



WAGENINGEN UR

For quality of life

Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op lange termijn

Stand van zaken 2007

P.A.I. Ehlert
J. C. van Middelkoop
C. van der Salm
P.H.M. Dekker

Alterra-rapport 1665, ISSN 1566-7197



Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op lange termijn

Stand van zaken 2007

In opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit in het kader van het programma Milieu en Mineralen (BO-05), project B0-05-002-07 Relatie fosfaatbemesting en fosfaattoestand.

Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op langere termijn

Stand van zaken 2007

P.A.I. Ehlert¹

J. C. van Middelkoop²

C. van der Salm¹

P.H.M. Dekker³

Alterra--rapport 1665

Alterra, Wageningen, 2008

REFERAAT

Ehlert, P.A.I., J.C. van Middelkoop, C. van der Salm & P.H.M. Dekker, 2008. *Effecten van fosfaatoverschotten op gras- en bouwland op lange termijn. Stand van zaken 2008*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1665. 90 blz.; 32 fig.; 13tab.; 11 ref.

Het gebruik van fosfaat op gras- en bouwland staat volop in de belangstelling nu het stelsel van gebruiksnormen in 2006 van kracht geworden is. Het voornemen om per 2015 evenwichtsbemesting in te voeren, heeft geleid tot maatschappelijke onrust. Landbouwers en veehouders vrezen dat evenwichtsbemesting op termijn zal leiden tot een vermindering van opbrengst en kwaliteit.

In dit rapport worden observaties besproken die gebaseerd zijn op uitvoerige meetprogramma's voor fosfaat op veeljarige veldproeven op grasland en bouwland. Bij de proeven worden de mogelijke gevolgen van evenwichtsbemesting op de lange termijn voor opbrengst, kwaliteit, verdeling van fosfaatfracties in de bodem en fosfaatuitspoeling vastgesteld. Dit rapport geeft de stand van zaken van de periode 2002-2007 op basis van beschikbare gegevens.

Invoering van strikte fosfaatevenwichtsbemesting, dit is een fosfaatgift gelijk aan de fosfaatafvoer, leidt op lange termijn tot lagere drogestofopbrengsten, lagere fosfaatgehalten in gras en verlaging van de fosfaattoestand op grasland.

Op bouwland wordt doorgaans nog geen significant effect van strikte evenwichtsbemesting op opbrengst en kwaliteit vastgesteld. Er sprake van luxe-consumptie van fosfaat. Een trend lijkt zich wel af te tekenen dat een hogere fosfaattoestand bij evenwichtsbemesting leidt tot een hogere opbrengst. De fosfaattoestand stelt zich in op de hoogte van het fosfaatoverschot.

Er is veel van-jaar-tot-jaar variatie in de veldproeven op grasland en bouwland waardoor trends niet altijd significantie vinden.

Een deel van het fosfaatoverschot op grasland wordt niet teruggevonden in een wijziging van de bodemvruchtbaarheidsindices Pw-getal en PAL-getal. De voorraad gesorbeerd fosfaat en totaal fosfaat in de bodem onder grasland wordt meer beïnvloed door de aangelegde fosfaatoverschotten dan de bodemvruchtbaarheidsindices.

Ook bij bouwland wordt een aanzienlijk deel van het fosfaatoverschot niet teruggevonden in een verandering Pw-getal of PAL-getal.

Het rapport geeft prognoses voor de gevolgen op de lange termijn van invoering van evenwichtsbemesting.

Trefwoorden: Fosfaat, fosfor, grasland, bouwland, akkerbouw, tuinbouw, fosfaatophoping, uitmijning, uitspoeling, vastlegging, bodemvruchtbaarheid, Pw-getal, PAL-getal, P-CaCl₂, P-ox, P-totaal, grondonderzoek, bodemvocht.

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via www.alterra.wur.nl. Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie www.boomblad.nl/rapportenservice

© 2008 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 Proefopzet, uitvoering en metingen	17
2.1 Grasland	17
2.1.1 Opzet	17
2.1.2 Meetprogramma	17
2.2 Bouwland	17
2.2.1 Opzet	17
2.2.2 Meetprogramma	18
2.2.3 Bewerkingen	19
3 Grasland	21
3.1 Opbrengsten	21
3.2 N- en P-gehalten van het gras	23
3.3 Fosfaatopbrengst van het gras	26
3.4 Beloop fosfaattoestand in de tijd	28
3.4.1 Pw-getal	28
3.4.2 PAL-getal	30
3.4.3 P-oxalaat	31
3.4.4 P-totaal	31
3.4.5 P-CaCl ₂ (PPAE)	34
3.4.6 Verandering van de fosfaatvoorraad in de bodem bij uitmijnen	37
3.5 Gemiddelde fosfaatconcentraties	37
3.6 Trends in fosfaatconcentraties in de tijd.	39
4 Bouwland	43
4.1 Opbrengsten en kwaliteit	43
4.1.1 Lelystad (P1801)	43
4.1.2 Marknesse (IB0013)	44
4.2 Fosfaatafvoer	44
4.2.1 Lelystad (P1801)	44
4.2.2 Marknesse (IB0013)	46
4.3 Wijzingen in de fosfaattoestand in de tijd	47
4.3.1 Lelystad (P1801)	47
4.3.2 Marknesse (IB0013)	51
4.3.3 Marknesse (IB0016)	53
4.3.4 Wijster (IB1920)	54
4.4 Wijzigingen in de fosfaattoestand als functie van het jaarlijkse of cumulatieve fosfaatoverschot	56
4.4.1 Lelystad	56

4.4.2 Marknesse	58
4.5 Fosfaatbodemfracties in 2002	61
4.6 Fosfaat in bodemvocht	68
4.6.1 Lelystad	68
4.6.2 Marknesse	69
4.6.3 Wijster	69
5 Discussie	73
5.1 Aandachtveld opbrengst en kwaliteit	73
5.2 Aandachtveld evenwichtsbemesting en fosfaatuitspoeling	75
5.3 Aandachtveld fosfaatfracties in de bodem	76
5.4 Lacunes in kennis	78
Literatuur	81
Bijlage 1 Lijst van verschenen publicaties en documenten	83
Bijlage 2 Jaarlijkse fosfaatgiften (kg P ₂ O ₅ /ha) en geteelde gewassen op de veldproef P1801 te Lelystad 1987-2007	89

Woord vooraf

Het project is ontstaan door samenvoeging van twee projecten (project Verliesnormen gras Alterra BO5-398II-11743 + ASG 1110101011 en Project Fosfaatonderzoek op bouwland Alterra BO5-398II-11795 + PPO 32510177). Beide projecten hebben tot doel om het lange termijn gedrag van fosfaat te onderzoeken. Dit is een eerste rapportage van de voortgang van het gezamenlijke project. Deze rapportage betreft verslaglegging van het meetprogramma 2002-2007 voor zover data op 1-11-2007 beschikbaar waren. De meetseries leveren informatie over wijzigingen op de lange termijn van de bodemvruchtbaarheid, de onderliggende processen en de consequenties daarvan voor opbrengst en kwaliteit van de gewassen. De verzamelde informatie geeft inzicht in de gevolgen van de fosfaatgebruiksnormen op lange termijn voor gras- en bouwland. De stand van zaken worden gegeven en kennisleemten worden gesignaleerd. Dit rapport meldt een selectie van observaties bij het meetprogramma. Het is geen documentatierapport. De bewerkingen met analyse op basis van empirische en/of mechanistische concepten worden in andere publicaties gerapporteerd.

Samenvatting

Het gebruik van fosfaat op gras- en bouwland staat volop in de belangstelling nu het stelsel van gebruiksnormen in 2006 van kracht geworden is. Het voornemen om per 2015 evenwichtsbemesting in te voeren, heeft geleid tot maatschappelijke onrust. Landbouwers en veehouders vrezen dat evenwichtsbemesting op termijn zal leiden tot een vermindering van opbrengst en kwaliteit.

Het stelsel van gebruiksnormen leidt tot een verminderd gebruik van fosfaat op gras- en bouwland. Het effect van verminderd fosfaatgebruik wordt onderzocht op veeljarige veldproeven op gras- en bouwland. Het onderzoek kent drie aandachtsvelden:

1. opbrengst en kwaliteit;
2. fosforconcentraties in het bodemvocht en
3. fosfaatfracties in de bodem.

In dit rapport worden de algemene observaties van intensieve meetprogramma's in de periode 2002-2006 beschreven. De stand van zaken voor grasland en voor bouwland wordt aan de hand van deze drie aandachtsvelden gegeven. De ontbrekende kennis wordt gesignaleerd en als aanbeveling voor onderzoek gegeven.

1. Opbrengst en kwaliteit

Grasland

Bij de veeljarige veldproef op vier locaties op grasland werd de eerste 5 à 8 jaar (locatie afhankelijk) geen differentiatie in opbrengst gevonden als gevolg van de aangelegde fosfaatoverschotten. Pas de laatste jaren, vooral de laatste twee jaar, treedt differentiatie in opbrengst op. Hoe hoger het overschot, hoe groter het verschil met strikte evenwichtsbemesting (overschot is gelijk aan 0) wordt. Strikte evenwichtsbemesting bij ruim voldoende fosfaattoestanden geeft lagere opbrengsten ten opzichte van overschotten van 20 of 40 kg P₂O₅/ha/jaar. De stikstofoverschotten leiden sneller tot differentiatie in opbrengst: hoe hoger de stikstofgift, hoe hoger de opbrengst en kwaliteit (N-gehalte). Er worden in het algemeen dalende tendensen in opbrengst en kwaliteit bij de meeste behandelingen vastgesteld.

De drogestofproductie begint te reageren op fosfaatoverschot, op de zand- en veenlocaties is de drogestofopbrengst al 0,6 ton drogestof/ha kg drogestof per ha lager bij evenwichtsbemesting dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar.

Het P-gehalte van het gras daalt bij evenwichtsbemesting en nadert de (weliswaar zeer veilige) norm voor ruwvoer voor melkvee (3-3,5 g per kg drogestof).

Bouwland

De opbrengst van akkerbouwgewassen reageert niet of niet altijd op fosfaatbemesting maar wel enigszins op fosfaattoestand. De resultaten van het onderzoek op bouwland wijzen op 'luxe consumptie' van fosfaat; dat wil zeggen dat er wel significante hogere fosfaatopname is bij hogere fosfaatgiften gekoppeld aan

hogere fosfaattoestanden. Deze hogere fosfaatopname leidt echter niet tot hogere opbrengsten.

Kwaliteitsverschillen in het geoogste product als gevolg van verschil in fosfaatbemesting/fosfaattoestand van de grond worden ook nog niet vastgesteld.

Door jarenlang geen fosfaatbemesting te geven wordt een fosfaattoestand bereikt met de waardering *laag*. Bij die lage waardering kan tot 10% lagere opbrengst verkregen worden t.o.v. behandelingen die leiden tot voldoende of hogere fosfaattoestanden. Er tekenen zich tendensen af. Hogere fosfaatbemestingen resulteren in hogere fosfaattoestanden en dit leidt tot hogere opbrengsten; strikte evenwichtsbemesting leidt tot hogere opbrengsten in vergelijking tot geen fosfaatbemesting. Deze tendensen zijn echter statistisch doorgaans nog niet significant. Het verschil in opbrengst tussen onbemeste percelen en behandelingen met fosfaatbemesting wordt in de tijd niet groter en is waarschijnlijk gerelateerd aan het op peil blijven van de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal. Er is sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie.

2. Fosforconcentratie in het bodemvocht

Grasland

Over een langere periode werden geen effecten vastgesteld van de aangelegde fosfaatoverschotten op de fosforgehalten (totaal-P en ortho-P) in de bodemoplossing op verschillende diepten onder grasland. De gehalten zijn gerelateerd aan de fosfaattoestand. Echter het weglaten van enige fosfaatbemesting (uitmijnen) levert direct resultaat: het fosforgehalte gaat drastisch omlaag. Pas de laatste jaren (2 à 4) wijzen de resultaten op een mogelijke differentiatie in fosforgehalten in bodemvocht door aangelegde overschotten: hoe hoger het overschot hoe hoger de gehalten zijn. Onderscheid in bodemchemische kenmerken tussen de locaties werken nog niet aantoonbaar door in een effect op de concentratie in het bodemvocht onder grasland. Er is wel een effect van de fosfaatmeststofvorm. Natuurfosfaat leidt tot lagere gehalten t.o.v. tripelsuperfosfaat. Dit effect kan echter ook benoemd worden als een effect van de fosfaattoestand. Er is geen effect van de stikstofbehandelingen op het fosforgehalte in het bodemvocht.

Bij een voldoende fosfaattoestand (PAL-getal 35 mg P₂O₅/100 g) is er een aanwijzing dat een fosfaatoverschot van 10 kg P₂O₅/ha/jaar leidt tot een verhoging van het fosforgehalte van 0,05 mg P/L. Dit komt overeen met circa 0,35 kg fosfaat/ha extra fosfaatuitspoeling. Er is sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie en van een grote seizoensvariatie.

Bouwland

Ook bij bouwland is er sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie. Bij gelijk fosfaatoverschot wordt in Lelystad een veel hoger fosforgehalte vastgesteld dan bij Marknesse. Beide locaties betreffen kalkhoudende zavel. Het is nog niet duidelijk waardoor de bodems van deze locaties zo verschillend gedragen. Ook op bouwland leidt het weglaten van enige fosfaatbemesting direct tot resultaat: het fosforgehalte in het bodemvocht daalt drastisch. De meststofvorm beïnvloedt de fosforgehalten in het bodemvocht. Fosfaatvormen die niet het Pw-getal in de tijd doen verhogen (natuurfosfaat) geven lage fosforgehalten in het bodemvocht.

3. Fosfaatfracties in de bodem

Alle methoden van grondonderzoek brengen een onderscheid aan tussen de aangelegde fosfaatoverschotten. De gevolgen voor de fosfaattoestand (Pw-getal, PAL-getal, P_{ox} , P-totaal, P_i , P-CaCl₂) door aangelegde behandelingen worden dus geregistreerd maar er zijn er grote verschillen in reactie op de aangelegde overschotten tussen de locaties op gras- en bouwland.

Grasland

Het gedrag van fosfaat in de zandgronden verschilt van die bij veen en klei. Een hoger overschot leidt tot hogere waarden. De verschillen in bodemvruchtbaarheid, uitgedrukt in PAL-getal en Pw-getal, tussen evenwichtsbemesting en een overschot van 20 en 40 kg P₂O₅/ha/jaar nemen toe in de loop van de jaren. Er is veel jaar-tot-jaar variatie. Ondanks die grote variabiliteit blijkt dat bij strikte evenwichtsbemesting de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal of PAL-getal daalt. Er is een overschot nodig om deze daling af te remmen of te voorkomen en om de fosfaattoestand op een voldoende niveau te houden of te doen stijgen. Die hoeveelheid varieert per locatie (20 à 30 kg P₂O₅/ha bij een waardering *ruim voldoende*). De daling treedt in hoofdzaak in de bodemlaag 0-5 cm (zode) op, en in mindere mate in de bodemlaag 5-10 cm. Daaronder liggende bodemlagen worden nog niet wezenlijk beïnvloed door de aangelegde behandelingen. De daling is nog niet gestabiliseerd. De resultaten geven nog geen uitsluitsel op welk termijn een evenwicht bereikt wordt.

De fracties bepaald met ammoniumoxalaat-oxaalzuur (P_{ox}) dalen gedurende de periode van de proefuitvoering. De Totaal-P-gehalten nemen over het algemeen toe bij toenemende overschotten. De veranderingen in P_{ox} en Totaal-P zijn groter dan tot uitdrukking komt in de bodemvruchtbaarheidsindices. Dat betekent dat er veranderingen in fosfaatfracties in de bodemlagen optreden, die niet of althans nog niet zeer nadrukkelijk tot uitdrukking komen in de bodemvruchtbaarheidsindices. Dit geeft een risico als het beloop in de fosfaattoestand louter gevolgd wordt met standaard bodemvruchtbaarheidsindices. Het lot van het fosfaatoverschot kan dan namelijk niet worden vastgesteld.

Bouwland

Om de fosfaattoestand op de uitgangswaarde te handhaven, is eveneens meer fosfaat nodig dan gegeven wordt met strikte evenwichtsbemesting. Indicatieve waarden zijn 10 à 20 kg P₂O₅/ha/jaar bij een voldoende tot ruim voldoende fosfaattoestand.

Hoge fosfaatoverschotten, die over een periode van meer dan 30 jaar aan de bouwvoor werden toegediend, worden maar gedeeltelijk teruggevonden in een wijziging van de fosfaattoestand (Pw-getal, PAL-getal). Recente overschotten verhogen wel de fosfaattoestand; fosfaatoverschotten die langdurig in de bodem verblijven hebben geen relatie meer met wijzigingen in de fosfaattoestand (Pw-getal, PAL-getal). Dit wijst onder andere op de vorming van fosfaatvormen die niet met de extractiemethoden voor Pw-getal of PAL-getal vastgesteld kunnen worden. Dat is een aanwijzing voor de vorming van gewasonbeschikbare fosfaatvormen.

De profielbemonstering van 2002 wijst uit dat fosfaat in hoofdzaak in de vorm van een blokfront in de bodem onder bouwland ophoopt bij overschotten. De bodemlagen direct onder de bouwvoor worden echter beïnvloed door aangelegde overschotten. Bij evenwichtsbemesting is de fosfaattoestand hoger dan bij negatieve fosfaatoverschotten maar lager bij positieve fosfaatoverschotten. Kennelijk wordt een deel van de hoeveelheid fosfaat dat nodig is om de fosfaattoestand op het uitgangsniveau te houden met gewaswortels en bodemleven uit de bouwvoor naar dieper gelegen bodemlagen getransporteerd.

Afhankelijk van het regime worden bodemfracties op- en afgebouwd. Er is geen sprake van een evenredige op- of afbouw met het aangelegde fosfaatoverschot bij Marknesse en Wijster, maar wel bij Lelystad. Bij uitmijnen worden andere bodemfracties uitgemijnd dan er worden opgebouwd in geval van een positieve fosfaatbalans en bij een negatieve fosfaatbalans wordt fosfaat naar de bouwvoor getransporteerd.

Leemten in kennis en onderzoeksaanbevelingen

De resultaten van het onderzoek met de veeljarige veldproeven over de periode 2002-2007 wijzen uit dat een verlaging van het fosfaatgebruik tot een gift die gelijk is aan de afvoer met het gewas op de lange termijn leidt tot een lagere opbrengst. Bij grasland kan dat tevens leiden tot een verminderde kwaliteit door een lager fosforgehalte in de drogestof. De effecten van een reductie in het gebruik van fosfaat blijken sneller zichtbaar te worden bij de veldproef op grasland dan bij veldproeven op bouwland. Voortzetting van de veeljarige veldproeven is nodig om deze tendensen robuuster vast te kunnen stellen.

Het onderzoek wijst op het belang van de bijdrage van de bodemlagen onder de bouwvoor. Op termijn zal naar verwachting dat ook gaan gelden voor bodemlagen onder de graszode voor de fosfaatvoorziening van het gewas. Voortzetting van de veldproeven zal de betekenis van deze bodemlagen onder de zode of bouwvoor kunnen vaststellen.

De bodemvruchtbaarheidsindices, die op grasland en bouwland gebruikt worden voor bemestingsadviezen, geven maar gedeeltelijk uitsluitsel over de gevolgen van wijzigingen in de fosfaatbodembalans door aangelegde fosfaatoverschotten (positief of negatief). Een verlaging van het fosfaatgebruik geeft snel een verlaging van de fosforconcentraties in bodemvocht. Het effect op de lange termijn van gereduceerd fosfaatgebruik op de fosfaatbodemfracties is nog onvoldoende duidelijk. De wijzigingen in de tijd van deze bodemfracties vraagt aanvullend onderzoek naar de sorptiekarakteristieken van grond voor fosfaat.

1 Inleiding

In 2006 is het stelsel van gebruiksnormen in Nederland van kracht geworden. Dit stelsel stelt een maximum aan de hoeveelheid meststoffen die op een landbouwbedrijf gebruikt mogen worden. Er zijn gebruiksnormen voor dierlijke mest, stikstof en fosfaat. In 2008 geldt een fosfaatgebruiksnorm van 100 kg P_2O_5 /ha voor grasland en 85 kg P_2O_5 /ha voor bouwland. Deze gebruiksnormen worden in de tijd aangescherpt. De gebruiksnorm geldt voor alle bronnen van fosfaat. Met dierlijke mest mag op bouwland jaarlijks maximaal 85 kg P_2O_5 /ha worden aangevoerd en op grasland mag de gehele gebruiksnorm opgevuld worden met dierlijke mest. Voor stikstof geldt een gedifferentieerd stelsel van gebruiksnormen welke gebaseerd is op de stikstofbemestingsadviezen. De Nitraatrichtlijn legt een maximum aan het gebruik van dierlijke mest op van 170 kg N/ha. De Nitraatrichtlijn staat toe dat hiervan wordt afgeweken mits dat gemotiveerd wordt met objectieve criteria. Het Nederlandse verzoek voor een dergelijke derogatie voor 250 kg N/ha/jaar voor bedrijven met minimaal 70% grasland is gehonoreerd. De Europese Commissie heeft bij het verlenen van deze derogatie voor N tevens een voorwaarde gesteld. Vanaf 2015 moet de fosfaatbemesting afgestemd zijn op evenwichtsbemesting. Welke begripsomschrijving aan evenwichtsbemesting wordt gegeven is nog niet duidelijk. Aanvankelijk werd met evenwichtsbemesting aangegeven dat de aanvoer van fosfaat met bemesting gelijk dient te zijn aan de afvoer met gewassen; dit is strikte evenwichtsbemesting. Alternatieve begripsomschrijvingen waarbij zowel fosfaat-afvoer als mede de hoeveelheid fosfaat die nodig is om de fosfaattoestand op een zeker bodemvruchtbaarheidniveau te handhaven worden in verschillende context ook gegeven.

Invoering van dit stelsel van gebruiksnormen in 2006 heeft in de praktijk zorg opgeroepen over een mogelijke teruggang in de opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen. Dit vormt de directe aanleiding voor dit onderzoek. De gevolgen van gereduceerd fosfaatgebruik bij een vorm 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 namelijk nog niet concreet aan te geven.

Statistische analyse van gegevens van veeljarige veldproeven in 1995 heeft uitgewezen dat strikte evenwichtsbemesting op termijn leidt tot een teruggang in de fosfaattoestand tot een niveau die voor een aantal landbouwgewassen (vooral fosfaatbehoefte gewassen zoals vollegrondsgroenten en hakvruchten) als suboptimaal wordt ervaren (Ehlert e.a., 1995). De fosfaattoestand is daarbij afgeleid uit de in 1994 gangbare bodemvruchtbaarheidsindices Pw-getal en PAL-getal. Deze analyse geeft een gemiddeld beeld voor veranderingen in de fosfaattoestanden per jaar, maar houdt geen rekening met specifieke bodemkenmerken of met resteffecten op de lange termijn. De analyse geeft schattingen voor de hoeveelheid fosfaat welke nodig is om de initiële fosfaattoestand te handhaven. Die schattingen hebben een grote mate van onzekerheid (grote betrouwbaarheidsintervallen). De onzekerheid is

mede een gevolg van het ontbreken in deze statistische analyse van bodemchemische parameters die het gedrag van een fosfaatoverschot in de bodem bepalen. Niet alleen onderzoek met gegevens van veldproeven maar ook praktijkgegevens toonden een grote bandbreedte aan in de hoeveelheid fosfaat die nodig was om de fosfaattoestand op gras- en bouwland te handhaven (Oenema & Van Dijk, 1994).

De onzekerheid over het fosfaatoverschot, dat nodig is om een bepaalde waarde van de fosfaattoestand te handhaven¹, heeft tot onderzoek geleid naar de orde van grootte van het benodigde fosfaatoverschot en de bodemprocessen die het lot van fosfaat in de bodem onder gras- en bouwland bepalen (Salm & Schoumans, 2000; Ehlert e.a., 2003; Van Middelkoop e.a., 2004).

De effecten van verschillende fosfaatoverschotten (strikte evenwichtsbemesting als mede positieve en negatieve overschotten) op opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen (bouwland en grasland) en op fosfaatfracties in de bodem worden onderzocht op veeljarige veldproeven. Achtergronden met probleemstellingen en onderzoeksdoelen zijn gegeven door Salm & Schoumans (2000), Ehlert e.a. (2003), Van Middelkoop e.a. (2004).

Stochastische en mechanistische modelberekeningen geven in grove lijnen aan welke effecten fosfaatevenwichtsbemesting op lange termijn zal hebben op de gewasopbrengst, - kwaliteit en verliezen naar het milieu (Salm & Schoumans, 2000; Schröder & Corré, 2000; Van Middelkoop e.a., 2004, Van Middelkoop e.a., 2007). 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. Dit rapport geeft een voortgangsrapportage over het onderzoek met veeljarige veldproeven op grasland en bouwland.

De aandachtsvelden van het onderzoek zijn opbrengst en kwaliteit en de fosfaatbodembalans. Bij de fosfaatbodembalans wordt het effect van aangelegde behandelingen op wijzigingen in fosfaatuitspoeling en fosfaatfracties in de bodem onderzocht. De vragen bij deze aandachtsvelden 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 zijn deze risico's van een gebruiksnorm voor fosfaat afgestemd op (strikte) evenwichtsbemesting afhankelijk van de bemestingshistorie en de verdeling van fosfaatfracties in de bodem en welke betekenis heeft deze verdeling voor effecten op de lange termijn?

¹ Aanvankelijk onvermijdbaar fosfaatverlies genoemd, later fosfaatverliesnorm.

Tot de projectactiviteiten behoren:

1. Meten van de landbouwkundige effecten van een traject aan gebruiksnormen op grasland voor stikstof en fosfaat onder praktijkomstandigheden op verschillende grondsoorten: grasproductie, - kwaliteit, bodemvruchtbaarheid en botanische samenstelling;
2. Meten van de landbouwkundige effecten van een traject van gebruiksnormen op bouwland voor fosfaat onder praktijkomstandigheden op verschillende grondsoorten: productie, kwaliteit en bodemvruchtbaarheid;
3. Meten van ophoping en uitmijnen van fosfaatfracties in de bodem onder de regiems van de verschillende gebruiksnormen;
4. Meten van P verliezen via vastlegging in de bodem en uit- en afspoeling bij een traject van overschotten voor stikstof en fosfaat onder praktijkomstandigheden op verschillende grondsoorten;
5. Risico-analyse van lange termijn effecten van verschillende gebruiksnormen op opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen (stochastisch);
6. Risico-analyse van lange termijn effecten van verschillende gebruiksnormen op fosfaattoestand en fosfaatfracties in de bodem en fosfaatmobiliteit (stochastisch en conceptueel) in verschillende bodemlagen (vertikaal vlak);
7. Leveren van dataset t.b.v. validatie van modelinstrumenten voor berekenen van effecten van mestbeleid.

Deze voortgangsrapportage geeft de resultaten van onderzoek van de periode 2005-2006 voor grasland en 2002-2007 voor bouwland voor zover data beschikbaar zijn. De rapportage vervolgt de rapportages van Ehlert e.a. (2003) en Van Middelkoop e.a. (2004 en 2007). In het kader van dit project en haar voorgangers zijn wetenschappelijke artikelen, rapporten, vakbladartikelen en andere vormen van kennisoverdracht verschenen. Bijlage 1 geeft hiervan een overzicht.

Het rapport is als volgt ingedeeld. Hoofdstuk 2 geeft de opzet en uitvoering van de veeljarige veldproeven. Hoofdstuk 3 gaat in op de effecten van verschillende fosfaat- en stikstofoverschotten op opbrengst en kwaliteit van grasland en de fosfaatafvoer. Tevens wordt ingegaan op effecten van fosfaatoverschotten op de fosfaattoestand van zode en daaronder gelegen bodemlagen en de verdeling over verschillende fosfaatfracties. Hoofdstuk 4 gaat in op de effecten van fosfaatoverschotten op opbrengst en kwaliteit van akkerbouwgewassen, de fosfaatafvoer en het beloop van de fosfaattoestand in de tijd en als functie van het fosfaatoverschot. Tevens worden resultaten gegeven van een profielbemonstering waarbij verschillende fosfaatfracties bepaald zijn. Tot slot wordt ingegaan op de consequenties van de verschillende fosfaatoverschotten op de fosforconcentratie in het bodemvocht. Hoofdstuk 5 geeft een evaluatie van de stand van zaken, signaleert aandachtspunten voor vervolgonderzoek en een schets voor toekomstige ontwikkelingen op de veldproeven wordt gegeven.

2 Proefopzet, uitvoering en metingen

2.1 Grasland

2.1.1 Opzet

In het najaar van 1996 is de grasproef op vier locaties aangelegd. Op de zandgrond van Aver Heino en van Cranendonck, de jonge zeeklei van de Waiboerhoeve te Lelystad en de veengrond te Zegveld zijn 6 behandelingen aangelegd: drie fosfaatoverschotten: 0, 20 en 40 kg P_2O_5 /ha/jaar (respectievelijk P00, P20 en P40), twee stikstofoverschotten: 180 en 300 kg N/ha/jaar (respectievelijk N180 en N300) en vanaf 2002 is er een (7^e) behandeling met een gift van 300 kg N/ha zonder fosfaatbemesting (negatief fosfaatoverschot 100 kg P_2O_5 /ha (N300-P-100)) aangelegd. Gedetailleerde informatie over de opzet en uitvoering over de periode 1996-2004 is gegeven door Van Middelkoop e.a. (2004 & 2007).

2.1.2 Meetprogramma

Gedetailleerde informatie over het meetprogramma wordt gegeven door Van Middelkoop e.a. 2004 & 2007.

2.2 Bouwland

2.2.1 Opzet

De veeljarige veldproeven op bouwland zijn aangelegd op drie locaties: Lelystad, Marknesse en Wijster. De veldproeven hebben als behandeling (factor) fosfaatgift en/of fosfaattoestanden.

