



Beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen

Een studie voor bollenteelt in het westelijk zandgebied

A.M. van Dam & P.A.I. Ehlert



Beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen

Een studie voor bollenteelt in het westelijk zandgebied

A.M. van Dam¹ & P.A.I. Ehlert²

¹ Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V., Sector Bloembollen

² Alterra, Centrum Bodem

© 2008 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

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

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. is niet aansprakelijk voor eventuele schadelijke gevolgen die kunnen ontstaan bij gebruik van gegevens uit deze uitgave.



Projectnummer: 32 360291 00

Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.

Sector Bloembollen

Adres : Professor van Slogterenweg 2, 2161 DW Lisse
: Postbus 85, 2160 AB Lisse
Tel. : 0252 – 462121
Fax : 0252 – 462100
E-mail : infobollen.ppo@wur.nl
Internet : www.ppo.wur.nl

Inhoudsopgave

	Pagina
DANKWOORD	5
SAMENVATTING.....	7
1 INLEIDING.....	11
2 BESTAANDE KENNIS	13
2.1 Bodemprocessen in het kort.....	13
2.2 Samenstelling van organische meststoffen.....	14
2.3 Beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen	16
2.3.1 Beschikbaarheidsindices	17
2.3.2 Bepalingsmethoden van beschikbaarheidsindices en verantwoording	19
2.3.3 Fosfaatwerking op korte termijn.....	20
2.3.3.1 Afgeleid uit de gewasreactie	20
2.3.3.2 Op basis van grondonderzoek.....	24
2.3.4 Fosfaatwerking op lange termijn	25
2.3.4.1 Afgeleid van de gewasreactie	25
2.3.4.2 Op basis van grondonderzoek.....	26
2.3.5 Bespreking van literatuurgegevens.....	26
2.4 Effect van de fosfaatwerking van organische meststoffen op de P-toestand van de grond.....	31
3 PROEFOPZET	35
3.1 Doel.....	35
3.2 Materialen	35
3.3 Methoden.....	36
3.4 Metingen.....	38
3.5 Berekeningen	38
3.6 Kwaliteitsborging	38
4 RESULTATEN.....	39
4.1 Beschikbare fosfaat	39
4.1.1 Incubatieproef in de klimaatcel.....	39
4.1.2 Veldproef	40
4.2 Fosforelementrendement in de grond	41
4.2.1 Incubatieproef in de klimaatcel.....	41
4.2.2 Veldproef	43
4.3 Fosfaatwerkingsfactor	44
4.3.1 Incubatieproef in de klimaatcel.....	44
4.3.2 Veldproef	46
4.4 Bespreking van de proefgegevens	47
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	51
5.1 Conclusies	51
5.2 Implicaties voor de praktijk	52
LITERATUUR.....	55
BIJLAGE 1 FOSFAATBINDEND VERMOGEN IN BLOEMBOLLENGROND WESTELIJK ZANDGEBIED.....	63
BIJLAGE 2 OVERIGE MEETGEGEVENS UIT DE PROEVEN	65

Dankwoord

Voor de proeven in dit onderzoek is grond gebruikt van twee locaties: een PPO-proefveld in Lisse en een bloembollenperceel aan de Korte Bosweg in 't Zand. Hierbij bedanken wij de Firma Mak uit 't Zand voor het ter beschikking stellen van de grond en André Conijn van Alb. Groot B.V. voor het zoeken van een geschikt perceel, met een niet te hoge en niet te lage fosfaattoestand en gedurende een jaar niet met fosfaat-houdende meststoffen bemest.

Verder bedanken wij iedereen die bij PPO, Alterra, CBLB en Altic aan een goed verloop van het onderzoek heeft meegewerkt.

Samenvatting

In fosfaatbemestingsadviezen wordt aangenomen dat fosfaat uit organische meststoffen op lange termijn en bij regelmatige toepassing even goed beschikbaar is voor het gewas als fosfaat uit kunstmest. In de bloembollenteelt op duin- en zeezandgrond wordt fosfaat vooral met de organische meststoffen stalmest en compost toegediend. Uit eerdere studies blijkt dat de eerstejaarswerking (korte termijnwerking) van P in organische meststoffen lager is dan die in kunstmest. In deze studie blijkt de eerstejaarswerking van fosfaat in stalmest iets lager dan of gelijk aan die van kunstmestfosfaat is. Voor fosfaat uit compost ligt de eerstejaarswerking lager. Daarmee moet rekening gehouden worden bij de bemesting.

Aanleiding en doelstelling

Bij aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm, zal de fosfaattoestand in de grond vanaf het huidige niveau bij bloembollenbedrijven (gemeten met bijv. het Pw-getal) dalen en wordt een groter deel van de fosfaatbemesting van de plant bepaald door de eerstejaarswerking van een mestgift. Daardoor is het nodig verschillen in de eerstejaars-P-werking van meststoffen te kennen, om te lage fosfaatvoeding van het gewas te voorkomen. Daarnaast is het gewenst de veeljarige werking van fosfaat uit deze meststoffen te kennen, en te weten hoe de advisering hierop aangepast kan worden.

Het doel van deze studie was te bepalen:

- het belang van de eerstejaars-P-werking van organische meststoffen bij bloembollenteelt op duin- en zeezand;
- de eerstejaars-beschikbaarheid van fosfaat in de organische meststoffen GFT-compost, groencompost en stalmest in vergelijking tot tripelsuperfosfaat op duin- en zeezandgrond;
- de beschikbaarheid van fosfaat in deze meststoffen bij veeljarige toepassing.

Methode

Om aan de doelen van het onderzoek te voldoen is een analyse gemaakt van gegevens in de vakliteratuur uit binnen- en buitenland en zijn twee proeven uitgevoerd. In de proeven is de beschikbaarheid van fosfaat in duin- en zeezandgrond gemeten na toediening van meststoffen, bij incubatie in de grond onder gecontroleerde omstandigheden en met een veldproef.

Beantwoording van de onderzoeksvragen

Het eerste doel van het onderzoek is om het belang aan te geven van de eerstejaarsbeschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen op duin- en zeezandgrond vast te stellen. Uit literatuuranalyse blijkt dat de beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen in het eerste jaar lager kan zijn dan die van fosfaat in kunstmest maar dat de variatie hierbij erg groot is. Indien bij het bemestingplan daar geen rekening mee wordt gehouden is er kans op opbrengstderving.

Het tweede doel van het onderzoek was vaststelling van de eerstejaarsbeschikbaarheid van organische meststoffen bij bloembollenteelt op duin- en zeezandgrond. Hiervoor zijn er twee bronnen: de proeven in dit onderzoek en de resultaten van een incubatieproef in een eerdere studie (Tabel I). De beschikbaarheid is weergegeven als fosfaatwerkingsfactor. Die geeft aan welk deel van de fosfaat in de meststof in duinzand even werkzaam is als fosfaat in kunstmest. De veldproef geeft beter het niveau van de fosfaatwerkingsfactor aan voor de praktijk dan de incubatie onder gecontroleerde omstandigheden. De eerstejaarswerking van fosfaat in stalmest blijkt iets lager dan of gelijk aan die van kunstmestfosfaat is. Voor fosfaat uit compost ligt de eerstejaarswerking lager. Daarmee moet rekening gehouden worden bij de bemesting

Voor andere grondsoorten kan uitgegaan worden van de gemiddelde werking van fosfaat in organische meststoffen die in de literatuuranalyse gegeven is (Tabel II).

Tenslotte had het onderzoek als doel de beschikbaarheid van fosfaat bij veeljarige toepassing vast te stellen. Er zijn geen gegevens voor duin- en zeezandgrond. Uit de analyse van andere studies blijkt dat de lange termijnwerking van stalmest gemiddeld rond 90% is (Tabel III). Voor compost ligt dit rond 70%.

Tabel I. Gemiddelde fosfaatwerkingsfactor (PWF, in %) op korte termijn (< 1 jaar) van organische meststoffen op duin- en zeezandgrond in twee studies, afhankelijk van type proef en beschikbaarheidsparameter.

Bron	Type proef	Meststof	Beschikbaarheidsparameter			
			P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
Dit rapport	veld	GFT-compost	30	-	60	110
		groencompost	10	-	50	130
		stalmest	80	-	110	250
	incubatie	GFT-compost	<0	50	20	30
		groencompost	0	60	20	40
		stalmest	50	80	80	100
Eerder onderzoek	incubatie	GFT-compost	-	130	50	-
		stalmest	-	70	50	-

Tabel II. Gemiddelde fosfaatwerking (in %) op korte termijn (< 1 jaar) van stalmest en compost op meerdere grondsoorten.

Meststof	Grondsoort		
	zand	klei	alle grondsoorten
Stalmest	80	70	80
Compost	70	60	60

Tabel III. Gemiddelde fosfaatwerking (in %) op lange termijn (> 1 jaar) van stalmest en compost op meerdere grondsoorten.

Meststof	Grondsoort		
	zand	klei	alle grondsoorten
Stalmest	90	90	90
Compost		60	70

Implicaties voor de praktijk

De implicaties voor het bemestingsadvies zijn:

- Fosfaat in stalmest moet voor 80 tot 100% meegerekend worden bij het gewasgerichte bemestingsadvies, waarvoor de werking op korte termijn van belang is. Fosfaat in compost kan gedeeltelijk meegerekend worden. Welk deel van de fosfaat in compost als werkzaam beschouwd wordt, is, gezien de verschillen tussen de beschikbaarheidsparameters, niet onomstotelijk vast te stellen. Bij een bemestingsadvies dat gebaseerd is op het Pw-getal lijkt het logisch uit te gaan van de fosfaatwerkingsfactor bij het Pw-getal, namelijk 60%.
- Bij het bodemgerichte bemestingsadvies kan fosfaat in stalmest voor 90% als werkzaam beschouwd worden, en fosfaat in compost voor 70%. Hiervoor is de werking op lange termijn van belang.

Omdat de spreiding in fosfaatwerking van de organische meststoffen zeer groot is (bereik ≈ van 0 tot 2 maal gemiddelde), wordt geen verschil gemaakt tussen duin- en zee zandgrond en overige grondsoorten.

De grote spreiding geeft een risico op een suboptimale fosfaatvoorziening bij gebruik van organische meststoffen. Zolang de fosfaataanvoer met organische bemesting aanzienlijk hoger ligt dan de behoefte van het gewas, is dat risico klein. Als bij aanscherping van gebruiksnormen de fosfaataanvoer verlaagd wordt, kan deze variatie er toe leiden dat de bemesting in sommige gevallen suboptimaal wordt. De vrijstelling van de 50% van fosfaat in compost voor aanvoer binnen de gebruiksnorm (de 'fosfaatvrije voet', maximaal vrijstelling voor 3.5 kg P₂O₅ per ton droge stof, situatie 2008) beperkt het effect van aanscherping van de norm.

1 Inleiding

Duin-, wad- en zeezand (in dit rapport verder duinzand genoemd) zijn belangrijk voor de bloembollen- en vaste plantenteelt. Er wordt grote waarde aan het organische stof-gehalte in de bodem gehecht. Daartoe worden organische meststoffen gebruikt om organische stof aan te voeren. Organische meststoffen zijn noodzakelijk om een voldoende hoog organische stofgehalte te behouden (Van Dam e.a., 2004; Ten Berge et al., 2007). Organische meststoffen vormen dan ook een onderdeel van het bemestingsplan bij de teelt van bloembollen. Deze meststoffen dienen het organische stofgehalte op peil te houden, de bodemstructuur te behouden of te verbeteren en om het bodemleven te stimuleren. Daarnaast leveren zij nutriënten aan het gewas. Door invoering van het gebruiksnormenstelsel is het gebruik van fosfaat op landbouwbedrijven aan maxima gebonden. Het gebruik van organische meststoffen wordt daardoor begrensd en daarmee de gift aan organische stof. De gebruiksnorm aan fosfaat worden bovendien gefaseerd verlaagd.

Voor fosfaat mag in 2008 op bouwland nog 85 kg P_2O_5 /ha worden toegediend. Deze gebruiksnorm wordt gefaseerd afgebouwd waarbij het beleidsvoornemen is om in 2015 een fosfaateindnorm voor bouwland van 60 kg P_2O_5 /ha in te voeren. Het oogmerk is daarbij om op termijn de fosfaataanvoer gelijk te stellen met de fosfaatafvoer met landbouwgewassen. Vooralsnog wordt uitgegaan van een forfaitaire norm¹ voor alle landbouwgewassen op bouwland.

Het beleid wordt hierbij bepaald door de Kader Richtlijn Water (KRW) en de Nitraatrichtlijn. Emissies van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater moeten worden voorkomen (KRW). Bij de derogatie, die Nederland voor grasland gekregen heeft voor de Nitraatrichtlijn, is door de EU-commissie evenwichtsbemesting voor fosfaat als voorwaarde gesteld. Deze aanvullende voorwaarde geldt voor heel Nederland. De gebruiksnormen dienen om de accumulatie van stikstof en fosfaat in de bodem tegen te gaan en daardoor negatieve effecten voor het milieu te voorkomen. Het beperken van die fosfaataccumulatie wordt via een gefaseerde verlaging van de fosfaatgebruiksnorm gerealiseerd. Het fosfaat in organische meststoffen telt volledig mee in de gebruiksnorm (dit is een werkingscoëfficiënt van 100%). Voor compost is er wel een vrijstelling (fosfaatvrije voet) voor 50% van de fosfaataanvoer tot een maximum van 3,5 kg fosfaat per ton drogestof. Er wordt daarbij geen onderscheid aangebracht tussen korte en lange termijn werking van fosfaat van meststoffen. Voor fosfaat wordt ervan uitgegaan dat alle fosfaat op termijn tot werking komt.

Bij de teelt wordt echter onderscheid aangebracht in korte en lange termijn werking. Bij het gebruik van organische meststoffen zijn zowel de werking op korte termijn (binnen het groeiseizoen) als de lange termijnwerking (de nawerking in volgende jaren) voor de teelt relevante kenmerken. De huidige bemestingsadviezen voor akkerbouwgewassen en groentegewassen gaan uit van een fosfaatwerking van 60% voor dunne rundveemest op korte termijn (Van Dijk, 2003). Op lange termijn wordt een werking van 100% aangenomen. Voor compost wordt op korte termijn een werking van 60-80% aangenomen en op lange termijn een werking van 100% (Van Dijk, 2003). Onderzoek met stalmeest en compost op duinzand en zavel gaf aan dat op korte termijn de fosfaatwerking geringer is dan die van wateroplosbare kunstmestfosfaat en dat deze werking afhankelijk was van de grondsoort. Op korte termijn werden werking van 30-50% vastgesteld en werden voor de lange termijn indicaties verkregen voor een werking van 100% (Ehlert e.a., 2004b).

Verschillen in fosfaatwerking op korte en lange termijn roepen vragen op in de praktijk. Gevreesd wordt voor een verlies aan opbrengst en kwaliteit door suboptimale fosfaatvoorziening of zelfs fosfaatgebrek bij gebruik van organische meststoffen onder het stelsel van gebruiksnormen. Hoe reëel echter die vrees is, wordt in dit onderzoek onderzocht. De doelstellingen van dit onderzoek waren het bepalen van:

1. het belang van de eerstejaars-beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen bij bloembollenteelt op duinzand;

¹ Als forfaitaire norm wordt voor 2015 een fosfaatgebruiksnorm van 60 kg P_2O_5 /ha/jaar beoogd. De fosfaatafvoer van bloembollen is lager: 30 à 40 kg P_2O_5 /ha.

2. de eerstejaars-beschikbaarheid van fosfaat in de organische meststoffen GFT compost; groencompost en vaste rundermest in vergelijking tot tripelsuperfosfaat (TSP) op duinzandgrond;
3. de beschikbaarheid van fosfaat in deze meststoffen bij veeljarige toepassing.

Het onderzoek is in twee fasen uitgevoerd. In de eerste fase is bestaande informatie verzameld door middel van een korte literatuurstudie en werd een berekening uitgevoerd op basis van een mechanistisch simulatiemodel (doelstelling 1). In de tweede fase werd de eerstejaars-beschikbaarheid van fosfaat in duin/zeezandgrond gemeten en werd de literatuurstudie verbreed naar lange termijneffecten (doelstellingen 2 en 3). Het rapport is als volgt opgebouwd.

Hoofdstuk 2 gaat in op de oorzaken voor verschil in fosfaatwerking van organische meststoffen op korte en lange termijn ten opzicht van wateroplosbare kunstmeststoffen. Aan de orde komen:

- De processen in de bodem die de beschikbaarheid van fosfaat uit organische meststoffen voor het gewas bepalen;
- De samenstelling van organische meststoffen;
- De mate waarin fosfaat van organische meststoffen beschikbaar komt in de bodem en beschikbaar is voor het gewas. De focus ligt hierbij op stalmest en compost, de organische meststoffen die in de bollenteelt op duinzandgrond het meest gebruikt worden.

De informatie over deze aspecten is volledig gebaseerd op gegevens uit de literatuur (vak- en voorlichtingsbladen en wetenschappelijke literatuur). Daarbij is de verzamelde informatie van de eerste en tweede fase in onderlinge samenhang gebracht. Vervolgens wordt overgegaan tot bespreking van het meetprogramma.

Hoofdstuk 3 verantwoordt materiaal en methoden in de proeven en hoofdstuk 4 bespreekt de resultaten. In hoofdstuk 5 worden conclusies en aanbevelingen gegeven.

2 Bestaande kennis

2.1 Bodemprocessen in het kort

In de bodem komen verschillende minerale (anorganische) en organische fosfaatfracties voor. Deze fracties (in het Engels '*pools*') staan door verschillende bodemprocessen onderling met elkaar in verband. Figuur 1 geeft de *pools* vereenvoudigd weer. Centraal staat de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing. Die bepaalt de snelheid en mate van binding aan de vaste fase van de bodem (Van der Zee & van Riemsdijk, 1988; de Willigen & Van Noordwijk, 1987; Koopmans, 2004; Schoumans e.a., 2004). Bij binding aan de vaste fase treedt er een snelle en makkelijk uitwisselbare adsorptie aan de vaste fase op waarbij geadsorbeerd fosfaat voor het gewas beschikbaar blijft. Het geadsorbeerde fosfaat kan door een diffusiereactie in bodemmineralen geabsorbeerd worden. Geabsorbeerd fosfaat komt veel langzamer vrij in vergelijking tot geadsorbeerd fosfaat. Het is moeilijker uitwisselbaar (men spreekt ook wel van irreversibel of quasi-irreversibel gebonden fosfaat). Het uitwisselbaar fosfaat wordt qua gedrag in Nederlandse bodem bepaald door de ijzer- en aluminiumoxiden.

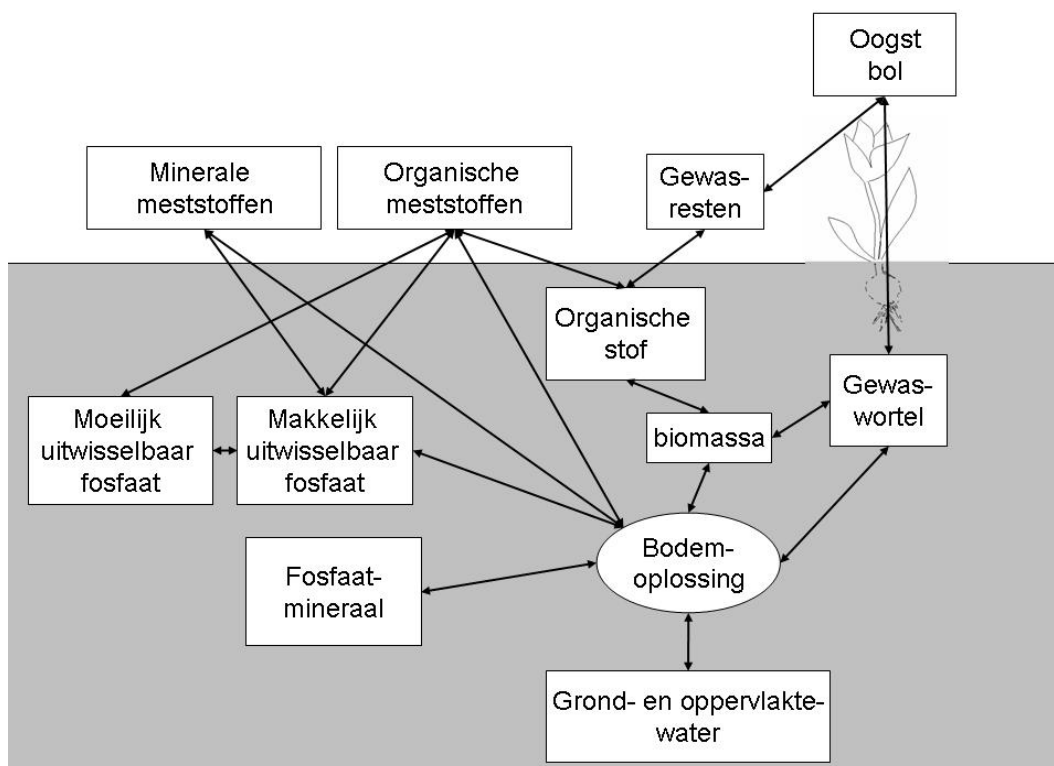
Daarnaast kan opgelost fosfaat door binding met kationen (in het bijzonder calcium) neerslaan. Neerslagen treden op wanneer de bodemoplossing oververzadigd raakt (Schoumans e.a., 2004). Die neerslagen zijn aanvankelijk amorf van aard en bij veroudering in de tijd treedt er kristallisatie en herkristallisatie op. Zo ontstaan slecht oplosbare zouten (meest calciumzouten, bijvoorbeeld apatieten). In Figuur 1 worden deze vormen weergegeven met 'fosfaat-mineraal'. Een hoge concentratie aan calcium leidt dus tot neerslag van fosfaat. In Nederlandse bodems is dit proces van betekenis bij gronden met een pH-KCl hoger dan 6. Duinzandgronden hebben veelal een pH-KCl hoger dan 7.

Daarnaast komt organisch gebonden fosfaat in de bodem voor. Deze organische fosfaatvormen zijn al aanwezig in de organische stof van de bodem. Daarnaast komen deze verbindingen in de bodem met afgestorven gewasresten afkomstig van het gewas tijdens de groei (bv. afgestorven blad, exudaten door wortels en afgestorven wortels), van gewasresten die achterblijven na de oogst van de bol of knol en – *last but not least* – via aanvoer met organische meststoffen.

Organische stof in de bodem is onderhevig aan afbraak en opbouw. Fosfaat vormt een onderdeel van de mineralisatie en immobilisatiecyclus (Dalal, 1977). Het landgebruik bepaalt het gehalte aan organische fosfaatverbindingen in de bodem (Dalal, 1977; Harrison, 1987; Hedley e.a., 1982). Onder grasland komt meer fosfaat in organische vorm voor dan onder bouwland. Bij omzetting van grasland naar bouwland mineraliseert het organisch fosfaat (Harrison, 1987; Hedley e.a., 1982). De activiteit van de microbiële biomassa bepaalt de snelheid van omzetting. Die activiteit is afhankelijk van omgevingsfactoren en van de samenstelling en toegankelijkheid van de organische stof. De hoeveelheid fosfaat die in de biomassa is opgeslagen is gering in verhouding tot de hoeveelheid die in organische stof is opgeslagen (< 10%). In Nederlandse landbouwgronden is het aandeel organisch fosfaat in de bodem lager dan het aandeel mineraal fosfaat.

Organische fosfaatverbindingen kunnen gebonden worden door ijzer- en aluminiumverbindingen (Dalal, 1977; Harrison, 1987). Dit proces concurreert met binding van anorganische fosfaat aan dezelfde verbindingen. Fytaten kunnen zeer sterke bindingen aangaan, andere organische fosfaatverbindingen worden minder sterk gebonden dan anorganische verbindingen.

Fosfaat kan via de bodemoplossing uitspoelen naar dieper gelegen bodemlagen en naar grond- en oppervlaktewater. Via kwel kan fosfaat echter ook tot in de bouwvoor opstijgen (bijv. Groenendijk et al., 1997). Ook door oppervlakkige afstroming ('*run off*') kan fosfaat in het oppervlaktewater terecht komen.



Figuur 1. Vereenvoudigde weergave van fosfaatfracties in de bodem bij toepassing van organische meststoffen (naar Ehlert e.a., 2004a; Koopmans, 2004).

