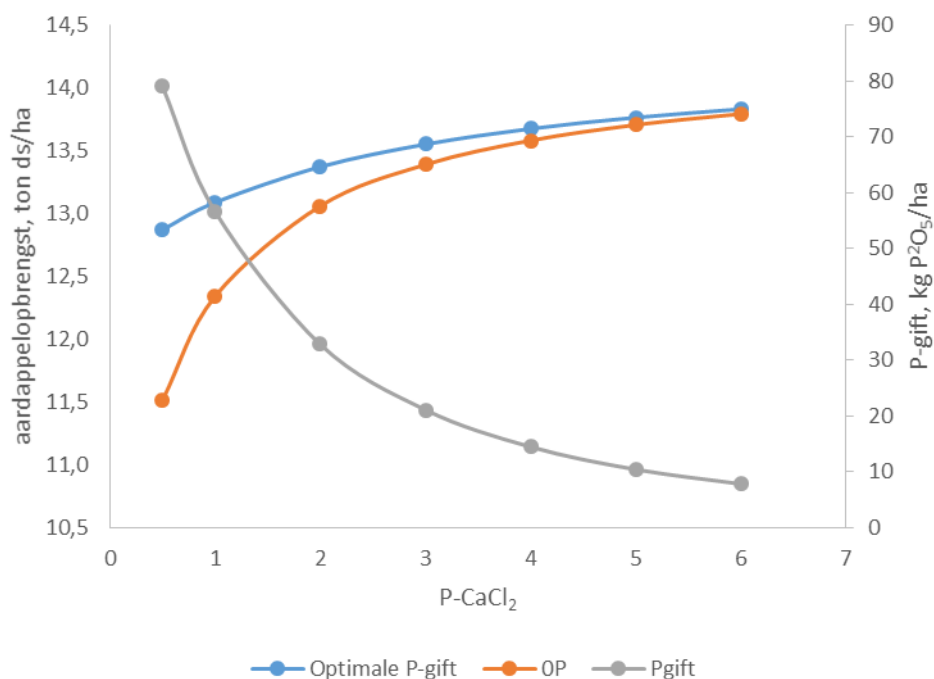
Teelt van...	Gemiddelde Opbrengstprijs/kg (KWIN 2012)	Benodigde minimale opbrengsttoename per kg tripelsuper
Consumptie- aardappelen	€ 0,13	7,5
Pootaardappelen	€ 0,30	3,2
Zetmeel aardappelen	€ 0,17	5,7

De opbrengstprijzen van (consumptie)aardappelen en de kostprijs van fosfaatmeststoffen variëren de laatste jaren sterk. Over de periode 1990-2011 varieerde de prijsverhouding van 2,1-20,9; gemiddeld over deze periode 1990-2011 is dat een prijsverhouding van 8,3 (Ehlert et al., 2014).

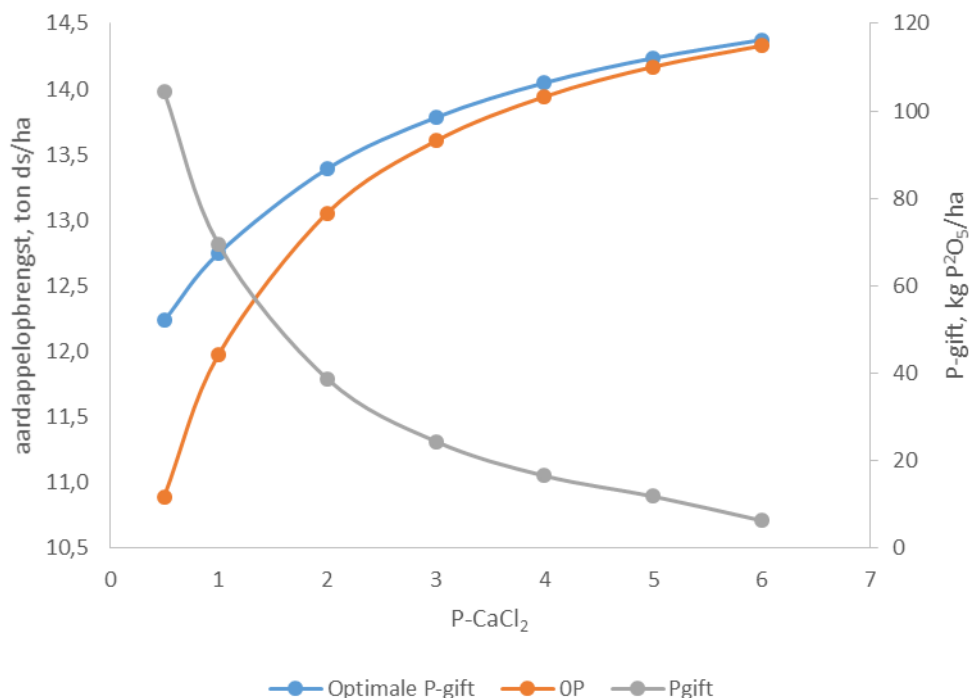
Bij de afleiding van een conceptadvies is uitgegaan van de prijsverhouding van 8,3 als beste schatter. Deze is gebruikt voor zowel consumptie-, poot- en zetmeelaardappelen.

6.2 Naar een conceptadvies

Voor de afleiding van een conceptadvies is uitgegaan van een groeiduur van 145 dagen en een N-gift van 200 kg/ha. In Figuur 6.1 en 6.2 is op basis van modelresultaten van de proeven in 2013 en de PPO proeven van 2010 weergegeven wat de optimale P-gift is en welke opbrengst daarmee is te realiseren. Bij een hoge fosfaattoestand (hoge P-CaCl₂ en P-AL) wordt bij deze modelparameterisatie een opbrengst van 14,0 ton ds/ha (Figuur 6.1) en 14,5 ton ds/ha (Figuur 6.2) bereikt. Bij een lage toestand blijft met P-bemesting de opbrengst achter bij die van een hogere toestand zonder P-bemesting. Op basis van Figuur 6.1 heeft een toestand waarbij P-CaCl₂ hoger dan 3 is, nauwelijks nog meerwaarde voor de opbrengst. Op basis van Figuur 6 is P-CaCl₂ hoger dan 4 gewenst voor een optimale opbrengst. Dit zijn relatieve grote verschillen. Met meer gegevens is het gewenste niveau beter vast te stellen.