De toestandenveldproef P1801 te Lelystad werd in het najaar van 1986 aangelegd. Van 1987-1990 zijn door verschillende fosfaatbemestingen met tripelsuperfosfaat verschillende fosfaattoestanden (P1, P2, P3 en P4) tot stand gebracht. Die toestanden worden met verschillende fosfaatgiften op niveau gehouden. De veldproef heeft vier herhalingen. De veldproef is in het voorjaar van 2005 per fosfaattoestand opgesplitst in een deel waar de fosfaatgiften gecontinueerd zijn en een deel dat geen fosfaat meer ontvangt (uitmijnen). Op de bemeste veldjes werden in 2005 dezelfde hoeveelheden fosfaat gegeven als die in voorgaande jaren, n.l. 0, 70, 140 en 280 kg P_2O_5 /ha voor respectievelijk de fosfaattoestanden P1, P2, P3 en P4. Vanaf 2006 is bij P1 op de helft van de veldjes de 0 gift vervangen door een gift van 70 P_2O_5 /ha. Een totaal overzicht van de toegediende hoeveelheden en het geteelde gewas per jaar is opgenomen in bijlage 2. In de periode 2002 t/m 2007 zijn respectievelijk de gewassen doperwt, zomergerst, zaaiui, aardappel, suikerbiet en wintertarwe geteeld.

Na waterschade in 2005 is het proefveld in najaar 2006 opnieuw gedraineerd. Tussen de bestaande drains werden zonder profielverstoring nieuwe drains gelegd.

De hoeveelheden veldproef IB0013 werd in 1972 te Marknesse aangelegd. Tot 1986 werden giften van 0, 80, 160 of 240 kg P₂O₅/ha toegediend als superfosfaat of als Rhenania (gloeifosfaat). Na 1986 werden de behandelingen met Rhenania gestopt en op nawerking gelegd (uitmijnen). Dat wil zeggen dat deze objecten gelijk behandeld werden als overige objecten maar dat er geen fosfaat meer werd toegediend. In het najaar van 1990 werden de veldjes met deze behandeling gebruikt voor het aanleggen van behandelingen met strikte evenwichtsbemesting (aanvoer is afvoer (=M)) of een veelvoud daarvan (respectievelijk 2M of 3M). De behandeling zonder fosfaatbemesting ligt in acht herhalingen, de behandeling met fosfaat in vier herhalingen. Op deze veldproef wordt een volledig meetprogramma uitgevoerd.

De toestanden-hoeveelheden veldproef IB0016 werd in 1971 te Marknesse aangelegd. De proef heeft verschillende onderzoeksdoeleinden gediend. De proefopzet is daardoor gedurende de periode 1971-1997 in opzet en uitvoering gewijzigd. Door die verschillende behandelingen zijn verschillen in fosfaatoverschotten ontstaan waardoor een bereik in fosfaattoestanden is ontstaan. Vanaf de periode 1998 worden die toestanden op de helft van de veldjes gehandhaafd met jaarlijkse giften van 70 of 100 kg P₂O₅/ha als tripelsuperfosfaat. Op de andere helft wordt geen fosfaat meer gegeven. Deze behandelingen liggen over twee blokken verdeeld. Op deze veldproef worden uitsluitend de fosfaattoestanden van de bouwvoor (0-25 cm) in de tijd gevolgd.

De hoeveelheden-fosfaatvormen veldproef IB1920 te Wijster werd in 1972 aangelegd. De fosfaatvormen betreffen superfosfaat, slakkenmeel, thomaskali (mengsel van slakkenmeel en K60), Rhenania en natuurfosfaat (hyperfos). De giften superfosfaat zijn 45, 90, 180 of 240 kg P₂O₅/ha. De overige behandelingen hebben giften van 90 of 180 kg P₂O₅/ha. Bij superfosfaat zijn er behandelingen met najaars- en voorjaarsbemesting. Rhenania ligt vanaf 1988 op nawerking, d.w.z. dat deze objecten dezelfde behandelingen krijgen als overige objecten maar geen fosfaat meer ontvangen (uitmijnen). In 2000 is het aantal herhalingen teruggebracht van drie naar twee i.v.m. de verbreding van aangrenzende sloot. De behandeling zonder fosfaat ligt in viervoud.

Achtergronden en details van de bouwlandproeven wordt gegeven in Ehlert e.a. (2003).

2.2.2 Meetprogramma

Het meetprogramma gedurende de periode van verslaglegging bestond uit het bepalen van de opbrengst, de fosfaatafvoer en de fosfaattoestand van de bouwvoor. De methoden van onderzoek worden gegeven in Ehlert e.a. (2003).

In aanvulling op dit meetprogramma werden tevens een profielbemonstering van de bodemlagen 0-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, 40-50 cm, 60-80 cm (Lelystad), 80-100 cm (Lelystad) of 60-100 cm (Marknesse, Wijster) uitgevoerd in 2002 na de oogst. De grondmonsters werden geanalyseerd:

- pH-H₂O: 1:5 (V/V) extractie van grond met water (Houba e.a., 1995);
- P_{1,2}: 1:2 (W/V) extractie van grond met water (Sonneveld e.a., 1990);
- Pw-getal, incl. gew: 1:60 (V/V) extractie van grond met water (Sissingh, 1971);
- PAL-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 ammoniumoxalaat-oxaalzuur (Schwertmann, 1964)
- desorptie-isotherm: cumulatieve Pi bepaling op basis van 14 tijdstappen. De Pi-bepaling berust op de extractie van P met een ijzerhydroxide-geïmpregneerd filterpapiertje conform Sissingh (1983). Als achtergrondelektrolyt is 0,005 M CaCl₂ gebruikt. Papiertjes werden op veertien tijdstappen vervangen: na 4, 8, 24, 48, 72, 144, 192, 240, 312, 360, 408, 480, 528 en 576 uur;
- totaal P: destructie met zwavelzuur, salicylzuur, peroxide en seleen volgens Houba e.a. (1997).

Chemisch grond- en gewasonderzoek zijn bij de veldproef te Lelystad uitgevoerd door het Blgg te Oosterbeek. Dit laboratorium is geaccrediteerd.

Het chemisch grond- en gewasonderzoek bij de veldproeven te Marknesse en Wijster is tot 1998 uitgevoerd door het Centraal laboratorium van het voormalige Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren. Vanaf 1998 zijn de bepalingen uitgevoerd door laboratoria van WUR (PRI, Centrum Bodem). Al het chemisch grondonderzoek is uitgevoerd door het CBLB van Centrum Bodem. De voorbehandeling van de grondmonsters en de analyses werden uitgevoerd door het CBLB van WAG-UR Centrum Bodem. Alterra volgt het ISO 9001 kwaliteitssysteem. CBLB heeft tevens een interne kwaliteitszorg en een externe kwaliteitscontrole via WEPAL.

Daarnaast werd in geselecteerde behandelingen in het winterseizoen van 2004/2005 en 2005/2006 bodemvocht bemonsterd op 35 cm en 75 cm diepte (Lelystad en Marknesse) of 140 cm diepte (Wijster). Kunstwortels of Rhizon sms (*soil moisture samplers*) werden op de aangegeven diepte geplaatst. Op de gewenste bemonsteringstijdstippen werd met een injectiespuit onderdruk aangebracht. De dag daarop werd het zo in de injectiespuit verzamelde bodemvocht bemonsterd. 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).

2.2.3 Bewerkingen

Bewerkingen berusten op REML analyses bij grasland. De verantwoording wordt gegeven door Middelkoop e.a. (2007). Bij de veldproeven op bouwland volgt de analyse van de variantie (ANOVA) de proefopzet. De kleinste significante verschillen

worden als LSD-waarden gegeven. Getoetst is bij onbetrouwbaarheidsdrempels kleiner dan 0,05.

Resultaten van het meetprogramma op grasland aan het bodemvocht zijn geanalyseerd met lineaire regressiemodellen. Toetsing van verbanden volgt standaard de F-grootheid en t-toets. Uitspraken betreffende de significantie van overschrijdingskansen volgen de standaard (Oude Voshaar, 1994)

3 Grasland

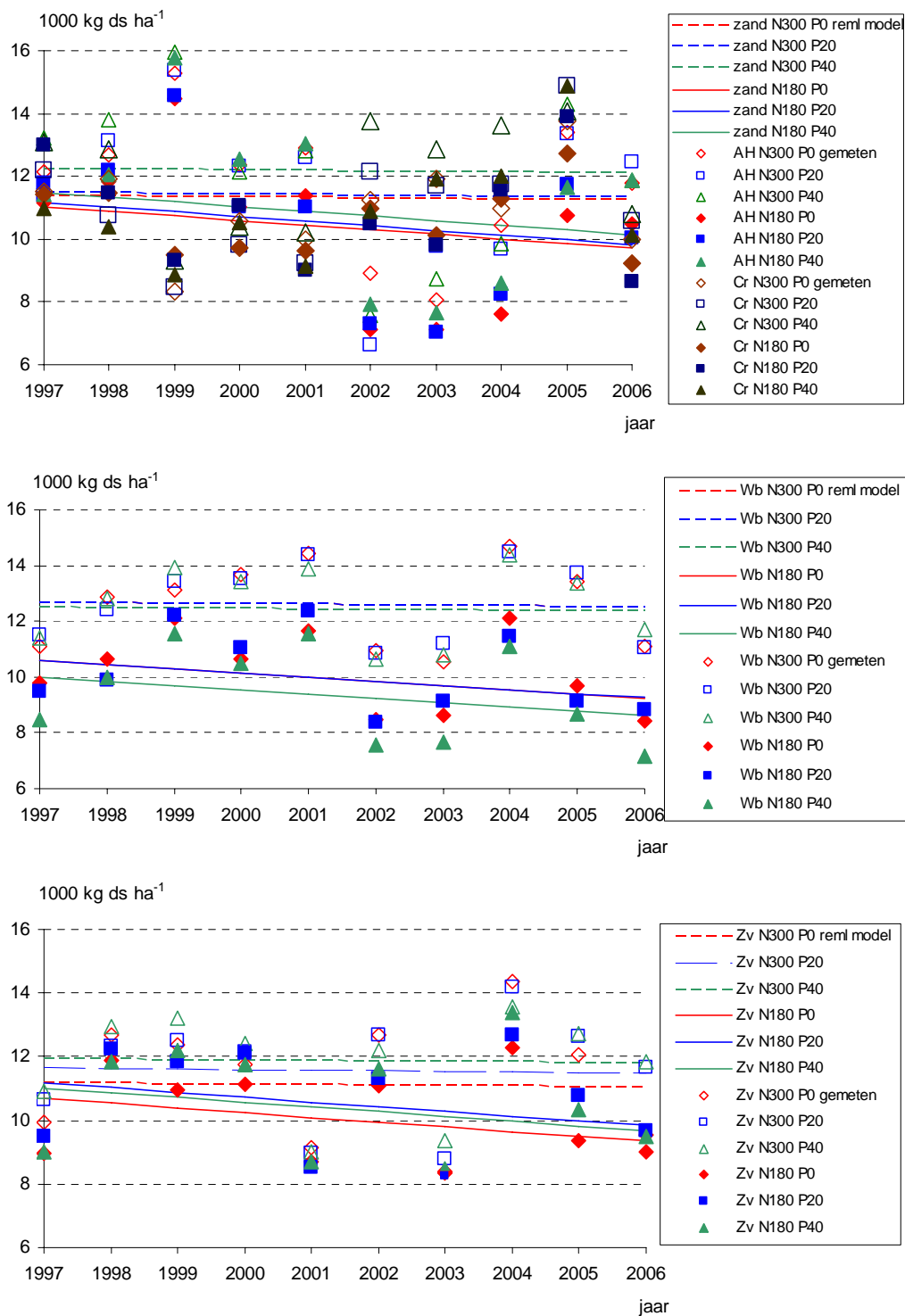
3.1 Opbrengsten

Het verloop van de totale drogestofopbrengst over de jaren en de uitkomsten van de statistische analyse met het REML -model zijn per locatie en per object weergegeven in figuur 1. Het verloop van de drogestofopbrengst van het gras over de jaren is grillig en de verschillen tussen jaren en locaties zijn groter dan tussen de behandelingen. De effecten van de behandelingen zijn echter statistisch goed te onderscheiden.

De verschillen in opbrengst tussen de grondsoorten zijn significant, de verschillen tussen de beide locaties op de zandgronden (Aver Heino en Cranendonck) niet. De zandlocaties reageren in drogestofopbrengst vooralsnog vergelijkbaar ondanks een verschil in beheer (gangbaar versus biologisch).

Op alle grondsoorten is er significant verschil in drogestofopbrengst tussen de N-overschotten en de P overschotten. Het N300-object geven, zoals verwacht, een hogere drogestofopbrengst dan het N180-object. Op de zand- en veenlocaties bedraagt dit verschil 1 ton/ha, op de kleilocatie 2,8 ton/ha. De drogestofopbrengst op de zand- en veenlocaties is bij strikte evenwichtsbemesting (P00) gemiddeld 0,6 ton/ha lager dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar (P40). Het verschil varieerde tussen 3,2 % en 7,5 % van de gemiddelde opbrengst bij P40 (per locatie, gemiddeld over de jaren). In de statistische analyse tot en met 2004 was dit verschil kleiner, namelijk 0,4 ton/ha. Deze significant vastgestelde opbrengstderving begint door de beperkte P-voorziening van het gras nu groter te worden. De verwachting is dat deze opbrengstderving in de komende jaren zal toenemen.

Wanneer deze opbrengstderving door krachtvoer opgevangen wordt, kost dit ongeveer 0,10 € per kg drogestof op basis van de krachtvoerprijzen van afgelopen vijf jaar. (pm. G. Rammelink, 2007, ASG). Dit betekent nu al een inkomensderving van ca. € 60 per ha, ca. € 3000,- op een melkveebedrijf met 50 ha grasland.



Figuur 1. Drogestofopbrengst (ton ds/ha) gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2006 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld). NB bij Wb liggen de rode (P0) en blauwe (P20) lijnen over elkaar.

3.2 N- en P-gehalten van het gras

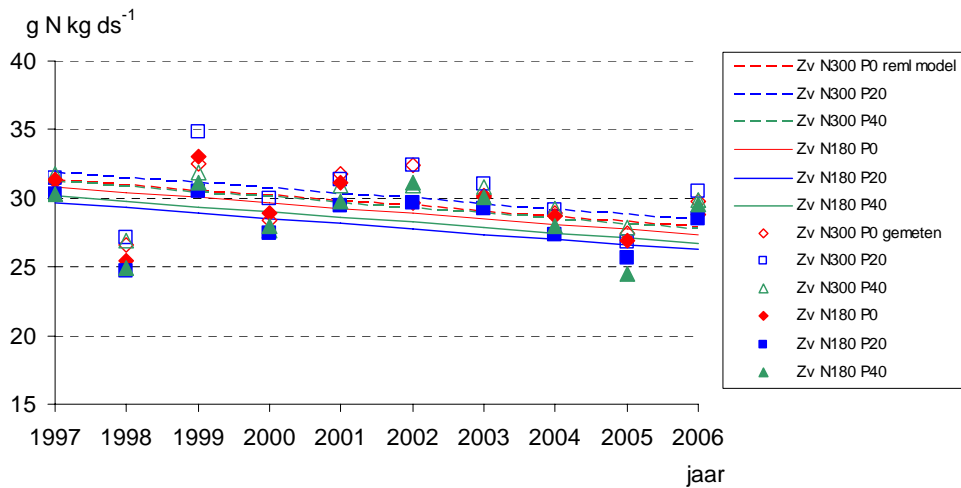
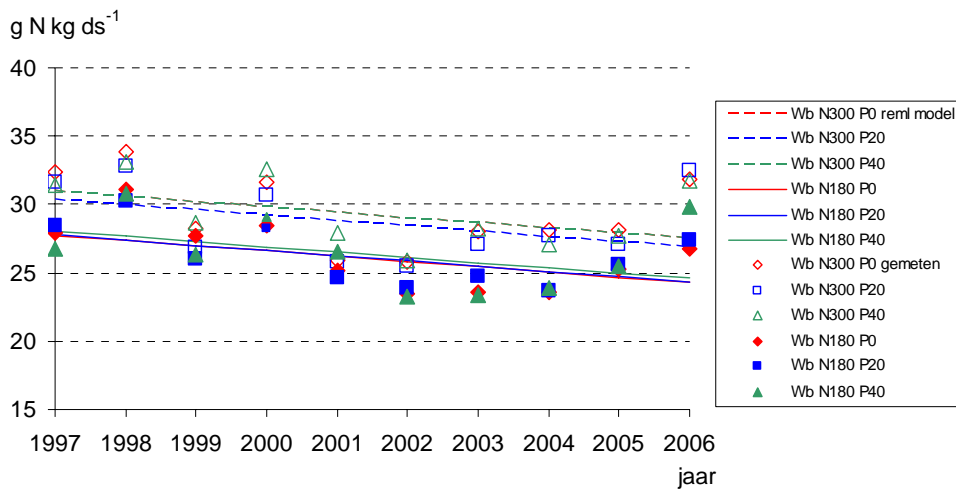
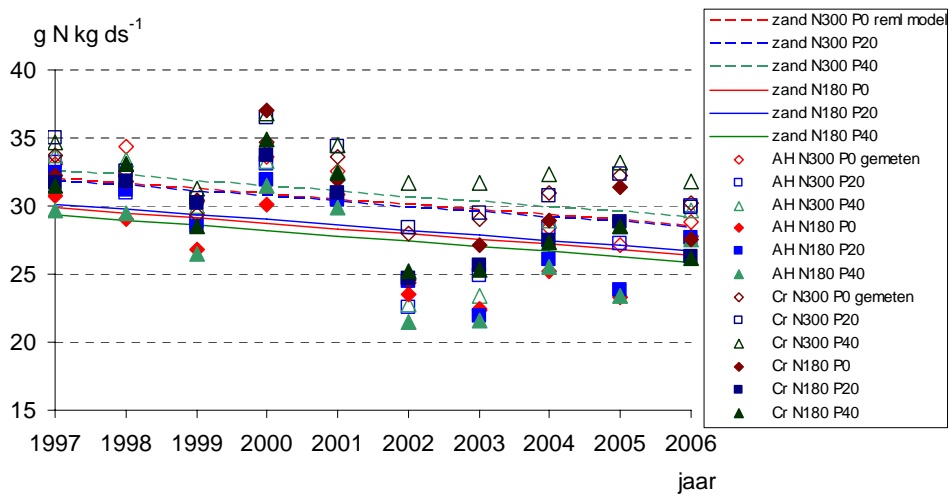
De gemeten en de met REML voorspelde N- en P-gehalten van het gras zijn per locatie en per object weergegeven in respectievelijk figuur 2 en figuur 3. Vergelijkbaar met de drogestofopbrengsten zijn de N- en P-gehalten van het gras over de jaren grillig en zijn de verschillen tussen jaren en locaties groter dan tussen de behandelingen.

Op alle grondsoorten is het N-gehalte significant hoger naarmate het N-overschot hoger is en is er een significant negatieve trend van het N-gehalte bij voortschrijdende duur van de proef.

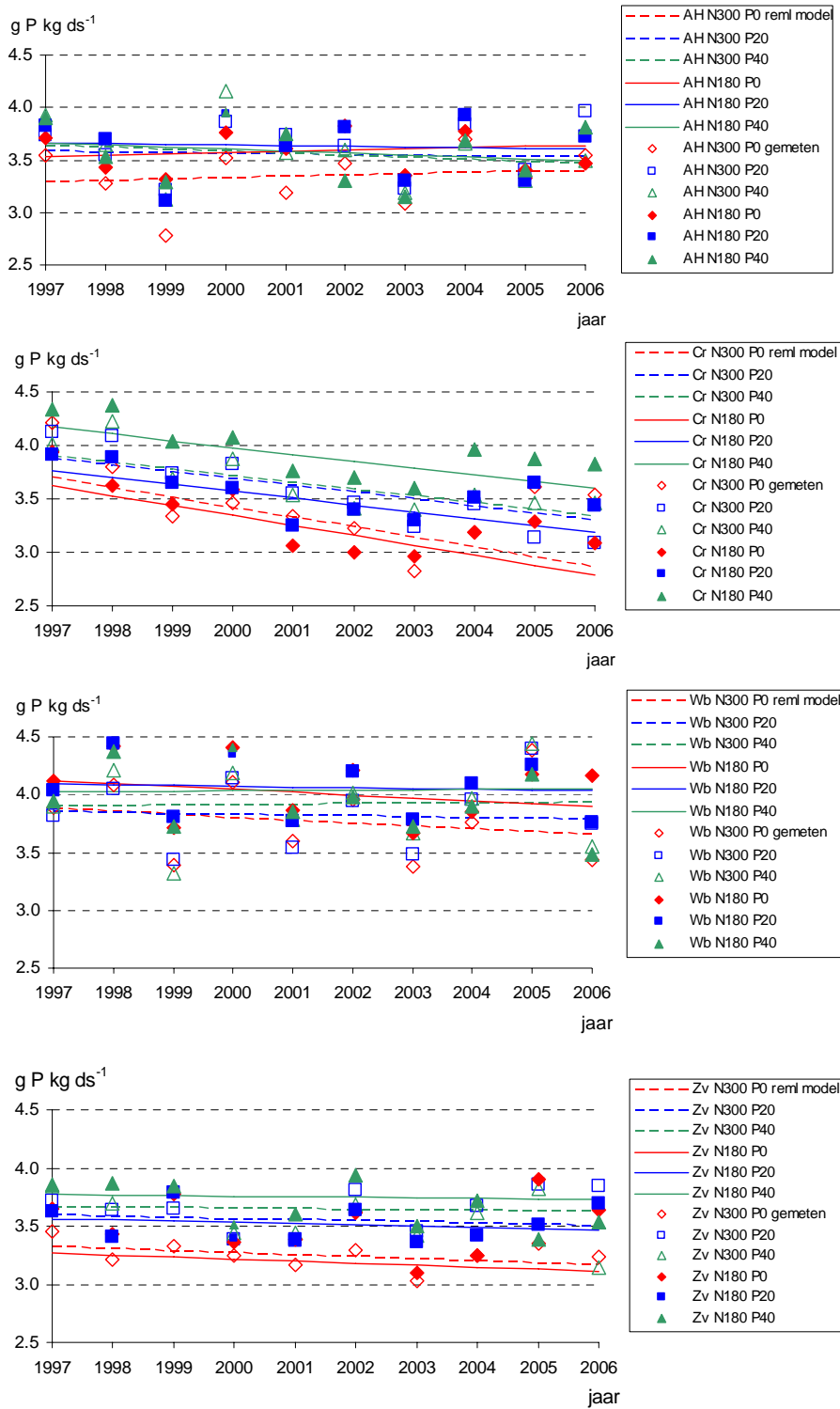
De verschillen tussen de grondsoorten zijn significant. Op Waiboerhoeve worden de laagste gehalten gevonden. De verschillen tussen de beide zandgronden zijn niet significant. Er is geen systematische invloed van het P-overschot op het N-gehalte van het gras. Zoals in figuur 3 te zien is, is het niet steeds hetzelfde P-overschot waarbij het hoogste (of laagste) N-gehalte wordt gevonden.

De verschillen in P-gehalte van het gras tussen de grondsoorten zijn significant. Tevens werd er een significant verschil in P-gehalte tussen Aver Heino en Cranendonck (beide zandgrond) gevonden; de gehalten op Cranendonck zijn hoger dan die op Aver Heino. De beide zandlocaties zijn daarom in figuur 3 apart weergegeven.

Op alle locaties reageert het P-gehalte van het gras op de P-overschotten. Het P-gehalte is hoger naarmate het overschot hoger is. Er is wel enig verloop in reactie over de jaren en tussen de locaties. In 1997 varieerde het P-gehalte van 3,3-4,4 g P/kg drogestof. Gemiddeld over de jaren en de locaties is het P-gehalte op P00 8,5% lager dan op P40. Dit varieert van 2% (Aver Heino) tot 14% (Cranendonck en Zegveld). De beide zandgronden reageren dus zeer verschillend op de beperking van de P-bemesting in het P-gehalte van het gras. Een hoger N-overschot veroorzaakt een lager P-gehalte op alle locaties. In 2006 is het verschil 10% (ten opzichte van P40 in 2006 per locatie), variërend van 0% (Aver Heino) tot 18% (Cranendonck). De P-gehalten dreigen op Cranendonck en op Zegveld onder het gewenste normgehalte van 3,0 – 3,5 g P/kg drogestof voor melkvee te raken.



Figuur 2. N-gehalte van het gras (g N/kg ds) gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2006 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld).

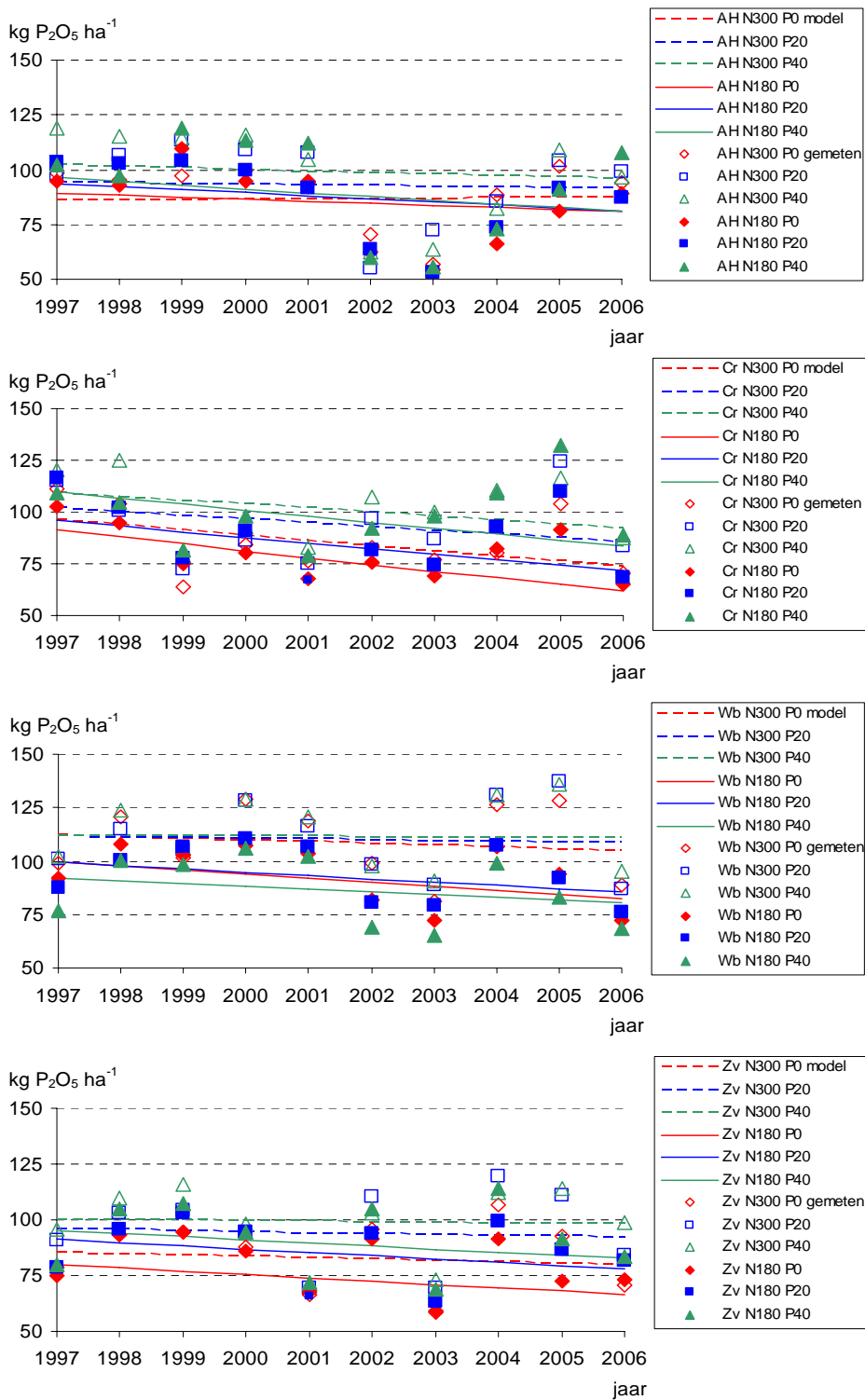


Figuur 3. P-gehalte van het gras (g P/kg ds) gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2006 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld).

3.3 Fosfaatopbrengst van het gras

De fosfaatopbrengst wordt berekend uit de som van de fosfaatopbrengsten per snede. Dit is niet gelijk aan de fosfaatafvoer omdat de sneden die geweid worden, grotendeels weer terugkomen op het gras via de weidemest. De gemeten resultaten voor de fosfaatopbrengst en de REML uitkomsten zijn weergegeven in figuur 4.

De reacties van de fosfaatopbrengst van het gras op het fosfaatoverschot van Cranendonck en Aver Heino zijn significant verschillend. In figuur 4 zijn ze daarom apart weergegeven. Op Cranendonck, Aver Heino en Zegveld is een significant positieve invloed van het P-overschot op de P_2O_5 -opbrengst van het gras. Op de Waiboerhoeve is er op de N300 een significant positieve invloed van het P-overschot, op de N180 is de P-opbrengst van de P40 het laagst. In de loop van de tijd worden de effecten op de P_2O_5 -opbrengst steeds groter. In 2004 waren alleen op Zegveld en Cranendonck de P_2O_5 -opbrengsten hoger bij een hoger P_2O_5 -overschot. In 2006, is dat op alle objecten, behalve op de N180 van de Waiboerhoeve.



Figuur 4. Fosfaatopbrengst (kg P₂O₅/ha) gemeten en uitkomsten van statistische analyse (REML model) per object en locatie, 1997 tot en met 2006 (AH=Aver Heino, Cr=Cranendonck, Wb= Waiboerhoeve, Zv=Zegveld).

3.4 Beloop fosfaattoestand in de tijd

In deze paragraaf worden de trends in de ontwikkeling van de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal, PAL-getal, P-CaCl₂ (PPAE), P-oxalaat (P_{ox}) en totaal-P in de tijd gegeven, gemiddeld over de N-trappen.

