

Effecten van organische bodemverbeterende middelen op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en lange termijn

Het onderzoek is gefinancierd door het Productschap Tuinbouw en het Ministerie van LNV in het kader van de mest en mineralen programma's

Effecten van organische bodemverbeterende middelen op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en lange termijn

P.A.I. Ehlert
H.P. Pasterkamp
P.R. Bolhuis

Alterra-rapport 991

Alterra, Wageningen, 2004

REFERAAT

Ehlert, P.A.I., H.P. Pasterkamp & P.R. Bolhuis, 2004. *Effecten van organische bodemverbeterende middelen op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en lange termijn*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 991. 56 blz.; 5 fig.; 12 tab.; 16 ref.

De beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest en compost voor het gewas is onderzocht. Onderscheid is gemaakt naar de werking op korte termijn dat wil zeggen binnen een groeiseizoen en de lange termijn werking over verschillende jaren. De fosfaatwerking van organische meststoffen op korte termijn is vastgesteld door de mate van wijziging van de fosfaattoestand (Pw-getal en P-AL-getal) te bepalen ten opzichte van die veroorzaakt door tripelsuperfosfaat. Op de korte termijn is de fosfaatwerking van stalmest of compost geringer dan die van tripelsuperfosfaat. De lange termijn werking is vastgesteld met behulp van grondmonsters van veeljarige veldproeven met bodemverbeterende middelen waaronder stalmest en compost. Op de lange termijn is de fosfaatwerking van stalmest of compost vergelijkbaar met die van tripelsuperfosfaat. Veeljarig gebruik van organische bodemverbeterende middelen verlaagt doorgaans de sorptiemaxima ten opzichte van het gebruik van uitsluitend minerale meststoffen.

Trefwoorden: adsorptie-isotherm, compost, fosfaat, gewasbeschikbaar fosfaat, kunstmest, organische bodemverbeterende middelen, organische meststoffen, P-AL-getal, Pi-getal, Pw-getal, stalmest, tuinturf en groenbemesting, veeljarige veldproeven, werkingscoëfficiënt

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door €18,- over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 991. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2004 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

Samenvatting	7
1 Inleiding	9
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Incubatieproef	13
2.1.1 Grond	13
2.1.2 Meststoffen	13
2.1.3 Opzet van de incubatieproef	14
2.1.4 Uitvoering van de incubatieproef	15
2.2 Veeljarige veldproeven	15
2.3 Chemisch grondonderzoek	16
2.4 Berekeningen	17
3 Resultaten	19
3.1 Incubatieproef	19
3.1.1 P _w -getal	19
3.1.2 P-AL-getal	20
3.1.3 P _i -getal	20
3.1.4 P _{ox}	20
3.2 Veeljarige veldproeven	23
3.2.1 P _w -getal, P-AL-getal, P _i -getal, P _{ox} en fosfaatverzadigingsgraad	23
3.3 Adsorptie-isothermen	25
3.4 Streefwaarde	28
4 Discussie en conclusies	37
Literatuur	43
<i>Bijlagen</i>	
1 Proefschemata van de incubatieproef	45
2 Algemene gegevens van de veeljarige veldproeven	47
3 Ammoniumoxalaat-oxaalzuur extraheerbaar aluminium en ijzer	55

Samenvatting

De beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest en compost voor het gewas is onderzocht. Onderscheid is gemaakt naar de werking op kort termijn, dat wil zeggen binnen één groeiseizoen, en de werking op lange termijn. De fosfaatwerking op korte termijn is vastgesteld door de mate van wijziging van de fosfaattoestand (Pw-getal en P-AL-getal) te bepalen ten opzichte van die welke onder gelijke condities door superfosfaat wordt veroorzaakt. Op korte termijn is de fosfaatwerking van stalmest voor duinzand en kalkhoudende zavel geringer dan die van tripelsuperfosfaat. Gemiddeld is de fosfaatwerkingscoëfficiënt voor stalmest en compost op duinzand en zavel circa 50%. Het effect op het P-AL-getal is afhankelijk van de grondsoort en het organisch bodemverbeterend middel. Bij het gebruik van stalmest op duinzand is de stijging van het P-AL-getal kleiner dan bij het gebruik van compost. Met stalmest of compost wordt echter meer fosfaat in de stijging van het P-AL-getal teruggevonden dan in de stijging van het Pw-getal (ten minste 70%). Op kalkhoudende zavel wordt daarentegen minder fosfaat, gemiddeld 30%, in de stijging van het P-AL-getal teruggevonden na toediening van stalmest of compost ten opzichte van tripelsuperfosfaat.

De lange termijn werking is vastgesteld met behulp van grondmonsters van veeljarige veldproeven met bodemverbeterende middelen waaronder stalmest en compost. Op de lange termijn is de fosfaatwerking van stalmest of compost vergelijkbaar met die van superfosfaat of tripelsuperfosfaat. Veeljarig gebruik van organische bodemverbeterende middelen verlaagt doorgaans de sorptiemaxima ten opzichte van uitsluitend gebruik van minerale meststoffen.

1 Inleiding

Het gewas neemt anorganisch fosfor (P) uit de bodemoplossing op. Voor bolgewassen in de groeiperiode varieert de dagelijkse vraag van 0,1 kg P ha⁻¹.dag⁻¹ voor een gewas als lelie tot 0,5 kg P ha⁻¹.dag⁻¹ voor gladiool. Vollegrondsgroentengewassen als sla of Chinese kool vragen een nog hogere hoeveelheid P. Sla en spinazie hebben een zeer hoge vraag variërend van 1-3,5 kg P ha⁻¹.dag⁻¹. De hoeveelheid fosfor in de bodemoplossing is beperkt (ca. 0,5 - 1 kg P ha⁻¹). De bodem moet dus voortdurend fosfor naleveren om aan de vraag van het gewas te kunnen voldoen. Die nalevering komt door desorptie en het in oplossing gaan van fosfaat van de minerale vaste fase en door mineralisatie van aan en in organische stof gebonden fosfaat. Daarnaast wordt de voorraad aangevuld met P uit meststoffen. Wateroplosbare kunstmestfosfaat verhoogt drastisch het gehalte aan P in bodemvocht. Organische bodemverbeterende middelen waaronder dierlijke mest bevatten minder water oplosbaar fosfaat in vergelijking tot fosfaatkunstmeststoffen. Literatuurstudie heeft aangegeven dat dicalciumfosfaat, trimagnesiumfosfaat, struviet en octacalciumfosfaat anorganische fosfaatvormen zijn die voorkomen in dierlijke mest (Chardon, 1995). Deze fosforvormen zijn reactief, bij verdunning met water lossen zij op. Organische bodemverbeterende middelen bevatten verder organische fosforvormen. In de literatuur worden fosfolipiden, eiwit gebonden fosfor en inositol-P-vormen genoemd als mogelijk voorkomende organische P-verbindingen (Chardon, 1995).

Het percentage aan organische verbindingen in organische mest varieert (tabel 1). In dierlijke mest vormen anorganisch fosfor dus de hoofdbestanddelen en deze vormen zijn oplosbaar in water en daardoor potentieel gewas beschikbaar.

Tabel 1. Indicatieve fosfaatgehalten en de relatieve verdeling over mineraal fosfor en organisch gebonden fosfor in meststoffen.

Mestsoort	Totaal fosfaatgehalte [kg P ₂ O ₅ ton ⁻¹]	Fosfor	
		Mineraal [% van totaal]	Organisch [% van totaal]
Vaste rundveemest	3,3	60	40
Rundvedrijfmest	1,5	90	10
Kippendrijfmest	6,7	80	20
Vaste varkensmest	11,8	85	15
Varkensdrijfmest	2,6	95	5
GFT - compost	4,4	70	30
Tuinturf (niet veraard)	0,6	20	80

Gebaseerd op gegevens van Vriesema en Gerritsen (1983), Prummel en Sissingh (1983) en Harrison (1987)

Ook in GFT-compost komt fosfor in hoofdzaak in anorganische (minerale) vorm voor. Over de chemische vormen van dit minerale fosfaat is weinig bekend. Omdat het merendeel van fosfor in GFT-compost afkomstig is van gewasresten, zullen naar verwachting de fosfaatvormen vergelijkbaar zijn met die van dierlijke mest. Dit is een aanname, er is over de fosfaatvormen in GFT-compost geen literatuur beschikbaar. Het aandeel dicalciumfosfaat in GFT-compost zal lager zijn dan in dierlijke mest.

Aan veevoeder wordt dicalciumfosfaat namelijk als supplement toegevoegd en komt daardoor in dierlijke mest voor. Bij GFT-compost ontbreekt die aanvoerbron tenzij bij de productie dierlijke mest wordt gebruikt. GFT-compost geproduceerd met dierlijke mest zal dan naar verwachting ook dicalciumfosfaat bevatten. Tuinturf bevat in hoofdzaak organisch fosfaat.

De organische fosforverbindingen verschillen als gevolg van onderscheid in chemische aard en structuur naar verwachting in hun snelheid van afbraak en daardoor in hun mate van afbraak. Ook verschillen de organische fosforverbinding in hun mate van vastlegging aan bodemdeeltjes hetgeen eveneens de afbraaksnelheid beïnvloedt. Inositol-P-verbindingen (fytine) worden sterk aan de bodem vastgelegd. De afbraaksnelheid en daardoor de beschikbaarheid van deze verbindingen voor het gewas is daardoor gering (Harrison, 1987). Nucleïne-zuren worden daarentegen makkelijk afgebroken.

Op korte termijn is door de aanwezigheid van organische fosforverbindingen de beschikbaarheid van fosfor uit organische bodemverbeterende middelen als dierlijke mest en compost geringer dan die van kunstmest. Op langere termijn wordt een gelijke werking aangegeven (Ehlert e.a., 1995).

Prummel en Sissingh (1983) vonden in een potproef dat de werkingscoëfficiënt voor fosfaat van dierlijke mest ten opzichte van superfosfaat steeg bij voortschrijdende incubatie (tabel 2). Bij het onderzoek zijn gedroogde dierlijke meststoffen gebruikt.

Tabel 2 Werkingscoëfficiënten voor fosfaat van dierlijke mest ten opzichte van superfosfaat gebaseerd op chemisch grondonderzoek na 0,75 jaar en 1 à 1,5 jaar van incubatie (Prummel en Sissingh, 1983).

Mestsoort	P-AL-getal		Pw-getal	
	0,75 jaar	1-1,5 jaar	0,75 jaar	1-1,5 jaar
Runderdrijfmest	0,8	0,9	0,6	0,6
Varkendrijfmest	0,8	0,9	1,0	1,0
Kippenmest	0,8	0,9	0,7	0,8
Slachtkuikenmest	0,7	0,8	0,8	1,0

Bij compost wordt uitgegaan van een werking van 60-80% in het eerste jaar na toediening. Bij langjarige toepassing wordt uitgegaan van een werking van 100% in vergelijking met die van kunstmestfosfaat (van Dijk, 2003).

Prummel en Sissingh (1983) hebben gebruik gemaakt van een dekzand. De resultaten worden echter ook toegepast voor andere grondsoorten zonder dat dit op onderzoek is gebaseerd. Het gebruik van organische bodemverbeterende middelen op duinzand, (kalkhoudende) zavel en kleigronden heeft daardoor de vraag opgeroepen of dit juist is, temeer daar beperkingen worden opgelegd aan het gebruik van dierlijke meststoffen en organische bodemverbeterende middelen.

Kunstmeststoffen als superfosfaat of tripelsuperfosfaat oefenen een invloed uit op de mate van verzadiging van fosfaat van de grond. Organische bodemverbeterende middelen zoals stalment en compost wijzigen daarentegen, door aanvoer van organische stof en bodembestanddelen, tevens de ad- en desorptie-eigenschappen

van de bodem. Over de mate waarin de ad- en desorptie-eigenschappen worden gewijzigd, bestaat onduidelijkheid.

Korte termijn effecten spelen een rol als organische bodemverbeterende middelen voor het eerst gebruikt worden b.v. op gronden die omgezet zijn of op gronden waarop niet eerder organische bodemverbeterende middelen zijn gebruikt. In deze situatie zal volgens Prummel en Sissingh (1983) de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas achterblijven bij die van kunstmestfosfaat. Dit komt tot uitdrukking in de mate waarin gewasbeschikbaar fosfaat in de tijd verandert.

Bij veeljarig gebruik wordt aangenomen dat de efficiëntie van fosfaat van kunstmest en van organische meststoffen gelijk is (Chardon, 1995). Verandering van de ad- en desorptie-eigenschappen draagt daar naar rede aan bij. D.w.z. dat op korte termijn de werking van fosfaat van organische bodemverbeterende middelen achterblijft bij die van wateroplosbare kunstmestfosfaat maar op de langere termijn door wijziging van de sorptie-eigenschappen het fosfaat beter voor het gewas beschikbaar komt. Deze aanname wordt in dit onderzoek geverifieerd.

Er zijn zeer weinig gegevens van Nederlandse gronden beschikbaar over de invloed van dierlijke mest op het adsorptie en desorptiegedrag in grond bij lage of voldoende fosfaattoestand. Afgeleide informatie – fosfaatverzadingsgraad - is veelal afkomstig van dekzand (diluviale zandgrond) waar grote hoeveelheden drijfmest is toegediend. Het betreft dan onderzoek naar de mate waarin dekzanden fosfaatverzadigd zijn (Breeuwsma e.a., 1990, Van der Zee e.a., 1990a en 1990b). Gegevens over het effect van organische meststoffen op wijziging van de ad- en desorptie-eigenschappen van Nederlandse gronden zijn zeer schaars voor handen. Er is zegge en schrijve één analyse beschikbaar van een zandgrond afkomstig van een behandeling met stalmest. Die analyse wijst uit dat stalmesttoediening de ad- en desorptie-eigenschappen wijzigt (Van Noordwijk en De Willigen, 1986). Gewasbeschikbaar fosfaat (Pw-getal) werd verhoogd door toediening van stalmest ten opzichte van kunstmestfosfaat. De effecten van organische bodemverbeterende middelen op de landbouwkundige werkzaamheid en op wijziging van de sorptie-eigenschappen van de bodem op korte en lange termijn vragen om nader onderzoek. Dit heeft de aanleiding gevormd voor dit onderzoek. Twee onderzoeksdoelen zijn daarbij geformuleerd.

1. Vaststellen wat de landbouwkundige werkzaamheid van fosfaat van organische bodemverbeterende middelen op korte en lange termijn;
2. Een verkenning uitvoeren naar effecten van organische bodemverbeterende middelen op de sorptie-eigenschappen op de lange termijn.

Dit rapport geeft resultaten van het onderzoek. Effecten op de korte termijn zijn onderzocht door middel van een incubatie-experiment met stalmest en compost met duinzand en een kalkhoudende zavelgrond. Effecten op lange termijn zijn onderzocht door gebruik te maken van grondmonsters van veeljarige veldproeven met organische bodemverbeterende middelen. Deze veldproeven zijn afkomstig van TAGA. TAGA is het technische archief en grondmonsterarchief van Alterra. Het archief bevat gegevens en grondmonsters van circa 18.000 proeven en biedt de

mogelijkheid om veeljarige veldproeven met diverse behandelingen te selecteren. De structuur en informatie die in TAGA opgeslagen is, is beschreven door Ehlert e.a. (2002).

De keuze voor stalmest en compost berust op hun betekenis als organische bodemverbeterende middelen voor de akkerbouw, vollegrondsgroententeelt en bloembollenteelt.

