



# Lange termijn effecten van fosfaatbalansen op bouwland; fosfaattrappen proefveld Lelystad

Observaties op basis van het meetprogramma 1987-2011 in een  
proefveld Lelystad

C. van Wijk, J. de Haan, P.A.I. Ehlert, W. van den Berg



# Lange termijn effecten van fosfaatbalansen op bouwland; fosfaattrappen proefveld Lelystad

Observaties op basis van het meetprogramma 1987-2011 in een proefveld Lelystad

C. van Wijk<sup>1</sup>, J. de Haan<sup>1</sup>, P.A.I. Ehlert<sup>2</sup>, W. van den Berg<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) Praktijkonderzoek Plant & Omgeving-AGV, Wageningen UR

<sup>2</sup>) Alterra, Wageningen UR

© 2013 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving. 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 DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

DLO is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.

PPO Publicatienr. 549

Deze publicatie is mogelijk gemaakt door het Ministerie van Economische Zaken

Projectnummer: 3251017712

## Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, onderdeel van Wageningen UR Business Unit Akkerbouw, Groene Ruimte en Vollegrondsgroenten

Adres : Postbus 430, 8200 AK Lelystad  
: Edelhertweg 1, 8219 PH Lelystad  
Tel. : +31 320 29 11 11  
Fax : +31 320 23 04 79  
E-mail : [infoagv.ppo@wur.nl](mailto:infoagv.ppo@wur.nl)  
Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

pagina

SAMENVATTING.....	5
1 INLEIDING .....	7
2 PROEFOPZET, UITVOERING EN METINGEN .....	9
2.1 Opzet .....	9
2.2 Meetprogramma .....	9
2.3 Bewerkingen .....	11
3 RESULTATEN .....	13
3.1 Opbrengsten .....	13
3.2 Fosfaatafvoer .....	15
3.3 Wijzingen in de fosfaattoestand in de tijd .....	18
3.4 Wijzingen in de fosfaattoestand als gevolg van niet bemesten (uitmijning).....	23
3.5 Samenhang per gewas tussen behandeling, droge stof opbrengst, fosfaatafvoer en -overschot.	27
3.6 Wijzingen in de fosfaattoestand als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot .....	30
3.7 Fosfaatbodemfracties in 2002 en 2009 .....	33
3.8 Fosfaat in bodemvocht .....	40
4 DISCUSSIE, CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	43
4.1 Effect langjarige gebruiksnorm op opbrengst en kwaliteit.....	43
4.2 Evenwichtsbemesting en fosfaatuitspoeling .....	44
4.3 Gebruiksnormen en bemestingshistorie .....	45
4.4 Waar naar toe? .....	46
LITERATUUR.....	47
BIJLAGE 1. JAARLIJKSE FOSFAATGIFTEN (KG P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> PER HA) EN GETEELDE GEWASSEN TE LELYSTAD; 1987-2011 .....	49
BIJLAGE 2 SCHEMA FOSFAATTOESTANDEN PROEFVELD LELYSTAD .....	51
BIJLAGE 3. JAARLIJKSE MARKTBARE OPBRENGSTEN (T/HA) EN FOSFAATAFVOER (KG P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /HA) MET MARKTBAAR PRODUCT. ....	53
BIJLAGE 4. GEMIDDELDE FOSFAATAFVOER IN P2O5 HA-1 JAAR-1 VAN 5 GEWASSEN.....	55
BIJLAGE 5. TRENDLIJNEN VERLOOP PW-GETAL, P-AL-GETAL EN P-CACL <sub>2</sub> IN LAGEN 0-30 EN 30-60 CM PERIODE 1987-2011 EN VERLOOP UITMIJNING PW-GETAL LAAG 0-30 PERIODE 2005-2011 .....	57
BIJLAGE 6 PARAMETERSCHATTINGEN VOOR HET BELOOP VAN DE FOSFAATTOESTAND BIJ DE BEHANDELINGEN P1, P2-BEMEST, P3-BEMEST EN P4-BEMEST .....	69
BIJLAGE 7 PARAMETERSCHATTINGEN VOOR HET VERLOOP VAN DE FOSFAATTOESTAND VAN DE UITMIJNVELDJES .....	71
BIJLAGE 8 SAMENHANG TUSSEN BEHANDELING, DROGE STOF OPBRENGST MARKTBAAR PRODUCT, FOSFAATAFVOER, FOSFAATOVERSCHOT EN FOSFAATTOESTAND (PW-GETAL LAAG 0-30 CM).....	73



# Samenvatting

Sinds 2010 zijn de fosfaatgebruiksnormen afhankelijk gesteld van de fosfaattoestand van de grond. Voor bouwland wordt de fosfaattoestand bepaald op basis van het Pw-getal. Daarbij zijn er drie categorieën: klasse laag (Pw-getal lager dan 36 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L), klasse neutraal (Pw-getal 36 -55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L) en klasse hoog (Pw-getal hoger dan 56 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L). Beoogd wordt om deze gebruiksnormen aan te scherpen opdat in 2015 evenwichtsbemesting is bereikt bij de klasse *neutraal*. De fosfaataanvoer met kunstmest en mest op bedrijfsniveau is dan gelijk aan de fosfaatafvoer met geogoste gewassen. De praktijk vreest dat toepassing van fosfaatgebruiksnormen op de langere termijn ten koste gaat van de opbrengst en bodemvruchtbaarheid. Dit rapport geeft de resultaten van veeljarig onderzoek naar effecten van fosfaatgiften afgestemd op evenwichtsbemesting. Hierbij wordt gepoogd een antwoord gegeven op de volgende vragen:

1. Welk risico levert een veeljarige evenwichtsbemesting met fosfaat op vermindering van opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen?
2. Vermindert een gebruiksnorm afgestemd op evenwichtsbemesting op korte en lange termijn het risico op fosfaatuitspoeling?
3. In welke mate wordt de verdeling van bodemfosfaat over verschillende fracties gewijzigd en wat is de betekenis daarvan voor de bodemvruchtbaarheid op lange termijn?

Deze vragen worden in dit rapport deels beantwoord op basis van langjarig onderzoek op een fosfaatproefveld op zeeklei te Lelystad. In deze veldproef wordt sinds 1990 onderzoek uitgevoerd naar de effecten van verschillende fosfaatgiften op opbrengst, fosfaattoestand van de bodem en fosfaatfracties in de bodem. De rapportage bouwt verder op eerdere rapportages (Ehlert, 2003 en Ehlert, 2008).

## *Risico van langjarige toepassing van gebruiksnorm op opbrengst en kwaliteit*

De fosfaatgebruiksnorm bij een neutrale fosfaattoestand is 65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha in 2013. Door de overheid wordt beoogd deze te verlagen naar 60 kg/ha in 2015. Bij een neutrale fosfaattoestand (Pw-getal 20-50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L) en een jaarlijkse gift van 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha trad geen opbrengstverschil in vergelijking met hogere fosfaattoestanden in combinatie met hogere fosfaatgiften. Er is geen verschil gevonden in kwaliteit van producten tussen de verschillende behandelingen. De behandeling met een jaarlijkse gift van 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha werd in 2005 opgesplitst. Bij één deel werd de behandeling met 70 kg fosfaat/ha voortgezet, bij het andere deel werd geen fosfaatbemesting meer toegediend (uitmijnen). Er trad na 6 jaar uitmijnen geen opbrengstdaling op ten opzichte van de jaarlijkse bemesting met 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. De resultaten voor dit proefveld geven aan dat een fosfaatgebruiksnorm richting het niveau van evenwichtsbemesting niet resulteerde in een daling van opbrengst en/of kwaliteit van akkerbouwgewassen.

De fosfaatafvoer bedraagt ongeveer 64 kg/ha/jaar in een bouwplan met 25% van het areaal aardappel, 20% suikerbiet, 30% zomergerst, 12,5% zaaui en 12,5% peen bij een fosfaattoestand neutraal en een jaarlijkse gift van 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Deze afvoer is hoger dan de verwachte fosfaatgebruiksnorm voor 2015.

## *Evenwichtsbemesting en fosfaatuitspoeling*

De vraag is of een gebruiksnorm afgestemd op evenwichtsbemesting op korte en lange termijn het risico op fosfaatuitspoeling vermindert. Voor beantwoording is onderzocht of de fosfaattoestand van de bodem en fosforgehalten in het bodemvocht op 35 en 75 cm diepte veranderen bij evenwichtsbemesting

In 2002 en 2009 werden 7 bodemlagen tot 100 cm diepte bemonsterd. Bij een neutrale fosfaattoestand en een fosfaatgift van 70 kg/ jaar zijn de voorraad parameters P-totaal, P-ox en P-Al-getal in de bovenste laag in de periode 2002-2007 afgenomen. In diepere lagen zijn deze parameters amper veranderd of iets gestegen. De voor het gewas direct opneembare fosfaat (bepaald als Pw) was in de bovenste laag gelijk gebleven en in de overige lagen gestegen.

Een fosfaatgift van 70 kg/ha draagt nog bij aan een langzame verrijking van verschillende fracties bodemfosfaat in het profiel. Bij een jaarlijkse fosfaatgift van 70 kg/ha is vastgesteld dat het cumulatieve fosfaatoverschot in 7 jaar 112 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha bedroeg. Dit overschot lijkt te hebben geresulteerd in een toename van de fracties P<sub>10p2</sub> en Pw in het bodemprofiel.

In de laatste 5 winterseizoenen zijn de fosforgehalten in het bodemvocht bepaald op diepten van 35 en 75 cm. Bij 75 cm diepte waren de gehalten bij alle behandelingen zeer laag. Indringing van fosfaat tot deze

diepte heeft nog niet plaatsgevonden. Op 35 cm diepte werden verschillen vastgesteld tussen verschillende fosfaatgiften. Bij een neutrale toestand met 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha werd geen duidelijk trend over de seizoenen vastgesteld. Het vanaf 1990 niet meer toedienen van fosfaat resulteerde op 35 cm diepte tot duidelijk lagere fosforgehalten in het bodemvocht, maar leidde niet tot een waarde onder de detectielimiet voor orthofosfaat in het bodemwater (0,02 mg P/L). Dit wordt als een aanwijzing gezien dat fosfaat uit de bodem aan bodemvocht wordt nageleverd.

Geconcludeerd wordt dat bij een neutrale fosfaattoestand plus jaarlijks 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha een langzame verrijking van fosfaat in het profiel lijkt op te treden. Dit heeft echter nog niet geleid tot een verhoogd risico op fosfaatuitspoeling.

### *Gebruiksnormen en bodemvruchtbaarheid*

De vraag in welke mate fosfaat van verschillende bodemfracties door een gebruiksnorm gericht op evenwichtsbemesting wijzigt, wordt beantwoord door het beloop van deze bodemfracties in de bodemlaag 0-30 cm over de onderzoeksperiode 1990-2011 te beschouwen. Na een aanvankelijke snelle toename van de fosfaattoestand (Pw-getal, P-Al-getal) in de eerste jaren na aanleg volgde een stabilisering rond een bepaald niveau. De fosfaattoestand nam toe naarmate jaarlijks meer fosfaat werd gegeven. Er is sprake van grote temporele variatie tussen jaren, deels veroorzaakt door wijzigingen in uitvoering op het laboratorium. Ondanks deze variatie is er geen aanwijzing dat de fosfaattoestand in de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm wezenlijk wijzigde bij evenwichtsbemesting.

Deze rapportage is onderdeel van een serie publicaties in de vorm van technische rapporten, vakbladartikelen, wetenschappelijke artikelen en informatiebladen. Daarnaast vinden ook andere veeljarige veldproeven plaats op gras- en bouwland. Het onderzoek met de veeljarige veldproef wordt voortgezet.

Een aantal vragen en onduidelijkheden blijven nog:

- De variatie van parameters voor bodemvruchtbaarheid tussen jaren is groot. De oorzaak voor de variatie tussen jaren is onbekend.
- Behandelingen die uitsluitend de fosfaatafvoer met het gewas compenseren, ontbreken in dit onderzoek.
- Daarentegen zijn behandelingen aanwezig die uitsluitend fosfaat afvoeren (uitmijnen). Deze behandelingen laten scherpe dalingen zien in de fosforconcentraties van bodemvocht en fosfaattoestand (Pw-getal). Deze dalingen zijn groter naarmate de fosfaattoestand hoger is. Dalingen in fosfaattoestand worden nog niet vergezeld van een daling in opbrengst of kwaliteit. Juist deze behandelingen zullen op termijn uitsluitel geven of de bodemvoorraad fosfaat na bepaalde periode limiterend wordt.

Beantwoording van deze vragen vergt voortzetting van het onderzoek op deze veeljarige veldproef.

# 1 Inleiding

Sinds 2010 zijn de gebruiksnormen voor de praktijk afhankelijk gesteld van de fosfaattoestand van de grond. Voor grasland is de hoogte van het P-Al-getal bepalend voor de gebruiksnorm, voor bouwland is dat het Pw-getal. De gebruiksnormen voor bouwland worden per jaar verlaagd. De mate waarin is afhankelijk van het Pw-getal (zie tabel 1).

Tabel 1. **Fosfaatgebruiksnormen (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) voor bouwland 2010 – 2015 per fosfaatklasse.**

Fosfaatklasse	2010	2011	2012	2013	2014*	2015*
<36 (laag)	85	85	85	85	80	75
36-55 (neutraal)	80	75	70	65	65	60
>55 hoog)	75	70	65	55	55	50

\* Waarden zijn indicatief.

De gebruiksnorm is een gemiddelde van het bedrijf. Daardoor kan meststoffosfaat verdeeld worden over gewassen. Fosfaatbehoefte gewassen kunnen daardoor meer fosfaat toegediend krijgen als dat in mindering wordt gebracht bij weinig fosfaatbehoefte gewassen. De gebruiksnorm geldt voor alle bronnen van fosfaat. Met dierlijke mest mag op bouwland jaarlijks maximaal 85 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha worden aangevoerd. Voor fosfaatarme en fosfaat fixerende gronden geldt een fosfaatgebruiksnorm van 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar binnen bepaalde voorwaarden. Zo mag de extra hoeveelheid bovenop de norm voor categorie *laag* op bouwland alleen in de vorm van kunstmest geven worden.

De doelstelling van de fosfaatgebruiksnormen is te komen tot een fosfaat evenwichtsbemesting om de nadelige milieueffecten van fosfaatuitspoeling door hoge giften of hoge fosfaattoestanden te beperken. De doelstelling komt voort uit afspraken die Nederland met de Europese Commissie gemaakt heeft in het kader van de Nitraatrichtlijn. Evenwichtsbemesting wordt omschreven als de hoeveelheid fosfaat die met oogstproducten van het veld worden afgevoerd. Daarnaast is er discussie gaande over de hoeveelheid meststof fosfaat die nodig is om het Pw-getal op een gewenste waarde te handhaven en of daarbij een fosfaattoeslag nodig is.

De implicaties van evenwichtsbemesting op de bodemkwaliteit en in het bijzonder de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem voor het gewas en eventuele mogelijke reductie van de fosfaatuitspoeling zijn nog niet concreet aan te geven.

Stochastische en mechanistische modelberekeningen geven in grove lijnen aan welke effecten fosfaat evenwichtsbemesting op lange termijn zal hebben op de gewasopbrengst, -kwaliteit en verliezen naar het milieu (Salm e.a., 1995, Ehlert e.a., 1996, Salm & Schoumans, 2000; Schröder & Corré, 2000; Van Middelkoop e.a., 2004, Van Middelkoop e.a., 2007, Ehlert e.a. 2008). Informatie over de effecten op lange termijn van gereduceerd fosfaatgebruik op de voorraad makkelijk uitwisselbaar fosfaat en verplaatsing van fosfaat in de bodem, is nog te weinig robuust om verantwoorde uitspraken te doen. Daarvoor is veeljarig veldonderzoek nodig. Veeljarig veldonderzoek naar fosfaat op bouwland loopt momenteel op proefvelden te Wijster(dalgrond), Marknesse en Lelystad (beide zeeklei). Dit rapport geeft een voortgangsrapportage over het onderzoek te Lelystad, locatie PPO-AGV. De aandachtsvelden van het onderzoek zijn:

1. Welk risico levert een veeljarig toegepaste generieke gebruiksnorm voor fosfaat afgestemd op (strikte) evenwichtsbemesting op opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen?
2. Vermindert een gebruiksnorm afgestemd op (strikte) evenwichtsbemesting op korte en lange termijn het risico op fosfaatuitspoeling?
3. In welke mate wordt de verdeling van bodemfosfaat over verschillende fosfaatbodemfracties gewijzigd en wat is de betekenis daarvan voor de bodemvruchtbaarheid op lange termijn?

Deze rapportage geeft de resultaten van onderzoek van de periode 2002-2011 weer. De rapportage vervolgt de rapportages van Ehlert e.a. (2003, 2008).



Dit rapport geeft in hoofdstuk 2 geeft de opzet en uitvoering van de veeljarige veldproef weer. Hoofdstuk 3 gaat in op de resultaten onderverdeeld in:

- a) de effecten van fosfaatoverschotten op opbrengst en kwaliteit van akkerbouwgewassen,
- b) de fosfaatafvoer en het verloop van de fosfaattoestand in de tijd en als functie van het fosfaatoverschot,
- c) resultaten van twee profielbemonsteringen waarbij verschillende fosfaatfracties bepaald zijn,
- d) de consequenties van de verschillende fosfaatoverschotten op de fosforconcentratie in het bodemvocht.

Hoofdstuk 4 geeft een evaluatie van de stand van zaken en signaleert aandachtspunten voor vervolgonderzoek.

## 2 Proefopzet, uitvoering en metingen

### 2.1 Opzet

Door verschillende fosfaatgiften met tripelsuperfosfaat zijn tussen 1987-1990 vier in niveau oplopende fosfaattoestanden (P1, P2, P3, en P4) ontstaan. Die toestanden ontvangen jaarlijks fosfaatgiften van 0, 70, 140 en 280 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. De veldproef ligt in vier herhalingen. De proefopzet is uitgebreid beschreven door Ehlert e.a. (2003). In 2005 zijn de veldjes opgesplitst in een deel dat de fosfaatgiften continueert en een deel dat geen fosfaat meer ontvangt (uitmijnen). Op de bemeste veldjes werden vanaf 2005 dezelfde hoeveelheden fosfaat gegeven als in voorgaande jaren. Vanaf 2006 is bij P1 op de helft van elk veldje de 0 gift vervangen door een gift van 70  $P_2O_5$ /ha. Een volledig overzicht van de toegediende hoeveelheden en het geteelde gewas per jaar is opgenomen in bijlage 1. Bijlage 2 geeft het schema van de proef weer, die gelegen is op perceel A20 van het proefbedrijf PPO-AGV te Lelystad. Na waterschade in aardappelen in 2005 is het proefveld in najaar 2006 opnieuw gedraineerd. Tussen de bestaande drains werden zonder profielverstoring nieuwe drains gelegd.

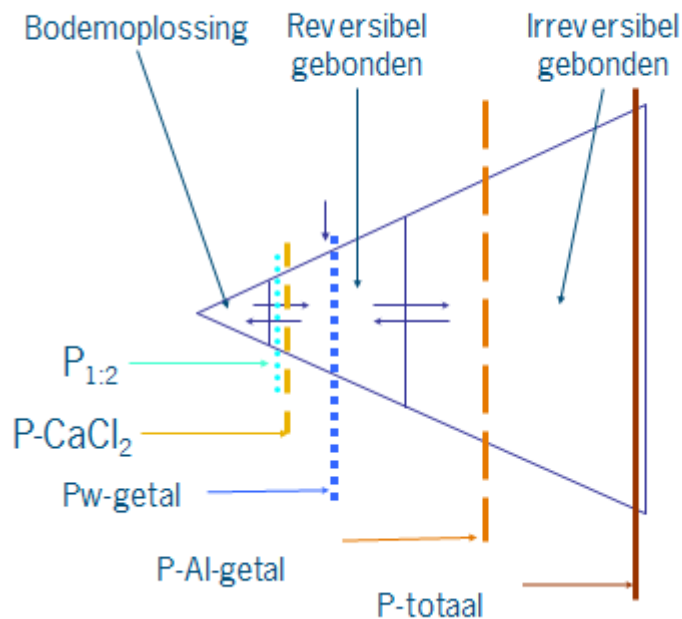
### 2.2 Meetprogramma

Standaard is jaarlijks van de geteelde gewassen bij alle behandelingen de marktbaar gewasopbrengst bepaald en van enkele behandelingen ook de opbrengst aan oogstresten. Van de gewasopbrengst zijn monsters genomen voor gehalten onderzoek op droge stof, kalium, magnesium, fosfor en N-totaal met name met het oog op de berekening van de fosfaatopname (inclusief oogstresten) en fosfaatafvoer met marktbaar product. De bodem is jaarlijks bemonsterd in de lagen 0-30 cm en 30-60 cm ter bepaling op P- $CaCl_2$ <sup>1</sup>, Pw-getal, P-Al-getal, P-totaal en K- $CaCl_2$ . De methoden van onderzoek zijn beschreven door Ehlert e.a. (2003). Naast methoden van grondonderzoek die bij bemestingsadviesgeving in de praktijk worden gebruikt, werden onderzoeksmethoden gebruikt die inzicht geven over de fosfaatbodemfracties die direct fosfaat aan bodemvocht kunnen afstaan, en de bodemfractie fosfaat die niet direct beschikbaar is maar op termijn wel beschikbaar kan worden. De eerste fractie wordt reversibel gebonden genoemd, de tweede quasi irreversibel gebonden. Figuur 1 geeft de samenhang aan tussen de verschillende methoden van grondonderzoek en bodemvocht.

---

<sup>1</sup> Deze parameter wordt door Blgg AgroXpertus P-PAE (Phosphorus Plant Available Element) genoemd.

## Fosfaatfracties en bepalingmethoden



Figuur 1. **Schematisch overzicht van de fosfaatfracties in de bodem en de belangrijkste analysemethoden waarmee de fosfaathoeveelheid in deze fracties in Nederland wordt bepaald (Ehlert, 2011).**

In aanvulling op dit meetprogramma werden in 2002 en in 2009 profielbemonsteringen van de bodemlagen 0-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 60-80 cm, 80-100 cm uitgevoerd. De grondmonsters werden geanalyseerd op:

- pH-H<sub>2</sub>O: 1:5 (V/V) extractie van grond met water (Houba e.a., 1997);
- P<sub>1:2</sub>: 1:2 (W/V) extractie van grond met water (Sonneveld e.a., 1990);
- Pw-getal: 1:60 (V/V) extractie van grond met water (Sissingh, 1971), tevens werd het gewicht van het volume grond (1,2 ml) dat gebruikt werd voor extractie gemeten;
- P-Al-getal: 1:20 (W/V) extractie van grond met ammoniumlactaat-azijnzuur met pH 3,75 (Egnér e.a., 1960);
- P-ox: 1:20 (W/V) extractie van grond met ammonium oxalaat-oxaalzuur (Schwertmann, 1964)
- Desorptie-isotherm: cumulatieve P<sub>i</sub> bepaling op basis van 7 tijdstappen. De P<sub>i</sub>-bepaling berust op de extractie van P met een ijzerhydroxide-geïmpregneerd filterpapiertje conform Sissingh (1983). Als achtergrondelektrolyt is 0,005 M CaCl<sub>2</sub> gebruikt. Papiertjes werden op zeven tijdstappen vervangen: na 4, 8, 24, 48, 72, 144 en 192 uur;
- Totaal P: destructie met zwavelzuur, salicylzuur, peroxide en seleen volgens Houba e.a. (1997).

Het chemisch grond- en gewasonderzoek is uitgevoerd door het Bgg AgroXpertus (Oosterbeek/Wageningen). Dit laboratorium is geaccrediteerd. Het chemisch grondonderzoek van de grondmonsters van de profielbemonsteringen in 2002 en 2009 werd uitgevoerd door het geaccrediteerde CBLB van Wageningen UR.

Daarnaast werd in 5 winterseizoenen (2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09 en 2009/10) in geselecteerde behandelingen bodemvocht bemonsterd op 35 cm en 75 cm diepte. Kunstwortels of Rhizon sms (*soil moisture samplers*) werden op de aangegeven diepte geplaatst. De bemonsteringen vonden plaats in intervallen in 1-2 maanden om het verloop gedurende de winter in beeld te krijgen. Voor de bemonstering werd met in een injectiespuit gekoppeld aan de kunstwortel onderdruk aangebracht. De dag daarop werd het zo in de injectiespuit verzamelde bodemvocht aangeboden aan het laboratorium. Het bodemvocht werd aangezuurd voor de bepaling van totaal fosfaat. In niet aangezuurde monsters werd binnen 24 uur MRP-P (ortho-P of Murphy & Riley fosfaat) bepaald conform Houba e.a. (1997b). Ook deze analyses werden geanalyseerd door CBLB van Wageningen UR.

## 2.3 Bewerkingen

*Anova:* Variantie analyses (ANOVA) zijn steeds uitgevoerd conform de proefopzet. Tot en met 2004 was de opzet een blokkenproef in 4 herhalingen met de 4 P-toestanden geward over de 4 plots per blok. Vanaf 2005 waren de plots gesplitst in twee subplots waarover de bemestingsbehandelingen bemest en niet bemest werden geward en was de opzet gewijzigd tot een split-plot blokkenproef (zie bijlage 2). De kleinste significante verschillen worden als LSD-waarden gegeven bij onbetrouwbaarheid 0,05.

*Regressie Analyse:* De afbouw/opbouw in de tijd van de fosfaattoestand ( $Y$ ) gemeten als Pw-getal, P-Al-getal en P-CaCl<sub>2</sub> bij de bemeste objecten P1, P2, P3 en P3 is gefit als een exponentiële curve

$$Y = \alpha_i + \beta_i e^{-\gamma t} + \epsilon \quad (1)$$

voor de jaren 1990 tot en met 2011, waarbij  $i = P1, P2, P3$  en P4. Hierbij zijn  $\alpha$ ,  $\beta$  en  $\gamma$  parameters en  $t$  is de tijd in jaren. Het jaar 1990 is op 0 gesteld. De parameter  $\gamma$ , met eenheid 1/jaar, is groter dan 0 wanneer de curve in de loop van de tijd naar de horizontale asymptoot nadert.

In dat geval is in 1990 de voorspelling van  $Y$  gelijk aan  $\alpha + \beta$  en wanneer  $t$  groot wordt gaat de voorspelling naar  $\alpha$ . Bij afname van Pw-getal, P-Al-getal en P-CaCl<sub>2</sub> in de tijd is de schatting van parameter  $\beta$  dan positief, en deze is negatief bij een toename Pw-getal, P-Al-getal en P-CaCl<sub>2</sub> in de tijd.

Zoals gezegd werden de plots vanaf 2005 per blok gesplitst waardoor er onbemeste uitmijnveldjes konden worden opgenomen binnen de toestanden P2, P3 en P4 en een bemest veldje binnen toestand P1. Aan de data van deze veldjes werd eveneens model (1) aangepast. Vanaf dat jaar is ook regressie analyse van de P-CaCl<sub>2</sub> bepaald. De eenheid van de parameters  $\alpha$  en  $\beta$  is steeds gelijk aan die van Pw-getal, c.q. P-Al-getal, c.q. P-CaCl<sub>2</sub>. Model (1) is aangepast aan de objectgemiddelden per jaar.

De opbouw van Pw-getal en P-Al-getal ( $Y$ ) als functie van de cumulatieve P-gift ( $P_{cum}$ ) is aangepast aan een lineair model

$$Y = \beta_{0i} + \beta_{1i} P_{cum} + \epsilon \quad (2)$$

Daarbij is  $\beta_{0i}$  de intercept bij  $i = P$ -toestand = P1, P2, P3 en P4 en  $\beta_{1i}$  is de helling bij  $i = P$ -toestand P1, P2, P3 en P4.

*Kwadranten:* Om de werking van de stikstof op de gewasgroei te karakteriseren werd door Keulen en de Wit (1980) een figuur van 4 kwadranten worden gebruikt. In de in dit rapport gepresenteerde kwadrant figuren is de N-gift vervangen door het Pw-getal 0-30 cm om de reactie van de opbrengst op de P-toestand te illustreren, in de periode 1990 tot en met 2004 bij de opbouwveldjes, en vanaf 2005 tot en met 2001 ook bij de uitmijnveldjes. In het kwadrant linksonder is het P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> overschot uitgezet tegen het Pw-getal 0-30 cm. De data worden gepresenteerd per object gemiddelde.

*Verandering van de fosfaattoestand als functie van het jaarlijkse bemestingsoverschot:* Het jaarlijkse fosfaat bemestingsoverschot is gedefinieerd als fosfaatbemesting verminderd met de afvoer van fosfaat met het marktbaar gewas. De verandering in Pw-getal of P-Al-getal per jaar is gerelateerd aan het fosfaat bemestingsoverschot van het desbetreffende jaar volgens:

$$\Delta STP_i = C_t + O_i \quad (1)$$

Daarbij is:

$\Delta STP_i$ : de verandering in Pw-getal of P-Al-getal in jaar  $i$  ten opzichte van jaar  $(i-1)$

$C_t$ : constante voor de desbetreffende periode (jaar) ,

$O_i$ : fosfaatoverschot in jaar  $i$ .

Er is geen aanwijzing dat voor de veldproef in Lelystad het verloop per fosfaattoestand bij een negatieve fosfaatbalans anders is dan bij de opbouw van de fosfaattoestand bij een positieve fosfaatbalans. Omdat onduidelijk was of het verloop al dan niet per fosfaatiniveau verschilt zijn 3 modellen doorgerekend: a) een

model met 1 lijn over alle toestanden, b) een model met 4 parallelle lijnen c) een model met een aparte intercept en aparte helling per toestand.

*Schatting onvermijdbaar fosfaat verlies:* Gepoogd is een schatting van het 'onvermijdbaar fosfaat verlies' te maken. Het daarvoor gebruikte model is ontleend aan het rapport: Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in grond onder invloed van bemesting. Observationeel statistisch onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. AB DLO Rapport 51 (Ehlert et al., 1996).

Het Pw-getal 0-30 cm in de proeven is steeds in het voorjaar gemeten of in de voorafgaande herfst, wat ook als een voorjaarsmeting werd opgevat. Per veld is van het zo verkregen Pw-getal laag 0-30 cm, op volgorde van jaar, de delta Pw-getal laag 0-30 cm. Het eerste jaar wordt dan een missende waarde en in jaar 2 geldt:  $\Delta Pw_{2-1} = Pw_2 - Pw_1$ , enzovoort. Verder is de Pw-getal laag 0-30 cm uit 1987 covariabele voor de delta Pw-getal 0-30 cm uit 1988. Dus om covariabele Pw-getal 0-30 cm aan te maken is per veld het Pw-getal van de laag 0-30 cm op volgorde van jaar 1 positie opgeschoven waardoor voor jaar 1987 een missende waarde ontstaat terwijl de waarde van 2011 verdwijnt als covariabele omdat in 2012 geen meting meer plaatsvindt.

