



# Plaatsing als strategie voor een efficiëntere fosfaatbemesting 2. Veldproeven

F.J. de Ruijter, A.L. Smit & E.J.J. Meurs







# Plaatsing als strategie voor een efficiëntere fosfaatbemesting 2. Veldproeven

F.J. de Ruijter, A.L. Smit & E.J.J. Meurs

© 2009 Wageningen, Plant Research International 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 Plant Research International B.V.

Exemplaren van dit rapport kunnen bij de (eerste) auteur worden besteld. Bij toezending wordt een factuur toegevoegd; de kosten (incl. verzend- en administratiekosten) bedragen € 25 per exemplaar.

Het onderzoek naar verhoogde fosfaatbenutting via startgiften en plaatsing is uitgevoerd in opdracht van en gefinancierd door het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Projectcode: BO-05-008-012.

Het onderzoek naar de bemestende waarde van struviet is gefinancierd door Wetsus.

## **Plant Research International B.V.**

Adres : Droeendaalsesteeg 1, Wageningen  
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen  
Tel. : 0317 – 48 60 01  
Fax : 0317 – 41 80 94  
E-mail : [info.pri@wur.nl](mailto:info.pri@wur.nl)  
Internet : [www.pri.wur.nl](http://www.pri.wur.nl)

# Inhoudsopgave

	pagina
Voorwoord	1
Samenvatting	3
1. Inleiding	5
2. Materiaal en methoden	7
2.1 Experiment 1	7
2.2 Experiment 2	8
3. Resultaten	11
3.1 Experiment 1	11
3.1.1 Gewasontwikkeling	11
3.1.2 Opbrengst	12
3.1.3 N- en P-gehalte	13
3.1.4 N- en P-opname	14
3.1.5 Verdeling loof-wortel bij peen en suikerbiet	15
3.1.6 Fosfaatoverschot	16
3.2 Experiment 2	17
3.2.1 Effect van P-bemesting op Pw en P-AI tijdens het groeiseizoen	17
3.2.2 Gewasontwikkeling mais	18
3.2.3 Opbrengst en nutriëntenopname	19
4. Discussie	21
Conclusies	23
Referenties	25



# Voorwoord

Het onderzoek rondom plaatsing van fosfaat is gefinancierd vanuit het Ministerie van LNV. Aanvullend onderzoek rondom de bemestende waarde van struviet in de veldproef in 2009 is gefinancierd vanuit Wetsus, en uitgevoerd in samenwerking met Kealan Gell, MSc student van Wageningen UR. Zijn inbreng en onderzoek wordt beschreven in zijn MSc-thesis 'Struvite from Blackwater and Urine: A Safe and Effective Fertilizer' (in voorbereiding).





## Samenvatting

Vanuit het mestbeleid wordt de toegestane ruimte voor fosfaatbemesting geleidelijk beperkt om te komen tot een evenwichtsbemesting. De huidige bemestingsadviezen voor fosfaat zijn niet gericht op evenwichtsbemesting, en het verband tussen de hoogte van het fosfaatadvies en de opname of afvoer van fosfaat is afwezig of lijkt zelfs negatief te zijn: gewassen die kort groeien en weinig fosfaat opnemen (zoals veel groenten) hebben een hoger advies dan gewassen die lang groeien en veel fosfaat opnemen.

Fosfaat speelt vooral een rol in de beginfase van de groei wanneer de opnamecapaciteit van de wortels te klein kan zijn om aan de fosfaatbehoefte van de planten te voldoen. Omdat in absolute zin de fosfaatbehoefte in deze fase echter nog klein is, lijken hoge fosfaatbemestingen om enkel de planten door de beginfase heen te helpen vooral bij een voldoende P-toestand van de grond niet erg efficiënt. In dit geval kan plaatsing van een relatief geringe hoeveelheid fosfaat geconcentreerd bij de wortels veel fosfaat besparen.

In twee veldproeven in 2008 en 2009 op zandgrond met een lage fosfaattoestand is het effect van plaatsing van fosfaat onderzocht bij verschillende gewassen. Hierbij is 10 en 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> geplaatst onder de plantrij vergeleken met 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> volvelds gestrooid en een onbemeste behandeling. Plaatsing versnelde de begingroei van spinazie, suikerbiet, ui, stamslaboon en maïs. Bij ui verdwenen de verschillen in de loop van het groeiseizoen, evenals bij maïs in het tweede proefjaar. Bij oogst verhoogde fosfaatbemesting de opbrengst bij suikerbiet, spruitkool, prei spinazie, vroege stamslaboon en maïs. Fosfaatbemesting had geen effect op de opbrengst van ui, peen, ijsbergsla, late stamslaboon en maïs in het tweede proefjaar. Het meeste effect van fosfaatbemesting viel te verwachten bij gewassen met een korte groeiduur en hoge fosfaatbehoefte. Het al dan niet optreden van versnelde begingroei of verhoogde opbrengst sloot echter slechts ten dele aan bij de indeling in gewasgroepen bij de fosfaatadvisering en/of de groeiduur van het gewas.