2.2 Samenstelling van organische meststoffen

Onder het begrip organische meststoffen wordt een bonte verscheidenheid van producten geplaatst. De bemestingsadviesbasis voor bolgewassen geeft een overzicht van de producten die bij de teelt van bollen worden gebruikt (Van Dam e.a., 2004). De samenstelling van deze organische meststoffen en de maximale dosering worden in Tabel 1 gegeven. De tabel uit de adviesbasis is aangepast. Bij de maximaal toegestane dosering van composten is rekening gehouden dat vanaf 2008 de gift uitsluitend door stikstof of fosfaat zal worden bepaald. De fosfaatvrije voet voor P in compost is verrekend. De maximumgiften aan drogestof zijn vervallen, de kwaliteitseisen t.a.v. de zware metalen en arseen zijn gehandhaafd (LNV, 2005 & 2007). De minimumwaarde voor het organische stofgehalte in compost is verlaagd tot 10%. Op de indicatie voor de maximale dosering wordt verder op in de tekst nog ingegaan.

De beschikbaarheid van fosfaat in meststoffen wordt in het algemeen bepaald door de chemische en fysische vorm van de meststof, de hoeveelheid (gift), de wijze van toedienen en het tijdstip waarop de meststof wordt aangewend. Het gebruik van organische meststoffen in de bollenteelt kent voornamelijk één wijze van toedienen: namelijk breedwerpig en vervolgens inwerken. Plaatsing in de rij of in plantgat heeft nog geen ingang gevonden. Over de fysische vorm (deeltjesgrootte) en chemisch vorm en het tijdstip van toedienen (dit bepaalt de korte of lange termijn werking) kan het volgende gesteld worden.

Deeltjesgrootte

Bij organische meststoffen speelt de deeltjesgrootte mogelijk een rol. Op zwaardere kleigronden, met name die kalkhoudend zijn, wordt een fosfaat in stalmestbrokken beschermd tegen vastlegging in mineralen. Dat leidt tot een hogere fosfaatopname t.o.v. superfosfaat of diammoniumfosfaat (Varinderpal-Singh e.a., 2006a). Die mindere werking van wateroplosbaar kunstmestfosfaat blijkt een gevolg te zijn van de snelle omzetting hiervan in slecht beschikbare minerale fosfaatvormen (octacalciumfosfaat, hydroxyapatiet en varietet). De stalmest is echter heterogeen in de bodem aanwezig waardoor een direct contact met kalk

wordt uitgesloten (beschermende werking). De neerslagvorming wordt daardoor vertraagd en deels uitgesloten wat resulteert in een hogere beschikbaarheid voor het gewas.

Chemische vorm

Er is met diverse analysetechnieken een scala aan chemische fosfaatverbindingen in organische meststoffen vastgesteld. Hierin verschillen organische meststoffen van kunstmeststoffen waarin veelal één chemische verbinding domineert. Bij organische meststoffen wordt echter vaak impliciet aangenomen dat het fosfaat in de vorm van organische verbindingen aanwezig is. Dat is echter niet het geval. In de meeste organische meststoffen komt het fosfaat voor een groot deel in minerale vorm (anorganische fosfaatverbindingen) voor (Tabel 2). Veen vormt hierop een uitzondering.

De chemische aard van de minerale fosfaatverbindingen in organische meststoffen verschilt van die van wateroplosbare kunstmeststoffen (tripelsuperfosfaat, superfosfaat, monoammoniumfosfaat (MAP), diammoniumfosfaat (DAP), NPK-meststoffen). In deze meststoffen zijn nu monocalciumfosfaat² ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) en monoammoniumfosfaat ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) en diammoniumfosfaat ($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$) de meest voorkomende fosfaatvormen. In organische meststoffen wordt een scala aan chemische vormen aangetroffen (Tabel 3). Al deze vormen worden verondersteld beschikbaar voor het gewas te zijn (Chardon e.a., 1995). Verondersteld wordt dat dicalciumfosfaat ($\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ook als tussenproduct in mest voorkomt (Chardon, e.a., 1995). Barrow (1975) heeft dicalciumfosfaat in schapenmest aangetoond. Güngör e.a. (2006) tonen voor de minerale fosfaatvormen aan dat dicalciumfosfaat en struviet ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) in rundermest voorkomen (respectievelijk 57% en 43%). Bij vergisting van rundermest wordt dicalciumfosfaat omgezet tot struviet (78,2%) en hydroxylapatiet (21,8%). Dicalciumfosfaat en struviet zijn eveneens goed voor het gewas beschikbaar (Van der Paauw, 1938; Finck, 1992; Römer & Samie, 2002; Römer, 2006). Apatieten hebben een duidelijk verlaagde gewasbeschikbaarheid (Van der Paauw, 1966; Prummel, 1972). De literatuur is niet eenduidig of de fosfaatverbindingen in amorfe vorm voorkomen of tevens in kristallijne vorm (Frossard e.a., 2002). Onderzoek van Frossard e.a. (2002) wijst op de aanwezigheid van beide vormen. Kristallijne vormen zijn minder goed beschikbaar dan amorfe vormen.

De chemische organische fosfaatvormen in organische meststoffen zijn minder goed bekend. Bij chemische analyse worden veelal extractieschema's toegepast om onderscheid in organische fosfaatvormen aan te brengen zonder verdere **speciatie**. Barnett (1994) geeft op basis van dergelijke extractieschema's aan dat fosfaat van nucleïnezuren de belangrijkste vorm is gevolgd door inositolhexafosfaat (fytaat). Verder komen geringe hoeveelheden fosfolipiden voor. Oudere literatuur wijst op een hoger aandeel inositolhexafosfaat (Peperzak e.a., 1959). De toepassing van **fytasen** in de diervoeding (varkens, kippen) zal het aandeel inositolhexafosfaat (fytaat) verlagen maar de literatuur geeft hierover geen uitsluitsel. Recente literatuur onderschrijft de aanwezigheid van fytagen (He e.a., 2004, 2007). Dit fytaat is hydrolyseerbaar en daardoor – op termijn in potentie – voor het gewas beschikbaar. Deze hypothese vraagt nog nader onderzoek. Oudere literatuur gaat vooralsnog ervan uit dat opslag van fosfaat in fytagen de gewasbeschikbaarheid benadeelt (en dit leidt dan tot lagere werkingscoëfficiënten ten minste op korte termijn).

Bij veroudering van mest en compost wijzigt het aandeel organisch gebonden fosfaat ten opzichte van het aandeel mineraal fosfaat. De fractie mineraal fosfaat wordt wat groter (Traoré e.a., 1999).

Een deel van het fosfaat in compost is afkomstig van het fosfaat dat met grond het compostingsproces ingaat (Ehlert, 2005). Voor GFT-compost en groencompost is het aandeel grond geraamd op 65 à 70%. Van de totale fosfaatgift met compost draagt het fosfaat van het grondaandeel voor circa 25% bij (Ehlert, 2005). De overige fosfaat is afkomstig van de gecomposteerde organische stof van plantaardige herkomst. In landbouwgrond komt, m.u.v. veen, het fosfaat eveneens vooral in minerale vorm voor. Het aandeel hangt af van de grondsoort (Harrison, 1987). Voor vier bouwlandlocaties werd 10-25% van het totaal fosfaatgehalte van grond aangetroffen in organische stof (Ehlert, pers. mededeling).

² In deze tekst wordt gebruik gemaakt van gangbare begrippen. Het gebruik van strikte chemische nomenclatuur is achterwege gelaten om verwarring te voorkomen.

Tabel 1. Gemiddelde samenstelling organische meststoffen in kg per ton nat product en de maximale dosering per product in ton/ha (gebaseerd op Van Dam e.a., 2004).

Meststof	Droge stof	Organische stof	Effectieve organische stof (eos)	N kg/ton	P ₂ O ₅ kg/ton	K ₂ O kg/ton	Indicatie maximale dosering*
Dunne mest							
Rundvee	86	64	30	4,4	1,6	6,2	N-gebruiksnorm dierlijke mest
Vleesvarkens	90	60	18	7,2	4,2	7,2	Fosfaatgebruiksnorm dierlijke mest
Zeugen	50	35	11	4,2	3,0	4,3	Fosfaatgebruiksnorm
Vleeskalveren	20	15	5	3,0	1,5	2,4	N-gebruiksnorm dierlijke mest en fosfaatgebruiksnorm dierlijke mest
Kippen	145	93	33	10,2	7,8	6,4	Fosfaatgebruiksnorm dierlijke mest
Gier							
Rundvee	25	10	5	4,0	0,2	8,0	N-gebruiksnorm dierlijke mest
Vleesvarkens	20	5	2	6,5	0,9	4,5	N-gebruiksnorm dierlijke mest
Zeugen	10	10	3	2,0	0,9	2,5	N-gebruiksnorm dierlijke mest
Vaste mest							
Rundvee	248	150	75	6,4	4,1	8,8	Fosfaatgebruiksnorm dierlijke mest
Vleesvarkens (stro)	230	160	64	7,5	9,0	3,5	Fosfaatgebruiksnorm dierlijke mest
Kippenmest droog	515	374	188	24,1	18,8	22,7	Fosfaatgebruiksnorm dierlijke mest
Overige meststoffen							
Champost	350	220	89	5,8	3,6	8,7	25
GFT-compost	650	210	158	8,5	3,7	6,4	35,3/23,5
Groencompost	602	181	90	3,8	2,1	5,0	85,7/57,1
Boomschorscompost	370	309	262	1,3	0,2	0,3	N-gebruiksnorm
Natuurcompost	600	150	113	3,9	1,6	4,4	Geen doseringslimiet N of P, Besluit Bodemkwaliteit normeert op basis van inhoudstoffen.
Stro	750	700	210	3 – 5	2,2	15	Niet aangemerkt als meststof
Veen	200	180	39 – 173		0,6		300/200
Eigen compost	700	80	20	2,6	1,7	2,7	106/70,6

* Fosfaatgebruiksnorm: de aanvoernorm voor fosfaat in 2008 is 85 kg P₂O₅/ha, in 2015 wordt een kengetal van 60 kg/ha gegeven.

2.3 Beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen

In dit onderzoek wordt met beschikbaarheid de opneembaarheid van fosfaat voor het gewas bedoeld. Andere vormen van beschikbaarheid zijn bv. de mate waarin fosfaat kan uitspoelen. De absolute beschikbaarheid is in een natuurlijk milieu niet te bepalen omdat er geen afdoend onderscheid aangebracht kan worden tussen fosfaat afkomstig van een meststof en fosfaat afkomstig van bodembestanddelen of andere bronnen (Black, 1993). Met gemerkt fosfaat (radioactief gelabeld) wordt getracht om die absolute beschikbaarheid te benaderen maar ook hier zijn echter beperkingen (uitwisseling met niet gemerkt fosfaat). De relatieve beschikbaarheid van fosfaat van een organische meststof kan wel vergeleken worden met die van een referentiemeststof. Dergelijke indices van beschikbaarheid kunnen via biologisch en/of chemisch onderzoek vastgesteld worden.

Tabel 2. *Indicatieve fosfaatgehalten en de relatieve verdeling over mineraal fosfor en organisch gebonden fosfor in meststoffen (Ehlert e.a., 2004b, op basis van Vriesema & Gerritsen, 1983, Prummel & Sissingh, 1983 en Harrison, 1987).*

Meststof	Totaal fosfaatgehalte, kg P ₂ O ₅ /ton vers	Verdeling van het fosfaat, %	
		Mineraal	Organisch
Vaste rundermest	3,3	60	40
Rundveedrijfmest	1,5	90	10
Kippendrijfmest	6,7	80	20
Vaste varkensmest	11,8	85	15
Varkensdrijfmest	95	95	5
GFT-compost	70	70	30
Tuinturf (niet veraard)	0,6	20	80

Tabel 3. *Chemische anorganische fosfaatvormen in organische meststoffen.*

Meststof	Chemische vorm	Bron
Runderdrijfmest	Struviet (MgNH ₄ PO ₄ ·6H ₂ O) Trimagnesiumfosfaat (Mg ₃ (PO ₄) ₂ ·8H ₂ O) Octacalciumfosfaat (Ca ₈ H ₂ (PO ₄) ₆ ·3H ₂ O)	Fordham & Schwertmann (1977a, 1977b); Rückert, 2003
Digestaat van runderdrijfmest	Struviet (MgNH ₄ PO ₄ ·6H ₂ O) Hydroxylapatiet (Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂) Newberyiet (MgHPO ₄ ·3H ₂ O)	Brüss, 2003; Güngör e.a., 2007
Varkensdrijfmest	Struviet (MgNH ₄ PO ₄ ·6H ₂ O)	Bril & Salomons, 1990; Burns e.a., 2001
Kippendrijfmest	Struviet (MgNH ₄ PO ₄ ·6H ₂ O)	Bril & Salomons, 1990; Güngör e.a., 2007
Schapenmest (vast)	Dicalciumfosfaat (CaHPO ₄ ·2H ₂ O)	Barrow, 1975; Güngör e.a., 2007
Compost (GFT)	Apatiet (div. vormen), Octacalciumfosfaat (Ca ₈ H ₂ (PO ₄) ₆ ·3H ₂ O)	Frossard e.a., 2002

Er zijn biologische en chemische methoden ontwikkeld om de beschikbaarheid van fosfaat uit meststoffen in grond te bepalen Black (1993). Deze methoden verschillen in uitvoering en omvang. Biologische methoden, waarbij de opbrengst en/of fosfaatopname door een gewas bepaald wordt, vergen tijd en vragen omvangrijke proeven. Chemische methoden zijn veel minder arbeidsintensief en tijdrovend³.

2.3.1 Beschikbaarheidsindices

De mate waarin een nutriënt tot werking komt wordt uitgedrukt in een beschikbaarheidsindices zoals een werkingscoëfficiënt. Er worden diverse begrippen in omloop in nationale en internationale literatuur. Die verscheidenheid wordt veroorzaakt door de verschillende methoden waarmee beschikbaarheidsindices worden bepaald. Het kan gebaseerd zijn op de opbrengst (vers, droog), de groeisnelheid (vers, droog), de fosfaatopname, de fosfaatopnamesnelheid en op de mate en snelheid waarmee de fosfaattoestand van de bodem, bepaald met chemische methoden van grondonderzoek, in de tijd verandert. In deze tekst beperken wij ons tot die begrippen die in Nederland worden gebruikt: werkingscoëfficiënt, elementrendement, residu-effect (residufactor) en werkingsfactor.

Werkingscoëfficiënt

De werkingscoëfficiënt is een parameter die uitsluitsel geeft over de effectiviteit van fosfaat voor het gewas. De werkingscoëfficiënt geeft aan welk deel van het fosfaat in een organische meststof dezelfde werking heeft als van kunstmestfosfaat bij optimale wijze van toediening. De werkingscoëfficiënten worden afgeleid

³ Beschikbaarheidsindices kunnen gebaseerd zijn op biologisch of op chemisch onderzoek. Voor een bespreking van alle mogelijke methoden wordt verwezen naar Black (1993).

uit de gewasreactie (opbrengst) in een bemestingsproef met een reeks fosfaattrappen. Een vereenvoudigde afleiding kan uitgevoerd worden als met verschillende meststoffen dezelfde hoeveelheid fosfaat (P-gift) toegediend wordt. Bij gelijke P-gift wordt de fosfaatwerkingscoëfficiënt (PWC) wordt dus berekend:

$$PWC_{org} = \frac{\text{opbrengst}_{org} - \text{opbrengst}_{onbemest}}{\text{opbrengst}_{ref} - \text{opbrengst}_{onbemest}} \quad (\text{formule 1})$$

Waarbij 'org' aangeeft dat een organische meststof gebruikt is en 'ref' dat een makkelijk oplosbare referentiemeststof gebruikt is. Naast de klassieke berekeningswijze van de PWC op basis van opbrengst wordt ook wel op basis van P-opnamecijfers gerekend. Bij gelijke P-gift:

$$PWC_{org} = \frac{P\text{-opname}_{org} - P\text{-opname}_{onbemest}}{P\text{-opname}_{ref} - P\text{-opname}_{onbemest}} \quad (\text{formule 2})$$

Elementrendement of uitbatingspercentage (apparent recovery)

Het P-elementrendement (PER) of P-uitbatingspercentage (in de Engelse taal *apparent recovery*) geeft de hoeveelheid fosfaat die door het gewas is opgenomen verminderd, met de fosfaatopname van een niet met fosfaat bemest gewas, gedeeld door de fosfaatgift. In formulevorm:

$$PER = \frac{P\text{-opname}_{bemest} - P\text{-opname}_{onbemest}}{P\text{-gift}} \quad (\text{formule 3})$$

Door het elementrendement van fosfaat van een organische meststof te delen door die van een referentiemeststof (bv. tripelsuperfosfaat) krijgt men een indruk over de onderlinge verhouding hetgeen een maat voor de efficiëntie van fosfaat van de organische meststof. Deze maat wordt meestal als percentage gegeven. Dit is PWC_{org} bij gelijke fosfaatgiften van de organische meststof en referentiemeststof. Deze maat benadert de PWC_{org} bij ongelijke P-giften.

Elementrendement of uitbatingspercentage op basis van P-toestand in de grond.

Analoog aan het elementrendement (PER) of uitbatingspercentage in het gewas kan uitgerekend worden welk deel van de toegediende meststof teruggemeten wordt door verhoging van de P-toestand. In dit rapport wordt dit het fosfaatelementrendement in de grond, of PER_{grond} genoemd. Dit wordt berekend:

$$PER_{grond} = \frac{P\text{-toestand}_{bemest} - P\text{-toestand}_{onbemest}}{P\text{-gift}} \quad (\text{formule 4})$$

Werkingsfactor

De werkingsfactor berust op de verhouding van de verhoging van de P-toestand in de grond bij toediening van de te toetsen meststof t.o.v. de verhoging bij toediening van een referentiemeststof. De standaardmethoden van chemisch grondonderzoek worden in Nederland daarvoor gebruikt, nl. Pw-getal (Sissingh, 1972), P-AL-getal (Egnér e.a., 1960). De fosfaatwerkingsfactor (PWF) wordt berekend, bij gelijke en ongelijke P-giften:

$$PWF = \frac{PER_{grond,org}}{PER_{grond,ref}} \quad (\text{formule 5})$$

Waarbij 'org' aangeeft dat een organische meststof gebruikt is en 'ref' dat een makkelijk oplosbare referentiemeststof gebruikt is.

De fosfaattoestand wordt bepaald met een methode van chemisch grondonderzoek voor het vaststellen van de meststofbehoefte van het gewas (bv. Pw-getal, P-AL-getal of buitenlandse methoden als P-Olsen, P-DL, P-Morgan etc.). In Nederland wordt gewasbeschikbaar fosfaat met verschillende methoden van grondonderzoek bepaald (onder meer Pw-getal, P-AL-getal, P-CaCl₂ (=P-PAE), P-Spurway). Het begrip werd geïntroduceerd door Prummel en Sissingh (1983) nadat vastgesteld was dat gewasreactie op fosfaatbemesting onvoldoende houvast gaf terwijl chemisch grondonderzoek wel uitsluitend gaf.

De keuze van het gewas, de grondsoort en/of de methode van chemisch grondonderzoek hebben grote invloed op de orde van grootte van de genoemde beschikbaarheidsindices. Ook de uitvoering van het onderzoek bepaalt de orde van grootte. De werking is een resultante van de bodemprocessen die genoemd zijn in paragraaf 1.1. Het maakt daarbij uit of dat effect op korte termijn, dat wil zeggen binnen een groeiseizoen, of op lange termijn over (vele) groeiseizoenen bepaald wordt. Werkingsfactoren worden ook wel werkingscoëfficiënten genoemd. In de huidige bemestingsadviesbasis voor bouwland (Van Dijk, 2003) zijn de meeste werkingscoëfficiënten voor fosfaat afgeleid uit grondonderzoek en betreffen het dus werkingsfactoren. Voor bepaling van de werkingsfactor hoeven geen proeven met gewassen uitgevoerd te worden. Daardoor is bepaling van de werkingsfactor goedkoper dan bepaling van de werkingscoëfficiënt of het uitbatingspercentage.

Naast onderzoek met gewassen of bepaling van effecten met chemisch grondonderzoek wordt ook onderzoek via fractionering van fosfaatvormen in meststoffen uitgevoerd om zo de gewasbeschikbaarheid te bepalen. Er zijn diverse fractioneringsschema's gepubliceerd (zie o.a. Frossard e.a., 2002; He e.a., 2004 & 2007).

2.3.2 Bepalingsmethoden van beschikbaarheidsindices en verantwoording

Het bepalen van de beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen met een biologische proef, is niet eenvoudig. Organische meststoffen bevatten veel nutriënten en de werking heeft effect op de biologische, de chemische en de fysische bodemvruchtbaarheid. Het gemeten effect is daardoor niet makkelijk te herleiden tot een effect dat door fosfaat wordt veroorzaakt. Het vraagt complexe proeven om effecten van andere nutriënten, van organische stof en andere factoren te kunnen onderscheiden van het fosfaateffect. Dat maakt dergelijke biologische proeven omvangrijk en daardoor kostbaar. De bepaling van de werkingscoëfficiënt middels chemisch grondonderzoek is relatief eenvoudiger omdat andere effecten veel minder een invloed uitoefenen op de wijze waarop parameters van grondonderzoek zich wijzigen door veranderingen in fosfaataanvoer.

De wetenschappelijke literatuur is onderzocht op gegevens over de fosfaatwerking van organische meststoffen (in hoofdzaak stalmest en compost). De aangetroffen literatuur is geaccepteerd voor deze rapportage indien tenminste uitsluitend gegeven werd over:

- de meststoffen,
- de grondsoort,
- de opbrengst en/of fosfaatopname of de fosfaatbalans in samenhang met de fosfaattoestand,
- de uitvoering van de proef.

De meststoffen dienden mineraal en goed voor het gewas beschikbaar te zijn. Natuurfosfaat werd daardoor uitgesloten omdat deze meststof, tenminste op de korte termijn, een te lage beschikbaarheid heeft⁴. Bij de grondsoort werd vastgesteld of de textuur bollenteelt toelaat. Te zware kleigronden en veengrond zijn niet in het onderzoek meegenomen omdat deze gronden niet representatief zijn voor de teelt van bloembollen⁵.

⁴ In Nederland heeft het gebruik van natuurfosfaat als fosfaatmeststof alleen bij biologische landbouwbedrijven enige betekenis. Op de langere termijn komt deze meststof wel tot een zekere werking indien het P-AL-getal als beschikbaarheidsmaatstaf wordt gebruikt. Echter residuen van natuurfosfaat verhogen niet of nauwelijks het Pw-getal (noch op korte termijn noch op lange termijn).

⁵ Bloembollen worden alleen op minerale gronden met een lichte textuur geteeld. In andere landen, met name daar waar er beschikking is over eigen natuurfosfaat en stalmest, wordt wetenschappelijke aandacht besteed aan het gebruik van stalmest op zware kleigronden en aan het gebruik van met natuurfosfaat verrijkte compost en stalmest. Dit onderzoek wijst dan veelal op dusdanig gunstige effecten t.o.v. kunstmest dat voor die omstandigheden het zeer aantrekkelijk is om deze combinaties voor de landbouw te gebruiken.

De opbrengst en fosfaatopname (fosfaatafvoer) zijn gebruikt om fosfaatwerkingscoëfficiënten te berekenen. Veelal zijn die gebaseerd op de fosfaatopname. Alleen bij Kolenbrander & De La Lande Cremer (1963) en Árendás & Csathó (2002) zijn de coëfficiënten gebaseerd op de opbrengst (veldgewas). Daarmee wordt wel een fout geïntroduceerd. Een coëfficiënt afgeleid van de fosfaatopname hoeft niet tot eenzelfde resultaat te leiden als een coëfficiënt afgeleid uit de biomassa. Dat geldt in het bijzonder als er sprake is van luxe-consumptie van fosfaat. Dat wil zeggen dat de fosfaatopname toeneemt zonder dat dit leidt tot een vermeerdering van de biomassa (droog en vers). De gevonden literatuur biedt echter vooralsnog onvoldoende mogelijkheden om een robuust onderscheid tussen beide grondslagen aan te brengen.