Het rapport is als volgt opgebouwd. Hoofdstuk 2 verantwoord het materiaal, de selectie van grondmonsters uit TAGA en de methoden van onderzoek. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten van onderzoek. In hoofdstuk 4 worden deze resultaten gebruikt om de consequenties voor de fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas te geven. In hoofdstuk 5 worden de resultaten besproken worden de conclusies getrokken.

2 Materiaal en methoden

Effecten van de organische bodemverbeterende middelen stalmest en compost op wijziging van fosfaatfracties in de bodem op de korte termijn zijn onderzocht in een incubatieproef. Veeljarige veldproeven zijn gebruikt om deze effecten op de lange termijn te onderzoeken

2.1 Incubatieproef

Gedurende een jaar is het beloop van de fosfaattoestand (P-toestand) en van ad- en desorptie-eigenschappen van de grond bepaald. De volgende condities zijn daarbij opgelegd.

2.1.1 Grond

Duinzand (alluviale zandgrond of zeezand) van de proeftuin van PPO Bloembollen te Lisse en kalkhoudende zavel van de dr. H.J. Lovinkhoeve te Marknesse zijn verzameld van veldproeven met een lage of een voldoende fosfaattoestand. De waardering van de fosfaattoestand berust die voor het Pw-getal. De partijen grond zijn afkomstig van de veldproeven van het onderzoek naar het fosformanagement van bloembolgewassen en het opstellen van milieuverantwoorde bemestingsadviezen (Ehlert en De Willigen, 2000).

De verzamelde partijen grond zijn op een droogvloer aan de lucht gedroogd. De partijen zavel zijn met een grondbreker verkleind en goed gemengd. De alluviale zandgrond is gezeefd (2 mm). De algemene kenmerken van de grond worden in tabel 3 gegeven.

2.1.2 Meststoffen

De meststoffen waren tripelsuperfosfaat, stalmest en Keur-Compost (compost) van de VAM.

De tripelsuperfosfaat is in een mortier gemalen en de zeeffractie kleiner dan 2 mm is gebruikt. Compost en stalmest zijn aan de lucht gedroogd om de monsters te kunnen malen. Vervolgens zijn de partijen gemalen met behulp van een gewasmolen en fracties kleiner dan 2 mm zijn gebruikt. Tabel 4 geeft de chemische samenstelling van de meststoffen.

Tabel 3. Fysische en chemische eigenschappen van duinzand en zavel bij lage en een voldoende fosfaattoestand¹.

Parameter	Duinzand		Zavel	
	Laag	Voldoende	Laag	Voldoende
Lutum ($\leq 2 \mu$), %	2,2	2,1	17,5	18,8
Afslibbaar ($\leq 16 \mu$), %	2,8	2,9	29,2	31,2
Silt, %	3,7	4,0	76,4	75,6
Vrije koolzure kalk, %	3,0	2,7	8,9	9,0
pH - 1 M KCl	7,6	7,4	7,4	7,4
Pw-getal, mg P ₂ O ₅ l ⁻¹	11	25	12	22
P-AL-getal, mg P ₂ O ₅ (100 g) ⁻¹	15	44	25	30
Pi-getal, mg P ₂ O ₅ kg ⁻¹	8,7	20,1	9,6	14,6
P-ox, mmol P kg ⁻¹	14,7	103	58,2	86,4
Al-ox, mmol Al kg ⁻¹	31,2	67,2	335	325
Fe-ox, mmol Fe kg ⁻¹	50,5	206	1446	1318
P-totaal, mg P ₂ O ₅ (100 g) ⁻¹	51,3	95,7	143	158
N-NH ₄ , mg kg ⁻¹	1,10	1,44	1,64	1,69
N-NO ₃ , mg kg ⁻¹	4,65	3,21	1,61	1,39
Drogestof, g kg ⁻¹	900	874	804	798

¹ Waardering van de fosfaattoestand berust op het Pw-getal en de bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen en bloembollen

Tabel 4. Chemische samenstelling van de tripelsuperfosfaat (TSP), stalmest en Keur-compost (compost).

Parameter	Meststof		
	TSP	Stalmest	Compost
Drogestof, g kg ⁻¹ product	979	191	761
Gloeiverlies, g kg ⁻¹ drogestof	* ¹	696	202
P-totaal, g P kg ⁻¹ drogestof	198	11,6	2,61
N-totaal, g N kg ⁻¹ drogestof	*	28,9	10,6
NH ₄ -N, mg kg ⁻¹ drogestof	*	1346	1250
NO ₃ -N, mg kg ⁻¹ drogestof	*	38	68

¹ Niet bepaald

2.1.3 Opzet van de incubatieproef

De incubatieproef heeft als factoren grondsoort, fosfaattoestand, meststof, gift en tijdstip van bemonstering. De proef wordt in twee herhalingen uitgevoerd. Als incubator is een levensmiddelenkoelkast gebruikt.

De grondsoorten waren duinzand en zavel. De fosfaattoestanden waren laag of voldoende (tabel 3). Tripelsuperfosfaat, stalmest en compost zijn onderzocht op hun effect op wijziging van de fosfaattoestand van de grond en de ad- en desorptie-eigenschappen. Er waren twee giften: geen bemesting en bemesting met fosfaat met één van de genoemde meststoffen. De gift was gebaseerd op 140 kg P₂O₅ ha⁻¹. Bij de omrekening naar 1 kg stoofdrome grond is het gewicht van de bouwvoor berekend door een inwerkingsdiepte van 20 cm aan te nemen. De bemonsteringstijdstippen waren na 0, 1, 3, 6 en 12 maanden van incubatie.

De proefopzet bestaat daardoor uit:

Grondsoort: duinzand (Lisse) en zavel (Lovinkhoeve)	2
Fosfaattoestanden: laag en voldoende	2
Meststof: geen meststof, stalmest, compost, tripelsuperfosfaat	4
Tijdstip: 0, 1, 3, 6 en 12 maanden	5
Herhalingen: 2	2
Totaal aantal potten	160

Het proefschema gaat wordt gegeven in bijlage 1.

2.1.4 Uitvoering van de incubatieproef

Aan 1 kg grond (stoofdroom) werd de fosfaat van één van de meststoffen toegediend en zorgvuldig gemengd. Om heterogene verdeling van meststof te voorkomen is de meststof aan een sub-monster van circa 100 g grond toegediend en na zorgvuldige menging met de grond aan de resterende hoeveelheid grond (circa 900 g) toegediend. Daarbij werd opnieuw zorgvuldig gemengd. De grond uit Lisse werd op 25% vocht gebracht, de zavel uit Marknesse op een vochtgehalte van 35%. Het volumegewicht van de grond uit Lisse is $1,47 \text{ kg dm}^{-3}$ en die voor Marknesse is $1,32 \text{ kg dm}^{-3}$. Om structuurbederf te voorkomen werd de grond licht gemengd. De grond werd daarna overgebracht in een glazen weckpot van 1 l met een brede opening. Daarbij werd de grond licht aangedrukt. De pakking van de grond was vergelijkbaar met die van een bewerkte bouwvoor. De potten werden afgesloten met zuurstofdoorlatend plastic folie (audiotheen). De potten zijn geïncubeerd bij 15°C . De gewichten van de potten werden direct na het vullen en afsluiten geregistreerd en wekelijks werd gecontroleerd op vochtverlies. Vochtverlies trad nauwelijks op. Een enkele maal is in een periode van één jaar vocht toegediend (enkele ml als demiwater).

Op aangegeven bemonsteringstijdstippen werden de potten uit de koelkast gehaald en opnieuw gewogen. Het verloop van het vochtgehalte was dermate gering dat een bepaling van het drogestofgehalte achterwege is gelaten. De grond werd uit de potten gehaald, zorgvuldig gemengd en gedroogd bij 40°C Celsius. Na drogen werd de duinzand gezeefd over 2 mm. De zavel werd gemalen. Het grondmonster werd onderverdeeld in twee sub-monsters.

2.2 Veeljarige veldproeven

Het effect op lange termijn is vastgesteld met grondmonsters uit het TAGA-archief (TAGA). TAGA bevat gegevens en grond-, gewas en meststofmonsters van circa 20,000 veldproeven. De structuur en achterinformatie van TAGA is beschreven door Ehlert e.a. (2002). TAGA biedt daardoor de mogelijkheid om proeven te selecteren voor de beantwoording van nieuwe onderzoeksvragen. TAGA is bij uitstek geschikt om wijzigingen in de bodemkwaliteit en chemische bodemkenmerken te onder-

zoeken. Op basis van gegevens van veeljarige veldproeven zijn vijf proeven geselecteerd waarin stalmest, compost en kunstmest met fosfaat zijn onderzocht al dan niet in combinatie met andere bodemverbeterende middelen. De belangrijkste selectiecriteria van het zoekprofiel waren de volgende.

1. De veldproef diende in de opzet een combinatie van behandelingen met organische bodemverbeterende middelen en kunstmestfosfaat te hebben die over een periode van tenminste 15 jaar was voortgezet.
2. Zowel de fosfaatgift met kunstmeststof en als de fosfaatgift met organische bodemverbeterende middelen moest bekend zijn en de giften met de meststoffen dienden van eenzelfde orde van grootte te zijn.
3. De fosfaatgift moest qua orde van grootte overeenkomen met een gemiddelde afvoer van fosfaat met oogstproducten, Alleen behandelingen waarbij de fosfaatgift met kunstmest gelijk of bij benadering gelijk was aan die met de organische bodemverbeterende middelen (al dan niet volgens het principe van compensatie) zijn geselecteerd.
4. De veldproeven dienden op bouwland te zijn aangelegd.

Tabel 5 geeft een overzicht van de locatie, grondsoort, behandelingen, jaar van aanleg en jaar van afsluiting.

Gestreefd is om grondmonsters te selecteren genomen bij de jaren van aanleg bij afsluiting. In een aantal gevallen ontbrak het gezochte monster. In deze gevallen is een monster geselecteerd van een opvolgend jaar of een voorafgaand jaar.

2.3 Chemisch grondonderzoek

In het onderzoek zijn Pw-getal, P-AL-getal, P-ox en Pi-getal gebruikt als maatstaven voor de beschikbaarheid van fosfaat. Pw-getal en P-AL-getal zijn indicatoren voor de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas, Pw-getal en Pi-getal zijn niet-destructieve methoden van grondonderzoek. Bij Pw-getal wordt de grond met water geschud, bij het Pi-getal wordt grond met een oplossing 0,01 M CaCl₂ gewenteld, P-ox en P-AL-getal zijn destructieve methoden van grondonderzoek. Bij P-AL-getal wordt grond geschud met een ammoniumlactaat-azijnzuur oplossing van pH 3,75 en bij P-ox wordt de grond geschud met een ammoniumoxalaat-oxaalzuur oplossing van pH 3. Bij de laatste twee methoden wordt bodemfosfaat in oplossing gebracht dat niet water oplosbaar is. Pw-getal en Pi-getal geven informatie over de mate van desorptie. P-AL-getal en P-ox geven informatie over de potentiële beschikbare voorraad aan fosfaat in de bodem. Bij bemestingsonderzoek wordt Pw-getal aangeduid als een intensiteitsparameter en het P-AL-getal als een capaciteitsparameters.

De grondmonsters van de incubatieproef en uit TAGA zijn geanalyseerd op Pw-getal (op volume en gewichtsbasis), P-AL-getal, Pi-getal, P-ox, Fe-ox, Al-ox, totaal-P en Pi-getal. Van de monsters van veeljarige veldproeven uit TAGA zijn tevens de P-adsorptie-isothermen bepaald.

De bepaling van Pw-getal, P-AL-getal, P-ox, Fe-ox, Al-ox en totaal-P is conform Houba e.a., 1997. De bepaling van Pi-getal is conform Sissingh (1991) en de adsorptie-isotherm is bepaald conform Van Noordwijk ea, (1990). De adsorptie-isotherm is beschreven met een Langmuir isotherm met één adsorptiemaximum.

De analyses op totaal-P, Pw-getal (volume en gewicht), P-AL-getal, P-ox, Fe-ox en Al-ox zijn uitgevoerd door het Centraal Laboratorium van WAG-UR, Departement Omgevingswetenschappen, Sectie Bodemkwaliteit.

De bepaling van het Pi-getal en de adsorptie-isotherm is uitgevoerd door het laboratorium van WAG-UR, Alterra, afdeling Water en Milieu. Beide laboratoria volgen interne en externe kwaliteitszorgbepalingen. De adsorptie-isotherm berust op 8 verschillende beginconcentraties.

De analyseresultaten van de eerste twee bemonsteringen van de incubatieproef wezen op een contaminatie met fosfor. De oorzaak van de contaminatie is onduidelijk. De resultaten zijn daarop niet meegenomen in het onderzoek.

2.4 Berekeningen

De analyse van de incubatieproef is gebaseerd op variantie-analyse (ANOVA). Toets op paarsgewijze verschillen zijn gebaseerd op de kleinste significante verschillen. Deze verschillen worden in de tekst aangeduid met LSD-waarden (Least Significant Differences). Uitspraken berusten op een overschrijdingskans van 95% ($\alpha = 0,05$; tweezijdig). Contrasten zijn onderscheiden tussen geen toediening van een product (blanco) en toediening van TSP, stalmest en compost. De variantie-analyse van de werkingscoëfficiënten berust op data van het laatste bemonsteringstijdstip.

De verkenning van het verloop van Pw-getal, PAL-getal, Pi-getal en P_{ox} , Al_{ox} en Fe_{ox} bij de veeljarige veldproeven berust op observatie. Er is geen statistische analyse uitgevoerd. Aanvullende informatie over de berekeningen wordt gegeven in bijlage 2. Bij forfaitaire normen voor afvoer met oogstproducten en meststoffen is gebruik gemaakt van de zogenoemde tabellen van Samson (Anonymus, 1967).

De adsorptie-isothermen zijn geanalyseerd op basis van een Langmuirvergelijking met één adsorptie-maximum.

$$Q_m = \frac{k * Q_{max} * C_m}{1 + k * C_m} \quad (1)$$

met

Q_m : geadsorbeerde hoeveelheid P ($mg\ kg^{-1}$ grond) bepaald uit de hoeveelheid fosfaat die geadsorbeerd is tijdens de bepaling van de adsorptie-isotherm plus de hoeveelheid reversibel uitwisselbaar (Pi-getal)

Q_{max} : adsorptiemaxima in ($mg\ kg^{-1}$ grond)

k: specifieke adsorptie constante ($l\ mg^{-1}$)

C_m : concentratie bij evenwicht ($mg\ P\ l^{-1}$)

De parameters k en Q_{\max} zijn vastgesteld met behulp van de FITNONLINEAR procedure van Genstat. De berekening van het Pw-getal volgt Van Noordwijk e.a. (1990).

De fosfaatverzadigingsgraad (FVG) is berekend conform het protocol fosfaatverzadigde gronden (Van der Zee e.a., 1990a+b).

De werkingscoëfficiënten voor fosfaat van stalmest en compost zijn berekend door de verhoging van de fosfaattoestand ten opzichte van onbemeste behandelingen te delen door de verhoging bij tripelsuperfosfaat.

De fosfaatbalansen zijn berekend op basis van de fosfaatgift en de afvoer met de oogstproducten. Veelal was het fosfaatgehalte van de organische meststoffen bekend; in geval van ontbrekende waarden werd een gemiddelde waarde van de meststoffen van andere proefjaren van de desbetreffende proef gebruikt. Chemisch gewasonderzoek van de hoofdgewassen ontbraken. De afvoer is daarom berekend op basis van de opbrengst en forfaitaire waarden voor de gehalten (Anonymus, 1967).

