

# De fosfaatbehoefte van vaste planten op duinzandgrond

H. van Reuler  
A.M. van Dam

Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Sector  
Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit  
PPO-projectnummer 32 361023 00

Lisse, maart 2010

© 2010 Wageningen, Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO)

Alle intellectuele eigendomsrechten en auteursrechten op de inhoud van dit document behoren uitsluitend toe aan de Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO). Elke openbaarmaking, reproductie, verspreiding en/of ongeoorloofd gebruik van de informatie beschreven in dit document is niet toegestaan zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van DLO.

Voor nadere informatie gelieve contact op te nemen met: DLO in het bijzonder onderzoeksinstituut Praktijkonderzoek Plant & Omgeving / Plant Research International, Business Unit Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit.

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



Projectnummer: 32 361023 00

**Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V.**

Sector Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit

Adres : Professor van Slogterenweg 2, 2161 DW Lisse  
: Postbus 85, 2160 AB Lisse

Tel. : 0252 – 462121

Fax : 0252 – 462100

E-mail : [infobomen.ppo@wur.nl](mailto:infobomen.ppo@wur.nl)

Internet : [www.ppo.wur.nl](http://www.ppo.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
SAMENVATTING .....	5
1 INLEIDING .....	7
2 FOSFAAT IN DUINZANDGROND .....	9
2.1 Fosfaatprocessen in de grond .....	9
2.2 Beschikbaarheid voor het gewas.....	10
2.3 Verliezen naar het oppervlaktewater .....	11
3 FOSFAATBEHOEFTE VAN DE VASTE PLANTENTEELT.....	13
3.1 Gewasbehoefte.....	13
3.2 Organische bemesting .....	15
3.3 Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting .....	15
4 DISCUSSIE .....	19
4.1 Vergelijking van de gewasbehoefte met de aanvoernormen.....	19
4.2 Organische stofvoorziening .....	19
4.3 Oplossingen voor knelpunten .....	20
5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN .....	21
5.1 Conclusies .....	21
5.2 Aanbevelingen .....	21
LITERATUUR.....	23



# Samenvatting

De huidige fosfaataanvoernorm is 85 kg/ha. In het Vierde Nederlands Actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn wordt voorgesteld deze norm geleidelijk te verlagen naar 50 tot 75 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, afhankelijk van de fosfaattoestand in de grond.

Uit eerder onderzoek blijkt dat de fosfaatafvoer van vaste planten (m.n. Astilbe) hoger kan zijn dan deze aanvoernormen. In deze studie wordt verkend of, en zo ja hoe, vaste planten optimaal bemest kunnen worden binnen de aangescherpte aanvoernormen.

Een belangrijk deel van de vaste planten wordt op duinzandgrond geteeld. Deze grond heeft een laag fosfaatbindend vermogen en fosfaat spoelt gemakkelijk uit naar het oppervlaktewater. De oppervlaktewaternorm van 0,15 mg P l<sup>-1</sup> wordt in uitspoelend bodemwater overschreden als het Pw-getal in de grond hoger ligt dan 4 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup> grond. Deze fosfaattoestand is onvoldoende voor een landbouwkundig optimale productie. Het huidige gemiddelde Pw-getal is op beteelde duinzandgrond 47 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup> grond. Bij deze fosfaattoestand in de grond wordt de norm voor oppervlaktewater sterk overschreden.

De fosfaatbehoefte van vaste planten wordt gegeven door het bemestingsadvies, dat gelijk is voor alle boomkwekerijgewassen en grondsoorten. Het bemestingsadvies voor boomkwekerijgewassen is met name bij relatief lage fosfaattoestand hoger dan de voorgestelde normen. Qua areaal zijn de belangrijkste vaste planten: Astilbe, Hosta, Hemerocallis, Iris, Paeonia (deels voor de snij en deels als vaste plant), Anemone, Dicentra, Geranium, Heuchera en Papaver. De fosfaatafvoer is bij Astilbe gemiddeld hoger dan de voorgestelde normen, bij Paeonia naar verwachting gemiddeld ongeveer gelijk en voor Iris, Hemerocallis en Hosta lager dan de normen. Voor Anemone, Heuchera, Geranium en Papaver zijn geen gegevens bekend.

De teelt van vaste planten op duinzandgrond heeft fosfaat niet alleen voor voeding van het gewas, maar ook voor de organische stofvoorziening. Het organische stofgehalte kan gehandhaafd worden door aanvoer van groencompost. Hierbij worden de voorgestelde fosfaataanvoernormen niet overschreden. In gevallen waar de behoefte aan organische stof relatief laag is, kan ook GFT-compost gebruikt worden zonder normoverschrijding. Bij gebruik van stalmest worden de aanvoernormen in alle gevallen overschreden.

Het bemestingsadvies gaat er van uit dat fosfaat met een goed oplosbare meststof door de bouwvoor gewerkt wordt. In ouder onderzoek is gebleken dat plaatsing van fosfaat bij de wortels van het gewas de opname-efficiëntie kan verhogen, en dus de benodigde fosfaatgift verlagen. Hoeveel hiermee bespaard kan worden is niet goed bekend. Nieuwere proeven geven geen duidelijk resultaat, doordat de fosfaattoestand in de grond meestal voldoende is. Daarbij is het opbrengsteffect van de fosfaatbemesting vrij klein.

Geconcludeerd wordt dat vooral bij relatief lage fosfaattoestand in de grond de huidige adviesgift hoger kan zijn dan de voorgestelde aanvoernormen. Hiervoor worden twee mogelijke oplossingen voorgesteld: evaluatie en verfijning van het fosfaatbemestingsadvies, en onderzoek naar efficiëntere bemesting, waarbij fosfaathoudende meststoffen in het bed of in de plantveur geplaatst worden. Ook bij efficiëntere bemesting binnen de normen zal de fosfaatsnorm in het oppervlaktewater overschreden worden in uitspoelend bodemwater. Een alternatieve oplossing is de zuivering van drainagewater met behulp van fosfaatfilters. deze oplossing past (nog) niet binnen de huidige regelgeving.