Uit de vergelijking van de verschillende bemestingswijzen bleek dat plaatsing een effectieve manier is om de fosfaatgift sterk te reduceren en toch fosfaat aan te bieden in voldoende hoge concentraties bij de wortel. Op veldjes zonder gewas werd de fosfaatbeschikbaarheid gevolgd zonder bemesting of na strooien van 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. Fosfaatbemesting verhoogde de fosfaatbeschikbaarheid (P-AI, Pw) en dit effect nam slechts langzaam af gedurende het groeiseizoen. Dit betekent dat fosfaat ook enige tijd voor zaaien of planten aangebracht kan worden.

De bemestende waarde van struviet is bekeken in het veldexperiment van 2009. Struviet ontstaat bij terugwinning van fosfaat uit afvalstromen, en gebruik hiervan als meststof sluit aan bij de noodzaak om de fosfaatkringloop meer te sluiten en uitputting van de voorraden winbaar fosfaat op de wereld te beperken. Struviet van twee verschillende herkomsten is vergeleken met die van tripelsuperfosfaat. De meststoffen gaven een gelijke maïsopbrengst, maar doordat deze niet verschilden van de onbemeste veldjes kunnen op basis van deze proef geen uitspraken gedaan worden over de bemestende waarde van struviet ten opzichte van tripelsuperfosfaat. Bij bemesting met struviet nam maïs 12-13 kg ha<sup>-1</sup> meer Mg op ten opzichte van tripelsuperfosfaat en de onbemeste behandeling. De verhouding fosfaat:Mg in maïs bedroeg 1:0,4 tot 1:0,57. De verhouding fosfaat:Mg in struviet is 1:0,34 waardoor bij evenwichtsbemesting van fosfaat bij maïs struviet gebruikt kan worden zonder overmatig Mg toe te dienen.



# 1. Inleiding

Vanuit het mestbeleid wordt de toegestane ruimte voor fosfaatbemesting geleidelijk beperkt om te komen tot een evenwichtsbemesting. Het doel hiervan is om verdere ophoping van fosfaat in de bodem te voorkomen, en uitspoeling van fosfaat naar grond- en oppervlaktewater te beperken. Een andere reden om efficiënter met fosfaat om te gaan en te streven naar evenwichtsbemesting is de uitputting van de winbare voorraden fosfaat op de wereld (Smit *et al.*, 2009a; Udo de Haas *et al.*, 2009).

De huidige bemestingsadviezen voor fosfaat zijn niet gericht op evenwichtsbemesting, en er is geen verband tussen de hoogte van het fosfaatadvies en de opname of afvoer van fosfaat. Het verband tussen adviesgift en fosfaatafvoer lijkt eerder negatief te zijn: gewassen die kort groeien en weinig fosfaat opnemen (zoals veel groenten) hebben een hoger advies dan gewassen die lang groeien en veel fosfaat opnemen (Smit *et al.*, 2009b, 2009c).

De reden voor hoge fosfaatadviezen bij sommige gewassen kan te maken hebben met een geringe beworteling in de beginfase van de groei. In deze fase kan de opnamecapaciteit van de wortels te klein zijn om aan de fosfaatbehoefte van de planten te voldoen. De fosfaatbehoefte van de planten in de beginfase van de groei is echter in absolute zin nog klein, hoge fosfaatbemestingen om enkel de planten door de beginfase heen te helpen lijkt vooral bij een voldoende P-toestand van de grond niet erg efficiënt. In dit geval kan plaatsing van fosfaat veel fosfaat besparen. Hierbij wordt een relatief geringe hoeveelheid fosfaat geconcentreerd bij de wortels van de jonge plant aangebracht. Dit kan dan voldoende zijn om de gevraagde opname te realiseren. In de verdere groei van het gewas kan bij voldoende beworteling makkelijker aan de gevraagde opname worden voldaan.