3.4.1 Pw-getal

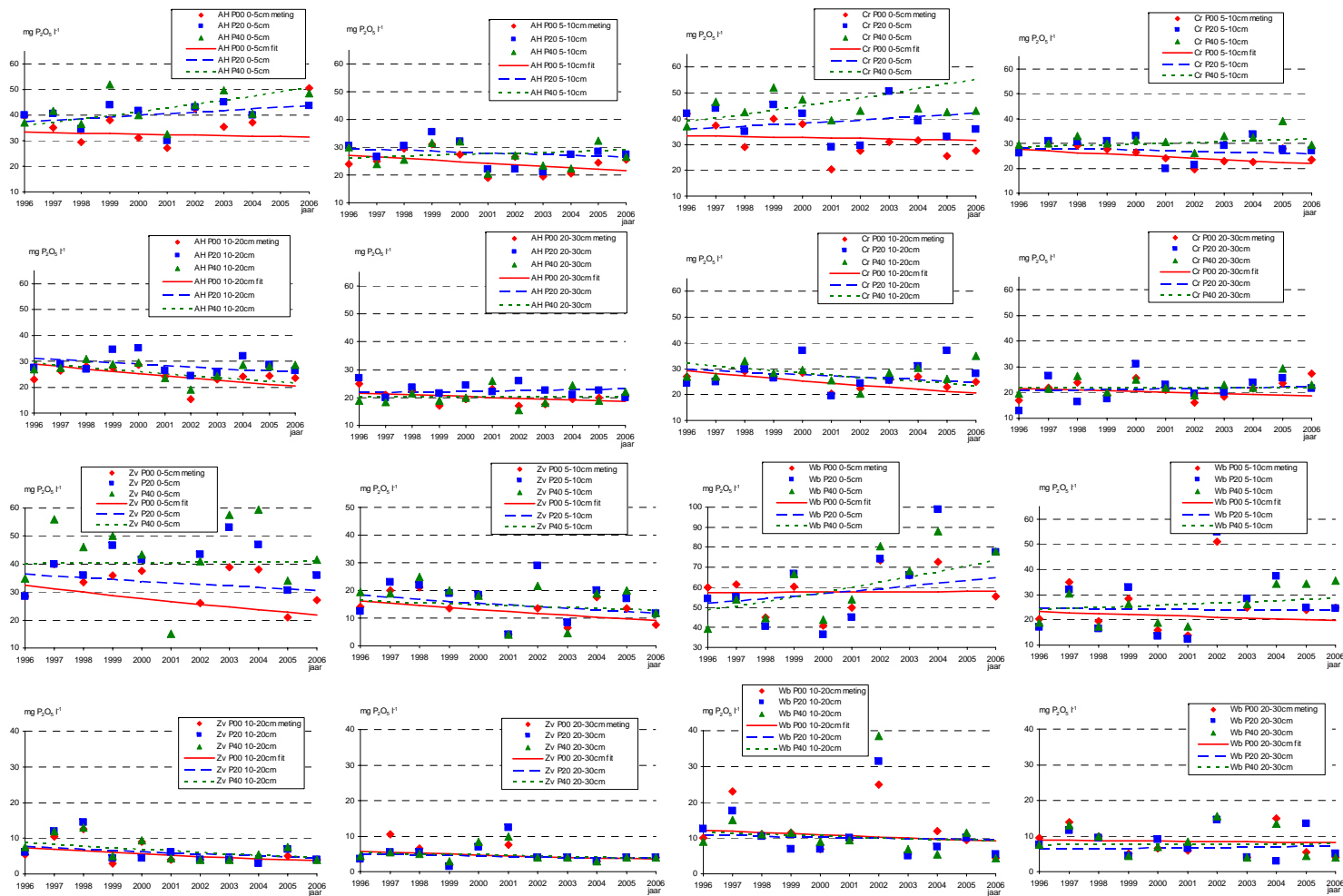
In de volgende alinea's wordt het resultaat van de REML-modellen gegeven. Alle aangegeven verschillen en trends in de tijd zijn significant. De resultaten van de metingen van Pw-getal en van de *fit* met de REML analyse op de vier locaties worden in figuur 5 gegeven.

Op alle locaties is het Pw-getal van de laag 0-5 cm afhankelijk van het fosfaatoverschot. Het Pw-getal van het P40-object is in 2006 overal significant hoger dan van het P00-object; het Pw-getal van P20 zit hier tussenin. Er is een significante verandering van het Pw-getal in de laag 0-5 cm in de loop van de tijd op aangelegde overschotten waardoor de fosfaattoestanden verder uit elkaar gaan lopen. In de laag 5-10 cm is eveneens het Pw-getal op P40 significant hoger dan op P00 maar het verschil is kleiner dan in de laag 0-5 cm. In de diepere lagen (10-20 en 20-30 cm) zijn de verschillen tussen de P-objecten klein en zelden significant. De verandering van het Pw-getal in de tijd is licht negatief tot nul. Een samenvatting van de gevonden verandering in Pw-getal gedurende de meetperiode van 10 jaar staat gegeven in tabel 1. In de laag 0-5 cm daalt het Pw-getal na 10 jaar evenwichtsbemesting 0-11 eenheden en stijgt bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar 0-15 eenheden. In de laag 5-10 cm daalt het Pw-getal 3 tot 7 eenheden bij evenwichtsbemesting. De verandering op het overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar is een daling van 4 eenheden tot een stijging van 4 eenheden. Er zijn grote verschillen tussen de locaties in reactie van het Pw-getal op de aangelegde overschotten.

Tabel 1. De door REML gefitte verandering in Pw-getal (mg P₂O₅/L) in de laag van 0-5 cm en 5-10 cm diepte na 10 jaar bemesting met een overschot van 0 en 40 kg P₂O₅/ha/jaar.

Grondsoort	Fosfaatoverschot, kg P₂O₅/ha/jaar			
	0		40	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Zand	-2	-3	15	3
Klei	0	-4	25	4
Veen	-11	-7	0	-4

Door de waargenomen verandering is het Pw-getal na 10 jaar evenwichtsbemesting in de laag 0-5 cm 11-25 eenheden lager dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar; het verschil is significant. In de laag van 5-10 cm is dat significante verschil 4 tot 8 eenheden.



Figuur 5. *Pw*-getal ($\text{mg P}_2\text{O}_5/\text{L}$) voor de lagen 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2006 gemiddeld over twee *N*-overschotten. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld. Meting: gemeten resultaten, fit: uitkomst van de REML-analyse.

3.4.2 PAL-getal

De resultaten van de metingen van het PAL-getal en van de *fit* met de REML analyse op de vier locaties staan weergegeven in figuur 6. De analyse met REML wijst uit dat alle hieronder aangegeven verschillen en trends in de tijd significant zijn.

Op alle locaties is het PAL-getal van de laag 0-5 cm afhankelijk van het fosfaatoverschot. Het PAL-getal is in 2006 op P40-object overall significant hoger dan op het P00-object. Er is een significante ontwikkeling in de tijd waardoor de PAL-getallen in de laag 0-5 cm steeds verder uit elkaar gaan lopen. Op de zandgronden daalt het PAL-getal in de tijd bij alle objecten. Op de klei- en veenlocaties stijgt het PAL-getal bij een positief fosfaatoverschot. In de laag 5-10 cm is eveneens het PAL-getal op P40 significant hoger dan op P00 maar het verschil is kleiner dan in de laag 0-5 cm.

In de diepere lagen (10-20 en 20-30 cm) zijn de verschillen tussen de P-objecten gering en zelden significant. Een samenvatting van de gevonden verandering in PAL-getal gedurende de meetperiode van 10 jaar staat gegeven in tabel 2.

Tabel 2 De door REML gefitte verandering in PAL-getal (mg P₂O₅/100 g) in de laag van 0-5 cm en 5-10 cm diepte na 10 jaar bemesting met een overschot van 0 en 40 kg P₂O₅ ha/jaar.

Locatie	Fosfaatoverschot, kg P ₂ O ₅ /ha/jaar			
	0		40	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
Aver Heino	-21	-7	-4	0
Cranendonck	-17	-7	-2	0
Waiboerhoeve	0	5	14	10
Zegveld	0	-9	17	0

Het PAL-getal is na 10 jaar evenwichtsbemesting in de laag 0-5 cm 14-17 eenheden lager dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar, dit verschil is significant. In de laag 5-10 cm is het – significante – verschil circa 8 eenheden. In de laag 0-5 cm daalt het PAL-getal bij strikte evenwichtsbemesting 0-21 eenheden. De verandering door het overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar is een daling van 4 eenheden tot een stijging van 17 eenheden. In de laag 5-10 cm is bij evenwichtsbemesting dat een daling van 9 tot een stijging van 5 eenheden in 10 jaar. Bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar stijgt het PAL-getal 0 tot 10 eenheden.

Er zijn grote verschillen tussen de locaties in reactie van PAL-getal op de aangelegde overschotten. In tegenstelling tot Pw-getal verschilt de reactie van het PAL-getal op de fosfaatoverschotten tussen Aver Heino en Cranendonck hoewel het beide humusrijke zandgronden zijn. Het verschil tussen het effect van evenwichtsbemesting en een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar is op Cranendonck 5 eenheden groter dan op Aver Heino. Het verschil in het PAL-getal tussen P00 en P40 is in 0-5 cm opgelopen tot 17 eenheden.

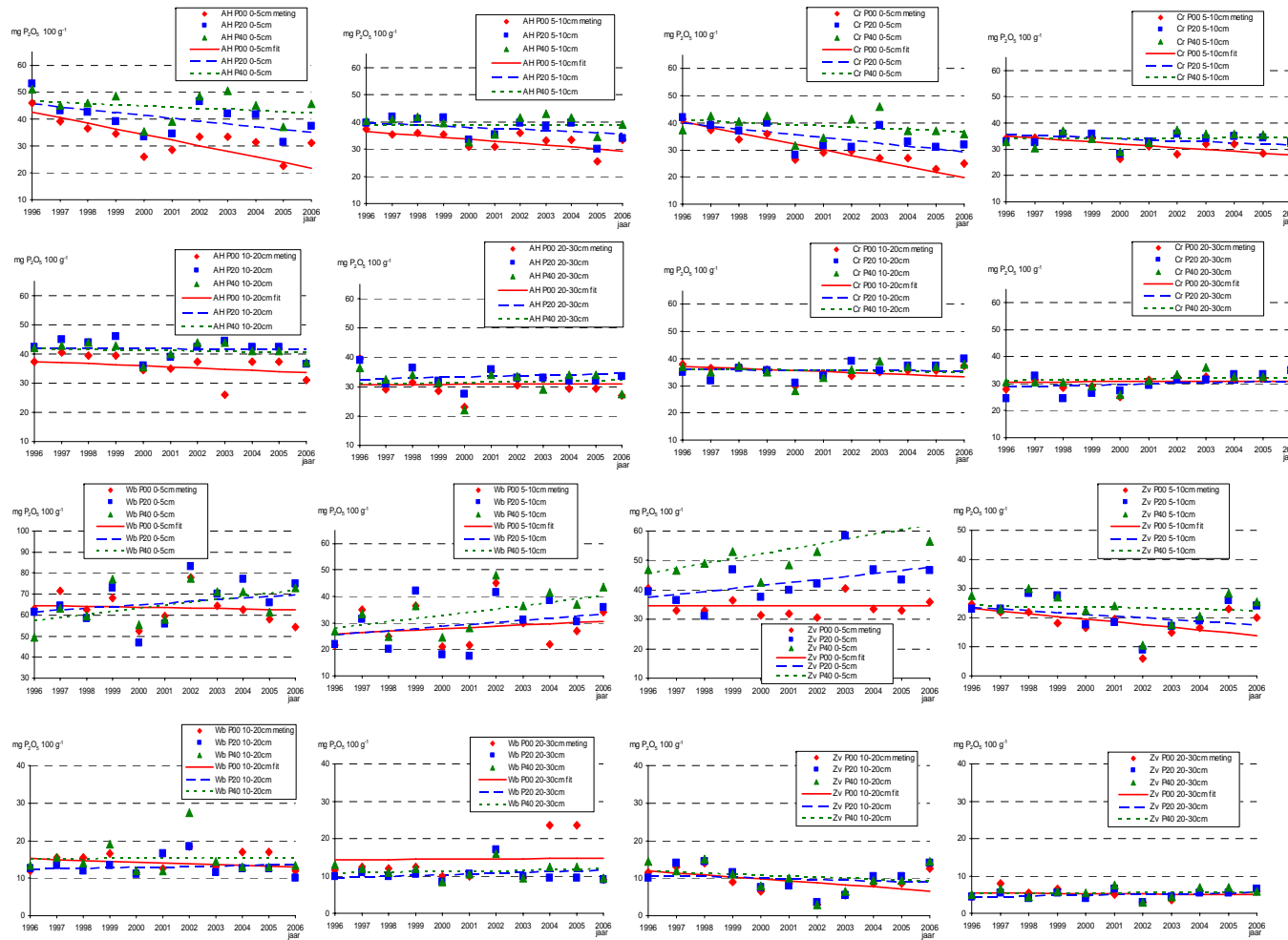
3.4.3 P-oxalaat

Omdat P-oxalaat niet op alle objecten gemeten is, vergt dat een andere vorm van statistische analyse. Die aandachtvragende en intensieve aanpassing is nog niet uitgevoerd. Er wordt hier volstaan met een presentatie van de meetgegevens (figuur 7). Ondanks het ontbreken van een resultaat van statistische analyse is in figuur 7 te zien dat de algemene trend van P-oxalaat dalend is, op vrijwel alle locaties, objecten en lagen. In de laag 0-5 cm is op de zandgronden te zien dat P-oxalaat in de meeste jaren op P40 het hoogst is en op P00 het laagst. P-oxalaat lijkt daar te reageren op de hoogte van het fosfaatoverschot. Op de Waiboerhoeve (zeeklei) en op Zegveld (veen) is deze relatie niet duidelijk.

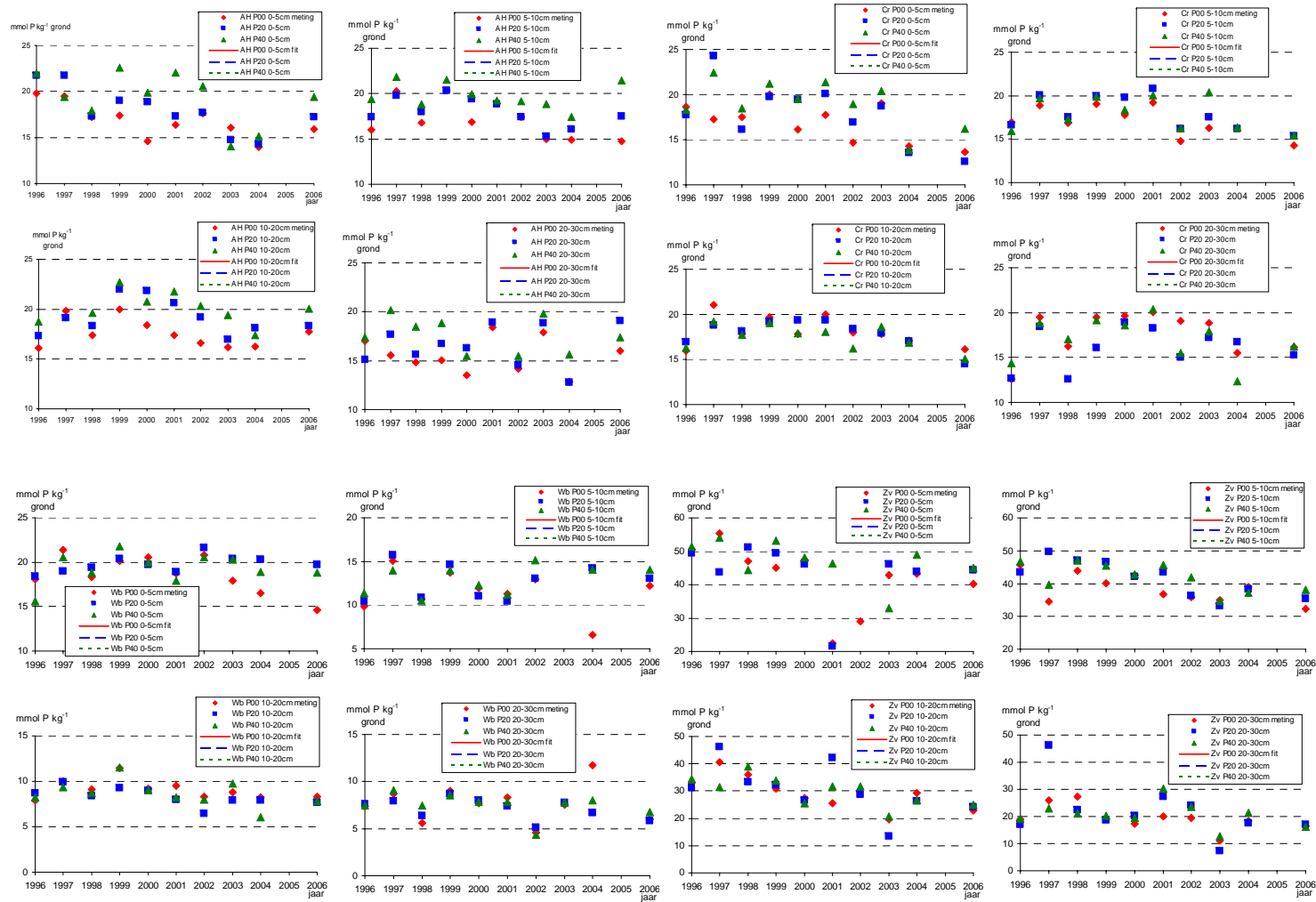
3.4.4 P-totaal

De resultaten van de metingen van P-totaal en van de *fit* met de REML-analyse op de vier locaties staan weergegeven in figuur 8. In de volgende alinea's wordt het resultaat van de REML-modellen beschreven. Alle aangegeven verschillen en trends in de tijd zijn significant.

De trends in P-totaal door de aangelegde overschotten van Aver Heino en Cranendonck zijn onderling significant verschillend. Op Aver Heino (zandgrond) daalt P-totaal bij bijna alle P-objecten in het hele profiel. In 0-5 cm daalt P-totaal bij P00 15 eenheden en stijgt 5 eenheden bij P40 in 10 jaar. In de loop van 10 jaar is in de laag 0-5 cm het P-totaal-gehalte bij P00 35 eenheden lager dan bij P40, ten opzichte van de start in 1996 is dit 15 eenheden. De P-totaal-gehalten zijn dus 20 eenheden uit elkaar gelopen in 10 jaar. In de overige lagen daalt P-totaal bij alle P-objecten: in de laag 5-10 cm 8-10 eenheden, in de laag 10-20 cm 19-24 eenheden en in de laag 20-30 cm 3 tot 14 eenheden in 10 jaar. Op Cranendonck (zandgrond) stijgt P-totaal over 10 jaar significant over alle objecten en alle lagen. De stijging neemt toe bij hogere P-overschotten. P-totaal stijgt bij P00 met 20 eenheden en bij P40 met 44 eenheden. In laag 5-10 cm is de stijging bij P00 19 eenheden en 25 eenheden bij P40, in de laag 10-20 cm is dat respectievelijk 9 en 13 eenheden en in de laag 20-30 cm respectievelijk 13 en 19 eenheden. In de loop van 10 jaar is in de laag 0-5 cm het P-totaal gehalte bij P00 26 eenheden lager dan bij P40, bij de start in 1996 was dit 2 eenheden. De P-objecten hebben dus in 10 jaar geleid tot een steeds groter wordende verschil in P-totaal-gehalten van 24 eenheden in de periode 1996-2006.



Figuur 6. PAL-gehalte ($mg\ P_2O_5/100\ g$) voor de lagen 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties voor de periode 1996 tot en met 2006, gemiddeld over twee N-overschotten. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld. Meting: gemeten resultaten, fit: uitkomst van de REML-analyse.



Figuur 7. P-oxalaat (P_{ox} , mmol/kg) voor de lagen 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2006, gemiddeld over twee N-overschotten. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld. Meting: gemeten resultaten, fit: uitkomst van de REML-analyse.

Op de Waiboerhoeve (kleigrond) stijgen vrijwel alle P-totaal-gehalten. De stijging in de lagen 0-5 cm en 5-10 cm door P00 is lager dan door P40. In de laag 0-5 cm is P-totaal in 10 jaar door P00 9 eenheden significant gestegen en door P40 55 eenheden. In de laag 5-10 cm is de stijging vrijwel gelijk, 36 op P00 en 39 op P40. In 10-20 cm daalt P-totaal door P00 1 eenheid en stijgt door P40 4 eenheden. In 20-30 cm is de stijging door P00 5 eenheden en 10 eenheden door P40. In de loop van 10 jaar zijn P-totaal-gehalten in 0-5 cm 46 eenheden uiteen geweken.

Op Zegveld (veengrond) stijgen vrijwel alle P-totaal-gehalten. De P-totaal-gehalten in 0-5 cm en 5-10 cm zijn door P00 significant lager dan door P40 en zijn door P00 ook minder gestegen dan door P40. In de laag 0-5 cm is P-totaal in 10 jaar door P00 53 eenheden gestegen en door P40 121 eenheden.

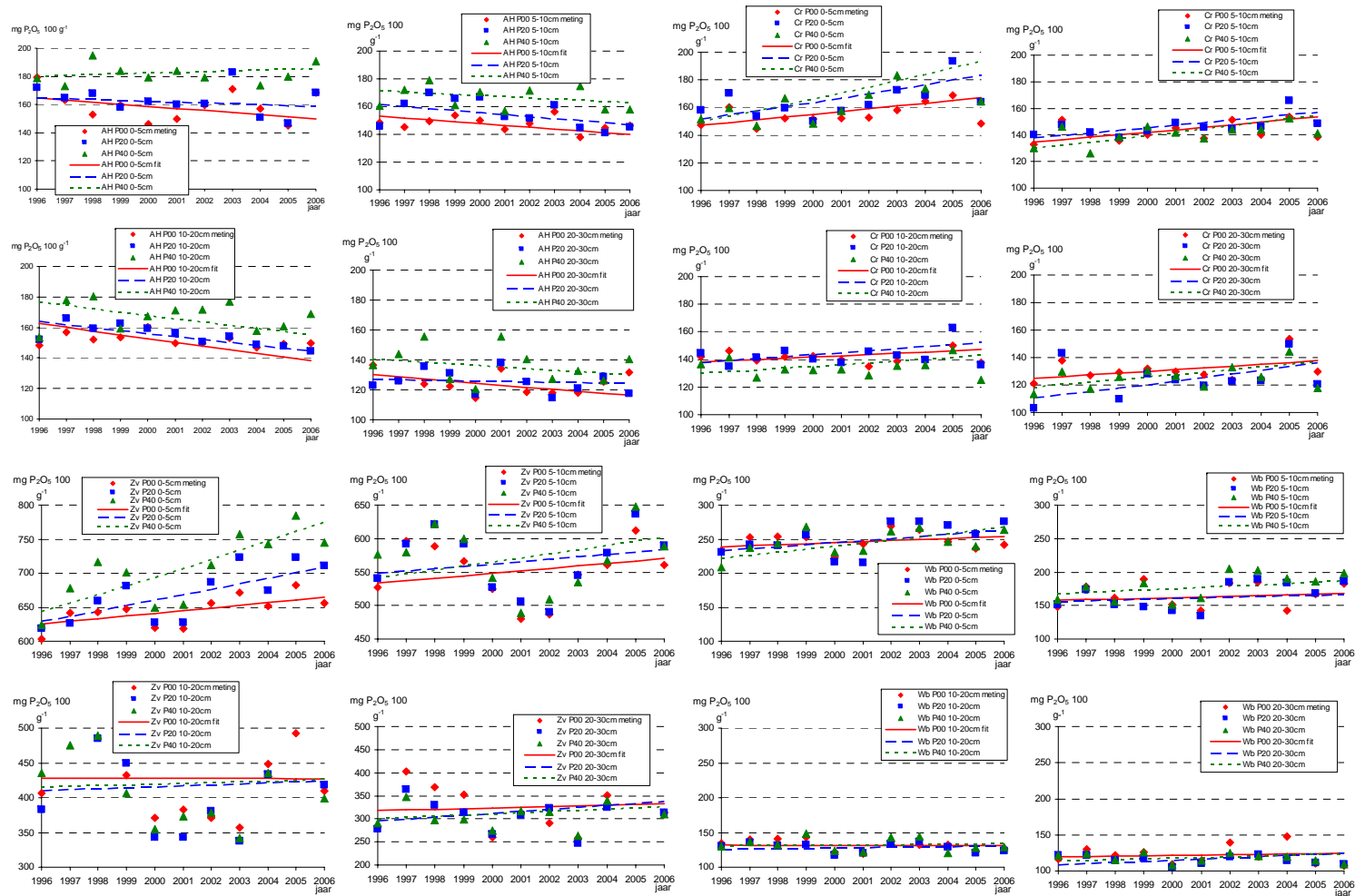
In de laag 5-10 cm is de stijging door P00 37 eenheden en door P40 61 eenheden. In de loop van 10 jaar zijn P-totaal gehalten in 0-5 cm 68 eenheden uit elkaar gelopen.

Samengevat kan gesteld worden dat het de verandering van het P-totaal-gehalte afhankelijk is van het aangelegde overschot. De grootste dalingen worden gevonden op Aver Heino en de grootste stijgingen op Zegveld. In de laag 0-5 cm verandert P-totaal bij evenwichtsbemesting met -15 eenheden tot +39 eenheden. Een overschot van 40 kg/ha/jaar resulteert in een stijging van 5 tot 131 eenheden. Hierdoor is na 10 jaar het P-totaal-gehalte bij evenwichtsbemesting in de laag 0-5 cm 14-111 eenheden lager dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar, dit verschil is significant. In de laag 5-10 cm is dat – significante – verschil 1-30 eenheden.

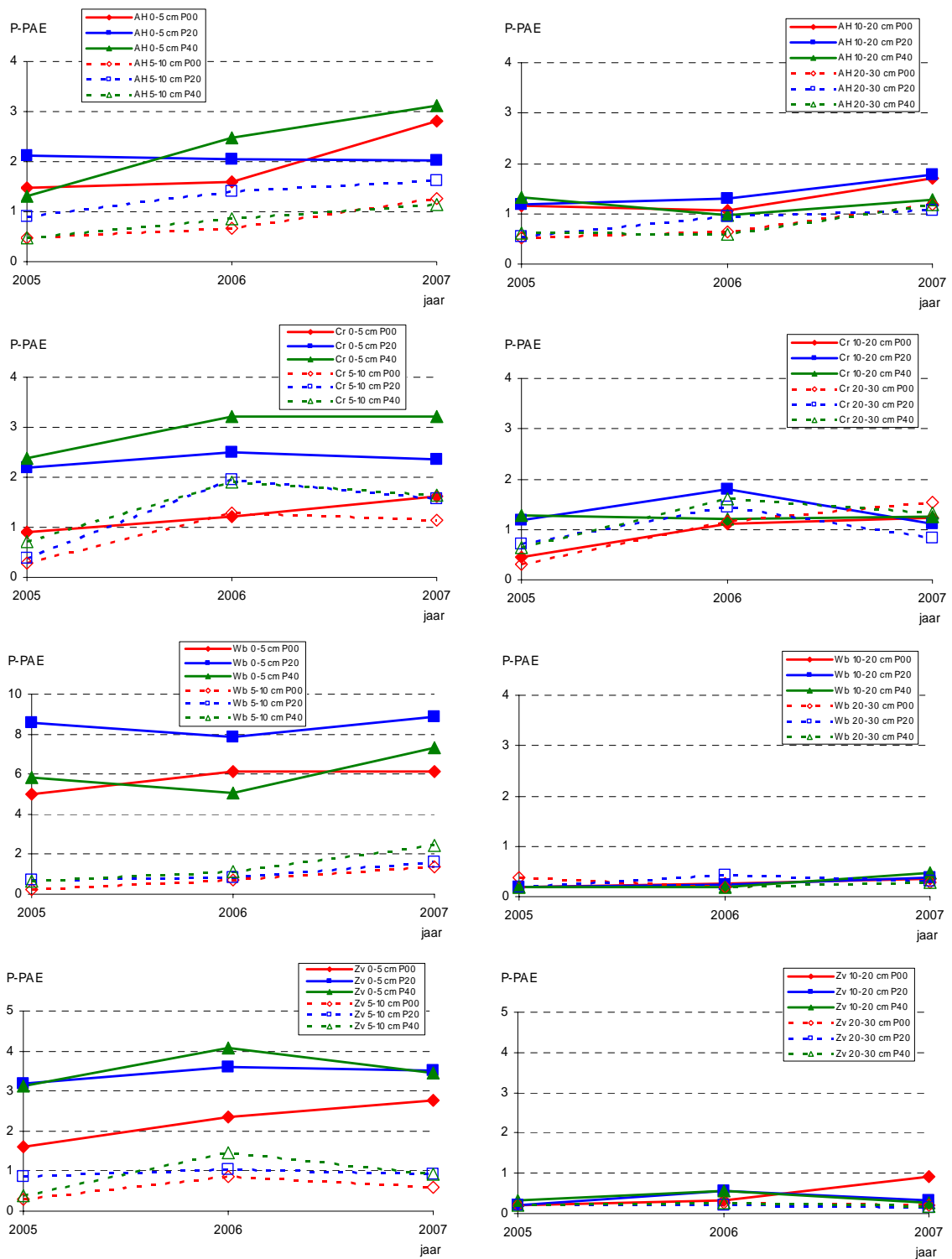
In de laag 5-10 cm leidt evenwichtsbemesting tot verandering van -13 tot +37 eenheden in 10 jaar. Het effect van een fosfaatoverschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar varieert van een daling van 8 eenheden tot een stijging van 61 eenheden.

3.4.5 P-CaCl₂ (PPAE)

De extractie van fosfaat met 0,01 M CaCl₂ (P-CaCl₂) wordt door het Blgg te Oosterbeek PPAE genoemd. Deze methode werd in 2004 ingevoerd. Op de graslocaties wordt sinds 2004 ook P-CaCl₂ (PPAE) bepaald. De periode 2004-2006 is te kort om trendanalyses uit te kunnen voeren. Vooralsnog wordt volstaan met de presentatie van meetgegevens (figuur 9). PPAE neemt af met de diepte. Er is temporele variatie. Over de drie meetjaren 2004-2006 is er echter geen duidelijke trend qua stijging of daling te signaleren.



Figuur 8. P-totaal (mg P₂O₅/100 g) voor de lagen 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 1996 tot en met 2006, gemiddeld over twee N-overschotten. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld. Meting: gemeten resultaten, fit: uitkomst van de REML-analyse



Figuur 9. P-CaCl₂ (PPAE, mg P/kg) van de lagen 0-5, 5-10, 10-20 en 20-30 cm op de vier locaties, 2004 tot en met 2006, gemiddeld over twee N-overschotten. AH = Aver Heino, Cr = Cranendonck, Wb = Waiboerhoeve, Zv = Zegveld.