Alle analyses zijn uitgevoerd met het statistisch pakket Genstat 5, Release 4,2, (Payne e.a., 1993).

De berekeningen zijn gebaseerd op het mechanistisch concept van Van Noordwijk e.a., (1990).

Tabel 5. Veeljarige veldproeven met organische bodemverbeterende middelen

Proef	Locatie	Grondsoort	Looptijd		Behandelingen
			Begin	Eind	
NGe15/ OGe15	Groot Gaffel	Zandgrond	1923	1969	Chilisalpeter, compensatie voor aanvoer van fosfaat met stalmest Stalmest met chilisalpeter Stalmest met zwavelzure ammoniak Zwavelzure ammoniak, compensatie voor aanvoer met stalmest
PR1255	Well	Rivierklei	1951	1977	Kunstmest 15 ton,ha ⁻¹ , jaar ⁻¹ stalmest 15 ton,ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ compost, gebroeid 15 ton,ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ compost, ongebroeid 7,5 ton,ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ turfmolm Groenbemesting
PO168	Heino	Zandgrond	1941	1977	Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afvoeren Hoofdgewas geen stalmest
PR800	Borgercompagnie Dalgrond		1943	1977	Geen stalmest, geen stikstofbemesting Geen stalmest, 200 kg N,ha ⁻¹ 40 ton stalmest ha ⁻¹ per vier jaar, geen stikstofbemesting, 40 ton stalmest ha ⁻¹ per vier jaar, 200 kg N ha ⁻¹ ,
PR1437	Maarheeze	Zandgrond	1954	1972	Geen stalmest, geen stoppelgewas 30 ton stalmest ha ⁻¹ voor aardappelen, 20 ton ha ⁻¹ voor stoppelgewas

3 Resultaten

3.1 Incubatieproef

TSP is een wateroplosbare fosfaatmeststof. Direct na toediening wordt een hoge fosfaatbeschikbaarheid voor het gewas verwacht. Door omzetting tot bodemfosfaat neemt de beschikbaarheid af. Bij stalmest en compost daarentegen komt het fosfaat pas beschikbaar na mineralisatie en het in oplossing gaan van mineraal fosfaat.

De verwachting is daardoor dat bij TSP een dalende trend in het Pw-getal wordt gevonden en bij stalmest en compost een stijgende trend. De dalende trend wordt veroorzaakt door vorming van calciumfosfaten. Die calciumfosfaten - het is een verzamelnaam voor een groep van calciumverbindingen - zijn oplosbaar in ammoniumlactaat-azijnzuur of in oxaalzuur gelet op de pH van deze extractanten. Bij veroudering van de calciumverbindingen zal de mate van oplossing beperkt worden. De data zijn onderzocht op deze trends. De resultaten van de fosfaatanalyses van grondmonsters na 3, 6 en 12 maanden van incubatie worden in tabellen 6 en 7 gegeven.

Na 3, 6 en 12 maanden van incubatie bleek het verschil tussen de zavel met lage fosfaattoestand en voldoende fosfaattoestand gering te zijn (dit ondanks verschil in de uitgangstoestand). Onvoldoende zekerheid bestaat over de oorzaak van het ontbreken van dit verschil.

3.1.1 Pw-getal

Bemesting verhoogde het Pw-getal. TSP verhoogde het Pw-getal meer dan stalmest of compost (tabel 6). De mate van verhoging van het Pw-getal door stalmest of compost is gelijk. Gemiddeld over de gronden, fosfaattoestanden en tijdsduren van incubatie was het Pw-getal zonder bemesting 22 mg P₂O₅ liter⁻¹ en na bemesting met stalmest, compost of TSP respectievelijk 26, 26 en 31 mg P₂O₅ liter⁻¹.

Een duidelijke effect van de incubatieduur op het Pw-getal kan niet significant worden vastgesteld. Bij stalmest en compost is na 6 maanden van incubatie het Pw-getal op duinzand wat hoger dan na 12 maanden; bij de zavel kon dit effect alleen bij de toestand 'voldoende' significant worden vastgesteld. Op duinzand neemt na bemesting met TSP het Pw-getal af maar op de zavel ontbreekt deze trend.

Gemiddeld over de drie tijdstippen, grondsoorten en fosfaattoestanden verhogen stalmest of compost bij een gift van 140 kg P₂O₅ ha⁻¹ het Pw-getal met circa 45% ten opzichte van die door TSP. Van TSP is circa 10 kg P₂O₅ ha⁻¹ terug te vinden in een verhoging van het Pw-getal; dit is circa 7%.

3.1.2 P-AL-getal

Bemesting verhoogde het P-AL-getal, TSP verhoogde het P-AL-getal meer dan stalmest of compost (Tabel 6). Compost verhoogde het P-AL-getal sterker dan stalmest. Gemiddeld over de grondsoorten, de fosfaattoestanden en de tijdsduren van incubatie was het P-AL-getal zonder bemesting 126 mg P kg^{-1} en met stalmest, compost of TSP respectievelijk, 133, 136 en 141 mg P kg^{-1} . Een eenduidige trend per meststof in het verloop van het P-AL-getal bij voortschrijdende incubatie is niet vast te stellen. Tijdstip blijkt niet significant een wijziging in het P-AL-getal te hebben veroorzaakt. Gemiddeld over de drie tijdstippen, grondsoorten en fosfaattoestanden verhogen stalmest of compost het P-AL-getal met respectievelijk circa 50% en 70% ten opzichte van de verhoging door TSP. Van TSP is circa $96 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ terug te vinden in een verhoging van het P-AL-getal, dit is circa 68%.

3.1.3 Pi-getal

Pi-getal brengt een grotere scheiding tussen grondsoorten aan dan het P-AL-getal (Tabel 7). Ten opzichte van Pw-getal of P-ox is het onderscheid geringer. Bemesting verhoogde het Pi-getal, TSP verhoogde het Pi-getal meer dan stalmest of compost. De organische bodemverbeterende middelen waren onderling niet significant verschillend. Na drie of na zes maanden van incubatie was het Pi-getal hoger dan na twaalf maanden incubatie. Er was hierbij verschil in effect van meststoffen. Stalmest had na zes maanden een hoger Pi-getal dan na drie of twaalf maanden van incubatie. Compost en TSP vertoonde echter een dalende tendens in de periode tussen drie en twaalf maanden. Na twaalf maanden was het Pi-getal significant lager dan na drie maanden. Gemiddeld over de grondsoorten, de fosfaattoestanden en de tijdsduur van incubatie was het Pi-getal zonder bemesting $9,4 \text{ mg P kg}^{-1}$ en met stalmest, compost of TSP respectievelijk 11,3, 11,4 en $13,8 \text{ mg P kg}^{-1}$. Ten opzichte van TSP verhoogde stalmest of compost het Pi-getal met circa 44%. Van TSP kon gemiddeld $66 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ worden teruggevonden in een verhoging van het Pi-getal; dit is circa 47%.

3.1.4 P_{ox}

P-ox brengt een grotere scheiding tussen de grondsoorten aan dan Pw-getal of P-AL-getal (Tabel 7). Bemesting verhoogde de waarde van P_{ox}. Bemesting met TSP resulteerde in een hogere waarde dan stalmest of compost. Stalmest gaf geen significant onderscheid ten opzichte van compost. Tijdsduur van incubatie oefende geen effect uit op de waarde van P_{ox}. Gemiddeld over de drie tijdstippen, grondsoorten en fosfaattoestanden was P_{ox} zonder bemesting 204 en met stalmest, compost of TSP respectievelijk 213, 217 en 223 mg P kg^{-1} . Gerelateerd aan TSP verhoogde stalmest en compost P_{ox} met circa 60%. Van TSP was gemiddeld $121 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ terug te vinden in een verhoging van P_{ox}; dit is circa 86%.

¹ NB. Bij bemestingsonderzoek heeft het P-AL-getal de dimensie $\text{mg P}_2\text{O}_5 (100 \text{ g})^{-1}$. Om de waarden van dit rapport te kunnen vergelijken met de bemestingsparameter dient met de factor 0,229 te worden vermenigvuldigd.

Tabel 6. *P_w-getal en P-AL-getal van duinzand en zavel na 3, 6 en 12 maanden van incubatie bij 15° Celsius.*

Grondsoort	Toestand	Meststof	Incubatie ­ duur in maanden			LSD
			3	6	12	
<i>P_w-getal, mg P₂O₅ liter⁻¹</i>						
Duin ­ zand	Laag	Onbemest	16	13	12	6
		Stalmest	20	23	15	
		Compost	17	20	16	
		TSP	26	23	21	
Duin ­ zand	Voldoende	Onbemest	25	27	20	
		Stalmest	28	30	24	
		Compost	29	33	26	
		TSP	35	34	28	
Zavel	Laag	Onbemest	25	27	25	
		Stalmest	29	28	26	
		Compost	27	30	26	
		TSP	31	36	31	
Zavel	Voldoende	Onbemest	25	27	25	
		Stalmest	30	31	27	
		Compost	28	37	28	
		TSP	34	34	42	
<i>P-AL-getal, mg P kg⁻¹</i>						
Duin ­ zand	Laag	Onbemest	84	76	67	21
		Stalmest	80	93	80	
		Compost	97	90	89	
		TSP	92	85	96	
Duin ­ zand	Voldoende	Onbemest	146	181	167	
		Stalmest	179	178	167	
		Compost	174	189	186	
		TSP	179	188	172	
Zavel	Laag	Onbemest	126	127	136	
		Stalmest	143	126	139	
		Compost	127	131	131	
		TSP	135	144	146	
Zavel	Voldoende	Onbemest	123	131	145	
		Stalmest	137	135	136	
		Compost	143	138	137	
		TSP	138	171	151	

¹ NB. Bij bemestingsonderzoek heeft het P-AL-getal de dimensie mg P₂O₅ (100 g)⁻¹. Om de waarden van dit rapport te kunnen vergelijken met de bemestingsparameter dient met de factor 0,229 te worden vermenigvuldigd.

Tabel 7. P_i -getal en P_{ox} van duinzand en zavel na 3, 6 en 12 maanden van incubatie bij 15° Celsius.

Grondsoort	Toestand	Meststof	Incubatie ­ duur in maanden			LSD
			3	6	12	
<i>P_i-getal</i>						
Duin ­ zand	Laag	Onbemest	5,5	6,5	5,5	2,6
		Stalmest	7,5	11,5	9,0	
		Compost	6,0	8,5	6,5	
		TSP	10,5	9,0	9,5	
Duin ­ zand	Voldoende	Onbemest	10,0	11,0	11,5	
		Stalmest	13,5	14,5	12,5	
		Compost	14,5	14,0	13,5	
		TSP	17,5	18,5	15,5	
Zavel	Laag	Onbemest	10,0	10,5	10,5	
		Stalmest	10,5	12,0	10,0	
		Compost	15,0	12,0	10,5	
		TSP	15,5	15,5	13,0	
Zavel	Voldoende	Onbemest	10,5	10,5	10,5	
		Stalmest	11,5	12,5	10,5	
		Compost	12,0	12,0	12,5	
		TSP	15,0	14,0	13,0	
<i>P_{ox}</i>						
Duin ­ zand	Laag	Onbemest	79	61	55	21
		Stalmest	75	84	67	
		Compost	91	81	71	
		TSP	94	75	77	
Duin ­ zand	Voldoende	Onbemest	182	195	189	
		Stalmest	201	196	189	
		Compost	211	206	187	
		TSP	189	223	211	
Zavel	Laag	Onbemest	254	286	271	
		Stalmest	284	310	292	
		Compost	300	300	288	
		TSP	296	288	305	
Zavel	Voldoende	Onbemest	300	296	282	
		Stalmest	301	271	291	
		Compost	308	267	298	
		TSP	311	298	309	

3.2 Veeljarige veldproeven

3.2.1 Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal, P_{ox} en fosfaatverzadigingsgraad

De resultaten van het onderzoek op de fosfaatparameters Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal, P_{ox} en verzadigingsgraad (FVG) worden gegeven in tabel 8. Omdat de opzet en uitvoering per veldproef verschilt, worden deze resultaten per veldproef besproken. Specifieke informatie over de veldproeven worden in bijlage 2 gegeven. Om onderlinge vergelijking van de fosfaatparameters mogelijk te maken is afgeweken van de gebruikelijke dimensie van de methoden voor grondonderzoek op fosfaat; alle fosfaatparameters worden uitgedrukt in mg P kg⁻¹ luchtdroge grond.

3.2.1.1 NGe015 – OGe015

In 1967 waren de fosfaattoestanden op deze veldproef op zandgrond te Groot Gaffel gemeten als Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal en Pox gestegen ten opzichte van de uitgangstoestand in 1923. De mate van stijging is groter bij gebruik van stalmest. Omdat in een belangrijk deel van de looptijd gedurende de uitvoering van deze veldproef geen rekening gehouden is met de aanvoer van fosfaat met stalmest, moet deze stijging toegeschreven moeten worden aan een hogere aanvoer van P bij behandelingen met stalmest. Bijlage 2 tabel 2.2. geeft informatie over effecten van bemesting met ammoniumstikstof en nitraatstikstof op de ontwikkeling van de pH, organische stof en magnesiumtoestand. Ammoniumsulfaat leidt tot een daling van de pH-KCL van naar schatting 1,6 eenheid indien aangenomen wordt dat het verschil tussen pH-KCL en pH-H₂O één eenheid bedraagt. Met stalmest is onder dezelfde aanname de daling 1,0. Chilisalpeter (met of zonder stalmest) leidt tot een pH daling van circa 0,6 eenheid. Het organische stofgehalte nam bij ammoniumsulfaatbemesting af met circa 1,5 à 1,9%. Met chilisalpeter is gemiddeld het organische stofgehalte met 0,3% gestegen ten opzichte van het uitgangsniveau van 5,2% (bijlage 2, tabel 2.2). Effecten van stalmest op het gehalte aan organische stof zijn niet waarneembaar. Opvallende is het hogere Mg-gehalte bij gebruik van chilisalpeter. Met zwavelzure ammoniak treedt een daling op van de gehalten aan oxalaat extraheerbaar Al en Fe (bijlage 3). Bij chilisalpeter treedt een stijging op. Deze wijzigingen in pH, organische stof, ijzer en aluminium en magnesium hebben niet geleid tot een andere beschikbaarheden voor fosfaat. Het overschot op de fosfaatbalans heeft geleid tot een hogere fosfaatverzadigingsgraad.

3.2.1.2 PR1255

De veldproef werd in 1952 aangelegd op een zure rivierklei bij Well. In de periode 1957-1975 steeg het Pw-getal, het P-AL-getal, het Pi-getal en P_{ox} bij bemesting met stalmest, gebroeide compost, met turfmoel en bij groenbemesting (tabel 8). Het Pw-getal steeg niet bij gebruik van kunstmest of ongebroeide compost. De overige fosfaatparameters hadden hogere waarden in 1975. De stijging was relatief het grootst bij Pw-getal en het Pi-getal bij gebruik van stalmest. Het P-AL-getal steeg

relatief sterker bij gebruik van compost of turfmolm, P_{ox} daalde bij gebruik van stalmest en gebroeide compost steeg bij gebruik van andere meststoffen. De stijging van P_{ox} was relatief het hoogst bij gebruik van groenbemesting. De fosfaatverzadigingsgraad veranderde in de periode 1957-1975 niet wezenlijk. Er was geen wezenlijk verschil in de hoeveelheden Al_{ox} tussen deze jaren (bijlage 3). Daarentegen nam het gehalte Fe_{ox} af van 5075 mg Fe kg^{-1} naar 4260 mg bij gebruik van stalmest terwijl met kunstmest het gehalte toenam van 5130 naar 6394 mg Fe kg^{-1} . Ook met turfmolm en gebroeide compost nam het gehalte toe van respectievelijk 3592 naar 4148 en 5112 naar 5346 mg Fe kg^{-1} .