Bij grondonderzoek wordt de methode van de bepaling van de fosfaatbeschikbaarheid in grond gegeven. Bij buitenlands onderzoek werd geen gebruik gemaakt van methoden van grondonderzoek die in Nederland worden toegepast. In die gevallen wordt de methode benoemd. Het uitgangspunt bij deze studie is dat in het buitenland de methoden algemene toepassing hebben bij de onderbouwing van de evaluatie van de meststofbehoefte van gewassen. In relatieve zin, dat wil zeggen d.m.v. de werkingsfactor, wordt uitsluitend verkregen over de betekenis van fosfaat uit organische meststoffen t.o.v. die van kunstmestfosfaat. Bij ouder Nederlands onderzoek is gebruik gemaakt van methoden die nu niet meer worden toegepast. Gegevens gebaseerd op het P-getal (dit is een warm water extractie van fosfaat uit grond) zijn niet in dit onderzoek meegenomen omdat de landbouwkundige interpretatie ervan teveel afwijkt van de huidige methoden (bijv. de uitslag is mede afhankelijk van de pH-H₂O). Gegevens gebaseerd op het P-citroenzuurgetal (P-citr.) zijn daarentegen wel meegenomen. P-citr. is namelijk een voorloper van het huidige P-AL-getal. Qua landbouwkundige betekenis zijn beide parameters gelijkwaardig. In de volgende paragrafen wordt de gevonden informatie over de korte – en lange termijn werking van fosfaat van organische meststoffen besproken.

2.3.3 Fosfaatwerking op korte termijn

2.3.3.1 Afgeleid uit de gewasreactie

Gegevens van de fosfaatwerking op korte termijn worden in Tabel 4 gegeven. Korte termijn is hierbij gedefinieerd als de werking in een periode van enkele weken tot maximaal één jaar.

Nederlandse gegevens⁶

Stalmest

Het vaststellen van de fosfaatwerkingscoëfficiënt van organische meststoffen vereist een goede kennis van de stikstofwerking van deze meststoffen. Omdat de stikstofwerking een veel groter effect heeft op de opbrengst en kwaliteit, is het vaststellen van de fosfaatwerkingscoëfficiënt op korte termijn lastig. Ferwerda (1951a) stelde een toename van het fosfaatgehalte in aardappel vast bij gebruik van stalmest, maar het verschil ten opzichte van tripelsuperfosfaat was te gering om daar betekenis aan te hechten (d.w.z. dat de werking vergelijkbaar was). Stalmest had een hoger opbrengstverhogend effect dan louter aan NPK kon worden toegeschreven. In vervolgonderzoek waarbij rekening werd gehouden met de stikstofwerking kon wel onderscheid aangebracht worden (Ferwerda, 1951b). Een aan kunstmest (dicalciumfosfaat) vergelijkbare werking werd vastgesteld. Roorda van Eijsinga (1962) kon bij sla onder glas geen fosfaatwerking vaststellen indien naast stalmest ook kunstmest werd toegediend (d.w.z. een fosfaatwerkingscoëfficiënt gelijk aan 0). Zonder kunstmest wordt wel een betere fosfaatwerking van stalmest vastgesteld t.o.v. kunstmest (147%, Tabel 4). In zijn advisering naar de praktijk werd echter uitgegaan van de combinatie van kunstmestfosfaat met stalmest en wordt aan fosfaat van stalmest geen waarde gehecht. Kolenbrander &

⁶ Een kanttekening (in historisch perspectief) bij deze literatuurstudie is dat in Nederland de landbouwkundige belangstelling voor de vergelijking van de werking van stalmest met kunstmest vooral vlak voor en vlak na de tweede wereldoorlog aanwezig was. Er was toen twijfel of kunstmest de goede werking van stalmest wel kon vervangen. Het onderzoek richtte zich daarbij vooral op de werking van de stikstof. Tegenwoordig is er een hernieuwde belangstelling voor organische meststoffen. In landen met een sterk groeiende bevolking (India, China) is er grote belangstelling om organische meststoffen (compost, mest, zuiveringsslib) toe te passen al dan niet gemengd met natuurfosfaat. De nieuwste gegevens van de effectiviteit van fosfaat uit organische meststoffen zijn hier te vinden. In westerse landen is de onderzoeksaandacht gericht op effecten uit- en afspoeling van fosfaat van organische meststoffen. Die laatste effecten blijven hier onbesproken.

De la Lande Cremer (1967) melden een werking voor stalmest van 100%.

GFT-compost

Van Lune e.a. (1993) stelde bij een eerstejaarstoediening van 14 ton GFT-compost/ha een 100% werking vast voor dekzand en een 60% werking voor zavel, in vergelijking met tripelsuperfosfaat (toetsgewassen aardappel, suikerbiet, prei en sla). De werking was niet robuust vast te stellen door variatie tussen proefjaren en zwakke gewasreacties op fosfaat. Dit werd toegeschreven aan de adequate fosfaattoestand bij aanvang van het onderzoek.

Buitenlandse gegevens

Stalmest

Buitenlandse gegevens wijzen op een bereik in fosfaatwerkingscoëfficiënt van 30-378%. Die grote variatie is deels te verklaren uit de condities van de proefomstandigheden en verder uit de zeer wisselende samenstelling van stalmest. Condities die de fosfaatwerking van de gemakkelijke oplosbare referentiemeststof belemmeren, leiden tot hoge waarden (bv. fosfaatfixatie aan ijzer- en aluminiumverbindingen, precipitatie aan kalk/calciumverbindingen). Ook onvoldoende compensatie met andere nutriënten die wel aangevoerd worden met stalmest zal leiden tot hogere waarden. Lagere waarden kunnen bijvoorbeeld veroorzaakt worden door ongelijke fosfaatgiften of door uitsluiten van de bufferende werking van de bodem (dat bevoordeelt de referentiemeststof).

Gericke (1952) stelde voor de korte termijn een lagere fosfaatwerking van stalmest van ca. 70% vast t.o.v. die van P van kunstmeststoffen (uitbatingspercentages van 13,3% versus 18,8%).

De lage fosfaatwerkingscoëfficiënten werden gevonden door Ebeling e.a. (2003) bij toediening van stalmest aan kwartszand. Kwartszand heeft geen bufferend vermogen en legt fosfaat niet vast. Echter, zandgrond met een bufferend vermogen gaf een slechtere werking van wateroplosbare kunstmest waardoor relatief fosfaatwerking van mest toenam. Hoe hoger het fosfaatgehalte in de stalmest was, hoe hoger de werkingscoëfficiënt bij eenzelfde fosfaatgift. Ebeling e.a. (2003) hebben echter geen compensatie uitgevoerd voor de stikstof die toegediend werd met de stalmest.

Zeer hoge fosfaatwerkingscoëfficiënten werden gevonden door Meena e.a. (2007) en Mohanty e.a. (2006). Het betreft kalkrijke bodems met een hoge pH. Meena e.a. (2007) schrijven de hogere werkingscoëfficiënten toe aan precipitatie van fosfaat van superfosfaat in niet gewasbeschikbare fosfaatvormen. Ook als er geen compensatie voor stikstof werd uitgevoerd (behandelingen met stalmest hebben daardoor meer werkzame stikstof dan de kunstmest handelingen) werden hogere werkingscoëfficiënten gevonden (Mohanty e.a., 2006). Gosh en Stewart (1979) vonden een werkingscoëfficiënt van 67%.

GFT-compost

De literatuurgegevens wijzen op een bereik van 37-165% in de fosfaatwerkingscoëfficiënt van GFT-compost. De hoge waarde wordt door Meena e.a. (2007) opnieuw toegeschreven als een gevolg van de precipitatie van de superfosfaat in kalkrijke bodem waardoor het fosfaat onbeschikbaar voor het gewas wordt.

Sinaj e.a. (2002) en Ebertseder & Gutser (2003) melden beduidend lagere waarden (37 – 80%, gemiddeld 59%). Bij een hoge fosfaattoestand neemt de fosfaatwerking af t.o.v. die bij een lage fosfaattoestand.

Sinaj e.a. (2002) meldt gegevens uit literatuurstudie. De hoeveelheid fosfaat die uit compost kan worden opgenomen varieert van 10 tot 264% ten opzichte van het fosfaat opgenomen uit wateroplosbare kunstmest. De gevonden variatie wordt toegeschreven aan de verschillen in de systemen compost/grond/plant die gebruikt werden voor de studie. In hun potexperiment met klaver met vier verschillende GFT-composten worden werkingscoëfficiënten van 125-146% (gemiddeld 132%) en uitbatingspercentages van 71,0-116,8% (gemiddeld 87,4%) vastgesteld (Sinaj e.a., 2002). De GFT-composten hebben de stikstofvoeding van het gewas klaver verbeterd. De P-werkingscoëfficiënten zijn mogelijk verhoogd door deze verhoging in de N-voorziening.

Tabel 4. Werkingscoëfficiënt (PWC) en werkingsfactor (PWF) van fosfaat van organische meststoffen op korte termijn (< 1 jaar).

Organische meststof	PWC	PWF	Referentiemeststof	Grondslag	Grond	Bron
GFT-compost	100		tripelsuperfosfaat	Opbrengst	Zand	Van Lune, 1993
GFT-compost	60		tripelsuperfosfaat	Opbrengst	Klei	Van Lune, 1993
GFT compost	77		dicalciumfosfaat	P-opname	Klei	Ebertseder & Gutser, 2003
GFT compost	62		dicalciumfosfaat	P-opname	Klei	Ebertseder & Gutser, 2003
GFT compost	165		superfosfaat	P-opname	Klei	Meena, e.a., 2007
GFT compost, Eglisau	48		KH ₂ PO ₄	P-opname	Zand	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Eglisau	61		KH ₂ PO ₄	P-opname	Klei	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Fehraltorf	60		KH ₂ PO ₄	P-opname	Zand	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Fehraltorf	73		KH ₂ PO ₄	P-opname	Klei	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Leibstadt	51		KH ₂ PO ₄	P-opname	Zand	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Leibstadt	80		KH ₂ PO ₄	P-opname	Klei	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Zurich	37		KH ₂ PO ₄	P-opname	Zand	Sinaj e.a., 2002
GFT compost, Zurich	45		KH ₂ PO ₄	P-opname	Klei	Sinaj e.a., 2002
GFT-compost		50	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Duinzand	Ehlert e.a., 2004
GFT-compost		40	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Zavel	Ehlert e.a., 2004
GFT-compost		130	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Duinzand	Ehlert e.a., 2004
GFT-compost		20	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Zavel	Ehlert e.a., 2004
Stalmest		50	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Duinzand	Ehlert e.a., 2004
Stalmest		30	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Zavel	Ehlert e.a., 2004
Stalmest		70	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Duinzand	Ehlert e.a., 2004
Stalmest		35	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Zavel	Ehlert e.a., 2004
Kippenmest, vast	234		superfosfaat	P-opname	Klei	Meena, e.a., 2007
Kippenmest, vast	112		superfosfaat	P-opname	Klei	Mohanty e.a., 2006
Kippenmest, vast	250		superfosfaat	P-opname	Klei	Mohanty e.a., 2006
Kippenmest, vast		70	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Kippenmest, slachtkuikenmest		83	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Rundermest, drijfmest		55	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Varkensmest, drijfmest		100	tripelsuperfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Kippenmest, vast		80	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Kippenmest, slachtkuikenmest		65	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Rundermest, drijfmest		80	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Varkensmest, drijfmest		80	tripelsuperfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Rundermest, drijfmest	56		diammoniumfosfaat	P-opname	Zand	Motavalli e.a., 1989

Organische meststof	PWC	PWF	Referentiemeststof	Grondslag	Grond	Bron
Rundermest, drijfmest	30		diammoniumfosfaat	P-opname	Klei	Motavalli e.a., 1989
Rundermest, drijfmest	92		diammoniumfosfaat	P-opname	Zand	Motavalli e.a., 1989
Rundermest, drijfmest		64	tripelsuperfosfaat	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Sutton e.a., 1986
Rundermest, drijfmest en vaste mest	10-100		Kunstmest*	Opbrengst	Div.	Smith & Van Dijk, 1987
Stalmest	70		Kunstmest*	Opbrengst	Div.	Gericke, 1951
Stalmest	100		Kunstmest*	Opbrengst	Div.	Kolenbrander & De La Lande Cremer, 1967
Stalmest	67		superfosfaat	P-opname	Zand	Goss & Stewart, 1979
Stalmest	158		superfosfaat	P-opname	Klei	Meena, e.a., 2007
Stalmest	102		superfosfaat	P-opname	Klei	Mohanty e.a., 2006
Stalmest	378		superfosfaat	P-opname	Klei	Mohanty e.a., 2006
Stalmest	147		tripelsuperfosfaat	Opbrengst	Zand	Roorda van Eijsinga, 1962
Stalmest		88	tripelsuperfosfaat	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Sutton e.a., 1986
Stalmest, 22 kg fosfaat/ha		-3	tripelsuperfosfaat	P-citroenzuur	Zand	Ferwerda, 1951
Stalmest, 44 kg fosfaat/ha		144	tripelsuperfosfaat	P-citroenzuur	Zand	Ferwerda, 1951
Stalmest, 66 kg fosfaat/ha		95	tripelsuperfosfaat	P-citroenzuur	Zand	Ferwerda, 1951
Stalmest, hoog P-gehalte	115		dicalciumfosfaat	P-opname	Zand	Ebeling e.a., 2003
Stalmest, laag P-gehalte	30		dicalciumfosfaat	P-opname	Zand	Ebeling e.a., 2003
Stalmest, medium P-gehalte	115		dicalciumfosfaat	P-opname	Zand	Ebeling e.a., 2003
Stalmest, perskoek	97		dicalciumfosfaat	P-opname	Zand	Ebeling e.a., 2003
Stalmest, ruig	73		dicalciumfosfaat	P-opname	Zand	Ebeling e.a., 2003
Stalmest, ruig	144		dicalciumfosfaat	P-opname	Klei	Ebeling e.a., 2003
Champost (met mergel)	negatief		tripelsuperfosfaat	P-opname	Zand	Roorda van Eijsinga, 1962
Compost, met kippenmest	100		tripelsuperfosfaat	Opbrengst	Zand	Sikora & Enkiri, 2004
Zuiveringslib, molverhouding Fe:P=1:0,3	75		Kunstmest*	Opbrengst	Div.	Römer & Samie, 2001
Zuiveringslib, molverhouding Fe:P=1:1,2	100		Kunstmest*	Opbrengst	Div.	Römer & Samie, 2001
Zuiveringsslib	214		dicalciumfosfaat	P-opname	Zand	Ebeling e.a., 2003
Zuiveringsslib	169		dicalciumfosfaat	P-opname	Klei	Ebeling e.a., 2003
Zuiveringsslib	150		superfosfaat	P-opname	Klei	Mohanty e.a., 2006
Zuiveringsslib	120		superfosfaat	P-opname	Klei	Mohanty e.a., 2006

* Niet gespecificeerd.

Overige organische meststoffen

Compost waarbij kippenmest was gebruikt, bleek een net zo hoge fosfaatwerking te hebben als tripelsuperfosfaat (Sikora & Enkiri, 2004). Champost afkomstig van de teelt van champignons in mergelgrotten leidde tot een lage fosfaatopnamen dan het onbemeste object (tripelsuperfosfaat) hetgeen resulteerde in een negatieve fosfaatwerkingscoëfficiënt. Roorda van Eijsinga (1962) verklaarde deze slechtere werking uit de aanwezigheid van mergel.

De fosfaatwerking van zuiveringsslib blijkt beter te zijn als die van kunstmest. Bij toediening van ijzerhydroxide om fosfaathoudend afvalwater te reinigen neemt de beschikbaarheid af (Römer & Samie, 2001). Zuiveringsslib wordt niet toegepast in de bollenteelt. Het aspect ijzerhydroxide-toevoeging heeft wel een raakvlak met de teelt. Deze stof wordt tegenwoordig toegepast bij vergisting van mest om zwavel te binden ter voorkoming van de overdracht van zwavelwaterstof naar het biogas⁷. Vergiste mest kan daardoor een lagere fosfaatwerking krijgen indien (aanzienlijke hoeveelheden) ijzerverbindingen worden toegepast.

2.3.3.2 Op basis van grondonderzoek

Nederlandse gegevens

Om effecten van andere nutriënten (die van stikstof in het bijzonder) uit te sluiten wordt de werkingsfactor van het fosfaat van organische meststoffen afgeleid uit het effect dat zij hebben op wijziging van de fosfaattoestand van de grond. Dit wordt vergeleken met het effect van eenzelfde gift fosfaat met een referentiemeststof (wateroplosbare kunstmest zoals tripelsuperfosfaat).

Ferwerda (1951b) stelde vast dat de fosfaatwerkingsfactor afhankelijk was van de fosfaatgift. Bij een lage fosfaatgift met stalmest werd geen verhoging van de fosfaattoestand gemeten als P-citroenzuur⁸ (P-citr.). vastgesteld. Dit werd door Ferwerda toegeschreven aan de lage fosfaatgift (22 kg P₂O₅/ha). Bij hogere fosfaatgiften (44 of 66 kg P₂O₅/ha) was de fosfaatwerkingsfactor gelijk of hoger dan die van dicalciumfosfaat. Dicalciumfosfaat wordt qua landbouwkundige werkzaamheid gelijk gesteld aan tripelsuperfosfaat of superfosfaat (Van der Paauw, 1938, Finck, 1992).

Prummel & Sissingh (1983) stelden voor dekzand op basis van de verandering in het Pw-getal voor runderdrijfmest (12,5% drogestof), varkensmest (24,5% drogestof), kippenmest (22,7% drogestof) en slacht-kuikenmest (62,6% drogestof) werkingsfactoren van respectievelijk 55%, 100%, 70% en 83% vast. Op basis van het P-AL-getal zijn deze werkingsfactoren respectievelijk 80%, 80%, 80% en 65%.

Ehlert e.a. (2004) stelden op basis van de verandering in het Pw-getal op korte termijn 50% werking voor stalmest en compost vast voor duinzand en respectievelijk 30% en 40% voor zavel, met tripelsuperfosfaat als referentiemeststof. De werking op basis van het P-AL-getal was voor stalmest 70% voor duinzand en 35% voor zavel. Compost op duinzand was effectiever dan tripelsuperfosfaat: 130%. Er werd meer fosfaat in de verhoging van het P-AL-getal teruggevonden dan toegediend was. Compost op zavel was daarentegen veel minder effectief: 20% werking.

Buitenlandse gegevens

Sutton e.a. (1986) vonden voor stalmest en rundermest een fosfaatwerkingsfactor van respectievelijk 88% en 64%.

De buitenlandse gegevens berusten op of op methoden van grondonderzoek die niet gangbaar zijn in Nederland of op onderzoeksmethoden (isotopen uitwisseling en/of -verdunding) die niet gangbaar zijn in de gebruikelijke routine van een laboratorium voor grond- en gewasonderzoek. Daardoor zijn deze gegevens niet direct toepasbaar in combinatie met Nederlandse bemestingsadviezen.

Frossard e.a. (2002) pasten een kinetische isotopen-uitwisselingstechniek toe op een sequentiële anorganische fosfaatextractie van composten. Zij stelden vast dat 2 tot 16% van de totale fosfaatvoorraad van compost snel beschikbaar was en dat deze fractie gerelateerd waren aan de gehalten aan totaal N, totaal C en totaal P. Daaruit werd afgeleid dat een deel van deze snel beschikbare fosfaatfractie gecontroleerd werd

⁷ Zwavelwaterstof geeft ernstige corrosie aan de verbrandingsmotor en kan tot stankvorming leiden.

⁸ P-citr. is een methode van grondonderzoek die qua landbouwkundige betekenis vergelijkbaar is met PAL-getal.

door organische verbindingen. De fracties langzaam uitwisselbaar fosfaat en niet uitwisselbaar fosfaat bedroegen bij elkaar tussen de 40 en 77%. Hiervan werd het meeste toegeschreven aan gecondenseerde calciumfosfaten (apatieten en octacalciumfosfaten). Sinaj e.a. (2002) hebben vier composten van Frossard e.a. (2002) onderzocht met een potproef met klaver en stelden daarbij hogere beschikbaarheden vast dan het grondonderzoek aangaf (zie Sinaj e.a. 2002, paragraaf 1.3.1.1). Het gewas klaver was kennelijk in staat om ook fracties langzaam uitwisselbaar en/of niet uitwisselbaar fosfaat te benutten.

Chemische extractiemethoden worden toegepast om scheiding aan te brengen in een fractie beschikbaar fosfaat en een fractie niet beschikbaar fosfaat (Traoré e.a., 1999). Zij maken echter aannemelijk dat er geen sprake is van twee fracties maar van een continuüm in beschikbare fracties (vergelijk Figuur 1). Compostering leidt tot verlaging van de snel uitwisselbare fosfaatfractie. Daarom bevatten GFT-compost, groencompost, compost van zuiveringsslib en compost van VGR (restproducten uit de voedings- en genotsmiddelenindustrie) minder snel uitwisselbaar fosfaat dan de materialen waarmee deze composten geproduceerd zijn. De verandering tijdens de compostering werd gerelateerd aan de vorming van precipitaten met Ca, Mg en/of Fe. Traoré et al. vonden geen aanwijzingen dat immobilisatie van P in organische vormen een belangrijke bijdrage aan de verlaging van snel uitwisselbaar fosfaat leverde.

2.3.4 Fosfaatwerking op lange termijn

In Tabel 5 wordt een overzicht van gegevens van de fosfaatwerking van stalmest en GFT-compost op de lange termijn gegeven. Lange termijn wordt hier gedefinieerd als een duur van minimaal 1,5 jaar (bereik 1,5 – 73 jaar).

2.3.4.1 Afgeleid van de gewasreactie

Nederlandse gegevens

Stalmest

Gepubliceerde data over opbrengst en fosfaatopname over langere perioden zijn schaars. Generieke conclusies worden wel gegeven (bv. door Kolenbrander & De La Lande Cremer, 1963). Fosfaat van stalmest kan dan volledig in rekening worden gebracht in het bemestingsplan. Waarop die conclusie is gebaseerd kan dan niet worden geverifieerd.

Wisselink (1961) concludeerde op basis van een veldproef van 15 jaar op dekzand te Heino dat de fosfaatwerking van stalmest gelijk was aan die van kunstmest (werkingscoëfficiënt 100%).

Buitenlandse gegevens

Buitenlandse gegevens wijzen op een groot bereik: 114-775%. De hoge waarden zijn het gevolg van gewasgroei limiterende omstandigheden bij de behandeling met kunstmest. Door stalmest te geven werd ook K of Mg toegediend (Broad Balk experiment te Rothamsted, Blake e.a., 2000). Of de pH was te laag waardoor fosfaat van kunstmest werd vastgelegd aan bodembestanddelen ('fixatie') werd gereguleerd te Skierniewice (Blake e.a., 2000).

Gericke (1952) stelde voor de korte termijn een lagere fosfaatwerking van stalmest vast t.o.v. P van kunstmeststoffen maar op gronden die herhaald stalmest ontvangen hadden werd eenzelfde werking van het fosfaat gevonden als met kunstmeststoffen. Finck (1992) meldt een werking voor stalmest van 100%.

De lagere waarden worden gevonden door Blake e.a. (2000) zonder limiterende omstandigheden, Szurek, 1973, Eghball & Power, 1999 en Kristaponyte, 2005. Een reden voor de lagere waarden van de fosfaatwerkingscoëfficiënt is de hogere fosfaatgift met stalmest t.o.v. die van de referentiemeststof (kunstmest). Dit leidt tot lagere uitbatingspercentages. Gerelateerd aan de lage fosfaatgift met de referentiemeststof levert dat een werkingscoëfficiënt die lager is dan 100%.

Compost

Ebersedert & Gutser (2003) toetsten compost met twee gewassen. Na de eerste teelt werd geen nieuwe compostgiften toegepast maar werd de fosfaatwerking bij een volggewas vastgesteld. De werking van

compost bij het volggewas is nawerking genoemd. Zij vonden een nawerking een potproef van 52-71%. Kluge (2003) meldt dat jaarlijkse giften van 6 – 10 ton drogestof/ha het fosfaat volledig in het bemestingsplan opgenomen moet worden (dit is een fosfaatwerkingscoëfficiënt van 100%).

2.3.4.2 Op basis van grondonderzoek

Nederlandse gegevens

Prummel & Sissingh (1983) stelden voor dekzand op basis van de verandering van het Pw-getal na 1,5 jaar vast dat fosfaat van runderdrijfmest, varkensmest, kippenmest en slachtkuikmest respectievelijk voor 60%, 100%, 80% en 100% tot werking waren gekomen. Op basis van het P-AL-getal zijn deze werkingsfactoren respectievelijk 90%, 90%, 90% en 80%.