3.4.6 Verandering van de fosfaatvoorraad in de bodem bij uitmijnen

Aan de oorspronkelijke proefopzet werd in 2002 de behandeling N300-P(-100) toegevoegd. Bij deze behandeling wordt geen fosfaat toegediend terwijl andere nutriënten wel gegeven worden; er wordt uitsluitend fosfaat afgevoerd (uitmijnen). Gezien de beperkte en afwijkende (kortere) looptijd van de uitmijnvelden is er nog geen uitgebreide analyse met REML uitgevoerd van de data van de uitmijnproef. Een beschrijving van de effecten van uitmijnen op bodemvochtconcentraties en fosfaatpools wordt gegeven door Van der Salm e.a. (2008a).

Het volgende wordt waargenomen.

Pw-getal Het Pw-getal in 0-5 cm en 5-10 cm daalt op Aver Heino en Zegveld in de afgelopen 5 jaar, op de overige locaties en diepten daalt het Pw-getal niet duidelijk. De twee zandgronden reageren verschillend op een sterk negatief P-overschot.

PAL-getal De fosfaattoestand gemeten als PAL-getal van lagen 0-5 cm en 5-10 cm op Aver Heino, Cranendonck en de Waiboerhoeve dalen in de periode 2002-2006, in de diepere lagen blijft deze fosfaattoestand vrijwel op eenzelfde niveau. Op Zegveld blijft het PAL-getal stabiel voor de laag 0-5 cm en stijgt zelfs bij de diepere lagen.

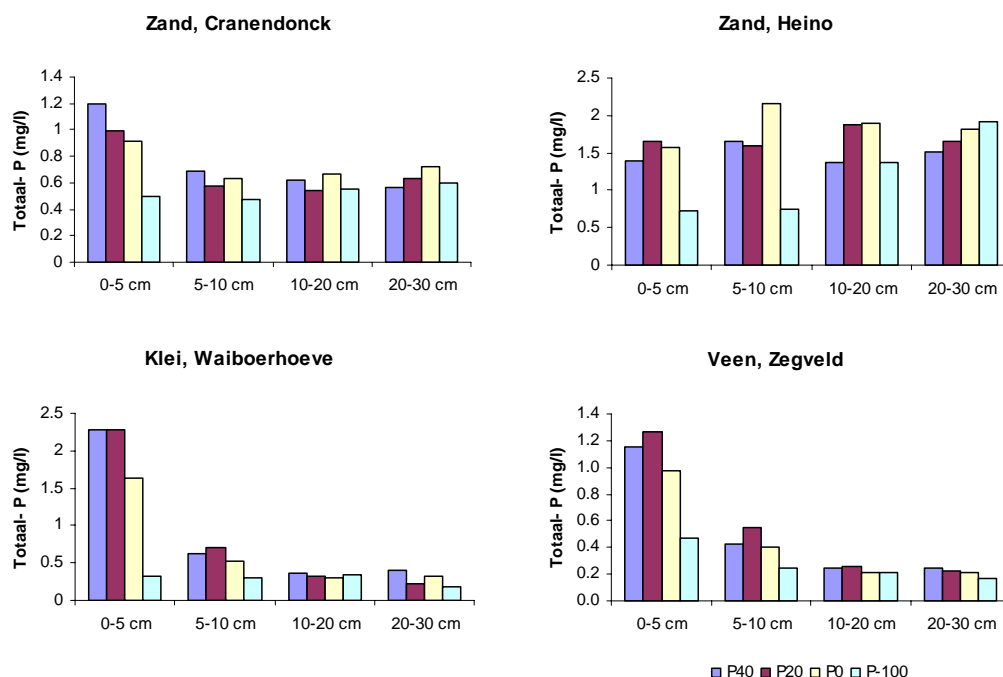
P-totaal P-totaal daalt op alle locaties in 0-5 cm (tabel 3). Op de beide zandlocaties ook in 5-10 cm. In de diepere lagen verandert P-totaal op de zandlocaties niet. Op de Waiboerhoeve (klei) blijft P-totaal gelijk in 5-10 cm en daalt licht in 10-20 en 20-30 cm. Op Zegveld stijgt P-totaal in 5-10 cm, blijft vrijwel stabiel in 10-20 cm en stijgt licht in 20-30 cm.

P-CaCl₂ (PPAE) Over de drie meetjaren is nog geen stijging of daling vast te stellen.

3.5 Gemiddelde fosfaatconcentraties

De gemiddelde P-totaal concentraties op de verschillende locaties liggen in de laatste 4 meetjaren (2003-2006) tussen de 0,17 en 2,29 mg/l. De hoogste concentraties zijn aangetroffen op de Waiboerhoeve, de laagste concentraties in Zegveld. Over het algemeen nemen de concentraties van boven (0-5 cm) naar onder (20-30 cm) af. Op de zandlocaties, waar de fosfaattoestand in de hele laag van 0-30 cm hoog is, is deze afname vrij gering.

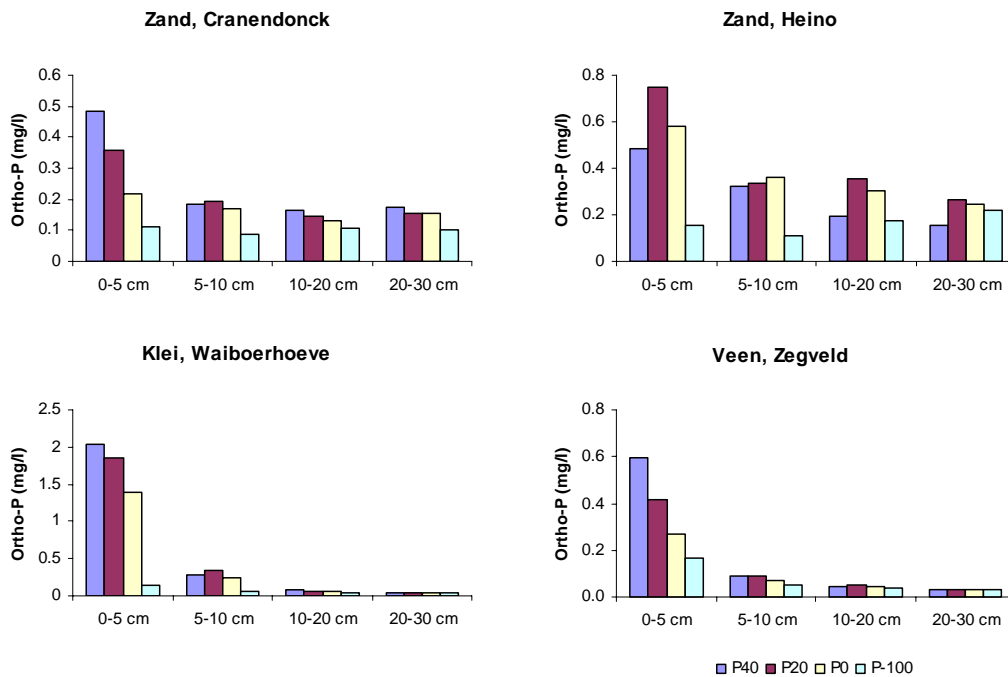
De gemiddelde P-totaal concentraties in de bovenste bodemlagen (0-5 cm en 5-10 cm) nemen op de meeste locaties toe met het bemestingsniveau (figuur 10). De verschillen tussen de overschotten van 0, 20 en 40 kg P₂O₅/ha/jaar zijn over het algemeen echter niet significant ($\alpha < 0,05$). Een uitzondering vormt de Waiboerhoeve waar de concentraties bij een overschot van 0 kg P₂O₅/ha/jaar lager zijn dan bij de overschotten van 20 en 40 kg P₂O₅/ha/jaar. De verschillen tussen de bemeste veldjes en de uitmijnveldjes zijn wel significant (zie ook van der Salm e.a., 2008). In de diepere bodemlagen (dieper dan 10 cm) is geen relatie tussen het bemestingsniveau en de gevonden concentraties.



Figuur 10. Gemiddelde totaal-P concentraties (mg P/L) in bodemvocht in de periode 2003-2006 op proefvelden met een beogd overschot van respectievelijk 40, 20 en 0 kg P_2O_5 /ha/jaar en op het uitmijnveld (P-100).

De gemiddelde ortho-P-concentraties liggen in de periode 2002-2006 tussen 0,03 en 2,04 mg/l. Het verloop van de ortho-P-concentraties met de diepte is vergelijkbaar met het verloop in totaal-P-concentraties (figuur 11). Net als bij totaal-P nemen de ortho-P-concentraties af met de diepte (figuur 11). De hoogste concentraties werden gemeten in de laag van 0-5 cm op de Waiboerhoeve bij een overschot van 40 kg P_2O_5 /ha/jaar. De laagste concentraties komen voor in de laag van 20-30 cm op Zegveld en de Waiboerhoeve.

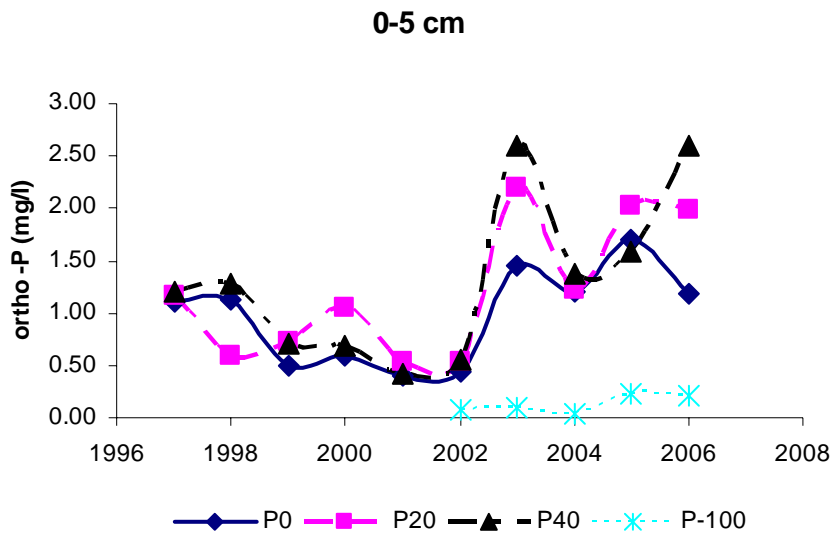
Net als bij totaal-P nemen de ortho-P-concentraties in de bovenste bodemlagen toe met het bemestingsniveau (figuur 11). De verschillen in concentraties tussen de bemeste veldjes zijn echter significant op de Waiboerhoeve en op Cranendonck. Op de uitmijnvelden worden in de laag van 0-5 cm en 5-10 cm significant lagere concentraties gemeten dan op de bemeste velden. Een uitzondering vormt Zegveld waar het verschil tussen de bemeste en onbemeste velden alleen significant is voor de laag van 0-5 cm.



Figuur 11. Gemiddelde ortho-P-concentraties (mg P/L) in bodemvocht in de periode 2003-2006 op proefvelden met een beoogd overschot van respectievelijk 40, 20 en 0 kg P₂O₅/ha/jaar en op het uitmijnveld (P-100).

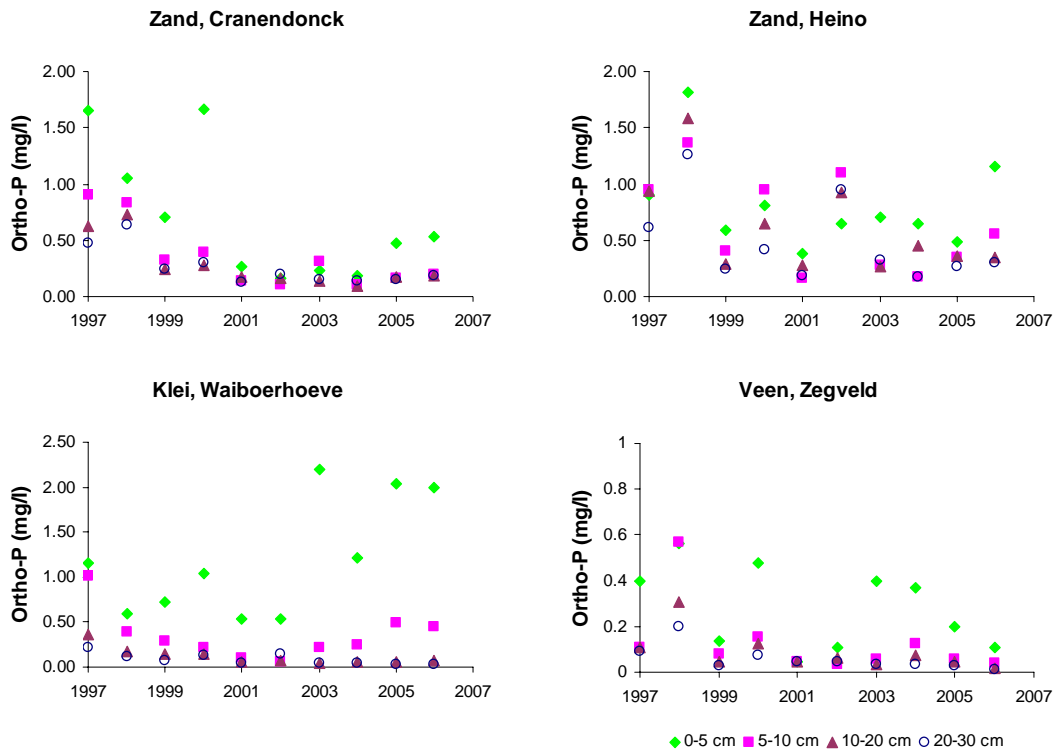
3.6 Trends in fosfaatconcentraties in de tijd.

Uit de vergelijking van de gemiddelde fosfaatconcentraties over de laatste 4 jaar van het experiment blijkt dat de verschillen in concentraties tussen de drie bemestingsniveaus vrij beperkt zijn (m.u.v. de uitmijnsituatie). De verschillen in fosfaatoverschot leiden slechts tot een geleidelijke differentiatie in fosfaatconcentraties tussen de objecten (figuur 12). Dit wordt mede veroorzaakt door de sterke fluctuatie in concentraties binnen het jaar en dus in de jaargemiddelde concentraties.

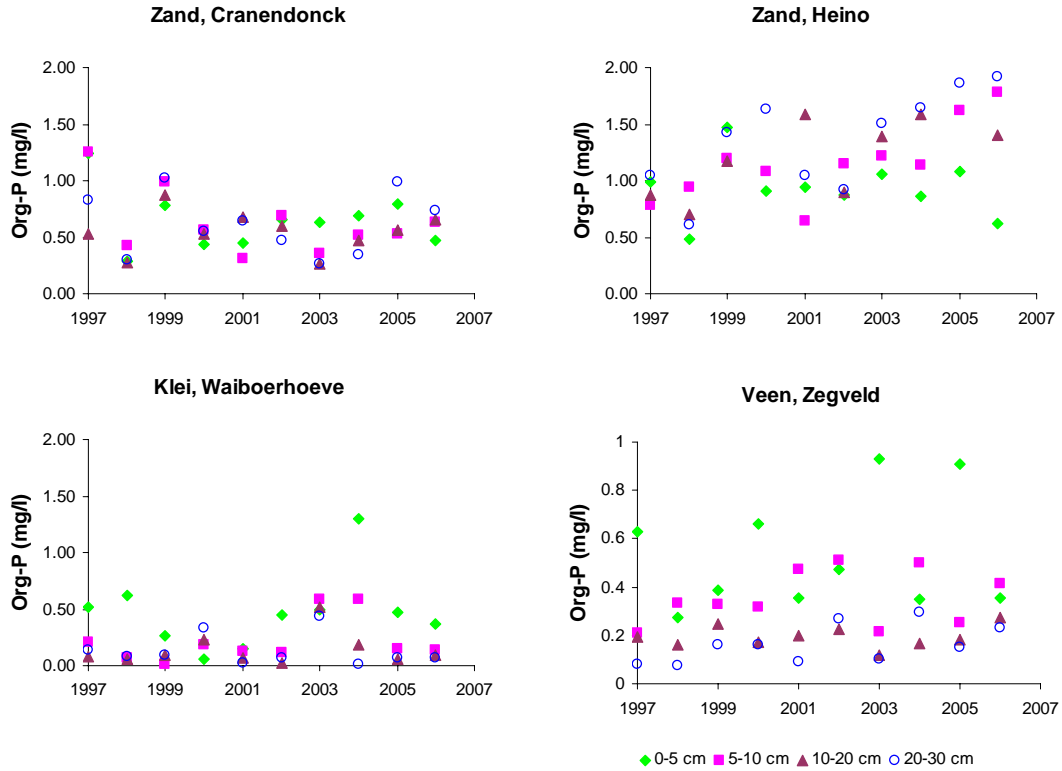


Figuur 12 Ortho-P-concentraties (mg P/L) in de bodemlaag van 0-5 cm bij beoogde overschotten van 0, 20 en 40 kg P₂O₅/ha/jaar en op het uitmijnveld (P-100) van de Waiboerhoeve.

Het effect van de aangelegde overschotten op de P-concentraties in het bodemvocht verschilt tussen de locaties. Op Cranendonck zijn de ortho-P concentraties in de laatste 4 jaar van het experiment 40-75 % lager dan in de eerste 4 jaar van het experiment (figuur 13). De sterkste daling vindt plaats bij een overschot van 0 kg P₂O₅/ha/jaar en de geringste daling bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar. Ook in Heino worden lagere (30-60%) concentraties gemeten in de periode 2003-2006 indien vergeleken met de periode 1997-2000. Op Heino zijn de gevonden verschillen echter niet altijd significant. Op Waiboerhoeve worden in de laag van 0-5 cm juist hogere concentraties gemeten dan aan het begin van het experiment. Ook bij Waiboerhoeve is de stijging van de concentratie hoger bij een overschot van 40 dan bij een overschot van 0 kg P₂O₅/ha/jaar. Voor organisch-P worden deze trends over het algemeen niet waargenomen (figuur 14).

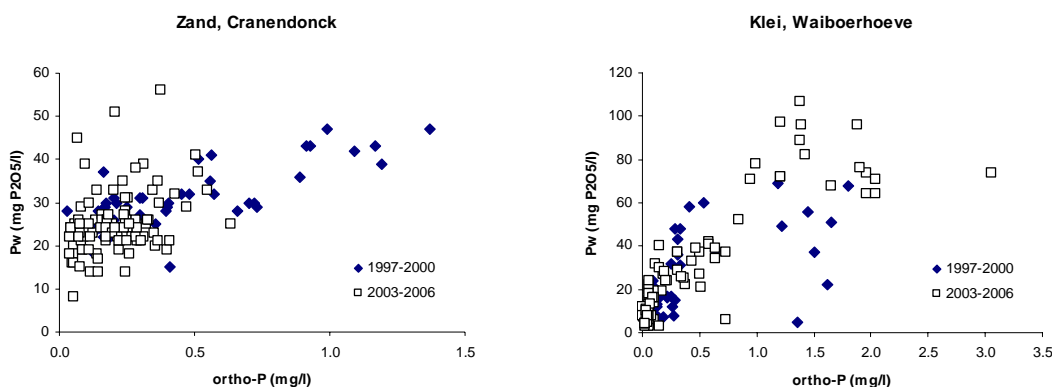


Figuur 13. Gemiddelde jaarlijkse Ortho P concentraties (mg/L) als functie van de tijd bij een overschot van 20 kg P_2O_5 /ha/jaar



Figuur 14 Gemiddelde jaarlijkse organisch P concentraties (mg/L) als functie van de tijd bij een overschot van 20 kg P_2O_5 /ha/jaar.

De aanzienlijke stijging en daling van de ortho-P-concentraties op Cranendonck en Waiboerhoeve is opvallend. Het blijkt echter dat de relatie tussen ortho-P-concentratie en Pw-getal voor de locaties Cranendonck en Waiboerhoeve in de periode 2003-2006 vergelijkbaar is met die van de periode 1997-2000 (figuur 15). De lagere concentraties in de bodemoplossing van Cranendonck gaan dus samen met lagere waarden voor het Pw-getal. Op Waiboerhoeve werden in de meetperiode 2003-2006 vaker hoge concentraties gemeten die samenvielen met hogere Pw-getallen. Statistische analyse geeft aan dat er bij Waiboerhoeve, Cranendonck en Zegveld een significant verband is tussen de (najaars)concentratie in de laag van 0-5 cm en het aangelegde overschot en de Pw-getal of PAL-getal (R^2_{adj} respectievelijk 58,6, 34,6 en 23,8). Bij een PAL-getal van 35 mg $P_2O_5/100$ g leidt een verhoging/verlaging van het overschot met 10 kg $P_2O_5/ha/jaar$ tot een verhoging respectievelijk verlaging van de concentratie met ongeveer 0,05 mg P/L. Bij Zegveld is het effect lager (0,02 mg/l). Voor de diepere lagen was het effect van overschot, Pw-getal of PAL-getal niet significant. Voor Heino werd geen relatie tussen concentraties, overschot en P-toestand gevonden. Uit deze relaties is voor Waiboerhoeve, Cranendonck en Zegveld een concentratie van respectievelijk 0,8, 0,4 en 0,3 mg P/L in de laag 0-5 cm af te leiden. Het ontbreken van enig verband tussen overschot en fosforconcentratie bij Heino wordt mogelijk veroorzaakt door het feit dat de proef daar sinds 2002 biologisch beheerd wordt. Vanaf 2002 zijn op Heino andere meststoffen (Gafsanatuurfosfaat i.p.v. superfosfaat) gebruikt, waardoor de relatie tussen concentratie en overschot mogelijk beïnvloed is.



Figuur 15. Relatie tussen ortho-P-concentratie in de bodemoplossing (mg P/L) en het Pw-getal (mg P_2O_5/L) van de bodemlaag 0-20 cm in 1997-2000 en gedurende 2003-2006.

4 Bouwland

4.1 Opbrengsten en kwaliteit

In de periode 2003-2006 zijn opbrengsten bepaald op de veldproeven P1801 te Lelystad en IB0013 te Marknesse. Op de veldproeven IB0016 te Marknesse en IB1920 zijn tot en met 2006 wel de behandelingen gecontinueerd en is jaarlijks na de oogst grondonderzoek uitgevoerd, maar opbrengstbepalingen en bepaling van de fosfaatafvoer was door het limiterende budget niet mogelijk.

4.1.1 Lelystad (P1801)

In tabel 3 zijn de opbrengsten gegeven van de gewassen die vanaf 2002 zijn geteeld. In 2005 werden de veldjes gesplitst in tweeën. Op één helft zijn de bestaande fosfaattrappen gecontinueerd en op de andere helft is vanaf 2005 geen fosfaatbemesting meer toegediend. Overige bemestingen en veldhandelingen zijn echter volledig identiek aan die van de met fosfaat bemeste behandelingen. Bij het object P1 (waar tot dan toe geen fosfaatbemesting werd gegeven) is vanaf 2006 één helft bemest met 70 kg P₂O₅/ha.

Tabel 3. Marktwaardige opbrengsten in ton/ha van de gewassen geteeld in de periode 2002 t/m 2007 in proef P1801 in Lelystad.

Jaar ¹	Object Bemesting, kg P ₂ O ₅ /ha	P1		P2		P3		P4		LSD	
		0	70	0	70	0	140	0	280	Effect t objec t	Effect gift binnen object
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	.
2005	aardappel, knol ²	24	nvt	38	28	31	37	39	36	8	14
2006	suikerbiet, biet	89	84	88	91	90	90	88	90	4	9
2007	wintertarwe, korrel	8,9	9,3	9,5	11,1	9,6	9,9	9,6	9,6	0,6	0,6

¹ Vanaf 2005 zijn de objecten gesplitst in een deel met en een deel zonder fosfaatbemesting;

² In 2005 veroorzaakte waterschade een lage en onregelmatige aardappelopbrengst.

Conclusies marktwaardige opbrengsten: In 2002 gaf de fosfaattoestand P2 de hoogste opbrengst met 6,8 ton/ha. Dit was significant verschillend van de P1 (niet bemest) en de P4 (280 kg P₂O₅/ha). In 2003 resulteerde een hogere P-toestand in combinatie met een hoge P-gift (280 kg P₂O₅/ha) in een hogere gerstopbrengst op P4 maar de verschillen tussen de overige P-objecten waren niet significant. De zaaiui gaf in 2004 hoge opbrengsten. Het jarenlang achterwege laten van fosfaatbemesting bij zaaiui leidde tot een significant lagere opbrengst in 2004 maar de verschillen tussen de overige P-objecten vertoonden onderling geen significant verschil.

In de periode 2005 t/m 2007 is elk object gesplitst in een helft die niet en een helft die wel bemest is. In tabel 3 is daarom voor deze periode ook de LSD-waarde voor het effect van de bemesting weergegeven. In 2005 hadden de aardappelen sterk te lijden van wateroverlast. De opbrengst van P1 was betrouwbaar lager dan die van P3 en P4. Bij geen van de P-objecten was een betrouwbaar verschil tussen 'bemest' en 'onbemest'. De teelt van suikerbiet in 2006 reageerde op geen van de aangelegde behandelingen. De bietenopbrengsten waren hoog. Bij de opbrengsten van de wintertarwe in 2007 viel de bemeste P2 op door de betrouwbaar hogere opbrengst van 11,1 ton per ha. Het verschil tussen P2 'bemest' en P2 'onbemest' was significant. Dit is een opvallend resultaat, omdat uit eerder onderzoek bekend is dat wintertarwe niet of nauwelijks op een fosfaatbemesting reageert.

De algemene ervaring van de laatste 5 jaar is dat bij het jarenlang onthouden van enige fosfaatbemesting (P1) de opbrengst achterblijft. Bij de andere fosfaat-toestanden varieert de opbrengst per jaar of per geteeld gewas. Er is nog geen helder beeld.

Uit de effecten van niet bemesten van de jaren 2006 en 2007 zijn nog geen betrouwbare conclusies te trekken. In 5 van de 8 gevallen is de opbrengst lager, in 2 gevallen zijn de opbrengsten gelijk bij 'bemest' en 'onbemest' en 1 keer is de opbrengst bij 'onbemest' hoger dan bij 'bemest'. Deze verschillen zijn niet significant op de gegeven uitzondering bij wintertarwe na.

4.1.2 Marknesse (IB0013)

In tabel 4 wordt een overzicht van de opbrengsten voor de periode 2002 t/m 2007 gegeven. In geen van de jaren was er een effect van fosfaatbemesting of van de hoogte van de fosfaatgift ($p < 0,05$) op zaad-, suiker- of knolopbrengst.

4.2 Fosfaatafvoer

4.2.1 Lelystad (P1801)

In tabel 5 is de fosfaatafvoer gegeven van de gewassen die vanaf 2002 zijn geteeld. Bij zaaiui, suikerbiet en wintertarwe was de fosfaatafvoer 60-100 kg P_2O_5 /ha. De fosfaatafvoer van de aardappel in 2005 werd beïnvloed door wateroverlast en kunnen daardoor niet representatief zijn voor GLP. In 2006 en 2007 is respectievelijk ook de fosfaatafvoer met het bietenblad en het tarwestro bepaald. In het bietenblad was gemiddeld 27 kg P_2O_5 /ha aanwezig en in het tarwestro 6 kg P_2O_5 /ha. Het bietenblad en het tarwestro zijn niet afgevoerd maar zijn op de desbetreffende veldjes ondergewerkt.

Tabel 4. Veldopbrengsten (ton/ha) van de gewassen geteeld op de hoeveelheden veldproef IB0013 in Marknesse als functie van de fosfaatgift. M is de fosfaatafvoer met het gewas in het voorafgaande jaar.

Jaar	Gewas	Fosfaatgift, kg P ₂ O ₅ /ha						LSD Effect P	LSD Effect gift	
		0	80	160	240	M	2M			3M
2002	Aardappel, knol	46,8	52,8	52,6	54,2	50,3	50,7	50,8	5,6	9,7
2003	Zomertarwe, korrel	4,1	4,1	4,1	4,1	4,2	3,8	4,4	0,6	1,0
2004	Suikerbiet, suiker	11,7	13,0	12,8	11,7	13,0	12,1	12,7	0,9	1,5
2005	Aardappel, knol	40,1	43,3	40,7	44,9	41,4	40,0	42,5	4,3	7,5
2006	Zomergerst, korrel	7,2	7,7	7,5	7,7	7,3	7,6	7,3	0,6	1,0
2007	Doperwt, erwt	10,0	10,5	7,9	9,3	9,9	10,1	9,1	2,0	3,5

Tabel 6. Fosfaatafvoer (kg P₂O₅/ha) van de gewassen geteeld op de hoeveelheden veldproef IB0013 in Marknesse als functie van de fosfaatgift. M is de fosfaatafvoer met het gewas in het voorafgaande jaar.

Jaar	Gewas	Fosfaatgift, kg P ₂ O ₅ /ha						LSD Effect P	LSD Effect gift	
		0	80	160	240	M	2M			3M
2002	Aardappel, knol	32	38	40	45	35	37	37	5	8
2003	Zomertarwe (korrel en stro)	44	51	54	51	46	43	49	7	13
2004	Suikerbiet (biet en loof)	64	77	81	81	74	71	74	9	15
2005	Aardappel (knol)	26	29	31	37	27	27	29	3	6
2006	Zomergerst (korrel en stro)	49	55	56	59	53	53	58	6	10
2007	Doperwt	76	77	78	85	80	77	82	7	8

Tabel 5. Fosfaatafvoer (kg P₂O₅/ha) met het hoogste product voor de gewassen geteeld in de periode 2002-2007 van de veldproef P1801 in Lelystad.

Jaar	P-object Bemesting kg P ₂ O ₅ /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
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 ²	19	nvt	34	25	30	36	52	48	14	22
2006	suikerbiet, biet	55	54	66	64	70	70	68	73	5	4
2007	wintertarwe, korrel	57	62	66	74	66	69	67	64	6	6

¹ Vanaf 2005 zijn de objecten gesplitst in een deel met en een deel zonder fosfaatbemesting;

² In 2005 veroorzaakte waterschade een lage en onregelmatige aardappelopbrengst.