3.2.1.3 PO168

Op de zandgrond van Heino werd gedurende 24 jaar door alleen met kunstmestfosfaat te bemesten het Pw-getal wat verlaagd, het Pi-getal bleef op hetzelfde niveau terwijl het P-AL-getal en P_{ox} werden verhoogd (tabel 8 vervolg). Door het hoofdgewas en het stoppelgewas met stalmest te bemesten bleef het Pi-getal op hetzelfde uitgangsniveau en werden Pw-getal, PAL-getal en P_{ox} verhoogd (tabel 8). De fosfaatverzadigingsgraad steeg bij zowel het gebruik van kunstmest als bij het gebruik van stalmest. Dit blijkt ondermeer veroorzaakt te zijn door een daling van met oxalaat extraheerbaar Fe en Al bij gebruik van stalmest (bijlage 3). Bij het gebruik alleen kunstmest stegen Al_{ox} en Fe_{ox} ; bij gebruik van stalmest daalden Al_{ox} en Fe_{ox} (bijlage 3).

3.2.1.4 PR800

Gedurende 31 jaar stegen alle P parameters op de oude dalgrond van deze veldproef op Borgercompagnie. Ook de FVG steeg van gemiddeld 0,42 naar 0,61. Een effect van de behandeling is niet eenduidig vast te stellen (tabel 8). Alleen de mate van stijging van P_{ox} bij gebruik van 200 kg N ha^{-1} was minder groot dan zonder extra minerale stikstofbemesting. Na 31 jaar voortzetting werden doorgaans lagere waarden voor Al_{ox} en Fe_{ox} vastgesteld; het effect was gering en een effect van de behandeling was daarbij niet te onderkennen (bijlage 3).

3.2.1.5 PR1437

Het Pw-getal van de behandelingen met stalmest was hoger dan bij behandelingen zonder stalmest. Er was echter gedurende de duur van 20 jaar geen effect van stalmesttoediening of kunstmestfosfaat op het Pw-getal (tabel 8 vervolg). Het PAL-getal, het Pi-getal en P_{ox} stegen in deze 20 jaar. De stijging was hoger bij gebruik van stalmest, Al_{ox} en Fe_{ox} daarentegen werden niet door de behandelingen beïnvloed evenals de FVG; gedurende die 20 jaar steeg het FVG wel. Daarentegen stegen het PAL-getal, het Pi-getal en P_{ox} . Ook de FVG steeg in de periode van 20 jaar van 0,65 naar 0,73. Een effect van de behandeling was niet significant vast te stellen (bijlage 3).

3.3 Adsorptie-isothermen

De effecten van organische bodemverbeterende middelen op het sorptiegedrag van fosfaat verschillen per veldproef. Ter wille van het overzicht worden de effecten eerst kwalitatief beschreven ten opzichte van de uitgangstoestand. Vervolgens worden met behulp van de adsorptie-isothermen de Pw-getallen berekend waarbij de bouwvoor zonder aanvullende fosfaatbemesting kan voldoen aan de vraag van het gewas. De werkhypothese is dat door competitie van organische stof met fosfaat bij binding aan het adsorptiecomplex de adsorptie-isotherm vlakker gaat lopen naarmate de oplading met fosfaat en de aanvoer van organische stof in de tijd toeneemt. Figuren 1 – 5 geven de meetresultaten van de adsorptie-isothermen. Tabel 9 vat de resultaten van berekeningen samen.

Op PR1437 is er geen effect vastgesteld van stalmest op wijziging van de adsorptie-eigenschappen van de bouwvoor. Op de overige vier veeljarige veldproeven worden effecten van het gebruik van bodemverbeterende middelen vastgesteld op het verloop van de adsorptie-isotherm. Bij PO168, PR800 en NGe015 - OGe015 worden de adsorptie-isothermen relatief vlakker t.o.v. de uitgangssituatie. Bij PR800 wordt dat alleen vastgesteld als er 200 kg minerale stikstof is toegediend. Bij NGe015 – OGe015 is over de hele linie het verloop vlakker ten opzicht van de uitgangstoestand maar de behandelingen met Chilisalpeter en zwavelzure ammoniak blijven relatief steiler te verlopen dan de behandelingen met stalmest. Bij PO168 veranderd de vorm van de adsorptie-isotherm niet in de tijd door gebruik van stalmest, Daarentegen leidt louter minerale bemesting tot een steiler verloop. Bij PR1255 blijft bij louter kunstmestgebruik de curve het steilst maar in de tijd worden ook de adsorptie-isothermen van behandelingen met organische bodemverbeterende middelen steiler.

Het algemene beeld is dat organische bodemverbeterende middelen (met name stalmest en compost) bij veeljarige gebruik leiden tot een lager adsorptiemaximum of althans het maximum pas bij hogere evenwichtsconcentraties bereiken dan bij gebruik van kunstmest.

Tabel 8. *Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal, P_{ox} en Fosfaatverzadigingsgraad (FVG) van de bouwvoor bij aanvang en bij het eind van veeljarige veldproeven met bodemverbeterende middelen*

Proef	Omschrijving	Parameter (mg P kg ⁻¹)									
		Pw-getal		P-AL-getal		Pi-getal		P _{ox}		FVG	
		Begin ¹	Eind ²	Begin	Eind	Begin	Eind	Begin	Eind	Begin	Eind
Nge015 – Oge015	Chilisalpeter,	12	15	81	213	23	31	431	721	0,40	0,55
	Stalmest met chilisalpeter	13	23	82	262	27	39	449	763	0,41	0,63
	Zwavelzure ammoniak	11	20	78	150	25	42	427	679	0,41	0,59
	Stalmest met zwavelzure ammoniak	11	33	69	195	22	65	425	707	0,38	0,70
PR1255	Kunstmest	12	13	94	120	18	24	511	573	0,26	0,25
	15 ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹ stalmest	15	19	122	148	21	29	581	497	0,30	0,30
	15 ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹ compost, gebroeid	13	17	102	149	19	24	494	533	0,26	0,26
	15 ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹ compost, ongebroeid	12	14	80	141	17	22	456	491	0,24	0,26
	7,5 ton turfmolm ha ⁻¹ jaar ⁻¹	11	13	69	119	16	20	369	411	0,24	0,25
	Groenbemesting	11	17	65	135	18	22	369	449	0,23	0,25

1, De grondmonsters aan het begin van de veldproeven NGe 015 – OGe 015 en PR 1255 dateren van respectievelijk 1923 en 1957, de grondmonster bij het eind dateren respectievelijk van 1967 en 1975. De duur van de behandelingen was daardoor respectievelijk, 45 en 19.

Tabel 8 vervolg. Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal, P_{ox} en Fosfaatverzadigingsgraad (FVG) van de bouwvoor bij aanvang en bij het eind van veeljarige veldproeven met bodemverbeterende middelen.

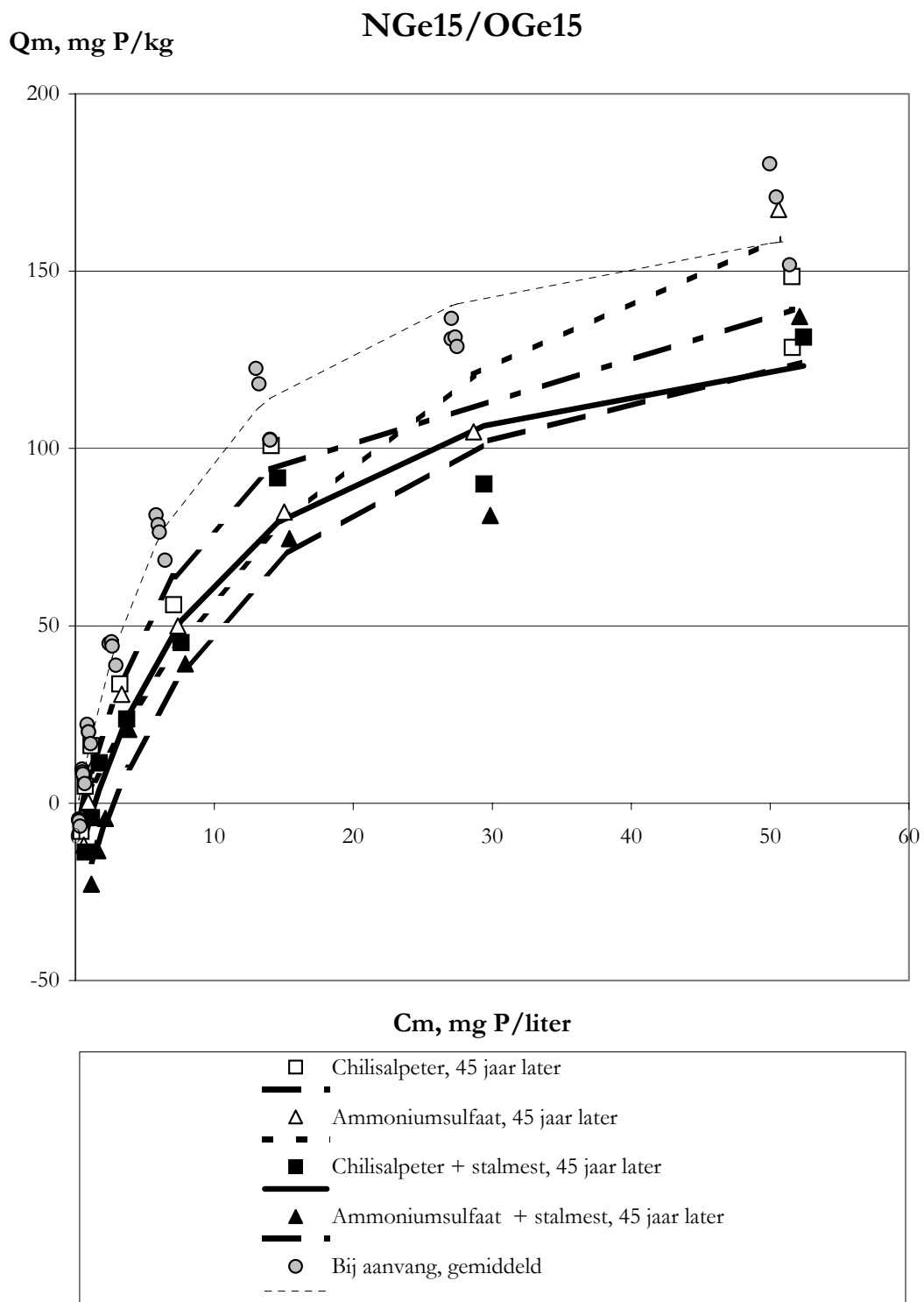
Proef	Omschrijving	Parameter (mg P kg ⁻¹)									
		Pw-getal		P-AL-getal		Pi-getal		P _{ox}		FVG	
		Begin	Eind	Begin	Eind	Begin	Eind	Begin	Eind	Begin	Eind
PR168	Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afvoeren	20	22	141	188	38	38	407	427	0,59	0,69
	Hoofdgewas geen stalmest	17	14	111	191	31	29	361	413	0,55	0,61
PR800	Geen stalmest, geen stikstofbemesting	19	23	146	262	41	48	419	593	0,42	0,61
	Geen stalmest, 200 kg N ha ⁻¹	15	21	140	261	32	47	473	583	0,42	0,61
	40 ton stalmest ha ⁻¹ per vier jaar, geen stikstofbemesting	17	22	153	275	38	43	397	561	0,41	0,60
	40 ton stalmest ha ⁻¹ per vier jaar, 200 kg N ha ⁻¹	17	23	154	272	38	43	437	585	0,42	0,63
PR1437	Geen stalmest, geen stoppelgewas	13	12	109	142	25	28	291	318	0,64	0,72
	30 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹ voor aardappelen en 20 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹ voor stoppelgewas	15	17	137	164	30	37	296	350	0,66	0,73

1. De grondmonsters aan het begin van de veldproeven PR 1437, PR 168 en PR 800 dateren van respectievelijk 1958, 1951 en 1944, de grondmonster bij het eind dateren respectievelijk, van 1972, 1974 en 1975. De duur van de behandelingen was daardoor respectievelijk 15, 24 en 31 jaar.

3.4 Streefwaarde

Op basis van de adsorptie-isothermen kan de fosfaattoestand (Pw-getal) van de bodem berekend worden waarbij het gewas zonder fosfaatbemesting in de dagelijkse vraag naar fosfaat door het gewas kan worden voldaan. De adsorptie-isothermen zijn wiskundig beschreven met een Langmuirvergelijking met één adsorptiemaximum (zie hoofdstuk 2). Berekeningen zijn uitgevoerd voor lelie, tulp, aardappel en spinazie. Daarbij is uitgegaan van een totale fosfaatopname van respectievelijk 20, 25, 27 en 38 kg P ha⁻¹, een dagelijkse fosfaatopname van respectievelijk 0,15, 0,3, 0,5 en 2,5 kg P ha⁻¹ dag⁻¹ een gemiddelde wortellengtedichtheid van respectievelijk 2, 1, 1,6 en 1,3 cm cm⁻³ en een wortelstraal van respectievelijk 0,15, 0,3, 0,15 en 0,2 mm. Op zand- en dalgrond is een vochtgehalte aangenomen van 25%, op de rivierklei een vochtgehalte van 30%. Verder is een laagdikte van 20 cm aangenomen. De gekozen condities van de berekening gelden daardoor voor uitbundig groeiende gewassen zonder vochttekorten. In een praktijksituatie zal de dagelijkse opname en de totale fosfaatopname wat lager zijn.