# 1 Inleiding

Duin-, wad- en zeezandgronden (in dit rapport verder duinzandgrond genoemd) zijn belangrijk voor de vaste plantenteelt. Landelijk bedraagt het areaal vaste planten 1228 ha (CBS, 2009). Een aanzienlijk deel hiervan wordt op duinzandgrond geteeld. Deze grond heeft een laag fosfaatbindend vermogen (Schoumans en Lepelaar, 1995; Ehlert et al., 2004) en daardoor spoelt fosfaat gemakkelijk uit naar het oppervlaktewater (Schoumans en Lepelaar, 1995).

Om de fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater te verlagen heeft de overheid de fosfaatsnormen aangescherpt. De huidige fosfaatsnorm voor bouwland is 85 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. In het Vierde Nederlandse Actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2009) wordt een norm in afhankelijkheid van de fosfaattoestand voorgesteld. Het gaat hierbij om een geleidelijke verlaging voor de gronden met een neutrale en hoge fosfaattoestand. De normen voor 2014 en 2015 worden vastgelegd in het Vijfde Actieprogramma en zijn nu nog indicatief (Tabel 1).

Tabel 1. Fosfaataanvoernormen voor bouwland in het Vierde Nederlandse Actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn. (LNV, 2009).

Fosfaatklasse	Pw-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup> grond)	2009	2010	2011	2012	2013	2014*	2015*
Laag	< 36	85	85	85	85	85	85	75
Neutraal	36 – 55	85	80	75	70	65	65	60
Hoog	> 55	85	75	70	65	55	55	50

\* Indicatief

Een aantal soorten vaste planten heeft een hoge fosfaatafvoer (Ehlert et al., 2009; Van Reuler, 2009). Deze ligt in een aantal gevallen hoger dan de voorziene fosfaatafvoernormen. Ook de fosfaatbehoefte, uitgedrukt in de adviesgift, kan, afhankelijk van de fosfaattoestand van de grond, boven de huidige en de voorziene fosfaatsnormen liggen (Aendekerk, 2000). Bij aanscherping van de fosfaatsnorm kunnen deze gewassen wellicht niet meer optimaal bemest worden, zodat het product zowel in kwantiteit als in kwaliteit achter kan blijven.

In dit rapport wordt deze problematiek in kaart gebracht. Bestaande informatie over de fosfaatbeschikbaarheid op duinzandgrond, de verliezen naar het oppervlaktewater en de fosfaatbehoefte van vaste plantenteelt (voor voeding van het gewas en voor handhaving van het organische stofgehalte) worden besproken en geanalyseerd. Daarnaast wordt onderzocht welke mogelijkheden er zijn fosfaathoudende meststoffen efficiënter toe te passen, zodat bij een lagere gift aan de fosfaatbehoefte van het gewas kan worden voldaan.





## 2 Fosfaat in duinzandgrond

### 2.1 Fosfaatprocessen in de grond

Fosfaat is slecht oplosbaar in de bodem. In de grond kan het vanuit de bodemoplossing door neerslag, adsorptie en absorptie gebonden worden aan de minerale en organische delen van de grond. Daardoor is de totale P-voorraad in de grond in het algemeen veel hoger dan de hoeveelheid voor de plant beschikbare fosfaat. Een overzicht van de processen wordt gegeven door Van Dam en Ehlert (2008). In dit hoofdstuk is dit overzicht overgenomen.

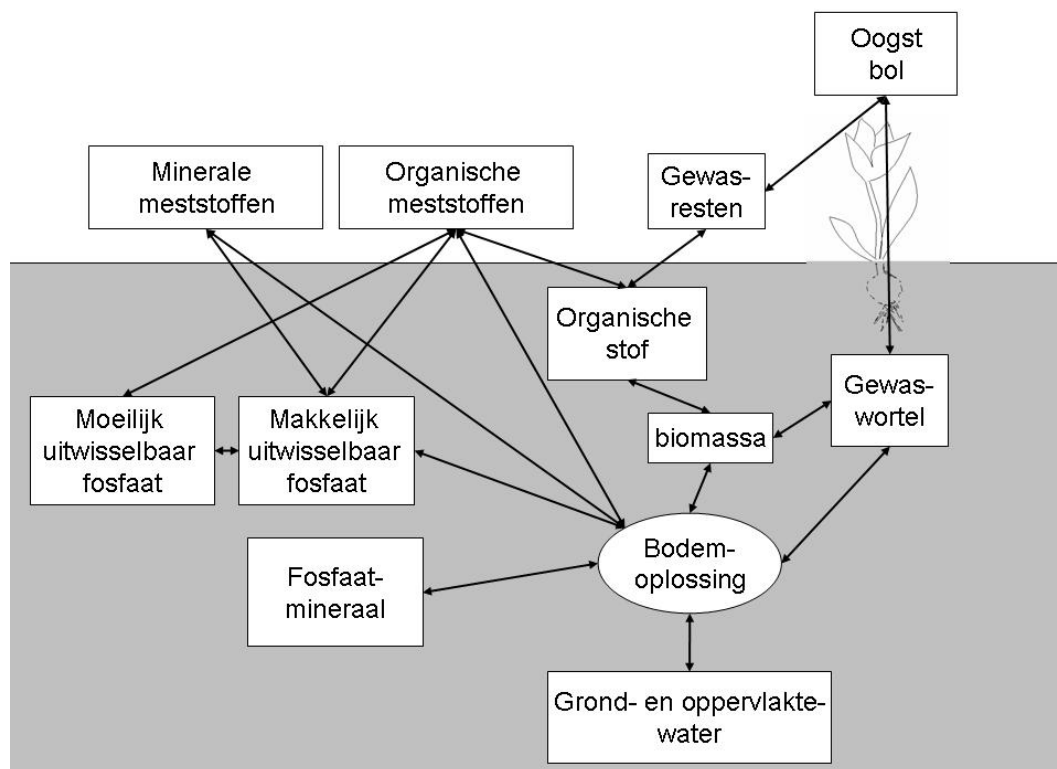


Fig. 1. Vereenvoudigde weergave van fosfaatfracties in de bodem in de bloembollenteelt (naar Ehlert e.a., 2004a; Koopmans, 2004).