Conclusie: De fosfaatafvoer met de marktbaar opbrengst verschilt met het gewas. De afvoer bij doperwt is ten opzichte van de voorgenomen fosfaatgebruiksnorm voor 2015² laag: 10-12 kg P₂O₅/ha. De fosfaatafvoer van zaaiui, suikerbiet, maar ook wintertarwe is vrij hoog (65-94 kg P₂O₅/ha).

De afvoer van de P1 (al dan niet bemest) is steeds betrouwbaar lager dan die van de andere fosfaattoestanden, met uitzondering van het jaar 2005.

Per fosfaattoestand is in 2006 en 2007 'bemest' in 6 van de 8 gevallen hoger dan, of gelijk aan de fosfaatafvoer van 'onbemest'. De verschillen zijn niet altijd betrouwbaar. Van een duidelijke ontwikkeling kan nog niet gesproken worden.

4.2.2 Marknesse (IB0013)

In tabel 6 worden de afvoercijfers voor fosfaat gegeven. De fosfaatafvoer met aardappel werd verhoogd door bemesting met fosfaat. De gift van 240 kg P₂O₅/ha leidde tot een hogere fosfaatafvoer dan bij evenwichtsbemesting. Hoe hoger de fosfaatgift, hoe hoger de fosfaatafvoer werd. De afvoer met korrel en stro van zomertarwe in 2003 werd niet beïnvloed door fosfaatbemesting noch door de hoogte van de fosfaatgift. De fosfaatafvoer van suikerbiet (biet plus loof) werd bepaald door de fosfaatgift. De afvoer nam toe door fosfaatbemesting. Echter de hoogte van de fosfaatgift had geen significant effect. Aardappel reageerde in 2005 zowel op de fosfaat als op de hoogte van de fosfaatgift. Hoe hoger de fosfaatgift, hoe hoger de fosfaatafvoercijfers. De afvoer met korrel en stro van zomergerst reageerde in 2006 op fosfaat. Toedienen van fosfaat verhoogde de afvoer. De hoogte van de fosfaatgift had geen invloed. De fosfaatafvoercijfers werden dus (deels) wel bepaald door de fosfaatbehandelingen maar die opname resulteerde niet in significante verhogingen in de productie van de veldgewassen (§ 4.1.2).

² De voorgenomen fosfaatgebruiksnorm voor 2015 is 60 kg P₂O₅/ha/jaar

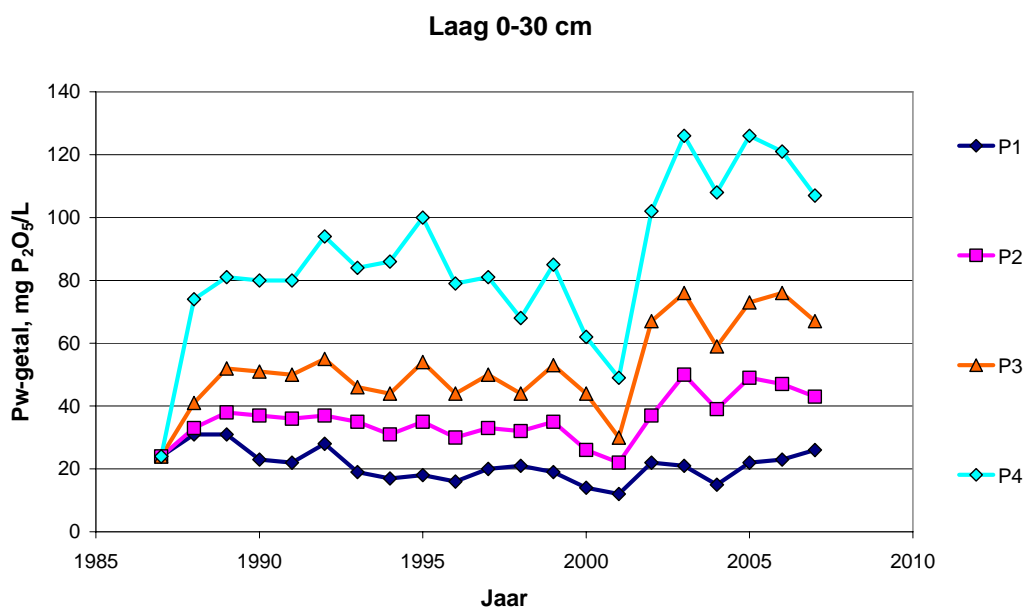
4.3 Wijzingen in de fosfaattoestand in de tijd

4.3.1 Lelystad (P1801)

Het beloop van de fosfaattoestand vanaf de start van het proefveld in najaar 1986 is weergegeven in de figuren 16 tot en met 19. Het betreft de verandering van het Pw-getal en van het PAL-getal van de bodemlagen 0-30 cm en 30-60 cm over de proefperiode.

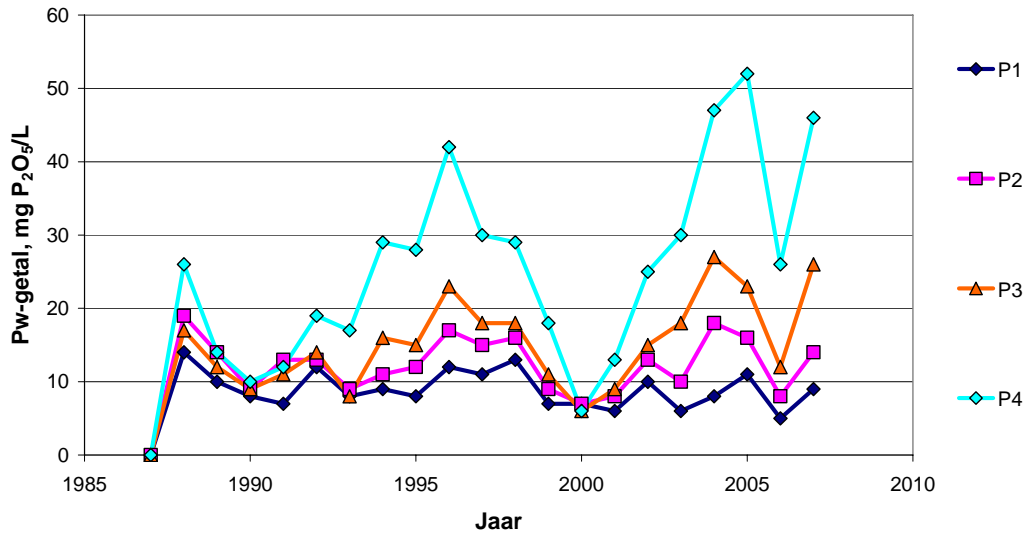
De fosfaattoestand van de bodemlagen 0-30 en 30-60 cm na de oogst laten over de periode 1987-2007 een grillig verloop zien (figuren 16, 17, 18 en 19). In de eerste jaren, met hoge fosfaatgiften, steeg de fosfaattoestand snel. Na 1995 nam de toestand af; ook bij de toestanden met een hoge jaarlijkse bemesting. Het Pw-getal steeg sneller dan het PAL-getal. In 2002 en 2003 werden hoge waarden vastgesteld en deze nemen de laatste vier jaar weer langzaam af. Dit grillig verloop wordt zowel bij het Pw-getal als bij het PAL-getal gevonden en geldt voor beide bodemlagen. Een verlaging van het Pw-getal gaat gepaard met een verlaging van het PAL-getal en vice versa.

In de periode 1992 t/m 2001 was de LSD-waarde per kalenderjaar voor de vergelijking van de P-objecten (P1, P2, P3 en P4) voor het Pw-getal van de bodemlaag 0-30 cm 4 mg P_2O_5 /ha. Na 2002 is dit 14 tot 20 mg P_2O_5 /ha. Na 2001 komt meer spreiding voor tussen de herhalingen zonder dat dit gerelateerd is aan wezenlijke wijzigingen in de proefuitvoering. Wellicht heeft dit te maken met de stijging in de waarde van het Pw-getal.



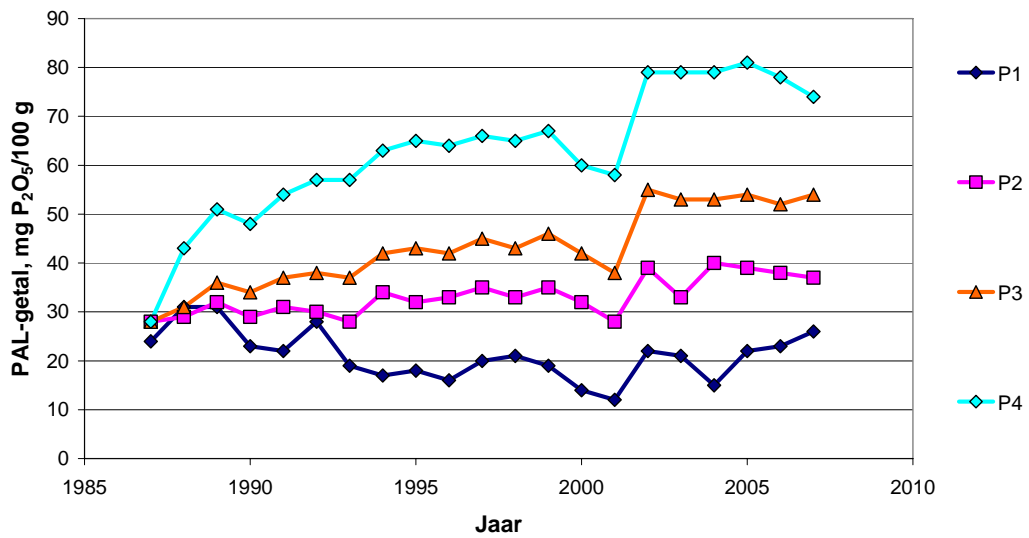
Figuur 16. Verloop van het Pw-getal (mg P_2O_5 /L) per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2007. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P_2O_5 /ha/jaar.

Laag 30-60 cm

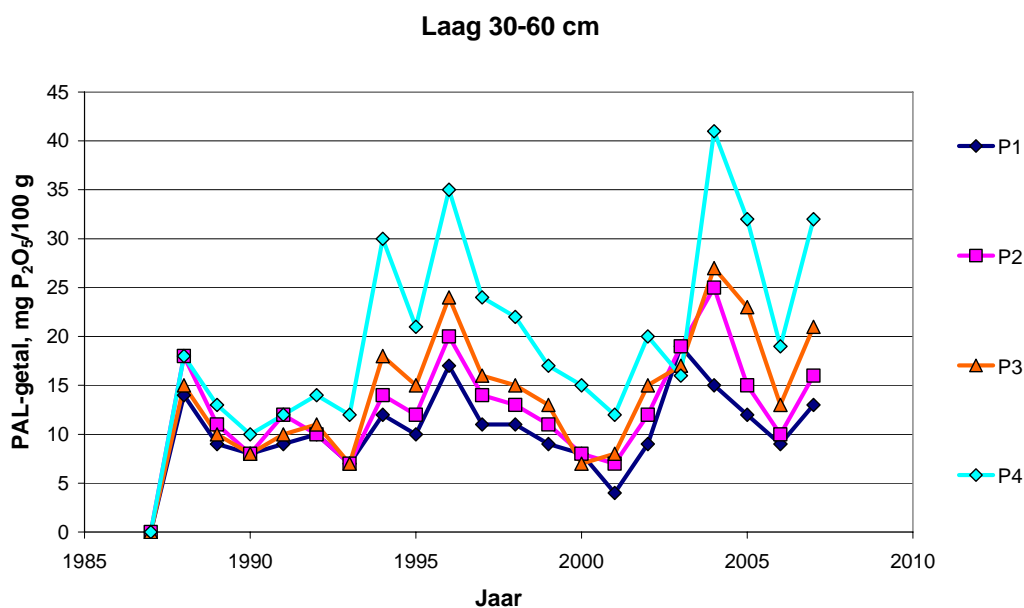


Figuur 17. Verloop van het Pw-getal (mg P₂O₅/L) per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2007. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P₂O₅/ha/jaar.

Laag 0-30 cm



Figuur 18. Verloop van het PAL-getal (mg P₂O₅/100 g) per P-object per jaar voor de laag 0-30 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2007. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P₂O₅/ha/jaar.



Figuur 19. Verloop van het PAL-getal (mg P₂O₅/100 g) per P-object per jaar voor de laag 30-60 cm voor de veldproef in Lelystad (P1801) voor 1987 t/m 2007. Fosfaatgiften bij de P-objecten P1 t/m P4 waren respectievelijk 0, 70, 140 en 280 kg P₂O₅/ha/jaar.

Vanaf 2005 is de helft van de veldjes ‘bemest’ en de andere helft ‘onbemest’. Dit heeft een betrouwbaar effect op de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal. Bij beoordeling bij hetzelfde P-object zijn in 2005, 2006 en 2007 verschillen in Pw-getal groter dan respectievelijk 9, 12 en 14 eenheden significant. Bij beoordeling van de waarde van het Pw-getal als gemiddelde van de vier P-trappen geldt een LSD-waarde van respectievelijk 5, 6 en 7 eenheden. Een hogere fosfaattoestand daalt bij uitmijnen dus sneller dan een lagere toestand.

In tabel 7 is de ontwikkeling van de fosfaattoestand weergegeven voor de periode 2005 tot en met 2007. In de laatste drie jaar zijn de P-objecten gespist in een helft zonder fosfaatbemesting en een helft met bemesting. Het betreffen Pw-getal, PAL-getal, P-CaCl₂ (PPAE) en P-totaal van de bodemlaag 0-30 cm. Bij P4 leidt het achterwege laten van de fosfaatbemesting in alle drie de jaren tot een betrouwbaar lager Pw-getal ten opzichte van de veldjes die bemest zijn met 280 kg fosfaat/ha. Dit geldt ook voor het PAL-getal, P-CaCl₂ (PPAE) en P-totaal.

Alle jaren 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 PAL-getal. De niveauverschillen voor zowel het Pw-getal en het PAL-getal tussen deze P-objecten bleven in alle jaren in de laag 0-30 gehandhaafd. Deze verschillen tussen de 4 P-objecten waren alle jaren significant.

De waarden voor het Pw-getal en het PAL-getal in de laag 30-60 cm waren per toestand steeds lager dan die van de laag 0-30 cm. In grote lijnen was het verloop van beide waarden wel gelijk aan die in laag 0-30 cm. De uitschieters waren echter groter.

In de meeste jaren waren er betrouwbare verschillen tussen de P-objecten voor zowel het Pw-getal als het PAL-getal. Dat betekent dat er sprake is van een verplaatsing van fosfaat uit de bouwvoor naar de dieper gelegen bodemlagen. Uitzonderingen daarop waren de jaren 2000 voor het Pw-getal en 2003 voor het PAL-getal. Ook in de opbouwjaren kort na 1987 waren de verschillen tussen de P-objecten nog niet significant.

De verschillen, die tussen de P-objecten worden vastgesteld op basis van het Pw-getal en het PAL-getal, worden ook met P-CaCl₂ (PPAE) en P-totaal vastgesteld. Elke methode van grondonderzoek toont het effect van de aangelegde behandelingen aan: hoe hoger het fosfaatoverschot hoe hoger de waarde is. Die waarde is afhankelijk van de aard van de destructie of extractie en volgt P-totaal > PAL-getal > Pw-getal > PPAE. De spreiding in de meetwaarden van de jaren 2005, 2006 en 2007 is bij PPAE relatief groter dan die bij Pw-getal of PAL-getal. 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.

Tabel 7. Fosfaattoestand van proefveld P1801 (Lelystad) vanaf 2005 bepaald als Pw-getal (mg P₂O₅/L), PAL-getal (mg P₂O₅/100 g), P-CaCl₂ (mg P/kg) en P-totaal (mg P₂O₅/100 g), van de bodemlaag 0-30 cm. Bemonstering in najaar van betreffend jaar.

P-object	P1		P2		P3		P4		LSD binnen P-object	
	0	70	0	70	0	140	0	280		
Bemesting kg P₂O₅/ha										
Pw-getal	2005	22	nvt	51	49	68	73	113	126	9
	2006	23	27	53	47	62	76	97	121	12
	2007	19	26	36	43	55	67	90	107	14
PAL-getal	2005	27	nvt	38	39	52	54	77	81	3
	2006	26	27	36	38	49	52	68	78	5
	2007	23	27	35	37	45	54	64	74	5
P-CaCl₂ (PPAE)	2005	0,5	nvt	1,4	1,6	2,6	3,0	5,3	6,1	0,7
	2006	0,6	0,8	1,4	1,7	2,5	3,2	4,8	6,9	1,2
	2007	0,6	0,9	1,3	1,4	2,1	3,0	4,0	6,5	1,2
P-totaal	2005	105	nvt	120	119	138	139	166	173	10
	2006	94	98	108	114	125	129	147	161	12
	2007	76	86	95	97	111	121	135	184	47

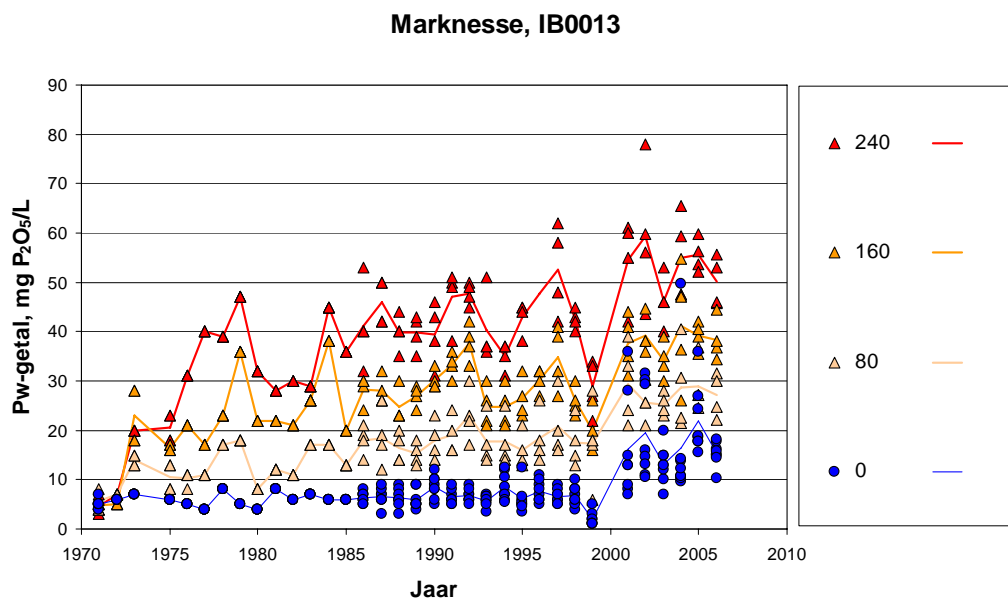
Samenvattend kan gesteld worden dat de 4 P-objecten zich op een betrouwbaar verschil handhaven in de laag 0-30 cm. Vreemd en onverklaarbaar zijn de lage waarden in 2001, en het sterke herstel op een hoger niveau in de jaren daarna. De laatste 2-3 jaar toont een stabilisatie of een lichte neerwaartse trend. Komende jaren zullen moeten uitwijzen of dit toeval is of een echte ontwikkeling.

Het is opvallend dat de fosfaattoestand van het object P1 met een cumulatief fosfaatoverschot van 330 kg P₂O₅/ha in de periode 1987-1997 en daarna geen fosfaatbemesting meer, na een periode van 20 jaar nagenoeg de fosfaattoestand heeft van de beginperiode. Dit wijst op nalevering door de bodem.

4.3.2 Marknesse (IB0013)

De veldproef heeft in het najaar van 1990 een wijziging ondergaan. Objecten met Rhenaniafosfaat zijn omgezet naar behandelingen gericht op het volgen van effecten van evenwichtsbemesting. Hierbij werd de fosfaatafvoer met het gewas in het volgende jaar gecompenseerd (M) of een veelvoud daarvan (2M of 3M). De behandelingen met superfosfaat en de behandeling zonder fosfaatbemesting werden gecontinueerd. Daardoor zijn er twee trends te geven namelijk één trend voor de verandering in de tijd bij vaste fosfaatgiften gegeven met superfosfaat en één trend voor veranderingen in de tijd bij variabele giften gericht op (strikte) evenwichtsbemesting. De figuren 20 en 21 geven respectievelijk deze trends voor Pw-getal voor constant. PAL-getal wordt pas vanaf 2002³ gemeten. De trend voor het PAL-getal wordt in figuur 22 gegeven.

Al na twee jaar ontstaan er significante verschillen tussen de behandeling met fosfaat t.o.v. de behandeling zonder fosfaat en tussen de behandeling met 80 kg fosfaat/ha en de behandelingen met 160 of 240 kg fosfaat/ha. In de daarop volgende jaren blijven die verschillen significant. De fosfaattoestand stijgt nauwelijks na twee rotaties (8 jaar). Er lijkt sprake te zijn van een afvlakking (*steady state*). De variatie tussen jaren is groot. Na 2000 is er sprake van een niveauverschil t.o.v. de voorafgaande periode: alle behandelingen hebben systematisch hogere waarden.

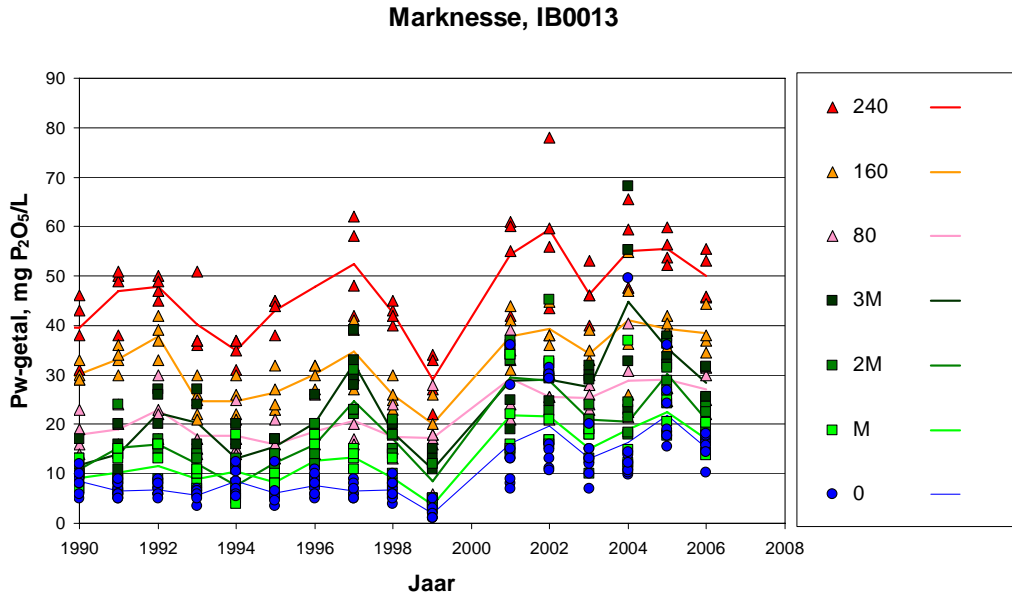


Figuur 20. Verloop in de tijd van het Pw-getal (mg P₂O₅/L) in de bouwvoor (0-25 cm) van de veldproef op kalkrijke zavel te Marknesse bij vier fosfaatgiften 0, 80, 160 en 240 kg P₂O₅/ha gegeven als superfosfaat. Het kleinste significante verschil tussen behandelingen en jaren is 5,6 mg P₂O₅/L.

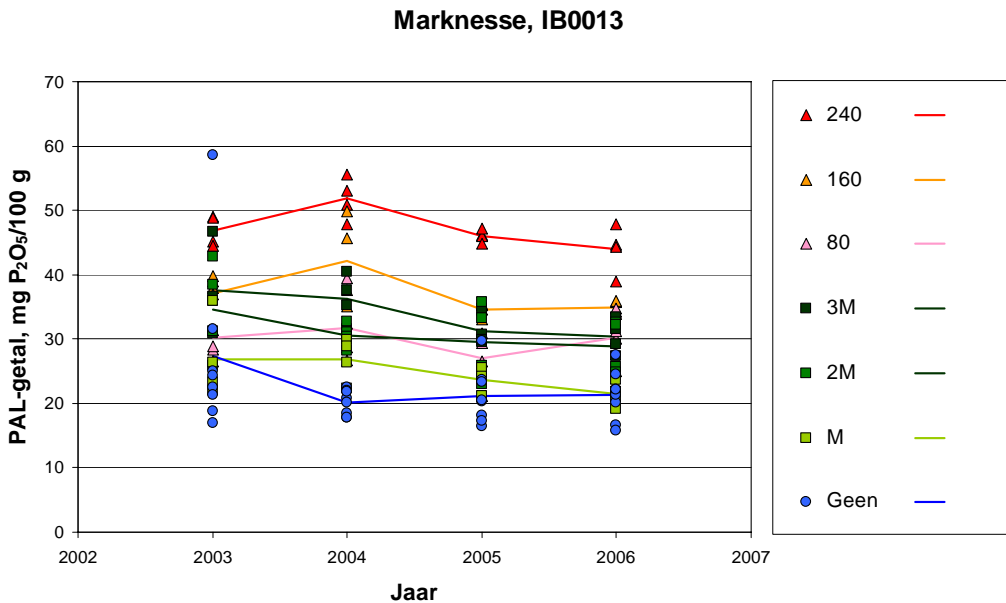
De behandelingen M, 2M en 3M leiden tot steeds hogere fosfaattoestanden gemeten als Pw-getal (figuur 21). M verschilt niet van de behandeling zonder fosfaatbemes-

³ De grondmonsters worden bewaard in TAGA. Daardoor is een analyse van oudere proefjaren nog mogelijk.

ting. 2M verschil van de behandeling zonder fosfaatbemesting maar niet van M. 3M verschilt niet significant van 2M maar wel van de behandeling zonder fosfaatbemesting en M.



Figuur 21. Verloop in de tijd van het Pw-getal (mg P_2O_5/L) in de bouwvoor (0-25 cm) van de veldproef op kalkrijke zavel te Marknesse bij vier fosfaatgiften 0, 80, 160 en 240 kg P_2O_5/ha gegeven als superfosfaat en drie fosfaatgiften afgestemd op strikte evenwichtsbemesting. Het kleinste significante verschil tussen behandelingen en jaren is 8,0 mg P_2O_5/L .



Figuur 22. Verloop in de tijd van het PAL-getal in de bouwvoor (0-25 cm) van de veldproef op kalkrijke zavel te Marknesse bij vier fosfaatgiften 0, 80, 160 en 240 kg P_2O_5/ha gegeven als superfosfaat en drie fosfaatgiften afgestemd op strikte evenwichtsbemesting. Het kleinste significante verschil tussen behandelingen en jaren is 7,0 mg $P_2O_5/100 g$.

Het PAL-getal verloopt niet significant in de meetperiode 2003-2004 (figuur 22). De fosfaatgiften 0, 80, 160 en 240 kg fosfaat/ha hebben geleid tot onderling significante verschillen. M verschilt niet van de behandeling zonder fosfaatbemesting maar is significant lager dan de 2M of de 3M behandeling. Het PAL-getal van de 2M-behandeling is significant lager t.o.v. de 3M-behandeling.

4.3.3 Marknesse (IB0016)

De fosfaattoestand van de veldjes van de fosfaattoestanden-hoeveelheden veldproef IB0016 te Marknesse zijn ingedeeld volgens de waardering van de fosfaattoestand van bouwland volgens de huidige bemestingsadviezen (Van Dijk, 2003). Een deel van de veldjes met een bereik in fosfaattoestand kreeg geen fosfaat, het andere deel gemiddeld 87 kg P₂O₅/ha/jaar. De ontwikkeling van het Pw-getal in de periode 1998-2006 wordt gegeven in tabel 8.

Zonder fosfaatbemesting bleef de toestand *laag* op gelijk niveau voor de waarderingsklasse *laag* terwijl de fosfaattoestanden van de klassen *voldoende* en *ruim voldoende* zonder bemesting in deze periode daalden. Met bemesting steeg de fosfaattoestand in de klassen *laag* en *voldoende* terwijl de fosfaattoestand van de klasse *ruim voldoende* op eenzelfde niveau bleef. De stijging van de fosfaattoestand bij de klasse *laag* was wat groter dan die bij de klasse *voldoende*. Bij een gemiddelde jaarlijkse gift van 87 kg fosfaat/ha is er gemiddeld een jaarlijks overschot van 36 kg fosfaat/jaar.

Tabel 8. De ontwikkeling van het Pw-getal in mg P₂O₅/L in de bouwvoor (0-25 cm) in de periode 1997-2006 bij drie waarderingsklassen voor fosfaat bij geen bemesting of met bemesting met gemiddeld 87 kg P₂O₅/ha/jaar voor IB0016 te Marknesse. LSD is 10 mg P₂O₅/L.

Jaar	Klasse volgens bemestingsadvies					
	Laag		Voldoende		Ruim voldoende	
	0 kg P₂O₅/ha	87 kg P₂O₅/ha	0 kg P₂O₅/ha	87 kg P₂O₅/ha	0 kg P₂O₅/ha	87 kg P₂O₅/ha
1997	16	17	26	26	39	37
2002	16	25	18	26	31	31
2003	18	27	22	31	29	34
2004	17	24	20	27	26	34
2005	27	42	28	42	31	46
2006	17	27	21	34	27	38

De ontwikkeling van het PAL-getal in deze periode wijkt af van die voor het Pw-getal (tabel 9). Zonder fosfaatbemesting daalt de fosfaattoestand bij alle klassen. De daling is groter naarmate de fosfaattoestand hoger is. Met fosfaatbemesting blijven de fosfaattoestanden op eenzelfde niveau.