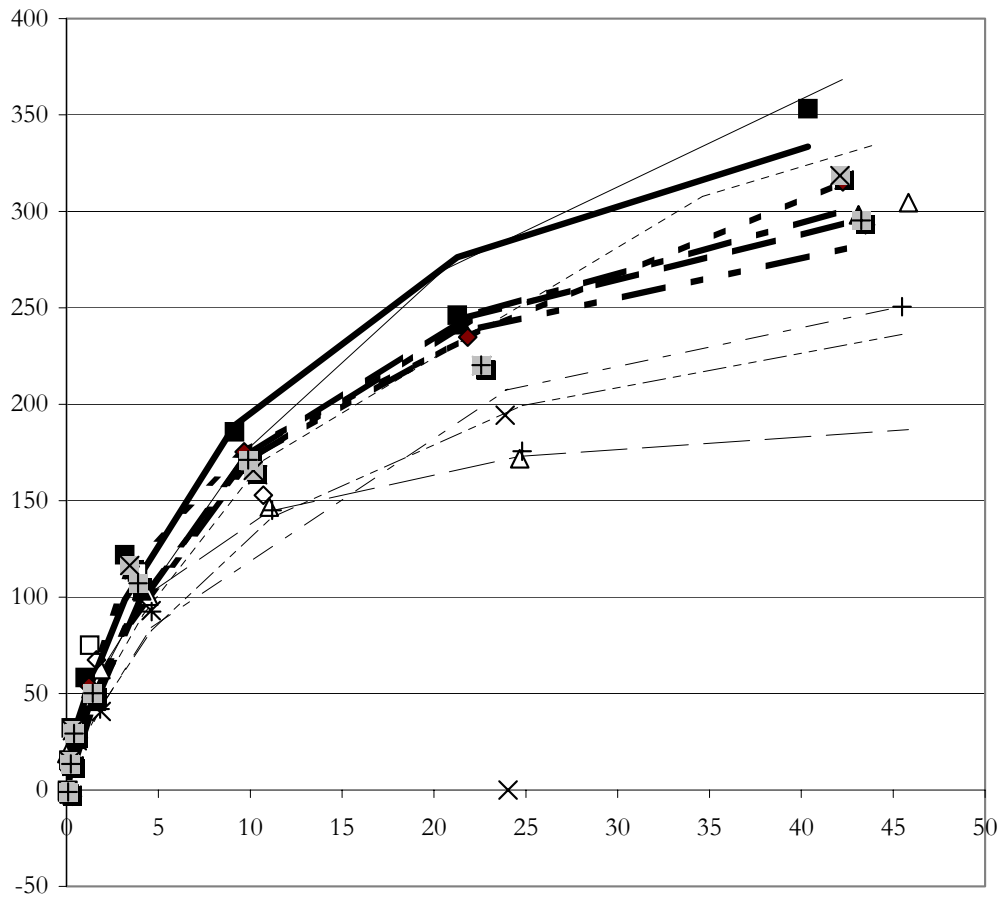
Er zijn 72 berekeningen uitgevoerd met het model PWREQ van Van Noordwijk e.a. (1990). Het onderscheid in de streefwaarden bij het begin van de veldproeven in vergelijking met die bij het eind was nihil voor lelie en aardappel en beperkt bij tulp (tabel 10). Ook bij spinazie zijn de effecten berekend voor PO168, PR1437 en PR800 gering. Deze berekeningen wijzen uit dat fosfaat van kunstmest of fosfaat van stalmest op langere termijn in relatieve zin in gelijke mate beschikbaar zijn voor het gewas. Bij NGe015 – OGe015 komen bij spinazie grotere veranderingen in berekende streefwaarden voor die gerelateerd kunnen zijn met veranderingen in de pH. Verzuring bij zwavelzure ammoniak leidt tot daling van de streefwaarde, verhoging van de pH bij veeljarig gebruik van chilisalpeter leidt tot een stijging van de berekende streefwaarde. Kunstmest, compost, turfmoel en groenbemesting bij PR1255 geven een stijging van de streefwaarde, de stijging bij stalmest en ongebroeide compost is gering. Onzekerheid over de fosfaatoverschotten verhindert een eenduidige conclusie over de onderliggende reden.



Figuur 1. Fosfaatadsorptie-isothermen voor behandelingen met en zonder stalmest bij gebruik van chilispeter of zwavelzure ammoniak (ZA) voor de veldproef NGe015-OGe015 op zandgrond te Groot Gaffel.

PR1255

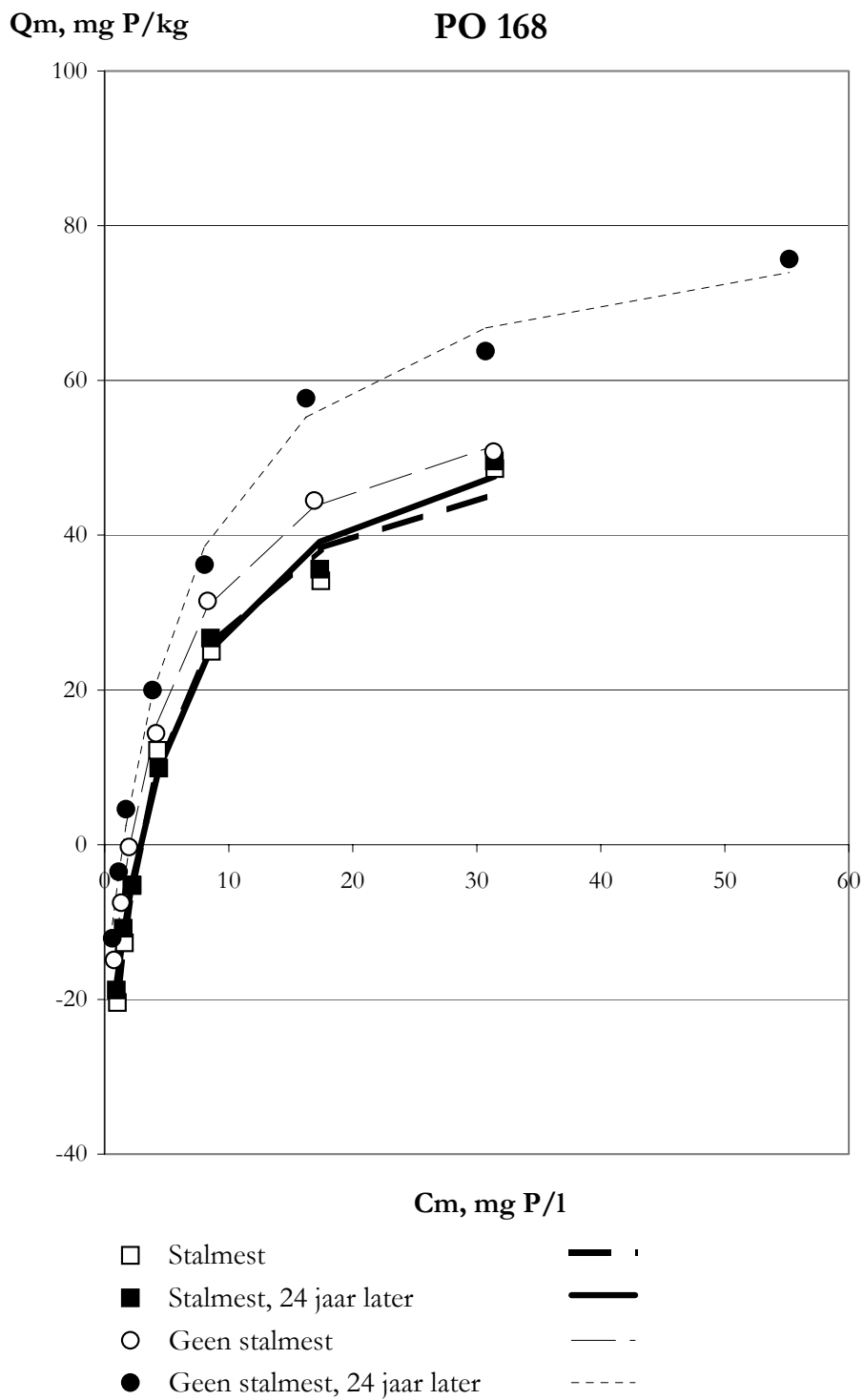
Qm, mg P/kg



Cm, mg P/l

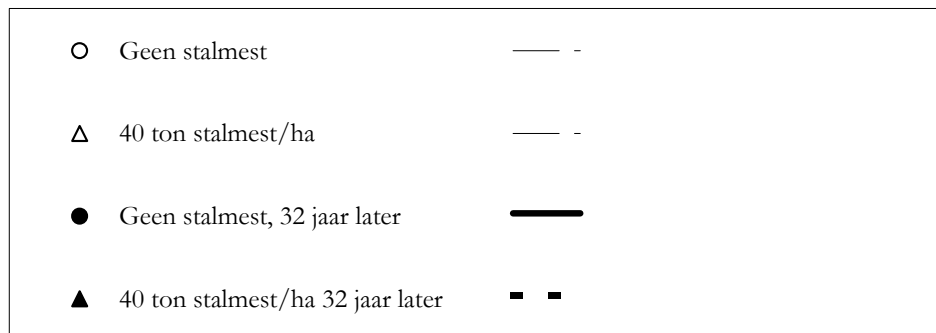
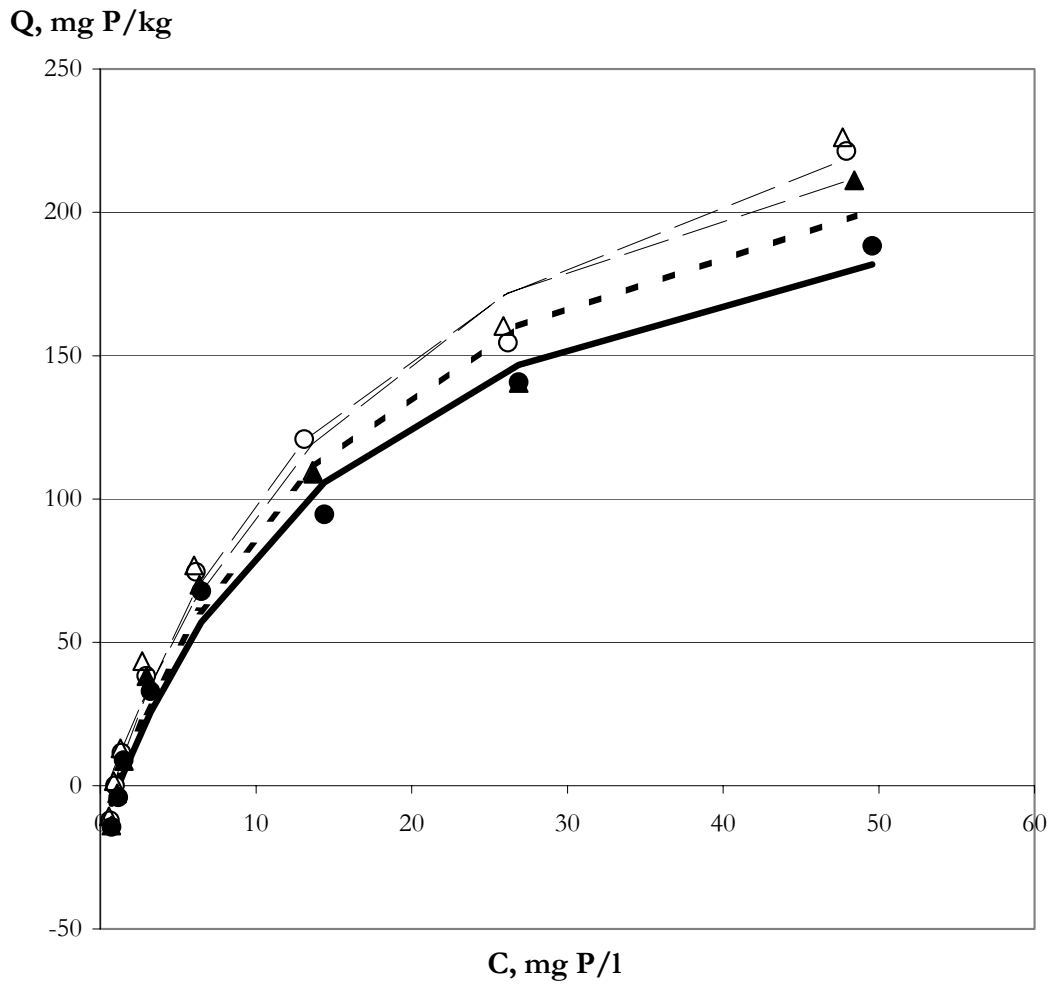


Figuur 2. Fosfaatadsorptie-isothermen voor en 19 jaar gebruik van kunstmestfosfaat, stalmest, compost (gebroeid), turfmoelm en groenbemesting op de veldproef PR1255 te Well op rivierklei.



Figuur 3. Fosfaatadsorptieisothermen voor behandelingen met en zonder stalmest op de veldproef PO168 op zandgrond van Heino bij aanvang en na 24 jarig toediening.

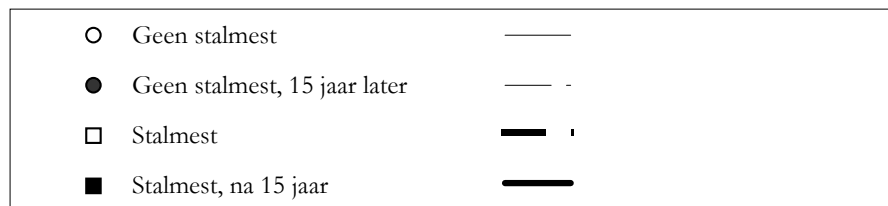
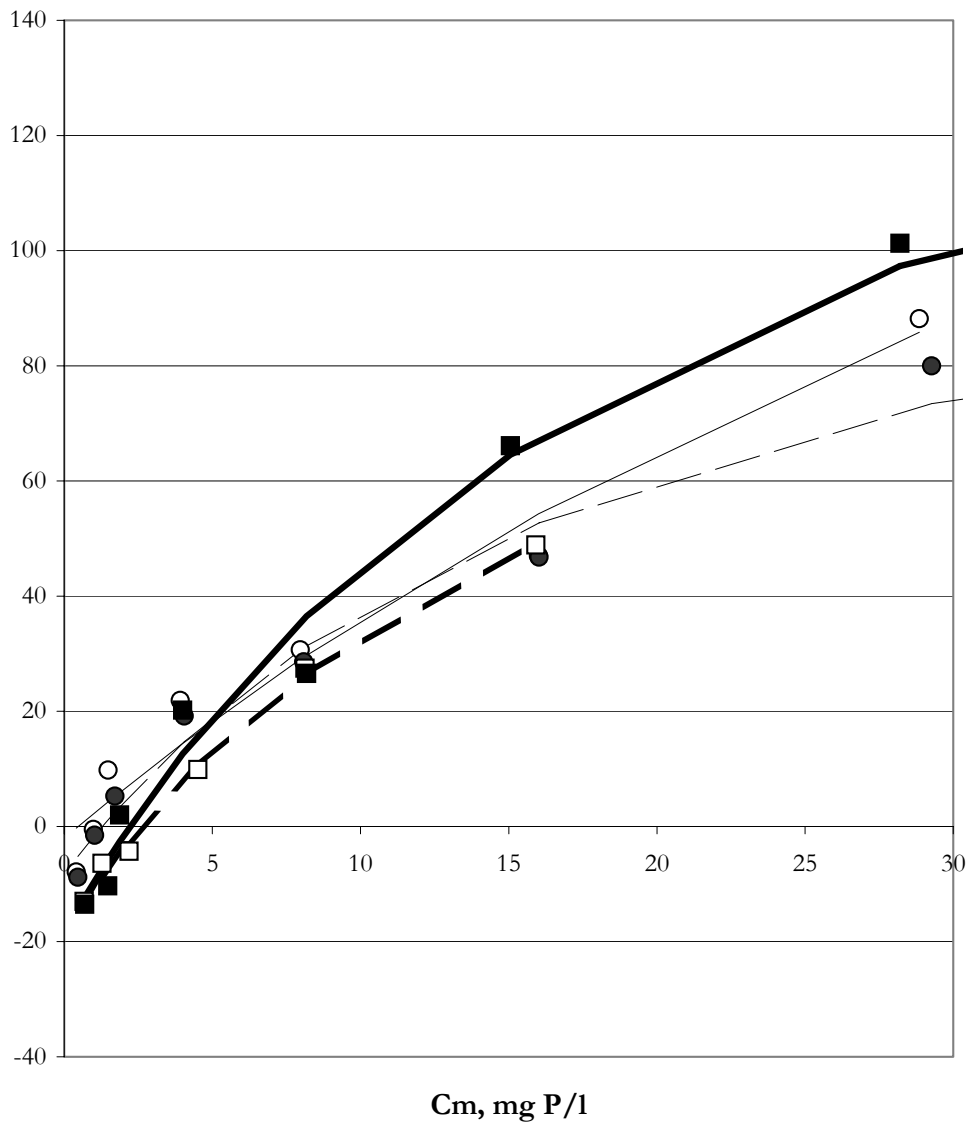
PR 800



Figuur 4. Fosfaatadsorptie-isothermen voor behandelingen met en zonder stalmest bij aanvang en na 32 jaar voortzetting van de veldproef PR800 op oude dalgrond te Bergercompagnie.