Figuur 6.1. De berekende aardappelopbrengst bij geen P-bemesting (OP, rood) en bij optimale P-bemesting (blauw, de optimale gift is in groen weergegeven) bij 145 groeidagen en een N-gift van 200 kg N/ha op basis van de 2013 proeven. De P-AL waarde waarmee gerekend is voor de weergegeven P-CaCl₂ bedraagt respectievelijk, 10,20,35,45, 55,65 en 80).



Figuur 6.2. De berekende aardappelopbrengst bij geen P-bemesting (OP, rood) en bij optimale P-bemesting (blauw, de optimale gift is in groen weergegeven) bij 145 groeidagen en een N-gift van 200 kg N/ha op basis de proeven 2013 en de PPO-proeven van 2010. De P-AL waarde waarmee gerekend is voor de weergegeven P-CaCl₂ bedraagt respectievelijk, 10, 20, 35, 45, 55, 65 en 80.

Op basis van beide modellen is een P-adviesgift te berekenen zoals die in Tabel 6.2 is weergegeven. Deze giften zijn duidelijk lager dan in de huidige adviesbasis. Zo bedraagt de optimale gift bij P-CaCl₂ is 1 en P-AL 20 (bij benadering komt dit overeen met Pw 23) respectievelijk 70 en 55 kg P₂O₅/ha. Op basis van de huidige adviesbasis wordt ongeveer 140 kg P₂O₅/ha geadviseerd. Het advies in de adviesbasis is echter gebaseerd op een prijsverhouding van 1:5. Passen we deze prijsverhouding toe dan zou het advies bij P-CaCl₂ is 1 en P-AL 20 respectievelijk 110 en 87 kg P₂O₅/ha bedragen, duidelijk lager dan de 140 kg in de adviesbasis.

Op basis van de gebruiksnormen mag vanaf 2015 bij Pw < 36 nog 75 kg P₂O₅/ha worden gegeven. Pw 35 komt ongeveer overeen met P-CaCl₂ is 2 en P-AL is 30. Op basis van Tabel 6.2 wordt dan ongeveer 40 P₂O₅/ha geadviseerd.

Tabel 6.2. De berekende fosfaatgift voor verschillende bodemtoestanden op basis van de proeven van 2013 en de proeven van 2013 plus die van PPO in 2010.

P-CaCl ₂	P-AL	Proef 2013+2010 kg P ₂ O ₅ /ha	Proef 2013 kg P ₂ O ₅ /ha
0,5	10	105	80
0,5	15	95	75
0,5	20	90	75
0,5	25	90	70
0,5	30	85	70
0,5	40	80	70
1	10	75	60
1	15	70	60
1	20	70	55
1	25	65	55
1	30	65	55
1	40	65	55
1	50	60	50
2	15	40	35
2	25	40	35
2	35	40	35
2	45	40	30
2	65	35	30
3	20	25	20
3	40	25	20
3	70	25	20
4	20	20	15
4	40	15	15
4	70	15	15
5	30	10	10
>5	>30	<10	<10

Verschillen tussen het huidige advies fosfaatadvies aardappel en het nieuwe concept fosfaatadvies aardappel:

- a) De parameter voor het advies verandert van P_w naar een combinatie van $P-CaCl_2$ en $P-AL$ om niet alleen de direct beschikbare maar ook de potentieel snel vrijkomende fosfaat in het advies te laten mee te wegen.
- b) Het concept fosfaatadvies aardappel geldt voor alle grondsoorten en maakt geen onderscheid tussen dekzand, dalgrond, rivierklei, löss enerzijds en zeelei, zeezand anderzijds, omdat in de beschreven proeven het opnemen van een lutum % als verklarende variabele (op basis van de resultaten van de desorptie proeven) niet leidde tot een hoger percentage verklaarde variantie. Met andere woorden het % lutum had geen effect op de opbrengst.
- c) Voor berekening van de economisch optimale fosfaatgift is een hogere meeropbrengst aangehouden vanwege de hogere fosfaat kunstmestprijs. In het huidige advies wordt een meeropbrengst van 5 kg aardappelen aangehouden om 1 kg extra fosfaat te compenseren. In dit nieuwe concept fosfaatadvies aardappel is daarvoor 8,3 kg aangehouden. Daardoor worden de geadviseerde P-giften in dit nieuwe concept fosfaatadvies over de hele linie lager.
- d) Dit advies houdt nog geen rekening met de gewenste streefwaarden van de bodem fosfaattoestand. Daar waar de fosfaatafvoer door de gewassen in de vruchtwisseling groter is dan de fosfaatgift, zal de fosfaattoestand op termijn dalen. Bij uitbreiding van het advies naar alle akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten zal hiervoor een aanvullend advies opgesteld moeten worden.

6.3 Hoe verder

Op basis van het voorgaande is een eerste advies af te leiden gebaseerd op twee parameters. Dit is wel gebaseerd op vooral de proefgegevens van 1 jaar (2013) al dan niet met een beperkte aanvulling met gegevens uit 2010. Daarbij laten de berekende adviezen in tabel 6.2 zien dat vooral bij de lagere toestanden ($P\text{-CaCl}_2 < 2$) er een relatief groot verschil is tussen de adviezen gebaseerd op alleen 2013 en met medeneming van 2010. Opgemerkt dient te worden dat 2013 een bijzonder jaar is, in die zin dat het voorjaar uitgesproken laat was. Daarom is aan te raden de proef nog een keer te herhalen.

Duidelijk is ook dat de prijsverhouding waarop het advies in de adviesbasis gebaseerd is, van grote invloed is op de te adviseren hoeveelheid.