De Haan (1979) geeft resultaten van 8 veeljarige veldproeven met organische meststoffen op verschillende gronden. Eén veldproef is gelegen op de voormalige Van Bemmelenhoeve in de Wieringermeer. De Haan (1979) geeft het gesommeerde effect van veeljarige toepassing van organische meststoffen op de fosfaattoestand als Pw-getal op bepaald in 1978. Gevonden werd dat op lange termijn fosfaat van stalmest effectiever (= werkingsfactor > 100%) was dan huisvuilcompost⁹ of minerale meststoffen. Groenbemesting en stro waren nauwelijks effectief (werkingsfactor ≈ 0). Ook Prummel (1966) kon geen invloed van groenbemesting of stro op de fosfaattoestand van zavel vaststellen.

Voor de zavel in de Noordoostpolder vonden De Haan & Van Veen (1976) op basis van het P-AL-getal het Pw-getal dat stalmest effectiever was dan tripelsuperfosfaat (respectievelijk 204% en 137%).

Den Dulk (1963) stelde voor verschillende grondsoorten waaronder geestgrond vast dat de fosfaatwerking van stalmest vergelijkbaar was met die van kunstmest (werkingsfactor 100%).

Buitenlandse gegevens

Stalmest

Blake e.a. (2000) rapporteerden resultaten van drie veeljarige veldproeven te Rothamsted (UK), Bad Lauchstaedt (Duitsland) en Skierniewice (Polen) die respectievelijk in 1843, 1902 en 1923 werden aangelegd. De beschikbaarheid van fosfaat in de laatste 30 jaar werden besproken. Ook op basis van grondonderzoek worden werkingsfactoren gevonden die veelal niet veel hoger zijn dan 100%. Net als bij de geciteerde werkingscoëfficiënten zijn de waarden van de werkingsfactoren mede bepaald door andere factoren dan uitsluitend fosfaat. De pH bepaalt de beschikbaarheid. Verhoging van de pH in de kalkloze percelen door bekalking leidt tot een betere beschikbaarheid van fosfaat in de bodem. Bij het achterwege laten van bekalking blijft de beschikbaarheid laag.

De waarden die afgeleid kunnen worden van het onderzoek Eghball & Power (1999) en Sutton (1986) zijn eveneens lager dan 100%. Curieus genoeg merken Eghball & Power (1999) op dat de herkomst van het fosfaat (kunstmest of stalmest) geen effect heeft op het verloop van de fosfaattoestand (Mehlich-P). Daaruit kan afgeleid worden dat de effectiviteit van deze meststoffen op de lange termijn gelijk is. Hun data wijzen echter op lagere werkingsfactoren voor fosfaat van stalmest. Sutton (1986) publiceerde gegevens die op een lange termijn werking van 92% wijzen.

Compost

Ebertseder & Gutser (2003) vonden werkingsfactoren lager dan 100% terwijl Kluge (2003) een 100% werking meldde.

2.3.5 Bespreking van literatuurgegevens

De wetenschappelijke literatuur geeft bij organische meststoffen vooral aandacht aan de beschikbaarheid van stikstof voor het gewas. Dat is begrijpelijk omdat stikstof meer dan fosfaat de opbrengst en kwaliteit van het gewas bepaalt. Ook aan kalium werd in het verleden meer aandacht gegeven (data niet gegeven) maar aan fosfaat werd en wordt beperkt aandacht geschonken. De beschikbaarheden van stikstof en kalium

⁹ Huisvuilcompost is een compost die gemaakt werd van huisvuil waarbij geen scheiding uitgevoerd werd van afval van groente, fruit of tuin.

zijn makkelijker vast te stellen dan die van fosfaat. Dit is het gevolg van de beperkte gewasreactie op fosfaattoestand en fosfaatbemesting en het complexe gedrag van fosfaat in de bodem waardoor robuust onderscheid tussen fosfaat afkomstig van meststoffen en dat afkomstig van de bodem slecht is aan te brengen. Daarnaast zijn organische meststoffen complex van samenstelling en het is lastig om de effecten van andere nutriënten en andere stoffen en werkingen zodanig uit te schakelen dat het gevonden effect uitsluitend bepaald zal worden door fosfaat.

In de vorige paragrafen zijn werkingscoëfficiënten en werkingsfactoren voor korte en lange termijn gegeven. Het gaat om orden van grootte. De verzamelde literatuurgegevens voor fosfaatwerking tonen een grote variatie. Die kan echter ten dele verklaard worden uit de condities waaronder de waarden zijn verkregen. Werkingscoëfficiënten en werkingsfactoren zijn relatieve waarden. De orde van grootte wordt daardoor niet alleen bepaald door de werking van de te toetsen organische meststof maar ook door die van de referentiemeststof en de grondslag van de vergelijking.

Hoge waarden voor werkingscoëfficiënten en werkingsfactoren worden verkregen als de werking van de referentiemeststof wordt belemmerd. Dit kan een gevolg zijn van bijvoorbeeld een tekort aan nutriënten waarvoor niet gecompenseerd is, of juist een hoger aanbod van nutriënten (met name stikstof). Beide omstandigheden leiden tot een hogere opbrengst of fosfaatopname t.o.v. de referentiemeststof. In principe is dit dan een tekortkoming in de proefopzet. Maar de keuze van de onderzoek voor de proefopzet is wel begrijpelijk. Het vraagt namelijk omvangrijke en bewerkelijke proeven met alle opbrengstbepalende nutriënten als factor om robuust, dat wil zeggen zonder enige verstremgeling met andere opbrengstbepalende factoren verantwoord te kunnen vaststellen. En zelfs dan blijft het lastig omdat ook andere factoren de opbrengst en fosfaatopname kunnen bepalen (bv. waterhuishouding, ziektedruk). Omvangrijke veldproeven zijn zeer arbeidsintensief en daardoor kostbaar. Dergelijke proeven zijn daardoor voor toetsing van lange termijneffecten geen optie.

In de proefuitvoering kunnen ook omstandigheden zijn die juist de beschikbaarheid van de referentiemeststof zeer bevoordelen of juist benadelen.

Er is sprake van bevoordeling als de bodemeigenschappen zodanig gekozen worden, dat er geen sprake is van enige vorm van vastlegging. Dit is bijvoorbeeld kwartszand. De referentiemeststof zal daardoor veel effectiever zijn dan de organische meststof. Lage werkingscoëfficiënten voor fosfaat van organische meststoffen worden dan gevonden. Deze conditie van de proefuitvoering staat te ver van de uitvoeringspraktijk. Door bodems met een hoge pH (veel reactieve kalk) of hoog fosfaatvastlegend vermogen aan ijzer- en aluminium(hydr)oxiden te kiezen, wordt het fosfaat van de referentiemeststof juist sterker vastgelegd dan het fosfaat van de organische meststof. De hogere effectieve beschikbaarheid van het fosfaat van organische meststoffen is dan een positieve eigenschap van deze meststoffen. Dit is een aspect dat wel direct de uitvoeringspraktijk raakt.

De orde van grootte van werkingscoëfficiënten en werkingsfactoren kan ook bepaald worden door verschil in fosfaatgiften. Hoe hoger de fosfaatgift is, hoe lager de effectiviteit van het toegediende fosfaat zal zijn (Ferwerda, 1951; Roorda van Eijsinga, 1962; De Haan en Lubbers, 1976; Black, 2000; Ebersedert e.a., 2003; Eghbahl & Stewart, 1999). Indien het onderzoek verschillende trappen aan fosfaatbemesting kent en een werkingscoëfficiënt op de klassieke wijze bepaald kan worden, dan speelt de geringere effectiviteit van hogere fosfaatgiften geen rol. De afleiding houdt dan rekening met verschil in fosfaatgiften. Indien echter een vergelijking gemaakt wordt op basis van één fosfaatgift die verschilt tussen de te toetsen meststof en de referentiemeststof, dan maakt dat wel uit. Als de te toetsen meststof een lagere fosfaatgift heeft gehad dan de referentiemeststof, dan is de efficiëntie van het toegediende fosfaat wat hoger dan die van de referentiemeststof en – in relatieve zin – kan de werkingscoëfficiënt of werkingsfactor dan wat hoger uitvallen in vergelijking tot een situatie waarbij gelijke giften werden toegediend. Het omgekeerde geldt ook. Als van de referentiemeststof minder fosfaat werd toegediend dan van de organische meststof, dan wordt de fosfaatwerking van de referentiemeststof wat gunstiger dan die van de organische meststof. De werkingscoëfficiënt of werkingsfactor valt dan lager uit.

Tabel 5. Werkingscoëfficiënt (PWC) en werkingsfactor (PWF) van fosfaat van organische meststoffen op lange termijn ($\geq 1,5$ jaar).

Meststof	PWC	PWF	Referentie	Grondslag	Grond	Bron
GFT compost	71		dicalciumfosfaat	P-opname	Klei	Ebertseder & Gutser, 2003
GFT compost	52		dicalciumfosfaat	P-opname	Klei	Ebertseder & Gutser, 2003
GFT compost	100		mineraal	P-opname	Div.	Kluge, 2003
Rundermest, drijfmest		92	tripelsuperfosfaat	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Sutton e.a., 1986
Rundermest, drijfmest		100		P-Olsen	Klei	Smith e.a., 1998
Rundermest, drijfmest		100		P-Olsen	Klei	Smith e.a., 1998
Rundermest, drijfmest en vaste mest	100			P-opname	Div.	Smith & Van Dijk, 1987
Kippenmest, vast		80	superfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Kippenmest, slachtkuikenmest		100	superfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Rundermest, drijfmest		60	superfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Varkensmest, drijfmest		100	superfosfaat	Pw-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Kippenmest, vast		90	superfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Kippenmest, slachtkuikenmest		80	superfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Rundermest, drijfmest		90	superfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Varkensmest, drijfmest		90	superfosfaat	P-AL-getal	Zand	Prummel & Sissingh, 1983
Stalmest	67		mineraal	Opbrengst	Zand	Árendás & Csathó, 2002
Stalmest	63		mineraal	Opbrengst	Zand	Árendás & Csathó, 2002
Stalmest	58		mineraal	Opbrengst	Zand	Árendás & Csathó, 2002
Stalmest	63		mineraal	Opbrengst	Klei	Árendás & Csathó, 2002
Stalmest		204		P-AL-getal	Klei	De Haan & Van Veen, 1976
Stalmest		137		Pw-getal	Klei	De Haan & Van Veen, 1976
Stalmest		100	superfosfaat	P-AL-getal	Div.	Den Dulk, 1963
Stalmest	100			Opbrengst	Div.	Kolenbrander en De La Lande Cremer, 1967
Stalmest	105		mineraal	P-opname	Klei	Kristaponyte, 2005
Stalmest	165		superfosfaat	P-opname	Zand	Mercik e.a., 2000
Stalmest		109	tripelsuperfosfaat	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Sutton e.a., 1986
Stalmest	82		superfosfaat	P-opname	Zand	Szsurek, 1973 gecit. door Blake e.a., 2000
Stalmest		100		P-citroenzuur	Zand	Wisselink, 1961
Stalmest, 10 ton/ha/jaar	151		superfosfaat	DL	Klei	Blake e.a., 2000
Stalmest, 15 ton/ha/jaar	114		superfosfaat	DL	Klei	Blake e.a., 2000
Stalmest, 20 ton/ha+NPK	83		mineraal	P-opname	Klei	Kristaponyte, 2005
Stalmest, 40 ton/ha+NPK	77		mineraal	P-opname	Klei	Kristaponyte, 2005
Stalmest, 60 ton/ha+NPK	80		mineraal	P-opname	Klei	Kristaponyte, 2005
Stalmest, continu rogge	64		superfosfaat	DL	Zand	Blake e.a., 2000
Stalmest, continu wintertarwe	150		superfosfaat	P-Olsen	Klei	Blake e.a., 2000
Stalmest, elke twee jaar, als N-meststof	38		mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, elke twee jaar, als P-meststof	43		mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999

Meststof	PWC	PWF Referentie	Grondslag	Grond	Bron
Stalmest, gecomposteerd, elke twee jaar, als N-meststof	18	113 mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, gecomposteerd, elke twee jaar, als P-meststof	63	103 mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, gecomposteerd, jaarlijkse gift, als N-meststof	18	70 mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, gecomposteerd, jaarlijkse gift, als P-meststof	80	87 mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, jaarlijkse gift, als N-meststof	30	114 mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, jaarlijkse gift, als P-meststof	75	36 mineraal	Bray-Kurtz No. 1 P	Klei	Eghball & Power, 1999
Stalmest, rotatie	134	48 superfosfaat	DL	Zand	Blake e.a., 2000
Stalmest, rotatie	775	108 superfosfaat	P-Olsen	Klei	Blake e.a., 2000

Pw-getal, PAL-getal, P-citroenzuur, DL, P-Olsen, en Bray-Kurtz No. 1P zijn chemische methoden van grondonderzoek t.b.v. bemestingsadvisering voor fosfaat.

De literatuurstudie wijst uit dat de fosfaatgiften met de organische meststoffen vaak hoger waren dan die van de referentiemeststof. In geval dat er de fosfaatgiften gelijk waren, was er sprake van geen of onvoldoende compensatie van stikstof (Ebeling e.a., 2003).

Indien data van werkingscoëfficiënten en werkingsfactoren opgeschoond worden voor omstandigheden die te afwijkend zijn van de praktijk (kwartszand, gebrek aan nutriënten) en per werkingsduur gelijkwaardig worden gesteld, dan kunnen de gegevens gecondenseerd worden tot de volgende richtwaarden (Tabel 6).

Tabel 6. Gemiddelde werking (%) voor fosfaat van stalmest en GFT-compost op korte en lange termijn voor zand- en kleigrond. De gegevens zijn gemiddelden van fosfaatwerkingscoëfficiënten en -werkingsfactoren in Tabellen 4 en 5. Het bereik wordt tussen haakjes gegeven.¹⁰

Meststof	Termijn					
	kort (< 1 jaar)		lang (> 1,5 jaar)			
	zand	klei	alle grondsoorten	zand	klei	alle grondsoorten
Stalmest	83 (-3-144)	74 (30-144)	82 (-3-147)	88 (58-165)	93 (44-204)	92 (44-204)
Compost	72 (37-130)	58 (20-80)	64 (20-130)		62 (52-71)	74 (52-100)

Publicaties die effecten van fosfaatwerking van stalmest en compost samenvatten zonder onderscheid aan te brengen naar grondsoort melden een gemiddelde werking van 85% op de korte termijn en 100% op de lange termijn.

Stalmest

Wat leert het literatuuronderzoek ons nog meer over de beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest? Tabel 7 vat die kennis samen.

Compost

De gegevens van compost wijzen uit dat op korte termijn de werkingscoëfficiënt of werkingsfactor (beduidend) lager is dan 100%. De fosfaatvormen in compost zijn daar debet aan. In Nederland bestaat compost voor minstens 70% uit grond. Het fosfaat in het grondaandeel van compost is in feite bodemfosfaat. Bodemfosfaat is minder effectief dan kunstmestfosfaat. Informatie over de lange termijn effecten van fosfaat van compost wijst op eenzelfde werkzaamheid als kunstmest (Kluge, 2003) of lagere waarden (Eberseder & Gutser, 2003). Wat de oorzaak is voor deze verschillen kan nog niet worden achterhaald.

¹⁰ De data van tabel 6 zijn voor de korte termijnwerking afkomstig van Ebeling e.a. (2003), Ebertseder & Gutser (2003), Ehlert e.a. (2004), Ferwerda, (1951), Gericke (1951), Goss & Stewart (1979), Kolenbrander & De La Lande Cremer (1967), Mohanty e.a. (2006), Motavalli e.a. (1989), Prummel & Sissingh (1983), Römer & Samie (2001), Roorda van Eijsinga (1962), Sikora & Enkiri (2004), Sinaj e.a. (2002), Smith & Van Dijk (1987), Sutton e.a. (1986) en Van Lune e.a. (1993).

De data van de lange termijn werking in tabel 6 zijn afkomstig van Árendás & Csathó (2002), Blake e.a. (2000), De Haan & Van Veen (1976), Den Dulk (1963), Ebertseder & Gutser (2003), Eghball & Power (1999), Kluge (2003), Kolenbrander en De La Lande Cremer (1967), Kristaponyte (2005), Mercik e.a. (2000), Prummel & Sissingh (1983), Smith & Van Dijk (1987), Smith e.a. (1998), Sutton e.a. (1986), Szczurek (1973 gecit. door Blake e.a., 2000) en Wisselink (1961).

Tabel 7. Beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest: invloed van verschillende factoren.

Factor	Effect
Vorm	
1. Ruige mest versus vezelarme mest	1. Ruige mest heeft een beschermende werking en verhoogt daardoor de beschikbaarheid, met name op kalkhoudende bodems
2. Ouderdom, jong versus oud	2. Hoe ouder de mest is, hoe lager de beschikbaarheid.
3. Diersoort	3. Fosfaatwerking van stalmest van kippen is even effectief als die van kunstmest
4. Combinatie met kunstmest	4. De efficiëntie van fosfaat van stalmest neemt af, indien gelijktijdig fosfaatkunstmest wordt toegediend.
5. Fosfaatgehalte	5. Hoe hoger het fosfaatgehalte in de mest is, des te beter wordt het benut.
Hoeveelheid*	Hoe hoger de fosfaatgift, hoe minder efficiënt het fosfaat wordt benut.
Tijdstip*	Naarmate de tijdspanne tussen tijdstip van aanwending en tijdstip van opname toeneemt, des te groter wordt het risico dat de fosfaatbeschikbaarheid vermindert.
Grondsoort*	Hoe hoger de fosfaattoestand, hoe lager de benutting.

* Deze factoren zijn niet specifiek voor stalmest: de effecten kunnen ook bij andere meststoffen optreden.

2.4 Effect van de fosfaatwerking van organische meststoffen op de P-toestand van de grond

Organische meststoffen – en ook gewasresten - die op of in de bodem worden gebracht ondergaan veranderingen onder invloed van bovengenoemde bodemprocessen. De minerale fracties van organische meststoffen dragen bij aan de voorraad fosfaat die opgelost is in de bodemoplossing, aan het makkelijk en moeilijk uitwisselbaar fosfaat en aan geprecipiteerde, deels kristallijne, fosfaatzouten. De organische stof van organische meststoffen draagt bij aan de organische stof in de bodem al dan niet na gedeeltelijke afbraak door de biomassa. Organische fosfaatverbindingen worden daarbij gemineraliseerd. Immobilisatie van fosfaat kan daarbij ook optreden, met name als onrijpe composten worden gebruikt (Traoré e.a., 1999; Cooperband e.a., 2002). Onrijpe compost verlaagt de fosfaatbeschikbaarheid (Cooperband, e.a., 2002). Er is geen informatie in de literatuur aangetroffen die expliciet de bijdrage van organische fosfaatverbindingen aan de fosfaatvoorziening van het gewas onder Nederlandse omstandigheden behandelt.

In Figuur 1 is een overzicht gegeven van de fosfaatfracties in de bodem en werden de daarbij behorende processen beschreven. Effecten van fosfaattoediening aan de bodem met compost en stalmest op het verloop van de fosfaattoestand (bv. Pw-getal) kunnen worden berekend door gebruik te maken van een mechanistisch model (De Willigen & Van Noordwijk, 1987, Van Noordwijk e.a., 1990, Ehlert e.a., 2004).

Met een dergelijk concept kan berekend worden hoe de fosfaattoestand in de tijd wijzigt bij verschillende werkingsfactoren van fosfaat in organische meststoffen op korte en lange termijn.

Met het model zijn berekeningen uitgevoerd voor een aanvoer van 60 kg P₂O₅/ha/jaar, dit is de beoogde fosfaatnorm voor 2015. Er is een 'worst-case'-scenario gevolgd waarbij aangenomen werd dat een deel van het fosfaat in een organische meststof volledig onbeschikbaar was voor het gewas door geen bedrage te leveren aan makkelijk uitwisselbaar fosfaat. Dit is vergeleken met een volledig beschikbare wateroplosbare kunstmeststof (tripelsuperfosfaat). Het betreft een 'worst-case'-scenario omdat de literatuur aanwijzingen geeft dat op langere termijn het fosfaat van zowel kunstmeststof als organische meststoffen (stalmest, compost) een vergelijkbare werking hebben. Er zijn kennelijk fosfaatfracties in de bodem die wel degelijk naleveren maar in deze 'worst-case'-benadering is die nalevering genegeerd.

Een dergelijk 'worst-case'-scenario geeft inzicht in de gevolgen van onbeschikbaar fosfaat in een organische meststof op korte en langere termijn voor de ontwikkeling van de fosfaattoestand.

De aannames bij de scenario's zijn:

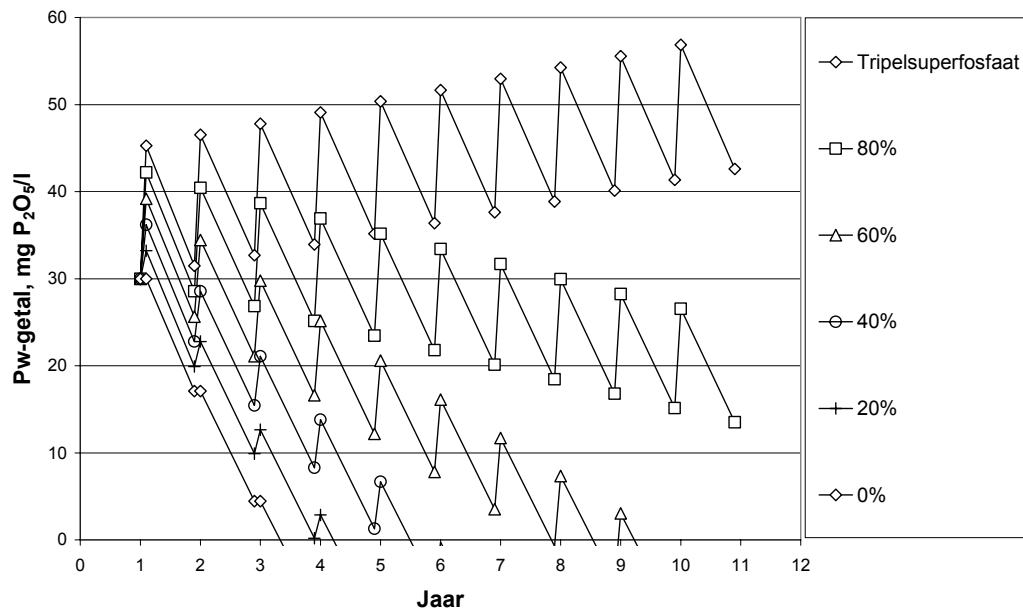
- Er wordt eenmaal jaarlijks bemest met 60 kg P₂O₅/ha met tripelsuperfosfaat of met een organische meststof waarvan 0%, 20%, 40%, 60% en 80% bijdraagt aan de voeding van het gewas. Een organische meststof met 100% gewasbeschikbaar fosfaat heeft een gelijke werking als tripelsuperfosfaat.
- Met het gewas wordt 30 kg P₂O₅/ha afgevoerd.
- De initiële fosfaattoestand (Pw-getal) is 30 mg P₂O₅/l.
- Er wordt geen rekening gehouden van de nalevering van de moeilijk uitwisselbare fosfaatfractie in de bodem en evenmin met mineralisatie.
- Er is een jaarlijkse uitspoeling van 25 kg P₂O₅/ha aangenomen.
- Het vochtgehalte is gesteld op 0,175 (gewichtsbasis).
- De P-bindingseigenschappen zijn gelijk aan die voor de duinzand te Lisse (Ehlert e.a., 2004a).

De bindingseigenschappen van duinzand wijken af van andere Nederlandse grondsoorten. De P-binding-karakteristiek van deze grondsoort wijst op beduidend geringere bufferende werking dan overige grondsoorten (Ehlert, e.a., 2004).

Schoumans en Lepelaar (1995) berekenden een gemiddelde fosfaatuitspoeling van 15 tot 35 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹. In deze scenarioberekening is een gemiddelde waarde van 25 kg P₂O₅ ha⁻¹ jaar⁻¹ aangenomen. In werkelijkheid is de uitspoeling afhankelijk van de hoogte van de fosfaattoestand. In deze studie werd een constante waarde voor de fosfaatuitspoeling aangehouden omdat de nalevering de fosfaattoestand bepaalt en in deze scenario's daarmee geen rekening werd gehouden, en tevens bij de berekening kwel en capillaire opstijging niet meegenomen zijn. Het vraagt berekeningen met hydrologische modellen in samenhang met een bodemchemisch model om verfijning van effecten van fosfaattoestand op de fosfaatuitspoeling concreter aan te geven. Bij dergelijke verfijningen zijn bodemchemische parameters nodig die nog niet beschikbaar zijn.