PR 1437

Qm, mg P/l



Figuur 5. Fosfaatadsorptie-isothermen bij gebruik van alleen kunstmestfosfaat en bij gebruik van stalmest bij aanvang en na 15 jaar voor de veldproef PR1437 op zandgrond te Maarheeze.

Tabel 9. Effect van organische bodemverbeterende middelen op het verloop van de adsorptieisotherm in de tijd.

Code	Behandeling	Effect van bodemverbeterend middel ten opzichte van de uitgangstoestand
NGe015/OGe015	Chilisalpeter	steiler dan stalmest maar vlakker dan bij begin
NGe015/OGe015	Zwavelzure ammoniak (ammoniumsulfaat)	steiler dan stalmest maar vlakker dan bij begin
NGe015/OGe015	Chilisalpeter met stalmest	vlakker dan chilisalpeter en vlakker dan bij begin
NGe015/OGe015	Zwavelzure ammoniak (ammoniumsulfaat) met stalmest	vlakker dan ammoniumsulfaat en vlakker dan bij begin
PR 1255	kunstmest	geen effect, blijft steilste curve
PR 1255	15 ton stalmest ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹	wordt steiler
PR 1255	15 ton compost ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ , gebroeid	geen effect
PR 1255	15 ton compost ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ , ongebroeid	wordt steiler
PR 1255	7,5 ton turfmoel ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹	wordt steiler
PR 1255	groenbemesting	wordt steiler
PO 168	hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afoogsten	blijf op hetzelfde niveau
PO 168	hoofdgewas geen stalmest	wordt steiler
PR 1437	geen stalmest, geen stoppelgewas	geen effect
PR 1437	30 ton stalmest ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ voor aardappelen, 20 ton stalmest ha ⁻¹ ,jaar ⁻¹ voor stoppelgewas, stoppelgewas onderploegen	geen effect
PR 800	geen stalmest	vlakker
PR 800	geen stalmest 200 kg stikstof ha ⁻¹	steiler
PR 800	40 ton stalmest ha ⁻¹	vlakker
PR 800	40 ton stalmest ha ⁻¹ , 200 kg N ha ⁻¹	vlakker

Tabel 10. Verandering in de streefwaarde (Pw-getal, mg P2O5,l-1) ten opzichte van de uitgangstoestand voor lelie, tulp, aardappel en spinazie.

Code	Omschrijving	Gewas			
		Lelie	Tulp	Aardappel	Spinazie
NGe015/OGe015	Chilisalpeter	-3	-8	-1	15
NGe015/OGe015	Zwavelzure ammoniak (ammoniumsulfaat)	1	-9	-3	-24
NGe015/OGe015	Chilisalpeter met stalmest	1	-6	-2	4
NGe015/OGe015	Zwavelzure ammoniak (ammoniumsulfaat) met stalmest	3	-9	-5	-9
PR 1255	kunstmest	-1	0	1	15
PR 1255	15 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹	1	0	-3	1
PR 1255	15 ton compost ha ⁻¹ jaar ⁻¹ , gebroeid	0	1	5	22
PR 1255	15 ton compost ha ⁻¹ jaar ⁻¹ , ongebroeid	0	0	1	7
PR 1255	7,5 ton turfmolm ha ⁻¹ jaar ⁻¹	0	0	2	11
PR 1255	Groenbemesting	0	1	3	21
PO 168	hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afoogsten	0	0	0	-3
PO 168	hoofdgewas geen stalmest	1	0	0	3
PR 1437	geen stalmest, geen stoppelgewas	-1	0	0	10
PR 1437	30 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹ voor aardappelen, 20 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹ voor stoppelgewas, stoppelgewas onderploegen	1	0	3	-3
PR 800	geen stalmest	0	-3	1	6
PR 800	geen stalmest 200 kg stikstof ha ⁻¹	0	0	1	4
PR 800	40 ton stalmest ha ⁻¹	0	0	-1	-2
PR 800	40 ton stalmest ha ⁻¹ , 200 kg N ha ⁻¹	0	0	-1	-2

4 Discussie en conclusies

Het onderzoek naar de fosfaatwerking van organische bodemverbeterende middelen op korte en lange termijn heeft een observationeel karakter; dat geldt voor het incubatie-experiment en in het bijzonder voor het onderzoek van de fosfaatwerking op de lange termijn. Het doel van het onderzoek was om vast te stellen wat de landbouwkundige werkzaamheid is van fosfaat van organische bodemverbeterende middelen op korte en lange termijn en een verkenning uit te voeren naar effecten van organische bodemverbeterende middelen op de sorptie-eigenschappen op de lange termijn. Een analyse naar onderliggende processen is niet een doelstelling van het onderzoek geweest. Daartoe is onderzoek te beperkt van opzet en ontbreken relevante bepalingen aan specifieke fosfaatfracties in de bodem.

Korte termijn

De fosfaatwerking op de korte termijn van stalmest en compost is geringer dan die van wateroplosbare kunstmest. De effecten van de incubatieduur zijn niet bijzonder groot, de drie tijdstippen van bemonstering (3, 6 en 12 maanden) kunnen daardoor worden gemiddeld. Als de verhoging van de fosfaattoestand door TSP op 100% wordt gezet, dan kan voor stalmest en compost voor de kalkhoudende duinzand en zavel de volgende werkingscoëfficiënten worden afgeleid (tabel 11).

Tabel 11. Werkingscoëfficiënten voor fosfaat van stalmest en compost ten opzichte van tripelsuperfosfaat gebaseerd op chemisch grondonderzoek in procent.

Mestsoort	P-AL-getal		Pw-getal	
	Duinzand	Zavel	Duinzand	Zavel
Stalmest	70	35	50	30
Compost	130 ¹	20	50	40
Tripelsuperfosfaat	100	100	100	100

¹ Er is meer fosfaat in de verhoging van het P-AL-getal teruggevonden dan toegediend is,

Gemiddeld genomen is de fosfaatwerkingscoëfficiënt voor stalmest en compost op duinzand en zavel circa 50% gemeten aan de wijziging van het Pw-getal. Het PAL-getal geeft een onderscheid tussen duinzand en zavel. Met stalmest wordt wat minder fosfaat teruggevonden dan is toegediend, bij gebruik van compost wordt meer fosfaat teruggevonden. Bij de zavel wordt gemiddeld slechts 30% teruggevonden.

De fosfaatwerkingscoëfficiënten gebaseerd op chemisch grondonderzoek van stalmest en compost zijn lager dan die voor de dierlijke mestsoorten die door Prummel en Sissingh (1983) zijn onderzocht. Er zijn ten minste twee oorzaken aan te geven. De mestsoorten zijn verschillend. Prummel en Sissingh onderzochten gedroogde drijfmesten. Ten tweede maakte zij gebruik van een dekzand (kalkloze zandgrond).

Drijfmesten bevatten in hoofdzaak anorganische fosfaatverbindingen waaronder struviet en dicalciumfosfaat (Bril en Salomons, 1990). Ook stalmest en compost bevatten in hoofdzaak anorganische fosfaten maar bij deze organische bodemverbeterende middelen is het aandeel organisch gebonden fosfaat groter.

Aangenomen wordt dat een deel van dit anorganisch fosfaat niet geëxtraheerd is bij de bepaling van het Pw-getal.

De grondsoort bepaalt de fosfaatwerkingscoëfficiënt. Dit effect wordt toegeschreven aan lutum, aan vrije koolzure kalk (schelpenkalk) en aan organisch fosfaat. Elk van deze bodemfracties oefenen een effect uit op de mate van extractie van fosfaat met water (Pw-getal) en met ammonium-lactaat-azijnzuur (PAL-getal).

Het is niet duidelijk waarom in vooronderzoek grond van twee kavels op de Dr. H.J. Lovinkhoeve die in verschillende jaren consequent een onderscheidenlijke fosfaattoestand hebben getoond, na voorbehandeling dit onderscheid verloren. Van de grond van deze proeflocatie is bekend dat 40-60% van de totale hoeveelheid fosfaat in de bouwvoor van organische herkomst is (Johnston e.a., 2001). Mogelijk heeft de voorbehandeling geleid tot het beschikbaar komen van deze fosfaatvormen hetgeen geleid heeft tot nivellering van de fosfaattoestanden. Hierop is met het huidige onderzoek geen controle mogelijk.

Lange termijn

De proefplannen van de veeljarige veldproeven gaven aan dat bij NGe015 – OGe015 en PR1255 niet voor het fosfaat gegeven met de organische bodemverbeterende middelen was gecompenseerd. Bij de veldproeven PO168, PR800 en PR1437 werd opgegeven dat er gecompenseerd was voor het fosfaat dat gegeven was met de stalmest. Hierbij werd gebruik gemaakt van forfaitaire waarden voor mest en afvoer met oogstproducten. Bij deze laatste drie veldproeven is er dan sprake van een gelijke aanvoer van fosfaat terwijl bij de eerste twee genoemde veldproeven de behandelingen met organische bodemverbeterende middelen beduidend meer fosfaat hebben gekregen. Het effect van gelijke en ongelijke fosfaatbalansen is terug te vinden in de metingen van het Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal en P_{ox} . Bij gelijke fosfaatbalansen is er geen wezenlijk verschil tussen orde van grootte van deze parameters tussen behandelingen met en zonder organische bodemverbeterende middelen. Zodra de behandelingen leidden tot ongelijke aanvoer van fosfaat, wordt dat ook teruggevonden in de parameters. Een lagere fosfaataanvoer leidt tot lagere waarden, een hogere aanvoer leidt tot hogere waarden. In dit opzicht is er dus sprake van een zekere relatie tussen aanvoer en fosfaattoestand; dit is echter een relatief verband.

Ook de adsorptie-isotherm wordt qua vorm beïnvloedt door organische bodemverbeterende middelen. Het zijn met name de adsorptiemaxima die door gebruik van organische bodemverbeterende middelen relatief lager zijn of pas bij beduidend hogere evenwichtsconcentraties worden bereikt dan behandelingen met uitsluitend minerale meststoffen (zie figuren 1 tot en met 5). Veeljarig gebruik leidt tot vlakker verlopende curven in vergelijking tot behandelingen met louter gebruik van kunstmest. Het zijn geen grote effecten en in het begintraject van de adsorptie-isotherm is er geen evident onderscheid tussen verschillende behandelingen. Juist dit begintraject bepaalt de streefwaarde. Het is dan niet zo verwonderlijk dat de streefwaarden voor behandelingen met organische bodemverbeterende middelen niet afwijken van behandelingen met uitsluitend minerale meststoffen. Op lange termijn draagt fosfaat van organische bodemverbeterende middelen in gelijke mate bij aan de

fosfaatlevering van de bodem aan het gewas als fosfaat van minerale meststoffen (superfosfaat of slakkenmeel). Fosfaat van organische bodemverbeterende middelen of fosfaat van minerale meststoffen hebben op de lange termijn daardoor eenzelfde werkingscoëfficiënt van 100%.

Er is een controle uitgevoerd op de vermelding dat bij de veldproeven al dan niet gecompenseerd is voor het fosfaat dat met de organische bodemverbeterende middelen is aangevoerd. Met compensatie werd bij de uitvoering van de veldproeven het corrigeren van giften aan nutriënten tot eenzelfde vergelijkbaar niveau met onderscheidenlijke meststoffen bedoeld. De controle berust op de berekening van de cumulatieve fosfaatbalans per veldproef per behandeling. Een cumulatieve fosfaatbalans geeft het fosfaatoverschot gesommeerd over de jaren. Omdat de veldproeven niet aangelegd zijn om het gedrag van fosfaat te onderzoeken, waren gegevens over de gehalten aan fosfaat in de oogstproducten niet beschikbaar. Gegevens van fosfaat in de organische meststoffen waren daarentegen vaak wel voorhanden (zie bijlage 2). De berekening van de fosfaatbalansen is niet foutloos. Van NGe015 – OGe015 ontbraken teveel gegevens om verantwoord een cumulatieve fosfaatbalans op te kunnen stellen.

In tabel 12 wordt het resultaat van deze indicatieve berekeningen voor P_{ox} gegeven. Opvallend is dat een deel van het fosfaat dat met kunstmest en organische meststoffen is aangevoerd niet teruggevonden wordt in P_{ox} indien stalmest of een andere organisch bodemverbeterend middel wordt gebruikt. Door op dalgrond (PR800) uitsluitend gebruik te maken van kunstmest wordt min of meer een sluitende balans teruggevonden, bij de veldproeven op zandgrond wordt geen sluitende balans vastgesteld maar er wordt meer fosfaat in P_{ox} teruggevonden dan bij behandelingen met organische bodemverbeterende middelen. Omdat deze berekeningen berusten op deels forfaitaire gehalten mogen de getalswaarden niet absoluut worden genomen. Wel geven de berekeningen aan dat bij gebruik van minerale meststoffen en organische bodemverbeterende middelen fosfaat niet volledig teruggevonden wordt in P_{ox} . Soortgelijke berekeningen voor P-AL-getal toonden aan dat eenzelfde hoeveelheid fosfaat werd teruggevonden op basis van het P-AL-getal. Daarentegen werd bij Pw-getal en Pi-getal slechts van 0 tot hooguit 5% van het toegediende fosfaat teruggevonden in een verhoging van de fosfaattoestand.

Het valt op dat het cumulatief effect van het gebruik van forfaitaire waarden bij uitvoering toch aanzienlijke verschillen heeft veroorzaakt in de cumulatieve fosfaatbalansen tussen de verschillende behandelingen.

Bij de uitvoering van de veldproeven is gewerkt met forfaitaire waarden voor de aanvoer van werkzaam fosfaat van de organische meststoffen (vermoedelijk heeft men een waarde van 70% aangenomen voor de werkingscoëfficiënt van fosfaat in deze meststoffen). Voor de afvoer van fosfaat met de oogstproducten werd niet gecompenseerd uitgezonderd in proeven waarbij stoppelgewassen werden afgeogst. Tabel 12 is gebaseerd op de analyseresultaten van organische bodemverbeterende middelen en op fosfaatafvoeren die afhankelijk zijn van de opbrengst (hoofdstuk 2). Dit leidt tot een verschil tussen de wijze waarop de balans ten tijde van uitvoering is

opgesteld en zoals die in dit onderzoek is opgesteld. De methode van berekening van een cumulatieve fosfaatbalans is daardoor niet vrij van een fout hetgeen een onzekerheid met zich meebrengt die nog niet goed te kwantificeren is.

Hoewel de verleiding groot is om deze cumulatieve fosfaatbalansen te gebruiken voor het berekenen van werkingscoëfficiënten voor fosfaat van organische bodemverbeterende middelen is dat door deze onzekerheden niet mogelijk. Daarbij komt dat in deze verkenning alleen gekeken naar de bouwvoor. Verlies van fosfaat van de bouwvoor naar dieper gelegen bodemlagen zal zijn opgetreden maar hierover kan geen uitsluitsel worden gegeven. Belangrijker is dat de gebruikte methodes voor grondonderzoek - Pw-getal, P-AL-getal, Pi-getal en P_{ox} – ontwikkeld zijn voor *andere doelen* dan voor het vaststellen van het veeljarig effect van cumulatieve fosfaatbalansen op de fosfaattoestand. Pw-getal, P-AL-getal en Pi-getal bieden maatstaven voor de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas. Pw-getal wordt daarbij opgevat als een intensiteitsmaat; het P-AL-getal als een capaciteitsmaat (Van der Paauw e.a., 1970). In dit onderzoek is er echter geen correlatie vastgesteld tussen Pw-getal en het bufferend vermogen ($\delta Q_m / \delta C_m$) en P-AL-getal blijkt niet gecorreleerd te zijn met Q_{max} .