Deze analyse levert parameter schattingen op die in een andere range liggen dan vermeld in rapport 51 en ook het op deze wijze berekende onvermijdbaar fosfaat verlies is erg hoog. De verkregen resultaten komen uit een analyse waaruit de data van 1987 en 1988 verwijderd waren. Aanvullend zijn er vele andere analyses gedaan waarbij steeds een ander gedeelte van de dataset werd verwijderd maar dat leidde telkens tot zeer hoge waarden voor het onvermijdbare fosfaat verlies. Er is t.o.v. de data die door Ehlert e.a. (1996) werden gebruikt een belangrijk verschil. De hier gerapporteerde veldproef had na circa 4 jaar een evenwicht bereikt qua effect van residuair meststoffosfaat op de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal<sup>2</sup>. Vanwege de onrealistische hoge waarden zijn de uitkomsten van de schattingen niet in dit rapport opgenomen.

*Omrekeningwijze van mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L grond naar mg P/kg grond.* stap 1: de omrekening van P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> naar P is gedeeld door factor 2,291; stap 2: de omrekening van mg per L grond naar mg per kg grond is keer vastgestelde gewicht schepje in mg, gedeeld door inhoud schepje; 1,2 ml.

---

<sup>2</sup> Het gestelde geldt ook voor het P-Al-getal.

## 3 Resultaten

### 3.1 Opbrengsten

In tabel 2 zijn de gemiddelde relatieve marktbaar opbrengsten gegeven van de gewassen die vanaf 2001 zijn geteeld. Daarbij is de opbrengst van fosfaattoestand P2 met een jaarlijkse bemesting van 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha op 100 gesteld. In bijlage 3a staan de werkelijke opbrengsten in tonnen per ha vermeld. In 2005 werden de behandeling opgesplitst in een onbemest deel en een deel waarbij de behandeling werd voortgezet. De vergelijking tussen de objecten is gebaseerd op het gemiddelde over de periode 2006-2011. Variatie van jaar tot jaar wordt daarmee gedempt. De afwijkende lage aardappelopbrengsten in 2005 door wateroverlast zijn buiten beschouwing gelaten. De relatieve gemiddelden 1990-2011 onder aan de tabel vermeld, betreffen alleen de behandelingen die steeds over die hele periode getoetst zijn. De jaarlijkse werkelijke opbrengsten over periode 1990-2001 zijn al gerapporteerd door Ehlert e.a., (2003, 2008).

Tabel 2. **Jaarlijkse relatieve opbrengsten van de gewassen geteeld in 2001-2011 gemiddelden over 2005-2011 en 1990-2011; fosfaattoestanden P1 t/m P4 voor de veeljarige veldproef P1801 te Lelystad. Tevens is de marktbaar opbrengst voor P2 gegeven (ton marktbaar/ha) en de indeling van de fosfaatbehoefte volgens het vigerende bemestingsadvies voor akkerbouw.**

Jaar	P-object > gift kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha> gewas	P1		P2 <sup>3</sup>		P3		P4		LSD relatief		Opbrengst <sup>4</sup>	fosfaat behoefte
		0	70	0	70	0	140	0	280	effect P-obj.	effect P-gift binnen P-obj.	P2 (t/ha)	gewas- groep <sup>5</sup>
2001	suikerbiet	89	*	*	100	*	100	*	99	8,6	*	60	2
2002	doperwt	76	*	*	100	*	97	*	79	10,1	*	5	1
2003	zomergerst,	94	*	*	100	*	97	*	104	9,6	*	7	3
2004	zaaiui	84	*	*	100	*	105	*	104	7,6	*	80	1
2005	aardappel, <sup>2</sup>	86	70	133	100	108	130	139	126	25,9	53,5	24	1
2006	suikerbiet	98	92	97	100	99	99	97	99	4,1	9,6	89	2
2007	wintertarwe	80	84	86	100	86	89	86	86	6,2	7,2	9	4
2008	zaaiui	94	98	100	100	100	101	103	101	2,6	5,8	87	1
2009	peen	98	97	100	100	101	102	102	99	4,4	5,2	125	3
2010	aardappel	90	96	93	100	98	106	109	112	8,5	9,4	62	1
2011	suikerbiet	93	101	92	100	98	100	101	103	7,6	17,9	85	2
<b>Gem.<sup>1</sup></b>	<b>2006-'11</b>	<b>92</b>	<b>95</b>	<b>95</b>	<b>100</b>	<b>97</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>6,6</b>	<b>10,9</b>		
<b>Gem.<sup>2</sup></b>	<b>1990-'11</b>	<b>91</b>	*	*	<b>100</b>	*	<b>99</b>	*	<b>101</b>	<b>8,0</b>	*		

<sup>1</sup> Vanaf 2005 zijn de objecten gesplitst in een deel met en een deel zonder fosfaatbemesting; In 2005 waren er afwijkende lage opbrengsten vanwege wateroverlast; deze zijn in de gemiddelden buiten beschouwing gelaten. Voor een zelfde grondslag voor vergelijking is het gemiddelde gebaseerd op periode 2006-2011;

<sup>2</sup> Langjarig gemiddelde; voor een zelfde grondslag voor vergelijking is alleen gemiddeld over P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest,

<sup>3</sup> P2 bemest met 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha is op 100 gesteld;

<sup>4</sup> Gemiddelde opbrengst per jaar per fosfaattoestand is als basis genomen.

<sup>5</sup> Indeling volgens adviesbasis fosfaatbemesting gewassen: gewasgroep 0 = zeer fosfaatbehoefstig gewasgroep; 4 = zeer weinig fosfaatbehoefstig.

### *Conclusies marktbaar opbrengsten*

De gemiddelde opbrengst van fosfaattoestand P1 niet bemest blijft over de gewassen in beide perioden 1990-2011 en 2006-2011 respectievelijk 9% en 8% achter vergeleken met standaard P2 bemest. Dit is een statistisch betrouwbaar verschil. Bij alle hogere fosfaattoestanden, al dan niet in combinatie met P-giften zijn de verschillen in het algemeen klein en statistisch niet onderscheidbaar.

Ook per jaar gezien is het verschil tussen P1 niet bemest en standaard P2 bemest steeds statistisch significant verschillend behalve in 2006 (suikerbiet), 2009 (peen) en 2011 (suikerbiet). Bij toestand P1 plus een fosfaatgift van 70 kg/ha is de opbrengst gemiddeld 5% lager vergeleken met de standaard P2 bemest maar dit verschil is niet significant. De hogere toestanden P3 en P4 verschillen bij bemesting qua opbrengst niet met P2 bemest. Geen bemesting geeft bij P2 gemiddeld een 5% lagere opbrengst, maar dit verschil is statistisch niet betrouwbaar.

### *Gewasreactie periode 2001-2011*

*Aardappelen:* In 2005 hadden de aardappelen sterk te lijden van wateroverlast en blijft daarom buiten beschouwing. Aardappel reageerde in 2010 sterk op de fosfaattoestand. P4 gaf een betrouwbare hogere opbrengst dan P1 en P2. De toestand P3 scoorde een significante betere opbrengst dan P1. Ook het effect van fosfaatbemesting is per fosfaattoestand steeds positief hoewel niet significant.

*Suikerbiet:* In 2004 was de opbrengst aan suikerbiet alleen bij P1 onbemest significant lager dan bij de andere objecten. De suikerbietopbrengst reageerde in 2006 op geen van de aangelegde behandelingen met uitzondering van P1 bemest. De bietenopbrengsten waren hoog. De suikerbietopbrengsten in 2011 lagen op hetzelfde niveau als in 2006. Suikerbiet reageerde in 2011 niet op fosfaattoestand en/of fosfaatgift. Alleen P1 onbemest week negatief af.

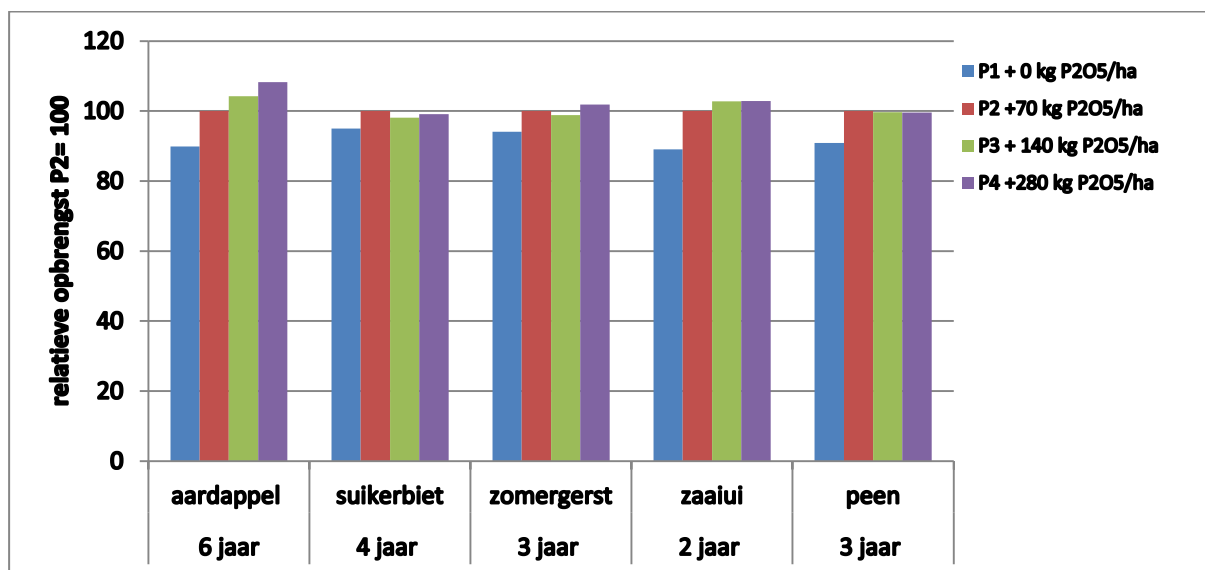
*Wintertarwe:* In 2007 was P2 bemest significant hoger dan de andere behandelingen met bemesting. Dit werd veroorzaakt door een – onverklaarbaar - hoge waarde voor de opbrengst van één herhaling. Ook tussen P2 bemest en P2 onbemest was het onderlinge verschil betrouwbaar. Dit is opvallend, omdat uit eerder onderzoek bekend is dat wintertarwe niet of nauwelijks op een fosfaatbemesting reageert.

*Zaaiui:* Er lijkt in 2004 een positief opbrengsteffect van hogere fosfaattoestand + bemesting. P3 (bemest) en P4 (bemest) waren hoger t.o.v. P2 (bemest) maar dit verschil is niet betrouwbaar. P2 was wel significant hoger dan P1. In 2008 was de opbrengst bij P1 onbemest betrouwbaar lager dan de andere behandelingen.

*Peen:* Van alle gewassen werd met peen in 2009 de hoogste opbrengsten behaald, variërend van 124 tot 131 t/ha. P3 bemest en P4 onbemest waren betrouwbaar hoger in opbrengst dan P1 onbemest.

### *Opbrengsten van meerdere jaren geteelde gewassen.*

De opbrengstreactions per fosfaattoestand en per fosfaatgift zijn gemiddeld over de jaren voor vijf gewassen. Het betreft de veel voorkomende gewassen in het bouwplan op (zee-) kleigronden, namelijk aardappel, suikerbiet, zomergerst, zaaiui en peen. In figuur 2 zijn de gemiddelden weergegeven in relatieve verhoudingsgetallen, waarbij P2 bemest op 100 gesteld is.



Figuur 2. Relatieve opbrengst per gewas gemiddeld per fosfaattoestand in de periode 1990-2011 waarbij de opbrengst van fosfaattoestand P2 met bemesting met 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha op 100 is gesteld.

De opbrengstreactie is bij aardappel het grootst. Dit is volgens verwachting want aardappel is fosfaatbehoefstig (gewasgroep 1 in de adviesbasis voor bemesting van akkerbouwgewassen<sup>3</sup>). Een lage fosfaattoestand en geen bemesting (P1) kostte in deze proef bij aardappel 10% opbrengst ten opzichte van P2 bemest terwijl een hogere fosfaattoestand plus bemesting (P3) 4% meeropbrengst geeft. Een nog hogere fosfaattoestand (P4) gaf 8% meeropbrengst dan P2.

Suikerbiet is vrij fosfaatbehoefstig (gewasgroep 2) en zomergerst is normaal fosfaatbehoefstig (gewasgroep 3) maar in deze proef zien we een gelijke opbrengstreactie. Bij beide gewassen is er geen verschil in opbrengst tussen de fosfaattoestanden P2, P3 en P4 en geeft een lage toestand (P1) onbemest 5% minder opbrengst.

Zaaiui is fosfaatbehoefstig (gewasgroep 1). Peen op klei is normaal fosfaatbehoefstig (gewasgroep 3). Bij beide gewassen is er weinig verschil in opbrengst tussen de fosfaattoestanden P2, P3 en P4 maar geeft een lage toestand (P1) onbemest fors mindere opbrengsten van respectievelijk 11 en 9%.

Voor een maximale opbrengst in een bouwplan met bovenstaande gewassen moet de aardappel in de verdeling van de fosfaatruimte over het bouwplan in ieder geval voldoende fosfaatbemesting krijgen. Bij een lage toestand moet ook bij zaaiui en peen een fosfaatbemesting gegeven worden.

## 3.2 Fosfaatafvoer

In tabel 3 is de relatieve fosfaatafvoer (P2 bemest=100) gegeven van de gewassen die vanaf 2001 zijn geteeld. In bijlage 3b zijn de werkelijke afvoeren per gewas weergegeven. De fosfaatafvoer van de aardappel in 2005 werd beïnvloed door wateroverlast en is daardoor lager en daarom buiten het gemiddelde gelaten. De oogstresten, zoals bietenblad, tarwe- en erwtenstro en uien, aardappel- en peenloof zijn niet afgevoerd maar op de desbetreffende veldjes ondergewerkt.

<sup>3</sup> Dat wil zeggen dat het weglaten van fosfaatbemesting zeker tot opbrengstderving zal leiden.

<http://www.kennisakker.nl/kenniscentrum/handleidingen/adviesbasis-voor-de-bemesting-van-akkerbouwgewassen>



Tabel 3. **Jaarlijkse relatieve fosfaatafvoer met het geogste product van de gewassen geteeld in 2001-2011, gemiddelden over 2006-2011 en 1990-2011 en de werkelijke fosfaatafvoer met marktbaar product voor P2 bemest; proef P1801, Lelystad.**

Jaar	P-object > <i>Jaarlijkse bemesting kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha&gt;</i> <i>gewas</i>	P1		P2 <sup>3</sup>		P3		P4		LSD relatief <sup>4</sup>		Werkelijke afvoer van P2 bemest (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> per ha)
		0	70	0	70	0	140	0	280	Effect P-object	Effect P-gift binnen P-object	
2001	suikerbiet	83	*	*	100	0	104	0	116	5,9	*	51
2002	doperwt	74	*	*	100	0	102	0	88	18,6	*	12
2003	zomergerst	93	*	*	100	0	101	0	111	7,4	*	53
2004	zaaiui	78	*	*	100	0	106	0	112	9,7	*	83
2005	aardappel	74	55	133	100	118	142	206	190	43,5	68,4	25
2006	suikerbiet	85	84	103	100	109	108	107	113	7,7	7,7	64
2007	wintertarwe	77	84	88	100	88	93	90	86	9,1	9,1	74
2008	zaaiui	90	98	99	100	105	104	110	115	4,3	7,2	68
2009	peen	81	89	94	100	104	120	113	129	8,3	9,5	82
2010	aardappel	83	91	87	100	103	112	134	143	18,7	18,7	60
2011	suikerbiet	88	102	94	100	100	101	102	104	10,6	19,7	67
Gem. <sup>1</sup>	2006- '11	84	91	94	100	101	106	108	115	12,8	14,4	69
Gem. <sup>2</sup>	1990- '11	85	*	*	100	*	106	*	117	10,2	*	60

<sup>1</sup> Vanaf 2005 zijn de objecten gesplitst in een deel met en een deel zonder fosfaatbemesting; het gemiddelde is gebaseerd op desbetreffende behandeling in periode 2006-2011, omdat aardappel in 2005 een lage productie gaf door wateroverlast.

<sup>2</sup> Voor het langjarig gemiddelde 1990-2011 berust de vergelijking op gemiddelden van P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest;

<sup>3</sup> P2 bemest met 70 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> is op 100 gesteld;

<sup>4</sup> Gemiddelde opbrengst per jaar per fosfaattoestand is als referentie genomen.

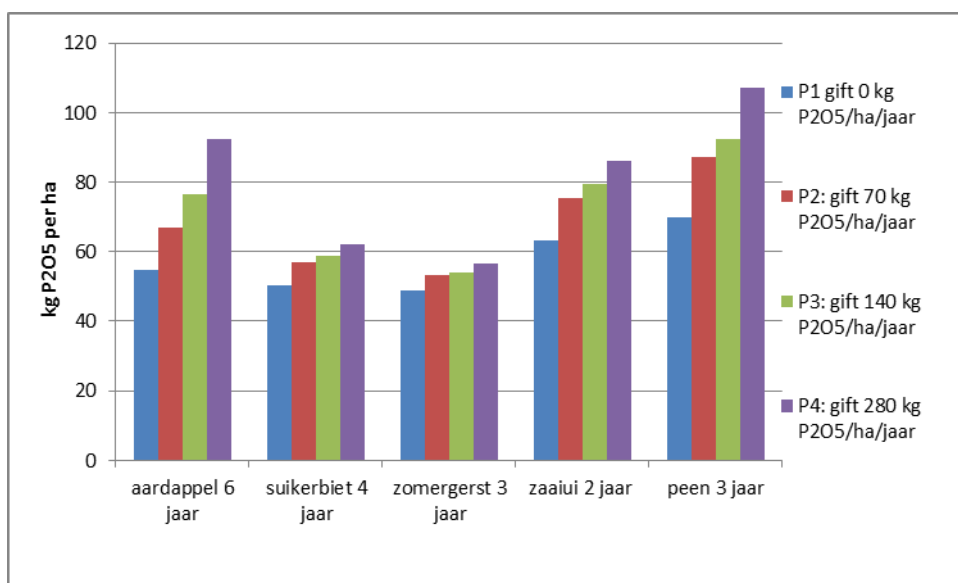
Over de gewassen in de periode 2006-2011 blijft de gemiddelde fosfaatafvoer met het marktbaar product bij fosfaattoestand P1 niet bemest gemiddeld 16% achter ten opzichte van de gekozen referentie P2 bemest (P2 + 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). Dit verschil is significant betrouwbaar. De fosfaatafvoer van P1 niet bemest is over de hele periode 1990-2011 5% lager vergeleken met P2 bemest. Ook dit is een betrouwbaar verschil. Bij toestand P4, al dan niet in combinatie P-gift is de afvoer onderscheidbaar hoger dan bij P2 bemest terwijl dit niet werd vastgesteld bij de reactie van de opbrengst. Dit duidt op een luxe consumptie van fosfaat (meer P-opname dan het gewas nodig heeft voor de opbrengst) omdat de opbrengst bij deze toestand gemiddeld niet significant meer stijgt.

De relatieve afvoer bij P1 niet bemest is per jaar steeds betrouwbaar lager dan de afvoer bij P4 behalve in 2003, 2007 en 2011. In 7 van de 11 jaar was de relatieve afvoer van P1 lager dan van P2 bemest. In 2003 (zomergerst), 2005 (aardappel), 2010 (aardappel) en 2011 (suikerbiet) waren de verschillen tussen beide objecten niet betrouwbaar.

De werkelijke fosfaatafvoer met de marktbaar opbrengst bedroeg bij P2 bemest over de periode 1990-2011 gemiddeld 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar en over de periode 2001-2011 gemiddeld 61 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar, als het slechte aardappeljaar 2005 buiten beschouwing blijft. Er zijn aanzienlijke verschillen per gewas. Bij alle geteelde gewassen met uitzondering van doperwt en aardappel in 2005, lag de fosfaatafvoer tussen de 50-100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. De afvoer bij doperwt is laag met 9-12 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha (zie ook bijlage 3b).

#### *Fosfaatafvoer van meerdere jaren geteelde gewassen*

Een vijftal gewassen, aardappel, suikerbiet, zomergerst, zaaiui en peen kent verschillende teeltjaren in de rotatie van het langjarige proefveld vanaf 1990. De fosfaatafvoer per fosfaattoestand (P1 t/m P4) en fosfaatgift is gemiddeld over de teeltjaren. In figuur 3 zijn deze gemiddelden weergegeven. De bijbehorende getallen zijn opgenomen in bijlage 4.



Figuur 3. Fosfaatafvoer in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha voor 5 gewassen, gemiddeld over alle teeltjaren per fosfaattoestand en fosfaatgift proef P1801, Lelystad.

De fosfaatafvoer is, behalve gewasafhankelijk ook afhankelijk van de combinatie fosfaattoestand en fosfaatgift. Bij de lage fosfaattoestand P1 en geen bemesting wordt bij deze gewassen 49 - 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha afgevoerd. Aardappel voert bij de hogere fosfaattoestanden (P2, P3, P4) 67 - 92 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha af, peen 87-107 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha en zaaiui 76 - 86 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Voor een deel is hier sprake van luxe consumptie omdat de opbrengststijging bij hogere fosfaattoestand veel minder groot is of ontbreekt terwijl de fosfaatafvoer blijft toenemen (figuur 3). De stijging in fosfaatafvoer bij de hogere fosfaattoestanden is bij suikerbiet en zomergerst daarentegen veel kleiner. De maximale afvoeren van P4 bij suikerbiet en bij zomergerst zijn respectievelijk 62 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha en 57 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

#### Afvoer voorbeeld in bouwplan

In tabel 4 is de fosfaatafvoer in een voorbeeld bouwplan doorgerekend op basis van in de proeven behaalde cijfers voor de fosfaatafvoer met marktbaar producten van de geteelde gewassen. Het gekozen bouwplan scenario bestaat uit 25% van het areaal aardappel, 20% suikerbiet, 30% zomergerst, 12,5% zaaiui en 12,5% peen. De gemiddelde fosfaatafvoer bij standaard fosfaattoestand P2 (Pw-getal 30-55 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L) met 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha komt in dit voorbeeldbouwplan uit op 64 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha.

Tabel 4. Jaarlijkse fosfaatafvoer in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha per gewas en aandeel daarvan in het voorbeeld bouwplan op basis fosfaatafvoercijfers periode 1990-2011 proef P1801, Lelystad.

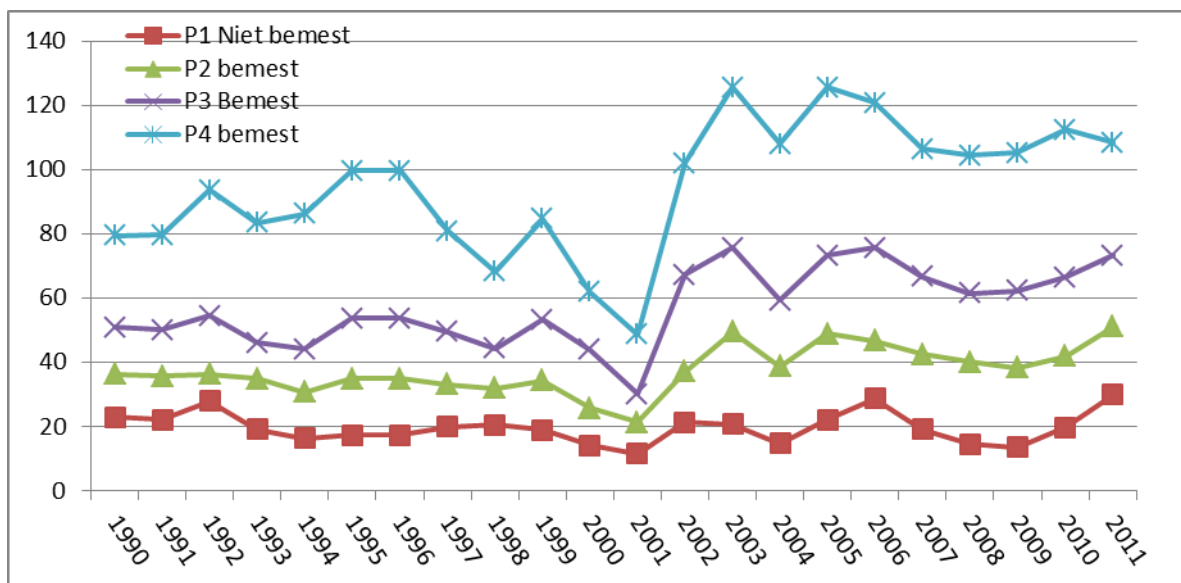
Gewas*	Gewasaandeel (%) in bouwplan	afvoer per gewas (van toestand P2 + gift 70 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha/jaar)	Fosfaatafvoer binnen bouwplan (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> in kg/ha/jaar)
aardappel	25	67	17
suikerbiet	20	57	11
zomergerst	30	53	16
zaaiui	12,5	76	9
peen	12,5	87	11
<b>totaal</b>	<b>100</b>		<b>64</b>

\*Op basis van teelt in de periode 1990-2011

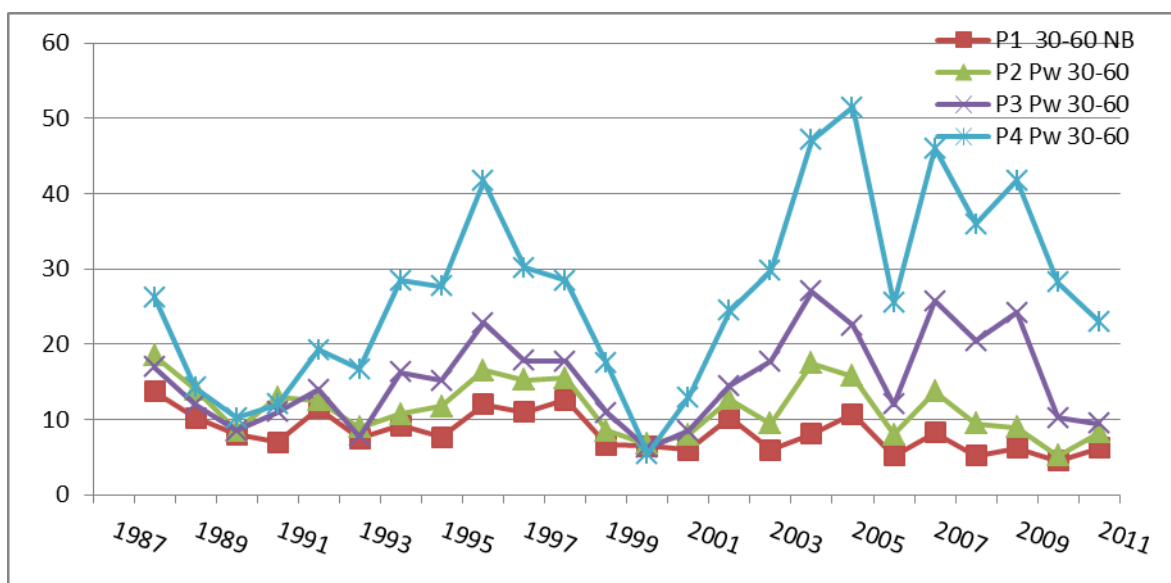
De fosfaatafvoer komt in dit bouwplan nagenoeg overeen met de fosfaatgebruiksnorm voor 2013 en 2014 voor klasse neutraal (= 65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha). De fosfaatafvoer is echter hoger dan de indicatieve fosfaatgebruiksnorm voor klasse neutraal voor 2015 (=60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha ). Bij de huidige waarden voor de gebruiksnormen zou er bij de klasse neutraal na 2015 minder fosfaat aangevoerd worden dan afgevoerd. Wel moet opgemerkt worden dat deze afvoercijfers op netto ha basis met 100% betaalde areaal berekend zijn in proeven. In de praktijk is de werkelijk betaalde oppervlakte 90-95%, afhankelijk van het gewas. De 5-10% van het areaal gaat verloren aan spuitpaden, kopakkers en dergelijke (KWIN- AGV 2012). Bij 90% betaald areaal ligt de afvoer wel rond de indicatieve gebruiksnorm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha in 2015.

### 3.3 Wijzingen in de fosfaattoestand in de tijd

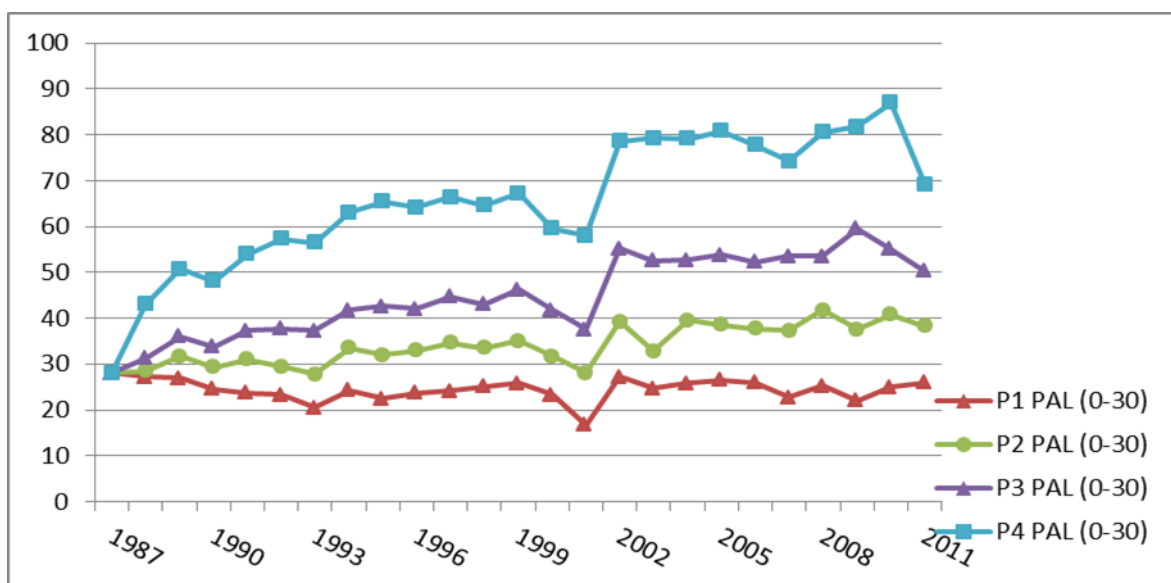
Het verloop van de fosfaattoestand Pw-getal en P-Al-getal van 1987 tot en met 2011 is in grafiekvorm weergegeven in de figuren 4 tot en met 7, van elke parameter voor de bodemlagen 0-30 cm en 30-60 cm. P1 is daarin onbemest gebleven, de toestanden P2, P3 en P4 zijn jaarlijks bemest met respectievelijk 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Vanaf 2004 is ook de P-CaCl<sub>2</sub> bepaald bij alle behandelingen. In de figuren 8 en 9 is het verloop daarvan in grafiekvorm weergegeven. In tabel 5 worden de werkelijk gemeten waarden voor Pw-getal, P-Al-getal, P-CaCl<sub>2</sub> en P-totaal met de bijbehorende LSD's vermeld. Van het verloop zijn ook de trendlijnen per parameter en per laag berekend. Deze zijn weergegeven in de bijlagen 5.1 t/m 5.6. De bijbehorende parameters van deze trendlijnen staan in bijlage 6.