In een eerdere studie is modelmatig het effect onderzocht van plaatsing van fosfaat bij zaaien of planten van gewassen met verschillende bewortelingskarakteristieken en verschillende fosfaatopname (Smit, 2009b). Hierbij werd het effect onderzocht van plaatsing van verschillende hoeveelheden fosfaat in de laag 10-15 cm diepte in 1% van het bouwvoorvolume. De berekeningen gaven aan dat een locale verhoging van de Pw tot 500 via plaatsing van slechts 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (10 kg P) voor gewassen met een hoge fosfaatopname altijd voldoende was om zowel bij Pw 35 als Pw 25 de gewenste P-opname te realiseren. Locale verhoging van de Pw tot 300 via plaatsing van 14 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (6 kg P) in grond met Pw 25 bleek niet meer voldoende om aan de gewenste opnamevraag te voldoen. Deze modelberekeningen geven aan dat voor optimale begingroei bij lage Pw en gewassen met een grote fosfaatbehoefte er ook bij plaatsing voldoende fosfaat aangevoerd dient te worden.

In de praktijk kan het gewenst zijn om bij aanscherping van gebruiksnormen of bij evenwichtsbemesting de aanvoer van kunstmestfosfaat tot een minimum te beperken om voldoende ruimte te hebben voor aanvoer van fosfaat via dierlijke mest of compost voor het op peil houden van het organische-stof gehalte van de bodem. De meeste gewassen nemen 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> of meer op, waardoor bij een geplaatste gift van 23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> (10 kg P) ook bij evenwichtsbemesting nog ruimte over is voor aanvoer van fosfaat via organische meststoffen. Wanneer geen organische meststoffen worden aangevoerd lijkt uitmijning van de fosfaatvoorraad in de bodem mogelijk zonder verlies aan opbrengst. Bovenstaande uitkomsten zijn gebaseerd op modelberekeningen, waarbij de resultaten afhankelijk zijn van de gehanteerde uitgangspunten. Toetsing van de resultaten is daarom nodig voor vertaling naar werkelijke omstandigheden.

De resultaten van de modelstudie zijn getoetst in een potexperiment in klimaatkamers en in twee veldproeven. Het doel van dit onderzoek is nagaan wat de mogelijkheden zijn voor een efficiëntere benutting van fosfaat door middel van plaatsing. Omdat bij lagere fosfaatbemesting op termijn de Pw ook daalt worden de proeven uitgevoerd op grond met een lage Pw.

In het potexperiment is het effect van plaatsing bekeken bij de gewassen maïs, ui, boon, spinazie, wortelen, koolzaad en suikerbiet. Hierbij is zandgrond met een Pw van 24 gebruikt, waarbij de Pw van de helft van de grond is verhoogd tot 31 via bijmengen met superfosfaat. Vervolgens is bij beide partijen grond het effect van plaatsing van fosfaat bekeken in hoeveelheden overeenkomend met 10 of 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Daarnaast is bij maïs en koolzaad het

effect van coating van het zaad met fosfaat bekeken (Iseed). De resultaten van het potexperiment worden beschreven in Smit (*in voorbereiding*).

Het voorliggende rapport beschrijft het effect van plaatsing bij verschillende gewassen in twee veldexperimenten. Voor een optimaal effect van plaatsing van P in de praktijk werd aandacht besteed aan de volgende onderzoeksvragen:

- Hoe ver kan de fosfaatbemesting terug door fosfaat geplaatst toe te dienen?  
Deze vraag is belangrijk om het gebruik van kunstmestfosfaat te minimaliseren en voldoende ruimte te houden voor organische bemesting.
- Is er een interactie tussen temperatuur en het effect van fosfaatplaatsing?  
Dit om te bekijken of plaatsing nog steeds nodig is als de bodemtemperaturen al hoger zijn.
- Dient de bemesting en/of plaatsing kort voor de zaai uitgevoerd te worden, of heeft bemesting langer effect op de fosfaatbeschikbaarheid en mag er meer tijd tussen bemesten en zaai zitten?  
Dit om aan te geven hoe lang vers geplaatst fosfaat werkzaam is, bovenop de bodemvoorraad.
- Hoe nauwkeurig dient fosfaat onder of bij de wortels geplaatst te worden?  
Rijenbemesting met meststof die ook stikstof bevat wordt vaak op enkele centimeters vanaf de rij gedaan om zoutschade te voorkomen. Is het fosfaat dan nog voldoende effectief?

Naast bestudering van het effect van fosfaatplaatsing is ook struviet als fosfaatmeststof meegenomen. Struviet is een product dat gewonnen kan worden bij zuivering van afvalstromen. Gebruik van struviet als meststof past binnen het streven om efficiënter met fosfaat om te gaan en minder afhankelijk te worden van fosfaat uit fosfaatmijnen. De bemestende waarde van struviet wordt vergeleken met die van tripelsuperfosfaat.