De resultaten gegeven in tabel 12 geven aan dat er nauwelijks een absolute samenhang is tussen deze vier methoden voor grondonderzoek op fosfaat en de cumulatieve fosfaatbalans, P_{ox} en P-AL-getal hebben nog enige correlatie: enkele tientallen procenten worden teruggevonden. Het meeste fosfaat wordt niet teruggevonden in een verhoging van een van de fosfaatparameters. Een (beperkt) deel zal verplaatst zijn naar dieper gelegen bodemlagen. Omdat in extreme situaties circa 10 kg P_2O_5 ha⁻¹ kan weglekken, moeten er andere oorzaken zijn. Deze oorzaken zijn niet goed bekend. Oorzaken kunnen liggen in de beperkingen van de methode van grondonderzoek en aan opslag van fosfaat van de meststoffen in bodemfracties die niet of nauwelijks bijdragen aan de extractie (organische fosfaatverbindingen, kristallijne minerale vormen). Ook de opslag van luchtgedroogde grondmonsters over langere tijd zou een oorzaak voor het verlies kunnen zijn. Omdat uit ander onderzoek bekend is dat opslag gedurende lange periode geen effect heeft op de orde van grootte van het Pw-getal, wordt aan de laatst genoemde oorzaak geen groot gewicht gegeven (niet gepubliceerde gegevens).

Andere methoden van grondonderzoek moeten worden toegepast om mogelijke oorzaken te achterhalen. Dit valt buiten het bestek van dit onderzoek.

Tabel 12. Cumulatieve fosfaatbalansen van PR1255, PR1437, PO168 en PR800 en de percentage fosfaat dat teruggevonden is in P_{ox} .

Veldproef	Organisch bodem-verbeterend middel	Berekende cumulatieve fosfaatbalans, $kg P_2O_5 ha^{-1}$	Oxalaat extraheerbaar fosfaat (P_{ox}), $mg P kg^{-1}$					
			Stijging berekend	P_{ox} bij aanvang	P_{ox} bij afloop	Vershil P_{ox} eind-begin	Niet teruggevonden	Teruggevonden in procent
PR1255	Kunstmest	1320	177	511	573	62	115	35
Rivierklei	Compost, niet gebroeid	2821	379	456	491	35	344	9
	Compost, gebroeid	3386	455	494	533	39	416	9
	Stalmest	3360	452	581	497	-84	536	-19
	Turfmolm	1568	211	369	411	42	169	20
	Groen bemesting	1604	215	369	449	80	135	37
PR800	Geen stalmest, geen stikstofbemesting	876	137	419	593	174	-37	127
Dalgrond	Geen stalmest, 200 $kg N ha^{-1}, jaar^{-1}$	765	119	437	583	110	9	92
	40 ton stalmest $ha^{-1}, jaar^{-1}$ geen stikstofbemesting	1908	298	397	561	164	134	55
	40 ton stalmest $ha^{-1}, jaar^{-1}$, 200 $kg N ha^{-1}, jaar^{-1}$	1951	304	437	585	148	156	49
PR1437	Geen stalmest, geen stoppelgewas	448	70	291	318	43	27	39
Dekzand	30 ton stalmest ha^{-1} voor aardappel, 20 ton stalmest ha^{-1} voor stoppelgewas, stoppelgewas onderploegen	698	109	296	350	55	54	50
PO168	20 of 30 ton stalmest ha^{-1} aan hoofdgewas, 20 ton stalmest ha^{-1} aan stoppelgewas, stoppelgewas afvoeren	1846	288	407	427	20	268	7
Dekzand	Hoofdgewas geen stalmest, geen stoppelgewas	1180	184	361	413	52	132	28

Literatuur

Anonymus, 1967. Handboekje voor de landbouwvoorlichter. Proefstation voor de Akker- en Weidebouw, Wageningen, 324 pp.

Breeuwsma, A., J.G.A. Reijerink & O.F. Schoumans, 1990. Fosfaatverzadigde gronden in het Oostelijk, Centraal en Zuidelijk Zandgebied. Staring Centrum, Instituut voor onderzoek van het Landelijk Gebied. Rapport 68, Wageningen, Nederland, 63 pp.

Chardon, W.J., 1995, Fosfaatvormen in dierlijke mest en hun effectiviteit. Verslag van een literatuuronderzoek. With an English summary. DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek, Rapport 53, Haren, Nederland, 33 pp.

Dijk, W. van (samensteller), 2003. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Publicatie nr. 95. Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroententeelt, Lelystad. 66 pp + bijlagen.

Ehlert, P.A.I., J. Alblas, D.J. den Boer, W.J. Chardon & J.F.M. Huijsmans, 1995. Fosfaatwerking van dierlijke meststoffen. Evaluatie van het FOMA-project 3.49, DLO-Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Nota 27. Haren, Nederland, 13 pp.

Ehlert, P., E. Leeters & A. Olsthoorn, 2002. Integratie en operationalisatie van strategische archieven binnen Alterra. TAGA-, BIS- en Dorschkamparchieef. Een definitiestudie. Alterra-rapport 485, 86 pp.

Harrison, A.F., 1987. Soil organic phosphorus. A review of world literature. C.A.B. International Wallingford, United Kingdom, 257 pp.

Houba, V.J.G., J.J van der Lee & I. Novozamsky, 1997. Soil Analysis Procedures. Other procedures (Soil and Plant analysis, part 5B). Department of Soil Science and Plant Nutrition, Agricultural University Wageningen, 217 pp + bijlagen.

Noordwijk, M. van, P. de Willigen, P.A.I. Ehlert & W.J. Chardon, 1990. A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. Netherlands Journal of Agricultural Science, 38: 317-332.

Payne, R.W., P.W. Lane, P.G.N. Digby, S.A. Harding, P.K. Leech, G.W. Morgan, A.D. Todd, R. Thompson, G. Tunnicliffe Wilson, S.J. Welham & R.P. White, 1993. Genstat 5, Release 3. Reference Manual. Clarendon Press. Oxford. 796 pp.

Prummel, J. & H.A. Sissingh, 1983. Fosfaatwerking van dierlijke mest. Bedrijfsontwikkeling 14: 963-966.

Sissingh, H.A. 1991. Estimation of plant-available phosphates in tropical soils. A new analytical technique. Produced in 1983; facsimile reproduction 1991. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Nota 235, 4 pp.

Vriesema, R. & R.G. Gerritse, 1983. Gehalten aan anorganisch en organisch fosfaat in drijfmesten. *Bedrijfsontwikkeling*, 14: 49-50.

Willigen, P. de & M. van Noordwijk, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. Proefschrift Wageningen LU 1166, 282 pp.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: Toelichting. Landbouwuniversiteit. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding. Wageningen. Nederland, 69 pp.

Zee, S.E.A.T.M. van der, W.H. van Riemsdijk & F.A.M. de Haan, 1990. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel II: Technische uitwerking. Landbouwuniversiteit. Vakgroep Bodemkunde en Plantenvoeding. Wageningen. Nederland, 25 pp.

Bijlage 1 Proefschema van de incubatieproef

Vetgedrukte cijfers: potnummer

6 cijferige code:

eerste cijfer:

Grond:

1 = duinzand Lisse

2 = zavel Marknesse

tweede cijfer:

Toestand:

1 = Pw getal laag (Lisse tuin-2, Marknesse kavel S-37)

2 = Pw-getal voldoende (Lisse Van Ruitentuin, Marknesse kavel S-38)

derde cijfer:

Meststof:

1 = onbemest;

2 = Stalmest;

3 = Compost;

4 = TSP

vierde cijfer:

Tijdstip (maanden):

1 = 0

2 = 1

3 = 3

4 = 6

5 = 12

vijfde cijfer:

Herhaling:

1 = linker zijde koelcel

2 = rechter zijde koelcel

zesde cijfer:

Blok (= schap in koelcel)

1 = onderste schap

2 = op een na onderste schap

3 = op een na bovenste schap

4 = bovenste schap

64	68	72	76	80
124214	224114	121414	223414	112414
63	67	71	75	79
212414	222214	114214	122514	213314
62	66	70	74	78
211114	111414	112314	114114	214214
61	65	69	73	77
121114	211314	222514	224314	221214

144	148	152	156	160
111324	214124	221224	124524	224124
143	147	151	155	159
113124	121524	111124	124424	123424
142	146	150	154	158
114124	123124	111424	122224	112124
141	145	149	153	157
214424	114424	112224	112324	121324

44	48	52	56	60
123113	213113	112213	122213	111313
43	47	51	55	59
124413	113113	213213	114413	123213
42	46	50	54	58
123513	124113	221513	213413	211213
41	45	49	53	57
223313	113313	211513	112113	124313

124	128	132	136	140
214223	111223	114223	121223	124123
123	127	131	135	139
214323	214523	223123	221423	212323
122	126	130	134	138
123223	211223	113523	122323	222523
121	125	129	133	137
212123	122123	212523	222323	212223

24	28	32	36	40
214512	122412	214112	223112	224412
23	27	31	35	39
221112	214312	223512	111212	222112
22	26	30	34	38
123412	114512	224512	211412	221412
21	25	29	33	37
223212	222412	111512	121212	111112

104	108	112	116	120
111522	222422	211122	213322	112422
103	107	111	115	119
221122	114322	114522	213422	221522
102	106	110	114	118
222222	122522	211422	223222	113222
101	105	109	113	117
223422	121422	213522	122422	212422

4	8	12	16	20
113211	222311	124511	213511	121311
3	7	11	15	19
221311	122111	121511	112511	113411
2	6	10	14	18
212311	114311	122311	212111	212511
1	5	9	13	17
123311	224211	113511	212211	214411

84	88	92	96	100
113421	213221	124321	213121	121121
83	87	91	95	99
222121	123521	224321	211521	112521
82	86	90	94	98
224521	223321	123321	211321	223521
81	85	89	93	97
113321	221321	224421	124221	224221

Bijlage 2 Algemene gegevens van de veeljarige veldproeven

Gegevens van algemeen grondonderzoek van de vijf veeljarige veldproeven wordt gegeven in tabel 2.1 van deze bijlage.

NGe015 – OGe015

De veldproef is aangelegd in 1923 op zandgrond te Groot Gaffel. Het eerste proefjaar was 1924. Het betrof een bekalkingsveldproef waarbij ook behandelingen met stalmest waren opgenomen. Tot 1963 was het bouwland, daarna grasland.

Grondmonsters zijn verzameld van de jaren 1923 en 1967. De looptijd was daardoor 45 jaar. In de proef waren verschillende objecten aanwezig. Hiervan zijn de behandelingen met en zonder stalmest en met chilisalpeter of ammoniumsulfaat geselecteerd. Voor WOII werden giften van 60-80 ton stalmest toegediend, na WOII werden giften van 20 ton stalmest aan de hakvruchten toegediend. De fosfaatbemesting in de beginjaren bestond uit variabele giften met fosforzure voederkalk en fertifos, na WOII werd superfosfaat gebruikt. In de beginfase werd niet gecompenseerd voor fosfaat uit de stalmest. Pas na de mid jaren vijftig werd voor dit fosfaat gecompenseerd. De gegevens over de gewassen zijn onvolledig waardoor een fosfaatbalans niet op te stellen is. De bouwvoor bij aanvang was 17 cm. in de loop der tijd is die dieper geworden (naar 18 – 20 cm). Tabel 2.2 geeft algemene informatie over deze veldproef.

PR1255

De veldproef is op rivierklei bij Well in 1952 aangelegd. De rotatie was een gebruikelijke 1:3 akkerbouwrotatie met aardappelen, suikerbieten en granen. De behandelingen waren kunstmest, 15 ton stalmest jaar⁻¹, 15 ton VAM-compost (gebroid) jaar⁻¹, 15 ton VAM-compost (ongebroid) jaar⁻¹, 7,5 ton turfmolm jaar⁻¹ en groenbemesting (dwz geen afvoer van niet oogstbare/marktbare gewasdelen). Doorgaans werd geen rekening gehouden met de aanvoer van fosfaat met de organische bodemverbeterende middelen. Naast deze middelen werd dan ook met tripelsuperfosfaat of met Thomasslakkenmeel bemest. Daardoor was de fosfaataanvoer per behandeling verschillend. In de jaren 1957-1967 is met 30 ton stalmest of compost per ha bemest, daarna met 15 ton ha⁻¹. Turfmolm is altijd met 7,5 ton ha⁻¹ toegediend. De gemiddelde samenstelling van deze meststoffen wordt gegeven in tabel 2.2. Van deze veldproef zijn grondmonsters van 1957 en 1975 zijn geselecteerd. Monsters van oudere datum ontbraken. De cumulatieve fosfaatbalans is berekend op basis van de gegevens van meststofanalyse en op basis van de opbrengsten. In geval van ontbrekende gegevens van opbrengsten en/of gewasanalyses, zijn fosfaatopnames berekend op basis van forfaitaire waarden voor de opbrengst en afvoer van fosfaat met de oogstproducten. Tabel 2.3. geeft aanvullende informatie over de samenstelling van de organische bodemverbeterende middelen.

PO168

De veldproef is in 1941 op zandgrond (esgrond) bij Heino aangelegd. De proefopzet bestond bij aanleg uit de vergelijking van de volgende behandelingen:

1. Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afoogsten

2. Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas geen stalmest, stoppelgewas afoogsten
3. Hoofdgewas geen stalmest, stoppelgewas geen stalmest, stoppelgewas afoogsten
4. Hoofdgewas geen stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas onderploegen
5. Hoofdgewas geen stalmest, stoppelgewas geen stalmest, stoppelgewas onderploegen
6. Hoofdgewas geen stalmest, stoppelgewas geen stalmest, stoppelgewas afoogsten
7. Hoofdgewas 1 maal per 3 jaar stalmest, stoppelgewas geen stalmest, stoppelgewas afoogsten
8. Hoofdgewas 1 maal per 3 jaar stalmest, geen stoppelgewas
9. Hoofdgewas stalmest, geen stoppelgewas
10. Hoofdgewas geen stalmest

Aanvankelijk waren er 10 behandelingen, in 1951 is vanwege een verloop in bodemvruchtbaarheid het object met stalmest aan hoofdgewas en stoppelgewas en stoppelgewas afoogsten eenzelfde behandeling toegevoegd (nr.11):

11. Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afoogsten

De veldproef had een vaste driejarige vruchtopvolging van aardappel, winterrogge en haver. Na rogge werd stoppelknollen verbouwd, na haver snijrogge op 7 van de 10 objecten. Vanaf 1963 werd snijrogge vervangen door snijtarwe in verband met optredende ziektedruk door stengelaaltjes. Haver werd vanaf 1969 vervangen door zomergerst.