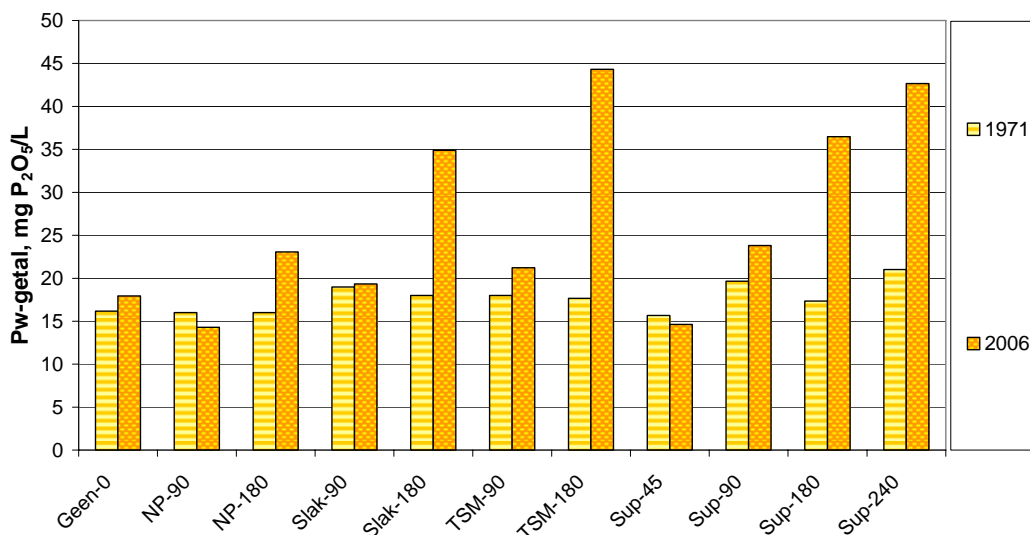
Tabel 9. De ontwikkeling van het PAL-getal in $\text{mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$ in de bouwvoor (0-25 cm) in de periode 1997-2006 bij drie waarderingsklassen voor fosfaat op basis van Pw-getal bij geen bemesting of met bemesting met gemiddeld $87 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}/\text{jaar}$ voor IB0016 te Marknesse. LSD is $6 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$.

Jaar	Klasse volgens bemestingsadvies					
	Laag		Voldoende		Ruim voldoende	
	$0 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$	$87 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$	$0 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$	$87 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$	$0 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$	$87 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$
1997	28	28	35	35	47	46
2002	28	30	35	38	44	44
2003	25	33	32	37	38	45
2004	25	28	29	34	39	40
2005	24	37	31	36	38	42
2006	24	29	28	34	35	39

4.3.4 Wijster (IB1920)

De veldproef IB1920 te Wijster heeft tot en met 1995 een volledige proefuitvoering gekend. Vanaf 1996 t/m 2001 is de proef voortgezet zonder dat er metingen werden uitgevoerd. De fosfaatbemestingen werden jaarlijks gecontinueerd; alle overige handelingen werden uitgevoerd door de proefveldhouder. Vanaf 2002 is de fosfaattoestand in het najaar weer bepaald. In 2007 wordt een volledige proefuitvoering met meting van opbrengst en grondonderzoek uitgevoerd. Figuren 23 en 24 geven de wijzigingen in de fosfaattoestand als respectievelijk Pw-getal en PAL-getal in 2006 t.o.v. 1971.

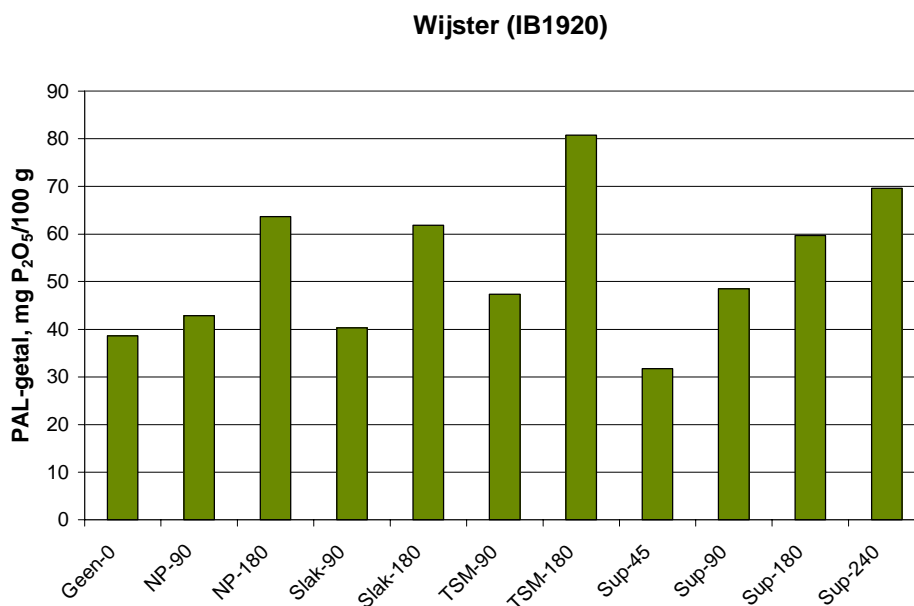
Wijster (IB1920)



Figuur 23. De fosfaattoestand gemeten als Pw-getal bij aanleg van de veldproef in 1971 en in 2006. Geen-0 is geen fosfaatbemesting. De getallen 45, 90, 180 en 240 zijn de jaarlijkse giften fosfaat in $\text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$. NP is natuurfosfaat, Rhen is Rhenaniafosfaat, Slak is Thomasslakkenmeel, TSM is Thomaskali, sup is superfosfaat (LSD is $5,5 \text{ mg P}_2\text{O}_5/\text{L}$).

Na 35 jaar is er geen wijziging in Pw-getal bij de objecten Geen-0, NP-90, Slak-90, TSM-90 en sup-45. Alle overige behandelingen leiden tot een hoger Pw-getal en wel in de volgorde TSM-180=Sup-240>Sup-180=Slak-180>Sup-90=NP-180⁴). In de periode 1971-1995 was de gemiddelde fosfaatafvoer 45 kg P₂O₅/ha. Er zal op basis van de cijfers van 2007 nog een verificatie plaatsvinden of de fosfaatafvoer gewijzigd is (dit onderdeel valt buiten deze rapportage). Het cumulatieve fosfaatoverschot over de jaren 1971 t/m 2006 komt niet tot uitdrukking in het Pw-getal bij natuurfosfaat en slakkenmeelhoudende meststoffen (Slak, TSM).

Het cumulatieve overschot komt wel tot uitdrukking in wijzigingen in het PAL-getal. Meetgegevens van het PAL-getal in 1971 van alle veldjes ontbreken. Het effect van de behandelingen op de fosfaattoestand in het najaar van 2006 wordt gegeven in figuur 24. De behandelingen verschillen onderling. Behandelingen met 180 kg P₂O₅/ha leiden tot een hogere fosfaattoestand dan behandelingen met 90 kg P₂O₅/ha. Alle behandelingen met superfosfaat verschillen onderling significant. De behandelingen met NP, Slak en TSM met 90 kg P₂O₅/ha verschillen niet significant van de behandeling zonder fosfaatbemesting. De behandeling met 90 kg P₂O₅/ha als superfosfaat daarentegen leidt tot een hoger PAL-getal t.o.v. de overige behandelingen met deze fosfaatgift. De behandeling met 45 kg P₂O₅/ha verschilt niet significant van de behandeling zonder fosfaat hoewel het PAL-getal lager is. Er is een aanwijzing dat bij deze behandeling het PAL-getal systematisch lager wordt dan de fosfaattoestand zonder fosfaatbemesting (data niet gegeven).



Figuur 24. De fosfaattoestand gemeten als PAL-getal in 2006 na 35 jaar voortzetting. Geen-0 is geen fosfaatbemesting. De getallen 45, 90, 180 en 240 zijn de jaarlijkse giften fosfaat in kg P₂O₅/ha. NP is natuurfosfaat, Rhen is Rhenaniafosfaat, Slak is thomasslakkenmeel, TSM is thomaskali, sup is superfosfaat (LSD is 9,6 mg P₂O₅/100 g).

⁴ = betekent geen significant onderling verschil

Het verloop van de fosfaattoestand na het stoppen van de fosfaatbemesting met Rhenaniafosfaat vanaf 1986 wordt gegeven door Salm e.a. (2008b).

4.4 Wijzigingen in de fosfaattoestand als functie van het jaarlijkse of cumulatieve fosfaatoverschot

De veldproeven te Lelystad (P1801) en Marknesse (IB0013) hebben een volledig meetprogramma. Effecten van fosfaatoverschotten kunnen daardoor voor deze veldproeven op basis van metingen worden gegeven.

4.4.1 Lelystad

In de tabel 10 wordt de verandering van de fosfaattoestand (Pw-getal of PAL-getal) gegeven in de bodemlagen 0-30 of 30-60 cm als functie van het jaarlijkse bemestingsoverschot (dit is de fosfaatbemesting verminderd met de afvoer van fosfaat met het geogoste gewas). De proefperiode van dit proefveld is daarbij verdeeld in drie gelijke perioden van 7 jaar - 1987 t/m 1993; 1994 t/m 2000 en 2001 t/m 2007 - om te onderzoeken of er sprake is van significante veranderingen in P-toestand in elk van deze periode. De verandering in Pw-getal of PAL-getal per jaar is gerelateerd aan het fosfaatoverschot van het desbetreffende jaar volgens:

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

Met STP: verandering in Pw-getal of PAL-getal in jaar i ten opzichte van jaar (i-1)

C_t : constante voor de desbetreffende periode

O_i : fosfaatoverschot in jaar i.

Het resultaat van de regressieanalyse wordt gegeven in tabel 12.

In de periode 1987 t/m 1993 nam het Pw-getal gemiddeld met 4,2 mg P_2O_5/L toe bij een bemestingsoverschot van 100 kg $P_2O_5/ha/jaar$ maar er was sprake van een grote spreiding; het percentage verklaarde variantie (R^2 -adj.) was 26,4%. In dezelfde periode nam het PAL-getal met 1,6 mg $P_2O_5/100 g$ toe bij een bemestingsoverschot van 100 kg $P_2O_5/ha/jaar$. De beschrijving van de verandering in de P-toestand door het fosfaatoverschot zijn zeer sterk significant (F pr. < 0,001) maar er blijft veel variantie niet verklaard.

In de periode 1994 t/m 2000 waren veranderingen in het Pw-getal en het PAL-getal niet gerelateerd aan het fosfaatoverschot.

In de periode 2001 t/m 2007 is er weer een toename in Pw- en PAL-getal. Deze toename is gemiddeld even groot als die in de eerste periode van 7 jaar, maar de spreiding is groter (veel lagere R^2). De beschrijving van de verandering in de P-toestand door het fosfaatoverschot is nog wel sterk significant (F pr. 0,006 tot 0,023) maar er wordt nauwelijks variantie verklaard. De variatie in de fosfaattoestand blijkt

afhankelijk te zijn van het niveau. Hoge waarden voor de fosfaattoestand leiden tot een grotere variatie dan lage waarden. Dit aspect dient nog nader te worden onderzocht.

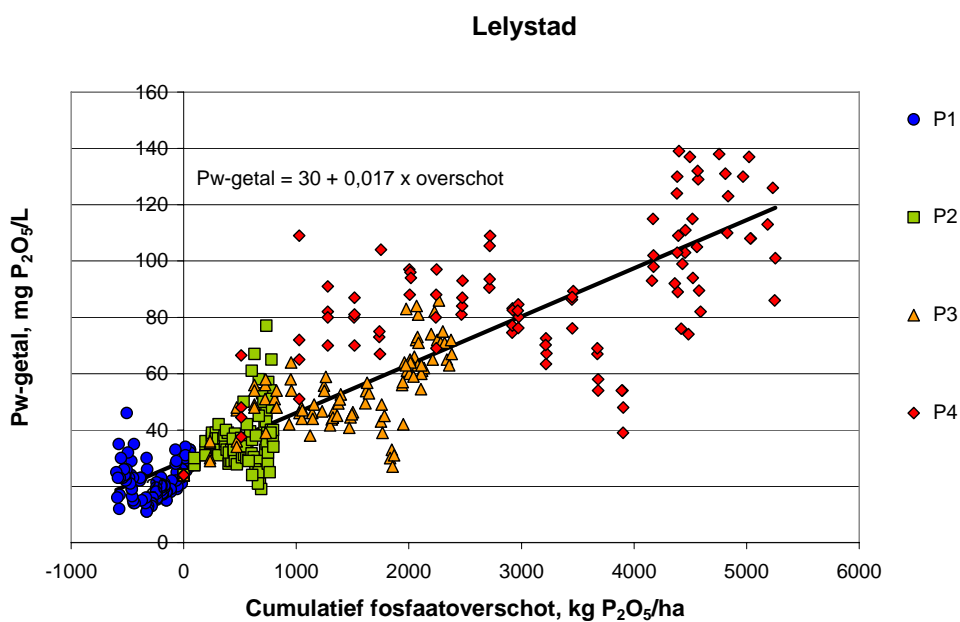
Tabel 10. Verandering van de fosfaattoestand (Pw-getal of PAL-getal) in de bodemlagen 0-30 of 30-60 cm als functie van het jaarlijkse bemestingsoverschot voor de veldproef te Lelystad.

Periode	Grootheid	Pw-getal			PAL-getal		
		schatting	standaardfout	R ² -adj	schatting	standaardfout	R ² -adj
		mg P ₂ O ₅ /L		%	mg P ₂ O ₅ /L		%
1987-1993	Constante	2,20	1,27	26,4	0,92	0,49	24,7
	Helling	0,042	0,007		0,016	0,003	
1994-2000	Constante	-1,04	1,15	-	0,65	0,44	-
	Helling	-0,004	0,009		-0,002	0,004	
2001-2007	Constante	0,23	2,12	5,8	0,007	0,844	3,8
	Helling	0,048	0,017		0,016	0,007	

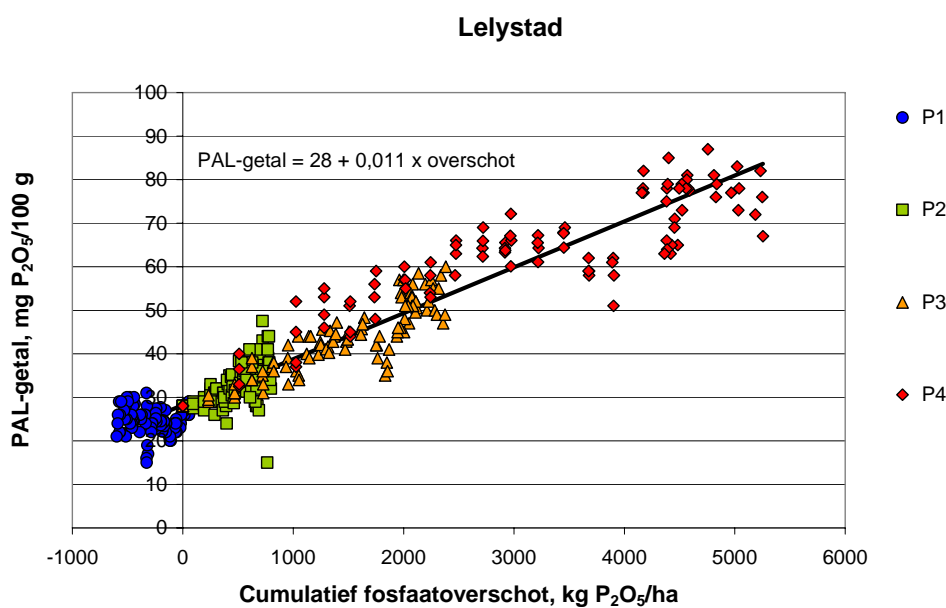
Cumulatief bemestingsoverschot

In de figuren 25 en 26 worden de effecten van het voortschrijdend cumulatieve fosfaatoverschot op de ontwikkeling van het Pw-getal of PAL-getal voor de gehele proefperiode gegeven. In de figuren zijn ook de gegevens opgenomen van de behandelingen die vanaf 2005 geen fosfaatbemesting meer hebben ontvangen. De ontwikkeling van het Pw-getal of het PAL-getal kan met een rechtlijnig verband worden beschreven. Er is geen aanwijzing dat voor de veldproef in Lelystad het verloop van de fosfaattoestand bij een negatieve fosfaatbalans een ander verband heeft dan bij de opbouwfase bij een positieve fosfaatbalans. Op deze wijze weergegeven kan geconcludeerd worden dat het Pw-getal gemiddeld met 1,7 mg P₂O₅ per ha toe- of afneemt bij een cumulatief overschot van respectievelijk +100 of -100 kg P₂O₅/ha. Uit figuur 26 blijkt dat het PAL-getal met gemiddeld 1,0 mg P₂O₅/100 g toeneemt bij toename van het cumulatief overschot van 100 kg P₂O₅/ha. Het lot van de cumulatieve fosfaatbalans wordt beter met het PAL-getal gevolgd dan met het Pw-getal (percentages verklaarde variantie respectievelijk 91,2% en 77,6%) maar beide verbanden zijn zeer sterk significant. Voor zowel Pw-getal als PAL-getal geldt dat bij een gelijk cumulatief fosfaatoverschot een groot bereik mogelijk is in de waarde die de fosfaattoestand krijgt.

Conclusies: De figuren maken zichtbaar dat er sprake is van een groot jaar tot jaar spreiding. Uitgaande van een gelijke begintoestand in najaar 1986 met een Pw-getal van 24 mg P₂O₅/L zien we dat een Pw-getal van 80 mg P₂O₅/L zowel bereikt kan worden met een overschot van 1000 kg fosfaat/ha, maar dat soms ook een overschot van 4000 kg fosfaat per ha nodig is.



Figuur 25. De fosfaattoestand gemeten als Pw-getal (mg P₂O₅/L) van de laag 0-30 cm als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot per veldje voor de periode 1987 t/m 2007 voor de fosfaattoestandenproefveld (P1801) te Lelystad.



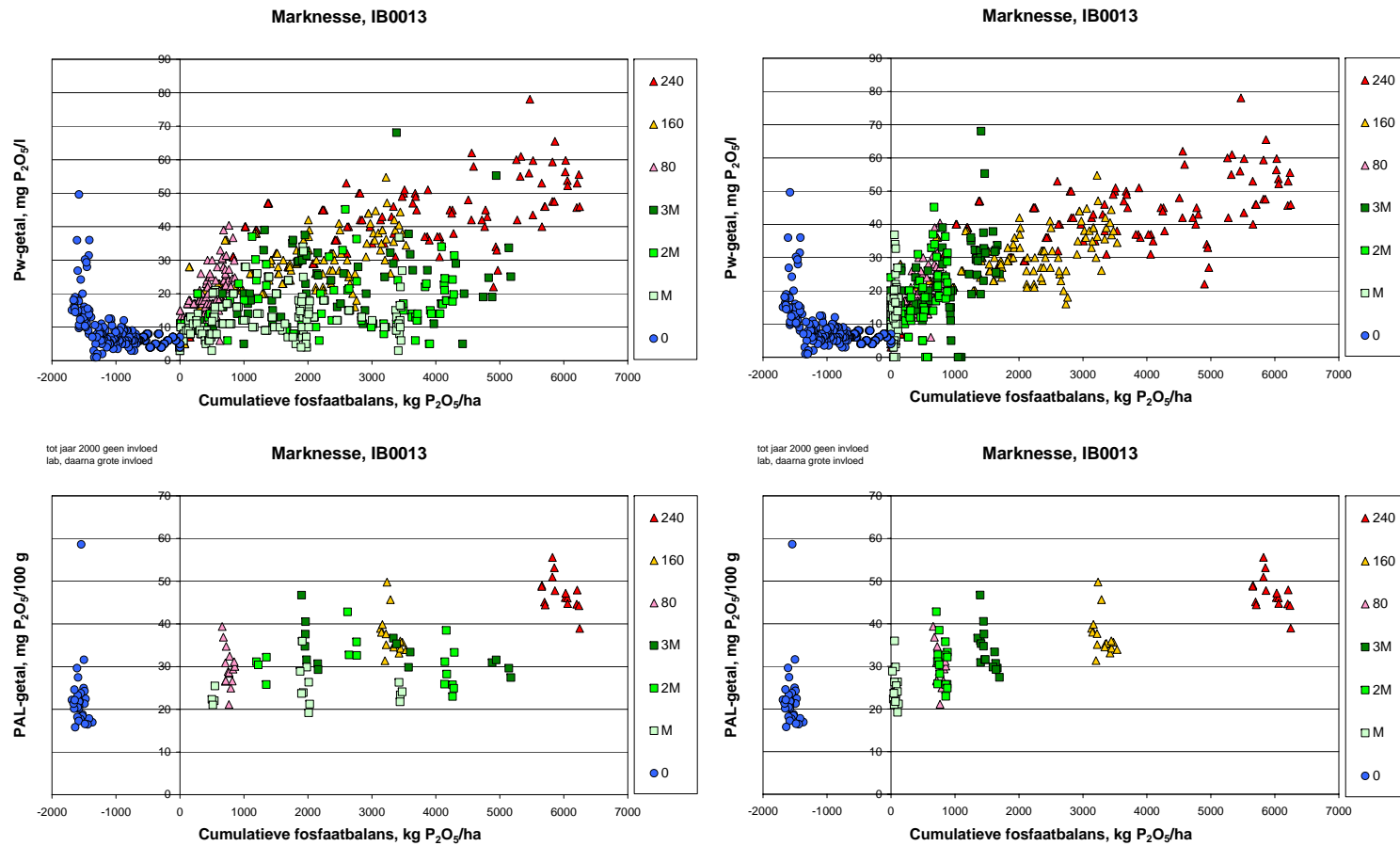
Figuur 26. De fosfaattoestand gemeten als PAL-getal (mg P₂O₅/100 g) van de laag 0-30 cm als functie van het cumulatieve fosfaatoverschot per veldje voor de periode 1987 t/m 2007 voor de fosfaattoestandenproefveld (P1801) te Lelystad.

4.4.2 Marknesse

Cumulatieve fosfaatbalansen zijn op te stellen voor de periode 1971-2006 waarbij onderscheid aangebracht kan worden tussen de periode voor 1991 en vanaf 1991.

Dit onderscheid wordt aangehouden om de effecten van de verschillende bemestingsstrategieën op de wijzigingen in de fosfaattoestand inzichtelijk te maken. De fosfaattoestand is gemeten als Pw-getal of als PAL-getal (vanaf 2003).

De fosfaattoestand neemt toe bij een hoger overschot (figuur 27). Er is echter sprake van een aanzienlijke spreiding. Deze spreiding vraagt nog nadere analyse. Het meewegen van de historische bemesting (linker deel van de figuren) geeft een diffuser beeld bij het vaststellen van het effect van cumulatief fosfaatoverschot op de fosfaattoestand t.o.v. het meewegen van recentere bemesting (rechter deel van de figuren). Indien geen fosfaatbemesting wordt gegeven, dan blijkt de fosfaattoestand van de bouwvoor toch wat toe te nemen. In 2004 en 2005 zijn hogere waarden voor de fosfaattoestand gemeten die dit beeld versterken. Bij een negatieve fosfaatbalans blijkt er geen sprake te zijn van een verdere daling van de fosfaattoestand. Daardoor blijkt de afbouw van de fosfaattoestand hier een ander verband met het cumulatieve overschot te hebben dan bij opbouw van de fosfaattoestand door een positieve fosfaatbalans. In dit opzicht wijkt de proef in Marknesse af van de proef in Lelystad.



Figuur 27. Het effect van de cumulatieve fosfaatbalans op de fosfaattoestand. De cumulatieve fosfaatbalans is bepaald voor de totale periode (links) of de periode vanaf 1991 (rechts). De fosfaattoestand is gemeten als Pw-getal (boven) of als PAL-getal (onder). De legenda is gelijk aan die van figuur 21.

4.5 Fosfaatbodemfracties in 2002

Na de oogst werd in 2002 op de locaties Lelystad, Marknesse en Wijster een profielbemonstering uitgevoerd (§ 2.2.2). De bemonstering geeft uitsluitsel over de diepte van indringing van fosfaat in de bodem. Figuur 28 geeft het effect van aangelegde behandelingen op P-totaal voor de extremen in fosfaatoverschotten (effecten van geen bemesting t.o.v. bemesting met hoge fosfaatgiften). In 2002 bedroeg het cumulatieve fosfaat in kg P_2O_5 /ha in Lelystad bij P1 -358 en bij P4 4222. In Marknesse waren de fosfaatbalansen bij geen bemesting -1446 kg P_2O_5 /ha en bij jaarlijkse giften van 240 kg P_2O_5 /ha 5490 kg P_2O_5 /ha en in Wijster⁵ bij geen bemesting -1279 kg P_2O_5 /ha en jaarlijkse giften van 240 kg P_2O_5 /ha 5824 kg P_2O_5 /ha.

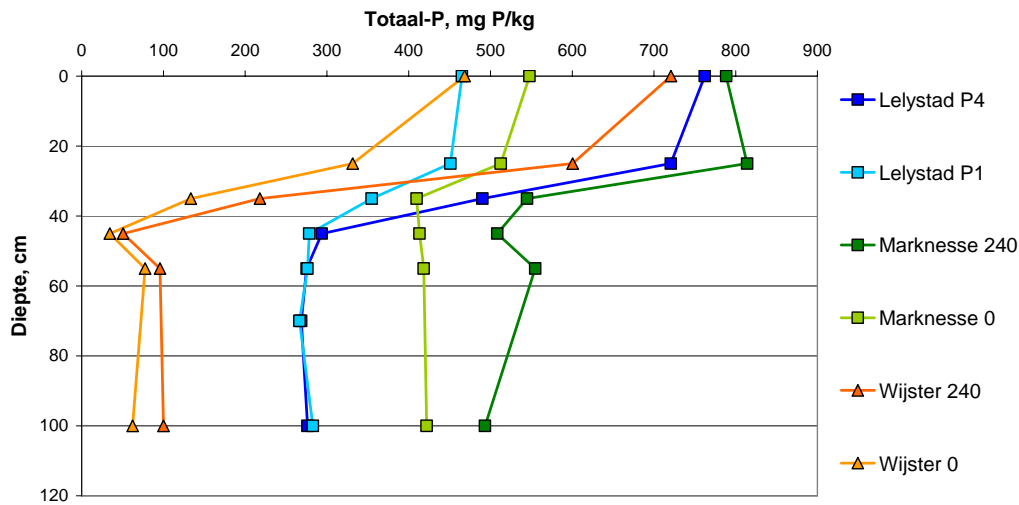
Totaal-P geeft informatie over het lot van de totale fosfaatbalans en de mate waarin fosfaat de bodem is ingedrongen. $P_{-1,2}$ geeft een indicatie op het risico van fosfaatuitspoeling; P_w -getal en PAL-getal geven een indicatie voor de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas. Om onderlinge vergelijking mogelijk te maken, zijn alle dimensies gestandaardiseerd naar mg P/kg.

Deze methoden van chemisch grondonderzoek geven elk, in onderscheidenlijke mate, het lot van het gewasbeschikbare deel van het fosfaatoverschot aan. Hoe hoger het overschot hoe hoger de waarde, hoe lager het overschot hoe lager de waarde. Kwalitatief is er overeenstemming tussen de methoden, ze geven dezelfde trend, maar kwantitatief zijn er grote verschillen.

Totaal-P

De locaties verschillen in fosfaatrijkdom (figuur 28). De bouwvoor heeft bij de hoogste bemestingsgiften vergelijkbare gehalten aan Totaal-P maar de ondergrond toont grote verschillen. De ondergrond van Marknesse bevat meer fosfaat dan die in Lelystad.

⁵ De cumulatieve fosfaatbalans voor Wijster berust op een extrapolatie van de fosfaatafvoer berekend op basis van de jaargemiddelden voor de geteelde gewassen vanaf 1996.



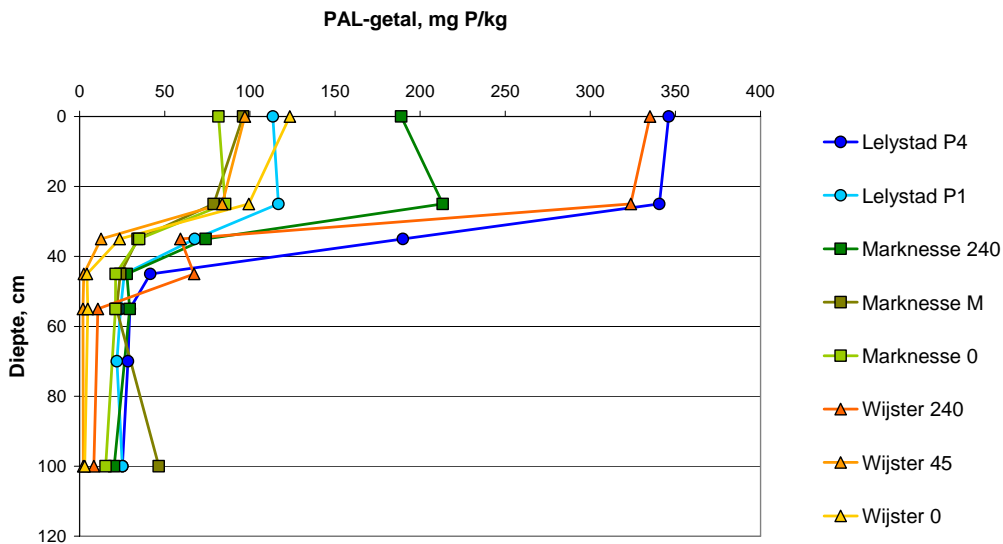
Figuur 28. Het verloop van het totaal fosforgehalte (Totaal-P, mg P/kg) in de bodem met de diepte voor de kalkhoudende/kalkrijke zavel te Lelystad en Marknesse en de kalkloze zandgrond te Wijster in het najaar van 2002 bij geen bemesting (0, P1) en de hoogste fosfaatgift superfosfaat (280 of 240 kg P₂O₅/ha).

De zavel van Lelystad en Marknesse zijn in de ondergrond rijker aan fosfaat dan die de zandgrond te Wijster. Effecten van bemesting zijn tot in de laag 40-50 cm terug te vinden bij Lelystad en Wijster. Marknesse daarentegen toont een verschil in behandeling aan tot in de bodemlaag 60-100 cm; zonder fosfaatbemesting is er sprake van een lager gehalte aan Totaal-P. Dit verschil kan zijn veroorzaakt doordat gewaswortels en bodemleven fosfaat uit dieper gelegen bodemlagen transporteren naar minder diep gelegen bodemlagen en de bouwvoor bij een negatieve fosfaatbalans. Daarnaast kan bij een positieve fosfaatbalans het omgekeerde plaatsvinden: transport van fosfaat uit de bouwvoor naar dieper gelegen bodemlagen. Ook fosfaatuitspoeling kan hieraan bijdragen maar de mate van uitspoeling is te gering gelet op het verschil in de gehalten aan Totaal-P. Fosfaatuitspoeling kan slechts in beperkte mate aan de verrijking van onder de bouwvoor gelegen bodemlagen hebben bijgedragen.