In de bodem komen verschillende soorten fosfaatverbindingen voor (Fig. 1). Het voor planten beschikbare fosfaat bevindt zich in het in de bodem aanwezig water (= bodemoplossing). Het bodemvocht in de bovengrond bevat ongeveer 1 – 1.5 kg  $P_2O_5$  per ha. Deze hoeveelheid is slechts voldoende om het gewas enkele dagen van voldoende fosfaat te voorzien. Als de plant dit fosfaat heeft opgenomen dan moet deze hoeveelheid vanuit de verschillende verbindingen worden aangevuld.

Men spreekt van moeilijk en makkelijk uitwisselbaar fosfaat. Bij dit type fosfaat spelen ijzer en aluminiumoxiden een belangrijke rol.

Bij de afbraak (= mineralisatie) van organische stof komt naast stikstof ook fosfaat vrij.

In bodems met een hoge pH zoals duinzandgronden komt veel calcium voor. Als er veel fosfaat in de bodemoplossing voorkomt dan kan er calciumfosfaat neerslaan. In Fig. 1 is dit weergegeven als 'fosfaatmineraal'.

Naast het vastleggen van fosfaat in moeilijk oplosbare verbindingen kan fosfaat verloren gaan door uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Omgekeerd kan fosfaat aangevoerd worden met kwel.

Fig. 1 laat ook zien wat er gebeurt met de toediening van meststoffen. Het oplosbare deel komt terecht in de bodemoplossing. Het resterende deel van kunstmestfosfaat wordt gebonden als makkelijk uitwisselbaar fosfaat. Op termijn kan dit deels omgezet worden in moeilijk uitwisselbaar fosfaat of beschikbaar komen voor de plant. In organische mest is ook een deel moeilijk uitwisselbaar fosfaat aanwezig.

Door de omzetting van makkelijk naar moeilijk uitwisselbaar fosfaat en het neerslaan van bv calciumfosfaat gaat fosfaat verloren. Men spreekt dan ook van onvermijdbare verliezen

Als de fosfaatanvoer op een perceel gelijk is aan de fosfaatafvoer via de oogst zal de fosfaattoestand van de bodem op termijn toch dalen. Dit komt doordat het fosfaat uit kunst- of organische mest reageert met bodembestanddelen. Daardoor wordt een deel van het toegediende fosfaat omgezet in fosfaatvormen die op korte termijn niet meer beschikbaar zijn voor de plant. Deze fosfaat is ook niet meetbaar met de Pw of PAL methode. Daarnaast zal fosfaat ook onderdeel worden van de organische stof voorraad in de bodem. Samen met het fosfaat dat verplaatst wordt naar de ondergrond door uitspoeling, grondbewerking en door wortels spreken we 'onvermijdelijke' fosfaatverliezen. Bij de toekomstige evenwichtsbemesting wordt rekening met een verlies van maximaal 5 kg  $P_2O_5/ha$ .

## 2.2 Beschikbaarheid voor het gewas

De beschikbaarheid van fosfaat in de bodem voor vaste planten wordt in het bemestingsadvies vastgesteld met behulp van het Pw-getal en het PAL-getal.

Voor een overzicht van de fosfaattoestand op basis van de Pw-getallen van duinzandgrond kan afgeleid worden uit gegevens van Blgg. Het betreft monsters die aangeleverd zijn voor bodemanalyse en bemestingsadvies. Het is dus geen aselechte steekproef. Het is echter het beste overzicht dat nu beschikbaar is.

Het gemiddelde Pw-getal op duinzandgrond is 47 mg  $P_2O_5 l^{-1}$  grond. De mediaan ligt op 39 mg  $P_2O_5 l^{-1}$ . De verdeling van Pw-getallen in de monsters is gegeven in Fig. 2 (Ehlert et al., 2007). Daaruit is af te leiden dat naar verwachting ongeveer een derde deel van het aantal percelen in de normklasse 'laag' (< 36 mg  $P_2O_5 l^{-1}$ ) ligt, een derde in de klasse 'neutraal' (36 – 55 mg  $P_2O_5 l^{-1}$ ) en een derde in de klasse 'hoog' (> 55 mg  $P_2O_5 l^{-1}$ ).

Het PAL-getal ligt op duinzandgrond gemiddeld op 49 mg  $P_2O_5 100 g^{-1}$  grond; de mediaan ligt op 42 mg  $P_2O_5 100 g^{-1}$ .

Daarnaast wordt de P-PAE-waarde gebruikt. P-PAE ligt gemiddeld op 4,3 mg P  $kg^{-1}$  grond, en de mediaan ligt op 2,4 mg P  $kg^{-1}$ .

Een belangrijk deel van de bodemonsters wordt in Nederland door het Blgg in Oosterbeek genalyseerd. Om bedrijfstechnische redenen heeft het Blgg een nieuwe methode ontwikkeld, de z.g. P-PAE methode. Op basis van de bepaalde P-PAE waarde wordt een Pw waarde geschat (Schouwman et al., 2008).

Met het PAL methode wordt een groter deel van de fosfaatvoorraad in de grond gemeten dan met het Pw-getal. Bij de P-PAE-bepaling wordt juist minder fosfaat geëxtraheerd dan bij de Pw-bepaling.

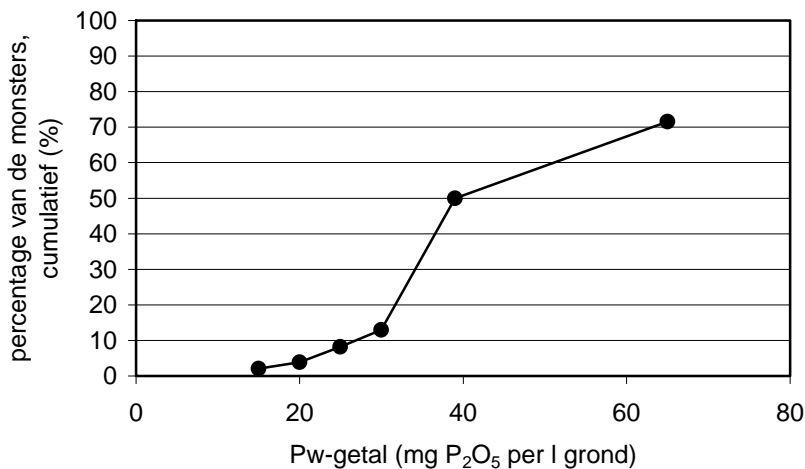


Fig. 2. Verdeling van de Pw getallen in bij Blgg aangeleverde duinzandgrond monsters in het seizoen 2003-2004 (Ehlert et al., 2007).