Op elk object werden jaarlijks vijf stikstoftrappen in tweevoud aangelegd. De stikstoftrappen wisselden jaarlijks maar in twee jaar werd in totaal dezelfde hoeveelheid N gegeven. Gestreefd werd naar 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ en 120 kg K₂O ha⁻¹ voor rogge en haver en 75 kg P₂O₅ ha⁻¹ en 200 kg K₂O ha⁻¹ voor aardappel. Op de objecten met een stalmestbemesting werd gecompenseerd voor fosfaat en kali die met de stalmest werd gegeven. Deze compensatie berustte op forfaitaire waarden. De hoeveelheden fosfaat en kali die met de stoppelgewassen werden afge oogst werden in kunstmestvorm weer aangevuld voor het volggewas. Ook deze hoeveelheden berustte op forfaitaire waarden. Stalmest is vanaf 1953 echter per partij geanalyseerd. De aanvoer van fosfaat met stalmest of kunstmest (veelal slakkenmeel aan winterrogge en superfosfaat aan haver en aardappelen en stoppelgewassen) is daardoor bekend. Chemische gewasonderzoek aan het hoofdgewas is nooit uitgevoerd, bij stoppelgewassen slechts incidenteel. Afvoer van fosfaat met gewassen is gebaseerd op forfaitaire waarden. Grondmonsters van de eerste jaren van de uitvoeren van de veldproef ontbraken in TAGA.

Geselecteerd zijn behandelingen met een contrasterende aanvoer van organische stof:

- Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afoogsten
- Hoofdgewas geen stalmest

Grondmonsters zijn geselecteerd van 1951 en 1975. Het betrof hier mengmonsters. De tussenliggende periode is daardoor 24 jaar met in totaal 8 rotaties.

Tabel 2.4 geeft een overzicht van meetgegevens.

PR800

De veldproef is op een oude dalgrond te Borgercompagnie in 1943 aangelegd. De proefopzet bestond in 1944 en 1946 uit 6 opklimmende stalmestgiften (0, 10, 20, 30, 40, 50, en 60 ton ha⁻¹, 6 opklimmende stikstofgiften ((0, 25, 50, 100, 150 en 200 kg N ha⁻¹ als KAS met voldoende fosfaat en kali), 6 opklimmende fosfaatgiften (9, 12,5, 25, 50, 75 en 100 kg P₂O₅ ha⁻¹ als superfosfaat met voldoende stikstof en kali, 6 opklimmende kaligiften (0, 50, 100, 200, 300 en 400 kg K₂O ha⁻¹ met voldoende stikstof en fosfaat). Dit was gegroepeerd tot vier objecten met opklimmende stalmestgiften bij gelijke giften aan NPK, PK, NK of NP; objecten met stijgend N bij gelijk PK, met stijgen P bij gelijk NK, stijgend K bij gelijk NP, stijgen N bij gelijk PK en 0, 20 ton of 40 ton stalmest ha⁻¹. Behandelingen met compensatie van met stalmest gegeven NPK zijn aanwezig. De stalmestgift en de N-, P- en K-giften varieerden per jaar afhankelijk van het gewas. Het aantal stalmestgiften werd vanaf 1948 verlaagd naar 5 (0, 10, 20, 30 en 40 ton ha⁻¹). Aanvankelijk was het een 1:2 teelt van aardappelen afgewisseld met winterrogge met stalmestgiften aan de aardappel. Vanaf 1950 wordt eens in de twee jaar een hakvrucht verbouwd. In 1954 verandert de opzet van de veldproef, er wordt een correctie uitgevoerd voor de ongelijke stalmestgiften, er worden 7 stikstofgiften, vijf fosfaatgiften en vijf kaligiften gegeven. Alle objecten worden bemest met 120 kg P₂O₅ en 300 kg K₂O in kunstmest en stalmest tezamen door P₂O₅ en K₂O volledig in rekening te brengen. Vanaf 1954 wordt de gift aan NPK met stalmest bij de behandelingen zonder stalmest gecompenseerd. Daardoor is de aanvoer aan fosfaat naar alle veldjes min of meer gelijk. Per 10 ton stalmest wordt een aanvoer van 20 kg P₂O₅ ha⁻¹ aangenomen. Naar mate er meer stalmest gegeven wordt, wordt de fosfaatbemesting met superfosfaat lager. Stalmest met deze compensatiebemesting word vanaf 1954 alleen bij de hakvruchten uitgevoerd. In het graanjaar wordt uniform met N, P en K bemest. Geselecteerd zijn:

1. geen stalmest geen minerale stikstofbemesting;
2. geen stalmest 200 kg minerale stikstof ha⁻¹;
3. 40 ton ha⁻¹ stalmest, geen stikstofbemesting;
4. 40 ton ha⁻¹ stalmest 200 kg minerale stikstof ha⁻¹.

Vanaf 1954 is de proefopzet gewijzigd en vergroot door 0, 10, 20, 30 en 40 ton stalmest ha⁻¹ op te nemen. Geselecteerd zijn de eerste vier genoemde behandelingen die vanaf 1943 steeds aanwezig waren. Grondmonsters zijn geselecteerd van de jaren 1944 en 1975. De afvoer van fosfaat met het gewas is voorzover niet gemeten, berekend op basis van de forfaitaire afvoercijfers, P-totaal van de bouwvoor in 1974 blijkt niet te verschillen tussen de objecten.

PR1437

De veldproef is op een zandgrond bij Maarheeze in 1953 aangelegd. Grondmonsters zijn geselecteerd uit 1953 en 1972. De opzet van de veldproef omvatte de volgende 8 behandelingen.

1. Geen stalmest, geen stoppelgewas.
2. 30 ton stalmest ha⁻¹ voor aardappel, geen stalmest voor stoppelgewas, stoppelgewas onderploegen.
3. 30 ton stalmest ha⁻¹ voor aardappel, 20 ton stalmest ha⁻¹ voor stoppelgewas, stoppelgewas afoogsten.

4. 30 ton stalmest ha^{-1} voor aardappel, 20 ton stalmest ha^{-1} voor stoppelgewas, stoppelgewas onderploegen.
5. geen stalmest voor hoofdgewas of stoppelgewas, stoppelgewas onderploegen
6. geen stalmest voor hoofdgewas of stoppelgewas, stoppelgewas afoogsten.
7. 30 ton stalmest ha^{-1} , geen stalmest voor stoppelgewas, stoppelgewas afoogsten,
8. 30 ton stalmest ha^{-1} voor aardappel, geen stoppelgewas.

De behandelingen waren aanvankelijk in tweevoud aangelegd, vanaf 1958 werd een derde herhaling toegevoegd aan de opzet. De selectie van de grondmonsters berust op de overweging om een zo'n groot mogelijk onderscheid in organische stof aanvoer met stalmest aan te brengen: in het geheel geen stalmest (nr. 1) en 30 ton stalmest ha^{-1} voor aardappelen, 20 ton stalmest ha^{-1} voor stoppelgewas inclusief onderploegen van stoppelgewas (nr. 4). Om de periode van de behandeling zo groot mogelijk te maken zijn grondmonsters van 1953 en 1972 geselecteerd; de monsters zijn daardoor in tweevoud geanalyseerd. Tabel 2.3 geeft informatie over de samenstelling van de stalmest.

De fosfaatbalans is berekend onder dezelfde condities van PR 800.

Tabel 2.1. Algemene gegevens van grondonderzoek van de veeljarige veldproeven met organische bodemverbeterende middelen.

Parameter	Veldproef				
	NGe015 – OGe015	PO168	PR800	PR1255	PR1437
Grondsoort	Dekzand	Dekzand	Oude dalgrond	Rivierklei	Dekzand
Plaats	Groot Gaffel	Heino	Borgerscompagnie	Well	Maarheeze
Humus, %	5,3	5,5	9	3,2	3,2
Fijn zand (100-20 μ), %	-	-	14	28	-
Zand (>50 μ), %	-	88	-	-	-
Grof zand (> 100 μ), %	-	-	68	10	-
Afslibbare delen (< 16 μ), %	-	-	4	58	-
CaCO ₃ , %	0	-	-	0,06	-
pH-H ₂ O	6,2	5,3	5,6	6,0	
pH-KCl	-	4,2	4,5	4,7	4,2
P-getal, mg P ₂ O ₅ ,(100 g) ⁻¹	8	-	5,5	1,8	
P-citroenzuur, mg P ₂ O ₅ ,(100 g) ⁻¹	56	53	38	26	42

Tabel 2.2. Gegevens van algemeen grondonderzoek en onderzoek op fosfaat van NGe015 – OGe015 op zandgrond te Groot Gaffel

Omschrijving	Jaar	Pw- getal	P-AL- getal	Pi-getal	P _{ox}	Al _{ox}	Fe _{ox}	FVG	Org, stof	Dikte bouw voor	pH- H ₂ O	pH- KCl	K-HCl	MgO	
		[1]	[1]	[1]	[1]	[2]	[3]	[-]	[4]	[5]			[6]	[7]	
Zwavelzure ammoniak	1923	11	78	25	427	629	2496	0,20	5,3	17	5,7	*	*	*	
	1923								5,0	17	6,3	*	*	*	
Zwavelzure ammoniak	1967	20	150	42	679	657	2808	0,29	3,8	20	*	3,51	*	29	
	1967								3,4	20	*	3,42	*	6	
Stalmest met zwavelzure ammoniak	1923	11	69	22	425	671	2592	0,19	5,4	17	5,3	*	*	*	
	1923								5,2	17	5,4	*	*	*	
Stalmest met zwavelzure ammoniak	1967	33	195	65	707	599	2404	0,34	3,4	20	*	3,41	13	27	
	1967								3,4	20	*	3,31	13	7	
Chilisalpeter	1923	12	81	23	431	643	2556	0,20	5,5	17	6,6	*	*	*	
	1923								4,5	17	6,5	*	*	*	
Chilisalpeter	1967	15	213	31	721	717	3242	0,27	5,4	20	*	5,07	*	200	
	1967								5,6	20	*	5,36	*	37	
Stalmest met chilisalpeter	1923	13	82	27	449	653	2554	0,21	5,5	17	6,3	*	*	*	
	1923								4,9	17	6,5	*	*	*	
Stalmest met chilisalpeter	1967	23	262	39	763	671	2988	0,31	5,5	20	*	4,96	13	215	
	1967								5,4	20	*	5,01	13	70	
	1	mg P kg ⁻¹													
	2	mg Al kg ⁻¹													
	3	mg Fe kg ⁻¹													
	4	% analyse uit 1966													
	5	cm													
	6	mg K ₂ O 100 g ⁻¹													
	7	mg MgO kg ⁻¹													

Tabel 2.3. Gemiddelde samenstelling in procent van de organische bodemverbeterende middelen van PR1255, PR 1437 en PO 168.

Veldproef	Meststof	Droge stof	Organische stof	Huisbrand-kool	Cellulose	N-totaal	P ₂ O ₅	K ₂ O
PR1255	Gebroecide compost	63,6 (10) ¹	21,4 (10)	10,4 (10)	3,58 (9)	0,50 (9)	0,38 (9)	0,14 (9)
PR1255	Ongebroecide compost	61,5 (9)	29,1 (9)	11,0 (9)	6,76 (9)	0,53 (9)	0,29 (9)	0,20 (9)
PR1255	Rioolslib	28,6 (10)	13,5 (10)	0,9 (5)	2,66 (7)	0,61 (10)	0,50 (10)	0,91 (3)
PR1255	Stalmest	19,9 (8)	14,3 (8)	0,4 (4)	5,00 (7)	0,48 (8)	0,39 (8)	0,30 (8)
PR1255	Turfmolm	54,8 (6)	52,7 (6)	0,7 (1)	9,02 (5)	0,56 (6)	0,05 (1)	-
PR1437	Stalmest	25,0 (17) ¹	16,3 (7)	0,6 (8)	-	0,60 (17)	0,38 (17)	0,70 (17)
PO168	Stalmest	23,7 (33)	11,2 (33)	1,0 (15)	-	0,56 (33)	0,41 (33)	0,43 (33)

¹ Tussen haakjes staat het aantal waarnemingen,

Tabel 2.4. Gegevens van grondonderzoek van PO168 op zandgrond van Heino

Omschrijving	Parameter [mg element kg ⁻¹]	Jaar	
		1951	1974
Hoofdgewas geen stalmest	Pw-getal	17	14
	PAL-getal	111	191
	Pi-getal	31	29
	P _{ox}	361	413
	Fe _{ox}	1222	1274
	Al _{ox}	557	573
	FVG	0,27	0,30
Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afoogsten	Pw-getal	20	22
	PAL-getal	141	188
	Pi-getal	38	38
	P _{ox}	407	427
	Fe _{ox}	1270	1136
	Al _{ox}	583	531
	FVG	0,30	0,34

Bijlage 3 Ammoniumoxalaat-oxaalzuur extraheerbaar aluminium en ijzer (mg kg⁻¹)

Proef	Omschrijving	Para- meter	Begin	Eind	Verschil
NGe015 – OGe015	Chilisalpeter,	Al _{ox}	643	717	74
		Fe _{ox}	2556	3242	686
	Stalmest met chilisalpeter	Al _{ox}	653	671	18
		Fe _{ox}	2554	2988	434
	Zwavelzure ammoniak	Al _{ox}	629	657	28
		Fe _{ox}	2496	2808	312
Stalmest met zwavelzure ammoniak	Al _{ox}	671	599	-72	
	Fe _{ox}	2592	2404	-188	
PR1255	Kunstmest	Al _{ox}	933	979	47
		Fe _{ox}	5130	6394	1265
	15 ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹ stalmest	Al _{ox}	854	859	6
		Fe _{ox}	5075	4260	-815
	15 ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹ compost, gebroeid	Al _{ox}	893	937	44
		Fe _{ox}	5112	5346	234
	15 ton ha ⁻¹ jaar ⁻¹ compost, ongebroeid	Al _{ox}	945	919	-26
		Fe _{ox}	4949	5034	85
	7,5 ton turfmolm ha ⁻¹ jaar ⁻¹	Al _{ox}	930	881	-49
		Fe _{ox}	3592	4148	556
	Groenbemesting	Al _{ox}	930	891	-39
		Fe _{ox}	3802	4360	558
PO168	Hoofdgewas stalmest, stoppelgewas stalmest, stoppelgewas afvoeren	Al _{ox}	583	531	-52
		Fe _{ox}	1270	1136	-134
	Hoofdgewas geen stalmest	Al _{ox}	557	573	16
		Fe _{ox}	1222	1274	52

Bijlage 3 vervolg. Al_{ox} en Fe_{ox} bij aanvang en bij het eind van de veeljarig veldproeven. (mg kg⁻¹)

Proef	Omschrijving	Para- meter	Begin	Eind	Vershil
PR800	Geen stalmest, geen stikstofbemesting	Al _{ox}	1043	1081	38
		Fe _{ox}	1394	1276	-118
	Geen stalmest, 200 kg N ha ⁻¹	Al _{ox}	1221	1055	-166
		Fe _{ox}	1492	1282	-210
	40 ton stalmest ha ⁻¹ per vier jaar, geen stikstofbemesting	Al _{ox}	1073	1041	-32
		Fe _{ox}	1278	1208	-70
	40 ton stalmest ha ⁻¹ per vier jaar, 200 kg N ha ⁻¹	Al _{ox}	1121	1025	-96
		Fe _{ox}	1416	1200	-216
PR1437	Geen stalmest, geen stoppelgewas	Al _{ox}	368	358	-10
		Fe _{ox}	871	846	-25
	30 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹ voor aardappelen en 20 ton stalmest ha ⁻¹ jaar ⁻¹ voor stoppelgewas	Al _{ox}	357	383	26
		Fe _{ox}	875	934	59