Het ontwikkelde conceptadvies is een gewasadvies. Tegelijk is duidelijk dat de fosfaattoestand minstens zo belangrijk is voor de opbrengst dan de feitelijke fosfaatgift. Vanaf ongeveer $P\text{-CaCl}_2$ 1,1 is het conceptadvies lager dan de gewasonttrekking. In de proef van 2013 bedroeg de gewasonttrekking ongeveer 57 kg P_2O_5 /ha. Op basis van de gebruiksnormen is een "lage" fosfaattoestand slechts beperkt te verhogen. Op basis van de proefgegevens van 2013 zou de streeftoestand vrij hoog zijn. Of dat mede een gevolg is van een koud voorjaar is niet duidelijk. Met deze gegevens aangevuld met andere gegevens dient nagegaan te worden welke streeftoestand wenselijk is.

Aangeraden wordt de proef te herhalen en te verbreden naar andere akkerbouwgewassen en vollegrondsgroenten om te komen tot een goed onderbouwd en volledig fosfaatadvies op basis van deze nieuwe uitgangspunten.

LITERATUUR EN ANDERE BRONNEN

Adviesbasis voor de Bemesting van Akkerbouw- en Vollegrondsgroentengewassen. De meest recente versie 2013;
http://www.kennisakker.nl/files/Boekpagina/Adviesbasis_mrt_2013.pdf

Adviesbasis bemesting grasland en voedergrassen
<http://www.bemestingsadvies.nl/bemestingsadvies/Adviesbasis%20maat%20II%202012%20def.pdf>

Bussink DW, Bakker RF, Van der Draai H, Temminghoff EJM (2011a). Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 1 maïsland. Nutriënten management instituut rapport 1246.1

Bussink DW, Bakker RF, Van der Draai H, Temminghoff EJM (2011a) (2011b). Naar een advies voor fosfaatbemesting op nieuwe leest; deel 2 grasland. Nutriënten management instituut rapport 1246.2

Dekker PHM & Postma R (2008). Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting . PPO rapport PPO nr. 3250061800, Lelystad, pp. 28

Ehlert PAI, Van Wijk CAP & Van den Berg W (2000). Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentengewassen; 1 bemesting en rendement, Wageningen: Alterra, - 45 p.

Ehlert PAI & Van Wijk CAP (2002). Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentengewassen 2. Plaatsing in gewasgroepen. Lelystad/Wageningen, PPO, 2002. PPO-projectrapport 1125232, 46 blz

Ehlert PAI, Van Wijk CAP, De Willigen P (2002). Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentengewassen; 3 precisiebemesting. Lelystad/Wageningen, PPO, 2002. PPO-projectrapport 1125232, 27 blz

Ehlert PAI, Van Wijk CAP & Dekker PHM (2003). Fosfaatbalansen op perceelsniveau; scan van de resultaten van vier veeljarige veldproeven op bouwland. Wageningen: PPO, - 65 p.

Ehlert P, Chardon W & Burgers (2014). Betekenis van het fosfaat-bufferend vermogen van de bodem: ontwerp van een protocol. Alterra-rapport 2500. Wageningen pp 104

Van Rotterdam-Los AMD (2010) The potential of soils to supply phosphorus and potassium. Processes and predictions. Wageningen, Proefschrift 26 februari 2010, pp 139.

Van Rotterdam AMD, Temminghoff EJM, Bussink DW & Riemsdijk WH (2012). Predicting the potential of soils to supply phosphorus by integrating soil chemical processes and standard soil tests. Geoderma pp. 617-626.

Van Rotterdam-Los AMD (2010). The potential of soils to supply phosphorus and potassium; processes and predictions. PhD Thesis, Wageningen. Pp. 143.

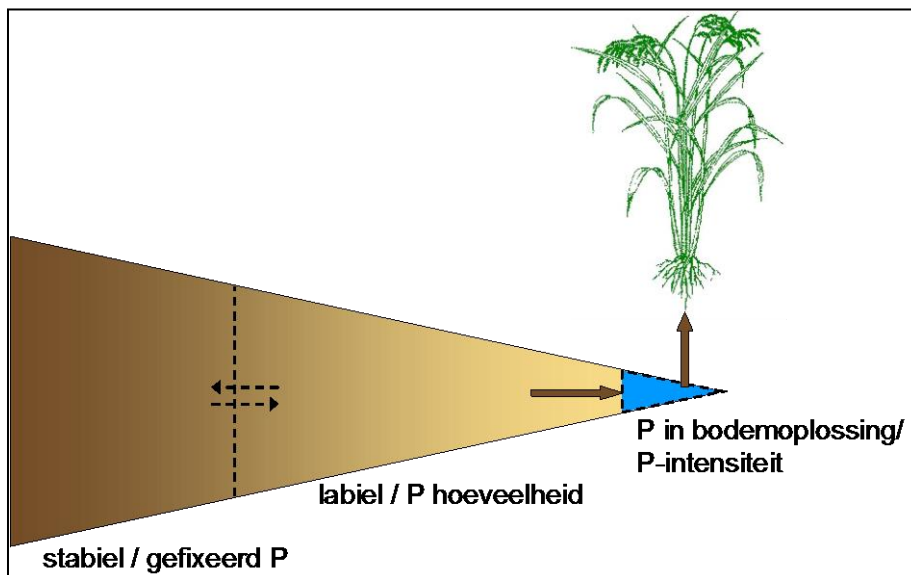
VSN International (2013). GenStat *for Windows* 16th Edition. VSN International, Hemel Hempstead, UK. Web page: GenStat.co.uk