PAL-getal

Het verloop van het PAL-getal bij de hoogste fosfaatbalans en bij evenwichtsbemesting wordt in figuur 29 gegeven. Naarmate er meer fosfaat gegeven wordt, wordt een hoger PAL-getal in de bouwvoor vastgesteld. Echter de rangschikking volgt niet het cumulatieve overschot. Wijster heeft een hoger overschot dan Lelystad maar geen hoger PAL-getal terwijl de PAL-getallen bij aan aanleg nauwelijks van elkaar verschillen (Lelystad 122 mg P/kg en Wijster 105 mg P/kg). Marknesse heeft een beduidend lager PAL-getal dan Lelystad terwijl het overschot hoger is (ca. 1600 kg P₂O₅/ha). Bij strikte evenwichtsbemesting heeft Wijster een wat hoger PAL-getal dan de onbemeste behandeling; bij Marknesse is er geen wezenlijk verschil.

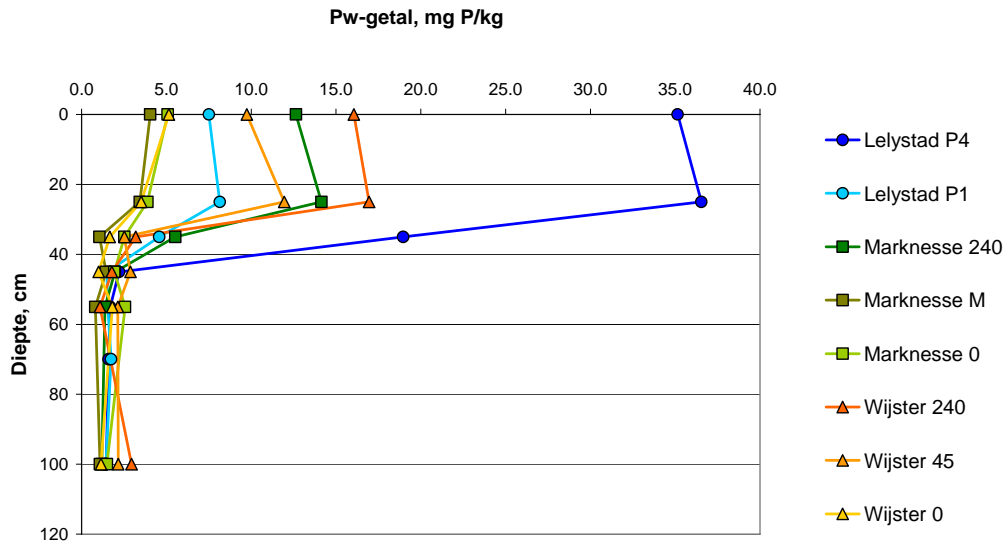
Het PAL-getal neemt af met de diepte. Hoge overschotten geven ook in bodemlagen onder de bouwvoor hogere waarden voor het PAL-getal. Maar die PAL-getallen zijn een orde van grootte kleiner (circa een factor 10 of meer).



Figuur 29. Het verloop van het PAL-getal (mg P/kg) in de bodem met de diepte voor de kalkhoudende/kalkrijke zavelen te Lelystad en Marknesse en de kalkloze zandgrond te Wijster in het najaar van 2002 bij geen bemesting (0, P1), fosfaatgiften overeenkomend met de gewasafvoer (45 of M) en de hoogste fosfaatgift superfosfaat (280 of 240 kg P₂O₅/ha).

Pw-getal

Het verloop van het Pw-getal met de diepte wordt gegeven in figuur 30. Het Pw-getal is te Lelystad veel sneller gestegen dan in Marknesse of Wijster bij hoge overschotten. Evenwichtsbemesting geeft bij Wijster een hoger Pw-getal dan bij de onbemeste behandeling terwijl er geen wezenlijk verschil is bij Marknesse tussen het Pw-getal bij evenwichtsbemesting en de onbemeste behandeling. In de ondergrond is er nog geen invloed van de behandelingen op het Pw-getal vast te stellen.



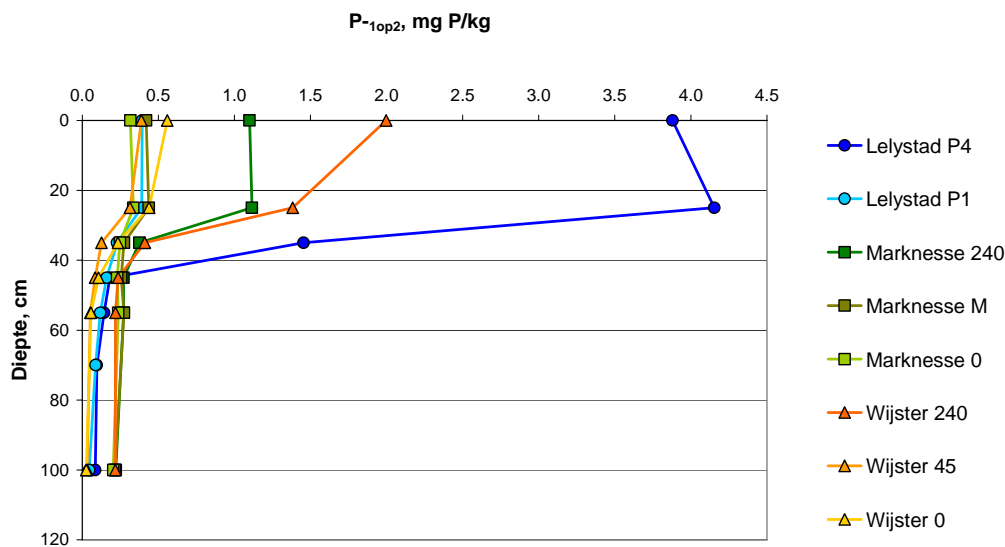
Figuur 30. Het verloop van het Pw-getal (mg P/kg) in de bodem met de diepte voor de kalkhoudende/kalkrijke zavels te Lelystad en Marknesse en de kalkloze zandgrond te Wijster in het najaar van 2002 bij geen bemesting (0, P1), fosfaatgiften overeenkomend met de gewasafvoer (45 of M) en de hoogste fosfaatgift superfosfaat (280 of 240 kg P_2O_5 /ha).

P_{1op2}

Het verloop van de waarden voor P_{1op2} wordt gegeven in figuur 31. Hoge overschotten op de fosfaatbalans leiden te Lelystad tot de grootste toename. Bij Marknesse en Wijster, waar tot en met 2002 veel meer fosfaat gegeven is, zijn de verhogingen tenminste de helft kleiner. Bij Wijster leidt evenwichtsbemesting tot een lagere waarde t.o.v. de onbemeste behandeling; bij Marknesse is er geen verschil.

De hoge overschotten in Lelystad en Marknesse leiden nog niet tot aanrijking in dieper gelegen bodemlagen. In Wijster is er een indicatie dat met het overschot de waarde van P_{1op2} ook in diepere bodemlagen toeneemt.

Deze resultaten van de profielbemonstering wijzen uit dat de lot van het overschot per locatie verschilt. De beschikbaarheid van het residu van fosfaatmeststoffen blijft het grootst op de locatie te Lelystad. Bij Marknesse en Wijster, proeven met een veel langere looptijd, is een groter deel van het fosfaatoverschot niet meer terug te vinden in een verandering van het Pw-getal of het PAL-getal. Op de zavels stijgt het PAL-getal wel in de ondergrond bij een fosfaatoverschot maar dit leidt nog niet tot een stijging van het Pw-getal of P_{1op2} . Bij Wijster wordt daarentegen wel een indicatie voor een stijging van deze parameters gevonden.



Figuur 31. Het verloop van P_{10p2} in de bodem met de diepte voor de kalkhoudende/kalkrijke zaveln te Lelystad en Marknesse en de kalkloze zandgrond te Wijster in het najaar van 2002 bij geen bemesting (0, P1), fosfaatgiften overeenkomend met de gewasafvoer (45 of M) en de hoogste fosfaatgift superfosfaat (280 of 240 kg P_2O_5/ha).

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 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: Pw-getal en PAL-getal.

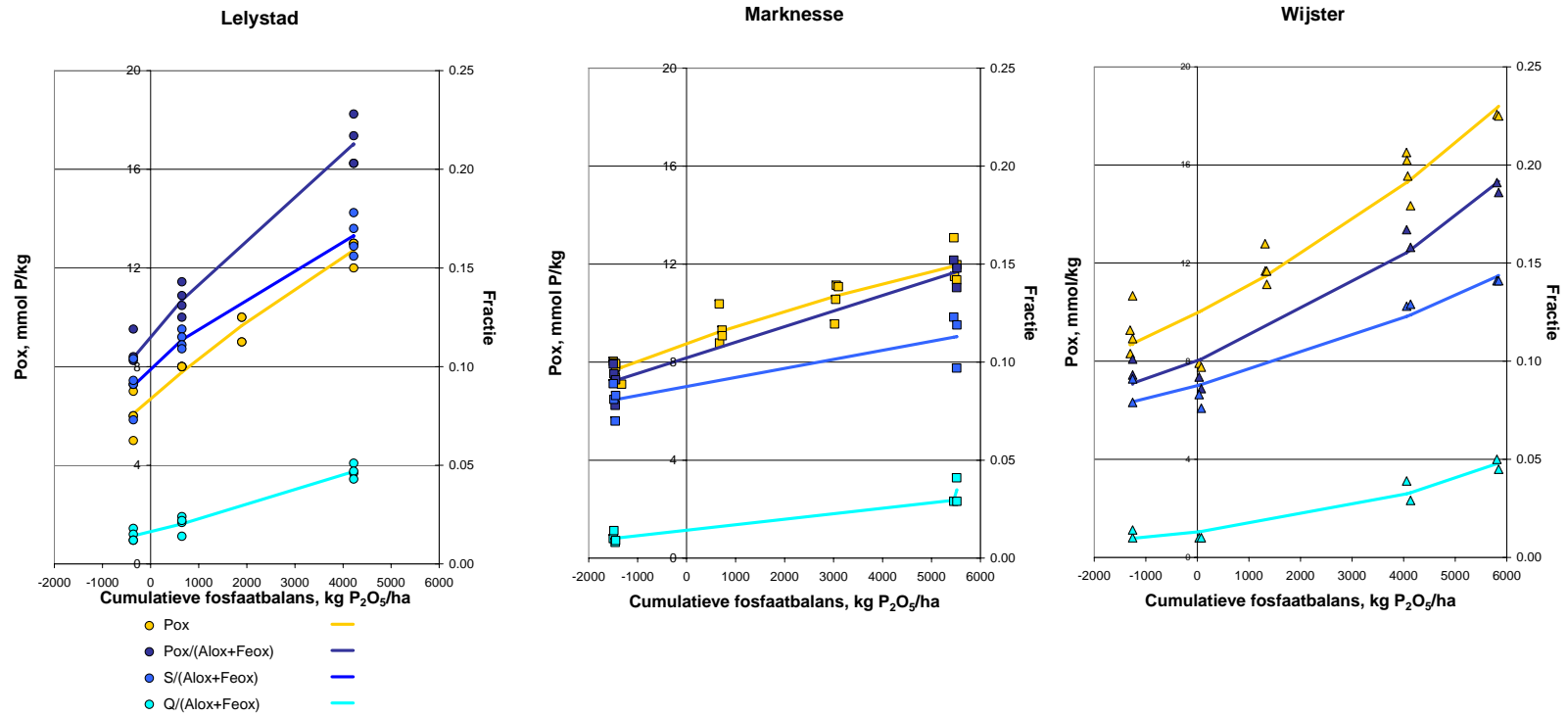
Er zijn verschillende methoden van grondonderzoek om deze reversibele en quasi irreversibele fosfaatfracties te bepalen. In ons onderzoek is gebruik gemaakt van de Pi-methode (cumulatief) en van P_{ox} . De Pi-methode berust op de extractie van fosfaat met behulp van een ijzerhydroxidepapiertje. Door herhaald te extraheren geeft de cumulatieve hoeveelheid geëxtraheerd fosfaat een maat voor de hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat. Met P_{ox}^6 wordt de totale hoeveelheid gesorbeerd fosfaat bepaald. Het verschil tussen P_{ox} en Pi geeft een indicatie van de voorraad quasi irreversibel gebonden fosfaat (S). Door deze hoeveelheden te relateren aan de totale fosfaatvoorraad, worden de fracties verkregen. 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 (Al_{ox} en Fe_{ox}).

⁶ Extractie van grond met ammoniumoxalaat-oxaalzuur (zie §2.2.2).

De hoeveelheid sorbeerbaar fosfaat (P_{ox}) stijgt sterker op het cumulatieve fosfaatoverschot bij de locatie te Lelystad dan bij Marknesse en Wijster (figuur 32). Dit kan het gevolg zijn van de langere looptijd bij Marknesse en Wijster: Fosfaat heeft op deze locaties langer de tijd gehad om te reageren tot niet-sorbeerbare fracties.

In de laag 0-20 cm –mv is op alle locaties ongeveer 20% van P_{ox} in snel een makkelijk desorbeerbare vorm aanwezig. In de laag 30-40 cm is dit percentage lager: 35% voor Wijster, 6% voor Marknesse en 10% voor Lelystad (figuur 32). Deze makkelijk desorbeerbare fracties correleren met P_{-10p2} (data niet gegeven).

De hoeveelheid reversibel gebonden fosfaat op alle locaties is in 2002 zelfs na het achterwege laten van fosfaatbemesting gedurende respectievelijk 16 tot 32 jaar veel hoger dan een landbouwgewas direct nodig heeft. In de bodemlaag 0-40 cm is dan ruwweg nog 300 kg P_2O_5 /ha aanwezig. De bodem is dus ook na jarenlang uitmijnen nog steeds in staat om fosfaat na te leveren (de bodem buffert dus).



Figuur 32. Verband tussen de hoeveelheid extraaerbaar gesorbeerd fosfaat (P_{ox}) en de verdeling over de fracties reversibel (Q) en quasi irreversibel (S) gebonden fosfaat van het totaal fosfaatbindend vermogen ($Al_{ox}+Fe_{ox}$) en het cumulatieve fosfaatoverschot in het najaar van 2002 op de locaties Lelystad, Marknesse en Wijster.

4.6 Fosfaat in bodemvocht

Het verloop fosfaatconcentraties in het bodemvocht is bepaald bij een selectie van de aangelegde behandelingen van de veldproeven te Lelystad, Marknesse en Wijster. In de winterperiode van de seizoenen 2003-2004, 2004-2005 en 2006-2007 werden onder de bouwvoor op 35 cm en op een diepte buiten het bereik van gewaswortels (75 cm of 155 cm) met kunstwortels (Rhizon sms) bodemvocht afgezogen. Het bodemvocht werd geanalyseerd op totaal-P en orthofosfaat (MRP-P).

4.6.1 Lelystad

Van de veldproef te Lelystad zijn in de genoemde perioden bodemvochtmonsters verzameld op diepten 35 cm en 75 cm. De gevonden waarden voor 75 cm waren gelijk of lager dan de aantoonbaarheidsgrens (0,055 mg P/L (2003-2005) of 0,02 mg P/L(2006)). Een trend gedurende het winterseizoen in de fosforgehalten in het bodemvocht werd niet vastgesteld. In tabel 11 zijn daarom de gemiddelden van MRP-P en P-totaal per object gegeven. Deze waarden worden gerelateerd aan het Pw-getal en het P-AL getal van de lagen 0-30 cm (bouwvoor) en de laag 30-40 cm.

Tabel 11. Gemiddelden van P-totaal en anorganische P (MRP-P) in het bodemvocht in mg P/L op 35 cm diepte en Pw-getal in mg P₂O₅/L en PAL-getal in mg P₂O₅/100 g van de bodemlagen 0-30 cm en 30-40 cm bij wel (+) of niet (-) bemesten met fosfaat voor vier winterseizoenen bij vier P-objecten in Lelystad.

Periode	Matrix	Parameter	P-object				
			P1	P2	P3	P4	P4
			-	+	+	-	+
2002	Bodem	Pw-getal 0-30 cm	21	39	60	*	97
		Pw-getal 30-40 cm	13	20	19	*	53
		PAL-getal 0-30 cm	26	40	54	*	54
		PAL-getal 30-40 cm	16	19	23	*	44
2003-2004	Bodemvocht	MRP-P	< 0,08	0,02	0,13	*	1,17
		P-totaal	0,02	0,08	0,22	*	1,09
	Bodem	Pw-getal 0-30 cm	21	50	76	*	126
		PAL-getal 0-30 cm	25	33	53	*	79
2004-2005	Bodemvocht	MRP-P	0,01	0,11	0,30	*	0,96
		P-totaal	0,01	0,13	0,30	*	0,95
	Bodem	Pw-getal 0-30 cm	15	39	59	*	108
		PAL-getal 0-30 cm	26	40	53	*	79
2006-2007	Bodemvocht	MRP-P	0,03	0,11	0,38	1,03	2,37
		P-totaal	0,03	0,11	0,36	1,09	2,55
	Bodem	Pw-getal 0-30 cm	23	47	76	97	121
		PAL-getal 0-30 cm	26	38	52	68	78

1: Voor 2002 berusten de waarden voor de bouwvoor op een gewogen gemiddelde van de bodemlagen 0-20 en 20-30 cm.

Te Lelystad zijn in de drie winterseizoenen de gemiddelde gehalten orthofosfaat en P-totaal in het bodemvocht op 35 cm diepte duidelijk hoger bij een hogere fosfaattoestand (Pw-getal, PAL-getal). De fosfaattoestand onder de bouwvoor (0-30 cm) is verrijkt met fosfaat en dat wordt zowel in de bodem als in het bodemvocht teruggevonden. Het achterwege laten van fosfaatbemesting bij P4 leidt al binnen een seizoen tot een drastische verlaging (meer dan de helft) van het fosforgehalte in het bodemvocht. Dit gaat tevens gepaard met een teruggang van de zeer hoge fosfaattoestanden naar lagere waarden. Deze teruggang in fosfaattoestand van de bodem valt qua orde van grootte binnen de vastgestelde variatie tussen proefjaren. Hoe deze trend zich gaat ontwikkelen, zal vervolgonderzoek moeten uitwijzen.

4.6.2 Marknesse

Op de veldproef te Marknesse overschreed de fosforconcentratie in het bodemvocht op 35 cm zelden de aantoonbaarheidsgrens (tabel 12). In het winterseizoen 2003/2004 was dat wel het geval voor bemeste objecten voor P-totaal en de hoogste fosfaatgift (240 kg P₂O₅/ha) voor ortho-P. In andere jaren werd dat niet vastgesteld. Ook op 75 cm diepte werd geen overschrijding van de aantoonbaarheidsgrens gevonden. De hoge fosfaatoverschotten (cumulatief > 6000 kg P₂O₅/ha) hebben hier nog niet geleid tot een verhoging van de fosforconcentratie in het bodemvocht.

4.6.3 Wijster

Op de veldproef te Marknesse overschreed de fosforconcentratie in het bodemvocht op 35 cm zelden de aantoonbaarheidsgrens (tabel 12). In het winterseizoen 2003/2004 was dat wel het geval voor bemeste objecten voor P-totaal en de hoogste fosfaatgift (240 kg P₂O₅/ha) voor ortho-P. In andere jaren werd dat niet vastgesteld. Ook op 75 cm diepte werd geen overschrijding van de aantoonbaarheidsgrens gevonden. De hoge fosfaatoverschotten (cumulatief > 6000 kg P₂O₅/ha) hebben hier nog niet geleid tot een verhoging van de fosforconcentratie in het bodemvocht.

Tabel 12. Gemiddelden van P-totaal en anorganische P (MRP-P) in het bodemvocht in mg P/L op 35 cm diepte en Pw-getal in mg P₂O₅/L en PAL-getal in mg P₂O₅/100 g van de bodemlagen 0-25 cm en 30-40 cm voor de veeljarige fosfaathoeveelheden veldproef IB0013 te Marknesse bij vijf fosfaatgiften. M is evenwichtsbemesting

Periode	Matrix	Parameter	Fosfaatgift, kg P₂O₅/ha				
			0	80	160	240	M
2002	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	16	23	44	44	13
		Pw-getal 30-40 cm	9	10	11	19	4
		PAL-getal 0-25 cm	19	30	37	45	21
		PAL-getal 30-40 cm	8	11	16	17	8
2003-2004	Bodemvocht	MRP-P	0,02	0,01	0,02	0,05	0,02
		P-totaal	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04
	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	16	29	41	55	19
		PAL-getal 0-25 cm	20	32	42	52	27
2004-2005	Bodemvocht	MRP-P	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
		P-totaal	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	22	29	39	56	23
		PAL-getal 0-25 cm	21	27	35	46	24
2006-2007	Bodemvocht	MRP-P	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00
		P-totaal	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	15	27	38	50	17
		PAL-getal 0-25 cm	21	30	35	44	21

1: Voor 2002 berusten de waarden voor de bouwvoor op een gewogen gemiddelde van de bodemlagen 0-20 en 20-30 cm.

Tabel 13. Gemiddelden van P-totaal en anorganische P (MRP-P) in het bodemvocht in mg P/L op 35 cm diepte en Pw-getal in mg P₂O₅/L en PAL-getal in mg P₂O₅/100 g van de bodemlagen 0-25 cm en 30-40 cm voor de veeljarige fosfaatvormen-hoeveelheden veldproef IB1920 te Wijster bij fosfaatgiften met verschillende fosfaatmeststoffen. De gift van 45 kg P₂O₅/ha komt overeen met evenwichtsbemesting.

Periode	Matrix	Parameter	Fosfaatmeststof, vorm en gift								
			Geen	Natuurfosfaat		Slakkenmeel		Superfosfaat			
			0	90	180	90	180	45	90	180	240
2002	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	14	14	21	17	43	31	36	43	46
		Pw-getal 30-40 cm	5	2	8	4	7	8	12	6	9
		PAL-getal 0-25 cm	26	49	87	33	60	21	43	56	76
		PAL-getal 30-40 cm	5	5	18	7	9	3	9	8	14
2003-2004	Bodemvocht	MRP-P	0,07	*	*	0,07	0,11	0,03	0,01	0,05	*
		P-totaal	0,07	0,01	*	0,08	0,12	0,02	*	0,05	*
	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	27	24	66	43	61	20	34	56	61
		PAL-getal 0-25 cm	33	39	60	37	63	28	45	59	68
2004-2005	Bodemvocht	MRP-P	0,02	0,02	*	0,03	0,09	0,02	0,06	0,11	0,12
		P-totaal	0,04	0,02	*	0,07	0,12	0,08	0,14	0,15	0,16
	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	28	30	33	25	60	30	36	58	60
		PAL-getal 0-25 cm	42	46	60	39	66	32	50	61	72
2006/2007	Bodemvocht	MRP-P	0,02	0,01	0,022	0,02	0,01	0,01	0,08	0,02	0,05
		P-totaal	0,01	0,03	0,035	0,01	0,03	0,02	0,11	0,01	0,09
	Bodem	Pw-getal 0-25 cm	18	14	23	19	35	15	24	36	43
		PAL-getal 0-25 cm	39	43	64	40	62	32	49	60	70

1: Voor 2002 berusten de waarden voor de bouwvoor op een gewogen gemiddelde van de bodemlagen 0-20 en 20-30 cm.

5 Discussie

De aandachtsvelden van het onderzoek gegeven in de inleiding worden in dit hoofdstuk besproken aan de hand van de observaties bij de intensieve meetprogramma's.

5.1 Aandachtveld opbrengst en kwaliteit

Het aandachtveld richt zich op de bepaling van het risico dat een veeljarig toegepaste generieke gebruiksnorm voor fosfaat op opbrengst en kwaliteit van landbouwgewassen levert indien afgestemd wordt op (strikte) evenwichtsbemesting.

Grasland

De veeljarige veldproef op vier locaties heeft de eerste 5 à 8 jaar (locatie afhankelijk) geen differentiatie getoond in aangelegde overschotten aan P. Pas de laatste jaren, vooral de laatste twee jaar, treedt differentiatie op. Hoe hoger het overschot, hoe groter het verschil met strikte evenwichtsbemesting (overschot is gelijk aan 0) wordt. Evenwichtsbemesting bij ruim voldoende tot vrij laag fosfaattoestanden levert lagere opbrengsten. De overschotten in N leidden sneller tot differentiatie: hoe hoger de N-gift, hoe hoger de opbrengst en kwaliteit (N-gehalte). Er worden in het algemeen dalende tendensen in opbrengst en kwaliteit bij de meeste behandelingen vastgesteld.

Een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar geeft 0,6 ton drogestof/ha meer opbrengst dan evenwichtsbemesting. Een overschot van 300 kg N/ha/jaar levert 1 ton drogestof/ha extra op ten opzichte van een overschot van 180 kg N/ha/jaar voor de zand- en veenlocaties en 2,8 ton drogestof/ha voor de kleilocatie. Hoe hoger het N-overschot, hoe hoger het N-gehalte. Hoe hoger het P-overschot, hoe hoger het P-gehalte van het gras. Hoe hoger de drogestofproductie, hoe lager het P-gehalte wordt. Concreet levert dit als vooruitblik:

- De drogestofproductie begint te reageren op fosfaatoverschot, op de zand- en veenlocaties is de drogestofopbrengst al 0,6 ton drogestof/ha lager bij evenwichtsbemesting dan bij een overschot van 40 kg P₂O₅/ha/jaar. We verwachten dat dit verschil toeneemt. Het gevonden effect heeft nu al economische consequenties. Wanneer een (melk)veehouder dit verschil in productie moet compenseren met krachtvoer, betekent dit een kostenverhoging van ongeveer € 3000 voor een bedrijf met 50 ha grasland.
- Het P-gehalte van het gras daalt bij evenwichtsbemesting en nadert de (weliswaar zeer veilige) norm voor ruwvoer voor melkvee (3-3,5 g per kg drogestof) in geval een overschot van 300 kg N/ha wordt gegeven. We verwachten dat het P-gehalte verder daalt.
- De verschillen in bodemvruchtbaarheid, uitgedrukt in PAL-getal en Pw-getal, tussen evenwichtsbemesting en een overschot van 20 en 40 kg P₂O₅/ha nemen toe in de loop van de jaren. Het PAL-getal daalt daarbij van een voldoende fosfaattoestand naar een vrij lage fosfaattoestand; dit is locatie-afhankelijk. Het is

duidelijk dat de daling en daardoor de geconstateerde verschillen tussen aangelegde behandelingen nog niet gestabiliseerd is. De resultaten geven geen uitsluitsel op welk termijn een stabilisatie, dit is een evenwichtinstelling, bereikt wordt.

Bouwland

De productie reageert niet of niet altijd op fosfaatbemesting, enigszins op fosfaattoestand. Er tekenen zich wel tendensen af dat hogere fosfaatbemestingen die resulteren in hogere fosfaattoestanden leiden tot hogere opbrengsten maar die tendensen zijn statistisch doorgaans nog niet significant. Het verschil in opbrengst bij een lage fosfaattoestand t.o.v. een hoge(re) fosfaattoestand kan soms wel 10% bedragen. Het is opvallend dat het verschil in opbrengst tussen onbemest en de andere P-trappen in de tijd niet groter wordt. Dit heeft waarschijnlijk te maken met het vrijwel op peil blijven van de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal. Dit illustreert daarmee de waarde van het Pw-getal als indicator voor de gewasbehoefte. Zowel bij Lelystad als Marknesse is de opbrengst van de onbemeste behandelingen betrouwbaar lager dan die van de bemeste behandelingen. Er is sprake van een groot jaar-tot-jaar variatie.

Kwaliteitsverschillen als gevolg van verschil in fosfaatbemesting/fosfaattoestand van de grond zijn niet naar voren gekomen. Hierop is één uitzondering gevonden. Bij P1 te Lelystad vormde kropsla niet altijd een krop (Ehlert e.a., 2003).

De resultaten van het onderzoek op bouwland wijzen op '*luxe consumptie*' van fosfaat; dat wil zeggen dat er wel significante hogere fosfaatopname is bij hogere fosfaatgiften - die door de veeljarige toepassing ook geleid hebben tot veel hogere fosfaattoestanden - maar geen hogere productie. In Lelystad is er geen betrouwbaar verschil in opbrengst tussen de objecten P2, P3 en P4 maar er zijn wel significante effecten van de behandelingen op het fosforgehalte in de drogestof van het geoogste product. Wanneer het fosforgehalte bij object P2 (jaarlijks een bemesting van 70 kg P₂O₅/ha) als gemiddelde over de gewassen op 100 % wordt gesteld dan is het relatieve fosforgehalte bij P3 (jaarlijks een bemesting van 140 kg P₂O₅/ha) en bij P4 (jaarlijks een bemesting van 28 kg P₂O₅/ha) resp. 106% en 113%.

Bij strikte evenwichtsbemesting wordt ook bij de veldproef in Marknesse een hogere fosforgehalte bij een aantal gewassen vastgesteld dan zonder bemesting. Effecten op fosforgehalten komen meer tot uitdrukking in de vegetatieve delen (blad, knol) van het landbouwgewas dan in de generatieve delen (korrel). Er is sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie.

De behandelingen leiden in het algemeen tot significante verschillen in fosfaatopname. Naarmate de fosfaatgift hoger is en daar door de fosfaattoestand hoger wordt, neemt de fosfaatopname toe.

Concreet levert dit als vooruitblik:

- Op termijn zal het fosforgehalte van het landbouwgewas de drogestofproductie gaan bepalen. De *luxe consumptie* die nu nog optreedt bij evenwichtsbemesting houdt op. Op welk termijn dat gaat optreden is nog niet aan te geven.
- Op veel langer termijn zal het fosforgehalte van het landbouwgewas suboptimaal worden. Ook deze termijn is nog niet aan te geven.
- Strikte evenwichtsbemesting leidt tot lagere opbrengsten dan die waar de praktijk nu aan gewend is indien de teeltcondities ongewijzigd blijven.
- Strikte evenwichtsbemesting leidt tot verlies van opbrengst en kwaliteit bij fosfaatbehoefte gewassen (sla, aardappel).

5.2 Aandachtveld evenwichtsbemesting en fosfaatuitspoeling

Het effect van (strikte) evenwichtsbemesting op korte en lange termijn op het verminderen van fosfaatuitspoeling is van af het begin onderwerp van onderzoek geweest in het onderzoek op grasland. Op bouwland is aan dit aandachtsveld op ad-hoc basis gewerkt.