Door jaarlijks te bemesten met 60 kg P₂O₅/ha als tripelsuperfosfaat stijgt de fosfaattoestand (Figuur 2). Indien 80% van het fosfaat van een organische meststof gewasbeschikbaar is, dan is er op termijn nog een lichte stijging van de fosfaattoestand (Pw-getal). Bij percentages van 60% en lager wordt op termijn een daling van de fosfaattoestand berekend. Indien het fosfaat volledig onbeschikbaar is voor het gewas en niet bijdraagt aan het in stand houden van de voor het gewas beschikbare fosfaat van de grond, wordt de fosfaattoestand zeer snel verlaagd tot zeer lage waarden (Pw-getal < 15 mg P₂O₅/l).

De resultaten van berekening volgens deze 'worst-case'-benadering zijn tegenstrijdig met de waarnemingen op lange termijn gegeven in de literatuur. Daaruit blijkt dat er wel degelijk sprake moet zijn van nalevering van fosfaat uit 'irreversibele'-fracties. Immers de PWF die gerapporteerd worden (Tabel 5, Tabel 6) zijn niet veel lager en soms aanzienlijk hoger dan 100%. Echter, de P-bindingseigenschappen die het lange termijn-gedrag van fosfaat in duinzanden bepalen zijn nog niet afdoende bekend om die in berekening te betrekken.



Figuur 2. Verloop van de fosfaattoestand (Pw-getal) bij een jaarlijkse gift van 60 kg/ha P_2O_5 als tripel-superfosfaat of als een organische meststof. Bij de organische meststof werd aangenomen dat 0%, 20%, 40%, 60% of 80% van het fosfaat bijdraagt aan de voeding van het gewas en het resterend deel nooit beschikbaar komt. De bindingseigenschappen van duinzand zijn aangenomen (Ehlert e.a., 2004a).

3 Proefopzet

3.1 Doel

Experimenteel onderzoek is opgezet om de werking van fosfaat in organische meststoffen op korte termijn vast te stellen, voor bollenteelt in het westelijk zandgebied. Tot nog toe is de hierover beschikbare informatie zeer beperkt, zoals in de vorige hoofdstukken is beschreven.

Meststoffen

Er is gekozen voor meststoffen die in het westelijk zandgebied veel gebruikt worden, namelijk stalmest en GFT-compost. Daarnaast is groencompost in het onderzoek opgenomen, omdat dit een meststof is die met een beperkte aanvoer van stikstof en fosfaat veel kan bijdragen aan de organische stof-voorziening op duinzandgrond. Bij aanscherping van de N- en P-normen is de verwachting dat er in de toekomst meer groencompost gebruikt wordt in de bollenteelt op deze grond. Om de spreiding in de beschikbaarheid van P tussen partijen meststoffen inzichtelijk te maken, worden van elke meststof drie partijen in het onderzoek opgenomen.

Werkingsduur

De werking van fosfaat is onderzocht tot vier maanden na toediening, in een veldproef en in een incubatieproef bij constante temperatuur. Vergelijking van beide proeven geeft inzicht in de actuele beschikbaarheid (veldproef) op korte termijn en de potentiële beschikbaarheid (incubatieproef). Er is gekozen min of meer het groeiseizoen van Dahlia te volgen, de meest fosfaatbehoefte van de bol- en knolgewassen.

3.2 Materialen

Meststoffen

Er zijn drie partijen van elk van de meststoffen vaste rundermest, GFT-compost en groencompost in het onderzoek opgenomen. Ze zijn betrokken van leveranciers die een aanzienlijk volume meststoffen afzetten bij bollentelers in het westelijk zandgebied. De organische meststoffen zijn vergeleken met tripelsuperfosfaat. De herkomst en eigenschappen van de meststoffen zijn weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8. *Herkomst en samenstelling van de organische meststoffen.*

Meststof	Herkomst	Verse monsters hele partij					Monsters voor incubatie in klimaatcel (g/kg d.s.)			
		g/kg vers		g/kg d.s.			o.s.		N P K	
		d.s.	o.s.	N	P	K	o.s.	N	P	K
Groencompost	A: Breehoorn Hoofddorp	670	215	6,5	1,2	2,3	218	4,6	0,9	4,3
	B: Delta Voorschoten	603	208	8,1	1,8	3,6	262	7,6	1,7	6,6
	C: GP Groot Alkmaar	609	278	10,0	1,7	3,2	330	7,9	3,8	6,0
GFT-compost	A: HVCcompostering Middenmeer	704	373	15,1	3,1	5,8	444	15,0	3,2	10,0
	B: HVCcompostering Purmerend	733	331	12,8	2,2	4,4	308	10,1	1,7	5,5
	C: Stercompost Alphen a/d Rijn	790	294	10,7	1,8	3,6	365	11,8	2,0	7,6
Stalmest	A: Gangbaar Zuid-Holland	200	674	20,3	7,0	13,1	745	21,0	7,1	22,5
	B: Eko Zuid-Holland	311	425	11,6	4,3	8,5	469	13,9	4,2	15,4
	C: Gangbaar Noord-Holland	256	675	24,1	8,5	15,6	669	21,6	9,9	42,2

Grond

Het onderzoek is uitgevoerd met twee partijen grond. Er is gezocht naar regionale spreiding: een grond uit de Bollenstreek en een uit de kop van Noord-Holland, beide met een 'normale' P-toestand. Er is gekozen voor matig fijnzandige kalkhoudende enkeerdgrond (afgegraven strandwal) van de proeftuin van PPO in Lisse (tuin 1), en ten tweede een vergraven grofzandige beekeerdgrond aan de Korte Bosweg in 't Zand. Op deze grond is enige jaren (± 7 jaar) geleden kalkhoudend zand bijgemengd door de bouwvoor, waardoor deze van oorsprong kalkloze grond kalkhoudend is geworden. De eigenschappen van deze grondsoorten zijn weergegeven in Tabel 9.

Voor deze grondsoorten gekozen zijn als representatief voor het westelijk zandgebied is een inventarisatie gemaakt van de fosfaatbindende eigenschappen, met name Fe-ox en Al-ox, van percelen geschikt voor bloembollenteelt in dit gebied. Het resultaat van deze inventarisatie is weergegeven in Bijlage 1.

Tabel 9. Fysische en chemische eigenschappen van de grond, getallen gebaseerd op droge grond.

	Lisse	't Zand
Lutum (< 2 μm), %	2,2	1,9
organische stof, %	0,9	1,6
Vrije koolzure kalk, %	0,03	0,62
pH – 0.01 M CaCl_2	5,9	7,1
pH – 1 M KCl	5,8	7,1
pH– H_2O	6,3	6,7
Pw-getal, mg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{l}$	30	42
P-AL-getal, mg $\text{P}_2\text{O}_5/100$ g	32	36
P- CaCl_2 mg P/kg (=PPAE)	3,1	4,1
P-Spurway kg P/ha per 10 cm	12,9	23,6
cumulatief Pi-getal mg P/kg	242	214
P-ox, mmol P/kg	6,92	7,28
Al-ox, mmol Al/kg	9,44	11,3
Fe-ox, mmol Fe/kg	8,35	5,73
P-totaal, mg P/kg	308	297
N-totaal, g/kg	0,78	1,0

3.3 Methoden

Principe

Er is een incubatieproef, met grond uit 't Zand en uit Lisse, onder gecontroleerde omstandigheden in een klimaatcel uitgevoerd, en daarnaast een veldproef, alleen op de PPO-locatie in Lisse. Bij beiden zijn de meststoffen stalmest, GFT-compost, groencompost en tripelsuperfosfaat door de grond gemengd. Na 4, 8, 12 en 16 weken is met verschillende analysemethoden de beschikbaarheid van fosfor in de grond bepaald, en ook in controlemonsters van grond zonder meststoffen. Om de beschikbaarheid van P in de meststoffen te kunnen vergelijken worden twee parameters berekend, namelijk het elementrendement in de grond ($\text{PER}_{\text{grond}}$, formule 4 in paragraaf 2.3.1) en de fosfaatwerkingsfactor (PWF, volgens formule 5 in paragraaf 2.3.1).

Bij de incubatieproef in de klimaatcel zijn de meststoffen vooraf gedroogd en gemalen en is de grond gezeefd. Het vochtgehalte was constant. Deze incubatie is uitgevoerd om potentiële verschillen in P-beschikbaarheid tussen de meststoffen efficiënt en nauwkeurig vast te stellen. Bij de veldproef zijn de meststoffen vers in de grond gewerkt. Dit is gedaan om de gegevens van de incubatieproef in de klimaatcel te vertalen naar de situatie in het veld.

Werkwijze bij incubatieproef in de klimaatcel

De meststoffen zijn in de droogstoof gedroogd bij 30 graden en daarna gemalen in een Retsch molen met een zeefblad van 1.0 mm. Het vochtgehalte in de grond is met kraanwater aangevuld tot 15% (g water/g

droge grond). De grond is in polyetheenzakken gedaan, 790 g grond in een zak van enkele liters. De meststoffen zijn gelijkmatig door de grond gemengd. De dosering van fosfor met de meststoffen is weergegeven in Tabel 10. Er was één zak per combinatie van grondsoort en partij organische meststof, per analysetijdstip. Ook waren er van elke grondsoort per analysetijdstip 3 zakken zonder meststof en 3 zakken met tripelsuperfosfaat. Totaal waren er 150 zakken ((4 meststoffen + 1 onbemest) * 3 herhalingen/partijen per meststof * 2 grondsoorten * 5 tijdstippen). De zakken werden met ruim lucht er bij afgesloten. Met een speld werden er enkele gaatjes in geprikt. Op deze manier blijft de samenstelling van de lucht in de zak gelijk aan die in de omgeving, terwijl het vochtgehalte in de grond nauwelijks verandert tijdens de duur van de incubatie. De zakken werden naast elkaar gezet in goed geventileerde kratten. De kratten werden gestapeld en in een goed geventileerde klimaatcel geplaatst bij 15 °C. Na 0, 4, 8, 12 en 16 weken werden er zakken verwijderd voor analyse.

Tabel 10. Dosering van fosfor met verschillende meststoffen. Bij omrekening van mg/kg naar kg/ha is uitgegaan van een droge bulkdichtheid van 1,45 kg/l en een bouwvoor van 30 cm.

Meststof	Herkomst	Incubatieproef		Veldproef	
		kg P ₂ O ₅ /ha	mg P/kg	kg P ₂ O ₅ /ha	mg P/kg
Tripelsuperfosfaat		212	21	197	20
Groencompost	A: Breekhoorn Hoofddorp	221	22	191	19
	B: Delta Voorschoten	308	31	214	22
	C: GP Groot Alkmaar	744	75	207	21
GFT-compost	A: HVCcompostering Middenmeer	299	30	222	22
	B: HVCcompostering Purmerend	219	22	197	20
	C: Stercompost Alphen a/d Rijn	283	28	229	23
Stalmest	A: Gangbaar Zuid-Holland	1012	102	213	21
	B: Eko Zuid-Holland	644	65	238	24
	C: Gangbaar Noord-Holland	903	91	193	19

Werkwijze bij veldproef

Bij de veldproef is er naar gestreefd een fosfaatgift van 200 kg P₂O₅ per ha toe te dienen. De dosering van fosfor met de meststoffen is gegeven in Tabel 10. Er is enige variatie in de werkelijk gegeven hoeveelheid fosfaat opgetreden, door verloop in het vochtgehalte van de meststoffen. De uiteindelijke gift is gemiddeld 210 kg P₂O₅ per ha. De meststoffen zijn afgewogen en met een riek (TSP met de hand) uitgespreid op veldjes van 3,8 * 3,8 m², en daarna met een spitmachine ingewerkt tot 30 cm diepte. Per partij organische meststof was er één veldje (dus 3 veldjes groencompost, 3 veldjes GFT compost en 3 veldjes stalmest), en er waren 3 veldjes met tripelsuperfosfaat en 3 onbemeste veldjes.

Na 0, 4, 8, 12 en 16 weken zijn met een guts monsters gestoken met een guts van de laag 0-30 cm, 30 steken per veldje.

De veldproef week hiermee op een aantal punten af van de incubatie in de klimaatcel.

- Er was overal ongeveer evenveel fosfor toegediend. Gemiddeld was dat 210 kg P₂O₅ per ha (paragraaf 3.3, Tabel 10), 7% van P-totaal in onbemeste grond. Bij de klimaatcel varieerde de gift.
- Het vochtgehalte was iets lager en variabel, 13,7 ± 1,2 °C bij de metingen, terwijl het bij de klimaatcel 15,3 ± 0,7 °C gemeten werd.
- De temperatuur op 10 cm diepte verliep met het seizoen. Van 0 tot 4 weken was die 20,0 ± 1,1 °C, van 4 tot 8 weken 21,6 ± 1,1 °C, van 8 tot 12 weken 20,5 ± 1,4 °C en van 12 tot 16 weken 17,2 ± 1,5 °C. Bij de klimaatcel werd de temperatuur constant gehouden op 15 °C.
- De meststoffen zijn met de spitmachine en niet met de hand ingewerkt.
- De meststoffen zijn ingewerkt in veldjes, die blootstonden aan neerslag en verdamping.
- De meststoffen waren niet gedroogd en niet gemalen. Daardoor is de verdeling van de meststoffen in de grond veel heterogener.
- Er werd een submonster genomen, met 30 steken in 0-30 cm diepte ongeveer 2 l per veldje.

3.4 Metingen

0, 4, 8, 12 en 16 weken is grond gemengd met meststoffen of onbemest, uit de incubatieproef en de veldproef, bemonsterd, zoals bij de werkwijze beschreven. Elk monster werd in twee delen gesplitst, waarvan er één geanalyseerd is door het Chemisch Biologisch Laboratorium Bodem (CBLB) van Wageningen Universiteit en één bij het lab van Altic (Dronten).

Bij het CBLB werden Pw-getal, P-AL-getal (beide volgens Houba et al., 1997) en de P-CaCl₂ (Houba e.a., 2003) bepaald en daarnaast het vochtgehalte in de veldvochtige grond, en NH₄-N, NO₃-N en totaal oplosbaar N (N_{tss}) na extractie met 0,01 M CaCl₂ (Houba e.a., 2003). Bij de laatste bemonstering is ook het vochtgehalte bepaald in grond die reeds gedroogd was bij 40 °C. Er is aangenomen dat het (zeer lage) vochtgehalte van grond die reeds gedroogd was bij 40 °C bij alle monsterdata gelijk was.

Bij Altic werd een Spurway-extractie uitgevoerd. De methode is niet openbaar, maar kan als volgt omschreven worden. Een vast volume verse grond wordt aangedrukt tot normale dichtheid. Er wordt een vast volume extractievloeistof van een zwak zure oplossing toegevoegd. Dan wordt geschud. Mogelijk wordt het extract gefiltreerd of gecentrifugeerd. In het extract wordt het P-gehalte gemeten, en daarnaast het gehalte aan een aantal andere nutriënten. Het resultaat van de meting wordt weergegeven in mg P /l extract en in kg P per ha per 10 cm. De numerieke waarde is daarbij gelijk. Daaruit kan worden afgeleid dat de extractieverhouding op volumebasis ongeveer 1:1 is.

Daarnaast werden bij Altic de pH-H₂O, de pH-KCl en de EC gemeten. De EC werd gemeten een 1:10 (v grond/v extractievloeistof) extractie met demiwater. Voor de EC-meting werd de grond geëxtraheerd met water in een verhouding van 1:10 (v grond/v water). In de verkregen suspensie werd de EC bepaald. Bij CBLB werden na extractie met CaCl₂ (NEN 5704) NO₃-N, NH₄-N en totaal oplosbaar N bepaald. Deze gegevens worden hier niet besproken, maar zijn in Bijlage 2 gegeven.

De bodemtemperatuur in de grond in het veld is gemeten op 10 cm diepte onder kale grond, bij het weerstation van PPO in Lisse, ongeveer 130 m van de veldproef.

3.5 Berekeningen

Uit de gemeten waarden is de PER_{grond} berekend voor de verschillende meststoffen, met behulp van formule 4 (paragraaf 2.3.1), waarbij eerst alle factoren in de formule zijn teruggerekend naar mg P per kg droge grond. Hierbij is voor het Pw-getal uitgegaan van een droge bulkdichtheid van 1,36 kg/l, zoals gemeten voor droge duinzandgrond bij de extractie (data gebaseerd op Ehlert e.a., 2004), en voor P-Spurway van 1,45 kg/l hetgeen een normale droge bulkdichtheid is voor veldomstandigheden. Vervolgens is PWF berekend met formule 5 (paragraaf 2.3.1).

Beide proeven zijn met variantieanalyse geanalyseerd (ANOVA) conform proefopzet. Getoetst is bij onbetrouwbaarheidsdrempels kleiner dan 0,05. Verschillen tussen partijen meststoffen zijn getoetst met een REML-analyse, met een onbetrouwbaarheidsdrempel van 0,05.

3.6 Kwaliteitsborging

Alterra volgt het ISO 9001 kwaliteitssysteem. CBLB heeft tevens een interne kwaliteitszorg en een externe kwaliteitscontrole via WEPAL.

4 Resultaten

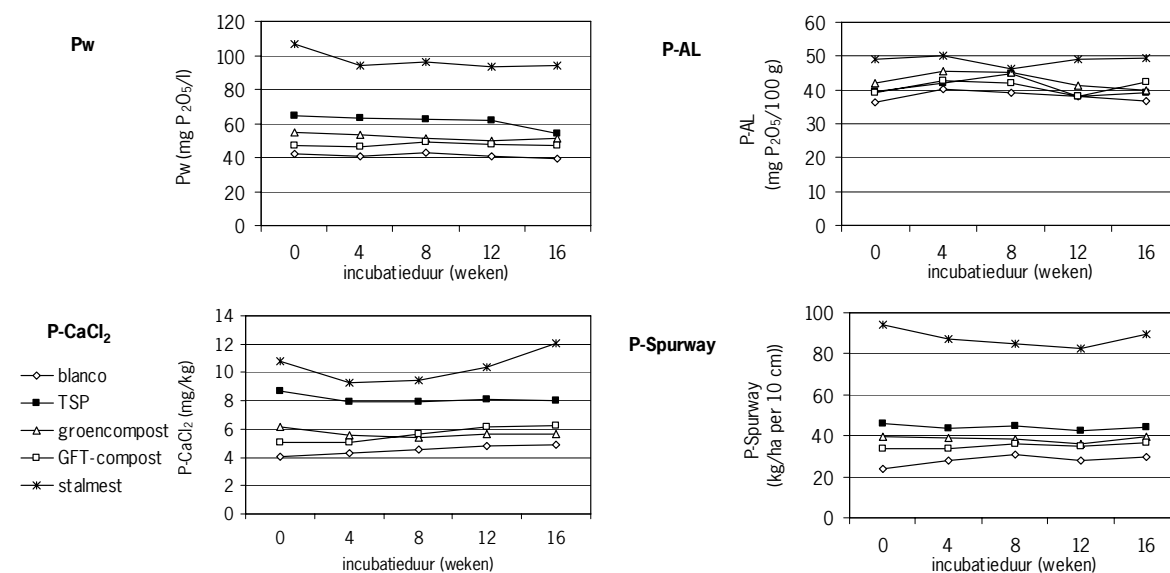
4.1 Beschikbare fosfaat

4.1.1 Incubatieproef in de klimaatcel

Bij de incubatieproef in de cel zijn door een rekenfout uiteenlopende hoeveelheden fosfaat met de meststoffen toegediend (zie Tabel 10). Daardoor kunnen de gemeten P-beschikbaarheidswaarden alleen na verrekening van de ongelijke giften tussen de soorten en partijen meststof met elkaar vergeleken worden.

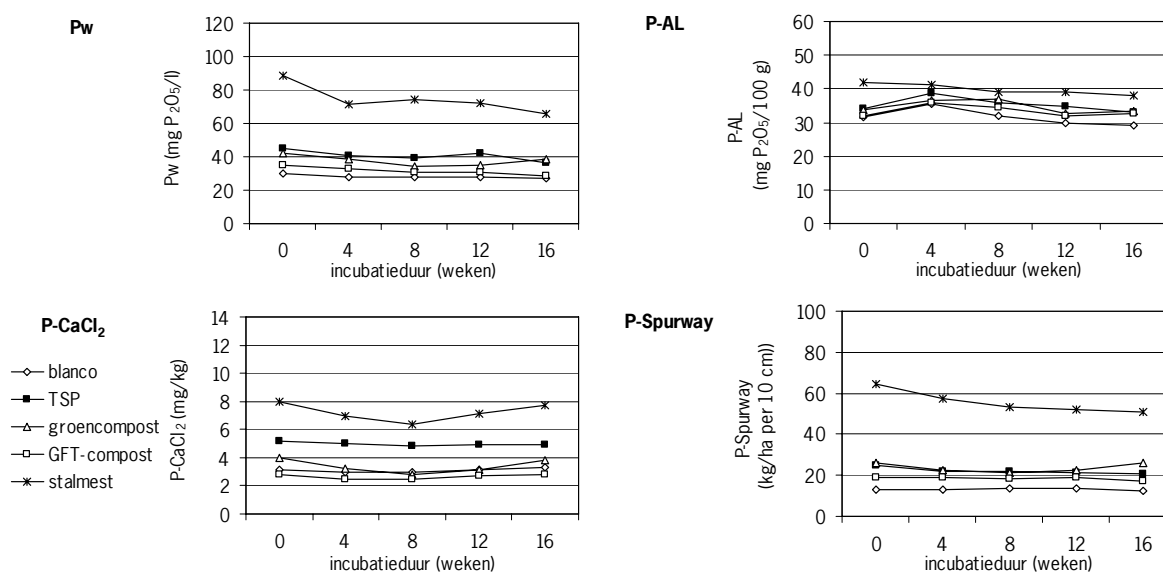
Het tijdsverloop in de P-beschikbaarheid kan het beste in de gemeten waarden gezien worden (Figuren 3 en 4). Gemiddeld over de behandelingen neemt de P-beschikbaarheid af bij Pw-getal en P-Spurway. Bij P-AL-getal neemt de beschikbaarheid van 0 tot 4 weken toe, en vervolgens weer af. Bij P-CaCl₂ neemt de beschikbare P af tussen 0 en 4 weken incubatie, en na 8 weken weer toe. Wanneer de afzonderlijke behandelingen beschouwd worden, zijn er geen significante verschillen in de loop van de tijd. Dat geeft aan dat vastlegging aan de grond relatief langzaam verloopt. Een aantal maanden tussen toediening en de groei van het gewas is dan niet nadelig voor de P-beschikbaarheid.

Toediening van stalmest verhoogt de P-beschikbaarheid significant bij alle parameters. Dat is ook het geval voor tripelsuperfosfaat bij P-CaCl₂, P-AL-getal. Voor de overige meststoffen zijn er geen significante veranderingen van de P-beschikbaarheid. Dat het effect van stalmest groter is dan dat van de andere meststoffen hangt samen met de hogere gift (Tabel 10).



Figuur 3. Gemeten waarden voor beschikbaar fosfor bij toediening van verschillende organische meststoffen aan zandgrond uit 't Zand, bij incubatie in de klimaatcel. De beschikbaarheidsparameters zijn P-CaCl₂ (=PPAE), P-AL-getal, Pw-getal en P-Spurway. TSP = tripelsuperfosfaat, blanco = geen P toediening. LSD's (grondsoort * meststof * tijd): P-CaCl₂: 3,3 mg P/kg, P-AL-getal: 6 mg P₂O₅/(100 g); Pw-getal: 25 mg P₂O₅/l; P-Spurway: 23 kg P/ha per 10 cm bouwvoor).

De verschillende bepalingmethoden voor de P-beschikbaarheid geven een verschillend beeld: Bij P-AL-getal is het effect van toevoeging van meststoffen relatief klein. Dat komt omdat bij deze beschikbaarheidsbepaling het meeste fosfor geëxtraheerd wordt. In het onbemeste object werd gemiddeld over de incubatieperiode 50% van P-totaal (Tabel 9) geëxtraheerd. Met P-CaCl₂, Pw-getal en P-Spurway was dit, respectievelijk, 1, 5 en 4%¹¹. De bijdrage van P uit de meststoffen aan de verhoging van het P-AL-getal is relatief klein (7 tot 34% van P-totaal).