BIJLAGE 1. BESCHIKBAARHEID VAN FOSFAAT

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 (

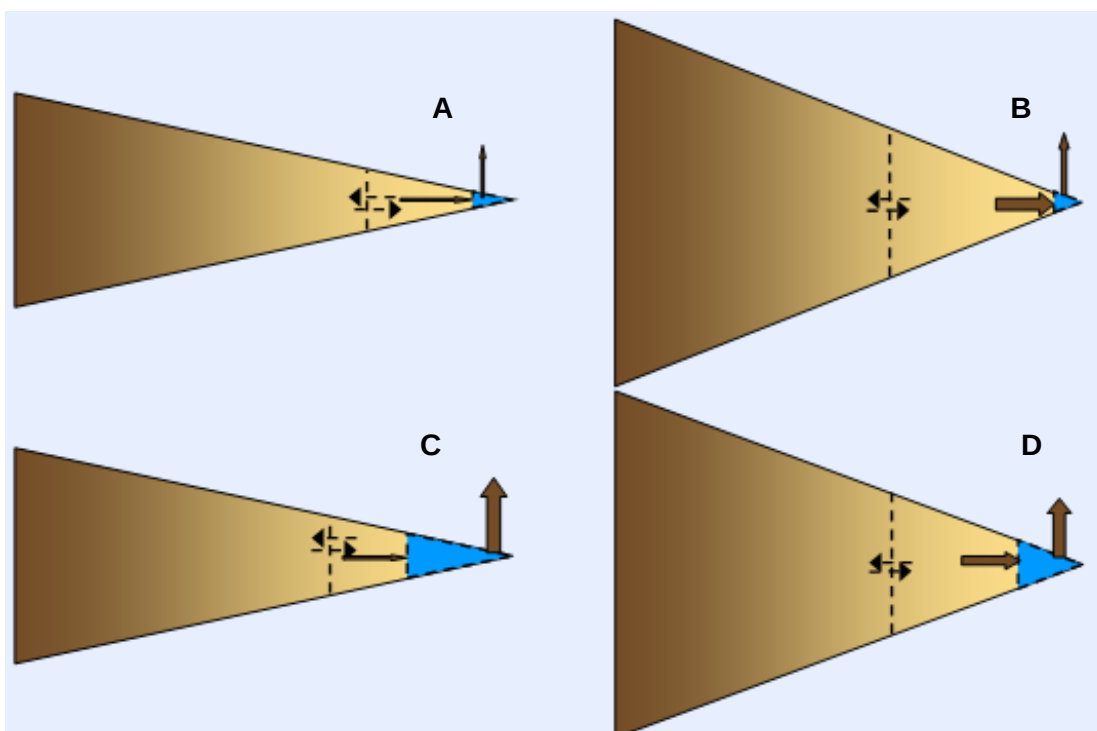
Figuur). Er dient P nageleverd te worden uit de labiele pool (weergegeven door de horizontale bruine pijl). Voor de beschikbaarheid is het dus van belang niet alleen de concentratie in bodemoplossing te kennen (de P-intensiteit) – schematisch weergegeven door het blauwe driehoekje - maar ook de hoeveelheid 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 éne gewas gemakkelijker fosfaat kan opnemen uit de bodem dan het andere.



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

In de praktijk zijn diverse situaties van P-beschikbaarheid denkbaar (Figuur B), 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



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

Het is duidelijk dat deze situaties van P-beschikbaarheid niet te bepalen zijn met één bepalingsmethode, immers of de intensiteit wordt goed bepaald of de capaciteit, maar beide met één methode is niet mogelijk. Toch is het vigerende P-advisie afgestemd op een enkele methode. De consequentie is dat de P-advisie 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 zgn. 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).

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 P-PAE (een meting in 0,01 M CaCl_2 ofwel P- CaCl_2) en P-AL of P-PAE 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. Aanvullend veldonderzoek in gras en maïs heeft uitgewezen dat 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.

BIJLAGE 2. STATISTISCHE ANALYSE

ANOVA analyse, met als factoren Ptrap en P-PAE niveau.

Ptrap heeft 4 niveaus (0, 40, 80 en 120 kg P₂O₅/ha) en P-PAE niveau (P-PAE niveau) heeft 2 niveaus, waarbij de laatste is opgedeeld in een P-PAE <2,5 en >= dan 2,5. Het blokeffect is het factorprodukt van Bedrijf en Perceel. Na weglaten van 6 uitbijters was er een zwak effect van P-bemesting (P=0,076). Er was geen interactie effect P-PAEniv en Ptrap.

Variabele: Drogestofopbrengst

Source of variation	d.f. (m.v.)	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
BP stratum					
Niveau	1	8.340	8.340	0.26	0.612
Residual	54	1731.768	32.070	27.26	
BP.Unit stratum					
Ptrap	3	8.228	2.743	2.33	0.076
PPAE-niveau.Ptrap	3	4.263	1.421	1.21	0.309
Residual	156 (6)	183.514	1.176		
Total	217 (6)	1917.580			

Tables of means
=====

Variate: dsopb

Grand mean 13.221

Niveau	<2.5	>=2.5			
	13.071	13.470			
rep.	140	84			
Ptrap	0	40	80	120	
	12.904	13.301	13.260	13.417	
P-PAE-niv Ptrap	0	40	80	120	
<2.5	12.600	13.129	13.252	13.303	
rep.	35	35	35	35	
>=2.5	13.410	13.588	13.272	13.608	
rep.	21	21	21	21	

Gemengde modellen opzet

Voor de random bijdragen in het gemengde model is bij de statistische analyse genomen het bedrijf zoals aangegeven bij de praktijkbedrijven en bij de PPO-AGV proeven de combinatie van proef en jaar. Voor perceel is gebruikt de perceelsaanduiding zoals aangegeven bij de praktijkbedrijven en bij de PPO-AGV proeven de blokindeling.