## 2. Materiaal en methoden

Twee veldproeven zijn uitgevoerd in 2008 (Experiment 1) en 2009 (Experiment 2) op De Meenthoeve te Achterberg, een proefbedrijf van Unifarm van Wageningen UR. Het perceel van Exp. 1 was tot begin jaren '90 grasland en na het scheuren beteeld met een akkerbouwrotatie. Het perceel van Exp. 1 was vanaf begin jaren '70 een experiment met schraal grasland. Het grasland is in 2000 gescheurd en het perceel is sindsdien beteeld met een akkerbouwrotatie. De geteelde gewassen in de jaren voorafgaand aan de experimenten en bodemvruchtbaarheid van de betreffende percelen wordt gegeven in Tabel 1.

Tabel 1. Bodemvruchtbaarheidkenmerken van de percelen MH25 en MH36-37 te Achterberg (bepaald door het BLGG te Oosterbeek).

		Experiment 1 (2008)		Experiment 2 (2009)	
Perceelsnaam		M25		MH 36-37	
<i>Voorvruchten</i>		<i>Jaar</i>	<i>Gewas</i>	<i>Jaar</i>	<i>Gewas</i>
		2004	Snijmaïs		
		2005	Aardappelen	2006	zomergerst
		2006	Snijmaïs	2007	aardappelen
		2007	Suikerbieten	2008	wintertarwe
Bemonsteringsdatum		21-01-2004		29-10-2008	
<i>Parameter</i>	<i>Eenheid</i>	<i>Resultaat</i>	<i>Beoordeling</i>	<i>Resultaat</i>	<i>Beoordeling</i>
N-totaal	mg N/kg	1186		1260	
C/N- quotiënt		20	vrij hoog	17	Goed
N-leverend vermogen			vrij laag	51	Vrij laag
Pw	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /l	27	vrij laag	19	Laag
P-AL	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	48		24	Vrij laag
Kalium	mg K/kg	69		52	
K-getal		16	goed	13	Goed
Magnesium	mg Mg/kg	76	goed	33	Vrij laag
Natrium	mg Na/kg	5	laag	6	Laag
Mangaan	Mg Mn/kg	1.2	laag	5.89	Goed
Borium	mg B/kg	0.08	laag	<0.076	Laag
Zuurgraad (pH)		4.6	laag	4.4	Laag
Organische stof	%	4.1	goed	3.8	Goed

### 2.1 Experiment 1

Experiment 1 werd uitgevoerd in 2008. De fosfaatbehandelingen bestonden uit:

- P1: geen fosfaat
- P2: 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, geplaatst onder de plantrij
- P3: 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, geplaatst onder de plantrij
- P4: 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, volvelds gestrooid

De fosfaatmeststof bestond uit tripelsuperfosfaat. Het fosfaat van behandeling P4 werd op 9 april gestrooid op de betreffende veldjes waarna het gehele proefveld 15 diep werd bewerkt met een rotorkopeg om het fosfaat door de grond te werken en geen verschillen in grondbewerking tussen de veldjes te krijgen. Een week later werd met een

zaaimachine het fosfaat gezaaid in de toekomstige zaairij of plantrij, drie tot vier cm dieper dan het later gezaaide zaad. Bij de geplante plantjes is fosfaat in vloeibare vorm toegediend aan per plantje aangegoten. Deze behandelingen en de behandelingen P1 en P4 werden behandeld met een lege zaaimachine om alle veldjes gelijk te bewerken.

De geteelde gewassen met plant- en oogstdatum worden gegeven in Tabel 2.

*Tabel 2. Geteelde gewassen in Experiment 1 met datums van bemesting, zaaien/planten, oogst en waarnemingen aan gewasontwikkeling.*

Gewas	P-bemesting en zaai-/plantdatum	Oogstdatum	Cropscan
Peen	17 april 2008	15 aug 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Zaaiui	17 april 2008	24 sep 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Spinazie	17 april 2008	24 jun 2008	10 juni, 20 juni, 26 juni
Suikerbiet	17 april 2008	15 sep 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Stamslaboon-vroeg	17 april 2008	14 aug 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Snijmais	17 april 2008	15 sep 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Spruitkool	5 juni 2008	15 sep 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Prei	5 juni 2008	19 nov 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Ijsbergsla	5 juni 2008	14 aug 2008	10 juni, 26 juni, 11 juli
Stamslaboon-laet	7 juli 2008	24 sep 2008	26 aug

Alle gewassen werden gelijkmatig bemest met  $90 \text{ kg N ha}^{-1}$ , toegediend op 4 juni. Tijdens de teelt werd een aantal keer met de cropscan de reflectie gemeten om de gewasontwikkeling te volgen (Tabel 2).