Grasland

Over een langere periode werden geen directe effecten van de aangelegde fosfaatoverschotten gevonden op de fosforconcentraties (totaal-P en ortho-P) in de bodemoplossing op verschillende diepten bij Aver Heino en Cranendonck (beide zandlocaties) Bij Waiboerhoeve en Zegveld worden effecten van gereduceerde fosfaatoverschotten vastgesteld. De fosforconcentraties worden significant lager bij lagere fosfaatoverschotten. De concentraties zijn op elke locatie gerelateerd aan de fosfaattoestand. Echter het weglaten van enige fosfaatbemesting (uitmijnen) levert direct resultaat: de fosforconcentratie gaat drastisch achteruit. Pas de laatste jaren (2 à 4) wijzen de resultaten op een mogelijke differentiatie in fosforgehalten in bodemvocht door aangelegde overschotten: hoe hoger het overschot hoe hoger de gehalten zijn. Onderscheid in bodemchemische kenmerken werken nog niet aantoonbaar door in een effect op de concentratie in het bodemvocht. Er is wel een effect van de fosfaatmeststofvorm. Gafsanatuurfosfaat leidt tot lagere concentraties t.o.v. tripelsuperfosfaat. Dit effect kan echter ook benoemd worden als een effect van de fosfaattoestand. Er is geen effect van de stikstofbehandelingen op het fosforconcentratie in het bodemvocht.

Bij een voldoende fosfaattoestand (PAL-getal 35 mg P₂O₅/100 g) is er een aanwijzing dat een fosfaatoverschot van 10 kg P₂O₅/ha/jaar leidt tot een verhoging van het fosforconcentratie van 0,05 mg P/L. Dit komt overeen met circa 0,35 kg fosfaat/ha extra fosfaatuitspoeling. Er is sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie.

Bouwland

Ook bij bouwland is er sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie. Bij gelijk fosfaatoverschot wordt in Lelystad een veel hogere fosforconcentratie vastgesteld dan bij Marknesse. Beide locaties betreffen kalkhoudende zavel met vergelijkbare

algemene bodemkenmerken. Het is nog niet duidelijk waardoor de bodems op deze locatie zich zo verschillend gedragen. Ook op bouwland leidt het weglaten van enige fosfaatbemesting direct tot resultaat: de fosforconcentratie in het bodemvocht daalt drastisch. De meststofvorm beïnvloedt de fosforconcentraties in het bodemvocht. Fosfaatvormen die niet het Pw-getal in de tijd doen verhogen (natuurfosfaat) geven lage fosforconcentraties in het bodemvocht. Er is sprake van een grote jaar-tot-jaar variatie.

Concreet levert dit als vooruitblik:

- Wij verwachten een verdere differentiatie in de fosforconcentraties van het bodemvocht volgens aangelegde behandelingen die in onderscheidenlijke overschotten resulteren. Lagere overschotten leiden tot geringe uitspoelingsverliezen.
- Wij verwachten niet dat het fosforgehalte in het bodemvocht in de bouwvoor onder de normen voor het fosforgehalte van zoet stagnant oppervlaktewater zullen komen. Normen voor grondwaterkwaliteit zullen wel door evenwichtsbemesting onderschreden (gaan) worden.
- Op termijn zullen verschillen in bodemchemische kenmerken aantoonbaar worden. De termijn kan voor grasland nog niet worden aangegeven. Op bouwland is er al sprake van differentiatie maar essentiële informatie over bodemkenmerken ontbreekt.

5.3 Aandachtveld fosfaatfracties in de bodem

De proef op grasland op vier locaties kent een intensief meetprogramma ten aanzien van het beloop van fosfaatfracties in de bodem. De veldproeven op bouwland hebben een meetprogramma, dat in hoofdzaak gericht is op veranderingen van bodemvruchtbaarheidsindices vast te stellen welke gebruikt worden voor bemestingsadviesing. Eenmalig zijn op bouwland ook andere fosfaatfracties bepaald.

Grasland

De proef op grasland op vier locaties toont effecten van fosfaatoverschotten en stikstofoverschotten op het beloop van fosfaatfracties in zode en daaronder liggende bodemlagen.

Alle methoden van grondonderzoek brengen een onderscheid aan tussen de aangelegde fosfaatoverschotten. Die aangelegde behandelingen worden dus geregistreerd maar er zijn er grote verschillen in reactie op de aangelegde overschotten tussen de locaties (Pw-getal, PAL-getal, P_{ox} , P-totaal, P_i , $P-CaCl_2$ (PPAE)). Het gedrag op zandgronden verschilt van die bij veen en klei. Een hoger overschot leidt tot hogere waarden. Er is veel jaar-tot-jaar variatie.

De effecten voor de bodemvruchtbaarheidsindices voor bemestingsadviesing op basis van grondonderzoek (Pw-getal en PAL-getal) zijn qua trend zeer variabel. Ondanks die grote variabiliteit blijkt dat bij strikte evenwichtsbemesting de fosfaattoestand gemeten als Pw-getal of PAL-getal daalt. Er is een overschot nodig

om deze daling af te remmen of te voorkomen. Evenwichtsbemesting leidt tot lagere fosfaattoestanden dan bij een overschot van 20 of 40 kg P₂O₅/ha. Er is een overschot aan fosfaat nodig om de fosfaattoestand van de bodem op een voldoende niveau te houden of te doen stijgen. Die hoeveelheid varieert per locatie (20 à 30 kg P₂O₅/ha bij een waardering *ruim voldoende*). De daling treedt in hoofdzaak in de bodemlaag 0-5 cm (zode) op, en in mindere mate in de bodemlaag 5-10 cm. Daaronder liggende bodemlagen worden nog niet wezenlijk beïnvloed door de aangelegde behandelingen.

De fracties bepaald met ammoniumoxalaat-oxaalzuur (P_{ox}) dalen gedurende de periode van de proefuitvoering. De Totaal-P-gehalten nemen over het algemeen toe bij toenemende overschotten. De veranderingen in P_{ox} en Totaal-P zijn groter dan tot uitdrukking komt in de bodemvruchtbaarheidsindices. Dat betekent dat er veranderingen in fosfaatfracties in de bodemlagen optreden die niet of althans nog niet zeer nadrukkelijk tot uitdrukking komen in de bodemvruchtbaarheidsindices. Dit geeft een risico als het beloop in de fosfaattoestand louter gevolgd wordt met standaard bodemvruchtbaarheidsindices. Het lot van het fosfaatoverschot kan dan namelijk niet worden vastgesteld.

Bouwland

De verschillende fosfaatoverschotten komen tot uiting in alle gebruikte methoden van fosfaatonderzoek. Om de fosfaattoestand op de uitgangswaarde te handhaven, is meer fosfaat nodig dan gegeven wordt met strikte evenwichtsbemesting. Die hoeveelheid is nog niet exact vastgesteld. Indicatieve waarden zijn 10 à 20 kg P₂O₅/ha/jaar bij een voldoende tot ruim voldoende fosfaattoestand.

Hoge fosfaatoverschotten, die over een periode van meer dan 30 jaar aan de bouwvoor werden toegediend, worden maar gedeeltelijk teruggevonden in een wijziging van de fosfaattoestand (Pw-getal, PAL-getal, P-CaCl₂ (PPAE)). Recente overschotten werken wel door naar een verhoging van de fosfaattoestand; fosfaatoverschotten die langdurig in de bodem verblijven hebben geen relatie meer met wijzigingen in de fosfaattoestand. Dit wijst onder andere op de vorming van fosfaatvormen die niet met de extractiemethoden voor Pw-getal of PAL-getal vastgesteld kunnen worden. Dat is een aanwijzing voor de vorming van gewas- onbeschikbare fosfaatvormen.

De profielbemonstering van 2002 wijst uit dat fosfaat in hoofdzaak in de vorm van een blokfront in de bodem ophoopt bij overschotten. De bodemlagen onder de bouwvoor worden echter beïnvloed door aangelegde overschotten. Bij evenwichtsbemesting is de fosfaattoestand hoger dan bij negatieve fosfaatoverschotten maar lager bij positieve fosfaatoverschotten. Kennelijk wordt een deel van de hoeveelheid fosfaat die nodig is om de fosfaattoestand op het uitgangsniveau te houden met gewaswortels uit de bouwvoor naar dieper gelegen bodemlagen getransporteerd.

Afhankelijk van het regime worden bodemfracties op- en afgebouwd. Er is geen sprake van een evenredige op- of afbouw met het aangelegde fosfaatoverschot bij Marknesse en Wijster, maar wel bij Lelystad. Bij uitmijnen worden andere

bodemfracties uitgemijnd dan er worden opgebouwd in geval van een positieve fosfaatbalans.

Concreet levert dit als vooruitblik:

- Wij verwachten dat de fosfaattoestand op grasland en bouwland bij evenwichts-bemesting verder zal dalen. Wij zijn onzeker over de termijn waarop die daling zal afremmen en een evenwichtsinstelling zal optreden. Wij verwachten dat het effect eerder op grasland dan op bouwland waargenomen zal worden.
- Een deel van het fosfaatoverschot wordt opgeslagen in fosfaatvormen die niet aantoonbaar zijn met gangbare methoden van grondonderzoek ten behoeve van bemestingsadvisering (Pw-getal, PAL-getal en ook P-CaCl₂).
- De bijdrage van dit niet-gewasbeschikbare fosfaat aan de instandhouding van de voorraad gewasbeschikbaar fosfaat blijft obscuur indien trends in wijziging niet bepaald worden (bouwland) of blijven worden (grasland).

5.4 Lacunes in kennis

De veeljarige veldproeven zijn unieke onderzoekseenheden waarop effecten van wijzigingen in aanvoer met fosfaat (gras- en bouwland) en stikstof (grasland) op de lange termijn vastgesteld kunnen worden. Door de opzet van de proeven zijn behandelingen aanwezig met een groot bereik in fosfaattoestanden. Er kan daardoor uitsluitel gegeven worden over de lange termijn effecten bij zowel optimale als suboptimale fosfaattoestanden. Doordat er een bereik in fosfaatgiften en fosfaat-toestanden aanwezig is, kan met interpolatietechnieken uitsluitel verkregen worden over de effecten van evenwichtsbemesting op de lange termijn. Dit maakt deze veldproeven uniek voor Nederland.

De resultaten in hoofdstukken 3 en 4 wijzen op een grote jaar-tot-jaar variatie. Die variatie wordt nog maar deels begrepen. Er is vervolgonderzoek nodig om meer helderheid op het lot van een fosfaatoverschot (0, hoger of lager) te verkrijgen. Er zijn verschillende blinde vlekken in de kennis over het lot van fosfaat in de bodem.

De veeljarige veldproeven op grasland wijzen uit dat bij strikte evenwichtsbemesting de fosfaattoestand daalt en daarmee ook de opbrengst en kwaliteit (P-gehalte). Geen van de trends in opbrengst of beloop van een fosfaatfractie (Pw-getal, PAL-getal, P_{ox}, Totaal-P) in de bodem of in bodemvocht (P-totaal-gehalte, ortho-P) geeft uitsluitel of en wanneer er een evenwicht wordt bereikt. De huidige aanpak met REML sluit vooralsnog het vaststellen van een evenwichtsinstelling uit. Een analyse met REML waarin opgelegd wordt dat een evenwichtsinstelling op termijn zich moet instellen, moet nog uitgevoerd worden. Deze analyse is nog niet uitgevoerd omdat het effect van tijd op een verandering⁷ van een fosfaattoestand nog steeds (t/m 2006) niet significant is. Er is dus nog geen aanwijzing van enige mate van afwijking of van evenwichtsinstelling (bereiken van *steady state*). Er is extra inspanning nodig om de verkregen data van meetprogramma's te interpreteren.

⁷ Veranderingen in parameters worden vastgesteld maar nog niet een wijziging van die verandering.

Juist omdat er nog geen zicht is op het bereiken van evenwicht, is voortzetting van de veeljarige veldproeven essentieel om zicht te krijgen op:

- wanneer de daling in opbrengst en kwaliteit op grasland afremt en stabiliseert;
- wanneer het fosforgehalte in het gewas bepalend wordt voor de drogestofproductie van akker- en tuinbouwgewassen.

Alle veldproeven wijzen uit dat fosfaatevenwichtsbemesting leidt tot een daling in de P-toestand. Die daling wordt waarschijnlijk pas een halt toegevoerd bij fosfaattoestanden met de waardering *laag*. Er zal dan sprake zijn van opbrengstderving en kwaliteitsverlies (grasland). Die daling verloopt sneller op grasland dan op bouwland. Bouwland blijkt veel beter de fosfaattoestand te kunnen bufferen. Waarom dat zo is, is nog onduidelijk. Er is nog onvoldoende inzicht in de betekenis van de fosfaatfracties die niet gewasbeschikbaar zijn (ook wel aangeduid als (quasi) irreversibel gebonden fosfaat). Het is daarbij niet duidelijk welke waarde gehecht moet worden aan de anorganische fosfaatfracties in de bodem en aan de organische fosforfracties in de bodem. Om deze transfer van fosfaat over de verschillende bodemfracties beter te kunnen doorgronden zijn methoden nodig die geen standaardroutine vormen voor het uitbrengen van bemestingsadviezen. Ook de ontwikkeling en toepassing van deze researchmethoden vragen aandacht.

Om tenminste de wijzigingen in de voorraad niet gewasbeschikbaar fosfaat op bouwland te kunnen vaststellen is een tweede profielbemonstering noodzakelijk. Om die gestandaardiseerd te kunnen uitvoeren wordt een bemonstering in 2009 gewenst.

Er dient nog een vertaalslag plaats te vinden van de resultaten van de veeljarige veldproeven naar omstandigheden voor andere grondsoorten en gewassen.

De verkregen data van de meetprogramma's wijzen uit dat er veel jaar-tot-jaar variatie is. Het benoemen van de bronnen van variatie heeft geleid tot een aantal constatering.

- De wijzigingen in Totaal-P-bepalingen in grondmonsters van grasland kunnen redelijk goed omgerekend worden naar de aangelegde fosfaatoverschotten. Bij de grondmonsters van bouwland lukt dat niet. Een aanzienlijk deel (tot 50%) wordt niet teruggevonden. Dit is een chemisch analytisch aspect dat aandacht vraagt.
- Na het jaar 2000 blijken de bepalingen van Pw-getal en PAL-getal veel meer variatie te vertonen dan in de daar voorliggende periode. Mogelijk wordt deze verhoging van deze variatiebron veroorzaakt door wijzigingen op laboratoria. Een vergelijking van methoden van grondonderzoek van tijdseries is nodig om deze variatiebron te doorgronden.
- De landbouwpraktijk wordt geconfronteerd met andere methoden van grondonderzoek (PPAE, P-Spurway, modificaties van PAL-getal). De vraag is of op deze wijzigingen in bepalingsmethode ingespeeld kan/moet worden. Dit zou aanvullend onderzoek vragen aan de hand van beschikbare grondmonsters van afgelopen proefjaren.

Spinoff van het onderzoek zal zijn dat vanwege de hogere eisen die gesteld worden aan efficiëntie van de fosfaatbemesting (evenwichtsbemesting) factoren als tijdstip

van bemesting (najaar of voorjaar), toedieningswijze (volveld of rijenbemesting of plantspecifiek), aard van de meststof (mestverwerkingsproducten) belangrijker worden.

Het bufferend vermogen van de bodem blijkt op bouwland een belangrijke rol te spelen. De locaties blijken over het algemeen over een flink bufferend vermogen te bezitten. Gronden met een slecht bufferend vermogen kunnen sneller effecten van de verlaging van de fosfaatgift naar de gebruiksnormen tonen. Dergelijke gronden zijn bijvoorbeeld duinzanden. Opname van een dergelijke grond in het onderzoek wordt gewenst.

Overwogen kan worden om meer sturing te geven aan de gewaskeuze op de proefvelden, bijvoorbeeld meer gewassen uit de gewasgroepen 0 en 1 voor zover dit mogelijk is.

Literatuur

- Egnér, H., H., Riehm & W.R. Domingo, 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoff-zustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungl. Lantbr. Hdgsk. Ann. 26: 199-215.
- Ehlert, P.A.I., C.A.P. van Wijk, P.H.M. Dekker, 2003. Fosfaatbalansen op perceelsniveau; scan van de resultaten van vier veeljarige veldproeven op bouwland. Publicatie 305, PPO, Wageningen, 2003.
- Houba, V.J.G., J.J. van der Lee, & I. Novozamsky, 1997. Soil Analysis Procedures. Other Procedures. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Houba, V.J.G., I. Novozamsky, & E. Temminghoff, 1997b. Soil Analysis Procedures. Extraction with 0.01 M CaCl₂. Landbouwniversiteit Wageningen.
- Middelkoop, J.C. van, C. van der Salm, D.J. den Boer, M.M.S. ter Horst, W.J. Chardon, R.F. Bakker, R.L.M. Schils, P.A.I. Ehlert & O.F. Schoumans, 2004. Effecten van fosfaat- en stikstofoverschotten op grasland. ASG Praktijkonderzoek (PV), Praktijkrapport Rundvee 48) - p. 100.
- Middelkoop, J.C., van, C. van der Salm, P.A.I. Ehlert, G. André, D. Oudendag, & M. Pleijter, 2007. Effecten van fosfaat- stikstofoverschotten op grasland II. WUR Animal Science Group, rapport 68.
- Oenema, O., & T.A. van Dijk, 1994. Fosfaatverliezen en fosfaatoverschotten in de Nederlandse landbouw. Rapport van de technische werkgroep "P-desk-studie". Deelrapport I. Ministerie LNV, ministerie VROM, ministerie V&W, Landbouwschap & centrale landbouworganisaties.
- Salm, C. van der, W.J. Chardon, G.F. Koopmans, J.C. van Middelkoop & P.A.I. Ehlert, 2008a. Phytoextraction of phosphorus-enriched grassland soils. J. Environmental Quality (*submitted*)
- Salm, C. van der, W.J. Chardon, G.F. Koopmans, & P.A.I. Ehlert, 2008b. Het effect van uitmijnen op de fosfaattoestand. Een analyse op basis van gegevens van proefvelden en een laboratoriumexperiment. Alterra rapport (in druk).
- Schwertmann, D., 1964. Differentierung der Eisenoxide des Bodens durch photochemische Extraction mit saurer Ammoniumoxalaat-Loesung. Z. Pfl. Ern. Duengung 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., J. van Ende, & S.S. de Bes, 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 Lijst van verschenen publicaties en documenten

Wetenschappelijke publicaties

Chardon, W.J., G.H. Aalderink, & C. van der Salm. 2007. Phosphorus leaching from cow dung patches on soil columns. *J. Environ. Qual.*, 36: 17-22.

Ehlert, P.A.I.; Morel, C; Fotyma, M & Destain, J.P., 2003. Potential role of phosphate buffering capacity of soils in fertilizer management strategies fitted to environmental goals. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 166 (2003). - ISSN 0044-3263 - p. 409 - 415.

Ehlert, P., Salm, C., & Schoumans, O., 2006. Long-term effect of soil of restricted use of phosphate fertilisers. *The International Fertiliser Society. Proceedings* No: 593.

Koopmans, G.F., Chardon, W.J., Dekker, P.H.M., Römkens, P.F.A.M. & Schoumans, O.F.. 2006. Comparing different extraction methods for estimating phosphorus solubility in various soil types. *Soil Sci.* 171:103-116.

Salm, C. van der, Chardon, W.J., Ehlert, P.A.I., Koopmans, G.F., & Middelkoop, J.C., 2008. Mining Soil Phosphorus by zero P application on grassland soils. *J. Envir. Quality* (subm.).

Tunney, H. Csathó, P. & Ehlert, P.A.I., 2003. Approaches to calculating P balance at the field-scale in Europe. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 166 (2003). - ISSN 0044-3263 - p. 438 - 446.

Proceedings congressen

Middelkoop, J.C. van, Schils, R.M.L., & Boer, D.J., den, 2003. Effect of N surplus reduction on grassland production in a five-year field experiment. In: A. Kirilov, N. Todorov & I. Katerov (eds.). *Optimal Forage Systems for Animal Production and the Environment. Proceedings of the 12th Symposium of the European Grassland Federation, Grassland Science in Europe, Volume 8, Pleven, Bulgaria, 26-28 May 2003*; 174-177.

Salm, C. van der, Middelkoop, J.C. van, & Ehlert, P.A.I., 2005. The effect of a reduction in phosphate application on soil phosphate pools. In: S.C. Jarvis, P.J. Murray and J.A. Roker, 2005. *Optimisation of nutrient cycling and soil quality for sustainable grasslands. Proceedings of a satellite workshop of the 20th International Grassland Congress, July 2005, Oxford, England.*

Rapporten

Bassa B., Schils, R. & Middelkoop, J.C., 2000. Verliesnormen voor fosfaat onder praktijkomstandigheden. Gevolgen voor bedrijfsvoering en milieu. Voortgangsrapport 1999. Intern rapport 423. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR).

Gun, T. v.d., Schils, R. & Middelkoop, J.C., 1999. Verliesnormen voor fosfaat onder praktijkomstandigheden. Gevolgen voor bedrijfsvoering en milieu. Voortgangsrapport 1998. Intern rapport 379. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR).

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., Middelkoop, J.C. van, & Dekker, P.H.M., 2006. Actualisatie fosfaatgehalten en fosfaatafvoer van landbouwgewassen. Een verkenning op basis van onderzoeksgegevens. Alterra-rapport 1348, Alterra Wageningen.

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, & Schoumans, O.F., 2000. Phosphate losses on four grassland plots used for dairy farming. Measured phosphate losses and calibration of the model ANIMO. Alterra, Green World Research, Wageningen. Rapport 083.

Salm, C., van der, Chardon, W.J., Koopmans, G.F., & Ehlert, P.A.I., 2008. Het effect van uitmijnen op de fosfaattoestand. Een analyse op basis van gegevens van proefvelden en een laboratoriumexperiment. Alterra rapport (in druk).

Schils, R.L.M., Middelkoop, J.C., Everts, H., Kraak, T., & Sikkema, K., 1998. Verliesnormen voor fosfaat onder praktijkomstandigheden. Gevolgen voor bedrijfsvoering en milieu. Voortgangsrapport 1997. Intern rapport 354. Praktijkonderzoek Rundveehouderij (PR).

Data van de veldproeven zijn gebruikt voor:

Ehlert, P.A.I., Middelkoop, J.C. van & Dekker, P.H.M., 2006. Fosfaatgehalten en fosfaatafvoer van landbouwgewassen. Alterra rapport 1348.

Sival, F.P. & Chardon, W.J., 2004. Natuurontwikkeling op fosfaatverzadigde gronden: fosfaatonttrekking door een gewas. Alterra rapport 1090, 50 pp.

Schröder, J.J. & Corré, W.J., (eds.), 2000. Actualisering Stikstof en Fosfaat-desk-studies. PRI rapport 22.

Vakbladen

Aendekerk, T. & Ehlert, P.A.I., 2003. Weet wat fosfaat doet in de bodem. Boomkwekerij (2003), 10 : 9-10.

Albert, H. van der, 2006. Interview met Peter Dekker. Gebruiksnorm fosfaat valt goed mee te leven. Nieuwe Oogst-gewas, jaargang 2, nr.1, 14 januari 2006, p.10+11.

Dekker, P.H.M. & Ehlert, P.A.I., 2003. Extra fosfaat, weinig effect. Bodem slechte spaarpot voor fosfaat, Boerderij 88, 15: 4-6.

Dekker Peter & Kees van Wijk, 2005. Minder fosfaat schaadt productie niet. Groenten&Fruit, week 5, 2005, p. 48 + 49.

Dekker P.H.M., 2005. Aanscherping gebruik fosfaat geen probleem. HPA-site: Kennisakker.nl, geplaatst 22 juni 2005.

Dekker Peter., 2005. Nieuwe fosfaatregels vragen zorgvuldigheid. Boerderij/akkerbouw 90 –no.18 (6 september 2005), p.16-18.

Dekker P.H.M., 2007. Huidige fosfaatnorm is hoog genoeg. Akkermagazine (bijlage bij Veldpost, Vee&Gewas, Stal&Akker , Agraaf), februari 2007, p. 28+29.

Middelkoop, J.C., van, Schils, R.L.M. & Boer, D.J. den, 2001. Effecten laag fosfaatoverschot op grasland pas op lange termijn zichtbaar. Praktijkonderzoek jaargang 14, nr. 5, blz. 28-29. Praktijkonderzoek Veehouderij (PV), Lelystad.

Middelkoop, J.C., van, Salm, C. van der, & Ehlert, P.A.I., 2007. Tien jaar fosfaatevenwichtsbemesting op grasland; Bodemvruchtbaarheid daalt langzaam. Veefocus, december 2007; p. 30-31.

Schils, R.L.M., & Middelkoop, J.C. van, 2000. Fosfaatevenwichtsbemesting op grasland: Na twee jaar nog geen effect op opbrengst. Praktijkonderzoek jaargang 13, nr. 1, blz. 8-9. Praktijkonderzoek Veehouderij (PV), Lelystad.

Schils, R.L.M., & Middelkoop, J.C., van, 2001. Fosfaat op grasland. Effect van verlaagde bemesting pas na jaren zichtbaar. Veeteelt, september 2001, blz. 67.

Overlegplatform Duinboeren, 2006. Evenwichtsbemesting van fosfaat: wel of geen probleem. Melk en Mineralen, Nieuwsbrief van Overlegplatform Duinboeren nr. 2, januari 2006, blz. 2.

Wijk, C.A.P. & Ehlert, P.A.I., 2003. Gedrag van fosfaat komt boven water. Groenten & Fruit 18, 34-35.

Informatiebladen

Haan Janjo & Peter Dekker. Best Practices bemesting akkerbouw. Brochure PPO 338-1.

Haan Janjo & Peter Dekker. Best Practices bemesting vollegrondsgroenten. Brochure PPO 338-2

Fosfaatoverschotten van bouwland op perceelsniveau.

Fosfaatoverschotten van bouwland op perceelsniveau II. Informatieblad 398.44, november 2003. Mest- en Mineralenprogramma's 398-I, 398-II en 398-III. Ministerie LNV, www.mestenmineralen.nl.

Fosfaatmanagement op praktijkbedrijven. Informatieblad 398.65, mei 2005. Dekker Peter & Kees van Wijk,

Relaties tussen fosfaatconcentraties in bodemvocht, fosfaatfractie in de bodem en fosfaatoverschot op bouwland. Informatieblad 398.66, mei 2005. Mest- en Mineralenprogramma's 398-I, 398-II en 398-III. Ministerie LNV, www.mestenmineralen.nl.

Landbouwkundige en milieukundige gevolgen van evenwichtsbemesting met fosfaat op bouwland. Informatieblad 398.87, december 2005. Mest- en Mineralenprogramma's 398-I, 398-II en 398-III. Ministerie LNV, www.mestenmineralen.nl.

Actualisatie van fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen. Informatieblad 398.103, december 2005. Phillip Ehlert, Peter Dekker & Jantine van Middelkoop.

Landbouwkundige gevolgen van evenwichtsbemesting voor de opbrengst op bouwland. Informatieblad BO-o5-infoblad-07, mei 2007. Mest- en Mineralenprogramma's 398-I, 398-II en 398-III. Ministerie LNV, www.mestenmineralen.nl.

Fosfaatverliezen op graslandpercelen, C. van der Salm & J.C. van Middelkoop, Infoblad 398.24, juni 2003 Mest- en Mineralenprogramma's 398-I, 398-II en 398-III. Ministerie LNV, www.mestenmineralen.nl.

Evenwichtsbemesting met fosfaat op grasland. J.C. van Middelkoop, C. van der Salm & P.A.I. Ehlert, Infoblad 398,10. 4 december 2005. Mest- en Mineralenprogramma's 398-I, 398-II en 398-III. Ministerie LNV, www.mestenmineralen.nl.

Presentaties + Posters

Ehlert Phillip, Peter Dekker & Kees van Wijk. "Soil Phosphorus, a long-term source". Presentatie Ph. Ehlert op COST 832 Final Conference. Quantifying the agricultural contribution to eutrophication, Engeland 31 juli-2 augustus 2003 (project 510177)

Dekker, P.H.M., 2003. "Fosfaatonderzoek op bouwland", miniworkshop Alterra Wageningen op 6 oktober 2003. (project 510177)

Middelkoop van Jantine, Caroline van der Salm, Phillip Ehlert & Peter Dekker, 2005. Evenwichtsbemesting fosfaat: gevolgen voor bodemvruchtbaarheid en gewas-

opbrengsten in open teelten en op grasland. Lezing bij minisymposium 'meer met minder mineralen', Lelystad 25 augustus 2005.

Middelkoop, J.C. van, 2005. Evaluatie fosfaatbestedingsadvies en voorstel voor criteria aanpassing fosfaatadvies op grasland. Presentatie voor Commissie Bemesting Grasland en Voedergewassen.

Middelkoop, J.C. van, 2005. Excursie van Overlegplatform Duinboeren naar proefveld op locatie Aver Heino, 26 augustus 2005.

Peter Dekker, Phillip Ehlert & Kees van Wijk. 2005. Gevolgen van fosfaataanvoernorm op bouwland. Poster op de demodagen 'mest en energie' 24 + 25 augustus 2005 in Lelystad.

Dekker P.H.M., 2006. Toelichting bij veldproeven op PPO-agv in Lelystad voor leden van LTO-Noord en bestuur SPF op 26 juli 2006. Veeljarige fosfaattrappenproefveld, gebruik dierlijke mest in voorjaar op de kleigrond en gebruikswaarde van (co)vergiste mest.

Salm, C., van der, Middelkoop, J.C. van, & Ehlert, P.A.I., 2005. The effect of a reduction of phosphate application on soil phosphate pools. Presentation at the satellite workshop of the 20th International Grassland Congress, July, 2005, Oxford, England.

Bijlage 2 Jaarlijkse fosfaatgiften (kg P₂O₅/ha) en geteelde gewassen op de veldproef P1801 te Lelystad 1987-2007

Teelt-jaar		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				0	70	140	280		
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	0	120	0	120	0	120	0	120
	sla vroeg	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	120	0	120	0	120	0	120	0
	sla vroeg	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	
	Aardappel	0		100		200		300	
2000	Sla	0		100		200		300	
	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	
		-	+	-	+	-	+	-	+
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