Modellen praktijkbedrijven NMI 2013

Voor de analyse met een gemengd model zijn de waarnemingen op praktijkbedrijven uit 2013 opgevat als 4 waarnemingen, met P_{gift} = 0, 40, 80 en 120 kg P₂O₅/ha, binnen een perceel binnen een bedrijf. Het fixed model, met een invers polynome functie (Black, 1993, pagina 49) bestaat afhankelijk van het aantal termen uit:

$$\frac{1}{y} = \alpha_i + E. \quad (1a)$$

$$\frac{1}{y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + E. \quad (1b)$$

$$\frac{1}{y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + \frac{\beta_P}{P-PAE + \gamma_{P1} \ln(P_{gift}) + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P-AL}{P-PAE}\right)} + E. \quad (1c)$$

$$\frac{1}{y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + \frac{\beta_P}{P-PAE + \gamma_{P1} \ln(P_{gift}) + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P-AL}{P-PAE}\right)} + \frac{\beta_N}{N_{gift} + \gamma_{N1} N_{leverbaar}} + E. \quad (1d)$$

En het mixed model bestaat uit:

$$\frac{1}{Y} = \alpha_i + \frac{\delta}{gd} + \frac{\beta_P}{P - PAE + \gamma_{P1} \ln(P_{gift}) + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P - AL}{P - PAE}\right)} + \frac{\beta_N}{N_{gift} + \gamma_N N_{leverbaar}} + B.P + E. \quad (2)$$

Y = drogestofopbrengst aardappelen (t/ha)

gd = groeiduur (dagen)

i = consumptie, pootgoed, zetmeel

α_i , β_P , β_N , γ_{P1} , γ_{P2} , γ_N en δ zijn regressieparameters

B en B.P zijn random bijdragen van bedrijf en perceel binnen bedrijf en E is de residuele error term

Het quotiënt P-AL/P-PAE uit (1c), (1d) en (2) wordt verder aangeduid als ratio en $\ln(P-AL/P-PAE)$ als $\lnRatio$. In dit verslag wordt met log steeds bedoeld de natuurlijke logaritme met grondtal e. Van (1a), naar (1b), (1c), (1d) en (2) neemt het aantal parameters in de modellen toe, de complexiteit wordt groter. Bij het fitten van model (1d) aan de data worden de parameters b1 en b2 uit (1c) als startwaarde genomen. Bij het fitten van model (2) aan de data worden de schattingen van b1, b2 en b3 uit (1d) als startwaarde genomen.

Aanduiding in formules

α_i ,

δ

β_P

β_N

γ_{P1}

γ_{P2}

γ_N

Aanduiding in GenStat output

Soort i, pootgoed, consumptie, zetmeel

reciGrD (schatte bijdrage aantal groeidagen)

Pbesch (schatte bijdrage effect P-bodem- en P-bemestingstermen)

Nbesch (schatte bijdrage effect N-bodem en N-bemesting)

e**(b1) (schatte bijdrage Pgift)

e**(b2) (schatte bijdrage $\ln Ratio$)

e**(b3) (schatte bijdrage N-levering)

Modellen drie PPO-AGV proeven

In het verleden is binnen PPO-AGV vaak een negatief exponentieel model gebruikt, ook wel Mitscherlich curve genoemd, om de P respons te voorspellen:

$$Y = \mu_i \left(1 - e^{(\beta_0 P_{gift} + \beta_1 P - PAE + \beta_2 \ln Ratio)} \right) + E. \quad (3)$$

Hierbij is μ_i de opbrengst bij proef i bij hoge voorziening met P. Een vergelijkbare formulering met de inverse polynome functie maar met dezelfde predictoren is dan:

$$\frac{1}{Y} = \mu_i + \frac{\beta_P}{P - PAE + \gamma_{P1} P_{gift} + \gamma_{P2} \ln\left(\frac{P - AL}{P - PAE}\right)} + E. \quad (4)$$

Model (4) is bijna gelijk aan (1c), zij het dat de bij (1c) de intercept afhangt van soort aardappel (consumptie, pootgoed, zetmeel) en bij (4) hangt de intercept af van de proef (PPO-A 2005, PPO-A 2010 en PPO-Lely 2012).

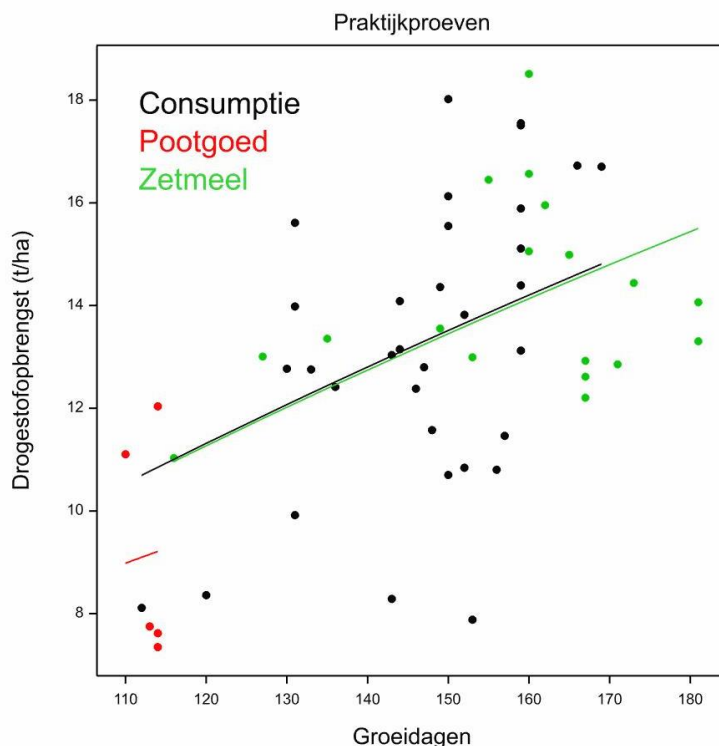
Modellen praktijkproeven en drie PPO-AGV proeven

Voor het analyseren van de praktijkproeven en de PPO-AGV proeven kan model (2) worden gebruikt. Hierbij wordt voor de factor bedrijf de praktijkbedrijven genomen en bij de PPO-AGV proeven de naam van de proef en het jaar. Voor perceel is gebruikt de perceelsaanduiding zoals aangegeven bij de praktijkbedrijven en bij de PPO-AGV proeven de blokindeling.

Resultaten gemengde modellen praktijkproeven 2013

Gemiddelde opbrengst per praktijkproef (NMI) als functie van de groeiduur.

De onderstaande figuur laat zien dat de opbrengst sterk varieert tussen locaties en teelten en mede afhankelijk is van de groeiduur.