## 2.3 Verliezen naar het oppervlaktewater

De concentratienorm die nu geldt voor fosfaat in oppervlaktewater is de MTR-waarde, namelijk  $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$  (MTR = Maximaal Toelaatbaar Risico). Deze norm is een streefwaarde en aan overschrijding zijn geen harde consequenties verbonden. Nederland is nu bezig met de uitwerking van de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW), waarbij de lidstaten werken aan een goede ecologische kwaliteit van het oppervlaktewater. Hiervoor zijn nieuwe fosfaatsnormen in ontwikkeling. De normen die tot nog toe berekend zijn liggen dicht bij de oude norm (Milieu- en Natuurcompendium, 2009). De normen voor een Goede Ecologische Toestand (de doelstelling van de KRW) liggen tussen  $0,03$  en  $0,14 \text{ mg P l}^{-1}$  voor verschillende typen wateren. De norm voor een Goed Ecologisch Potentieel (een minder strenge norm voor kunstmatige wateren) ligt op  $0,15 \text{ mg P l}^{-1}$  voor kanalen en op  $0,22 \text{ mg P l}^{-1}$  voor sloten. Per waterlichaam kunnen echter specifieke normen worden vastgesteld (Milieu- en Natuurcompendium, 2009). De normen in de KRW zijn meer verplichtend dan de MTR's: Nederland moet de gestelde doelen halen zoals gesteld in deze Europese wet.

In eerdere studies is berekend hoe hoog het Pw-getal mag zijn om te zorgen dat bodemvocht, dat uitspoelt naar het oppervlaktewater, deze norm niet overschrijdt. Dit kritische Pw-getal ligt voor duinzandgrond rond  $4 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ l}^{-1}$  grond. Deze waarde is lager dan bij andere grondsoorten omdat duinzandgronden een laag fosfaatbindend vermogen hebben, en fosfaat ook niet goed bufferen (Ehlert en Koopmans, 2002). Bij een dergelijk laag Pw-getal is een goede gewasproductie naar verwachting niet mogelijk (Ehlert et al., 2004). Anderzijds blijkt hieruit dat uitspoeling van fosfaat naar het oppervlaktewater een aanzienlijk probleem is op duinzandgrond, gegeven de voorkomende Pw-getallen (Fig. 2).



## 3 Fosfaatbehoefte van de vaste plantenteelt

### 3.1 Gewasbehoefte

De adviesbasis voor de vollegrondsteelt van boomkwekerijgewassen (Aendekerk, 2000) maakt geen onderscheid tussen verschillende gewasgroepen. Voor alle gewassen op alle grondsoorten wordt de P-toestand gewaardeerd volgens Tabel 2. De adviesgift wordt vervolgens bepaald volgens Tabel 3.

Tabel 2. Waardering van de fosfaattoestand in de grond voor boomkwekerijgewassen (Aendekerk, 2000).

Pw-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> l <sup>-1</sup> )	PAL-getal (mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 100 g <sup>-1</sup> grond)					
	≤ 15	16 – 25	26 – 35	36 – 45	46 – 60	≥ 61
≤ 15	Zeer laag	Zeer laag	Laag	Laag	Vrij laag	-
16 – 25	Zeer laag	Laag	Laag	Vrij laag	Goed	Goed
26 – 35	Laag	Laag	Vrij laag	Goed	Goed	Goed
36 – 45	Laag	Vrij laag	Goed	Goed	Goed	Vrij hoog
46 – 60	Vrij laag	Goed	Goed	Goed	Vrij hoog	Vrij hoog
≥ 61	-	Goed	Goed	Vrij hoog	Vrij hoog	Hoog

Tabel 3. Adviesgift voor fosfaatbemesting voor boomkwekerijgewassen (Aendekerk, 2000).

Waardering fosfaattoestand	Gift (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )
Zeer laag	200*
Laag	160
Vrij laag	120
Goed	80
Vrij hoog	0
Hoog	0

\*250 als Pw-getal en PAL-getal lager dan 10 zijn

Bij mediaan Pw-getal (39) en PAL-getal (42) op duinzandgrond (zie sectie 2.2) is de fosfaattoestand volgens Tabel 1 'goed'. In 2010 mag dan 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> worden toegediend. Deze hoeveelheid komt overeen met het advies uit Tabel 3. In volgende jaren is de aangescherpte norm echter lager dan het advies.

Doordat de teelt van boomkwekerijgewassen zo divers is, zijn er weinig specifieke gegevens over de fosfaatbehoefte van afzonderlijke gewasgroepen, op uiteenlopende grondsoorten. Het is wel bekend dat de fosfaatopname en fosfaatafvoer van de verschillende gewassen sterk uiteen kan lopen (Ehlert et al., 2009; Van Reuler, 2009). Vaste planten voeren per jaar, gemiddeld over de teeltduur, meer fosfaat af dan houtige gewassen.

Voor de vaste plantenteelt zijn de gewassen met het grootste areaal: Astilbe, Hosta, Hemerocallis, Iris, Paeonia (50% driejarige teelt voor snijbloemen en 50% als vaste plant), Anemone, Dicentra, Geranium, Heuchera en Papaver (persoonlijke mededeling A. van Berkel). Van een aantal hiervan zijn gegevens bekend over de fosfaatinhoud en de fosfaatafvoer (Tabel 4). Vooral Astilbe en Paeonia hebben een hoge fosfaatinhoud. Bij Astilbe is de gemiddelde fosfaatafvoer (88 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha) hoger dan de fosfaataanvoernorm, zodat er een netto fosfaatafvoer van het perceel is bij bemesting binnen de aanvoernorm. Van Anemone, Dicentra, Geranium, Papaver en Heuchera zijn er geen gegevens bekend.

Tabel 4. Fosfaatinhoud en -afvoer van de 10 soorten vaste planten met het grootste areaal; alleen ondergrondse delen, bij éénjarige teelt.