Figuur 4. Gemeten waarden voor beschikbaar fosfor bij toediening van verschillende organische meststoffen aan zandgrond uit Lisse, bij incubatie in de klimaatcel. De beschikbaarheidsparameters zijn P-CaCl₂ (=P-PAE), P-AL-getal, Pw-getal en P-Spurway. TSP = tripelsuperfosfaat, blanco = geen P toediening. . LSD's (grondsoort*meststof* tijd): P-CaCl₂: 3,3 mg P/kg, P-AL-getal: 6 mg P₂O₅/(100 g); Pw-getal : 25 mg P₂O₅/l; P-Spurway: 23 kg P/ha per 10 cm bouwvoor).

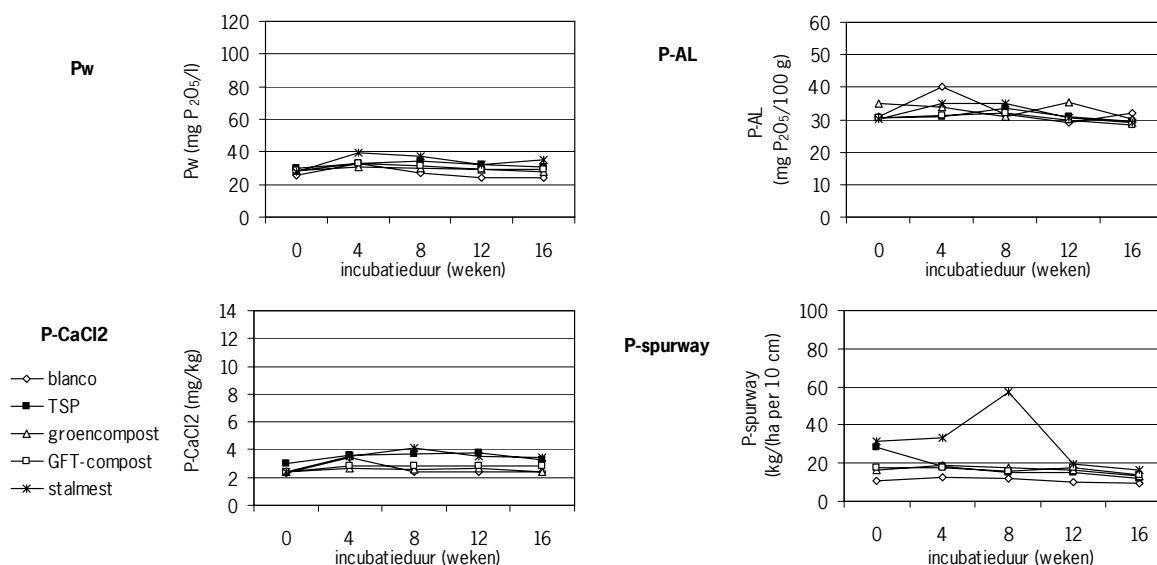
4.1.2 Veldproef

Gemiddeld over de behandelingen neemt tussen 0 en 4 weken de P-beschikbaarheid bij Pw-getal en P-CaCl₂ significant toe. Doordat een submonster genomen wordt is er kans dat de invloed van de meststoffen op de P-beschikbaarheid niet waargenomen wordt, met name aan het begin van de incubatie, als nog nauwelijks transport van P uit de meststoffen heeft plaatsgevonden en waardoor bodemprocessen nog niet met eenzelfde invloed als bij de incubatieproef actief zijn. Dit geldt in theorie het sterkst voor tripelsuperfosfaat, dat bij toediening verreweg het kleinste volume in de grond inneemt, met 0,600 kg per veldje, ongeveer 0,01% van de bouwvoor in het veldje. Ook het submonster is klein. Dat verklaart waarom er in de veldproef na 4 weken meer fosfaat wordt waargenomen dan aan het begin van de incubatie, en in de incubatie in de klimaatcel niet. Na 4 weken neemt de P-beschikbaarheid weer af bij Pw-getal, P-AL getal en P-CaCl₂. Bij P-Spurway begint de afname na 8 weken. In het algemeen is, even als bij de incubatie in de klimaatcel, de afname gering. Wanneer het tijdsverloop per behandeling bekeken wordt, zijn er geen significante verschillen.

Stalmest verhoogt de P-beschikbaarheid significant, behalve bij het P-AL-getal. Tripelsuperfosfaat verhoogt de P-beschikbaarheid significant bij P-CaCl₂. De overige meststoffen geven geen significante verhoging van de P-beschikbaarheid.

¹¹ Hierbij is uitgegaan van een droge bulkdichtheid van 1,36 kg/l bij omrekening van Pw-getal en 1,45 kg/l bij omrekening van de P-Spurway van hoeveelheden per liter grond naar hoeveelheden per kg grond.

In de veldproef is er een grotere variatie in de metingen dan bij de incubatie in de klimaatcel (Figuur 5). Dat wordt verklaard door de genoemde verschillen in proefuitvoering (zie paragraaf 3.3) Er zijn uitbijters bij alle parameters behalve Pw-getal. Daarnaast is de gemeten toename van de P-beschikbaarheid lager dan bij de incubatie in de klimaatcel. Ook dat is een gevolg van de heterogeniteit in de grond, waardoor de bodemprocessen langzamer verlopen. Daarnaast kan het zijn dat in het monster (2 l, 0,05% van de bouwvoor in het veldje, verdeeld over 30 steken) plekken met een relatief hoog fosfaatgehalte niet gemeten zijn. De fosfaat uit de meststoffen is dan nog niet meetbaar verdeeld over de grond.



Figuur 5. Gemeten waarden voor beschikbaar fosfor bij toediening van verschillende organische meststoffen aan zandgrond uit Lisse, bij de veldproef. De beschikbaarheidsparameters zijn P-CaCl₂ (=P-PAE), P-AL-getal, Pw-getal en P-Spurway. TSP = tripelsuperfosfaat. Alleen de hoofdeffecten meststof en tijdstip gaven significante verschillen, meststof*tijdstip was niet significant.

4.2 Fosforelementrendement in de grond

4.2.1 Incubatieproef in de klimaatcel

Het niveau van PER_{grond} verschilt tussen de beschikbaarheidsparameters. Van de goed oplosbare tripelsuperfosfaat wordt op de verschillende tijdstippen gemiddeld bij Pw-getal 25% gemeten, bij P-CaCl₂ 13%, bij P-AL-getal 65%, en bij P-Spurway 41%. Dat geeft aan dat de beschikbaarheidsparameters een verschillende basis hebben als vervolgens de PWF (paragraaf 4.3) berekend wordt.

Gemiddeld over de behandelingen is PER_{grond} hoger in 't Zand dan in Lisse. Dat betekent dat de meststoffen in Lisse sterker aan de grond gebonden worden dan in 't Zand. Het fosfaatbindend vermogen (de som van Fe-ox en Al-ox, Tabel 9) en de bezetting hiervan met fosfor (P-ox, Tabel 9) zijn voor beide gronden ongeveer gelijk. Het kalkgehalte is in 't Zand hoger dan in Lisse (Tabel 9), waardoor verwacht zou worden dat juist de grond in 't Zand fosfor sterker bindt.

Gemiddeld daalt de PER_{grond} in de loop van de incubatie bij P-CaCl₂, Pw-getal en P-Spurway. Dat wijst er op dat fosfor uit de meststoffen in de loop van de incubatie sterker aan de grond gebonden wordt. De variatie in de loop van de tijd is bij het P-AL-getal het grootst en bij P-CaCl₂ en P-Spurway het kleinst.

Gemiddeld over alle behandelingen is PER_{grond} voor de verschillende meststoffen en bij verschillende analysemethoden weergegeven in Tabel 12. Van de meststoffen heeft tripelsuperfosfaat in alle gevallen

significant de hoogste PER_{grond} . Alleen bij P-Spurway is PER_{grond} voor stalmest even hoog als bij TSP. PER_{grond} is voor de compostsoorten het laagst, stalmest neemt een tussenpositie in. ER is geen verschil in PER_{grond} tussen groencompost en GFT-compost.

Tabel 11. Fosforelementrendement in de grond (PER_{grond} , in %) in de loop van de tijd bij incubatie in de klimaatcel, bij verschillende meststoffen in grond uit Lisse en 't Zand. LSD = kleinste significante verschil bij analyse van de interactie grondsoort-meststof-incubateduur.

Parameter	Grond	Meststof	Incubateduur, weken					Gemiddeld
			0	4	8	12	16	
P-CaCl ₂ LSD = 4	Lisse	GFT-compost	-1	-2	-2	-2	-2	-2
		groencompost	0	-1	-1	-1	0	-1
		stalmest	6	4	4	4	5	5
		TSP	10	9	9	8	8	9
	't Zand	GFT-compost	4	3	4	5	5	4
		groencompost	3	1	1	1	1	1
		stalmest	8	6	6	6	8	7
		TSP	22	17	16	16	14	17
P-AL-getal LSD = 47	Lisse	GFT-compost	4	1	38	33	58	27
		groencompost	11	-1	59	31	40	28
		stalmest	51	26	35	48	43	40
		TSP	48	65	78	105	80	75
	't Zand	GFT-compost	41	33	49	0	87	42
		groencompost	57	33	63	16	25	39
		stalmest	66	51	38	56	65	55
		TSP	63	36	117	(3)	55	55
Pw-getal LSD = 9	Lisse	GFT-compost	6	6	4	3	1	4
		groencompost	6	7	4	5	5	5
		stalmest	22	16	17	16	14	17
		TSP	22	20	17	22	14	19
	't Zand	GFT-compost	6	6	7	8	9	7
		groencompost	5	6	2	5	7	5
		stalmest	24	20	19	20	20	20
		TSP	33	34	29	32	23	30
P-Spurway LSD = 17	Lisse	GFT-compost	15	15	13	13	13	14
		groencompost	16	12	10	12	17	13
		stalmest	41	35	32	31	30	34
		TSP	39	28	28	26	26	29
	't Zand	GFT-compost	26	15	13	18	18	18
		groencompost	20	9	5	7	10	10
		stalmest	56	47	44	45	48	48
		TSP	73	51	45	48	46	53

Tabel 12. Gemiddeld fosforelementrendement in de grond (PER_{grond}) voor verschillende meststoffen bij incubatie in de klimaatcel. Getallen waar dezelfde letters bij staan, zijn niet significant verschillend binnen de kolom.

Meststof	Beschikbaarheidsparameter			
	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
GFT-compost	1 a	34 a	6 a	16 a
Groencompost	0 a	33 a	5 a	12 a
Stalmest	6 b	48 ab	19 b	41 b
TSP	13 c	65 b	25 c	41 b

Er waren verschillen in PER_{grond} tussen de partijen meststoffen, met name bij groencompost en stalmest (Tabel 13). De verschillen in PER_{grond} treden bij alle beschikbaarheidsparameters hetzelfde op: bijvoorbeeld is bij groencompost PER_{grond} altijd het laagst bij de partij van de Breekhoorn in Hoofddorp en het hoogst bij de partij van GP Groot in Alkmaar.

Tabel 13. Verschillen in fosforelementrendement in de grond (PER_{grond}) voor verschillende partijen bij incubatie in de klimaatcel. Getallen waar dezelfde letters bij staan, zijn niet significant verschillend van andere getallen voor dezelfde meststof in dezelfde kolom.

Meststof	Herkomst	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
Groencompost	A: Breekhoorn Hoofddorp	-3 a	20 a	1 a	-1 a
	B: Delta Voorschoten	0 b	35 a	4 a	12 b
	C: GP Groot Alkmaar	4 c	45 a	11 b	25 c
GFT-compost	A: HVCcompostering Middenmeer	2 a	54 b	7 a	21 b
	B: HVCcompostering Purmerend	1 a	15 a	5 a	15 ab
	C: Stercompost Alphen a/d Rijn	1 a	34 ab	5 a	12 a
Stalmest	A: Gangbaar Zuid-Holland	5 a	42 a	18 a	38 a
	B: Eko Zuid-Holland	4 a	40 a	15 a	35 a
	C: Gangbaar Noord-Holland	8 b	61 a	23 b	49 b

4.2.2 Veldproef

De waarden van PER_{grond} bij de veldproef zijn gegeven in Tabel 14. Het niveau van PER_{grond} verschilt tussen de beschikbaarheidsparameters. Van de goed oplosbare tripelsuperfosfaat wordt bij P-CaCl₂ 5% gemeten, bij P-AL-getal -39%, bij Pw-getal 9% en bij P-Spurway 23%. Bij P-AL-getal is de spreiding zo groot dat de gevonden waarden wel wat zeggen over de heterogeniteit in het veld, maar niet over de werkelijke waarde van PER_{grond} . Bij de overige parameters is de spreiding kleiner. Alleen is de PER_{grond} van tripelsuperfosfaat na vier weken bij P-CaCl₂ en Pw-getal zo laag (1 en 0%) dat hierbij geen werkingsfactor berekend kan worden.

Alleen bij Pw-getal en P-Spurway is een afname van PER_{grond} in de loop van de incubatie waar te nemen, vanaf vier weken na het begin. Bij P-CaCl₂ nemen de waarden van PER_{grond} eerst toe, en daarna af.

Tabel 14. P-elementrendement in de grond (PER_{grond} in %) in de loop van de veldproef, bij verschillende meststoffen in grond uit Lisse. LSD = kleinste significante verschil bij analyse van de interactie meststof-incubatieuur.

Parameter	Meststof	Incubatieuur, weken					gemiddeld
		0	4	8	12	16	
P-CaCl ₂	GFT-compost	0	-3	2	2	2	1
	groencompost	0	-4	1	1	0	0
LSD = 5	stalmest	0	1	8	5	5	4
	TSP	4	1	7	7	5	5
P-AL-getal	GFT-compost	-11	-180	3	17	-77	-50
	groencompost	79	-136	-16	130	-43	3
LSD = 144	stalmest	-20	-98	63	28	-52	-16
	TSP	-14	-206	42	41	-59	-39
Pw-getal	GFT-compost	4	0	6	7	7	5
	groencompost	4	-3	4	7	5	4
LSD = 15	stalmest	3	11	15	11	16	11
	TSP	7	0	11	12	10	8
P-Spurway	GFT-compost	22	16	13	22	13	17
	groencompost	20	21	19	21	12	18
LSD = 72	stalmest	61	69	-	29	22	44
	TSP	62	19	10	16	7	23

Tabel 15. Gemiddeld P-elementrendement in de grond (PER_{grond}) voor verschillende meststoffen bij de veldproef. Getallen waar dezelfde letters bij staan, zijn niet significant verschillend binnen de kolom.

Meststof	Beschikbaarheidsparameter			
	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
GFT-compost	1 ab	-	5 a	18 a
Groencompost	0 a	-	4 a	17 a
Stalmest	4 bc	-	12 a	44 a
TSP	5 c	-	9 a	23 a

Gemiddeld is er geen significant verschil in PER_{grond} tussen de compostsoorten (Tabel 15). Stalmest heeft een hogere PER_{grond} bij P-CaCl₂ en P-Spurway. Bij P-Spurway heeft stalmest ook een aanzienlijk hogere PER_{grond} dan tripelsuperfosfaat. Met Pw-getal worden geen verschillen in PER_{grond} vastgesteld.

Er werden één verschil vastgesteld tussen partijen meststoffen. Bij Pw-getal hadden de gangbare stalmestsoorten uit Zuid-Holland en Noord-Holland een hogere PER_{grond} dan de Eko-stalmest uit Zuid-Holland. Bij overige meststoffen en beschikbaarheidsparameters waren er geen partijverschillen.

4.3 Fosfaatwerkingsfactor

4.3.1 Incubatieproef in de klimaatcel

Het niveau en de spreiding van de fosfaatwerkingsfactor (PWF) verschilt tussen de beschikbaarheidsparameters (Tabel 16 en 17). De verschillen zijn echter kleiner dan voor PER_{grond} . Opvallend is dat met P-CaCl₂ geen werking van GFT-compost en groencompost gemeten wordt, terwijl er bij de andere parameters wel een aanzienlijke werking is.

De PWF is voor stalmest aanzienlijk hoger dan voor de beide compostsoorten (Tabel 17).

De PWF was bij P-CaCl₂ en P-AL-getal hoger voor de grond uit 't Zand dan voor de grond uit Lisse. Bij Pw-getal was er geen verschil en bij P-Spurway was PWF hoger voor de grond uit Lisse.

Gemiddeld over de behandelingen is de PWF het hoogst aan het eind van de incubatie (Tabel 16). Dat is te verklaren doordat tripelsuperfosfaat, het snelst in oplossing komt in de grond en dan ook weer het snelst in de grond vastgelegd wordt. De organische meststoffen zijn dan, naarmate de proeven langer duren, relatief beter beschikbaar. Er is echter wel een tendens dat PWF eerst licht daalt (behalve bij P-Spurway), en dan tussen 12 en 16 weken incubatie sterk toeneemt.

Tabel 16. Fosfaatwerkingsfactor (PWF in %) in de loop van de tijd bij incubatie in de klimaatcel, bij verschillende meststoffen in grond uit Lisse en 't Zand. LSD = kleinste significante verschil bij analyse van de interactie grondsoort-meststof-incubateduur.

Parameter	Grond	Meststof	Incubateduur, weken					Gemiddeld
			0	4	8	12	16	
P-CaCl ₂ LSD = 37	Lisse	GFT-compost	<0	<0	<0	<0	<0	<0
		groencompost	2	<0	<0	<0	<0	<0
		stalmest	56	47	43	55	66	53
	't Zand	GFT-compost	17	16	27	33	34	25
		groencompost	13	8	5	5	4	7
		stalmest	35	33	35	41	56	40
P-AL-getal LSD = 93	Lisse	GFT-compost	9	1	49	31	73	33
		groencompost	22	-2	76	29	50	35
		stalmest	106	40	44	45	54	58
	't Zand	GFT-compost	65	91	42	-*	159	89
		groencompost	92	92	54	-*	45	69
		stalmest	105	142	32	-*	118	96
Pw-getal LSD = 36	Lisse	GFT-compost	28	29	21	15	10	21
		groencompost	29	35	22	23	38	29
		stalmest	96	83	102	76	104	92
	't Zand	GFT-compost	19	18	25	26	41	26
		groencompost	15	17	8	16	32	18
		stalmest	71	58	65	62	88	69
P-Spurway LSD = 44	Lisse	GFT-compost	39	54	46	52	48	48
		groencompost	40	43	37	47	65	46
		stalmest	105	125	114	121	115	116
	't Zand	GFT-compost	36	30	29	38	39	34
		groencompost	27	19	11	15	21	18
		stalmest	78	92	96	93	103	92

* Niet berekend vanwege uitbijter in PER_{grond} van tripelsuperfosfaat (zie Tabel 11).

Tabel 17. Gemiddelde fosfaatwerkingsfactor (PWF, in %) voor verschillende meststoffen bij de incubatieproef in de klimaatcel. Getallen waar dezelfde letters bij staan, zijn niet significant verschillend binnen de kolom.

Meststof	Beschikbaarheidsparameter			
	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
GFT-compost	<0 a	52 a	23 a	32 a
Groencompost	3 a	61 a	23 a	41 a
Stalmest	47 b	77 a	81 b	104 b

Tabel 18. Verschillen in fosfaatwerkingsfactor (PWF) voor verschillende partijen bij incubatie in de klimaatcel. Getallen waar dezelfde letters bij staan, zijn niet significant verschillend van andere getallen voor dezelfde meststof in dezelfde kolom.

Meststof	Herkomst	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
Groencompost	A: Breekhorn Hoofddorp	<0 a	21 a	5 a	<0 a
	B: Delta Voorschoten	<0 b	62 ab	16 a	34 b
	C: GP Groot Alkmaar	31 c	73 b	49 b	65 c
GFT-compost	A: HVCcompostering Middenmeer	7 a	97 b	30 a	53 b
	B: HVCcompostering Purmerend	<0 a	23 a	19 a	37 a
	C: Stercompost Alphen a/d Rijn	1 a	62 ab	20 a	33 a
Stalmest	A: Gangbaar Zuid-Holland	43 a	65 a	78 a	98 a
	B: Eko Zuid-Holland	31 a	67 a	64 a	88 a
	C: Gangbaar Noord-Holland	66 b	98 a	100 b	127 b

Er zijn verschillen in PWF tussen partijen (Tabel 18). De verschillen in PWF treden bij alle beschikbaarheidsparameters op eenzelfde wijze op: bijvoorbeeld bij groencompost is PWF altijd het laagst bij de partij van de Breekhorn in Hoofddorp en het hoogst bij de partij van GP Groot in Alkmaar.

4.3.2 Veldproef

Bij de veldproef is de PWF van de organische meststoffen hoger dan in de incubatieproef in de klimaatcel. Blijkbaar verhoogt de heterogene verdeling van organische meststoffen, relatief ten opzichte van het homogener verdeelde tripelsuperfosfaat, de beschikbaarheid van fosfaat. Bij de incubatie in de klimaatcel zijn de meststoffen eerst gedroogd en gemalen. Daar treedt verschil in heterogeniteit niet op. Wel kan het zijn dat het drogen van de organische meststoffen voor de incubatieproef de beschikbaarheid van fosfaat verlaagt, zodat hier een lagere PWF gemeten wordt dan bij de verse meststoffen in de veldproef.

De PWF is het hoogst bij P-Spurway, gevolgd door Pw-getal en tenslotte P-CaCl₂.

De PWF neemt bij P-CaCl₂ en P-Spurway toe tussen 0 en 8 weken incubatie. BPw-getal verandert de PWF niet significant in de loop van de tijd. ER zijn geen betrouwbare verschillen tussen meststoffen (Tabel 20). De PWF verschilde wel tussen de partijen van dezelfde meststof (Tabel 21).

Tabel 19. Fosfaatwerkingsfactor (PWF, in %) in de loop van de veldproef, bij verschillende meststoffen in grond uit Lisse. LSD = kleinste significante verschil bij analyse van de interactie meststof-incubateduur.

Parameter		Meststof					gemiddeld
		0	4	Incubateduur, weken			
				8	12	16	
P-CaCl ₂	GFT-compost	14	-	26	31	47	29
	groencompost	5	-	12	18	6	10
	stalmest	12	-	117	77	111	79
<i>LSD = 9</i>							
Pw-getal	GFT-compost	68	-	52	55	73	62
	groencompost	67	-	34	60	53	53
	stalmest	49	-	131	94	157	108
<i>LSD = 114</i>							
P-Spurway	GFT-compost	35	85	121	143	186	114
	groencompost	32	109	187	132	179	128
	stalmest	100	367	-	187	329	254
<i>LSD = 324</i>							

Tabel 20. Gemiddelde fosfaatwerkingsfactor (PWF) voor verschillende meststoffen bij de veldproef. Er zijn geen significante verschillen tussen de meststoffen.

Meststof	Beschikbaarheidsparameter			
	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
GFT-compost	29	-	62	114
Groencompost	10	-	53	128
Stalmest	79	-	108	254

Tabel 21. Verschillen in fosfaatwerkingsfactor (PWF) voor verschillende partijen bij de veldproef. Getallen waar dezelfde letters bij staan, zijn niet significant verschillend van andere getallen voor dezelfde meststof in dezelfde kolom.

Meststof	Herkomst	P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
Groencompost	A: Breekhoorn Hoofddorp	<0 a	-	5 a	6 a
	B: Delta Voorschoten	6 b	-	16 a	163 ab
	C: GP Groot Alkmaar	39 b	-	49 b	215 b
GFT-compost	A: HVCcompostering Middenmeer	<0 a	-	30 a	15 a
	B: HVCcompostering Purmerend	43 b	-	19 a	69 b
	C: Stercompost Alphen a/d Rijn	61 b	-	20 a	258 ab
Stalmest	A: Gangbaar Zuid-Holland	136 b	-	78 a	440 b
	B: Eko Zuid-Holland	61 a	-	64 a	90 a
	C: Gangbaar Noord-Holland	41 a	-	100 b	207 a

4.4 Bespreking van de proefgegevens

Het doel van de proeven beschreven in hoofdstukken 3 en 4 was de werking van fosfaat in organische meststoffen op korte termijn vast te stellen, voor bollenteelt in het westelijk zandgebied. Hiervoor is een incubatieproef uitgevoerd onder gecontroleerde omstandigheden, in de klimaatcel, en een veldproef. De incubatieproef in de cel leverde resultaten over de 'potentiële' beschikbaarheid van fosfaat in de meststoffen, bij een fijne verdeling van de meststoffen, en de veldproef over de actuele beschikbaarheid, zoals die in het veld te verwachten is.