Regression analysis
=====

Response variate: dsopb NMI
Link function: Reciprocal
Fitted terms: Soort + RecigrD

Percentage variance accounted for 31.0

Accumulated analysis of variance

Change	d.f.	s.s.	m.s.	v.r.	F pr.
+ RecigrD	1	141.163	141.163	26.06	<.001
+ Soort	2	9.040	4.520	0.83	0.440
Residual	52	281.719	5.418		
Total	55	431.922	7.853		

Parameter	estimate	s.e.	t (52)	t pr.
Soort consumptie	0.0165	0.0205	0.80	0.425
Soort pootgoed	0.0329	0.0296	1.11	0.272
Soort zetmeel	0.0169	0.0190	0.89	0.379
RecigrD	8.62	3.04	2.83	0.007

1a: Response variate: dsopb NMI
 Link function: Reciprocal
 Fitted terms: Soort

Percentage variance accounted for **18.3**

Parameter	estimate	s.e.	t(221)	t pr.
Soort consumptie	0.07572	0.00135	55.89	<.001
Soort pootgoed	0.10903	0.00721	15.12	<.001
Soort zetmeel	0.07091	0.00161	44.07	<.001

1b: Response variate: dsopb NMI
 Link function: Reciprocal
 Fitted terms: Soort + reciGrD

Percentage variance accounted for **28.9**

Parameter	estimate	s.e.	t(220)	t pr.
Soort consumptie	0.0165	0.0112	1.48	0.141
Soort pootgoed	0.0329	0.0161	2.04	0.042
Soort zetmeel	0.0169	0.0103	1.63	0.104
reciGrD	8.62	1.66	5.21	<.001

1c: Response variate: dsopb NMI
 Link function: Reciprocal
 Nonlinear parameters: b1, b2
 Model calculations: e[1]
 Fitted terms: Soort + reciGrD + Pbesch

Percentage variance accounted for **30.6**

Parameter	estimate	s.e.
b1	-1.77	3.04
b2	1.563	0.375
Soort consumptie	0.00157	0.00136
Soort pootgoed	0.0214	0.0193
Soort zetmeel	-0.0008	0.0144
reciGrD	7.77	8.97
Pbesch	0.37	1.12

1d: Response variate: dsopb NMI
 Link function: Reciprocal
 Nonlinear parameters: b1, b2, b3
 Fitted terms: Soort + reciGrD + Pbesch + Nbesch

Percentage variance accounted for **35.3**

Parameter	estimate	s.e.
b1	-2.61	2.04
b2	1.151	0.250
b3	2.513	0.704
Soort consumptie	-0.03604	0.00514
Soort pootgoed	-0.01785	0.00813
Soort zetmeel	-0.03883	0.00513
reciGrD	9.1533	0.0984
Pbesch	0.452	0.115
Nbesch	12.74	7.00

2: Hierarchical generalized linear model NMI
 Response variate: 1/dsopb

Mean model

Fixed terms: Soort + reciGrD + Pbesch + Nbesch
 Distribution: normal
 Link: identity
 Random terms: Bedrijf.Perceel
 Distribution: normal
 Link: identity
 Dispersion: free

Dispersion model

 Distribution: gamma

Link: logarithm

Estimates from the mean model

=====

	estimate	s.e.	t(210)
b1	-1.358	1.222	-1.111
b2	-1.899	1.587	-1.196
b3	2.321	1.386	1.674
reciGrD	12.851	3.482	3.691
Pbesch	0.016	0.019	0.839
Nbesch	13.826	13.444	1.028
Soort consumptie	-0.030	0.030	-1.013
Soort pootgoed	-0.018	0.037	-0.476
Soort zetmeel	-0.031	0.028	-1.113

Estimates from the dispersion model

=====

Parameter	estimate	s.e.	t(*)	antilog of estimate
phi	-9.710	0.111	-87.86	6.067E-05
lambda Bedrijf.Perceel	-8.250	0.208	-39.68	0.0002612

Likelihood statistics

=====

-2 * h(y v)	-1458.601
-2 * h	-1777.948
-2 * P_v(h)	-1286.788
-2 * P_beta,v(h)	-1272.870
-2 * EQD(y v)	-1458.601
-2 * EQD	-1777.948
-2 * P_v(EQD)	-1286.788
-2 * P_beta,v(EQD)	-1272.870

Fixed parameters in mean model	9
Random parameters in mean model	57
Fixed dispersion parameters	2
Random dispersion parameters	0

Scaled deviances

=====

	deviance	df
Random term		
units	121.4	163.7
Bedrijf.Perceel	35.8	46.3
Total	157.2	210.0

likelihood tests for dropping HGLM fixed terms

=====

Term	Test statistic	d.f.	pr.
reciGrD	13.570	1	<0.001
Pbesch	9.756	1	0.002
Nbesch	4.714	1	0.030
Soort	7.635	3	0.054

De drie "samengestelde" parameters zijn alle drie significant

2: Hierarchical generalized linear model NMI

=====

Response variate: Y[1] = 1/Popname

Mean model

Fixed terms: Soort + reciGrD + Pbesch + Nbesch

Distribution: normal

Link: identity

Random terms: Bedrijf.Perceel

Distribution: normal

Link: identity

Dispersion: free

Dispersion model

Distribution: gamma

Link: logarithm

Estimates from the mean model

=====

	estimate	s.e.	t(211)
b1	-1.479	0.986	-1.500
b2	0.041	1.165	0.036
b3	2.224	1.076	2.068
reciGrD	6.686	2.941	2.273
Pbesch	0.070	0.114	0.617
Nbesch	12.964	10.099	1.284
Soort consumptie	-0.026	0.028	-0.941
Soort pootgoed	-0.041	0.033	-1.249
Soort zetmeel	-0.034	0.027	-1.290

Estimates from the dispersion model

=====

Parameter	estimate	s.e.	t(*)	antilog of estimate
phi	-10.354	0.110	-93.86	3.186E-05
lambda Bedrijf.Perceel	-8.576	0.207	-41.41	0.0001885