Veldjes waren 3 m breed en 4,5 m lang, en de proef lag in vier herhalingen. Om meststof en zaai zaad machinaal aan te kunnen brengen was tussen de herhalingen een strook van acht meter breedte aangelegd om te kunnen keren met de trekker.

Bij de oogst werden bij ijsbergsla en spruitkool tien geselecteerde planten geoogst. Bij spinazie werd acht keer een meter rijlengte geoogst uit het netto gedeelte van de veldjes. Bij de overige gewassen vier keer een meter rijlengte. Bij peen en suikerbiet werd zowel het bovengrondse als ondergrondse gewas geoogst en onderverdeeld in loof en wortel. De overige gewassen werden afgesneden op het grondoppervlak en de bovengrondse biomassa werd bepaald. Monsters van het gewas werden geanalyseerd op drogestofgehalte, N-totaal en P-totaal.

## 2.2 Experiment 2

Experiment 2 werd uitgevoerd in 2009 en bestond uit twee onderdelen:

1. Effect van plaatsing van fosfaat, toegediend in de vorm van tripelsuperfosfaat
2. Bemestende waarde van struviet

Voor bestudering van het effect van plaatsing van fosfaat werden bij de gewassen maïs, suikerbiet en spinazie direct voor het zaaien op 23 april 2009 dezelfde behandelingen aangelegd als in 2008:

- geen fosfaat
- $10 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , geplaatst onder de plantrij
- $30 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , geplaatst onder de plantrij
- $200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , volvelds gestrooid

Daarnaast werden de volgende behandelingen aangelegd:

- plaatsing van fosfaat bij spinazie op vijf cm afstand van de rij. Dit om het effect van de positie van plaatsing te bekijken.

- Late zaai van spinazie (begin juli) en ook late toediening van fosfaat om de invloed van temperatuur op de werking van geplaatst fosfaat te bekijken. Hiervoor werd ook een object met vroeg volvelds strooien van 200 kg  $P_2O_5$  en late zaai van spinazie aangelegd.
- De objecten 'geen fosfaat' en '200 kg  $P_2O_5$  volvelds gestrooid' zonder een gewas. In deze behandelingen werden regelmatig grondmonsters genomen voor bepaling van P-AI en Pw om het verloop in fosfaattoestand gedurende het groeiseizoen te bestuderen en de werkingsduur van de toegevoegde fosfaat.

Voor het onderzoek naar de bemestende waarde van struviet werden twee herkomsten gebruikt: struviet gewonnen uit urine (str-UR) en struviet gewonnen uit urine + faeces (black water: str-BW). Een gedetailleerde beschrijving van beide struvietsoorten wordt gegeven in Gell (in prep). De volgende behandelingen werden aangelegd met het gewas maïs:

- 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, volvelds gestrooid als struviet-urine (Str-UR)
- 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, volvelds gestrooid als struviet-urine (Str-UR)
- 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, volvelds gestrooid als struviet-blackwater (Str-BW)
- 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, volvelds gestrooid als struviet-blackwater (Str-BW)

De bemestende waarde wordt bekeken ten opzichte van het object zonder bemesting, en vergeleken met die van tripelsuperfosfaat:

- 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, volvelds gestrooid als tripelsuperfosfaat
- 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, volvelds gestrooid als tripelsuperfosfaat

Vanwege de lage boriumtoestand van het perceel is begin april vloeibaar borium op het perceel gespoten. Struviet is een meststof die ook N en Mg bevat. Bij 30 kg  $P_2O_5$  wordt 6 kg N ha<sup>-1</sup> bemest, en bij 200 kg  $P_2O_5$  is dat 40 kg N. Alleen bij de objecten met 200 kg  $P_2O_5$  is de bemesting met stikstofkunstmest aangepast. Op 15 mei is op de objecten met 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> uit struviet 80 kg N ha<sup>-1</sup> bemest als kalkkammonsalpeter. De overige objecten werden met 100 kg N ha<sup>-1</sup> bemest. Een tweede bemesting was gepland begin juli. De Nmin van verschillende objecten bedroeg toen 145 kg ha<sup>-1</sup> of meer waardoor geen tweede bemesting is toegediend.

Veldjes waren 3 m breed en 4,5 m lang, en de proef lag in vier herhalingen. Om meststof en zaaizaad machinaal aan te kunnen brengen was tussen de herhalingen een strook van acht meter breedte aangelegd om te kunnen keren met de trekker.