Niveau van de fosfaatbeschikbaarheid en de fosfaatwerking

De beschikbaarheid van P uit de meststoffen, gemeten met verschillende chemische analysemethoden, was lager in het veld dan in de incubatie in de klimaatcel. Het is echter niet duidelijk of de beschikbaarheid voor het gewas ook lager was. In de veldproef is met een guts een monster genomen van de bouwvoor. Het gewas doorwortelt een groot deel van de bouwvoor, en heeft daardoor een grotere kans de fosfaat in de heterogeen verdeelde meststoffen te onderscheppen dan bij bemonstering met een guts mogelijk is. De beschikbaarheid voor het gewas is daardoor naar verwachting hoger dan die bij de PER_{grond} na bemonstering met de guts in het veld gevonden werd.

De fosfaatwerkingsfactor van de organische meststoffen was in de veldproef echter hoger dan in de incubatieproef in de klimaatcel. Blijkbaar verhoogde de heterogene verdeling van organische meststoffen de beschikbaarheid van fosfaat, relatief ten opzichte van tripelsuperfosfaat. Dat komt doordat er minder contact was tussen P in een brok mest of compost en de bodemdeeltjes waaraan fosfaat vastgelegd kan worden, dan bij P in gemalen, door de grond gemengde meststoffen. Bij tripelsuperfosfaat was het verschil tussen veld en incubatie in de klimaatcel kleiner, omdat de kunstmestkorrels kleiner zijn dan de brokken van de organische meststoffen, en omdat de P in de kunstmest sneller oplost in het bodemvocht. Een andere mogelijkheid is dat het drogen van de meststoffen voor aanvang van de incubatieproef de beschikbaarheid van fosfaat in de organische meststoffen meer verlaagde dan die van fosfaat in tripelsuperfosfaat.

De fosfaatwerkingsfactor was voor stalmest hoger dan voor GFT-compost en groencompost. Dat komt overeen met de verschillen in fosfaatwerking op de korte termijn die gemiddeld over andere studies gevonden zijn (Tabel 6). Er zijn twee eerdere studies waarin de fosfaatwerking van compost en stalmest in dezelfde proef gemeten is. In de ene was er geen verschil in P-werking tussen stalmest en compost (Tabel 4, Meena et al., 2007). In de andere hingen verschillen in de fosfaatwerking af van grondsoort (zavel of duinzand) en beschikbaarheidsparameter (Pw-getal of P-AL-getal) (Ehlert et al., 2004).

Variatie in de fosfaatbeschikbaarheid en de fosfaatwerking

Binnen de proeven trad een aanzienlijke variatie op in de beschikbaarheid en de werking van fosfaat uit de meststoffen. Dat is door een aantal factoren veroorzaakt. De grond uit Lisse bond fosfaat sterker dan grond uit 't Zand waardoor de PER_{grond} lager was bij 'Lisse' (Tabel 11). Dat is niet te verwachten als alleen de chemische analyse van de grond (Tabel 9) in beschouwing genomen wordt: vrijwel alle eigenschappen die de P-binding van de grond beïnvloeden waren ongeveer gelijk bij beide partijen grond. In 't Zand was het kalkgehalte hoger dan in Lisse, maar dat zou juist tot meer binding van fosfaat kunnen leiden. Uit de verschillen in Tabel 11 is af te leiden dat er binnen het westelijk zandgebied variatie in P-beschikbaarheid optreedt. Het verschil tussen de grondsoorten had echter niet het verwachte effect op de fosfaatwerkingsfactor. Te verwachten is dat bij een sterkere binding van fosfaat aan de grond de werkingsfactor voor de organische meststoffen hoger wordt. Die was echter lager bij de grond uit Lisse dan bij de grond uit 't Zand, behalve bij P-Spurway.

Een tweede factor die leidde tot variatie in de fosfaatbeschikbaarheid en de fosfaatwerking is de herkomst van de meststoffen. Met name bij groencompost traden grote verschillen in fosfaatwerking op bij de incubatieproef in de klimaatcel (Tabel 18). In het veld traden bij alle meststoffen grote verschillen op (Tabel 21).

Verder traden er verschillen op tussen incubatieproef en veldproef. De veldproef gaf een beter beeld van het niveau van de P-werking op korte termijn, omdat de proefomstandigheden de praktijk beter benaderden (verse meststoffen, niet gemalen). Mogelijk werd de fosfaatwerking hierbij nog onderschat, omdat, in theorie, een gewas een betere toegang heeft tot fosfaat in de brokken van de meststoffen dan een grondboor, waarmee slechts een klein deel van de bouwvoor in een beperkt aantal steken bemonsterd kan worden. Verschillen tussen de meststoffen werden echter nauwkeuriger vastgesteld in de incubatieproef.

Welke van de beschikbaarheidsparameters het beste beeld geeft van de werking van de meststoffen is niet zeker vast te stellen. Wel bleek bij het P-AL-getal de spreiding groot doordat een relatief groot deel van de aan de bodemgebonden fosfaat, met de bijbehorende spreiding, gemeten werd. De beschikbaarheid nam dan door bemesting relatief weinig toe ten opzichte van onbemeste grond. Daardoor was het P-AL-getal een

minder goede maat om de fosfaatwerkingsfactor onder de omstandigheden van deze proefuitvoering te meten. Het Pw-getal gaf een beduidend lagere werking dan die gebaseerd op het P-AL-getal. Dit heeft tenminste drie oorzaken.

- Het fosfaat van kunstmest draagt bij aan de verhoging van het fosfaatgehalte in het bodemvocht en de fractie makkelijk uitwisselbaar fosfaat terwijl het fosfaat van organische meststoffen daarnaast ook bijdraagt aan de verhoging van de voorraad moeilijk uitwisselbaar fosfaat en de voorraad organisch gebonden fosfaat.
- De bepaling van de Pw-getal betreft een extractie van fosfaat uit een grondmonster met water. Die extractie wordt afgebroken voordat er een evenwicht wordt bereikt. Er is echter meer fosfaat aanwezig dat gewas beschikbaar is, dan met Pw-getal wordt bepaald. Het P-AL-getal bepaalt dat gewasbeschikbare fosfaat wel.
- Het P-AL-getal bepaalt ook een deel van het fosfaat dat niet makkelijk uitwisselbaar is en dus niet direct gewasbeschikbaar is.

Bij P-CaCl₂ wordt juist een relatief klein deel van de fosfaat in de grond en de meststoffen gemeten, doordat een deel van de fosfaat in oplossing wordt vastgelegd door de calcium in de extractievloeistof. Zo wordt aan het begin van de incubatieproef in de klimaatceel van de goed oplosbare, gemalen tripelsuperfosfaat slechts 10% (Lisse) tot 22% ('t Zand) gemeten (Tabel 11), minder dan bij de andere beschikbaarheidsparameters. Bij het Pw-getal en P-Spurway wordt meer fosfaat gemeten dan bij P-CaCl₂ en minder dan bij het P-AL-getal. Het Pw-getal wordt gebruikt als basis van het bemestingsadvies voor éénjarige gewassen, waaronder bolgewassen (Van Dam et al., 2004). Er is dus bij bepaling van fosfaat in de grond met het Pw-getal een verband tussen de gemeten waarde en de beschikbaarheid van fosfaat voor het gewas. De opbrengstreactie is dus gecalibreerd voor fosfaattoestand en fosfaatbemesting. Hoe die calibraties geïjkt zijn voor P-CaCl₂ en P-Spurway is niet in publiektoegankelijke bestanden aangetroffen. Calibraties gelden voor situatie met onbemeste grond. Het is niet bekend hoe dit verband ligt voor fosfaat die recent is toegevoegd met meststoffen. Ook voor P-Spurway is dit niet bekend.

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

In dit onderzoek zijn een analyse van literatuurgegevens (hoofdstuk 2) en twee proeven (hoofdstuk 3 en 4) uitgevoerd om aan de doelstellingen te voldoen.

Het eerste doel van het onderzoek was om het belang aan te geven van kennis van de beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen in het eerste jaar na toediening op duinzandgrond vast te stellen. Dat is gebeurd in de literatuuranalyse. Hieruit blijkt dat de beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen in het eerste jaar aanzienlijk lager kan zijn dan die van fosfaat in kunstmest (Tabel 4 en Tabel 6). Als hier bij toepassing van het bemestingsadvies voor bolgewassen geen rekening mee gehouden wordt, bestaat het risico dat een te lage fosfaatgift toegediend wordt, waardoor er kans bestaat op opbrengstderving. Het risico hierop neemt toe naarmate de beschikbaarheid van fosfaat in de grond daalt ten gevolge van aanscherping van gebruiksnormen. Op basis van deze conclusie is besloten tot uitvoering van de proeven die in hoofdstuk 3 en 4 beschreven zijn.

Het tweede doel van het onderzoek is vaststelling van de eerstejaars-beschikbaarheid van organische meststoffen bij bloembollenteelt op duinzandgrond. Hiervoor zijn twee bronnen gebruikt: de proeven in dit onderzoek en de proef beschreven door Ehlert en anderen (2004b). De resultaten zijn samengevat in Tabel 22. De beschikbaarheid is weergegeven als fosfaatwerkingsfactor (definitie zie paragraaf 2.3.1), waarbij tripel-superfosfaat de referentiemeststof is. De veldproef gaf beter het niveau van de fosfaatwerkingsfactor aan voor de praktijk dan de incubatie onder gecontroleerde omstandigheden (zie ook paragraaf 4.4), omdat de omstandigheden in de veldproef meer lijken op die in de praktijk.

Bij de gegevens uit het veld is de beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest niet veel lager ($P\text{-CaCl}_2$), vergelijkbaar met ($P\text{w-ge}t\text{al}$) of veel hoger ($P\text{-Spurway}$) dan die van fosfaat uit tripelsuperfosfaat. De orde van grootte volgt de sterkte van het extractiemiddel in samenhang met de schudverhouding: $P\text{-CaCl}_2 < P\text{w-ge}t\text{al} < P\text{-Spurway} < P\text{-AL-ge}t\text{al}$. Naarmate de methode meer geschikt is voor het vaststellen van de capaciteit van de bodem om fosfaat te binden, wordt een hogere waarde gevonden.

Voor stalmest hoeft daarom bij het gewasgerichte bemestingsadvies nauwelijks rekening te worden gehouden met afwijkende beschikbaarheid ten opzichte van fosfaat uit kunstmest. Bij GFT-compost en groencompost is de werking van fosfaat lager dan bij stalmest volgens $P\text{-CaCl}_2$ en $P\text{w-ge}t\text{al}$. Deze lagere werking dient betrokken te worden bij het opstellen van het bemestingsplan.

Tenslotte had het onderzoek als doel de beschikbaarheid van fosfaat bij veeljarige toepassing vast te stellen. Hiervoor zijn geen gegevens van duinzandgrond beschikbaar. Uit de analyse van andere studies blijkt dat de lange termijnwerking van stalmest gemiddeld rond 90% is (Tabel 24). Voor compost ligt dit wat lager, rond 70%. Daarbij wordt aangetekend dat er in slechts twee studies de fosfaatwerking op lange termijn voor compost onderzocht is, en dat de spreiding in de fosfaatwerking in alle studies aanzienlijk is. Er blijft daardoor nog onzekerheid bestaan over de lange termijnwerking van compost. Compost bestaat voor tenminste 70% uit grond. Het is daarom begrijpelijk dat de lange termijnwerking lager is dan die van kunstmestfosfaat.

De gemiddelde fosfaatwerking van compost ligt met 70% boven het deel van de fosfaat die meegeteld moet worden als aanvoer binnen de fosfaatgebruiksnorm. Op dit moment (2008) wordt van fosfaat in compost 50% als aanvoer gerekend, de rest is vrijgesteld in de 'fosfaatvrije voet'. Er wordt maximaal 3.5 kg P_2O_5 per ton droge stof vrijgesteld.

Tabel 22. Gemiddelde fosfaatwerkingsfactor (PWF, in %) op korte termijn (< 1 jaar) van organische meststoffen op duinzandgrond in twee studies, afhankelijk van type proef en beschikbaarheidsparemeter. De cijfers zijn afgerond op tientallen.

Bron	Type proef	Meststof	Beschikbaarheidsparemeter			
			P-CaCl ₂	P-AL-getal	Pw-getal	P-Spurway
Hoofdstuk 4	veld	GFT-compost	30	-	60	110
		groencompost	10	-	50	130
		stalmest	80	-	110	250
	incubatie	GFT-compost	<0	50	20	30
		groencompost	0	60	20	40
		stalmest	50	80	80	100
Ehlert e.a., 2004b	incubatie	GFT-compost	-	130	50	-
		stalmest	-	70	50	-

Voor andere grondsoorten kan uitgegaan worden van de gemiddelde werking van fosfaat in organische meststoffen die in de literatuuranalyse gegeven is (Tabel 23).

Tabel 23. Gemiddelde fosfaatwerkingsfactor (PWF, in %) op korte termijn (< 1 jaar) van stalmest en compost. De gegevens zijn gemiddelden van fosfaatwerkingscoëfficiënten en -werkingsfactoren in de literatuuranalyse, overgenomen uit Tabel 6 en afgerond op tientallen. Het bereik wordt tussen haakjes gegeven.

Meststof	Grondsoort		
	zand	klei	alle grondsoorten
Stalmest	80	70	80
Compost	70	60	60

Tabel 24. Gemiddelde fosfaatwerkingsfactor (PWF, in %) op lange termijn (> 1 jaar) van stalmest en compost. De gegevens zijn gemiddelden van fosfaatwerkingscoëfficiënten en -werkingsfactoren in de literatuuranalyse, overgenomen uit Tabel 6 en afgerond op tientallen. Het bereik wordt tussen haakjes gegeven.

Meststof	Grondsoort		
	zand	klei	alle grondsoorten
Stalmest	90	90	90
Compost		60	70

5.2 Implicaties voor de praktijk

Zoals bij de conclusies reeds verwoord, is de beschikbaarheid fosfaat in compost zowel op de korte als op de lange termijn lager dan die van fosfaat uit kunstmest. De beschikbaarheid van fosfaat uit stalmest is niet veel lager, en soms hoger dan die van fosfaat uit kunstmest.

De implicaties voor het bemestingsadvies zijn:

- Fosfaat in stalmest moet voor 80 tot 100% meegerekend worden bij het gewasgerichte bemestingsadvies. Fosfaat in compost kan gedeeltelijk meegerekend worden. Welk deel van de fosfaat in compost als werkzaam beschouwd wordt, is, gezien de verschillen tussen de beschikbaarheidsparemeters, niet heel onomstotelijk vast te stellen. Bij een bemestingsadvies dat gebaseerd is op het Pw-getal lijkt het logisch uit te gaan van de fosfaatwerkingsfactor bij het Pw-getal, namelijk 60%.

- Bij het bodemgerichte bemestingsadvies kan fosfaat in stalmest voor 90% als werkzaam beschouwd worden, en fosfaat in compost voor 70%.

Omdat de spreiding in fosfaatwerking van de organische meststoffen zeer groot is wordt geen verschil gemaakt tussen duinzandgrond en overige grondsoorten.

In de praktijk is de fosfaatbemesting met organische meststoffen aan grote spreiding onderhevig. Ten eerste is vaak bij toediening niet bekend hoe hoog het fosfaatgehalte in de meststof is: bij dierlijke mest wordt dit pas achteraf bekend, bij compost wordt bij aflevering een fosfaatgehalte gegeven dat i.h.a. gemeten is in een veel grotere partij dan alleen de afgeleverde vracht. Daarnaast zijn organische meststoffen minder precies te doseren dan kunstmest. Als de spreiding in de fosfaatwerkingsfactor in beschouwing genomen wordt, wordt de onzekerheid in de effectiviteit van fosfaatbemesting met organische meststoffen nog vergroot.

In de bollenteelt in het westelijk zandgebied wordt het grootste deel van de fosfaatbemesting uitgevoerd met stalmest en compost, omdat deze meststoffen ook gebruikt worden voor het noodzakelijke onderhoud van de voorraad aan organische stof in de grond. Daarbij ligt in het algemeen de aangevoerde hoeveelheid fosfaat aanzienlijk boven het gewasgerichte bemestingsadvies. Zolang dat het geval is, is er geen reden tot zorg m.b.t. de fosfaatvoorziening van het gewas. Als fosfaataanvoer niet hoger is dan het gewasgerichte bemestingsadvies, moet wel rekening gehouden worden met de spreiding in de fosfaataanvoer en de lagere werking van fosfaat in compost. Dat zal het eerst het geval zijn bij bemesting van Dahlia, het meest fosfaat-behoefte bol/knolgewas (gewasgroep 1 in het bemestingsadvies), en daarna mogelijk bij hyacint en krokus (gewasgroep 3 in het bemestingsadvies). De overige bolgewassen hebben relatief weinig fosfaat nodig (gewasgroep 4). Bij aanscherping van de fosfaatgebruiksnorm zal de fosfaattoestand van de grond naar verwachting dalen ten opzichte van het huidige niveau. Dan zal het vaker voorkomen dat het gewasgerichte fosfaatbemestingsadvies ongeveer even hoog is als de fosfaataanvoer die voor handhaving van het organische stofgehalte plaatsvindt.

Bij circa 70% werking van een meststof op lange termijn en aanscherping van fosfaatgebruiksnormen zal de fosfaattoestand van de grond dalen ten opzichte van de huidige situatie. Dat wordt geïllustreerd met de voorbeeldberekening in paragraaf 2.4, waarbij het Pw-getal daalt als er jaarlijks 60 kg P_2O_5 per ha wordt toegediend in de vorm van een organische meststof met een werking lager dan 100%. Hierbij blijft het Pw-getal echter dalen, terwijl in werkelijkheid er een nieuw evenwicht zal ontstaan. Er wordt in de voorbeeldberekening namelijk geen rekening gehouden met mogelijke nalevering van eerder toegediend fosfaat. Verder is de fosfaatuitspoeling in de voorbeeldberekening voor alle jaren gelijk gehouden terwijl die zal afnemen naarmate de fosfaattoestand daalt.

Literatuur

- Árendás, T. & Csathó, P., 2002.
Comparison of the effect of equivalent nutrients given in the form of farmyard manure or fertilizers in Hungarian long-term field trials. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 33 (15): 2861-2878.
- Barnett, G.M., 1994.
Phosphorus forms in animal manure. *Bioresource Technology* 49: 139-147.
- Barrow, N.J., 1975.
Chemical form of inorganic phosphate in sheep faeces. *Australian Journal of Soil Research* 13. 63-67.
- Black, C.A., 1992.
Soil fertility evaluation and control. Lewis publishers, Boca Raton, USA.
- Berge, H.F.M. ten, A.M. van Dam, B.H. Janssen & G.L. Velthof, 2007.
Mestbeleid en bodemvruchtbaarheid in de Duin- en Bollenstreek. Werkdocument 47, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur en Milieu, Wageningen UR (in druk).
- Blake, L., Mercik, S., Koerschens, M., Moskal, S., Poulton, P.R., Goulding, K.W.T., Weigel, A. & Powelson, D.S., 2000.
Phosphorus content in soil, uptake by plants and balance in three European long-term field experiments. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56: 263-275.
- Bril, J. & Salomons, W., 1990.
Chemical composition of animal manure: a modelling approach. In: P. del Castilho, W.H. Rulkens & W. Salomons (red). *Dierlijke mest problemen en oplossingen*. Proceedings. KNCV Symposia, blz. 201-222.
- Brüss, U., 2003.
Aufbereitung von Abwässern aus Bioabfallvergärungsanlagen und Rückgewinnung von Nährstoffen. In: Tagungsband zum Symposium 'Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Aabwasser und Abfall' des Umweltbundesamtes, Berlin, 6-7 februari 2003; S. 6/1-6/8.
- Burns, R.T., Moody, L.B., Walker, F.R. & Raman, D.R., 2001.
Laboratory and in-situ reductions of soluble phosphorus in swine waste slurries. *Environmental Technology* 22:1273-1278.
- Chardon, W.J., 1995.
Fosfaatvormen in dierlijke mest en hun effectiviteit. Verslag van een literatuuronderzoek. Rapport nr. 53. Instituut voor Agrobiologisch en Bodemvruchtbaarheidsonderzoek. Dienst Landbouwkundig Onderzoek.
- Cooperband, L., Bollero, G. & Coale, F., 2002.
Effect of poultry litter and composts on soil nitrogen and phosphorus availability and corn production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 62: 185-194.
- Dam, A.M. van, Kater, L.J.M. & Wees, N.S. van, 2004.
Adviesbasis voor de bemesting van bloembolgewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Bloembollen. PPO 708.

- Dalal, R.S., 1977.
Soil organic phosphorus. *Adv. Agronomy* 29:83-177.
- Dijk, W. van (ed.), 2003.
Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen. PPO Publicatie nr. 305. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.
- Dulk, P.R. den, 1963.
Organische meststoffen in de tuinbouw. Resultaten verkregen in proeven met stalmest, stadsvuil-compost en zuiveringsslibcompost in de groenteteelt en de fruitteelt in de volle grond. Verslagen van landbouwkundig onderzoekingen nr. 69,16. Centrum voor landbouwpublicaties en landbouw-documentatie, Pudoc, Wageningen.
- Ebeling, A.M., Cooperband, L.R. & Bundy, L.G., 2003.
Phosphorus availability to wheat from manures, biosolids, and an inorganic fertilizer. *Communications in soil science and plant analysis*, 34 (9&10): 1347-1365.
- Ebertseder, T. & Gutser, R., 2003.
Nutritional potential of biowaste compost. In: F. Amlinger, P. Dreher, S. Nortcliff & K. Weinfurter. *Applying compost benefits and needs. Seminar Proceedings, Brussels, 22-23 November 2001.* Federal Ministry of Agriculture, forestry, Environment and Water Management, Austria, and European Communities.
- Ehlert, P.A.I. & G.F. Koopmans, 2002.
Fosfaattoestanden op de praktijkbedrijven van Telen met toekomst. Een analyse van de situatie bij de start van het project. *Plant Research International, Wageningen.*
- Ehlert, P.A.I., Pasterkamp, H.P. & Brouwer, G. 2004a.
Fosfaatbehoefte van bloembollen; onderbouwing van de fosfaatbemestingsadviezen. *Alterra, 2004 (Alterra-rapport 990) - p. 112.*
- Ehlert, P.A.I., Pasterkamp, H.P. & Bolhuis, P.R., 2004b.
Effecten van organische bodemverbeterende middelen op de beschikbaarheid van fosfaat in de bodem op korte en lange termijn. *Alterra, 2004 (Alterra-rapport 991) - p. 56.*
- Ehlert, P.A.I., 2005.
Toepassing van de basisvruchtbenadering op fosfaat van compost. *Advies. Wettelijke onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 5. Wageningen.*
- Eghball, B. & Power, J.F., 1999.
Phosphorus- and Nitrogen-Based Manure and Compost Applications: Corn Production and Soil Phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63:895-901.
- Egnér, H., Riehm, H. & Domingo, W.R., 1960.
Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler* 26: 199-215.
- Faassen, H.G. van & Dijk, H. van., 1987.
Manure as a source of nitrogen and phosphorus in soils. In: Meer, H.G. van der, Unwin, R.J., Dijk, T.A. van, Ennik, G.C. (Eds.) *Animal manure on grassland and fodder crops. Fertilizer or waste? Developments in Plant and Soil Sciences, Volume 30:27-45.*

- Ferwerda, J.D., 1951.
Over de werking van stalmest op bouwland I. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken, No. 57.13. Ministerie van Landbouw, Visserij en Voedselvoorziening. Directie van de landbouw.
- Ferwerda, J.D., 1951.
Over de werking van stalmest op bouwland II. Verslag van een serie van 26 stalmestproefvelden op zandgrond in 1946 en 1947. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken, no. 57,16. Staatsdrukkerij uitgeverijbedrijf.
- Haan, S. de & Lubbers, J., 1976.
Resultaten van geregelde bemesting met stalmest op een proefveld van de dr. H.J. Lovinkhoeve in de Noordoostpolder. Bedrijfsontwikkeling 7: 762-765.
- Finck, A., 1992.
Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Duitsland, blz. 159.
- Fordham, A.W. & Schwertmann, U., 1977a.
Compositon and reaction of liquid manure (Gülle), with particular reference to phosphate: I. Analytical composition and reaction with poorly crystalline iron oxide (ferrihydrite). Journal of Environmental Quality 6: 133-136.
- Fordham, A.W. & U. Schwertmann, U., 1977b.
Compositon and reaction of liquid manure (Gülle), with particular reference to phosphate: II. Solid phase components. Journal of Environmental Quality 6: 136-140.
- Frossard, E., Skrabal, P., Sinaj, S., Bangerter, F. & Traoré, O., 2002.
Forms and exchangeability of inorganic phosphate in composted solid organic waste. Nutrient Cycling in Agroecosystems 62: 103-113.
- Gericke, S., 1952.
Wert und Wirkung der Phosphorsäuredüngung in der deutschen Landwirtschaft. Landwirtschaftliche Versuchsanstalt der Thomasphosphat-erzeuger. 4^e druk. Tullus-Verlag, Essen.
- Goss, D.W. & Stewart, B.A., 1979.
Efficiency of phosphorus utilization by alfalfa from manure and superphosphate. Soil Sci. Am. J., 43: 523-528.
- Groenendijk, P. van den Toorn, A & Pankow, J., 1997.
Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Veldonderzoek naar de waterbalans en de uitspoeling van nutriënten. Rapport 387.4, DLO-Staringcentrum, Wageningen.
- Güngör, K., Jürgensen, A. & Karthikeyan, K.G., 2007.
Determination of phosphorus speciation in dairy manure using XRD and XANES spectroscopy. J. Environ. Qual. 36: 1856-1863.
- Haan, S. de & Lubbers, J., 1976.
Resultaten van geregelde bemesting met stalmest op een proefveld van de dr. H.J. Lovinkhoeve in de Noordoostpolder. Bedrijfsontwikkeling 7: 762-765,
- Haan, S. de, 1979.
Einfluss von organischer Düngung auf das maximal erreichbare Ertragsniveau in langjährigen Niederländischen Feldversuchen. Landwirtsch. Forsch. 36: 389-404.