Likelihood statistics

=====

-2 x h(y v)	-1709.244
-2 x h	-2039.947
-2 x P _v (h)	-1484.286
-2 x P _{0,v} (h)	-1465.376
-2 x EQD(y v)	-1709.244
-2 x EQD	-2039.947
-2 x P _v (EQD)	-1484.286
-2 x P _{0,v} (EQD)	-1465.376

Fixed parameters in mean model 9

Random parameters in mean model 57

Fixed dispersion parameters 2

Random dispersion parameters 0

Scaled deviances

=====

Random term	deviance	df
units	122.4	164.4
Bedrijf.Perceel	37.8	46.6
Total	160.2	211.0

Likelihood tests for dropping HGLM fixed terms

=====

Term	Test statistic	d.f.	pr.
reciGrD	5.376	1	0.020
Pbesch	7.211	1	0.007
Nbesch	6.421	1	0.011
Soort	7.081	3	0.069

Analyse drie PPO-AGV proeven

PPO Lelystad 2012

Deze proef heeft een aantal combinaties van P- en N-giften. De P-giften 0, 50 en 100 kg P_2O_5 /ha uit deze proef zijn opgenomen bij alleen N-gift 150. In deze proef is gemiddeld over de 4 herhalingen de drogestofopbrengst het hoogst bij P-gift is 0 kg/ha. Het opnemen van de ze proef in de statistische analyse zal de uitkomsten dus niet verbeteren.

Tabel ii. Drogestofopbrengst (ton/ha) per herhaling en P gift bij N gift is 150 kg/ha bij proef PPO Lelystad 2012.

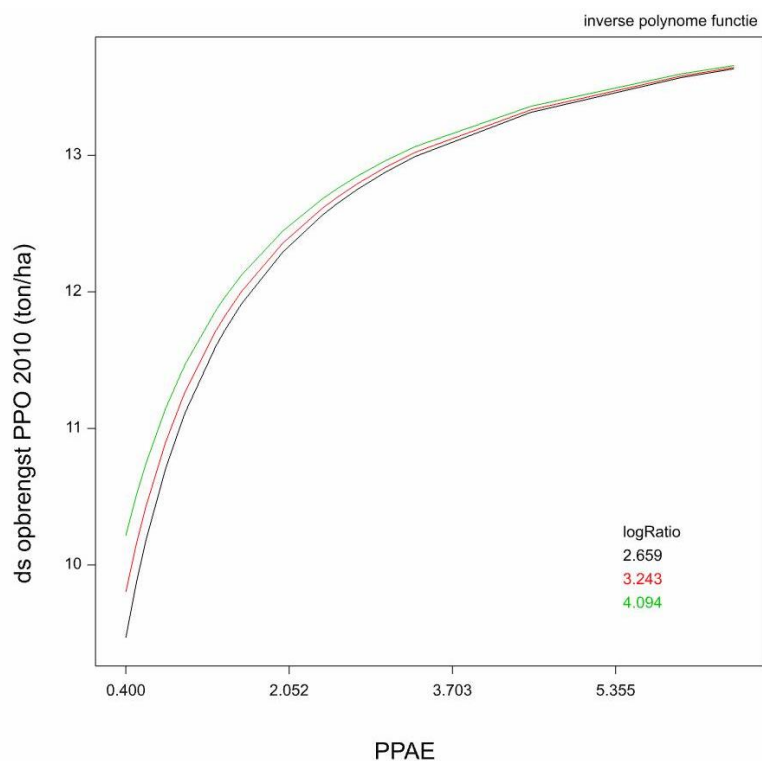
Ptrap Herhaling	0	50	100	Gemiddeld
1	13,02	12,95	12,98	12,98
2	12,14	13,17	12,92	12,74
3	14,82	12,86	12,78	13,49
4	12,77	12,96	13,34	13,02
Gemiddeld	13,19	12,98	13,00	13,06

De P toestanden proef uit 2005 en 2010 zijn geanalyseerd met model (4) zonder de P-gift omdat die nagenoeg geen effect had:

```
Response variate: dsopb
Link function: Reciprocal
Fitted terms: Bedrijf + Pbesch
```

Percentage variance accounted for 78.1

Parameter	estimate	s.e.
b2	-1.90	1.02
Bedrijf PPO_A 2005	0.14824	0.00905
Bedrijf PPO_A 2010	0.06916	0.00579
Pbesch	0.0291	0.0206



Analyse praktijkproeven en drie PPO-AGV proeven

Uit de PPO-proeven zijn alleen de gegevens meegenomen in de gezamenlijke analyse van percelen. Dat leverde dan maar 37 gegevens extra op.

Hierarchical generalized linear model NMI + PPO 2010)

=====

Response variate: Y[1] = 1/dsopb

Mean model

Fixed terms: Soort + reciGrD + Pbesch + Nbesch

Distribution: normal

Link: identity

Random terms: Bedrijf.Perceel

Distribution: normal

Link: identity

Dispersion: free

Dispersion model

Distribution: gamma

Link: logarithm

Estimates from the mean model

=====

	estimate	s.e.	t (245)
b1	-1.938	0.427	-4.543
b2	-1.617	0.720	-2.247
b3	2.245	1.212	1.852
reciGrD	11.185	3.274	3.416
Pbesch	0.029	0.017	1.698
Nbesch	13.922	12.112	1.149
Soort consumptie	-0.024	0.026	-0.924
Soort pootgoed	-0.010	0.034	-0.306
Soort zetmeel	-0.026	0.026	-1.004

Estimates from the dispersion model

=====

Parameter	estimate	s.e.	t (*)	antilog of estimate
phi	-9.787	0.102	-95.90	5.620E-05
lambda Bedrijf.Perceel	-8.250	0.198	-41.65	0.0002614

Likelihood statistics

=====

-2 x h(y v)	-1811.054
-2 x h	-2144.780
-2 x P _v (h)	-1579.952
-2 x P _{□,v} (h)	-1558.917
-2 x EQD(y v)	-1811.054
-2 x EQD	-2144.780
-2 x P _v (EQD)	-1579.952
-2 x P _{□,v} (EQD)	-1558.917