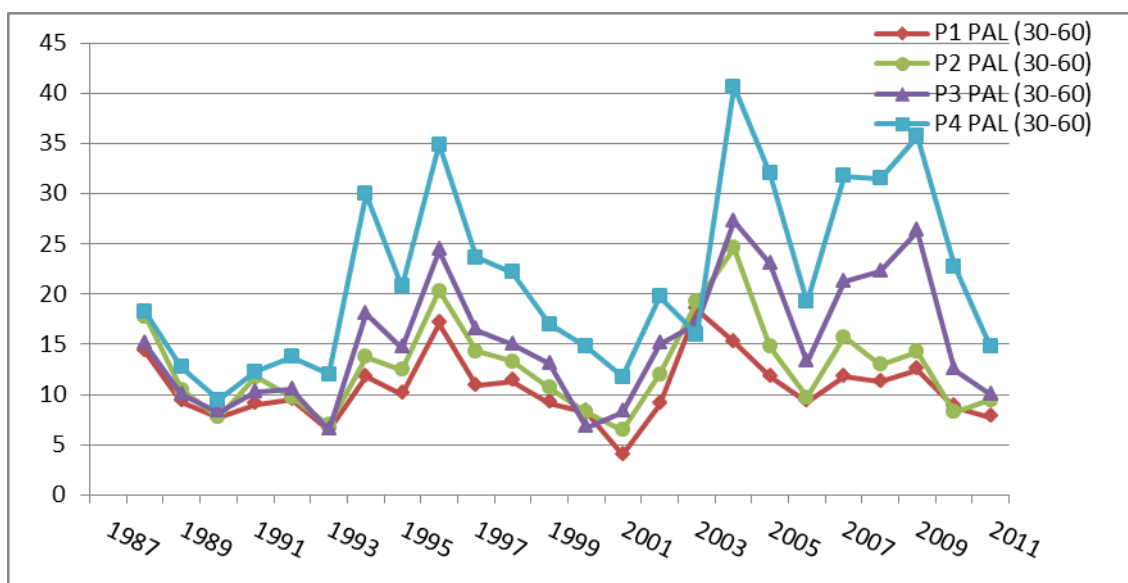
Figuur 4. Verloop van het Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2011. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar.



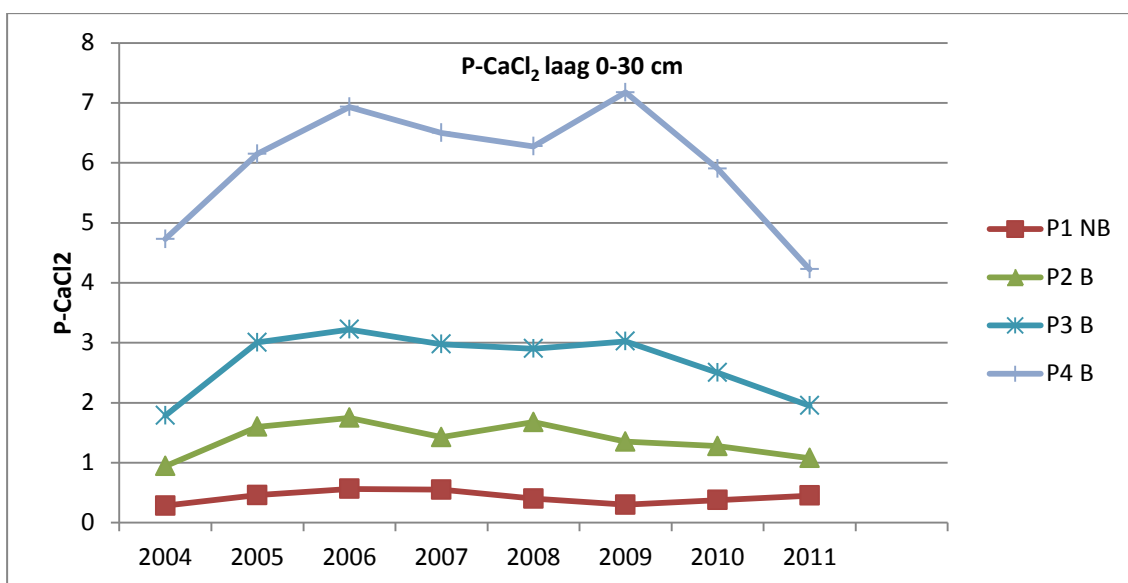
Figuur 5. Verloop van het Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2011. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar.



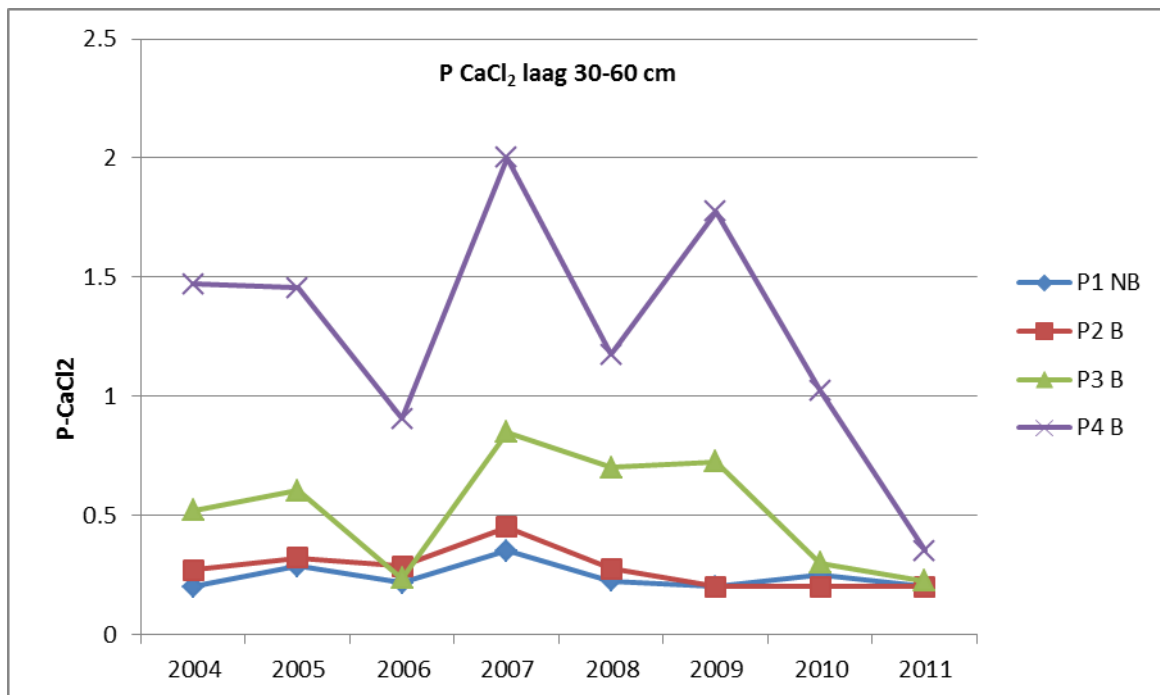
Figuur 6. Verloop van het P-Al-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2011. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar.



Figuur 7. Verloop van het P-Al-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2011. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar.



Figuur 8. Verloop van het P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2004 t/m 2011. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. P-CaCl<sub>2</sub> is vanaf 2004 opgenomen in het meetprogramma.



Figuur 9. Verloop van het P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2004 t/m 2011. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. P-CaCl<sub>2</sub> is vanaf 2004 opgenomen in het meetprogramma.

Tabel 5. Fosfaattoestand vanaf 2005 bepaald als Pw-getal (mg P2O5/L), P-Al-getal (mg P2O5/100 g), P-CaCl2 (mg P/kg) en P-totaal (mg P2O5/100 g)

P-object	P1		P2		P3		P4		LSD binnen P-object	LSD Effect P-gift binnen P-object	
	0	70	0	70	0	140	0	280			
<b>Bemesting kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha</b>											
<b>Pw-getal</b>	2005	22	nvt	51	49	68	73	113	126	11	12
	2006	29	27	53	47	62	76	97	121	15	17
	2007	19	26	36	43	55	67	90	107	11	14
	2008	15	18	30	40	44	62	73	105	7	7
	2009	14	17	30	39	47	62	74	105	6	8
	2010	20	27	34	42	49	67	76	113	8	8
	2011	30	46	40	51	65	73	97	109	15	17
<b>P-Al-getal</b>	2005	27	nvt	38	39	52	54	77	81	5	5
	2006	26	27	36	38	49	52	68	78	5	6
	2007	23	27	35	37	45	54	64	74	5	6
	2008	25	25	34	42	47	54	63	81	3	4
	2009	22	25	34	38	48	60	65	82	4	6
	2010	25	31	35	41	49	55	65	87	8	9
	2011	26	35	33	38	46	50	65	69	7	7
<b>P-CaCl<sub>2</sub></b>	2005	0,5	nvt	1,4	1,6	2,6	3,0	5,3	6,2	0,9	1,0
	2006	0,6	0,8	1,4	1,7	2,5	3,2	4,8	6,9	0,8	1,1
	2007	0,6	0,9	1,3	1,4	2,1	3,0	4,0	6,5	1,2	1,4
	2008	0,4	0,5	1,2	1,7	1,7	2,9	3,3	6,3	0,7	0,7
	2009	0,3	0,4	0,7	1,4	1,3	3,0	3,5	7,2	0,6	0,8
	2010	0,4	0,6	0,8	1,3	1,4	2,5	2,8	5,9	0,6	0,6
	2011	0,5	1,0	0,7	1,1	1,7	2,0	3,2	4,2	0,8	0,9
<b>P-totaal</b>	2005	105	nvt	120	119	138	139	166	173	8	10
	2006	94	98	108	114	125	129	147	161	8	12
	2007	76	86	95	97	111	121	135	184	6	47
	2008	98	94	108	120	122	129	142	172	11	13
	2009	91	92	105	110	123	132	153	176	5	11
	2010	94	94	105	107	119	129	138	165	7	9
	2011	94	106	100	113	121	124	148	151	8	9

Bemonstering in najaar van betreffend jaar na de oogst in laag 0-30 cm. ; proefveld P1801 (Lelystad)

De fosfaattoestand van de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm laat een grillig verloop zien. Dit grillig verloop wordt zowel bij het Pw-getal als bij het P-Al-getal en bij P-CaCl<sub>2</sub> gevonden in beide bodemlagen. De bodemlaag 30-60 cm vertoont een nog wisselvaliger verloop dan de bodemlaag 0-30 cm. De richting van een wijziging in fosfaattoestand komt bij alle drie analysemethodes overeen. Een verlaging van het Pw-getal gaat gepaard met een verlaging van het P-Al-getal en vice versa. Dit geldt ook bij vergelijking met P-CaCl<sub>2</sub>. In de eerste jaren met hoge fosfaatgiften steeg de fosfaattoestand snel. Na 1995 nam de toestand af, ook bij de toestanden met een hoge jaarlijkse bemesting. In 2002 en 2003 werden weer hoge waarden vastgesteld. Deze namen in de volgende vier jaar weer langzaam af maar bleven daarna redelijk stabiel in de laag 0-30 cm.

De fluctuaties in de laag 30-60 cm waren na 2005 veel heviger met een sterke daling in 2006. Daarna liepen de waarden weer op. De laatste jaren 2010 en 2011 dalen zowel de hoge toestanden van Pw-getal als het P-Al-getal fors. De P-CaCl<sub>2</sub> waarden vanaf 2004 kennen een vrij vlak verloop in de laag 0-30 cm, maar laten in de laatste jaren een daling zien. De P-CaCl<sub>2</sub> waarden in de laag 30-60 cm zijn eveneens zeer wisselvallig.

Het grillige verloop leidt met name bij de Pw-getal laag 0-30 cm tot een afwijkend beeld een ten opzichte van het verloop van het P-Al-getal wat betreft de meetgegevens versus de resultaten van statistische analyse. (zie bijlage 5). De resultaten van statistische analyse wijzen uit dat de Pw-getal 0-30 bij de fosfaattoestanden P2, P3 en P4 nog altijd toenemen terwijl bij het P-Al-getal er sprake is van een afvlakking. In 2000 en 2001 werden (zeer lage) waarden vastgesteld. De mate van daling was bij Pw-getal sterker dan die bij het P-Al-getal. De standaardafwijkingen zijn echter groot. Voor P-CaCl<sub>2</sub> ontbreken meetgegevens over deze periode. Ook de werkelijke meetgegevens wijzen niet op een stijging als rekening gehouden wordt met de curieuze sprong rond 2000. Het herstel van de fosfaattoestand na 2001 is kennelijk bepalend geweest

bij de bepaling van de trend op basis van het opgelegde exponentiële verband. Dit betekent dat de gefitte trendlijnen geen goede weergaven zijn van het verloop en zijn daarom alleen ter informatie in de bijlagen opgenomen.

Over de periode 2005-2011 is bij P-CaCl<sub>2</sub> de gemiddelde variantiecoëfficiënt voor de bodemlaag 0-30 cm 23,0%, voor Pw-getal 12,3% en voor P-Al-getal 8,4%. Voor de bodemlaag 30-60 cm zijn deze waarden respectievelijk 23,8%, 16,7% en 7,9%. Procentueel - berekend als relatieve variantiecoëfficiënt - zijn de afwijkingen bij P-CaCl<sub>2</sub> hoger dan die bij het Pw-getal, bij het P-Al-getal zijn die het laagst.

Samenvattend kan gesteld worden dat de 4 fosfaatobjecten zich onderling op een betrouwbaar verschil handhaven in de laag 0-30 cm. Vreemd en niet uit de veldproefhandelingen verklaarbaar zijn de lage waarden in 2000 en 2001 en het sterke herstel op een hoger niveau in de jaren daarna. De laatste 4 jaar stabiliseren de meetwaarden of nemen licht af. Komende jaren zullen moeten uitwijzen of dit toeval is of een echte ontwikkeling.

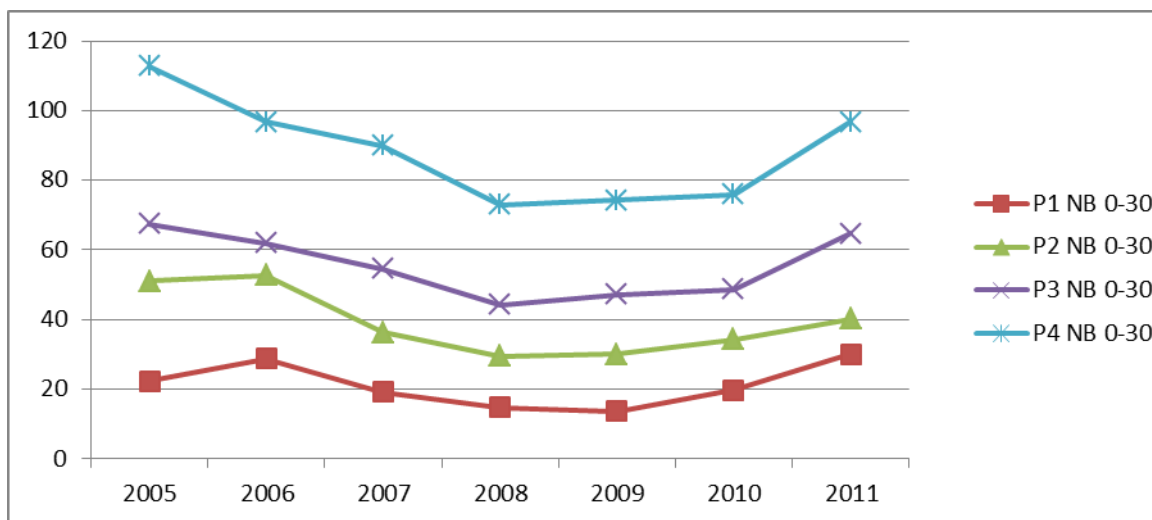
Het is zeer opvallend dat de fosfaattoestand van object P1 (330 kg fosfaatbemesting in de periode 1987 t/m 1997 en daarna geen fosfaatbemesting) na een periode van 20 jaar nog nagenoeg de fosfaattoestand van de beginperiode heeft. Dit wijst op een nalevering uit anorganische bodemfracties die niet met de methoden van de bepaling van het Pw-getal of het P-Al-getal kunnen worden vastgesteld en mogelijk op een bijdrage door fosfaatmineralisatie uit organische stof.

### 3.4 Wijzingen in de fosfaattoestand als gevolg van niet bemesten (uitmijning)

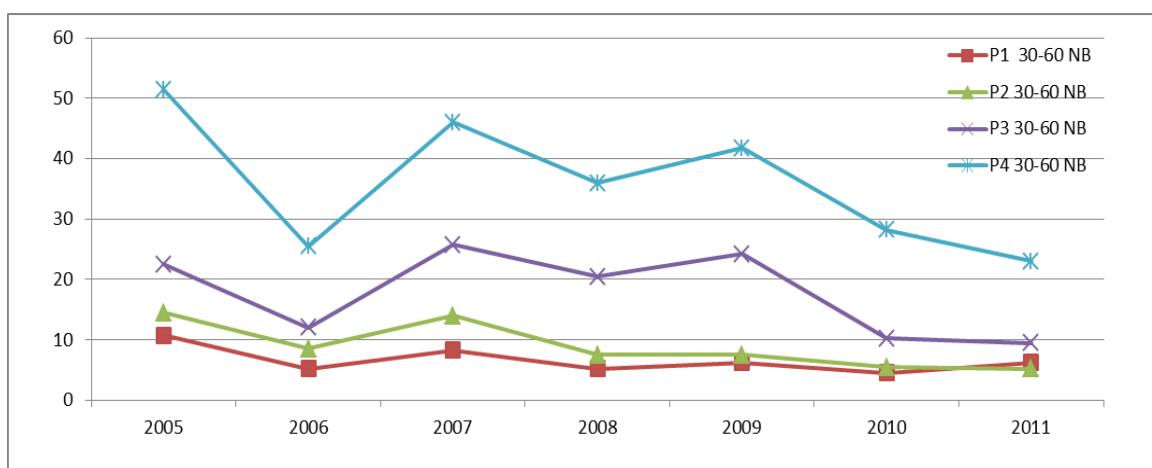
Vanaf 2005 is het proefveld opgesplitst en de helft van de veldjes 'bemest' en de andere helft 'onbemest'. Van de fosfaattoestand (Pw-getal, P-Al-getal en P-CaCl<sub>2</sub>) is het verloop van de uitmijning in de periode 2005-2011 voor de grondlagen 0-30 en 30-60 cm weergegeven in de figuren 10 tot en met 15. In voorgaande tabel 5 staan ook de gemiddelden van de metingen voor Pw-getal, P-Al-getal, P-CaCl<sub>2</sub> (P-PAE) en P-totaal van de bodemlaag 0-30 cm met de bijbehorende LSD's. De trendlijnen middels statistische bewerking van Pw-getal, P-Al-getal en P-CaCl<sub>2</sub> zijn per laag weergegeven in de figuren van bijlagen 5.7 t/m 5.12. In bijlage 7 zijn de parameterschattingen van deze trendlijnen vermeld.

In alle jaren met uitzondering van 2011, waren de verschillen tussen de fosfaattoestanden van de 4 P-objecten in de laag 0-30 cm *significant* voor zowel het Pw-getal als het P-Al-getal. De LSD-waarden van Pw-getal waren de eerste jaren hoog, stabiliseerde daarna op een lager niveau, maar is het laatste jaar weer hoog. De verschillen, die tussen de P-objecten, vastgesteld op basis van Pw-getal en het P-Al-getal, worden ook met P-CaCl<sub>2</sub> en P-totaal vastgesteld. Elke methode van grondonderzoek toont het effect van de aangelegde behandelingen aan: hoe hoger het fosfaatoverschot bij aanvang van de uitmijningperiode was, hoe hoger de waarde is. De spreiding in de meetwaarden van de jaren 2005, 2006 en 2007 is bij P-CaCl<sub>2</sub> relatief groot vergeleken met dan die bij Pw-getal of P-Al-getal. In latere jaren neemt de spreiding bij P-CaCl<sub>2</sub> af. Bij P-totaal is er een opmerkelijke uitschieter in spreiding in 2007. Dit is veroorzaakt door een zeer hoge waarde in één van de vier herhalingen. Hiervoor is niet gecorrigeerd.



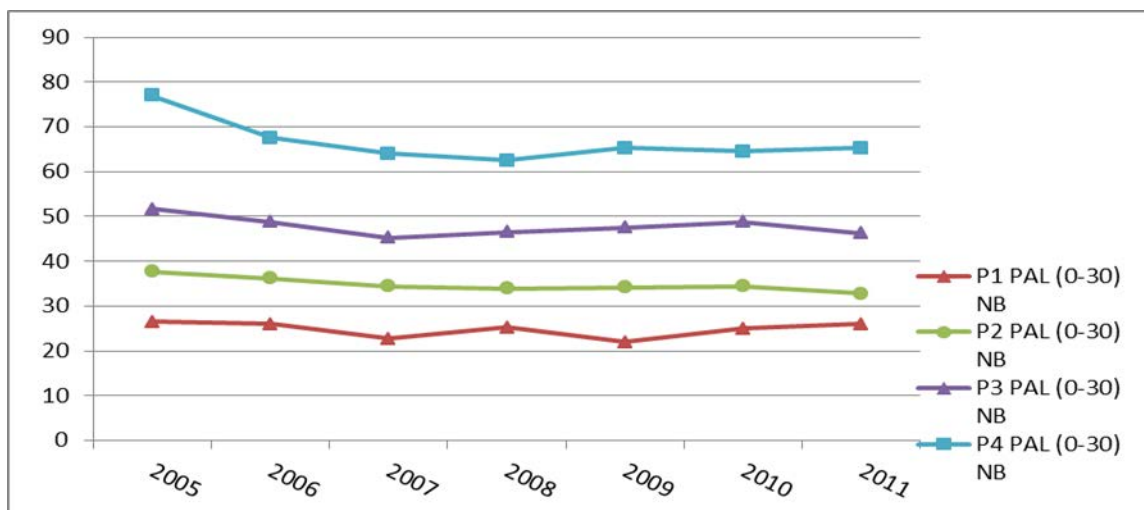


Figuur 10. Verloop van het Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2005 t/m 2011 als gevolg van geen bemesting (uitmijning).

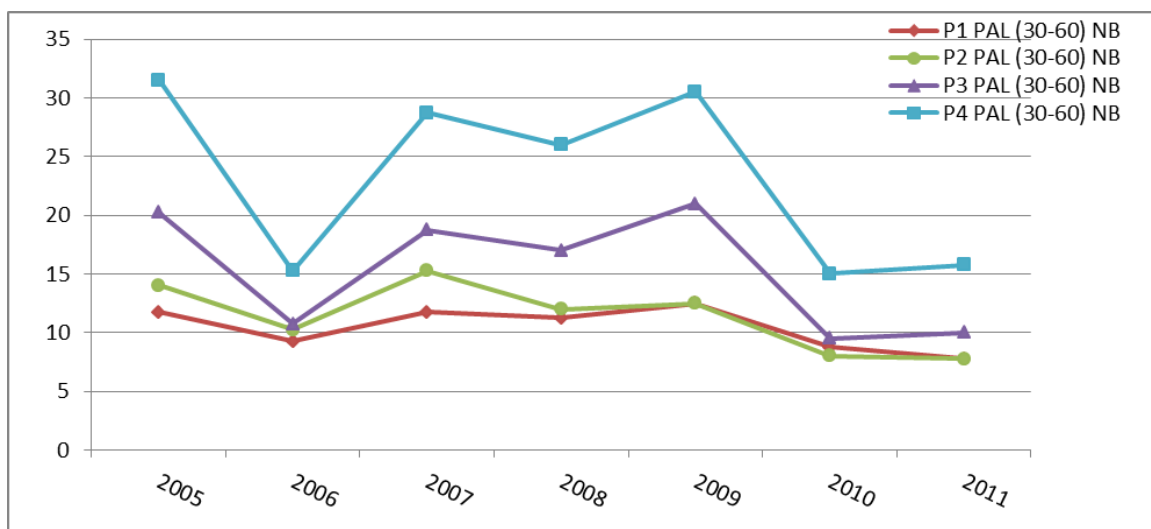


Figuur 11. Verloop van het Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2005 t/m 2011 als gevolg van geen bemesting (uitmijning).

Het Pw-getal van de laag 0-30 cm daalt bij niet bemesten de hoge toestanden P2, P3 en P4 (figuur 10). Vooral de 2 hoogste toestanden laten snel verschillen zien. Bij P3 en P4 waren de Pw-getallen binnen dezelfde toestand bij onbemest significant lager dan bij bemest. De laatste jaren lijkt er stabilisatie op te treden. Bij P1 met 70 kg fosfaatbemesting per jaar blijft het Pw-getal waarde eerst op gelijk niveau maar lijkt de laatste jaren te stijgen. Bij onbemest (P1) schommelt het Pw-getal om in het laatste jaar 2011 scherp te stijgen. Dit beïnvloedt de trendlijn. Onduidelijk is of dit een eenmalig effect is. Figuur 11 laat bij P3 en P4 een daling zien in de fosfaattoestand gemeten als P-Al-getal. Het verloop van P2 en P1 was vlak. Ook bij P-Al-getal is er blijkbaar aanvulling uit andere fosfaatfracties dan wat met het P-Al-getal worden vastgesteld bij de lagere toestanden in deze laag 0-30 cm.

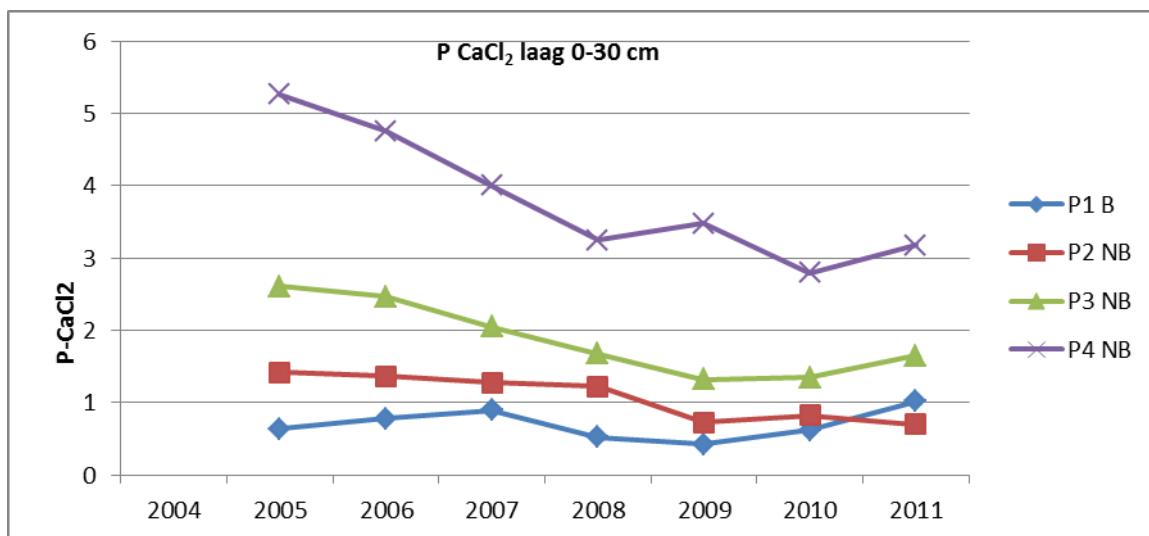


Figuur 12. Verloop van het P-Al-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2005 t/m 2011 als gevolg van geen bemesting (uitmijning).



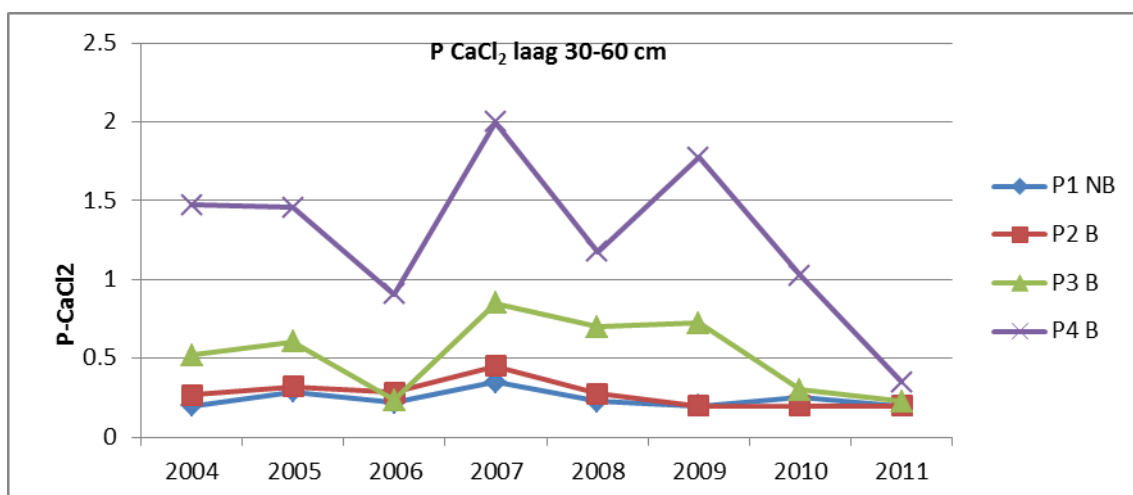
Figuur 13. Verloop van het P-Al-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2005 t/m 2011 als gevolg van geen bemesting (uitmijning).

In 2006 werden lagere Pw-getallen gemeten dan in daarop volgende jaren, vooral bij P4 werd een forse daling vastgesteld. Daarna kwam er een herstel maar in 2010 nemen de waarden weer af. Door de grote fluctuatie is de verklaarde variantie veel lager dan in de laag 0-30 cm. Vergeleken met bemest is alleen toestand P4 onbemest betrouwbaar lager.