In 2009 was de opkomst van de gewassen zeer onregelmatig, en de beginontwikkeling van het gewas werd daarom gevolgd via visuele waarneming. Na opkomst groeide de spinazie niet verder, waardoor er ook geen oogstwaarnemingen aan verricht konden worden. De lage pH van het perceel is hier waarschijnlijk de oorzaak van, en voor de behandeling met late zaai van spinazie werd daarom een ander gewas ingezaaid. Hiervoor is peen gekozen, in de verwachting dat dit gewas iets minder gevoelig is voor lage pH. Ook peen groeide echter niet door na opkomst zodat ook hiervan geen opbrengsten zijn bepaald. Suikerbieten groeiden wel door na opkomst, maar door de slechte opkomst bleek ook hier geen betrouwbare opbrengstbepaling gedaan te kunnen worden. De maïs groeide wel goed zodat van alle veldjes de gewasstand is bepaald via visuele beoordeling. Bij de oogst op 2 september 2009 werd vier keer een meter rijlengte geoogst uit het netto gedeelte van de veldjes. Op veldjes waar het gewas erg onregelmatig stond werden rijen gekozen waar het gewas het meest regelmatig stond en werd minder dan vier meter rij geoogst. De planten werden afgesneden op het grondoppervlak en de bovengrondse biomassa werd bepaald. Monsters van het gewas werden geanalyseerd op drogestofgehalte, N-totaal en P-totaal. Van de behandeling zonder fosfaat en de behandelingen met 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> als tripelsuperfosfaat en als struviet-blackwater werd ook het Mg gehalte bepaald.