Soort	Cultivar	Maximale inhoud (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Inhoud plantgoed (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )	Afvoer (kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> )
<b>Astilbe</b>	<b>gemiddeld</b>	<b>105</b>	<b>25</b>	<b>86</b>
	Vision in Pink <sup>1</sup>	155	31	124
	Vision in Pink <sup>2</sup>	69		
	Rythm and Blues <sup>1</sup>	129	17	112
	Rise and Shine <sup>1</sup>	64	13	51
	Fanal <sup>1</sup>	108	22	86
	Fanal <sup>1</sup>	155	38	116
	Washington <sup>1</sup>	86	18	68
	Mainz <sup>1</sup>	76	16	60
	Bonn <sup>1</sup>	92	30	62
	Rheinland <sup>1</sup>	140	44	96
	Erica <sup>2</sup>	85		
<b>Hemerocallis</b>	<b>gemiddeld</b>	<b>30</b>		
	Texas Sunlight <sup>2</sup>	29		
	Stella d'Oro <sup>2</sup>	31		
<b>Hosta</b>	<b>gemiddeld</b>	<b>37</b>		
	Antioch <sup>2</sup>	35		
	Antioch <sup>2</sup>	56		
	_ <sup>3</sup>	71		
	_ <sup>3</sup>	18		
	_ <sup>3</sup>	17		
	_ <sup>3</sup>	23		
<b>Iris</b>	_ <sup>3</sup>	<b>41</b>		
<b>Paeonia</b>	<b>gemiddeld</b>	<b>88</b>		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	42		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	77		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	59		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	56		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	73		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	77		
	Sarah Bernhart <sup>3</sup>	64		
	_ <sup>3</sup>	253		
	_ <sup>3</sup>	93		

1. Bron: Van Reuler, 2009. 2. Bron: Van Dalssen, 2005. 3. Bron: Ehlert et al., 2009. De gegevens zijn afkomstig uit de database die aan deze publicatie ten grondslag ligt, en betrokken uit verslagen van een aantal proeven (nrs 4401-06, 5522-04 en 5021-26) van Praktijkonderzoek Plant en Omgeving.

## 3.2 Organische bemesting

De organische stof in de bodem speelt een belangrijke rol bij de bewortelbaarheid, vochthoudend vermogen, adsorptie en nalevering van nutriënten, vermindering van de gevoeligheid voor verslemping en verstuiwing, bewerkbaarheid en verschillende bodembiologische processen. Voor duinzandgrond wordt een streeftraject voor het organische stofgehalte aangehouden van 0.8 tot 1.3% (Van Dam et al., 2004). In duinzandgrond breekt organische stof snel af, met 8 tot 10 % per jaar (Ten Berge et al., 2007).

Om het organische stof gehalte op peil te houden zal er bij een bouwvoordikte van 30 tot 40 cm ieder jaar ongeveer 3500 tot 7000 kg organische stof per ha aangevoerd moeten worden. De hoeveelheid organische stof die een jaar na toediening van organische mest nog over is wordt de effectieve organische stof (eos) genoemd. Deze eos draagt bij aan de organische stof opbouw in de bodem. In Tabel 5 wordt aangegeven hoeveel groencompost, GFT-compost of stalmest hiervoor jaarlijks toegediend dient te worden, en hoeveel fosfaat daarmee aangevoerd wordt. Bij de beide compostsoorten geldt binnen de aanvoernormen een vrijstelling van 50% van het aangevoerde fosfaat, de z.g. fosfaatvrije voet. Bij een behoefte aan eos van 3500 kg ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> kan binnen de norm zowel met GFT-compost als met groencompost de organische bemesting uitgevoerd worden. Bij een behoefte van 7000 kg eos ha<sup>-1</sup> jaar<sup>-1</sup> blijft alleen bemesting met groencompost binnen de norm.

Tabel 5. Aanvoer van organische meststoffen voor handhaving van het organische stofgehalte op duinzandgrond. Gehalten volgens Aendekeerk (2000).

Behoefte kg eos ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Meststof	o.s. kg ton <sup>-1</sup>	Humificatie- coëfficiënt jaar <sup>-1</sup>	eos kg ton <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ton <sup>-1</sup>	Gift ton ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Gift kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>	Gift excl. fosfaatvrije voet kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> jaar <sup>-1</sup>
3500	GFT-compost	190	0,75	143	3,7	25	91	45
	groencompost	270	0,75	203	1,9	17	33	16
	stalmest	153	0,5	77	3,9	46	174	174
7000	GFT-compost	190	0,75	143	3,7	49	182	91
	groencompost	270	0,75	203	1,9	35	66	33
	stalmest	153	0,5	77	3,9	92	348	348

## 3.3 Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting

Het effect van een lagere fosfaatbemesting heeft minder direct effect op het gewas dan een verlaging van de stikstofbemesting. Anders dan bij stikstof verloopt de voeding van het gewas met fosfaat veel sterker via de bodem. Van iedere 100 kg fosfaat die met bemesting wordt gegeven, wordt in het eerste jaar maar 10 tot 20 kg door het gewas opgenomen. Het overige fosfaat wordt in het bodemsysteem opgenomen en komt in de loop van vele jaren deels voor gewasopname beschikbaar. Deze lage schijnbare benutting direct na toediening biedt mogelijkheden om de efficiëntie van de bemesting te verhogen (Dekker en Postma, 2008). Het gaat hierbij om maatregelen om ervoor te zorgen dat er een groter deel van de toegediende P door de plant wordt opgenomen. Het deel van de toegediende P dat in het gewas terechtkomt wordt het P rendement genoemd:

$$P \text{ rendement} = (P\text{-opname gewas met P bemesting} - P\text{-opname gewas zonder P bemesting})/P \text{ gift}$$

Uit ouder onderzoek is gebleken dat dit enerzijds kan worden gerealiseerd door de bodemfactoren te optimaliseren die de P-benutting verhogen, zoals een goede bodemstructuur en een goede vochtvoorziening. Anderzijds door de keuze van de meststof, de wijze waarop deze wordt toegediend (rijenbemesting) en het tijdstip (bij zaaien/poten) van toediening. Door bedrijfsleven en onderzoekinstellingen is afgelopen jaren veel geëxperimenteerd om meststoffen en bemestingssystemen te ontwikkelen om de

efficiëntie van de fosfaatbemesting te verhogen. Het is nog onduidelijk hoeveel perspectief zij bieden. Vooral bij gewassen met een korte groeiduur en een hoge P-behoefte (b.v. groenten zoals sla) is perspectief te verwachten. Uit ouder onderzoek is gebleken dat er zeker perspectief is om door middel van andere mestsoorten, rijenbemesting en optimalisatie van het tijdstip van bemesten de efficiëntie van de fosfaatbemesting te verhogen, maar in recenter, onafhankelijk onderzoek kon dit vaak niet worden bevestigd. Een belangrijke oorzaak hiervan is dat de fosfaattoestand van de meeste landbouwgronden in Nederland op dit moment te hoog is om een dergelijk effect vast te kunnen stellen (Dekker en Postma, 2008).