Figuur 14. Verloop van het P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2005 t/m 2011 als gevolg van geen bemesting (uitmijning).

Het verloop van P-Al-getal in de laag 30-60 cm (figuur 14) geeft eenzelfde beeld als bij P-Al-getal laag 0-30 cm. Ook hier werden in 2006 lagere Pw-getallen gemeten dan in daarop volgende jaren, vooral bij P4 werd een forse daling vastgesteld. Daarna kwam er een herstel maar in 2010 nemen de waarden weer af. Door het grillige verloop is ook het percentage verklaarde variantie R<sup>2</sup> (58,4%) lager. Bij alle fosfaattoestanden was er per toestand geen betrouwbaar verschil tussen de bemest en onbemeste toestanden gemeten als P-Al-getal.

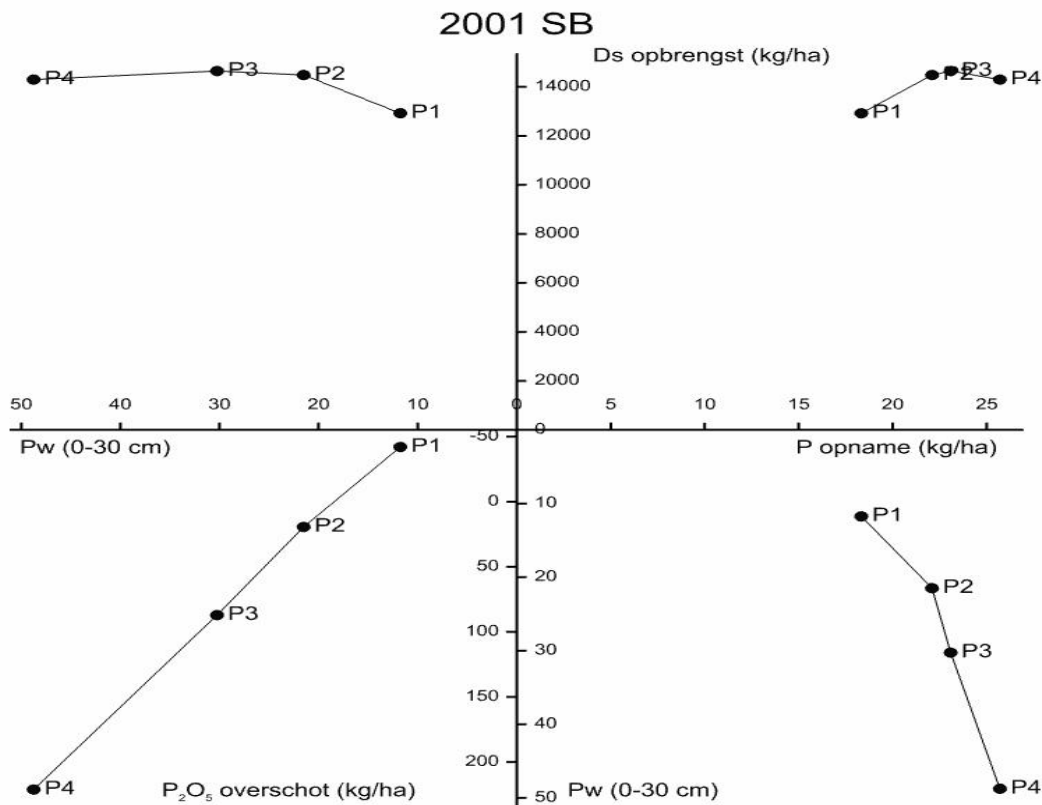


Figuur 15. Verloop van het P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 2005 t/m 2011 als gevolg van geen bemesting (uitmijning).

Het verloop van P-CaCl<sub>2</sub>-getal in laag 30-60 cm (figuur 15) kenmerkt zich door een sterk wisselend verloop vooral bij P3 en bij P4. Vanaf 2010 dalen de waarden van P3 en bij P4.

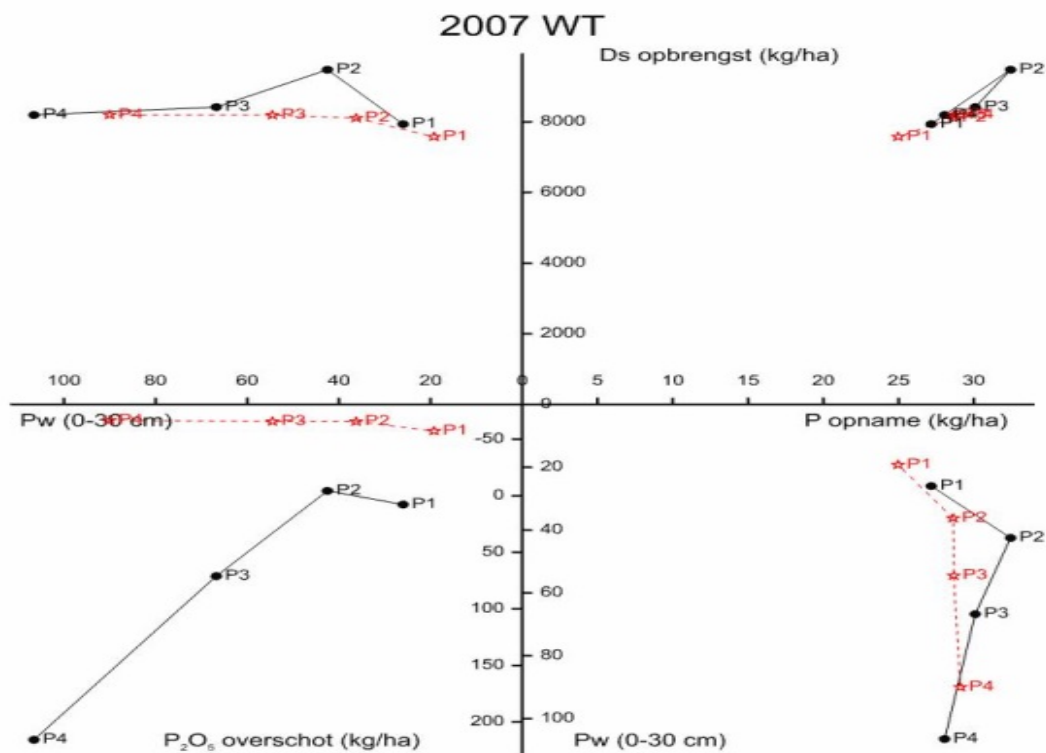
### 3.5 Samenhang per gewas tussen behandeling, droge stof opbrengst, fosfaatafvoer en -overschot.

In figuren 16 t/m 19 is de samenhang tussen behandelingen voor de droge stofopbrengst marktbaar product, fosfaatafvoer, fosfaatoverschot en fosfaattoestand (Pw-getal) gegeven voor suikerbiet, wintertarwe, peen en consumptieaardappel geteeld in respectievelijk 2001, 2007, 2009 en 2010 met zogenoemde (gemodificeerde) vierkwadranten figuren. De behandelingen betreffen hier P1 niet bemest en P2, P3 en P4 allen bemest. Vanaf 2005 is ook P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest in de figuren opgenomen (rode lijnen). De gekozen gewassen zijn belangrijke gewassen in het akkerbouwplan. Voor de andere gewassen geteeld vanaf 2002 zijn vierkwadranten figuren opgenomen in bijlage 7.



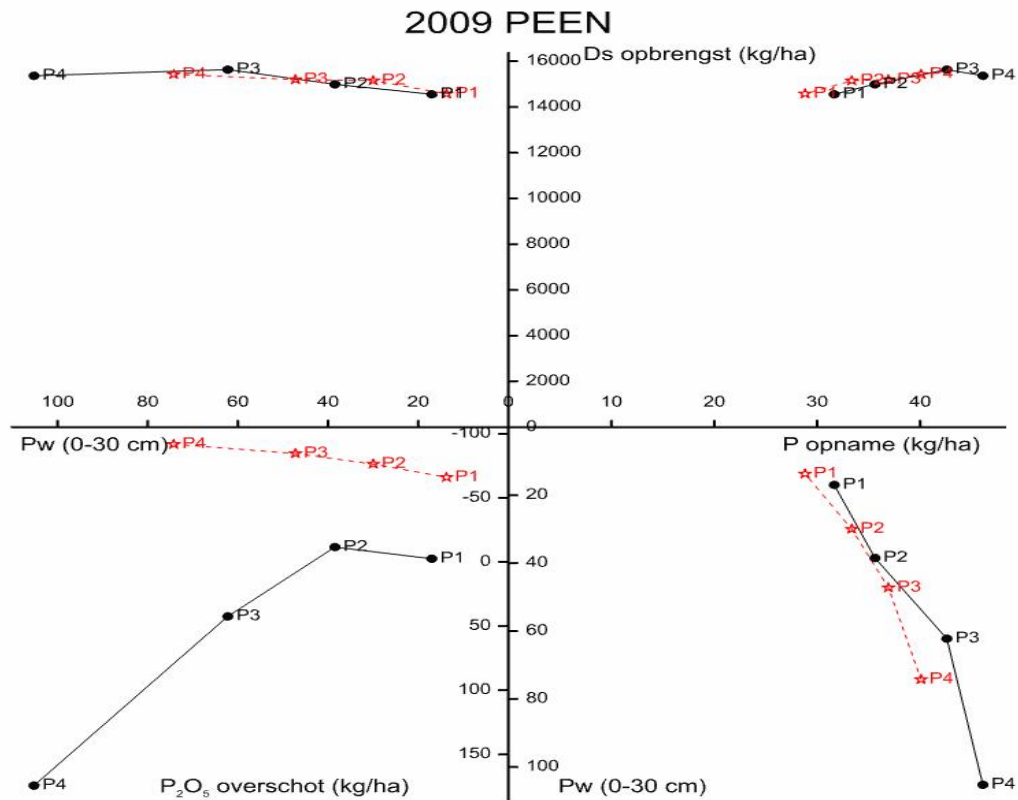
Figuur 16. **Samenhang tussen behandeling, droge stof opbrengst marktbaar product fosfaatafvoer, fosfaatoverschot en fosfaattoestand (Pw-getal, laag 0-30 cm) van suikerbiet (SB) in 2001. Behandelingen: P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest.**

Bij suikerbiet in 2001 stijgt de productie tussen P1 onbemest en P2 bemest en verloopt daarna vlak. De fosfaatopname stijgt bij hogere fosfaattoestand en hogere bemesting; een voorbeeld van luxe consumptie, want het droge stofopbrengst stijgt na P2 bemest niet. Het fosfaatoverschot stijgt fors bij hogere toestand en hogere bemesting. De stijging van het fosfaatoverschot is echter ook een gevolg van de hoeveelheden meststoffosfaat overschot in voorafgaande jaren.



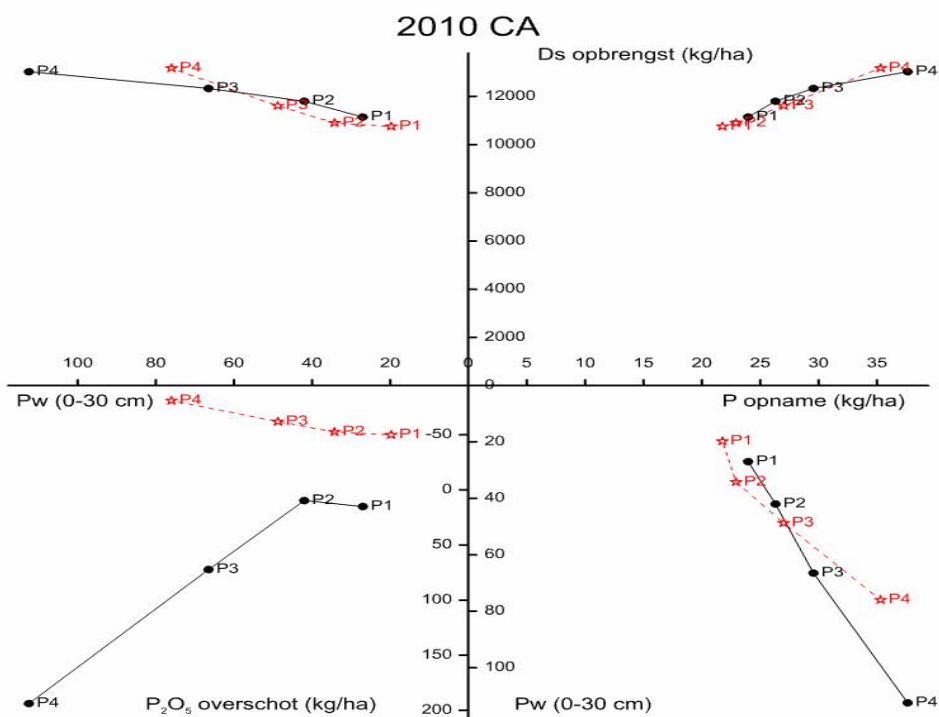
Figuur 17. **Samenhang tussen behandeling, droge stof opbrengst marktbaar product, fosfaatopname, fosfaatoverschot en fosfaattoestand (Pw-getal, laag 0-30 cm) bij wintertarwe (WT) in 2007. Behandelingen: P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest is zwarte lijn met stip, P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest is rode stippellijn met ster.**

Bij wintertarwe in 2007 stijgt de productie (korrel) tussen P1 onbemest en P2 bemest en daalt daarna licht. Ook de fosfaatopname stijgt tussen P1 onbemest en P2 bemest en daalt daarna. Het fosfaatoverschot stijgt fors bij hogere toestand en hogere bemesting. Bij P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest (rode stippellijn met ster) blijft de productie gelijk, stijgt de fosfaatopname alleen tussen P1 bemest en P2 onbemest en wordt het fosfaatoverschot negatief.



Figuur 18. **Samenhang tussen behandeling, droge stof opbrengst marktbaar product, fosfaatafvoer, fosfaatoverschot en fosfaattoestand (Pw-getal, laag 0-30 cm) bij peen in 2009. Behandelingen; P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest is zwarte lijn met stip P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest is rode stippellijn met ster.**

Bij peen in 2009 blijft bij bemesting de opbrengst vrijwel gelijk. Daarentegen stijgt de fosfaatopname wat duidt op luxe consumptie. Het fosfaatoverschot stijgt fors bij hogere toestand en hogere bemesting. Bij P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest (rode stippellijn met ster) blijft ook de productie gelijk, stijgt de fosfaatopname bij hogere P-toestand en wordt het fosfaatoverschot negatief.



Figuur 19. **Samenhang tussen behandeling, droge stof opbrengst marktbaar product, fosfaatvoer, fosfaatoverschot en fosfaattoestand (Pw-getal, laag 0-30 cm) bij consumptieaardappel (CA) in 2010. Behandelingen: P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest is zwarte lijn met stip, P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest is rode stippellijn met ster.**

Bij aardappel in 2010 stijgt de opbrengst bij hogere P-toestand en hogere bemesting. Naar evenredigheid stijgt de fosfaatopname. Het fosfaatoverschot stijgt fors bij hogere toestand en hogere bemesting. Bij P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest (rode stippellijn met ster) stijgt ook de productie bij hogere toestand, stijgt de fosfaatopname naar evenredigheid en wordt het fosfaatoverschot en treedt er een toenemend fosfaattekort op bij hogere toestand

Gewassen reageren verschillend op bemesting en fosfaattoestand. Bij consumptieaardappel en wintertarwe wordt een reactie in hun droge stofproductie gevonden, bij overige gewassen, suikerbiet en peen als de P-toestand binnen de klasse neutraal valt niet. Bij ruim voldoende fosfaattoestanden (Pw-getal > 40 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L en hogere bemestingen (> 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar) worden wel stijgingen van de fosfaattoestanden vastgesteld met stijging van het fosfaatoverschot maar dit vertaalt zich niet naar hogere droge stofopbrengsten. De fosfaatopname neemt toe met hogere fosfaattoestanden maar daar staat geen productieverhoging in drogestof tegenover (luxue consumptie).

Bij geen bemesting vanaf 2005 (rode stippellijn in de figuren 16, 17 en 18) is de opbrengstreactie bij hogere toestanden bij de meeste gewassen beperkt, soms neemt de fosfaatopname nog toe. Het fosfaatoverschot is negatief en de Pw-getal daalt in veel gevallen.

### 3.6 Wijzigingen in de fosfaattoestand als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot

De wijzigingen zijn in beeld gebracht met regressieanalyses van het Pw-getal en P-Al-getal in de lagen 0-30 en 30-60 cm op het cumulatieve P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> overschot. Hierin zijn ook de uitmijnveldjes meegenomen. Voor de analyses zijn 3 modellen doorgerekend (zie 2.3). De data wezen nog niet op een afbuiging van de fosfaattoestand bij hogere overschotten, daarom zijn drie lineaire concepten toegepast. Afgaande op de parameterschattingen en het % verklaarde variantie geeft het model met een aparte intercept en een aparte

helling per toestand de beste fit in drie van de 4 situaties. Wel waren de verschillen in uitkomsten tussen de 3 modellen gering doordat de temporele variatie in het Pw-getal en in iets mindere mate het P-Al-getal groot was. In tabel 6 zijn de parameters voor alle vier situaties het model met aparte intercepts en aparte helling per toestand vermeld. Figuur 20 geeft de relatie tussen gemeten Pw-getal of P-Al-getal als functie van cumulatief fosfaatoverschot in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha voor de lagen 0-30 en 30-60 cm en hun regressielijnen voor de periode 1987-2011. De meetwaarden hebben bij cumulatieve overschotten tussen 3000 en 4000 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha een (sterk) dalende tendens bij Pw-getal en P-Al-getal. De oorzaak voor deze daling in meetwaarden is niet eenduidig aan te geven. Het optreden van deze daling bepaalt mede de invloed van de regressie-analyse.

Op deze wijze berekend bleef in de laag 0-30 cm het Pw-getal bij toestand P1 gemiddeld gelijk bij een bemestingsoverschot. Bij de toestanden P2, P3 en P4 was er een toename met respectievelijk 1,9, 1,3 en 0,8 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L bij een bemestingsoverschot van 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. Het percentage verklaarde variantie is hoog: R<sup>2</sup>-adj. 82,7%. In de laag 30-60 cm nam het Pw-getal bij alle toestanden toe bij een bemestingsoverschot van 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar, variërend van 0,3 tot 0,5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L. Het percentage verklaarde variantie is lager: 55,2%.

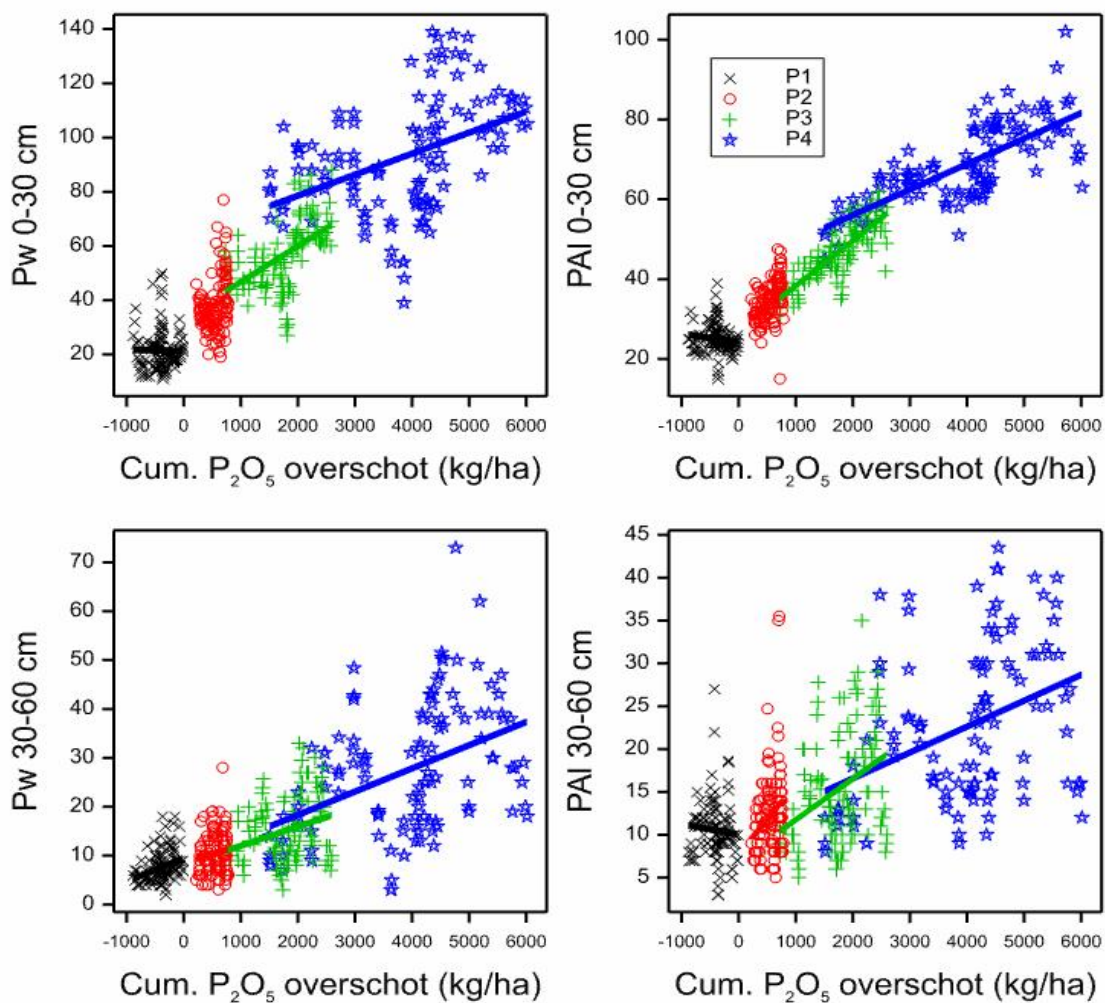
Ook het P-Al-getal in de laag 0-30 cm bleef bij toestand P1 gelijk bij een bemestingsoverschot. Bij de andere toestanden steeg het P-Al-getal variërend van 0,6 tot 1,5 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per bemestingsoverschot van 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. Hierbij is het percentage verklaarde variantie (R<sup>2</sup>-adj.) hoog: 99,2%.

Het P-Al-getal in de laag 30-60 cm verandert niet bij toestand P1, P3 en P4 bij een bemestingsoverschot van 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. Bij P2 in genoemde laag steeg het P-Al-getal gemiddeld 1 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per bemestingsoverschot van 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. Het percentage verklaarde variantie (R<sup>2</sup>-adj.) is lager namelijk 41,7%.

Tabel 6. **Verandering van Pw-getal of P-Al-getal per toestand voor de bodemlagen 0-30 of 30-60 cm als functie van het jaarlijkse bemestingsoverschot voor de veldproef te Lelystad.**

Laag	Grootheid	P1		P2		P3		P4		Verklaarde variantie, alle toestanden
		schatting	standaardfout	schatting	standaardfout	schatting	standaardfout	schatting	standaardfout	
<b>Pw-getal, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L</b>										
0-30 cm	constante	21,25	2,37	27,31	4,24	33,43	4,24	63,03	4,04	82,7
	helling	0,0055	0,005	0,019	0,007	0,013	0,002	0,008	0,001	
30-60 cm	constante	9,51	1,42	8,90	2,50	8,07	2,51	8,82	2,39	55,2
	helling	0,005	0,003	0,003	0,004	0,004	0,001	0,005	0,001	
<b>P-Al-getal, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g</b>										
0-30 cm	constante	24,09	0,93	26,51	1,66	27,01	1,66	43,24	1,58	99,2
	helling	-0,002	0,002	0,015	0,003	0,010	0,006	0,006	0,00038	
30-60 cm	constante	10,01	1,15	7,68	2,04	6,95	2,05	10,52	1,95	41,7
	helling	-0,001	0,003	0,01	0,004	0,0048	0,001	0,003	0,0005	





Figuur 20. **Relatie tussen gemeten Pw-getal in mg  $P_2O_5$ /L of P-Al-getal in mg  $P_2O_5$ /100 g als functie van cumulatief fosfaatoverschot in kg  $P_2O_5$ /ha voor de lagen 0-30 en 30-60 cm en hun regressielijnen voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode 1987-2011.**

Samenvattend blijkt de ontwikkeling van het Pw-getal of het P-Al-getal met een rechtlijnig verband per fosfaattoestand te kunnen worden beschreven. De meetwaarden vertonen veel variatie waardoor een afname van de toename van de fosfaattoestand, zoals verwacht kan worden door toename van uitspoeling, niet met regressieanalyse vastgesteld kan worden. Bij de lage fosfaattoestand P1 geeft een fosfaatoverschot geen verandering van het Pw-getal in laag 0-30 cm en geen verandering bij het P-Al-getal in beide lagen 0-30 en 30-60 cm. Alleen het Pw-getal bij P1 in laag 30-60 cm heeft een licht stijgend verloop van een 0,5 mg  $P_2O_5$ /L per 100 kg  $P_2O_5$ /ha/jaar fosfaatoverschot. Bij toestand P2 is de toename (helling) bij fosfaatoverschot het sterkst in de laag 0-30 cm, zowel bij het Pw-getal en P-Al-getal. Bij de hogere toestanden P3 en P4 vlakt de stijging bij een fosfaatoverschot af; het P-Al-getal bij P3 en P4 in laag 30-60 cm blijft zelfs onveranderd bij een fosfaatoverschot. De variatie in de fosfaattoestand blijkt afhankelijk te zijn van de bodemlaag en van het fosfaatiniveau. In de laag 0-30 cm is de spreiding van beide kengetallen relatief kleiner dan in de laag 30-60 cm.

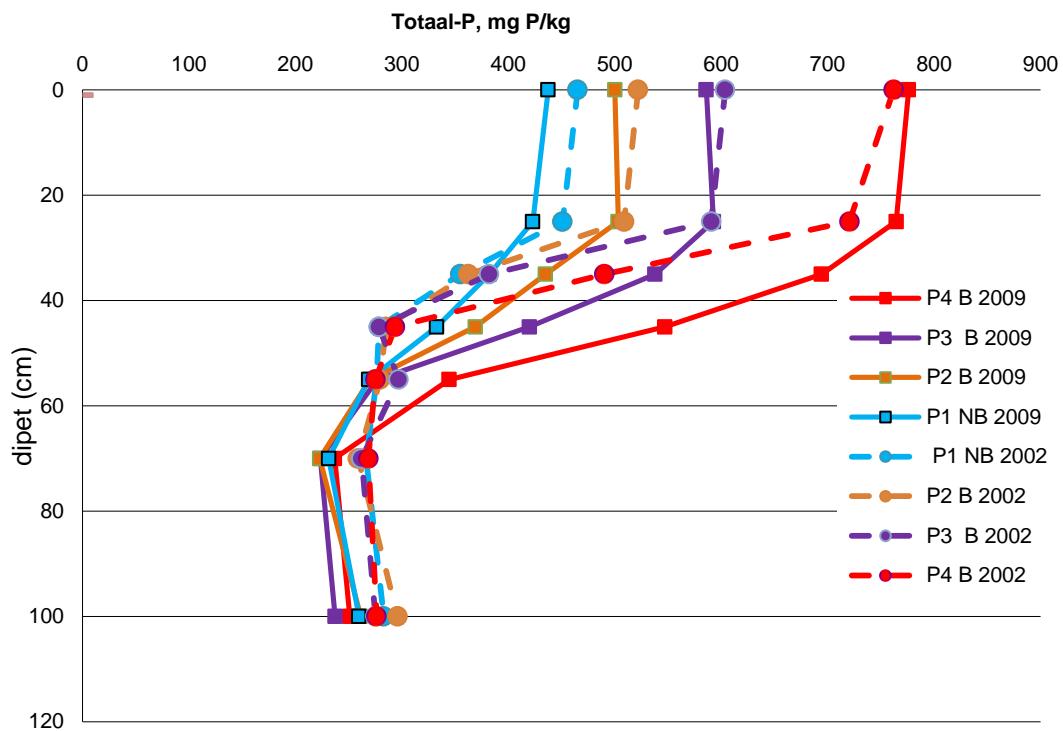
### 3.7 Fosfaatbodemfracties in 2002 en 2009

Na de oogst werd in 2002 en 2009 de bodem per laag bemonsterd tot een diepte van 1 meter. Deze bemonstering geeft uitsluitsel over de diepte van indringing van fosfaat in de bodem vanaf aanleg in 1986 tot en met 2002 en vervolgens over de wijzigingen nadien in het tijdsbestek van 7 jaar (2009). De fosfaattoestand is met verschillende parameters voor chemisch grondonderzoek bepaald. P-totaal karakteriseert de totale voorraad, andere parameters zijn maatstaven voor beschikbaarheid. P-ox wordt bepaald door extractie van grond met ammoniumoxalaat-oxaalzuur; hiermee wordt de totale hoeveelheid gesorbeerd fosfaat bepaald. Het Pw-getal en het P-Al-getal geven een indicatie voor de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas, Pw-getal is een maatstaf voor de intensiteit waarmee de bodem fosfaat aan het gewas kan afstaan, P-Al-getal is een maatstaf voor de capaciteit aan gewasbeschikbaar bodemfosfaat.  $P_{1:2}$  geeft een indicatie op het risico van fosfaatuitspoeling, de parameter is tevens een maatstaf voor de hoeveelheid direct voor het gewas beschikbaar fosfaat. Deze methoden van chemisch grondonderzoek leggen elk in onderscheidenlijke mate het lot van het fosfaatoverschot vast qua indringing in de verschillende bodemlagen. Hoe hoger het fosfaatoverschot is hoe hoger de waarde van een parameter wordt.

In een periode van 7 jaar is de afvoer (P1) en de opbouw van het fosfaatoverschot gecontinueerd. Sinds 2002 is het cumulatief fosfaatoverschot bij P1 verder afgenomen met 481 kg tot - 874 kg  $P_2O_5$ /ha. Bij P2, P3 en P4 is het overschot verder toegenomen met respectievelijk 53 kg  $P_2O_5$ /ha, 641 kg  $P_2O_5$ /ha en 1843 kg  $P_2O_5$ /ha.