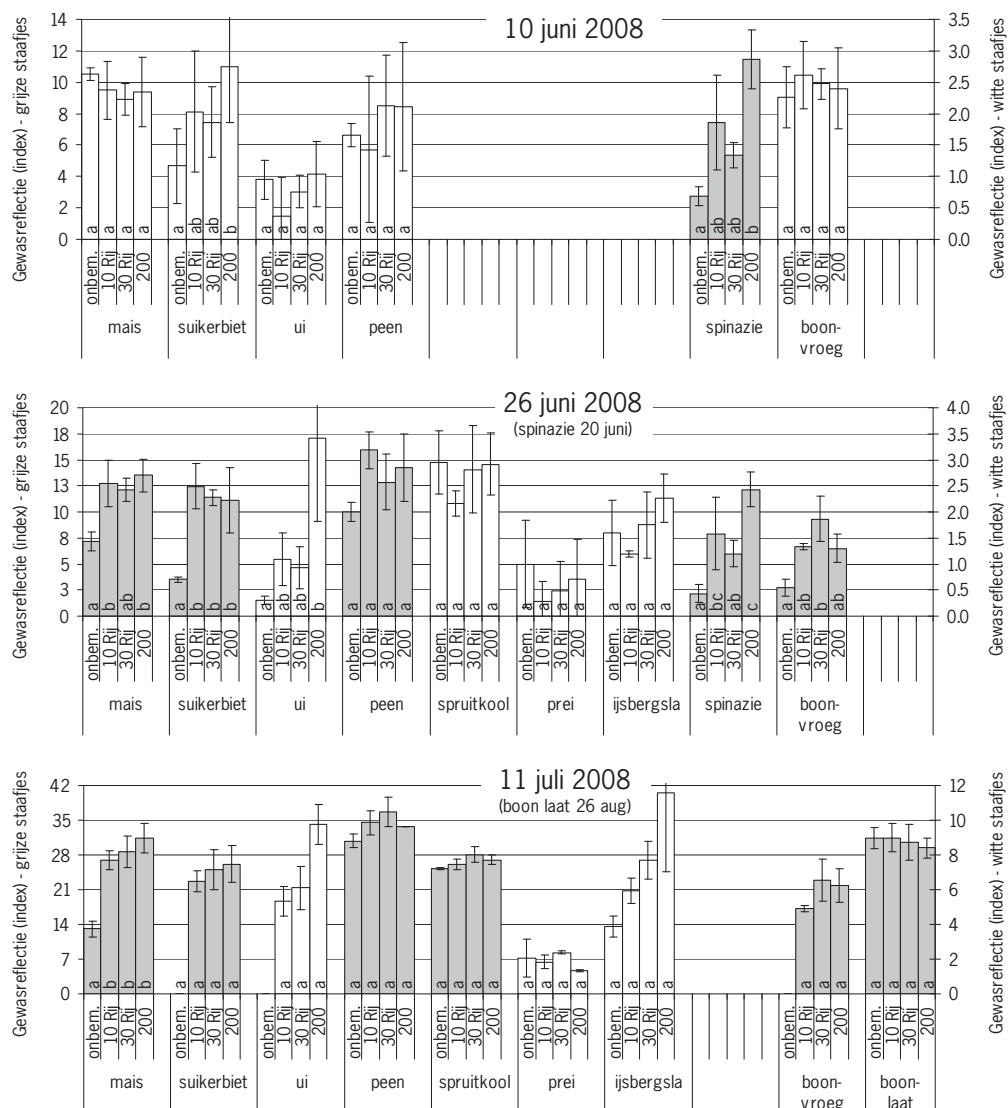


## 3. Resultaten

### 3.1 Experiment 1

#### 3.1.1 Gewasontwikkeling

Het effect van fosfaatbemesting op de begingroei verschilde tussen de gewassen (Figuur 1). Op 10 juni was er een positief effect te zien van fosfaatbemesting bij spinazie en suikerbiet. Op 26 juni was dit ook bij mais, ui en stamslaboon het geval. Op 11 juli waren er bij mais nog statistisch significante verschillen. Op deze datum was de spinazie al geoogst, en waren de onbemeste veldjes bij ui, suikerbiet en vroege boon vanwege variabiliteit niet met de cropscaan gemeten.

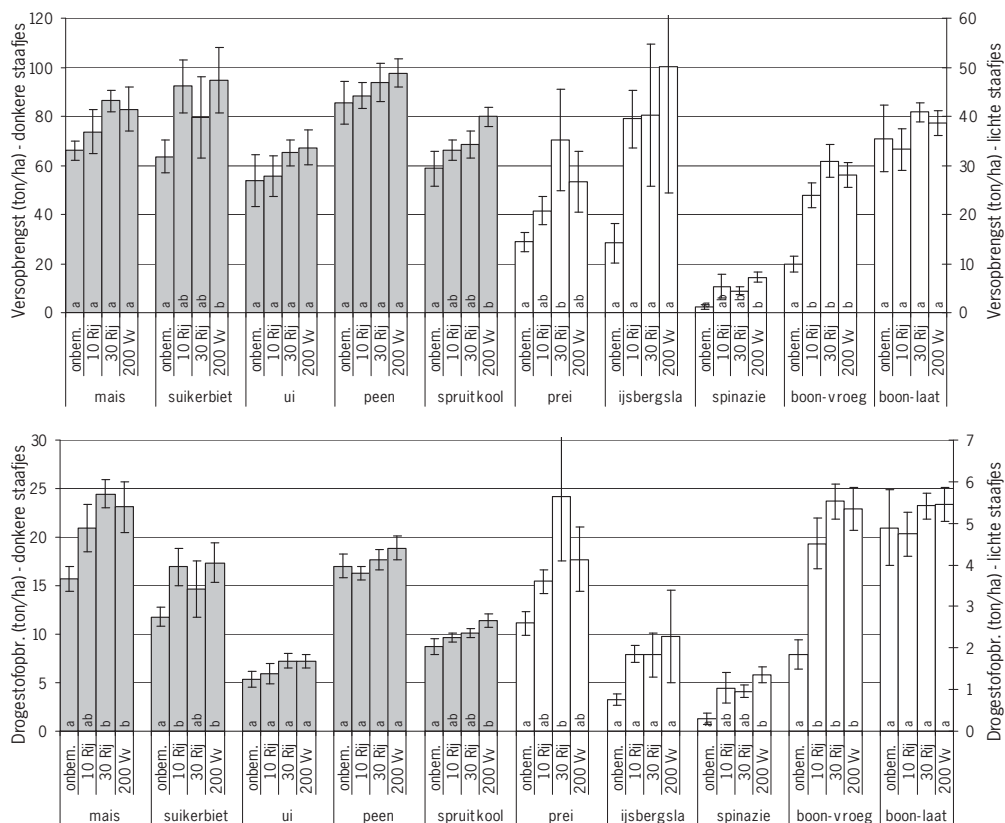


Figuur 1. Gewasreflectie tijdens de begingroei van de gewassen. Grijze staafjes horen bij de linker y-as, witte staafjes bij de rechter y-as. Codering van de fosfaatbemestingen: onbem.=onbemest; 10 Rij=plaatsing van 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> onder de rij; 30 Rij=plaatsing van 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> onder de rij; 200 Vv=200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> volvelds gestrooid en ingewerkt. Letters geven statistisch significante verschillen weer tussen fosfaatbehandelingen binnen een gewas. Error bars geven de standard error of the mean aan.