### *Meststof*

In het fosfaatbemestingsadvies is er vanuit gegaan dat fosfaat wordt toegediend met een gemakkelijk oplosbare kunstmeststof (TSP - Tripelsuperfosfaat), die voor het planten van het gewas gelijkmatig door de bouwvoor gemengd wordt. In de praktijk wordt echter op duinzandgrond het grootste deel van de fosfaatgift toegediend met de organische bemesting. Daarbij is de eerstejaarswerking van het fosfaat bij stal mest ongeveer gelijk aan die van TSP, terwijl de eerstejaarswerking van groencompost en GFT-compost rond 60 tot 70% van die van TSP is. Bij herhaalde toediening is op de langere termijn de werking van de composten en TSP gelijk (Van Dam en Ehlert, 2008a; Van Dam en Ehlert, 2008b).

In de groenteteelt is onderzoek uitgevoerd met nieuwe fosfaatmeststoffen, namelijk vloeibare polyfosfaten. Hierbij werd een sterk wisselend resultaat behaald. Positieve effecten kunnen waarschijnlijk verklaard worden doordat de vloeibare meststof beter geplaatst en gelijkmatiger verdeeld toegediend kan worden dan een korrelmeststof. Een verschil in fosfaatvorm (polyfosfaat of 'gewoon' orthofosfaat) heeft geen effect op de opbrengst (Van Geel, 2003).

### *Plaatsing*

Fosfaat is weinig mobiel in de bodem. Dit heeft als gevolg dat de afstand van het fosfaat tot de wortel een belangrijke rol speelt. In het begin van het groeiseizoen als de wortelontwikkeling nog gering is treedt dan ook vaak fosfaatgebrek op. Het plaatsen van fosfaat in de rij, dichtbij, de wortels kan een positief effect hebben. Door plaatsen kan een besparing op de P gift bereikt worden. Het positieve effect van plaatsing wordt beïnvloed door (Van Dijk et al., 2008):

- lage fosfaattoestand van de bodem;
- lage vochttoestand en lage bodemtemperatuur;
- ruime plantafstand;
- lage giften;
- combinatie van korte groeiduur en hoge fosfaatbehoefte

Van Dijk et al. (2008) onderscheiden drie groepen gewassen die verschillen in de mogelijkheden om de efficiëntie van P bemesting te verhogen door rijenbemesting.

1. Gewassen met een lange groeiduur en een lage fosfaatbehoefte. Waarschijnlijk beperkte mogelijkheden.
2. Gewassen met een lange groeiduur en hoge fosfaatbehoefte. Plaatsing is interessant bij een lage fosfaattoestand van de bodem met een lage vochttoestand en beperkte beworteling.
3. Gewassen met een korte groeiduur en hoge fosfaatbehoefte. Bij deze groep biedt de grootste mogelijkheden om de P efficiëntie door rijenbemesting te verhogen.

Een aantal vaste planten heeft een hoge fosfaatbehoefte. De verwachting is dat het plaatsen van fosfaat een positief effect heeft. Het effect zal sterker zijn naarmate de fosfaattoestand lager is.

In hoofdstuk 2.2 is aangegeven dat van ongeveer een derde van de duinzandbodems de fosfaattoestand laag is. Op deze bodems is het grootste positieve effect van het plaatsen van fosfaat te verwachten. Meststoffen zouden in de plantveur geplaatst kunnen worden. In theorie kan dat tot grote besparingen leiden. Of het praktisch ook goed mogelijk is, is nog niet bekend. Wortelverbranding door een te hoge concentratie opgeloste meststof in de veur moet voorkomen worden.

Bij de organische bemesting kan 'geplaatst' worden toegediend door alleen de bedden te bemesten en de paden ongemoeid te laten. Voor het meerjarige organische stofbeheer is het dan noodzakelijk met vaste



bedden en paden te werken, die m.b.v. precisieapparatuur elk jaar op precies dezelfde plaats liggen. Dan kunnen de paden op deze manier vrij van meststoffen blijven, wat, bij een bedbreedte 1.2 m en een padbreedte van 0.3 m, tot maximaal 20% besparing op de gift zou kunnen leiden.

*Tijdstip van toediening*

Een fosfaatgift met gemakkelijk oplosbare meststoffen zoals TSP in het voorjaar heeft de voorkeur boven een gift in het najaar. Naarmate de tijdsduur tussen de gift en het moment dat het gewas de fosfaat opneemt langer wordt, wordt een groter deel omgezet in moeilijk uitwisselbaar fosfaat.



## 4 Discussie

### 4.1 Vergelijking van de gewasbehoefte met de aanvoernormen

#### *Bemestingsadvies*

In Tabel 6 zijn de normen gecombineerd met het fosfaatadvies. Een waarderingsklasse volgens de Adviesbasis van de fosfaattoestand kan bij uiteenlopend Pw-getal voorkomen, afhankelijk van het PAL-getal dat in dezelfde grond gemeten is. Daardoor kan een grond met een bepaalde waarderingsklasse in meerdere normeringsklassen vallen. De normen zijn lager dan de adviesgift bij de waarderingsklassen 'zeer laag', 'laag', 'vrij laag' en 'goed'. Bij de waarderingsklasse 'goed' is het verschil tussen adviesgift en norm mogelijk te overbruggen door een efficiëntere toedieningstechniek bij de fosfaatbemesting. Bij de klasse 'vrij laag' kan alleen plaatsing van de meststof in de plantveer mogelijk een oplossing bieden. Bij de klassen 'laag' en 'zeer laag' kan het verschil tussen norm en adviesgift niet door aanpassing van de bemestingsmethode overbrugd worden. Naar verwachting komen deze toestanden op het moment alleen voor op 'nieuwe' duinzandgrond, die recent is omgezaaid of opgezaaid met onbemeste grond. Bij grond met een Pw-getal lager dan 25 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> l<sup>-1</sup> grond mag een reparatiebemesting uitgevoerd worden. Hierdoor kunnen knelpunten voor voeding van het gewas beperkt worden.