#### *Totaal-P*

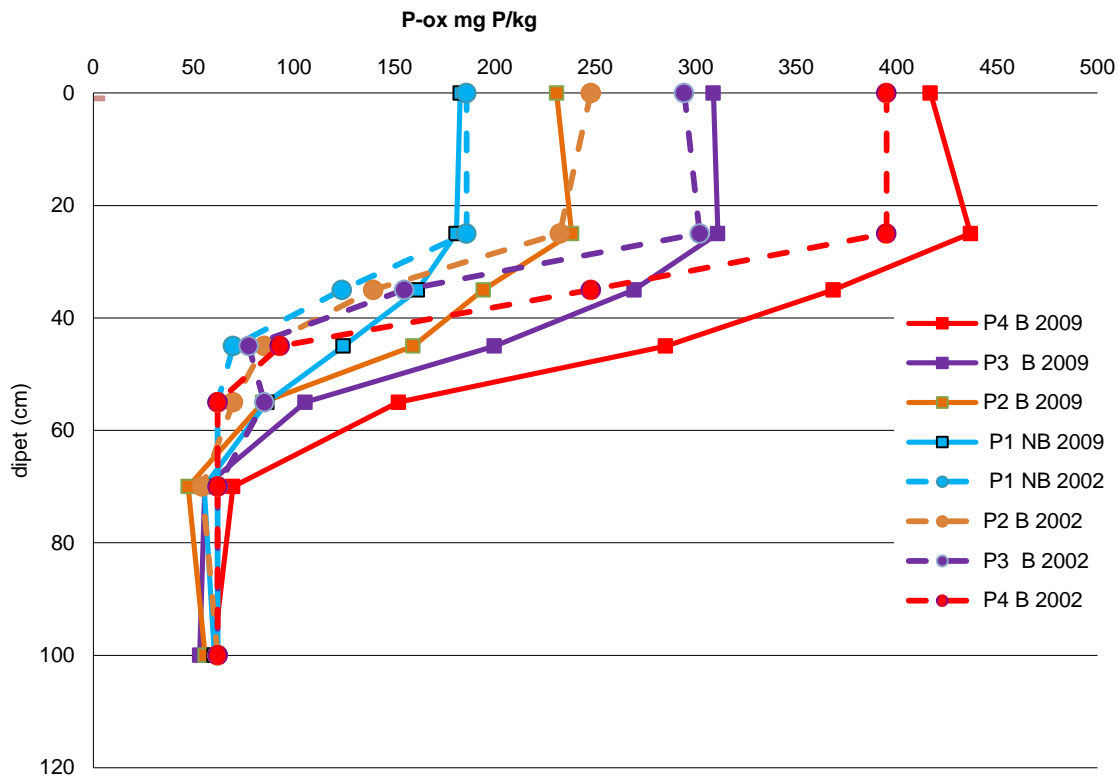
Alleen bij P4 met 240 kg fosfaat/ha/jaar blijkt P-totaal tot een diepte van 60 cm tussen 2002 en 2009 hoger te zijn geworden, andere objecten zijn lager in de bouwvoor maar in de direct daaraan grenzende bodemlagen tot 50 cm zijn de waarden hoger (zie figuur 21). Diepere bodemlagen geven een wisselend beeld.



Figuur 21. Het verloop van het totaal fosforgehalte in mg P/kg in de bodem met de diepte voor de kalkrijke zavel te Lelystad bij geen bemesting (P1 NB) en fosfaatgiften met superfosfaat (70, 140 of 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar voor P2, P3 en P4 Bemest) voor 2002 en 2009.

*P-ox*

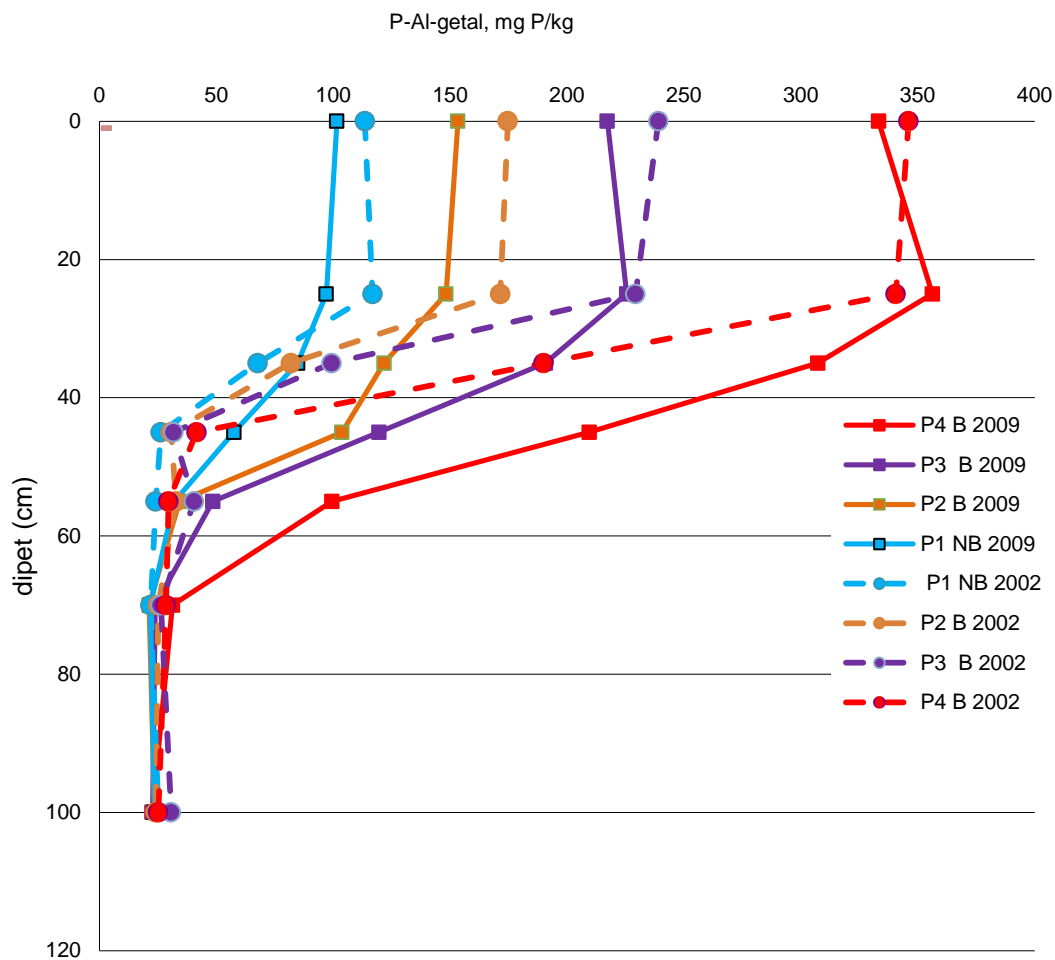
In de lagen onder de bouwvoor (>30 cm) is P-ox bij alle behandelingen toegenomen. Ook in de bouwvoor bij P3 en P4 is Pox in de periode 2002-2009 toegenomen. Bij P2 is Pox wat afgenomen en bij P1 is Pox gelijk gebleven.



Figuur 22. Het verloop van het gehalte aan oxalaat extraheerbaar fosfor (Pox) in mg P/kg in de bodem met de diepte voor de kalkrijke zavel te Lelystad bij geen bemesting (P1 NB) en fosfaatgiften met superfosfaat (70, 140 of 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar voor P2, P3 en P4 Bemest) voor 2002 en 2009.

#### *P-Al-getal*

Figuur 23 geeft de effecten weer op het P-Al-getal van geen bemesting t.o.v. bemesting met oplopende fosfaatgiften op 2 bemonsteringsmomenten. Naarmate er meer fosfaat gegeven wordt, wordt een hoger P-Al-getal in de bouwvoor vastgesteld. Het P-Al-getal neemt sterk af met de diepte.

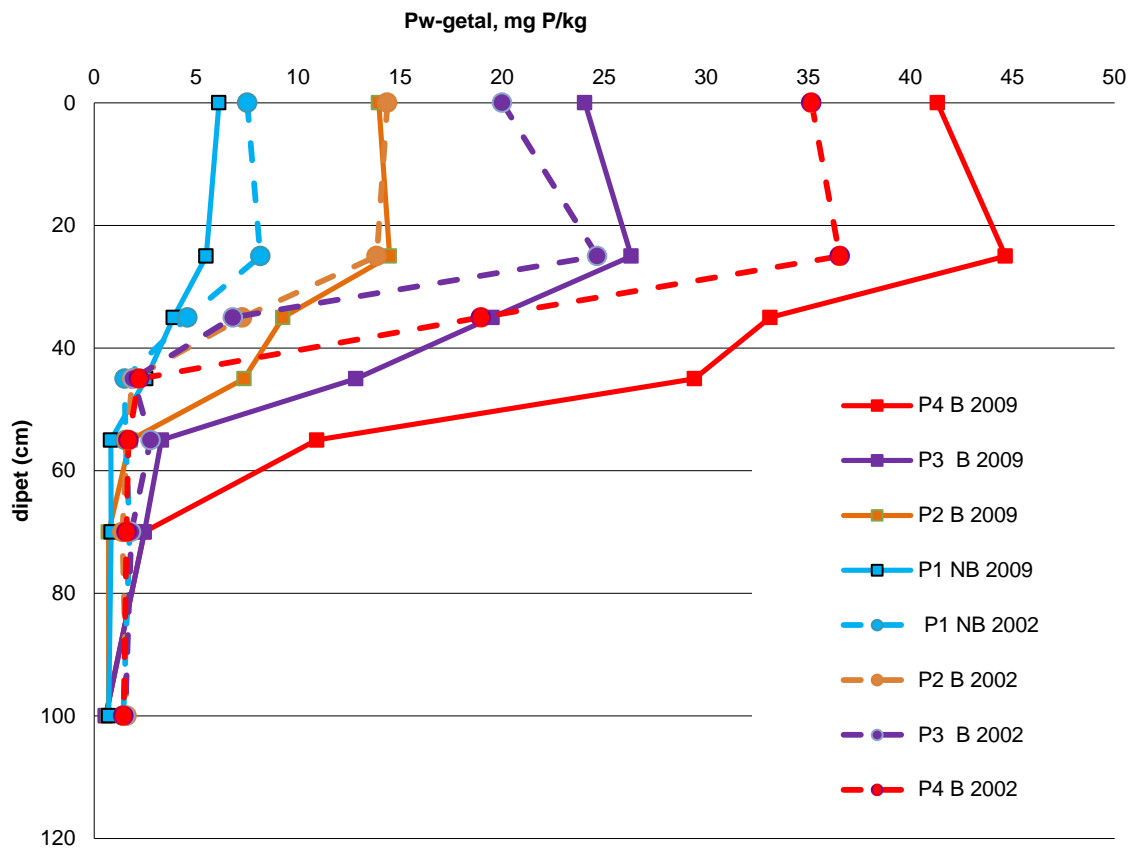


Figuur 23. Het verloop van het P-Al-getal gemodificeerd naar mg P/kg in de bodem met de diepte voor de kalkrijke zavel te Lelystad bij geen bemesting (P1 NB) en fosfaatgiften met superfosfaat (70, 140 of 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar voor P2, P3 en P4 Bemest) voor 2002 en 2009.

In de periode van 7 jaar is het P-Al-getal in de bouwvoor wat gedaald maar in bodemlagen onder de bouwvoor heeft een aanrijking plaatsgevonden. Onder de 60 cm zijn de verschillen tussen 2002 en 2009 gering.

#### Pw-getal

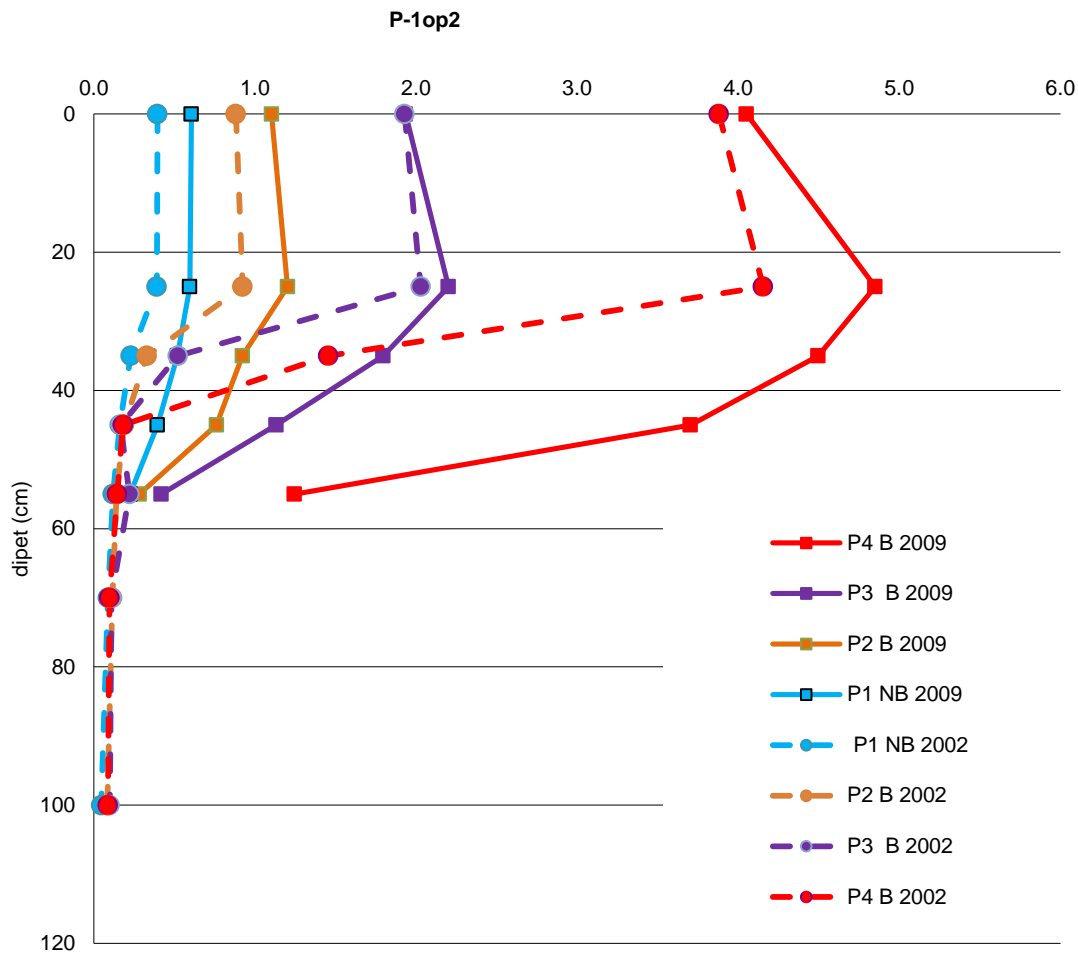
Het verloop van het Pw-getal met de diepte van 2002 en 2009 wordt gegeven in figuur 24. Vergeleken met 2002 zijn de Pw-getallen in 2009 toegenomen bij P3 bemest en P4 bemest over het hele profiel. Bij P2 bemest is in de bouwvoor de Pw-getal gelijk gebleven en in diepere lagen is deze iets toegenomen. De P1 onbemest is tot 40 cm diepte afgenomen. Daarna is het verschil gering.



Figuur 24. Het verloop van het Pw-getal gemodificeerd naar mg P/kg in de bodem met de diepte voor de kalkrijke zavel te Lelystad bij geen bemesting (P1 NB) en fosfaatgiften met superfosfaat (70, 140 of 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar voor P2, P3 en P4 Bemest) voor 2002 en 2009.

$P_{1op2}$

Het verloop van de waarden voor  $P_{1op2}$  wordt gegeven in figuur 25. Bij alle behandelingen is er sprake van een toename van deze labiele fractie bodemfosfaat. Hogere fosfaatoverschotten bij P3 en P4 geven sterke aanrijking t.o.v. P1 of P2. Deze verhoging is in de 7 jaar tussen 2002 en 2009 bij alle toestanden nog toegenomen in de lagen tot 60 cm. De dieper gelegen lagen 60-80 en 80-100 cm zijn in 2009 niet gemeten, waardoor de waarden voor die lagen ontbreken.



Figuur 25. Het verloop van  $P_{1op2}$  in mg P/kg in de bodem met de diepte voor kalkrijke zavel te Lelystad bij geen bemesting (P1 NB) en fosfaatgiften met superfosfaat (70, 140 of 280 kg  $P_2O_5$ /ha voor P2, P3 en P4 Bemest). Profielbeoordeling in 2002 en 2009.

Conclusies: Het algemene patroon van de profielbemonsteringen is dat de gehalten naar diepere lagen snel afnemen. Bij de hogere toestanden P3 en P4 treedt daarbij vaak eerst nog een toename in de gehalten op in de laag 30-60 cm. Bij deze hogere toestanden zijn de gehalten stelselmatig hoger dan bij P2 bemest en P1 onbemest; het fosfaatoverschot bij deze toestanden komt dus duidelijk tot uiting in de bemonsteringen. In de tijd gezien is er bij alle analysemethodieken een verhoging van de gehalten tussen 2002 en 2009 in de bodemlagen onder de bouwvoor terwijl in de bouwvoor geen hogere of zelfs lagere waarden worden waargenomen.

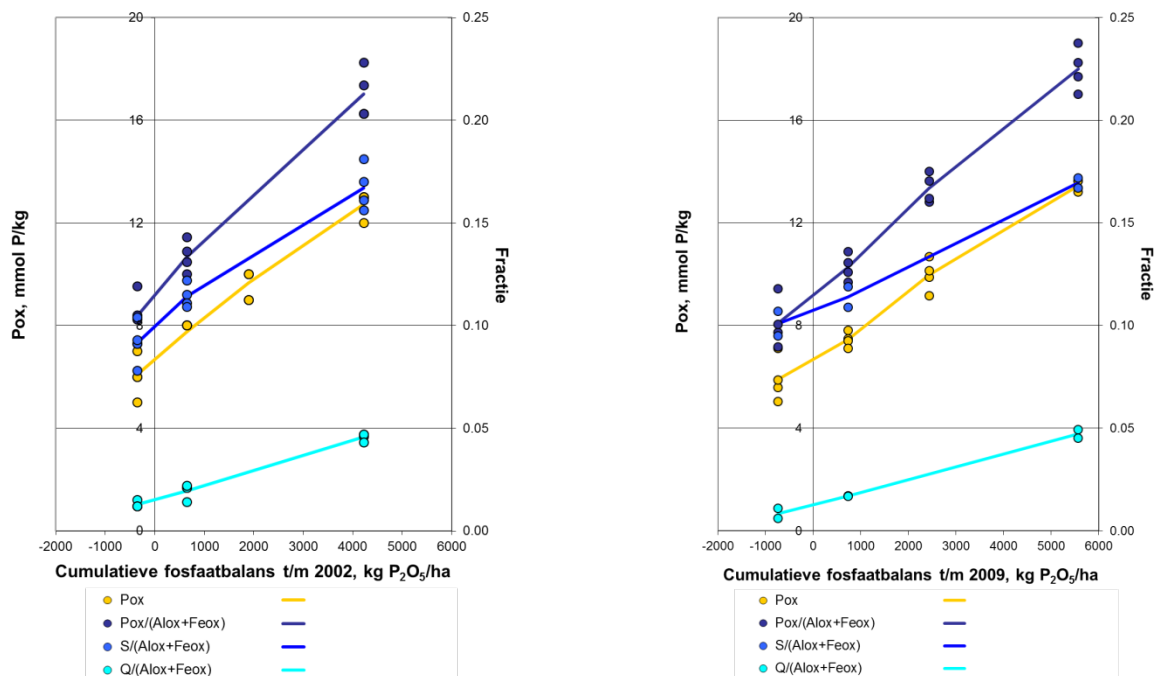
#### *Reversibel en quasi irreversibel gebonden fosfaat*

Reversibel gebonden fosfaat (Q) is de fractie bodemfosfaat die snel en makkelijk desorbeerbaar is. Quasi irreversibel gebonden fosfaat is de fractie bodemfosfaat die traag en in veel minder grote mate desorbeerbaar (S) is. Pas op de (hele) lange termijn komt dit fosfaat beschikbaar voor het gewas. Q en S bepalen de beschikbaarheid van mineraal fosfaat in de bodem en hebben daardoor een relatie met de parameters voor bemestingsadvies op basis van chemisch grondonderzoek zoals P-CaCl<sub>2</sub>, Pw-getal en P-Al-getal.

Er zijn verschillende methoden van grondonderzoek om deze reversibele en quasi irreversibele fosfaatfractie te bepalen. In ons onderzoek is gebruik gemaakt van de Pi-methode en van P-ox. De Pi-methode berust op de extractie van fosfaat met behulp van een ijzerhydroxidepapiertje. Door herhaaldelijk te extraheren met een ijzerhydroxidepapiertje kan de totale voorraad aan reversibel gebonden bodemfosfaat bepaald worden. Met Pox<sup>4</sup> wordt de totale hoeveelheid gesorbeerd fosfaat bepaald (zie ook Ehlert e.a., 2008). Het verschil tussen Pox en Pi geeft een indicatie van de fractie quasi irreversibel gebonden fosfaat. De mate waarin de makkelijk beschikbare fosfaat (Q) daadwerkelijk beschikbaar is, hangt mede af van de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden. In kalkarme gronden wordt deze fosfaatbindingscapaciteit bepaald door het gehalte aan aluminium- en ijzer (Alox en Feox).

In de periode 2002 - 2009 is de afvoer (P1) en de opbouw van het fosfaatoverschot gewijzigd. Bij P1 is het cumulatief fosfaatoverschot afgenomen tot - 874 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Bij P2, P3 en P4 is het overschot verder toegenomen met respectievelijk 53 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, 641 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha en 1843 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. De hoeveelheid sorbeerbaar fosfaat (Pox) stijgt sterk op het cumulatieve fosfaatoverschot bij de locatie te Lelystad (figuur 26) blijft stijgen. Het beeld dat in 2002 werd vastgesteld, wordt ook in 2009 weer gevonden. De voorraden aan gesorbeerd (Pox/(Alox+Feox)), quasi-irreversibel gebonden fosfaat (S) en reversibel gebonden fosfaat (Q) nemen lineair af of toe met respectievelijk de afname of toename van het overschot van de laatste zeven jaar. In deze periode blijkt de voorraad reversibel gebonden fosfaat niet boven de fractie van 0,05 te komen. Een deel van het fosfaatoverschot is wel in gesorbeerd fosfaat teruggevonden en dien ten gevolge is een deel van het toegediende fosfaat quasi-reversibel gebonden.

De hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat is in 2009 zelfs na het achterwege laten van fosfaatbemesting gedurende 23 jaar veel hoger dan een landbouwgewas direct nodig heeft. De bodem is dus ook na jarenlang uitmijnen nog steeds in staat om fosfaat na te leveren: de bodem blijft ook t.o.v. 2002 in 2009 fosfaat bufferen.



Figuur 26. Verband tussen de hoeveelheid extraheerbaar gesorbeerd fosfaat (Pox) en de verdeling over de fracties reversibel (Q) en quasi irreversibel (S) gebonden fosfaat van het totaal fosfaatbindend vermogen (Alox+Feox) en het cumulatieve fosfaatoverschot in het najaar van 2002 (links) en in 2009 (rechts) voor de veeljarige veldproef te Lelystad.

<sup>4</sup> Extractie van grond met ammoniumoxalaat-oxaalzuur



Samenvattend: Kwalitatief is er overeenstemming tussen de methoden, ze geven alle dezelfde trend, maar kwantitatief zijn er grote verschillen. Bij alle methoden lijkt tussen 2002-2009 een afname in de bouwvoor plaatsgevonden te hebben maar juist een aanrijking in de laag daaronder. Vanaf 60 cm diepte worden de verschillen tussen de monstertijdstoppen en ook tussen de fosfaattoestanden snel kleiner.

### 3.8 Fosfaat in bodemvocht

Op de veldproef P1801 is het verloop van de fosfaat gehalten in het bodemvocht te Lelystad bepaald de winter, zijnde de periode met de meeste kans op uitspoeling. De bepalingen zijn uitgevoerd in de winters 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2008/09 en 2010/11. Net onder de bouwvoor op 35 cm en op een diepte van 75 cm werd met kunstwortels (Rhizon sms) onder vacuüm bodemvocht afgezogen. Het bodemvocht werd geanalyseerd op totaal-P en orthofosfaat (MRP-P). Het verschil tussen het totaal fosforgehalte in het bodemvocht en orthofosfaat (MRP-P) is een indicatie voor de hoeveelheid organisch gebonden fosfor dat aanwezig is.

De gevonden waarden voor 75 cm waren gelijk of lager dan de aantoonbaarheidsgrens (0,055 mg P/l (2003-2005), 0,02 mg P/L (in 2006) en 0,02 mg P/L (in 2011) en daarom zijn deze waarden niet in het verslag opgenomen.

Een trend gedurende het winterseizoen in de fosforgehalten in het bodemvocht bemonsterd op 35 cm diepte werd niet vastgesteld. Daarom zijn in tabel 7 de gemiddelden van MRP-P en P-totaal per P-object gegeven. Deze waarden worden gerelateerd aan het Pw-getal en het P-Al-getal van de bodemlaag 30-40 cm.

Tabel 7. Gemiddelden van fosforgehalten in het bodemvocht als orthofosfaat (MRP-P) of als P-totaal en de fosfaattoestand op 35 cm diepte als Pw-getal en als P-Al-getal bij wel (+) of niet (-) bemesten met fosfaat voor vier winterseizoenen bij vier P-objecten.

Periode <sup>1</sup>	Matrix	Parameter	P-object				
			P1	P2	P3	P4	P4
			-	+	+	-	+
2003/2004	Bodemvocht	MRP-P, mg P/L	< 0,08	0,022	0,126	*	1,17
		P-totaal, mg P/L	0,021	0,078	0,224	*	1,09
	Bodem	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L	21	50	76		126
		P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	25	33	53		79
2004/2005	Bodemvocht	MRP-P, mg P/L	0,006	0,113	0,301	*	0,96
		P-totaal, mg P/L	0,01	0,125	0,304	*	0,95
	Bodem	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L	15	39	59		108
		P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	26	40	53		79
2006/2007	Bodemvocht	MRP-P, mg P/L	0,025	0,112	0,384	1,026	2,368
		P-totaal, mg P/L	0,032	0,108	0,358	1,086	2,554
	Bodem	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L	23	47	76	97	121
		P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	26	38	52	68	78
2008/2009	Bodemvocht	MRP-P, mg P/L	0,0219	0,060	0,459	0,430	5,602
		P-totaal, mg P/L	0,0235	0,113	0,497	0,712	5,580
	Bodem	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L	15	40	62	73	105
		P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	25	42	54	63	81
2010/2011	Bodemvocht	MRP-P, mg P/L	0,013	0,081	0,161	0,359	1,203
		P-totaal, mg P/L	0,030	0,127	1,90	0,385	1,150
	Bodem	Pw-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /L	22	42	67	74	113
		P-Al-getal, mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	25	41	55	65	87

<sup>1</sup> Periode bemonstering in 2003/2004 : 8 dec '03-29 juni '04; in 2004/2005 : 7 okt. '04-16 maart '05; in 2006/2007: 14 nov. '06 - 27 feb., '07; in 2008/2009 : 29 okt. '08-26 feb '09; in 2010/2011: 12 jan. 2011

De fosfaattoestand van de bodemlaag 30-40 cm onder de bouwvoor is verrijkt met fosfaat en dat wordt zowel in de bodemfracties als in het bodemvocht teruggevonden.

De fosforgehalten in het bodemvocht variëren per bemonsteringsseizoen. Per seizoen is er systematisch een verschil waarneembaar tussen de objecten. Naarmate de bodem meer opgeladen is door een accumulerend fosfaatoverschot worden hogere waarden voor fosforgehalten in het bodemvocht vastgesteld. Daarbij is over het algemeen het totaal fosforgehalte systematisch hoger dan het ortho-fosforgehalten bij P1 en P2. Bij P3 en P4 die zwaarder met residuair meststoffosfaat (tripelsuperfosfaat) zijn opgeladen, is het verschil tussen totaal fosforgehalte en ortho-fosforgehalte doorgaans gering. Het fosforgehalte neemt toe en is hoofdzakelijk anorganisch van aard.

Het achterwege laten van fosfaatbemesting bij P4 leidde na één seizoen (meting 2006/2007) tot een drastische verlaging (meer dan de helft) van het fosforgehalte in het bodemvocht vergeleken met het P4 object met bemesting. In de navolgende seizoenen treed een vergelijkbaar effect op: In seizoen 2008/2009 was het fosforgehalte bij P4 onbemest gedecimeerd, maar in 2010/2011 was de teruggang minder groot.



## 4 Discussie, conclusies en aanbevelingen

De rapportage van resultaten van onderzoek over de periode 2002-2011 draagt bij aan de beantwoording van de in de inleiding genoemde onderzoeksvragen:

1. Welk risico levert een veeljarig toegepaste generieke gebruiksnorm voor fosfaat afgestemd op (strikte) evenwichtsbemesting op voor de opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen?
2. Vermindert een gebruiksnorm afgestemd op (strikte) evenwichtsbemesting op korte en lange termijn het risico op fosfaatuitspoeling?
3. In welke mate wordt de verdeling van bodemfosfaat over verschillende fosfaatbodemfracties gewijzigd en wat is de betekenis daarvan voor de bodemvruchtbaarheid op lange termijn?

### 4.1 Effect langjarige gebruiksnorm op opbrengst en kwaliteit

*De vraag is of het langjarig toepassen van een fosfaatgebruiksnorm gericht op (strikte) evenwichtsbemesting effect heeft op opbrengst en kwaliteit.* In 2013 is de fosfaatgebruiksnorm 65 kg  $P_2O_5$ /ha voor fosfaatklasse neutraal. Beoogd is deze te verlagen naar 60 kg  $P_2O_5$ /ha in 2015. Het veeljarig proefveld te Lelystad toont bij de vigerende fosfaattoestand ( $P_2 = P_w$ -getal 20-50 mg  $P_2O_5$ /L) plus een jaarlijkse gift van 70 kg  $P_2O_5$ /ha in het algemeen geen opbrengstverschil in vergelijking met hoger fosfaattoestanden in combinatie met hogere giften. Effecten op de kwaliteit van het marktbaar oogstproduct werden niet vastgesteld. In deze situatie bleef het productieniveau in de klasse neutraal dus op peil.

Ook op gewasniveau treedt in dit onderzoek bij hogere gift/fosfaattoestand geen opbrengstverhoging op, behalve bij het gewas aardappel; hier heeft een hogere gift/fosfaattoestand wel een positief effect op de opbrengst.

De weergave van de opbrengsten betreffen steeds marktbaar (verkoopbaar) kwaliteit. Negatieve kwaliteitsreactie van opbrengst bij  $P_2+70$  kg  $P_2O_5$ /ha, vergeleken met hogere combinaties van fosfaattoestanden en fosfaatgiften zijn gemiddeld over de gewassen in deze periode niet opgetreden. Lagere opbrengsten dan weergegeven door kwaliteitsreacties zijn dus niet te verwachten. Bekend is uit onderzoek voor onderbouw fosfaatadvies groenten (1998) dat kort groeiende gewassen, zoals sla, bij lage toestanden en lage bemesting, achterblijven in vulling (Ehlert e.a., 2000). Voor de meeste akkerbouwgewassen wordt echter geen effect op kwaliteit verwacht.