Fixed parameters in mean model 9

Random parameters in mean model 61

Fixed dispersion parameters 2

Random dispersion parameters 0

Scaled deviances

=====

	deviance	df
Random term		
units	145.0	198.0
Bedrijf.Perceel	41.2	49.0
Total	186.2	243.0

Likelihood tests for dropping HGLM fixed terms

=====

Term	Test statistic	d.f.	pr.
reciGrD	11.61	1	<0.001
Pbesch	36.46	1	<0.001
Nbesch	5.34	1	0.021
Soort	7.41	3	0.060

2: Hierarchical generalized linear model NMI + PPO 2010

=====
Response variate: Y[1] = 1 / Popname

Mean model

Fixed terms: Soort + reciGrD + Pbesch + Nbesch
Distribution: normal
Link: identity
Random terms: Bedrijf.Perceel
Distribution: normal
Link: identity
Dispersion: free

Dispersion model

Distribution: gamma
Link: logarithm

Estimates from the mean model
=====

	estimate	s.e.	t(244)
b1	-2.635	0.404	-6.523
b2	-1.072	0.522	-2.055
b3	2.003	0.717	2.795
reciGrD	7.735	2.740	2.823
Pbesch	0.046	0.025	1.891
Nbesch	14.151	7.598	1.862
Soort consumptie	-0.043	0.022	-1.954
Soort pootgoed	-0.060	0.028	-2.155
Soort zetmeel	-0.047	0.021	-2.195

Estimates from the dispersion model
=====

Parameter	estimate	s.e.	t(*)	antilog of estimate
phi	-10.442	0.102	-102.40	2.919E-05
lambda Bedrijf.Perceel	-8.597	0.197	-43.69	0.0001846

Likelihood statistics
=====

-2 x h(y v)	-1984.390
-2 x h	-2338.314
-2 x P _v (h)	-1734.821
-2 x P _{0,v} (h)	-1712.642
-2 x EQD(y v)	-1984.390
-2 x EQD	-2338.314
-2 x P _v (EQD)	-1734.821
-2 x P _{0,v} (EQD)	-1712.642

Fixed parameters in mean model	9
Random parameters in mean model	61
Fixed dispersion parameters	2
Random dispersion parameters	0

Scaled deviances
=====

	deviance	df
Random term		
units	145.1	192.4
Bedrijf.Perceel	43.3	51.6
Total	188.3	244.0

Likelihood tests for dropping HGLM fixed terms
=====

Term	Test statistic	d.f.	pr.
reciGrD	8.14	1	0.004
Pbesch	47.66	1	<0.001
Nbesch	10.35	1	0.001
Soort	6.60	3	0.086

Nauwkeurigheid voorspellingen

In de file se fittedvalues staan de volgende gegevens

fitt1 : gefitte waarde niet lineair GLM regressiemodel (LINK = reci) op dsopb

sefitt1 : s.e. die GenStat geeft bij fiit1

sefitt1new : s.e. bij opname van de mean deviance, de variantie van 1 nieuwe waarneming, in de berekening van sefitt1.

Fitt2 : reciproke van de gefitte waarde regressiemodel op 1/dsopb

Sefitt2 : s.e. berekend met taylorbenadering uit se fittevalue van GenStat

Sefitt2new : s.e. bij opname van de mean deviance, de variantie van 1 nieuwe waarneming, in de berekening van sefitt2, weer berekend met Taylor benadering.

Voor de berekening van Sefitt3newa en Sefitt3newb is een analyse volgens model (2) uitgevoerd en is omdat de standard error van de fittedvalues niet wordt gegeven bij gemengde modellen sefitt2 uit (1d) als uitgangspunt genomen:

Sefitt3newa : s.e. bij opname van sigma2, de variantie van 1 nieuwe waarneming wanneer het perceel bekend is, in de berekening van sefitt2, weer berekend met Taylor benadering.

Sefitt3newb : s.e. bij opname van de mean deviance, de extra variantie van 1 nieuwe waarneming wanneer het perceel onbekend is, in de berekening van sefitt1, weer berekend met Taylor benadering.

Genstat geeft niet de predicties bij een niet lineair model. Deze standard errors zijn een goede benadering.

Exponentieel model

In het verleden zijn ook analyses gedaan met een exponentieel model, zijnde een Mitscherlich curve. Het voordeel van de invers polynome functie (Black, 1993, pagina 49) is dat de regressiecoëfficiënten van Pgift in 1c, 1d, 2, 1c', 1d' en 2' en van Ngift in 1d, 2, 1d' en 2' lineair zijn. Model 1c wordt dan bijvoorbeeld 1cM

$$\frac{1}{y} = \alpha_i + \delta g d + \beta_p \left(1 - e^{Y_{P0}P - P_{AE} + Y_{P1} \log(P_{gift}) + Y_{P2} \log\left(\frac{P - A1}{P - P_{AE}}\right)} \right) + E. \quad (1cM)$$

Nonlinear regression analysis

```
=====
Response variate: dsopb
Nonlinear parameters: b0, b1, b2
Model calculations: e[1]
Fitted terms: exp.Soort + Groeiduur
```

Summary of analysis

```
-----
Source      d.f.      s.s.      m.s.      v.r.
Regression   7      39276.    5610.888    884.91
Residual    217      1376.      6.341
Total       224     40652.    181.483
```

Percentage variance accounted for 29.7

Parameter	estimate	s.e.
b0	-3.39	1.71
b1	-5.16	3.30
b2	-1.77	1.82
* Linear		
exp.Soort consumptie	9.6	11.0
exp.Soort pootgoed	4.92	5.57
exp.Soort zetmeel	10.8	12.6
Groeiduur	0.0596	0.0123

Het random model Bedrijf / Perceel voldoet afgaande op -2 * P_beta v(h). Het opnemen van lutum verbetert % verklaarde variantie bij alleen fosfaat in het model. Opname van Nbeschikbaar geeft dan echter geen verbetering meer. Het effect van de Ngift wordt ook erg groot in model (2')

Literatuur

Black, C.A., 1993. Soil fertility evaluation and control. Lewis publishers. Xiii+746 pagina's.