#### *Compenseren fosfaatafvoer door het gewas*

Voor Astilbe, en mogelijk ook voor Paeonia, is de fosfaatafvoer (afvoer met gerooid product – aanvoer met plantgoed) hoger dan de voorgestelde normen. Bij de teelt van Astilbe kan de fosfaatvoorraad in de grond alleen op peil gehouden, binnen de norm, als dit gewas geteeld wordt in rotatie met voldoende areaal andere gewassen met een lagere afvoer.

Tabel 6. Vergelijking van het fosfaatbemestingsadvies voor de boomkwekerij met voorgestelde fosfaatsnormen in 2015.

Waardering fosfaattoestand volgens Adviesbasis (Tabel 2 en 3)	Adviesgift kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	Fosfaatklasse normering	Fosfaataanvoer norm 2013 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>	Fosfaataanvoernorm 2015* kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup>
Zeer laag	200 – 250	Laag	85	75
Laag	160	Laag – neutraal	65 – 85	60 – 75
Vrij laag	120	Laag – neutraal – hoog	55 – 65 – 85	50 – 60 – 75
Goed	80	Laag – neutraal – hoog	55 – 65 – 85	50 – 60 – 75
Vrij hoog	0	Neutraal – hoog	55 - 65	50 – 60
Hoog	0	Hoog	55	50

\* Indicatief

### 4.2 Organische stofvoorziening

Met groencompost is de organische stofvoorziening binnen de voorgestelde normen uit te voeren. Er blijft dan nog ruimte voor een gerichte gift kunstmestfosfaat, die in plaats en tijd flexibeler ingezet kan worden.

## 4.3 Oplossingen voor knelpunten

De voorgestelde fosfaatnormen kunnen met name op de percelen met een relatief lage fosfaattoestand de voeding van het gewas beperken (sectie 4.1). Bij gebruik van groencompost zijn er voor de organische stofvoorziening geen problemen. Voor oplossing van de knelpunten kan in twee richtingen gezocht worden.

Ten eerste is het fosfaatadvies voor de boomkwekerij niet gewasspecifiek, terwijl er reden is om aan te nemen dat er wel degelijk aanzienlijk verschillen in fosfaatbehoefte kunnen bestaan tussen verschillende gewassen en gewasgroepen: zowel de opnamesnelheid als de beworteling kan tussen gewassen verschillen. In Fig. 3 is de adviesgift als functie van het Pw-getal uitgezet voor twee niveaus van het PAL-getal. Ter vergelijking is het bouwlandadvies voor gewasgroep 1 van de akkerbouwgewassen weergegeven (Van Dijk en Van Geel., 2008; Van Dam et al., 2004). In vergelijking met fosfaatadviezen voor andere bouwland-gewassen vallen een aantal zaken op:

- Er wordt bij andere adviezen geen rekening gehouden met het PAL-getal; in het boomkwekerijadvies gebeurt dit wel. Dit wordt gedaan vanwege het lange groeiseizoen van de gewassen, waardoor nalevering belangrijker is dan bij kortere teelten.
- Bij de andere adviezen neemt de gift lineair af naar nul bij toename van het Pw-getal; hiervoor wordt een formule gegeven, naast een tabel met afgeronde waarden. Het boomkwekerijadvies werkt met vrij grove categorieën, en de afname van de gift wordt onderbroken bij een gift van 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha, en voor PAL 16-25 ook bij 160 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha.

Verfijning of gladstrijken van de categorieën in het boomkwekerijadvies zou mogelijk kunnen leiden tot een lagere adviesgift. Ook kan dan geëvalueerd worden of de adviesgift inderdaad over een traject van 30 Pw-eenheden gelijk moet blijven op 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha. Het advies zou dan de vorm kunnen hebben:

$$\text{Gift} = \text{Maximale gift} - A * \text{Pw-getal} - B * \text{PAL-getal}.$$

Dit model zou met bestaande of nieuwe gegevens geparаметeriseerd kunnen worden. Aansluiten bij de systematiek van de andere bouwlandgewassen levert mogelijk voordeel op, omdat dan gebruik gemaakt kan worden van bestaande gegevens en modellen.

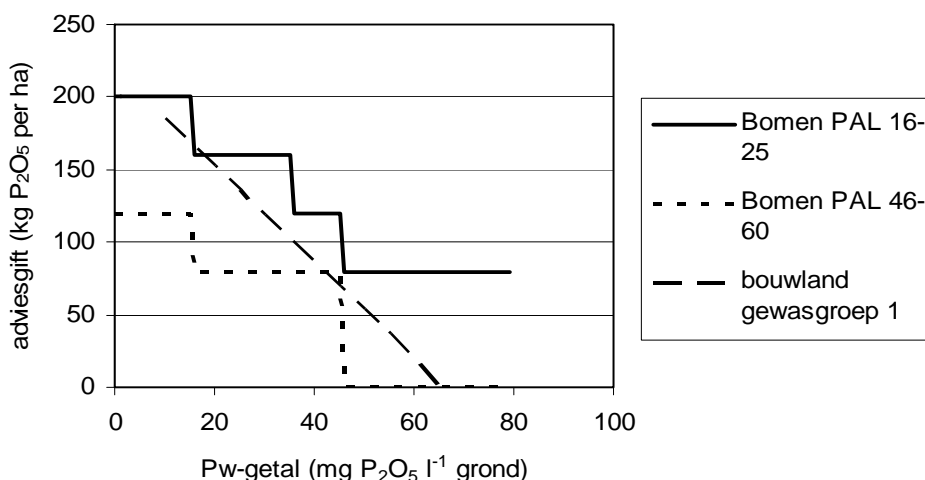


Fig. 3.. Fosfaatadviesgiften als functie van het Pw-getal.