Daarnaast treedt in het uitmijnobject (niet bemesten) van  $P_2$  na 6 jaar nog geen significant aantoonbare opbrengstdaling op in vergelijking met bemesting met 70 kg  $P_2O_5$ /ha/jaar. Het valt echter niet uit te sluiten dat op langere termijn het onthouden van fosfaatbemesting wel leidt tot daling van de opbrengst omdat  $P_1$  systematisch lagere opbrengsten geeft dan overige objecten. Er is nog geen indicatie te geven op welk termijn de daling van de opbrengst inzet en op welk termijn die daling weer stabiliseert.

Uit deze proef komt naar voren dat een bemesting 5 kg boven de fosfaatgebruiksnorm in klasse neutraal geen meetbaar effect heeft op opbrengst en kwaliteit over een termijn van 1990-2011. Op de lange termijn zijn mogelijk effecten van opbrengstderving te voorzien al kan op basis van deze proef niet aangegeven worden op welk termijn die opbrengsteffecten, anders dan bij aardappel, bij andere gewassen effectief meetbaar zullen worden.

*Fosfaatafvoer:* Ook de fosfaatafvoer met het gewas is een indicatie of de fosfaatbeschikbaarheid en daarmee de opbrengst op termijn in het gedrang kan komen met de fosfaatgebruiksnormen. Het veeljarige gemiddelde voor de fosfaatafvoer voor geteelde gewassen over de periode 1990-2011 voor  $P_2$  bemest bedroeg 60 kg  $P_2O_5$ /ha en ligt daarmee op de indicatieve norm voor 2015. In de periode 2002-2011 was de afvoer in de proef bij deze behandeling gemiddeld 63 kg  $P_2O_5$ /ha/jaar, als de lage afvoer vanwege slechte opbrengst van aardappel in 2005 buiten beschouwing wordt gelaten.

In een opgesteld rekenvoorbeeld met een bouwplan dat gangbaar is in de Flevopolders, was de gemiddelde jaarafvoer op basis van  $P_2$  bemest 64 kg  $P_2O_5$ /ha. Beide afvoercijfer liggen tussen de huidige fosfaatgebruiksnormen voor 2013 en de indicatieve norm voor 2015. Dit wijst erop t.o.v. de eventuele fosfaatgebruiksnorm van 2015 dat strikte evenwichtsbemesting niet wordt gerealiseerd. Bij 90 % beteeld

areaal ligt de afvoer wel rond de indicatieve gebruiksnorm van 60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha in 2015. Daarnaast zijn opbrengsten en afvoeren in Flevoland gemiddeld genomen de hoogste van Nederland. In andere regio's is het risico op hogere afvoeren dan de gebruiksnorm beperkt, specifieke bouwplansituaties met alleen gewassen met hoge fosfaatafvoer (bijvoorbeeld bouwplannen met een groot aandeel graan) daargelaten.

## 4.2 Evenwichtsbemesting en fosfaatuitspoeling

De vraag is of *een gebruiksnorm afgestemd op (strikte) evenwichtsbemesting op korte en lange termijn het risico op fosfaatuitspoeling vermindert?* Evenwichtsbemesting is hier gedefinieerd als een fosfaatgift die gelijk is aan de afvoer van fosfaat door het gewas (marktbaar).

Deze vraag is te beantwoorden door te kijken of de voorraad bodemfosfaat in de verschillende lagen in de bouwvoor verandert bij evenwichtsbemesting; fosfaatgehalten in het bodemwater bieden een andere ingang voor beantwoording.

*Fosfaathoeveelheid in de verschillende lagen in de bouwvoor:* In het onderzoek zijn in 2002 en 2009 de fosfaat gehalten bemonsterd per bodemlaag van 10 cm tot 20 cm, tot een diepte van 1 meter onder maaiveld en geanalyseerd op P-totaal, P-ox, Pw-getal, P-Al-getal en P<sub>1op2</sub>.

Richten we ons op het object dat het dichtst bij evenwichtsbemesting komt, te weten neutrale toestand P2 + een gift van 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar, dan blijkt bij dit object dat:

- P-totaal in 2009 in de bovenste laag lager en in diepere lagen gelijk tot iets hoger is dan in 2002,
- P-ox in 2009 in de bovenste laag lager en in diepere lagen hoger is dan in 2002,
- P-Al-getal in 2009 in de bovenste laag lager en in diepere lagen gelijk tot iets hoger is dan in 2002,
- Pw-getal in 2009 in bovenste laag gelijk en in de diepere lagen hoger is dan in 2002,
- P<sub>1op2</sub> in 2009 in de alle lagen fors hoger is dan in 2002.

Blijkbaar leidt dit object P2 bemest toch nog tot een langzame verrijking van fosfaat in het profiel. Zo gezien vermindert het risico op uitspoeling niet bij dit bemestingsniveau. De meerjarige afvoer via de gewassen over de periode 2002-2009 bedroeg 588 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha. Bij een totale fosfaatgift van 700 kg is dan het overschot 112 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> over de periode 2002-2009. Dit overschot lijkt terug te vinden te zijn in de gehalten in het bodemprofiel (bodemfractie en bodemvocht).

*Fosfaatgehalten in het bodemwater* werden gedurende 5 seizoenen bepaald in de wintermaanden op een diepte van 35 en 75 cm. Op 75 cm diepte waren de gehalten bij alle behandelingen zeer laag; gelijk of onder het detectieniveau. Fosfaataanrijking van bodemvocht op 75 cm trad dus niet op, althans niet aantoonbaar. Op een diepte van 35 cm werden wel meetbare gehalten gevonden. Binnen de behandeling variëren zowel de gehalten van MRP-P als van P-totaal per seizoen; er is geen duidelijke verhoging of vermindering waar te nemen.

Bij de vergelijking tussen de objecten geeft jarenlang geen fosfaatbemesting bij een lage toestand P1 op 35 cm diepte duidelijk lagere waarden dan bij de hogere fosfaattoestanden vanaf P2, maar dit leidt niet tot een verwaarloosbaar (i.e. onder de detectielimiet) fosfaatgehalte in het bodemwater. Kennelijk komt er vanuit fosfaatbodemfracties steeds fosfaat vrij dat in oplossing in het bodemwater gaat. Omdat bij aanleg niet het fosforgehalte in het bodemvocht werd vastgelegd, is niet aan te geven of in de periode 1990-2003 een daling plaatsvond.

Hoge fosfaatgehalten in het bodemwater zijn effectief te verlagen door geheel geen fosfaatgift meer te geven (uitmijnen). De kans op uitspoeling op zeer verrijkte gronden (P4) is door uitmijnen dus te verlagen. Dit gaat wel gepaard met een verlaging van Pw-getal en P-Al-getal van de grond, dus met een verlaging van de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas.

Geconcludeerd wordt dat bij een fosfaattoestand gemeten als Pw-getal van 20-50 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L (P2) een jaarlijkse 70 kg fosfaatbemesting blijkt te leiden tot een langzame verrijking van fosfaat in het profiel en gezien de gehalten in het grondwater in een periode van 5 seizoenen, leidt dit niet tot een vermindering van risico op fosfaatuitspoeling.

## 4.3 Gebruiksnormen en bemestingshistorie

De derde vraag is: *In welke mate wordt de verdeling van bodemfosfaat over verschillende fosfaatbodemfracties gewijzigd en wat is de betekenis daarvan voor de bodemvruchtbaarheid op lange termijn?*

De risico's van toepassing van gebruiksnorm zijn enerzijds achteruitgang in bodemvruchtbaarheid bij klasse neutraal, waardoor productieverlies optreedt en anderzijds onvoldoende verlaging van het fosfaat op percelen met hoge toestand waarbij de kans op fosfaatuitspoeling blijft voortbestaan.

Ingangen om bovenstaande risico's te duiden vanuit deze proef op kleigrond zijn de lange termijnontwikkeling van de *behandeling iets boven evenwichtsbemesting* (P2 = klasse neutraal + 70 kg fosfaatbemesting) versus *niet bemesten* bij de diverse fosfaattoestanden (P1 t/m P4) van:

- Pw-getal en P-Al-getal in de laag 0-30 en 30-60 cm,
- Pw-getal, P-ox, P-Al-getal, P-totaal en  $P_{1op2}$  in de diverse profiellagen van de bouwvoor, en
- fosfaatgehalten MRP-P en P-totaal in het grondwater.

### *Aspect bodemvruchtbaarheid*

Pw-getal en P-Al-getal in de laag 0-30 en 30-60 cm: Ondanks temporele variatie bij P2 plus 70 kg fosfaatbemesting is de trend van het Pw-getal en P-Al-getal in de laag 0-30 cm nog licht stijgend, maar in de laag 30-60 cm is het trendverloop vlak. Dat betekent dat P2 met zijn lichte fosfaatoverschot in de laag 0-30 cm de fosfaat bodemvruchtbaarheid in de bodem wat doet toenemen, maar dit komt niet tot uiting in de laag 30-60 cm. De fosfaatoverschotten worden daar wellicht opgenomen in pools die met de analysemethoden voor Pw-getal en P-Al-getal niet gemeten worden.

Ook zou een licht fosfaatoverschot bij P2 zich moeten uiten in een hogere P-totaal bij de profiellagenanalyses. Deze is in de laag 0-25 cm in 2009 lager dan in 2002. Een mogelijkheid zou zijn dat de fosfaat verplaatst naar dieper gelegen bodemlagen. Bij P2+ bemesting zien we een verhoging in deze diepere lagen. Er treedt per saldo in ieder geval geen vermindering van bodemvruchtbaarheid op bij P2 en een fosfaatbemesting van 70 kg  $P_2O_5/ha$ .

Bij langjarig niet bemesten bij P1 stabiliseert de fosfaatbeschikbaarheid (Pw-getal en P-Al-getal) op een lager bodemvruchtbaarheidsniveau waarbij bemesting met fosfaat leidt tot significante opbrengststijging. De bodem te Lelystad buffert fosfaat sterk en ondanks het onthouden van fosfaatbemesting gedurende de periode 1990-2011 heeft dit nog niet geleid tot een daling van de hoeveelheid gewasbeschikbaar fosfaat. Kennelijk komt er gewasbeschikbaar fosfaat vrij uit andere fosfaatbodemfracties die niet vastgesteld worden met de methoden van het Pw-getal (of P-Al-getal). Er is nog steeds sprake van een vorm van evenwichtinstelling waarbij afvoer voortdurend door nalevering uit de bodem wordt gecompenseerd. Bij niet meer bemesten van de hogere toestanden P2, P3 en P4 (uitmijnen, van 2005), daalt het Pw-getal en P-Al-getal in laag 0-30 cm de eerste jaren fors, maar verloopt daarna vlak. Daarbij blijft de rangorde tussen de toestanden bestaan zoals die bij aanvang aanwezig was (i.e.  $P4 > P3 > P2 > P1$ ). De daling bij de hoge toestand P4 en in mindere mate P3 was sterker dan bij de lagere toestand P2. Blijkbaar stelt zich ook bij de hogere fosfaattoestanden een nieuw evenwicht in zoals dat al eerder optrad bij P1 (dat al vanaf 1990 niet bemest is). In de laag 30-60 cm is het verloop van Pw-getal en P-Al-getal bij niet bemesten de eerste jaren grillig, maar is de laatste jaren dalend. Blijkbaar wordt in de laag 30-60 cm het tekort pas na enkele jaren merkbaar. Blijft de vraag of in deze laag 30-60 cm op termijn de daling ook afvlakt en zich op een lager niveau een nieuw evenwicht instelt?

Bovenstaand geeft niet een volledig antwoord op de vraag hoe de bodemvruchtbaarheid verloopt bij strikte evenwichtsbemesting, maar is wel een aanwijzing dat achteruitgang, zo deze er is, beperkt zal zijn en langzaam verloopt.

### *Aspect fosfaatbodemfracties*

Pw-getal, P-ox-getal, P-Al-getal, P-totaal en  $P_{1op2}$  in de diverse profiellagen van de bouwvoor: Zoals al eerder gemeld zijn deze kengetallen bij P2+ bemesting verschillend. In de bovenste laag was  $P_{1op2}$  in 2009 hoger dan in 2002, het Pw-getal was in beide jaren gelijk en de andere kengetallen waren in de bovenlaag in 2009 lager dan in 2002. In de diepere lagen waren alle kengetallen in 2009 hoger. Dat zou betekenen dat de in

water oplosbare fosfaatbodemfractie door het hele profiel gelijk of hoger is en de minder beschikbare fosfaatbodemfractie in de onderste lagen ook is toegenomen.

Langdurig niet bemesten bij lage toestand P1 geeft verlaging van totaal P en P-Al-getal in de bovenste lagen, en een licht hogere Pw-getal en  $P_{1op2}$  in het hele profiel. Deze vorm van uitmijnen verarmt dus de bodem wel op fosfaat bezien vanuit de totale voorraad en de capaciteit maar dat heeft nog niet geleid tot een verminderde beschikbaarheid van fosfaat (intensiteit) gemeten als Pw-getal.

Uit de gemeten fosfaatgehalten in het grondwater op 35 cm diepte is geen duidelijke trend in de tijd op te maken bij P2 (= klasse neutraal) + 70 kg fosfaatbemesting. De kans op fosfaatuitspoeling via het grondwater op 35 cm neemt bij P2 (~evenwichtsbemesting) tot nu toe niet toe maar ook niet af. Effecten van fosfaatevenwichtsbemesting bij hogere toestanden zijn niet onderzocht. Dus daar kan geen uitspraak over gedaan worden. De hoge toestand P4 consequent niet meer bemesten leidt wel tot forse (50 - 90%) daling van de fosforgehalten in het bodemvocht, en verkleint daarmee de kans op fosfaatuitspoeling. Op 75 cm diepte is geen traceerbare fosfaat gevonden in het grondwater bij alle behandelingen.

Samenvattend voor beide aspecten fosfaatbodemvruchtbaarheid en fosfaatuitspoeling kan gesteld worden dat gevolgen en risico's van strikte evenwichtsbemesting niet exact aan te geven zijn op basis van deze rapportage over de voortgang van dit onderzoek. Wel blijkt dat in klasse neutraal 5-10 kg fosfaat bemesten boven de gewasafvoer leidt tot een gelijk blijven of een lichte verhoging van de direct opneembare fosfaat in de bodem, maar vanaf 2004 tot 2011 niet consequent leidt tot verrijking van het grondwater op 35 cm diepte. Strikte evenwichtsbemesting bij hogere toestanden is niet onderzocht. Wel blijken de hoge fosfaatgehalten van grondwater op 35 cm diepte bij de hoge toestand P4 snel en fors ter reduceren door niet meer fosfaat te bemesten. Kans op uitspoeling via grondwater op 75 cm diepte was in het onderzoek nagenoeg nul.

## 4.4 Waar naar toe?

Het onderzoek op het fosfaatproefveld te Lelystad heeft voor jonge zeeklei grotendeels richting gegeven aan de antwoorden op de 3 beleidsvragen, niet alleen kwalitatief, maar ook kwantitatief. De vraag is of deze resultaten voor alle kleigronden gelden. De veldproef te Lelystad is één van de veeljarige veldproeven op bouwland. Vergelijkbaar onderzoek wordt onder meer uitgevoerd op de veldproef IB0013 te Marknesse. De resultaten van zeeklei locatie Marknesse wijken deels af, volgens de publicatie van Ehlert, e.a., in 2008. Fosfaatoverschotten leiden bij de veldproef te Lelystad tot hogere toename van de fosfaattoestand in vergelijking tot die bij Marknesse. Beide locaties wijzen uit dat zavel op zeeklei onderscheidenlijk reageren op een fosfaatoverschot. De zavel te Marknesse buffert sterker dan die te Lelystad.

Een aantal vragen blijven nog onbeantwoord:

- Wat gebeurt er bij strikte evenwichtsbemesting van 60 kg  $P_2O_5$ /ha/jaar qua opbrengst en qua beloop van de bodemvruchtbaarheid?
- Onduidelijk is nog hoe de objecten met niet bemesten (uitmijning) bij de toestanden P2 t/m P4 zich op lange termijn zullen ontwikkelen. Zakken het Pw-getal en P-Al-getal kengetallen dieper weg naar het huidige P1 niveau (Pw-getal 15-20 mg  $P_2O_5$ /L) of stabiliseren ze zich op een hoger niveau; m.a.w. hoe groot en hoe snel is de daling van het fosfaatvruchtbaarheidsniveau enerzijds en de vermindering van de kans op fosfaatuitspoeling anderzijds?
- Het huidige object P2, dat qua fosfaatgift ongeveer overeen komt met de fosfaatgebruiksnorm voor de klasse neutraal in 2013, wordt nu bemest met 70 kg/ha fosfaat dan wel niet bemest. Interessant voor praktijk en beleid is de vraag wat er gebeurt als er suboptimaal bemest wordt, m.a.w. minder bemest wordt dan de fosfaatafvoer met het gewas, bijvoorbeeld 30-50 kg  $P_2O_5$ /ha. Kost dit opbrengst, verlaagt het de bodemvruchtbaarheid, maar ook beperkt dat de kans op fosfaat uitspoeling?

Beantwoording van deze vragen vergt voortzetting van het onderzoek op deze veeljarige veldproef.

De database van deze veldproef dient regionale en nationale studies t.a.v. mestbeleid (STONE). Deze kalibratie behoort niet tot de activiteiten van dit project waarbinnen deze rapportage plaats vindt.

# Literatuur

Egnér, H., Riehm, H., & Domingo, W.R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden, II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung, Kungl. Lantbr. Hdgsk. Ann. 26: 199-215.

Ehlert, P.A.I.; Burgers, S.L.G.E.; Steenhuizen, J.W., 1996. Verandering van de beschikbaarheid van fosfaat in grond onder invloed van bemesting. Observatieel statistisch onderzoek naar het voorkomen van 'onvermijdbare fosfaatverliezen' op basis van gegevens van veeljarige bemestingsproeven. Rapport 51, AB DLO, Haren/Wageningen, 74 pp.

Ehlert, P.A.I.; Wijk, C.A.P. van; Dekker, P.H.M., 2003. Fosfaatbalansen op perceelsniveau; scan van de resultaten van vier veeljarige veldproeven op bouwland. Publicatie 305, PPO, Wageningen, 2003.

Ehlert, P.A.I.; Curth-van Middelkoop, J.C.; Salm, C. van der; Dekker, P.H.M., 2008. Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op langere termijn: stand van zaken 2007. Wageningen: Alterra, (Alterra-rapport 1665) - 90 p.

Houba, V.J.G., Lee, J.J., van der Lee & Novozamsky, I., 1997. Soil Analysis Procedures. Other Procedures, Landbouwniversiteit Wageningen.

Houba, V.J.G., Novozamsky, I., & Temminghoff, E., 1997b. Soil Analysis Procedures. Extraction with 0,01 M CaCl<sub>2</sub>. Landbouwniversiteit Wageningen.

Keulen, H. van, de Wit, C.T. (1980). Landhoedanigheden en produktiemogelijkheden. Landbouwkundig Tijdschrift nr. 2:49-53.

Middelkoop, J.C. van; Salm, C. van der; Boer, D.J. den; Horst, M.M.S. ter; Chardon, W.J.; Bakker, R.F.; Schils, R.L.M.; Ehlert, P.A.I.; Schoumans, O.F., 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. ASG Praktijkonderzoek (PV). Praktijkrapport Rundvee 48) - p. 100.

Middelkoop, J.C., van; Salm, C. van der; Ehlert, P.A.I., André, G., Oudendag, D. & Pleijter, M., 2007. Effecten van fosfaat- stikstofoverschotten op grasland II. WUR Animal Science Group, rapport 68.

Salm, C. van der; Breeuwsma, A., Reijerink, J.G.A. 1995. Fosfaatverliezen door uitspoeling in relatie tot het fosfaatoverschot en de bemestingstoestand: een onderzoek in het kader van de P-deskstudie.

Salm, C. van der, en O.F. Schoumans, 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming : measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Wageningen: Alterra. Green World Research. Alterra-rapport (ISSN 1566-7197 ; 083).

Schröder, J.J. en W. Corré, 2000. Actualisering van de stikstof- en fosfaatdesk-studies. Wageningen UR, Plant Research International, rapport 22.

Schwertmann, D., 1964. Differentierung der Eisenoxide des Bodens durch photochemische Extraction mit saurer Ammoniumoxalaat-Lösung, Z. Pfl. Ern. Düngung Bdk. 105: 194-202.

Sissingh, H.A., 1971. Analytical procedure of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. Plant and Soil 34: 483-486.

Sissingh, H.A., 1983. Estimation of plant-available phosphates in tropical soils. A new analytical technique, Nota 235. Institute for Soil Fertility Research. Wageningen, the Netherlands.



Sonneveld, C., Ende, J. van, & Bes, S.S., de, 1990. Estimating the chemical composition of soil solutions by obtaining saturation extracts or specific 1:2 volume extracts. *Plant and Soil* 122: 169-175.

## Bijlage 1. Jaarlijkse fosfaatgiften (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) en geteelde gewassen te Lelystad; 1987-2011

Teeltjaar	Gewas	P1	P2	P3	P4
1987	Suikerbiet	70	140	280	560
1988	Zomergerst	70	140	280	560
1989	Zomergerst	70	140	280	560
1990	Witlof	0	70	140	280
1991	Spruitkool	0	70	140	280
1992	Stamslaboon	0	70	140	280
1993	Suikerbiet	0	70	140	280
1994	Droge erwt	0	70	140	280
1995	Zomergerst	0	70	140	280
1996	Suikerbiet	0	70	140	280

		P1		P2		P3		P4	
1996	Aardappel	0	120	0	120	0	120	0	120
	Peen	0	120	0	120	0	120	0	120
	Prei	0	120	0	120	0	120	0	120
	sla vroeg onbedekt	0	120	0	120	0	120	0	120
	sla vroeg bedekt	0	120	0	120	0	120	0	120
	sla zomer	0	120	0	120	0	120	0	120
	Bloemkool	0	120	0	120	0	120	0	120
1997	Aardappel	120	0	120	0	120	0	120	0
	Peen	120	0	120	0	120	0	120	0
	Prei	120	0	120	0	120	0	120	0
	sla vroeg onbedekt	120	0	120	0	120	0	120	0
	sla vroeg bedekt	120	0	120	0	120	0	120	0
	Sla zomer	120	0	120	0	120	0	120	0
	Bloemkool	120	0	120	0	120	0	120	0

Teelt-jaar	Gewas	P1		P2		P3		P4	
1998	Zomergerst	0		100		200		300	
1999	Sla	0		100		200		300	
1999	Aardappel	0		100		200		300	
2000	Sla	0		100		200		300	
2000	Aardappel	0		100		200		300	
2001	Suikerbiet	0		70		140		280	
2002	Doperwt	0		70		140		280	
2003	zomergerst	0		70		140		280	
2004	zaaiuien	0		70		140		280	
		-	+	-	+	-	+	-bemest	+
2005	aardappel	0	0	0	70	0	140	0	280
2006	suikerbieten	0	70	0	70	0	140	0	280
2007	wintertarwe	0	70	0	70	0	140	0	280
2008	zaaiui	0	70	0	70	0	140	0	280
2009	peen, wortel	0	70	0	70	0	140	0	280
2010	aardappel, knol	0	70	0	70	0	140	0	280
2011	suikerbiet, biet	0	70	0	70	0	140	0	280

## Bijlage 2 Schema fosfaattoestanden Proefveld Lelystad

Perceel A20 van het proefbedrijf PPO-AGV

48 P2 NB	64 P2 bemest	<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px 10px;">Noord</div> <span style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">→</span>
47 P4 NB	63 P4 bemest	
46 P3 bemest	62 P3 NB	
45 P1 NB	61 P1 bemest	
<i>Tussenruimte 12 m</i>		
44 P3 NB	60 P3 bemest	
43 P4 NB	59 P4 bemest	
42 P1 bemest	58 P1 NB	
41 P2 bemest	57 P2 NB	
40 P4 bemest	56 P4 NB	
39 P1 NB	55 P1 bemest	
38 P3 bemest	54 P3 NB	
37 P2 NB	53 P2 bemest	
<i>Tussenruimte 12 m</i>		
36 P1 NB	52 P1 bemest	
35 P3 NB	51 P3 bemest	
34 P2 NB	50 P2 bemest	
33 P4 bemest	49 P4 NB	

*NB = niet bemest*

*(vanaf 2005 is proefveld per toestand opgedeeld in wel en niet bemest)*



## Bijlage 3. Jaarlijkse marktbaar opbrengsten (t/ha) en fosfaatafvoer (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) met marktbaar product.

Bijlage 3a, Jaarlijkse marktbaar opbrengst (t/ha); periode 2001- 2011; Lelystad.

Jaar <sup>1</sup>	P-object Bemesting kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha	P1		P2		P3		P4		LSD, ton/ha	
		0	70	0	70	0	140	0	280	Effect P-object	Effect P-gift binnen P-object
2001	suikerbiet, biet	60			70		67		67	5,6	.
2002	doperwt, korrel	5,2	.	.	6,8	.	6,6		5,4	0,6	.
2003	zomergerst, korrel	6,9	.	.	7,4	.	7,2		7,7	0,7	.
2004	zaaiui	80			95		100		99	7,1	.
2005	aardappel, knol <sup>2</sup>	24	nvt	38	28	31	37	39	36	8,2	16,9
2006	suikerbiet, biet	89	84	88	91	90	90	88	90	3,6	8,5
2007	wintertarwe, korrel	8,9	9,3	9,5	11,1	9,6	9,9	9,6	9,6	0,6	0,7
2008	zaaiui	87	91	92	92	92	93	95	94	2,4	5,3
2009	peen, wortel	125	124	129	128	130	131	131	127	5,6	6,7
2010	aardappel, knol	62	66	64	69	67	73	75	77	5,9	6,5
2011	suikerbiet, biet	85	92	84	91	89	91	92	94	6,8	16,1
	<b>Gemiddeld 2006-2011</b>	<b>76,2</b>	<b>77,8</b>	<b>77,8</b>	<b>80,4</b>	<b>79,8</b>	<b>81,3</b>	<b>81,8</b>	<b>81,9</b>	<b>4,3</b>	<b>8,7</b>

<sup>1</sup> Vanaf 2005 zijn de objecten gesplitst in een deel met en een deel zonder fosfaatbemesting;

<sup>2</sup> In 2005 veroorzaakte waterschade een lage en onregelmatige aardappelopbrengst; 2005 is daarom buiten de gemiddelde gelaten.

Bijlage 3b, Jaarlijkse fosfaatafvoer met marktbaar product in kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha; periode 2001-2011, Lelystad.