- Harrison, A.F., 1987.
Soil organic phosphorus. A review of world literature. CABI Publ., Wallingford. UK.
- He, Z., Griffin, T.S. & Honeycutt, C.W., 2004.
Phosphorus distribution in dairy manures. *J. Environ. Qual.*, 33: 1528-1534.
- He, Z., Cade-Memun, B.J., Toor, G.S., Foruna, A.M., Wayne Honeycutt, C. & Soms, J.T., 2007.
Comparison of phosphorus forms in wet and dries animal manures by solution phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy and enzymatic hydrolysis. *J. Environ. Qual.* 36: 1086-1095.
- Hedley, M.J., Stewart J.W.B. & Chauhan, B.S., 1982.
Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46: 970-976.
- 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.
- Goss, D.W. & Stewart, B.A., 1979.
Efficiency of phosphorus utilization by alfalfa from manure and superphosphate. *Soil Sci. Am. J.*, 43: 523-528.
- Kluge, R., 2003.
Fertilisation effect of the P and K supply with composts. In: F. Amlinger, P. Dreher, S. Nortcliff & K. Weinfurter. Applying compost benefits and needs. Seminar Proceedings, Brussels, 22-23 November 2001. Federal Ministry of Agriculture, forestry, Environment and Water Management, Austria, and European Communities.
- Kolenbrander, G.J. & Lande Cremer, L.C.N. de la, 1967.
Stalmest en gier. Waarde en mogelijkheden. H. Veenman & zonen, N.V., Wageningen.
- Koopmans, G.F., 2004.
Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, Nederland.
- Kristaponyte, I., 2005.
Effect of fertilisation systems on the balance of plant nutrients and soil agrochemical properties. *Agronomy Research* 3(1): 45-54.
- LNV, 2005.
Besluit van 9 november 2005, houdende regels ter uitvoering van de Meststoffenwet (Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet). Op de voordracht van Onze Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 5 juli 2005, nr. TRCJZ/2005/848, Directie Juridische Zaken, gedaan mede namens de Staatssecretaris van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.
- LNV, 2007.
Regeling van de Minister van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit van 12 december 2007, nr. TRCJZ/2007/3736, houdende wijziging van de Uitvoeringsregeling Meststoffenwet.
- Lune, P. van, Hassink, J., Luit, B. van & Smilde, K.W., 1993.
Onderzoek naar de landbouwkundige waarde van VAM GFT-landbouwcompost. Rapport, DLO-Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Haren.

- Mercik, S, Stepien, W. & Łabetowicz, 2000.
The fate of nitrogen, phosphorus and potassium in long-term experiments in Skierniewice. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163: 273-278.
- Mohanty, S., Paikaray, N.K. & Ranjan, A.R., 2006.
Availability and uptake of phosphorus from organic manures in groundnut (*Arachis hypogea* L.)-corn (*Zea mays* L.) sequence using radio tracer technique. *Geoderma* 133: 225-230.
- Motavalli, P.P., Kelling, K.A. & Converse, J.C., 1989.
First-year nutrient availability from injected dairy manure. *J. Environ. Qual.* 18:180-185.
- Noordwijk, M. van, Willigen, P. de, Ehlert, P.A.I. & Chardon, W.J., 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
- Paauw, F. van der, 1938.
De waarde van dicalciumfosfaat als meststof. *Landbouwkundig tijdschrift* 50.
- Paauw, F. van der, 1966.
Waarom natuurfosfaat als meststof voor ons weinig aantrekkelijk is. With a summary: Why rock phosphates are not attractive for Dutch agriculture. *Landbouwkundig Tijdschrift* 78 (6): 223-226.
- Peperzak, P., Caldwell, A.G., Hunziker, R.R. & Black, C.A., 1959.
Phosphorus fractions in manures. *Soil Science* 87: 293-302.
- Prummel, J., 1966.
Invloed van groenbemesting op de beschikbaarheid van fosfaat. Verslag 1965 PrLOV 9. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Rapport 11.
- Prummel, J., 1972.
Proefnemingen met hyperfosfaat en rhenaniafosfaat. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Rapport 10, Haren, Nederland.
- Prummel, J., 1979.
Fosfaatwerking van thomaskali in afhankelijkheid van de korrelgrootte van de meststof. Rapport 10-79. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid. Haren.
- Prummel, J. & Sissingh, H.A., 1983.
Fosfaatwerking van dierlijke mest. *Bedrijfsontwikkeling* 14: 963-966.
- Römer, W. & Samie, I.F., 2002.
Phosphordüngewirkung eisenhaltiger Klärschlämme. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 165: 83-91.
- Roorda van Eysinga, J.P.N.L., 1962.
Fosfaatwerking van stalmest en afgewerkte champignonmest bij kropsla onder glas. Verslagen van landbouwkundig onderzoekingen. Nr. 68.6. Pudoc, Wageningen.
- Rosing, H., 1995.
Bodemkaart van Nederland. Toelichting bij de kaartbladen Blad 9 West Texel (gedeeltelijk) – 14 West Medemblik, Blad 14 Oost Medemblik – 15 West Stavoren (Noordhollands gedeelte), Blad 19 West Alkmaar. DLO-Staring Centrum, Wageningen, 248 p.

- Schoumans, O.F. & Lepelaar, P., 1995.
Emissies van bestrijdingsmiddelen en nutriënten in de bloembollenteelt. Procesbeschrijving van het gedrag van anorganisch fosfaat in kalkrijke zandgronden. Rapport 387.1. Dienst Landbouwkundig Onderzoek., Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied, Wageningen.
- Schoumans, O.F., Ehlert, P.A.I. & Chardon, W.J., 2004.
Evaluatie van methoden voor het karakteriseren van gronden die in aanmerking komen voor reparatiebemesting. Alterra-rapport 730.3. Alterra, Wageningen.
- Sikora, L.J. & Enkiri, N.K., 2004.
Availability of compost P to Fescue under nonlimiting N conditions. *Compost Science & Utilization*, 12 (3): 280-284.
- Sinaj, S., Traoré, O. & Frossard, E., 2002.
Effect of compost and soil properties on the availability of compost phosphate for white clover (*Trifolium repens* L.). *Nutrient cycling in agroecosystems* 62: 89-102.
- Sissingh, H.A., 1971.
Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in the Netherlands. *Plant and Soil* 34: 483-486.
- Smith, K.A. & Dijk, T.A. van, 1987.
Utilisation of phosphorus and potassium from animal manures on grassland and forage crops. In: H.G. van der Meer, R.J. Unwin, T.A. van Dijk & G.C. Ennik (eds.). *Animal manure on grassland and fodder crops*. Dordrecht Nijhoff: pp. 87-102,
- Smith, K.A., Chalmers, A.G., Chambers, B.J. & Christie, P., 1998.
Organic manure phosphorus accumulation, mobility and management. *Soil Use and Management* 14:154-159
- Sutton, A.L., Nelson, D.W., Kelly, D.T. & Hill, D.L., 1986.
Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition. *J. Environ. Qual.*, 15 (4): 370-375.
- Szcurek, K., 1973.
Effect of many years of fertilisation on the content of different forms of phosphorus compounds in soils under rye and potato monocultures. *Roczniki Gleboznawcze* 24: 2, 429-467; geciteerd door Blake e.a. (2002).
- Rückert, D., 2003.
Rückgewinnung von Phosphaten aus der Gülle durch Membranfiltration und Fällung. In: Tagungsband zum Symposium 'Rückgewinnung von Phosphor in der Landwirtschaft und aus Abwasser und Abfall' des Umweltbundesamtes, , Berlin, 6-7 februari 2003; S. 5/1-5/4.
- Traoré, O., Sinaj, S., Frossard, E. & Kerkhove, J.M. van de, 1999.
Effect of composting time on phosphate exchangeability. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 55: 123-131.
- Varinderpal-Singh, Dhillon, N.S., Kumar, Ray & Brar, B.S., 2006a.
Long-term effects of inorganic fertilizers and manure on phosphorus reaction products?? in a Typic Ustochrept. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76: 29-37.

- Varinderpal-Singh, Dhillon, N.S. & Brar, B.S., 2006b.
Effect of incorporation of crop residues and organic manures on adsorption/desorption and bio-availability of phosphate. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 76: 95-108.
- Vriesema, R. & Gerritsen, R.G., 1983.
Gehalten aan anorganisch en organisch fosfaat in drijfmesten. *Bedrijfsontwikkeling* 14:49-50.
- Willigen, P. de & Noordwijk, M. van, 1987.
Roots, plant production and nutrient efficiency. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen. Dissertatienummer 1166.
- Wisselink, G.J., 1961.
Een vijftienjarige proef met stalmest en stoppelgewassen op humeuze zandgrond te Heino. Instituut voor Bodemvruchtbaarheid, Groningen. Verslagen van landbouwkundige onderzoeken, Nr. 66.17, Wageningen.
- Zee, S.E.A.T.M. & Riemsdijk, W.H. van, 1988.
Model for long-term phosphate reaction kinetics in soil. *J. Environ. Qual.* 17:35-41.

Bijlage 1

Fosfaatbindend vermogen in bloembollengrond westelijk zandgebied

Tabel B1. Karakterisering en P-bindende eigenschappen van grond geschikt voor bloembollenteelt in het westelijk zandgebied.

Plaats	Bodem-eenheid	Diepte, cm	pH-KCl	CaCO ₃ %	o.s. %	Fe-ox, mmol/kg	Al-ox, mmol/kg	Pox, mmol/kg	Bron
Anna Paulowna	Zn50Arll*	5-25	7.3	0.3	1.7	11	4		Rosing 1995, profiel 35
Limmen	Zn50AIV	0-32	7	0.9	1.5	16	5	11	Rosing 1995, profiel 36
Callantsoog	Zn30ll*	5-25	5.7	0	1.1	5	3.9		Rosing 1995, profiel 29
Breezand	Zn40Arll*	5-25	7	0.2	1.6	10	2		Rosing 1995, profiel 33
Egmond ad Hoef	EZg21ll*	5-55	5.7	-	1.6	17	6	9	Rosing 1995, profiel 20
Egmond ad hoef	EZg21ll*	0-30	6.3	-	2.3	57	4	18	monster Banweg 2007
Breezand	Zn50A	0-25	7.8	2	0.3	9	1	1	Schoumans, 1995
Breezand	Zn50A	25-39	7.6	1	0.2	5	1	2	Schoumans, 1995
Katwijk	EZ50A	12-52	6.7	0.3	1.1	12	6	2	Schoumans, 1995
Lisse		0-20	7.6	3.1	1.0	5	4	2	Ehlert et al., 2004a
Lisse		0-20	7.4	2.4	1.8	15	7	10	Ehlert et al., 2004a
St.Maartensbrug		0-25	7.0	0.1	1.6	16	4	4	Ehlert et al., 2004a
De Zilk		0-30	7.2	5.5	1.2	13	3	9	Ehlert & Koopmans, 2002
De Zilk		0-30	7.2	3.2	1.2	10	4	7	Ehlert & Koopmans, 2002
Stompetoren		0-30	7.0	0	1.5	13	5	10	Ehlert & Koopmans, 2002
Anna Paulowna		0-30	6.8	0	1.2	13	5	9	Ehlert & Koopmans, 2002
Julianadorp		0-30	7.0	9.1	1.0	12	3	8	Ehlert & Koopmans, 2002

De Fe-ox en Al-ox geven aan hoeveel bindingscapaciteit voor fosfaat er is in de vorm van ijzer- en aluminium-oxiden. De gehalten aan deze oxiden zijn in het algemeen laag in bloembollengrond in het westelijk zandgebied, in vergelijking met andere grondsoorten in Nederland (zie bijv. Ehlert et al., 2004a). Er is één waarneming van perceel met een relatief hoog Fe-ox-gehalte, namelijk 57 mmol/kg. Dit perceel ligt aan de Banweg in Egmond aan den Hoef, in een bodemeenheid met een beperkte oppervlakte, waarvan ook een monster met een lagere Fe-ox bekend is (het andere monster uit Egmond aan den hoef in de tabel). Dit lijkt dus een zeer plaatselijk verschijnsel. Wanneer dit monster niet meegerekend wordt is de Fe-ox gemiddeld 11 mmol/kg en de Al-ox 4 mg/kg.

Bijlage 2

Overige meetgegevens uit de proeven

Tabel B2. Overige parameters in de incubatieproef in de klimaatcelproef, met grond uit Lisse en 't Zand. Gemeten bij Altic: pH_{H2O}; pH_{KCl}; EC gemeten in suspensie met demiwater, verhouding grond:water is 1:10 v:v. Gemeten bij CBLB: N-NH₄; N-(NO₃+NO₂), N_ts (totaal oplosbaar N). NER_{grond} (%) is berekend met formule 4 in paragraaf 2.3.1, waarbij P vervangen is door N.

Parameter	Grond	Meststof	Incubatieduur (weken)					Gemiddeld
			0	4	8	12	16	
pH _{H2O}	Lisse	geen	6.33	6.57	6.50	6.23	6.27	6.38
		GFT-compost	6.90	7.17	7.17	7.13	6.83	7.04
		groencompost	6.97	7.37	7.30	7.17	7.00	7.16
		stalmest	7.57	7.60	7.63	7.20	7.00	7.40
		TSP	6.17	6.40	6.33	6.30	6.13	6.27
	't Zand	geen	7.60	7.90	7.53	7.50	7.60	7.63
		GFT-compost	8.00	8.00	7.70	7.60	7.63	7.79
		groencompost	7.97	8.13	7.87	7.73	7.80	7.90
		stalmest	8.47	8.53	8.23	8.10	8.00	8.27
		TSP	7.70	7.63	7.40	7.30	7.50	7.51
pH _{KCl}	Lisse	geen	5.77	6.07	6.07	5.80	5.90	5.92
		GFT-compost	6.27	6.67	6.63	6.33	6.43	6.47
		groencompost	6.27	6.83	6.77	6.50	6.60	6.59
		stalmest	6.60	6.90	6.83	6.47	6.50	6.66
		TSP	5.80	5.97	5.90	5.77	5.80	5.85
	't Zand	geen	7.07	7.40	7.33	7.03	7.27	7.22
		GFT-compost	7.20	7.50	7.40	7.07	7.23	7.28
		groencompost	6.97	7.53	7.50	7.13	7.33	7.29
		stalmest	7.40	7.77	7.70	7.27	7.37	7.50
		TSP	6.87	7.30	7.23	7.00	7.20	7.12
EC (mS/cm)	Lisse	geen	0.43	0.53	0.57	0.60	0.70	0.57
		GFT-compost	0.67	0.70	0.67	0.90	0.87	0.76
		groencompost	0.73	0.63	0.57	0.63	0.73	0.66
		stalmest	1.40	1.23	1.17	1.10	1.40	1.26
		TSP	0.40	0.40	0.40	0.47	0.50	0.43
	't Zand	geen	0.80	0.93	0.97	1.07	1.17	0.99
		GFT-compost	1.10	1.17	1.30	1.43	1.57	1.31
		groencompost	1.03	0.83	0.97	1.03	1.13	1.00
		stalmest	1.70	1.63	1.60	1.73	1.97	1.73
		TSP	0.67	0.87	1.03	1.17	1.17	0.98

Vervolg Tabel B2.

Parameter	Grond	Meststof	Incubatieduur (weken)					Gemiddeld
			0	4	8	12	16	
N-NH ₄ (mg N/kg)	Lisse	geen	2.17	2.70	2.37	2.83	1.63	2.34
		GFT-compost	3.00	2.53	2.37	2.93	1.70	2.51
		groencompost	2.20	2.53	2.07	2.73	1.63	2.23
		stalmest	6.00	2.30	2.23	2.57	1.80	2.98
		TSP	2.33	3.10	2.13	2.93	1.80	2.46
	't Zand	geen	1.77	2.33	2.00	2.53	1.63	2.05
		GFT-compost	1.50	2.30	1.93	2.30	1.43	1.89
		groencompost	1.33	2.23	2.03	2.37	1.80	1.95
		stalmest	2.07	1.80	2.00	1.87	1.33	1.81
		TSP	1.37	2.10	2.23	2.40	1.50	1.92
N-(NO ₃ +NO ₂) (mg N/kg)	Lisse	geen	16.43	19.57	25.87	26.37	29.50	23.55
		GFT-compost	15.20	18.20	21.37	24.80	29.50	21.81
		groencompost	14.30	7.83	9.93	12.77	16.97	12.36
		stalmest	12.50	14.77	13.57	21.17	34.00	19.20
		TSP	8.67	12.60	15.33	17.03	20.00	14.73
	't Zand	geen	24.67	25.87	38.60	35.53	46.17	34.17
		GFT-compost	28.57	30.33	47.97	52.60	58.43	43.58
		groencompost	21.87	12.03	20.67	26.97	28.30	21.97
		stalmest	22.57	17.97	25.57	37.00	49.87	30.59
		TSP	23.07	24.20	43.00	44.40	42.23	35.38
Nts (mg N/kg)	Lisse	geen	22.00	25.00	31.33	33.67	35.33	29.47
		GFT-compost	23.67	24.67	27.33	33.33	38.00	29.40
		groencompost	21.00	14.67	16.33	20.33	24.00	19.27
		stalmest	26.67	24.00	22.33	31.67	43.00	29.53
		TSP	14.00	18.33	20.00	23.33	25.33	20.20
	't Zand	geen	31.33	32.67	44.67	44.00	54.00	41.33
		GFT-compost	37.00	38.67	56.00	62.67	66.67	52.20
		groencompost	29.00	21.00	29.67	36.67	38.33	30.93
		stalmest	35.33	29.00	37.33	48.67	61.67	42.40
		TSP	29.33	31.33	50.67	53.33	50.67	43.07

Vervolg Tabel B2.

Parameter	Grond	Meststof	Incubatieduur (weken)					Gemiddeld
			0	4	8	12	16	
NER _{grond} (%) N-NH ₄	Lisse	GFT-compost	0.59	-0.12	0.00	0.08	0.06	0.12
		groencompost	0.02	-0.13	-0.24	-0.09	0.00	-0.09
		stalmest	1.68	-0.18	-0.07	-0.12	0.07	0.27
	't Zand	GFT-compost	-0.21	-0.03	-0.06	-0.17	-0.15	-0.12
		groencompost	-0.35	-0.07	0.03	-0.12	0.13	-0.07
		stalmest	0.11	-0.25	-0.01	-0.31	-0.15	-0.12
NER _{grond} (%) N-(NO ₃ +NO ₂)	Lisse	GFT-compost	-0.95	-1.02	-3.34	-1.18	0.31	-1.24
		groencompost	-1.70	-8.87	-11.94	-10.36	-9.46	-8.47
		stalmest	-1.76	-1.89	-5.44	-2.18	1.75	-1.91
	't Zand	GFT-compost	2.76	3.23	6.67	12.33	9.30	6.86
		groencompost	-2.33	-10.91	-14.07	-6.58	-13.52	-9.48
		stalmest	-0.97	-3.26	-5.53	0.91	1.48	-1.47
NER _{grond} (%) N _{ts}	Lisse	GFT-compost	1.14	-0.29	-2.98	-0.27	2.35	-0.01
		groencompost	-0.85	-7.84	-11.25	-10.15	-8.57	-7.73
		stalmest	2.02	-0.23	-4.00	-0.79	3.12	0.02
	't Zand	GFT-compost	4.01	4.33	8.09	13.46	9.53	7.88
		groencompost	-2.04	-9.20	-11.82	-5.64	-11.84	-8.11
		stalmest	1.70	-1.41	-3.04	2.31	3.12	0.54

Tabel B3. Overige parameters in de veldproef in Lisse: Gemeten bij Altic: pH-H₂O; pH-KCl; EC gemeten in suspensie met demiwater, verhouding grond:water is 1:10 v.v. Gemeten bij CBLB: N-NH₄; N-(NO₃+NO₂), N_{ts} (totaal oplosbaar N). NER_{grond} (%) is berekend met formule 4 in paragraaf 2.3.1, waarbij P vervangen is door N.

Parameter	Meststof	Incubatieuur (weken)					Gemiddeld
		0	4	8	12	16	
pH-H ₂ O	geen	7.00	6.97	6.73	6.60	6.57	6.77
	GFT-compost	6.80	6.83	6.77	6.60	6.40	6.68
	groencompost	7.13	7.40	7.13	7.03	6.93	7.13
	stalmest	6.67	7.13	6.67	6.57	6.77	6.76
	TSP	6.67	6.77	6.60	6.43	6.30	6.55
pH-KCl	geen	6.13	6.30	6.27	6.07	6.17	6.19
	GFT-compost	6.07	6.23	6.17	6.00	6.00	6.09
	groencompost	6.43	6.70	6.57	6.33	6.47	6.50
	stalmest	6.17	6.40	6.23	5.93	6.27	6.20
	TSP	6.00	6.10	6.10	5.97	6.00	6.03
EC (mS/cm)	geen	0.30	0.23	0.23	0.23	0.27	0.25
	GFT-compost	0.60	0.23	0.20	0.30	0.23	0.31
	groencompost	0.53	0.30	0.27	0.30	0.27	0.33
	stalmest	0.43	0.57	0.33	0.43	0.50	0.45
	TSP	0.37	0.27	0.23	0.33	0.23	0.29
N-NH ₄ (mg N/kg)	geen	1.03	2.20	2.07	2.67	1.73	1.94
	GFT-compost	2.27	2.63	2.17	2.77	1.87	2.34
	groencompost	1.00	2.37	1.57	2.80	1.53	1.85
	stalmest	1.57	2.50	2.20	2.83	1.63	2.15
	TSP	1.17	2.90	1.67	2.73	1.50	1.99
N-(NO ₃ +NO ₂) (mg N/kg)	geen	6.20	2.83	6.03	5.77	4.13	4.99
	GFT-compost	8.67	5.27	7.37	9.60	6.63	7.51
	groencompost	6.57	2.13	4.43	6.13	3.60	4.57
	stalmest	6.77	4.37	10.00	9.33	6.63	7.42
	TSP	6.43	3.13	5.23	5.43	3.60	4.77
N _{ts} (mg N/kg)	geen	10.71	9.03	11.04	11.04	8.03	9.97
	GFT-compost	14.72	11.71	12.71	16.06	12.38	13.52
	groencompost	11.38	8.03	8.37	12.05	7.70	9.50
	stalmest	12.05	11.04	15.73	15.73	12.05	13.32
	TSP	10.71	10.04	9.03	11.04	7.70	9.70
NER_{grond} (%) N-NH ₄	GFT-compost	1.17	0.40	0.09	0.09	0.12	0.37
	groencompost	-0.02	0.22	-0.52	0.14	-0.20	-0.08
	stalmest	0.94	0.53	0.25	0.32	-0.19	0.37
NER_{grond} (%) N-(NO ₃ +NO ₂)	GFT-compost	2.29	2.27	1.14	3.45	2.23	2.28
	groencompost	0.46	-0.66	-1.61	0.53	-0.42	-0.34
	stalmest	1.03	2.74	7.00	6.32	4.45	4.31
NER_{grond} (%) N _{ts}	GFT-compost	3.75	2.48	1.43	4.54	3.91	3.22
	groencompost	0.78	-0.95	-2.76	1.19	-0.23	-0.39
	stalmest	2.35	3.61	8.24	8.32	7.08	5.92