Ten tweede kan onderzocht worden of bij plaatsing van meststoffen de gift verlaagd kan worden (zie ook sectie 3.3). Dit onderzoek dient bij een vrij lage fosfaattoestand in de grond uitgevoerd te worden, omdat anders een duidelijk effect niet goed meetbaar is (Dekker en Postma, 2008).

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

- Bepaal minstens éénmaal in de drie jaar van alle percelen de fosfaattoestand. Bemonster niet kort na het toedienen van organische mest of onderwerken van een groenbemester. Vergelijk het resultaat met eerdere resultaten. Maak zoveel mogelijk gebruik van hetzelfde laboratorium.
- Hoe lager de fosfaattoestand in de grond, hoe meer de adviesgift de fosfaatgebruiksnorm overschrijdt
- Het is niet bekend hoe bij een zeer lage en lage fosfaattoestand het verschil tussen adviesgift en norm bij vaste planten overbrugd kan worden door meer efficiënte bemestingsmethoden.
- De fosfaatsnorm in het oppervlaktewater is niet haalbaar in combinatie met een landbouwkundig acceptabele fosfaattoestand in de grond, als het grondwater uit duinzandgrond vrij draineert naar het oppervlaktewater.

### 5.2 Aanbevelingen

- Bemest de verschillende gewassen op het bedrijf op maat: hoogbehoefte gewassen boven de norm bemesten en laagbehoefte onder de norm bemesten. Op deze wijze kan binnen de fosfaatgebruiksruimte toch een goede kwaliteitsproductie behaald worden.
- Evalueer het fosfaatbemestingsadvies. Het huidige advies is niet gewasspecifiek. Mogelijk worden sommige gewassen te zwaar en andere te weinig bemest. Daarnaast zijn de fosfaatniveaus in het advies nogal grof (met stappen van 40 tot 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha). Verfijning is mogelijk.
- Onderzoek het perspectief van besparing op de gift bij te ontwikkelen efficiëntere bemestingsmethoden (m.n. plaatsing van fosfaat).

Een alternatieve oplossing kan een 'end-of-pipe' oplossing zijn. Hierbij wordt een filter dat fosfaat bindt aangebracht op het einde van een drainage buis. Op deze wijze wordt voorkomen dat fosfaat niet uit de percelen in het oppervlaktewater terechtkomt. Op deze wijze is de gestelde waterkwaliteit wat betreft de fosfaatsnorm in oppervlakte water haalbaar. Deze oplossing past (nog) niet binnen de huidige regelgeving.



# Literatuur

- Aendekerk, Th.G.L., 2000. Adviesbasis voor de bemesting van boomkwekerijgewassen. Vollegrondsteelt. Boomteeltpraktijkonderzoek, Boskoop.
- Berge, ten H.F.M., 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.
- CBS, 2009. Statline databank, Centraal Bureau voor de Statistiek. <http://statline.cbs.nl>.
- Dalal, R.S., 1977. Soil organic phosphorus. *Adv. Agronomy* 29:83-177.
- De Willigen, P., & Noordwijk, M. van, 1987. Roots, plant production and nutrient efficiency. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen. Dissertatienummer 1166.
- Dekker, P.H.M., & R. Postma, 2008. Verhoging efficiëntie fosfaatbemesting. Bureau studie in opdracht van het Productschap Akkerbouw. PPO rapport nr 3250061800, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad.
- 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., P.H.M. Dekker, J.R. van der Schoot, R. Visschers, J.C. van Middelkoop, M.P. van der Maas, A.A. Pronk, A.M. van Dam, 2009. Fosforgehalten en fosfaatafvoercijfers van landbouwgewassen. Eindrapportage. Alterra-rapport 1773. Alterra, 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., Burgers, S.L.G.E., Bussink, D.W., Temminghoff, E.J.M., Erp, P.J. van, Riemsdijk, W.H. van, 2007. Deskstudie naar de mogelijkheden voor het aanwijzen van fosfaatarme gronden op basis van P-PAE. Stand van zaken 2006. Alterra Rapport 1458. Alterra, Wageningen
- 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.
- 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.
- Harrison, A.F., 1987. Soil organic phosphorus. A review of world literature. CABI Publ., Wallingford. UK.
- Koopmans, G.F., 2004. Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils. Doctoral thesis, Wageningen University, Wageningen, Nederland.
- Milieu- en Natuurcompendium, 2009. [www.milieuennatuurcompendium.nl](http://www.milieuennatuurcompendium.nl). Planbureau voor de Leefomgeving, Bilthoven; Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag; Wageningen UR, Wageningen.

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.

Schoumans, O.F., J. Willems & G. van Duinoven, 2008. 30 vragen en antwoorden over fosfaat in relatie tot landbouw en milieu. Alterra, Wageningen.

Van Dalssen, P., 2005. Verkenning N en P opname door vaste planten. Interne notitie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving Bloembollen, Boomkwekerij en Fruit, Lisse.

Van Dam, A.M., & P.A.I. Ehlert, 2008a. Beschikbaarheid van fosfaat in organische meststoffen. Een studie voor bollenteelt in het westelijk zandgebied. PPO-rapport 32 360291 00. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lisse.

Van Dam, A.M., & P.A.I. Ehlert, 2008b. Werking van fosfaat van stalmest en compost is variabel. Bloembollenvisie 31 juli p.20.

Van Dam, A.M., Kater, L.J.M. & Wees, N.S. van, 2004. Adviesbasis voor de bemesting van bloembolgewassen. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving B.V. Sector Bloembollen. PPO 708.

Van Dijk, W., & W. van Geel, 2008. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. Publicatienummer 307. Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lelystad. [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl).

Van Dijk, W., P.H.M. Dekker, H.F.M. ten Berge, A.L. Smit & J.R. Van der Schoot, 2008. Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen: verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. PPO publicatienr. 307, Lelystad.

Van Geel, W., 2003. Geen meerwaarde polyfosfaat. Artikel Praktijkonderzoek Plant en Omgeving sector Akkerbouw, vollegrondsgroenten en groene ruimte. [www.kennisakker.nl](http://www.kennisakker.nl).

Van Reuler, H., 2009. Stikstof en fosfaatopname van vaste planten. Rapport project 32 306313 00, Praktijkonderzoek Plant en Omgeving, Lisse.

Vierde Nederlandse Actieprogramma Betreffende de Nitraatrichtlijn (2010-2013), 2009.

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.