Jaar <sup>1</sup>	P-object > Bemesting kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /ha>  gewas	P1		P2		P3		P4		LSD (ton/ha)	
		0	70	0	70	0	140	0	280	Effect P-object	Effect P-gift binnen P-object
2001	suikerbiet, biet	18	.	.	22	.	23	.	26	3	.
2002	doperwt, korrel	9	.	.	12	.	12	.	10	2	.
2003	zomergerst, korrel	49	.	.	53	.	54	.	59	4	.
2004	zaaiui	65	.	.	83	.	88	.	94	8	.
2005	aardappel, knol <sup>2</sup>	19	nvt	34	25	30	36	52	48	14	22
2006	suikerbiet, biet	55	54	66	64	70	70	68	73	5	5
2007	wintertarwe, korrel	57	62	66	74	66	69	67	64	6	6
2008	zaaiui	61	67	67	68	71	71	74	78	3	5
2009	peen, wortel	66	73	76	82	85	98	92	106	7	8
2010	aardappel, knol	50	55	53	60	62	68	81	86	12	12
2011	suikerbiet, biet	59	68	63	67	67	67	68	69	7	13
<b>Gemid.</b>	<b>2005-2011</b>	<b>52</b>	<b>56</b>	<b>61</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>68</b>	<b>72</b>	<b>75</b>		

<sup>1</sup>Vanaf 2005 zijn de objecten gesplitst in een deel met en een deel zonder fosfaatbemesting;

<sup>2</sup>Lage P afvoer vanwege lage aardappelopbrengsten door wateroverlast; wel meegenomen in middeling omdat het gerealiseerde fosfaatafvoer betreft

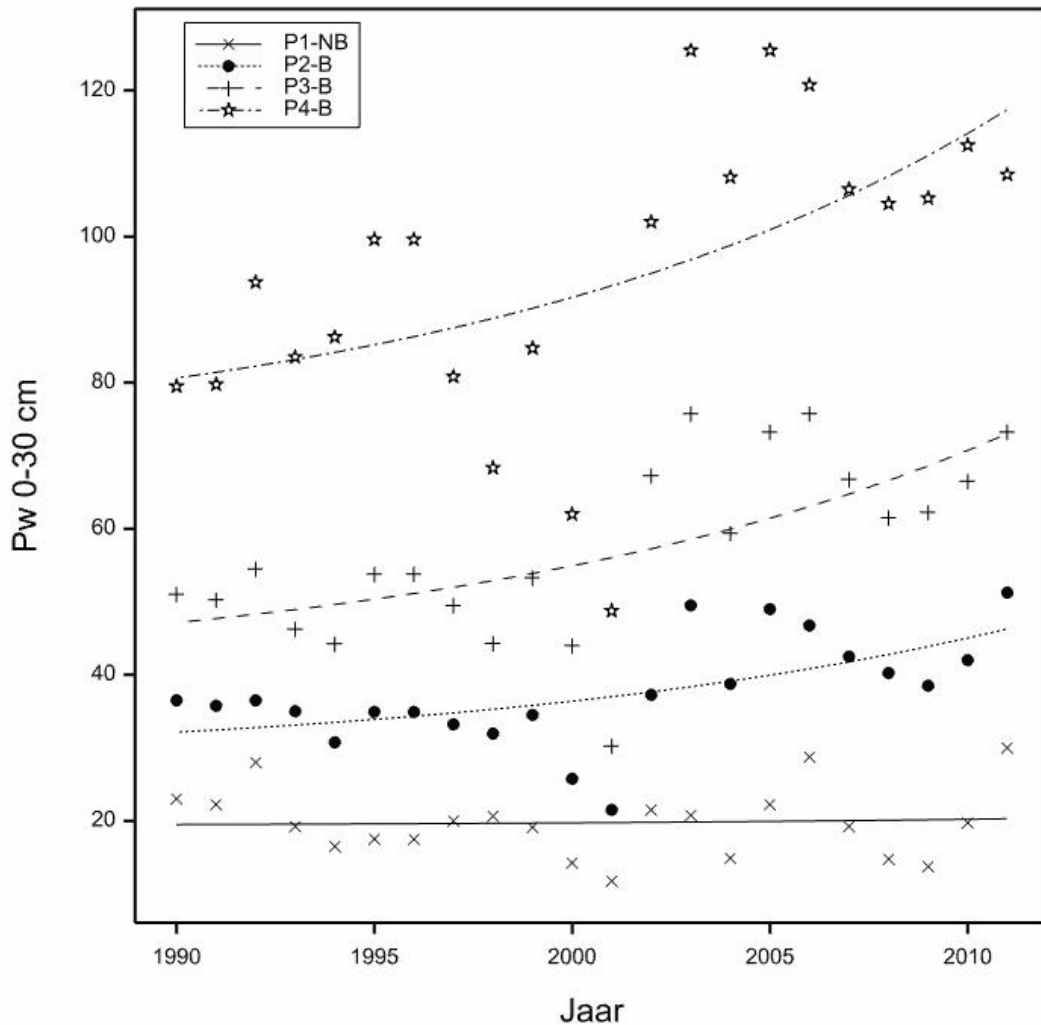
## Bijlage 4. Gemiddelde fosfaatafvoer in P2O5 ha-1jaar-1 van 5 gewassen

<b>Gewas</b>	<b>teelt-jaren</b>	<b>P1 gift 0 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar</b>	<b>P2 gift 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar</b>	<b>P3 gift 140 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar</b>	<b>P4 gift 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar</b>
aardappel	6	55	67	77	92
suikerbiet	4	50	57	59	62
zomergerst	3	49	53	54	57
zaaiui	2	63	76	79	86
peen	3	70	87	93	107



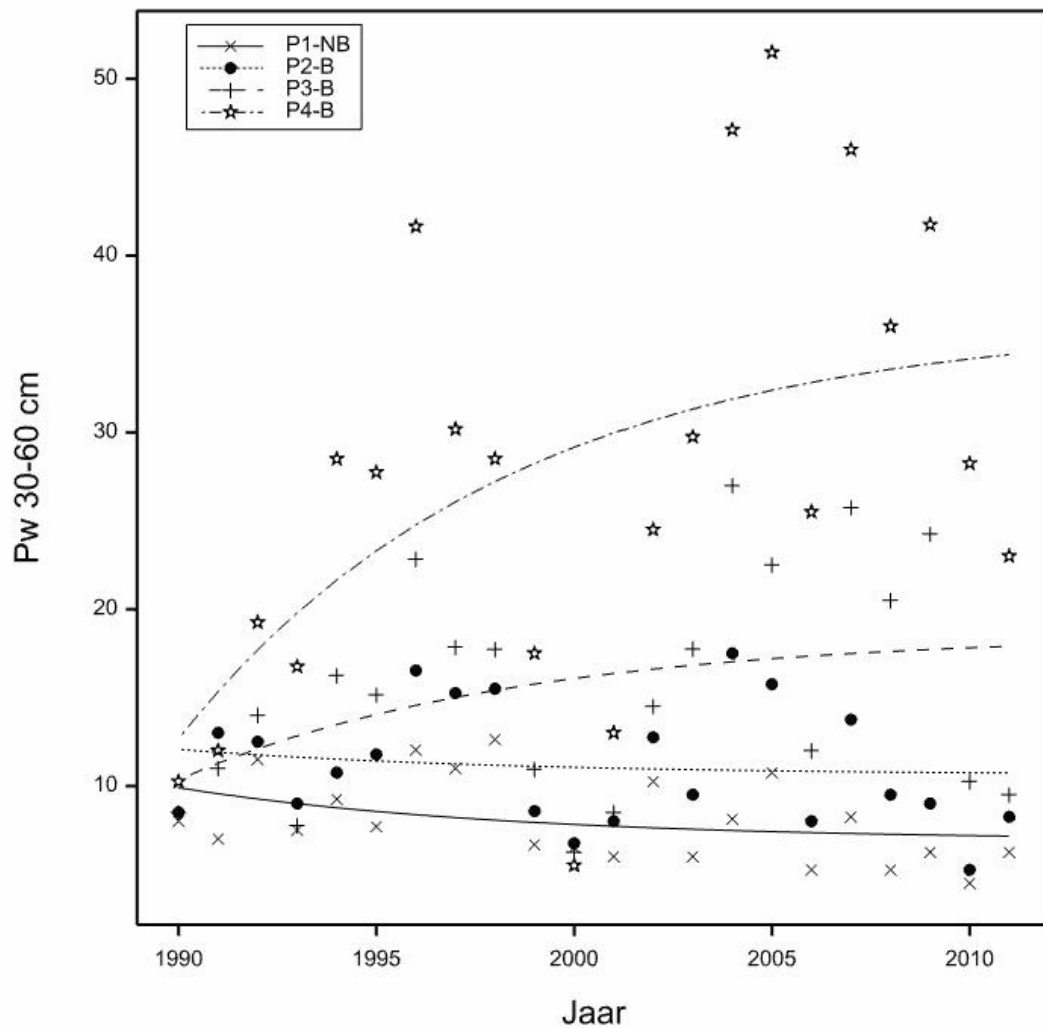


Bijlage 5. Trendlijnen verloop Pw-getal, P-Al-getal en P-CaCl<sub>2</sub> in lagen 0-30 en 30-60 cm periode 1987-2011 en verloop uitmijning Pw-getal laag 0-30 periode 2005-2011

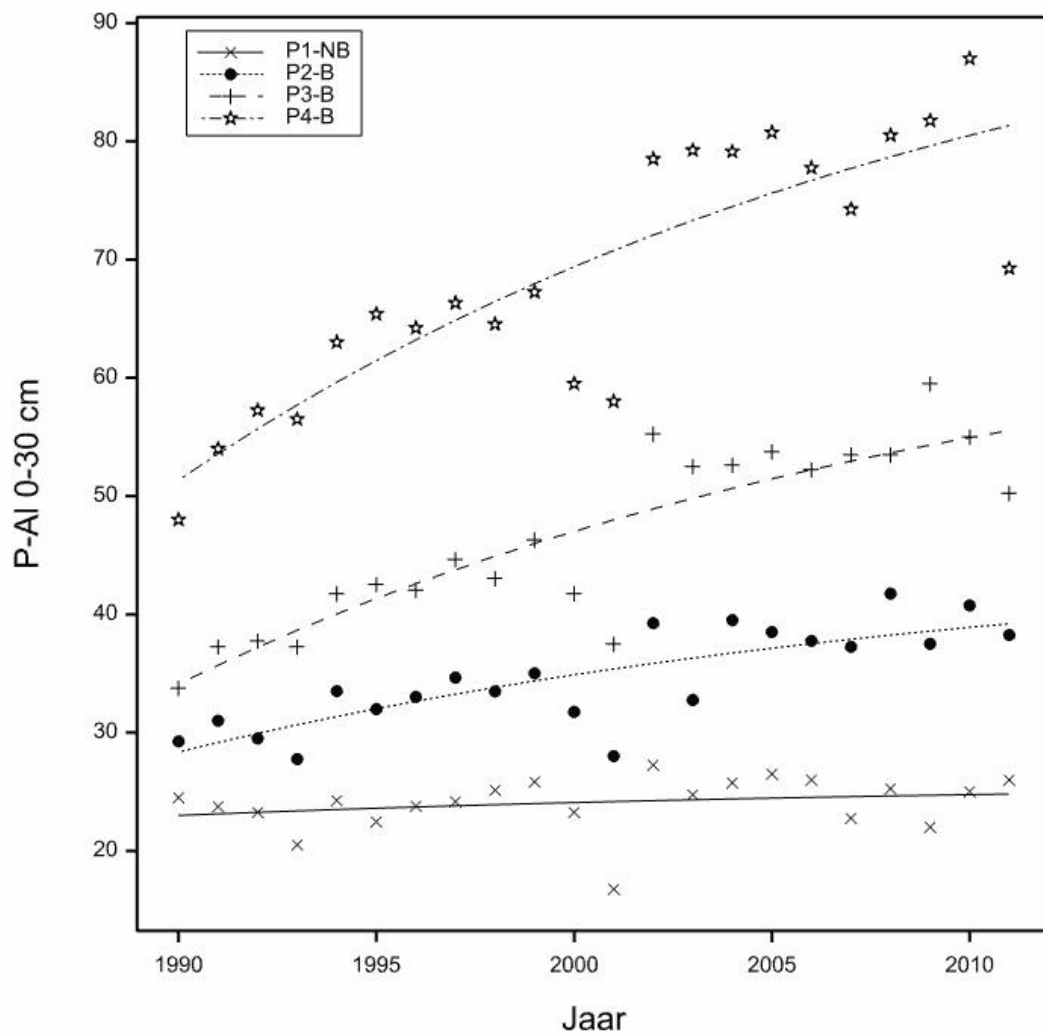


Bijlage 5.1

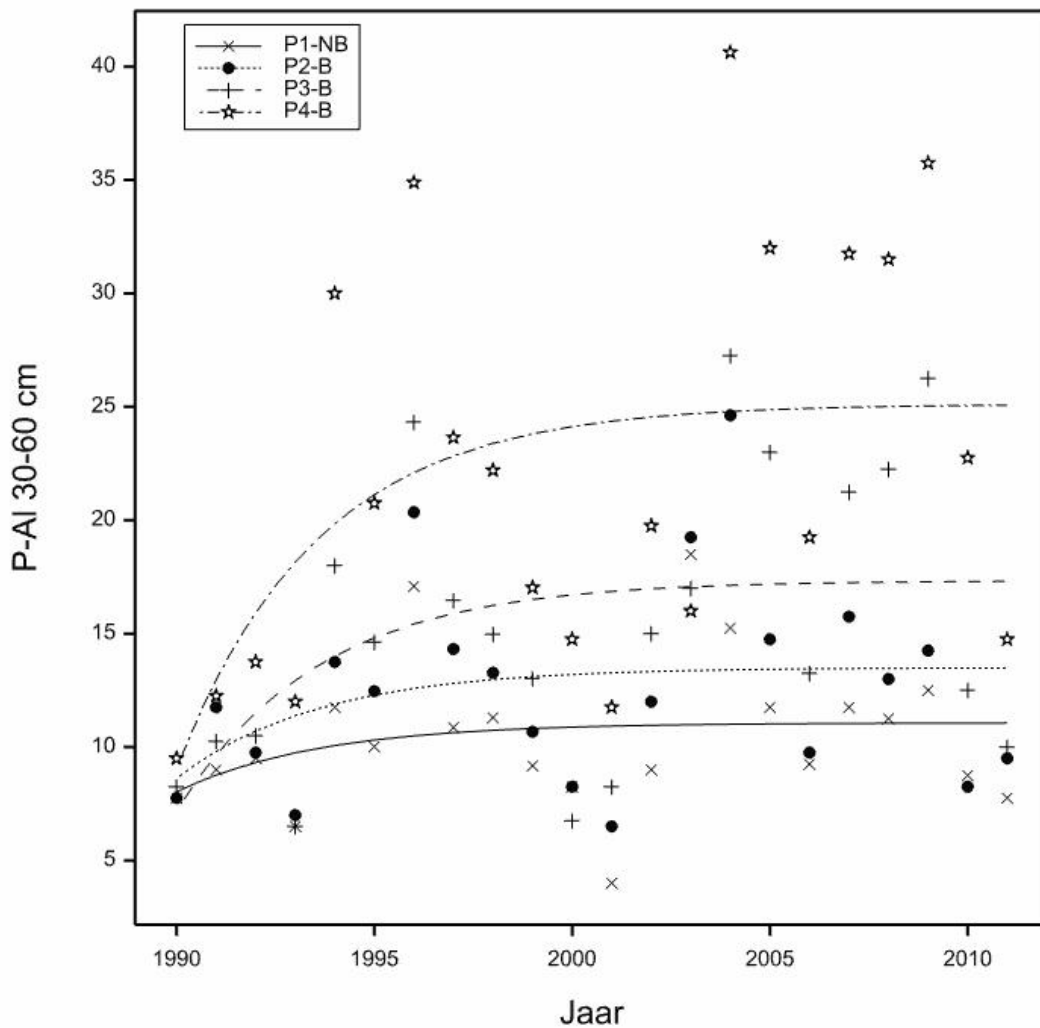
**Trendlijnen voor de Pw-getallen in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per object voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode van 22 jaar (1990 t/m 2011) na opbouw van de fosfaattoestand in de periode 1986-1989. Fosfaatgiften bij de objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. NB is niet bemest, B is bemest.**



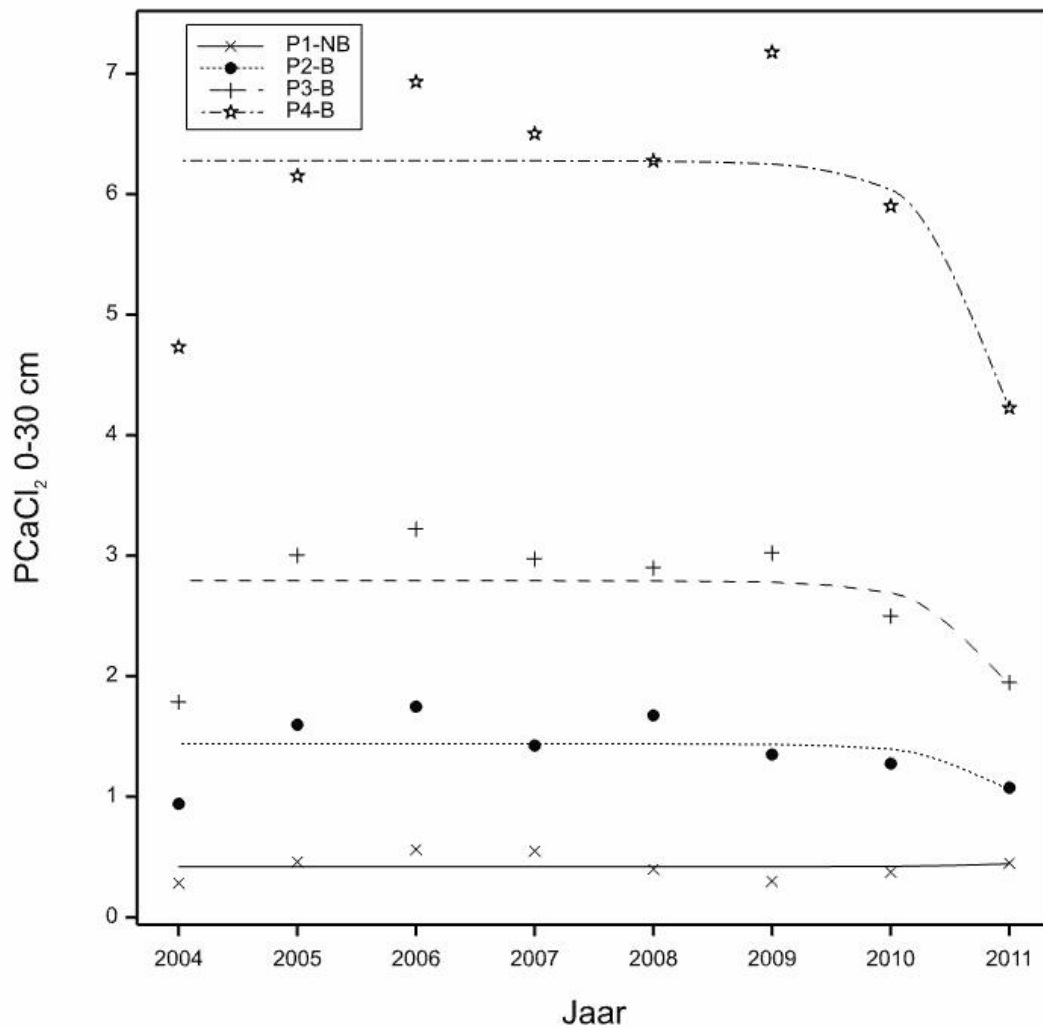
Bijlage 5.2 Trendlijnen voor de Pw-getallen in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per object voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode van 22 jaar (1990 t/m 2011). Fosfaatgiften bij de objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. NB is niet bemest, B is bemest.



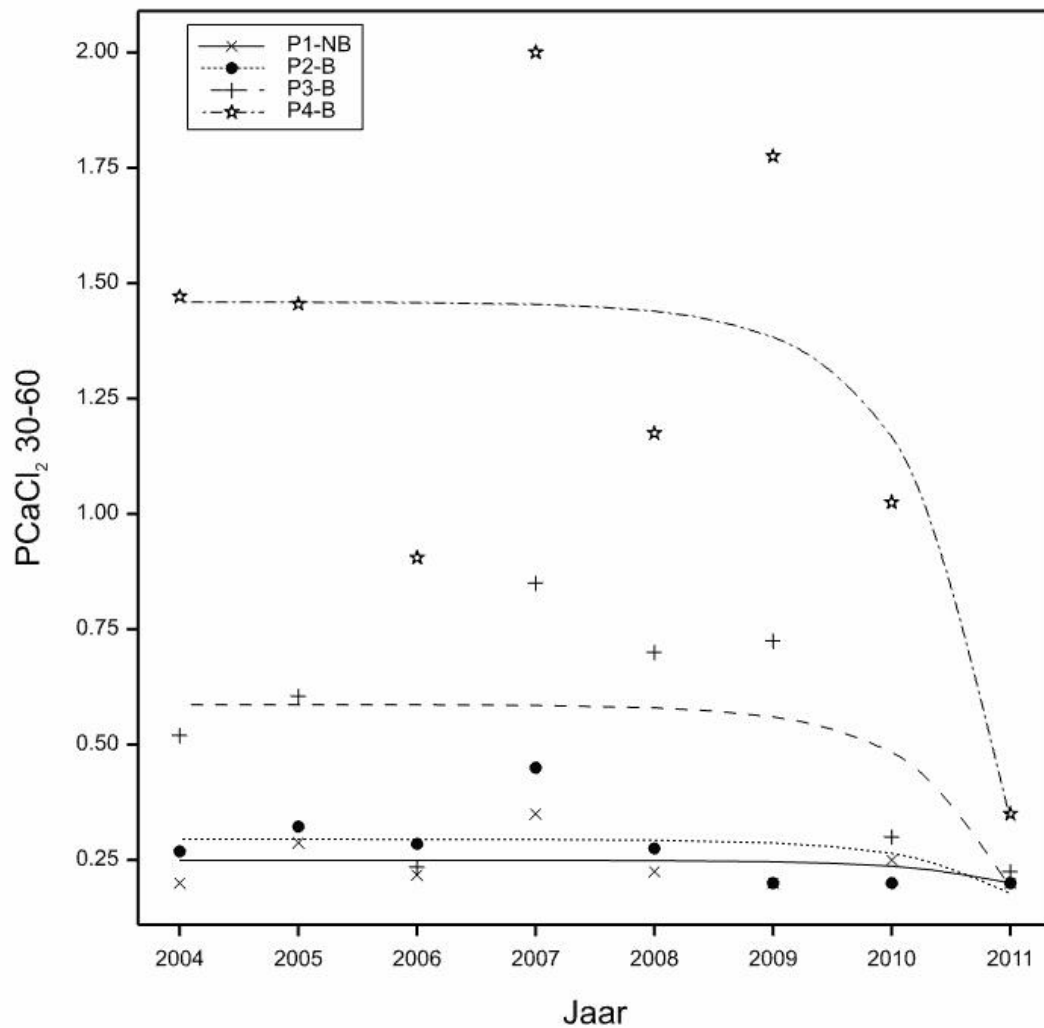
Bijlage 5.3 Trendlijnen voor de P-AI-getallen in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g per object voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode van 22 jaar (1990 t/m 2011). Fosfaatgiften bij de objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. NB is niet bemest, B is bemest.



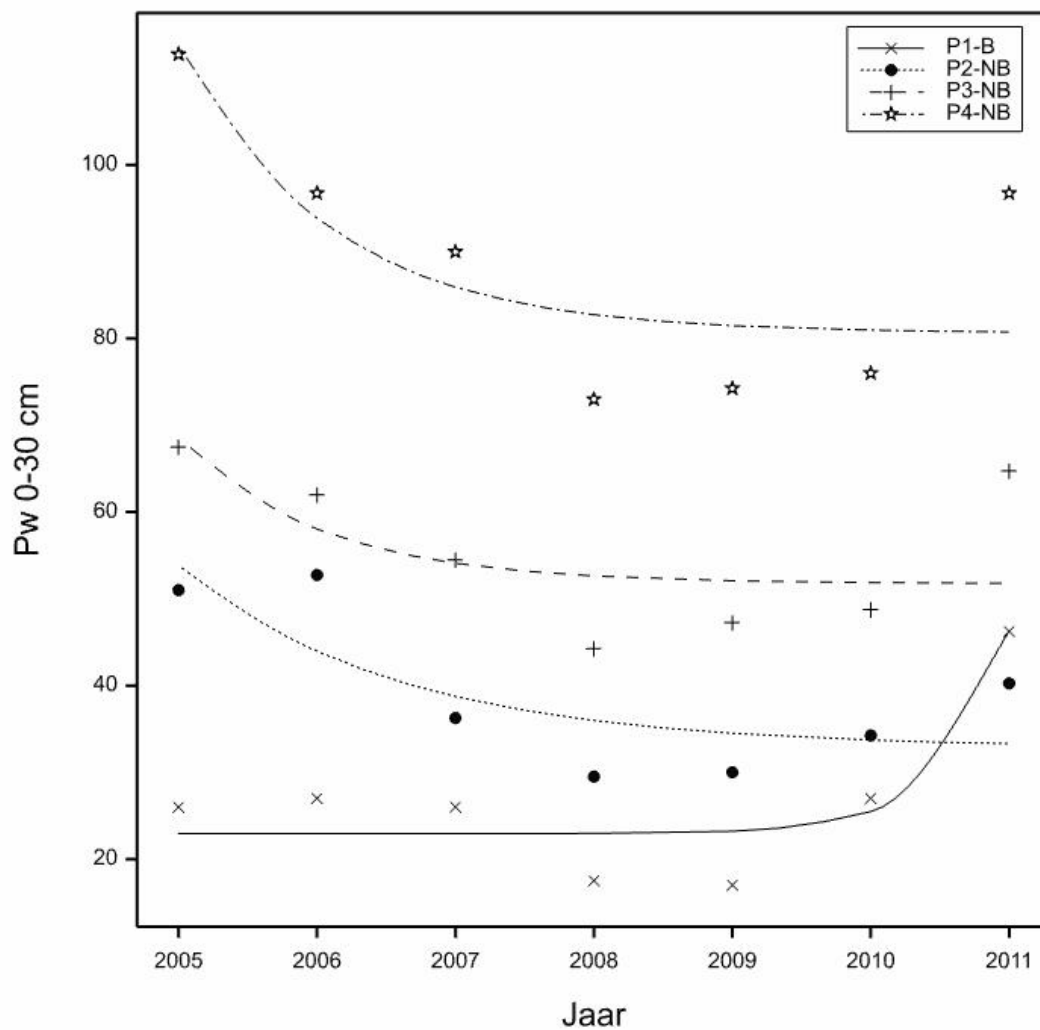
Bijlage 5.4. Trendlijnen voor de P-AI-getallen in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g per object voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode van 22 jaar (1990 t/m 2011). Fosfaatgiften bij de objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. NB is niet bemest, B is bemest.



Bijlage 5.5 Trendlijnen voor de P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg per object voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode 2004-2011. Fosfaatgiften bij de objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. NB is niet bemest, B is bemest.

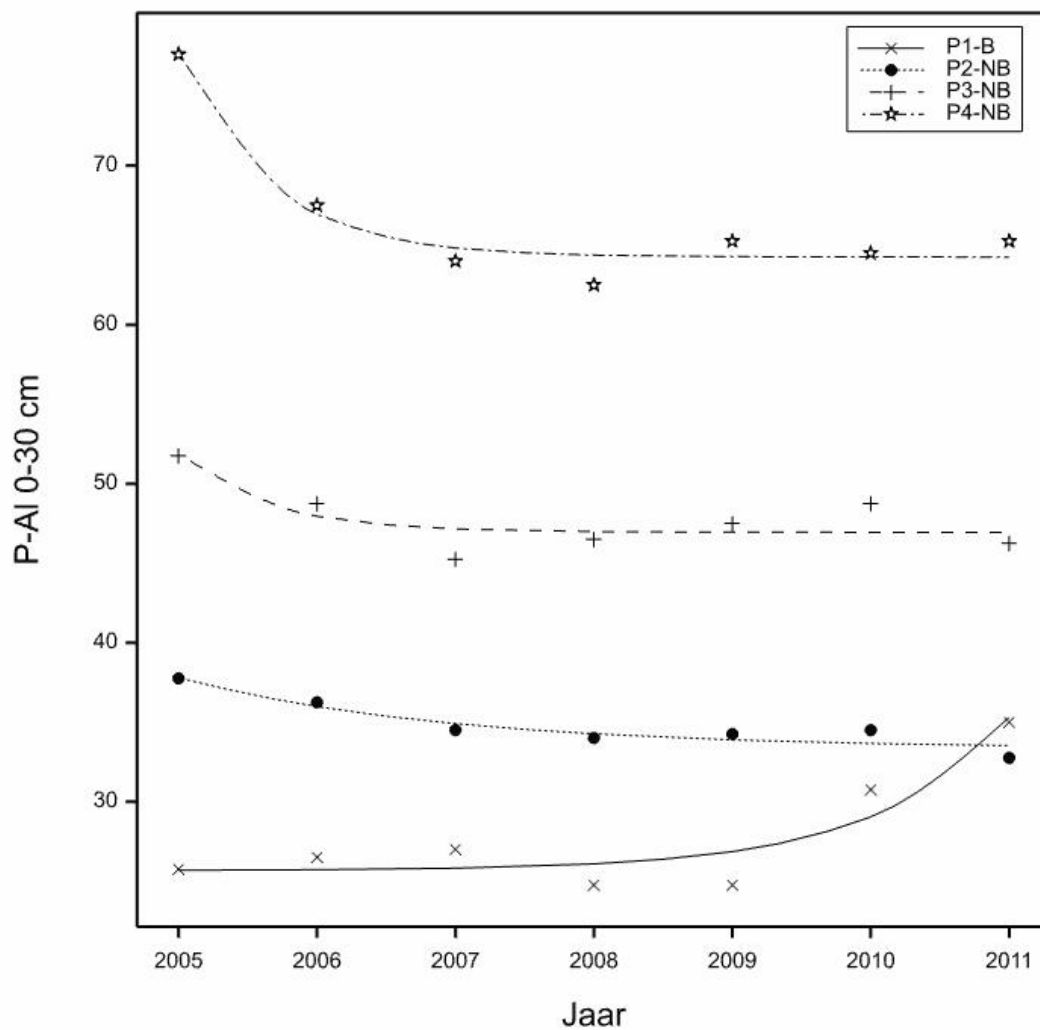


Bijlage 5.6 Trendlijnen voor de P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg per object voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor de periode 2004-2011. Fosfaatgiften bij de objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jaar. NB is niet bemest, B is bemest.

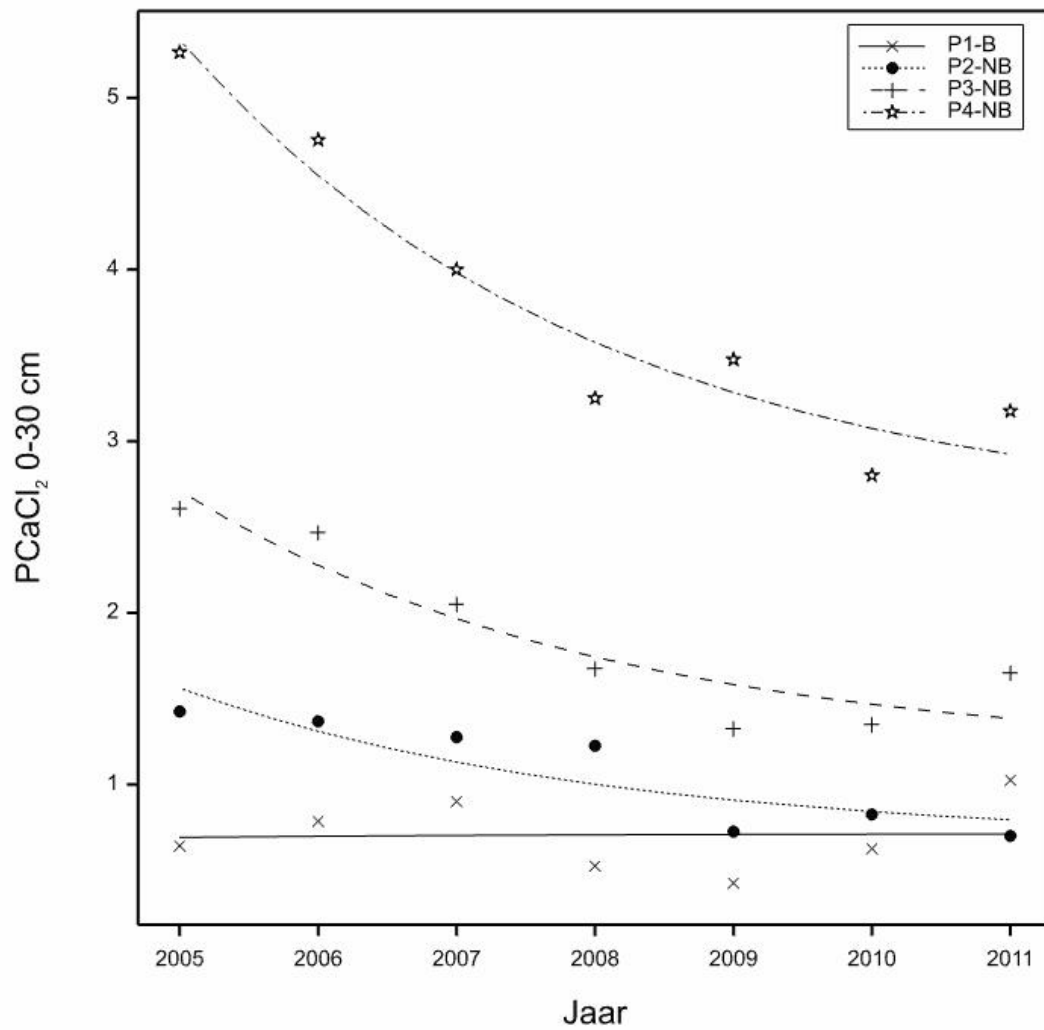


Bijlage 5.7 .Trendlijnen van Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L per object P2, P3, P4 onbemest en P1 bemest voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) over een periode van 7 jaar: 2005 t/m 2011. B is bemest, NB is onbemest.

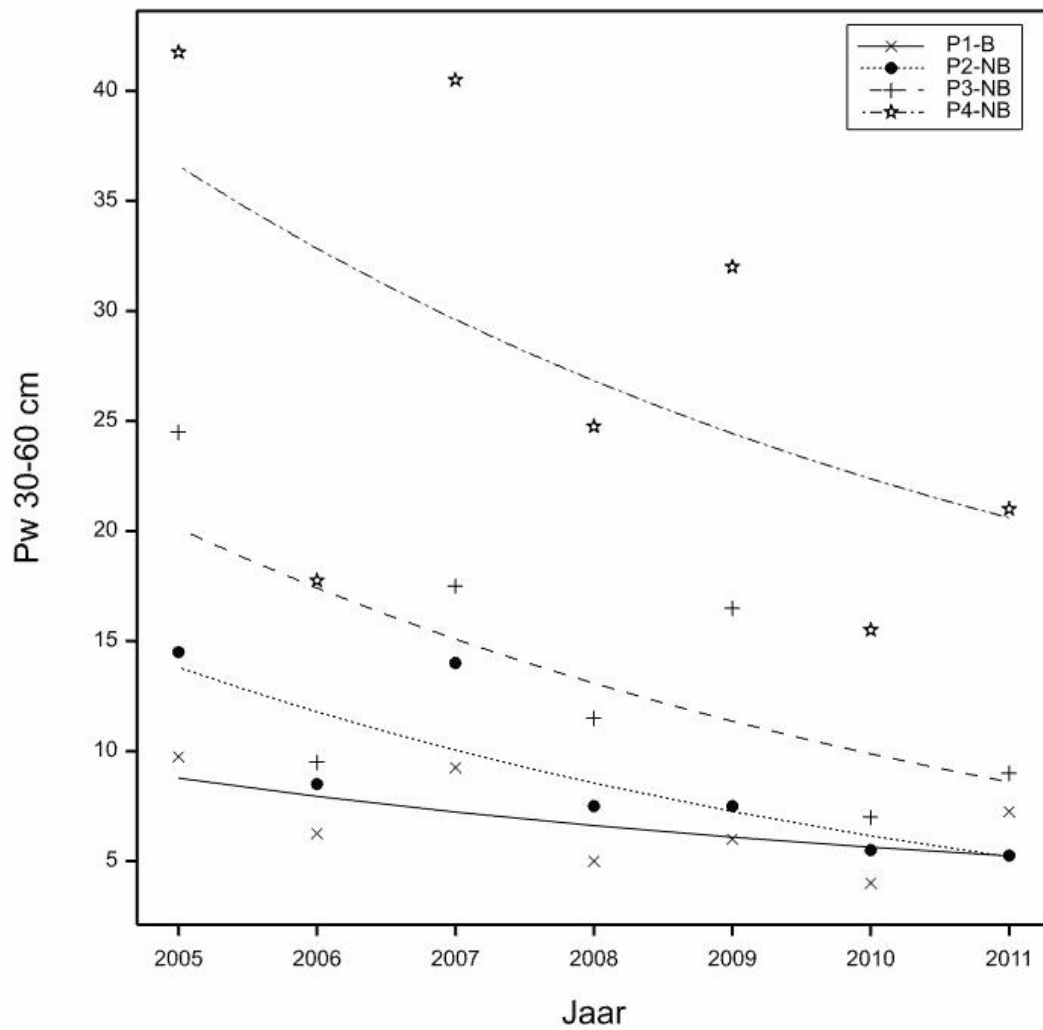




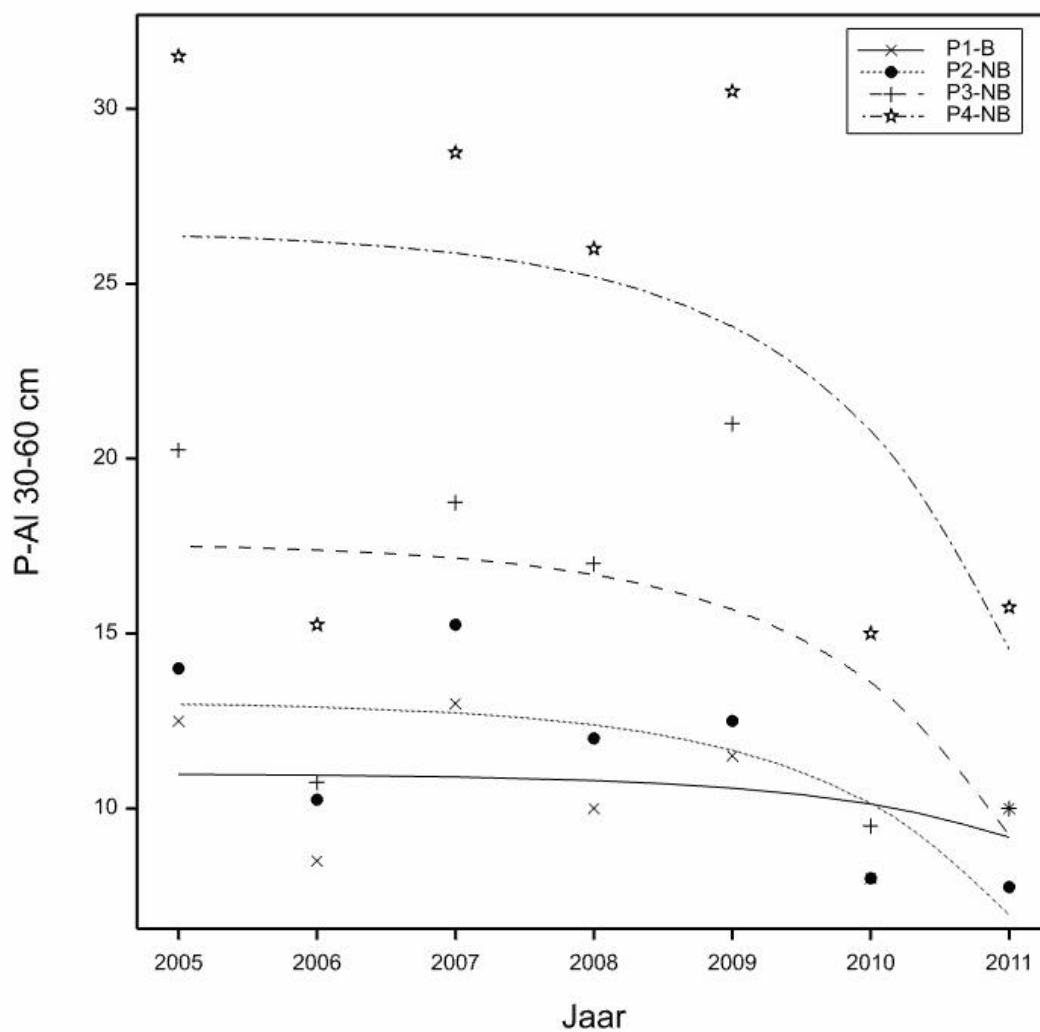
Bijlage 5.8. Trendlijnen van P-Al-getal in mg  $P_2O_5$ /100 g per object P2, P3, P4 onbemest en P1 bemest voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) over een periode van 7 jaar: 2005 t/m 2011. B is bemest, NB is onbemest.



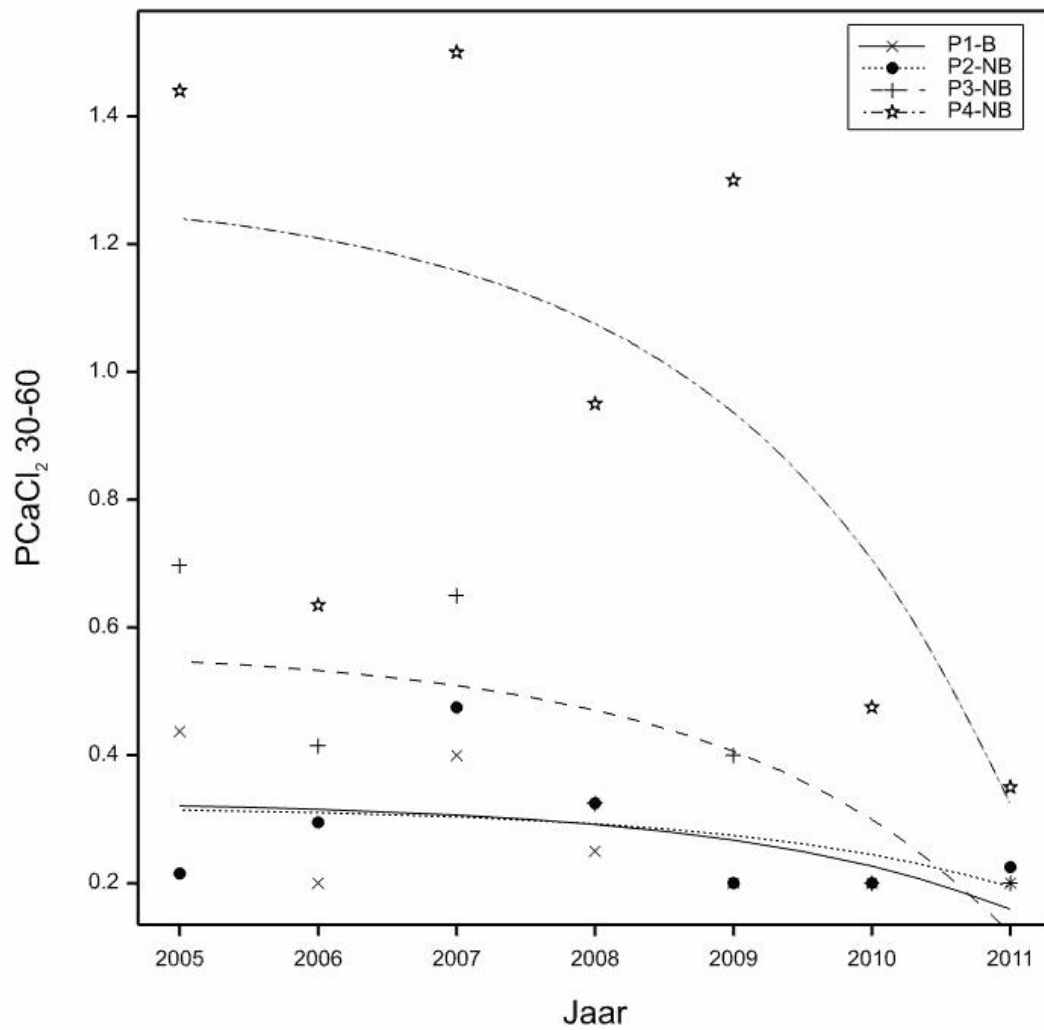
Bijlage 5.9. Trendlijnen van P-CaCl<sub>2</sub>-getal in mg P/kg per object P2, P3, P4 onbemest en P1 bemest voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) over een periode van 7 jaar: 2005 t/m 2011. B is bemest, NB is onbemest.



Bijlage 5.10. Trendlijnen voor het beloop van het Pw-getal in mg  $P_2O_5/L$  met waarden per object P2, P3, P4 onbemest en P1 bemest voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) van 2005 t/m 2011. B is bemest NB is onbemest.



Bijlage 5.11. Trendlijnen van P-AI-getal in mg  $P_2O_5/100$  g per object P2, P3, P4 onbemest en P1 bemest voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) over een periode van 7 jaar: 2005 t/m 2011. B is bemest, NB is onbemest.



Bijlage 5.12 Trendlijnen van P-CaCl<sub>2</sub>-getal in mg P/kg per object P2, P3, P4 onbemest en P1 bemest voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) over een periode van 7 jaar: 2005 t/m 2011. B is bemest, NB is onbemest.

## Bijlage 6 Parameterschattingen voor het beloop van de fosfaattoestand bij de behandelingen P1, P2-bemest, P3-bemest en P4-bemest

Voor de periode 1990 tot 2011 voor vergelijking (1), voor Pw-getal 0-30 cm, Pw-getal 30-60 cm, P-Al-getal 0-30 cm, P-Al-getal 30-60 cm, P-CaCl<sub>2</sub> 0-30 cm en P-CaCl<sub>2</sub> 30-60 cm. Getal tussen haakjes is steeds de standaardafwijking; (\*) is ontbrekende waarde. P-CaCl<sub>2</sub> is gebaseerd op de periode 2005-2011.

P-toestand <sup>a</sup>	Parameter	Pw-getal <sup>b</sup> 0-30 cm	Pw-getal 30-60 cm	P-Al-getal <sup>b</sup> 0-30 cm	P-Al-getal 30-60 cm	P-CaCl <sub>2</sub> <sup>c</sup> 0-30 cm	P-CaCl <sub>2</sub> 30-60 cm
Alle	c	-0,07 (0,06)	0,12 (0,086)	0,05 (0,03)	0,28 (0,146)	-2,16 (*)	-1,35 (0,32)
P1	a	19,25 (5,60)	6,91 (2,546)	25,82 (2,93)	11,06 (1,518)	0,42 (*)	0,25 (0,09)
	b	0,23 (2,22)	2,98 (5,298)	-2,83 (4,31)	-3,04 (4,613)	5,0E-22 (*)	-2,5E-14 (2,8E-13)
P2	a	28,04 (9,52)	10,61 (2,465)	45,31 (6,16)	13,50 (1,541)	1,44 (*)	0,30 (0,09)
	b	4,10 (6,90)	1,45 (5,288)	-16,95 (6,57)	-4,88 (4,622)	-8,0E-21 (*)	-6,0E-14 (6,0E-13)
P3	a	39,67 (15,16)	18,57 (3,163)	67,61 (11,22)	17,33 (1,663)	2,79 (*)	0,59 (0,09)
	b	7,49 (12,16)	-8,21 (5,379)	-33,50 (10,79)	-10,16 (4,668)	-1,8E-20 (*)	-2,0E-13 (2,0E-12)
P4	a	70,00 (20,79)	36,33 (6,292)	98,21 (15,46)	25,12 (1,878)	6,28 (*)	1,46 (0,10)
	b	10,64 (17,13)	-23,66 (6,020)	-46,87 (14,52)	-16,07 (4,756)	-4,3E-20 (*)	-5,8E-13 (5,6E-12)
Alle	Verklaarde variantie %	88	95,5	58,5	41,3	95,0	79,8

<sup>a</sup>P1 is daarin onbemest gebleven, de toestanden P2, P3 en P4 zijn jaarlijks bemest met respectievelijk 70, 140 en 280 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/ha, <sup>b</sup>Pw-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/L, P-Al-getal in mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g en P-CaCl<sub>2</sub> in mg P/kg.



## Bijlage 7 Parameterschattingen voor het verloop van de fosfaattoestand van de uitmijnvelden

Voor P1, P2, P3 en P4\* van 2005-2011 aangepast aan (1), voor Pw-getal 0-30 cm , P-Al-getal 0-30 cm , P-CaCl<sub>2</sub> 0-30 cm, Pw-getal 30-60 cm, P-Al-getal 30-60 cm, P-CaCl<sub>2</sub> 30-60 cm. Getal tussen haakjes is steeds de standaardafwijking.

P-toestand	Parameter**	Pw-getal 0-30 cm	P-Al-getal 0-30 cm	P-CaCl <sub>2</sub> 0-30 cm	Pw-getal 30-60 cm	P-Al-getal 30-60 cm	P-CaCl <sub>2</sub> 30-60 cm
alle	c	0,84 (0,51)	1,32 (0,63)	0,33 (0,12)	0,15 (0,37)	-0,74 (0,573)	-0,51 (0,35)
P1	a1	27,19 (4,22)	28,39 (0,99)	0,71 (0,16)	2,82 (12,43)	10,99 (2,186)	0,33 (0,12)
	b1	-4,73 (23,34)	-11,57 (11,82)	-0,03 (0,41)	6,91 (15,33)	-0,01 (0,051)	0,00 (0,01)
P2	a2	34,04 (4,71)	34,08 (1,00)	0,67 (0,20)	-0,72 (24,91)	13,05 (2,372)	0,32 (0,12)
	b2	46,97 (32,47)	14,88 (13,17)	1,24 (0,41)	16,87 (23,70)	-0,03 (0,146)	0,00 (0,01)
P3	a3	51,35 (4,56)	46,87 (1,01)	1,17 (0,27)	0,69 (32,57)	17,59 (2,539)	0,57 (0,15)
	b3	38,83 (29,85)	18,35 (14,75)	2,14 (0,41)	22,56 (29,51)	-0,05 (0,199)	-0,01 (0,03)
P4	a4	80,16 (5,44)	64,07 (1,15)	2,54 (0,44)	9,63 (44,60)	26,50 (2,878)	1,29 (0,23)
	b4	76,77 (43,76)	48,13 (31,22)	3,90 (0,41)	31,32 (39,01)	-0,07 (0,283)	-0,03 (0,07)
Alle	Verklaarde variantie %	90,2	99,3,	97,2	67,6	58,4	68,0

\*P1 is bemest met 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha gebleven, de toestanden P2, P3 en P4 zijn jaarlijks onbemest gebleven

\*\*De nummers 1 t/m 4 bij de parameters betreffen de toestanden P1 t/m P4.

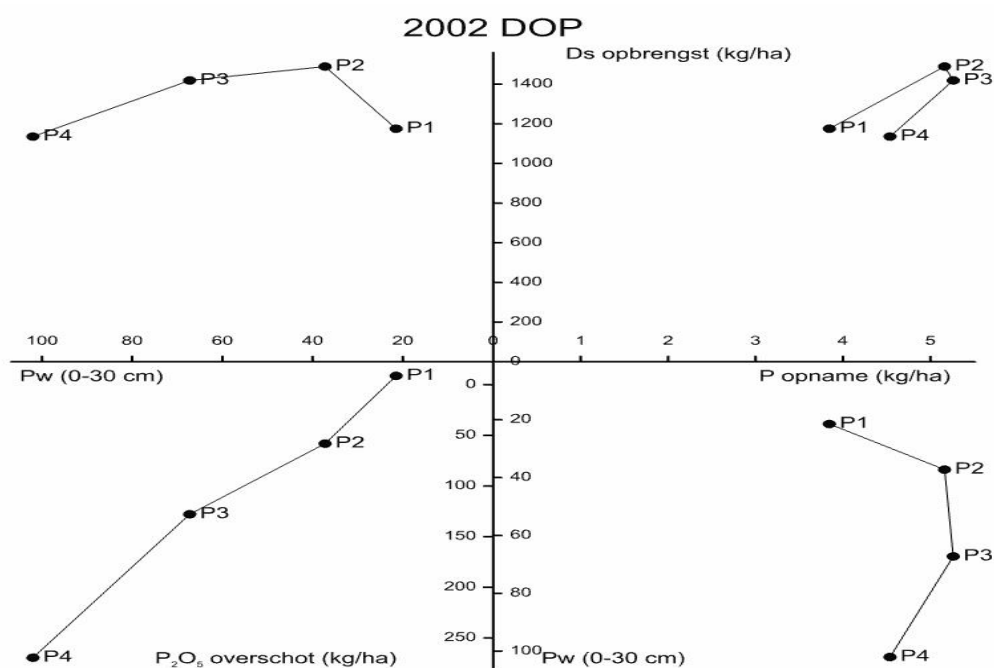


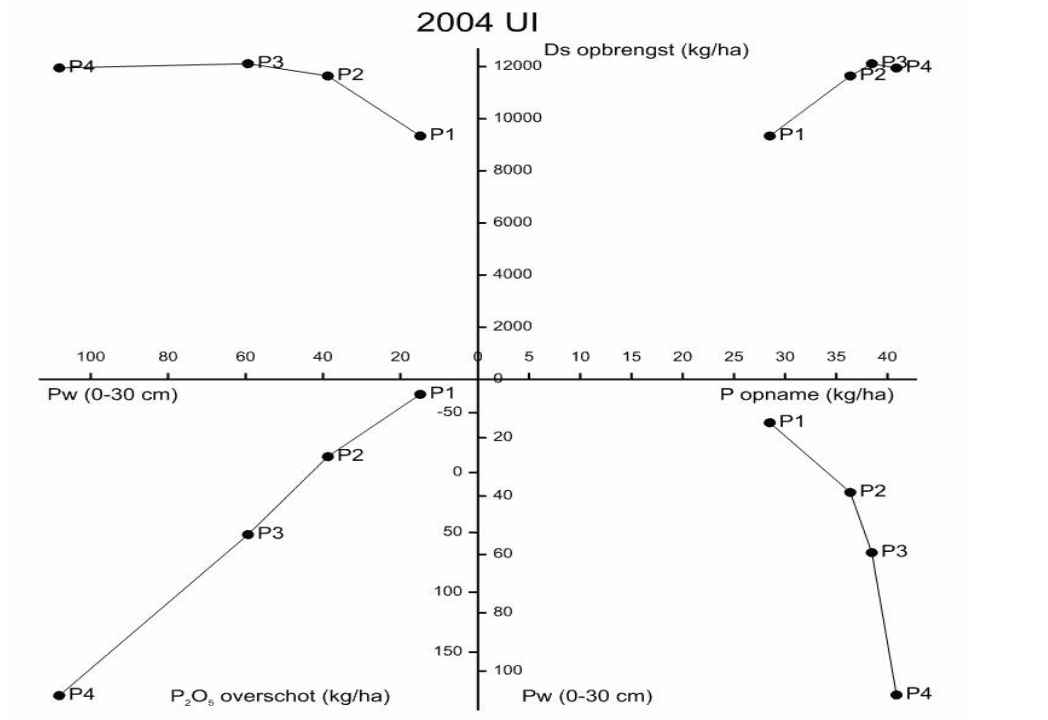
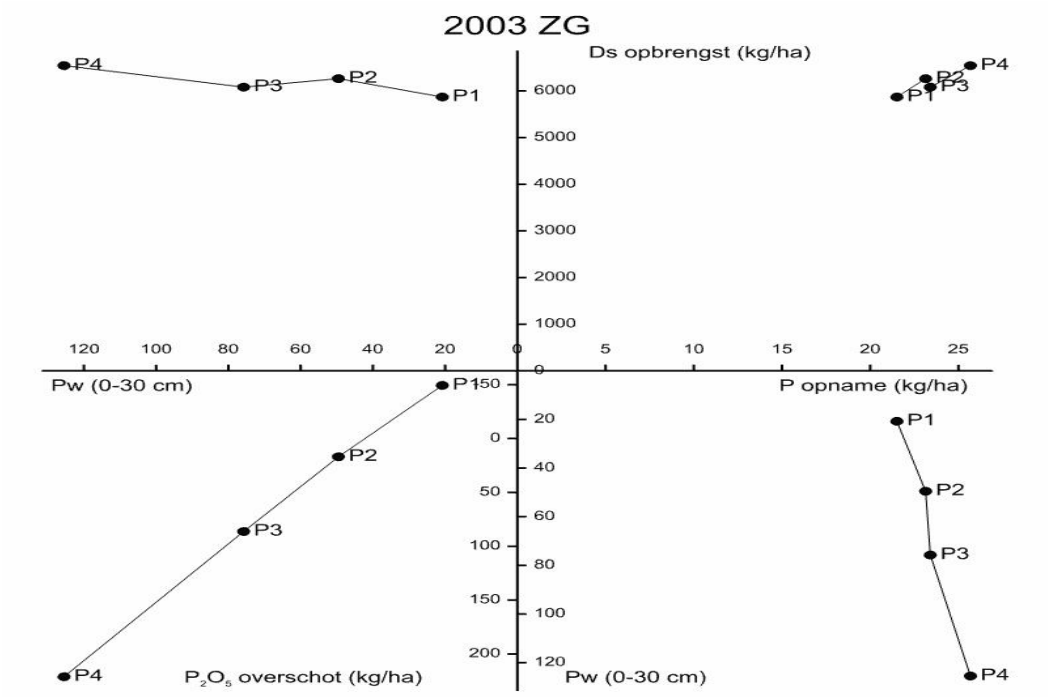


## Bijlage 8 Samenhang tussen behandeling, droge stof opbrengst marktbaar product, fosfaatafvoer, fosfaatoverschot en fosfaattoestand (Pw-getal laag 0-30 cm)

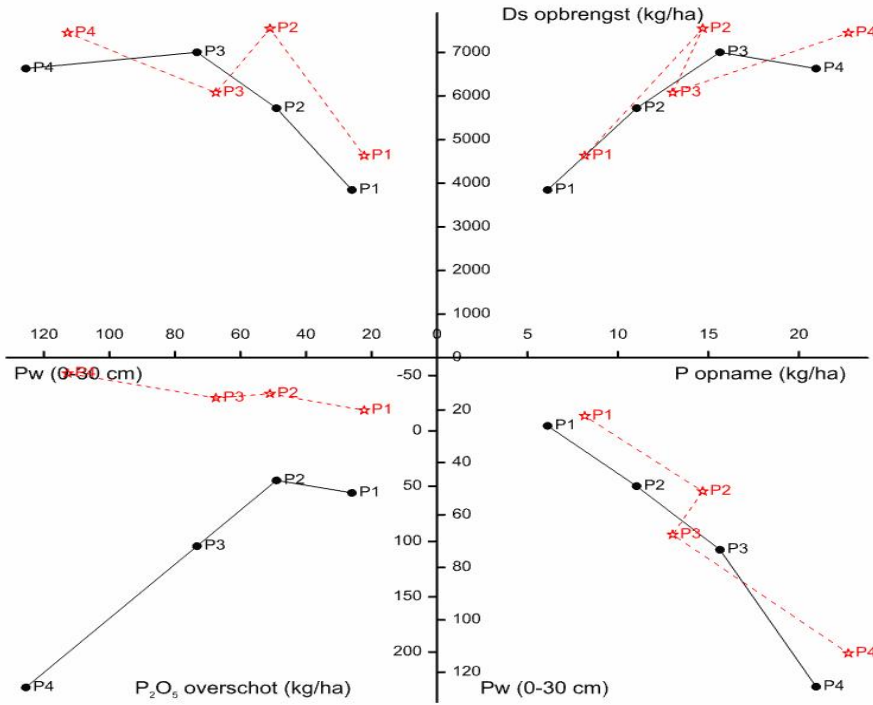
Van de gewassen vanaf 2001 die niet vermeld zijn in het hoofdverslag: Behandeling P1 niet bemest en P2, P3 en P4 bemest (zwarte lijn met stip). Vanaf 2005 ook P1 bemest en P2, P3 en P4 onbemest (rode stippellijn met ster).

SB = suikerbiet; DOP is doperwt; ZG = zomergerst, CA = consumptie aardappel, WT = wintertarwe

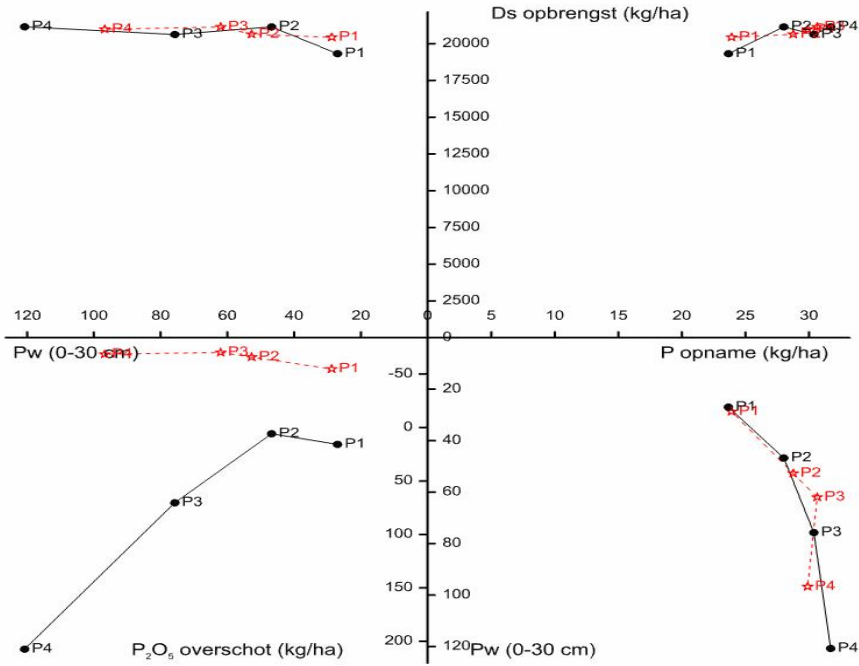




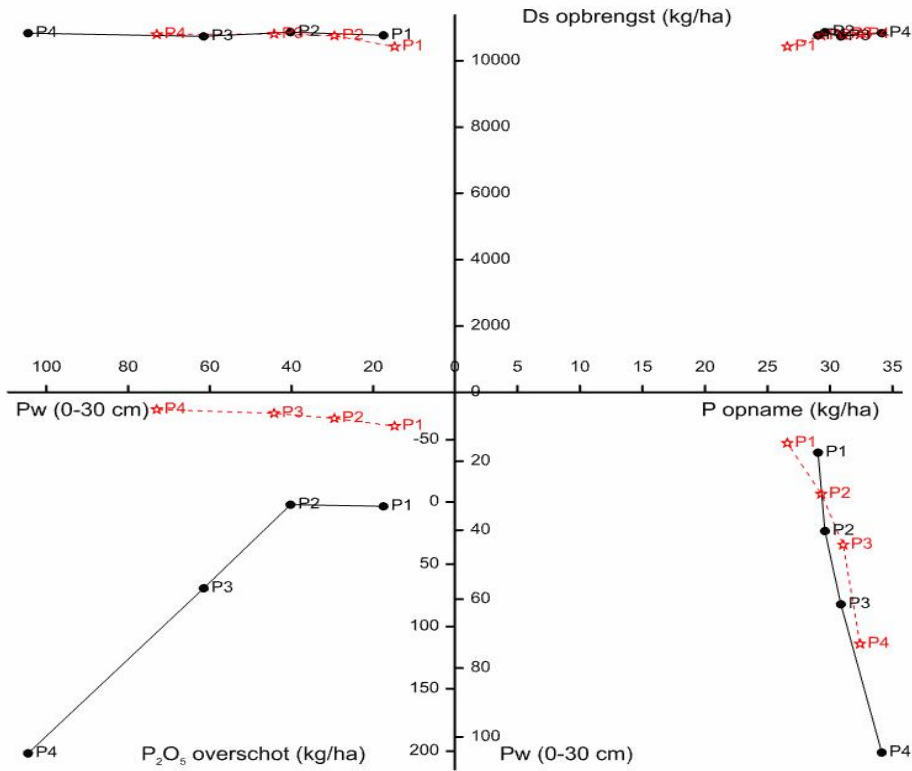
### 2005 CA



### 2006 SB



### 2008 UI



### 2011 SB