De verschillen tussen de behandelingen bestonden vooral uit het achterblijven van de gewasreflectie bij de onbemeste behandeling. Alleen bij spinazie waren er verschillen tussen de bemeste behandelingen, waarbij de behandeling met 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> volvelds toegediend een hogere gewasreflectie gaf dan beide rijbemestingen. Bij de andere gewassen waren er geen verschillen tussen plaatsing van 10 of 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> en volvelds strooien van 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>.

### 3.1.2 Opbrengst

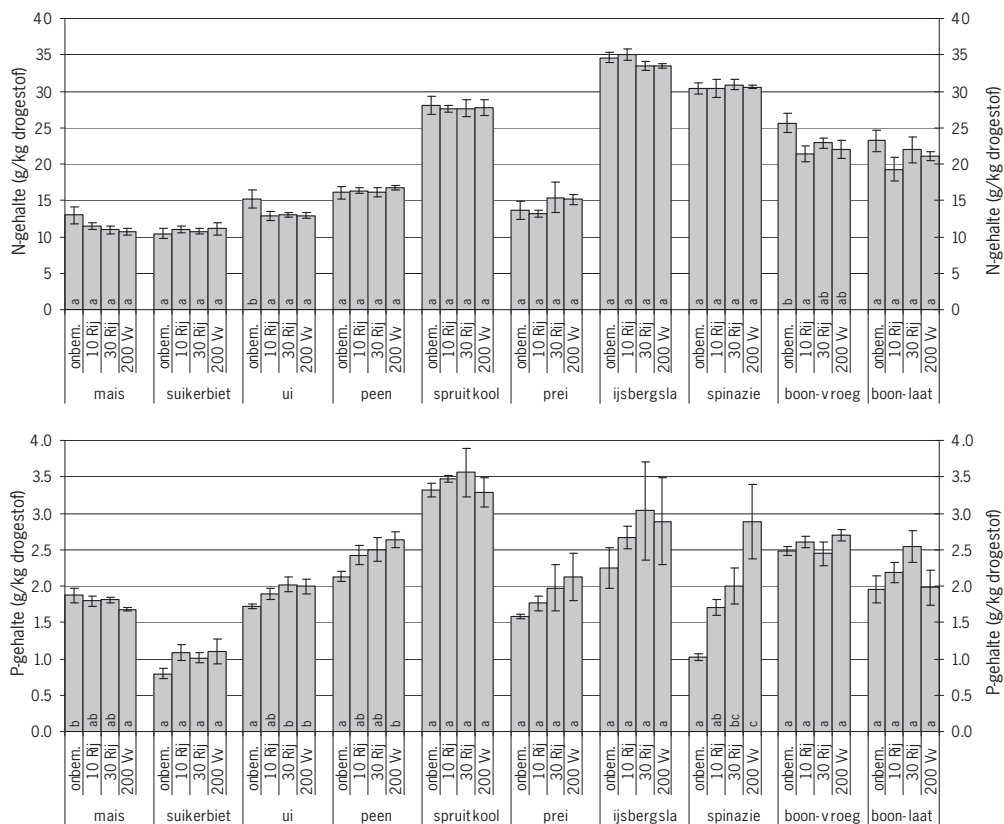
De versopbrengst en drogestofopbrengst van de gewassen bij oogst wordt gegeven in Figuur 2. Er was soms sprake van veel variatie waardoor relatief grote verschillen niet statistisch significant waren (bijv. ijsbergsla). Over het geheel van de gewassen heen gezien leek er een trend te zijn dat met toenemende gift de opbrengst toenam. Dit is getoetst door de opbrengst bij 200 kg ha<sup>-1</sup> volvelds op 100% te zetten en per gewas de opbrengst van de andere behandelingen relatief uit te drukken ten opzichte van de 200 kg ha<sup>-1</sup>. Alleen de opbrengst bij onbemest bleef significant achter bij de andere drie behandelingen, en over het geheel van de gewassen waren er geen verschillen in opbrengst tussen plaatsing van 10 kg ha<sup>-1</sup>, plaatsing van 30 kg ha<sup>-1</sup> of volvelds toedienen van 200 kg ha<sup>-1</sup>. Ook per individueel gewas waren er geen statistisch aantoonbare verschillen tussen de bemeste behandelingen (zie de letters in de staafjes van Figuur 2).



*Figuur 2. Vers- en drogestofopbrengst van het totale gewas bij de vier fosfaatbehandelingen voor tien gewassen. Grijs staafjes horen bij de linker y-as, witte staafjes bij de rechter y-as. Letters geven statistisch significante verschillen weer tussen fosfaatbehandelingen binnen een gewas. Error bars geven de standard error of the mean aan.*

### 3.1.3 N- en P-gehalte

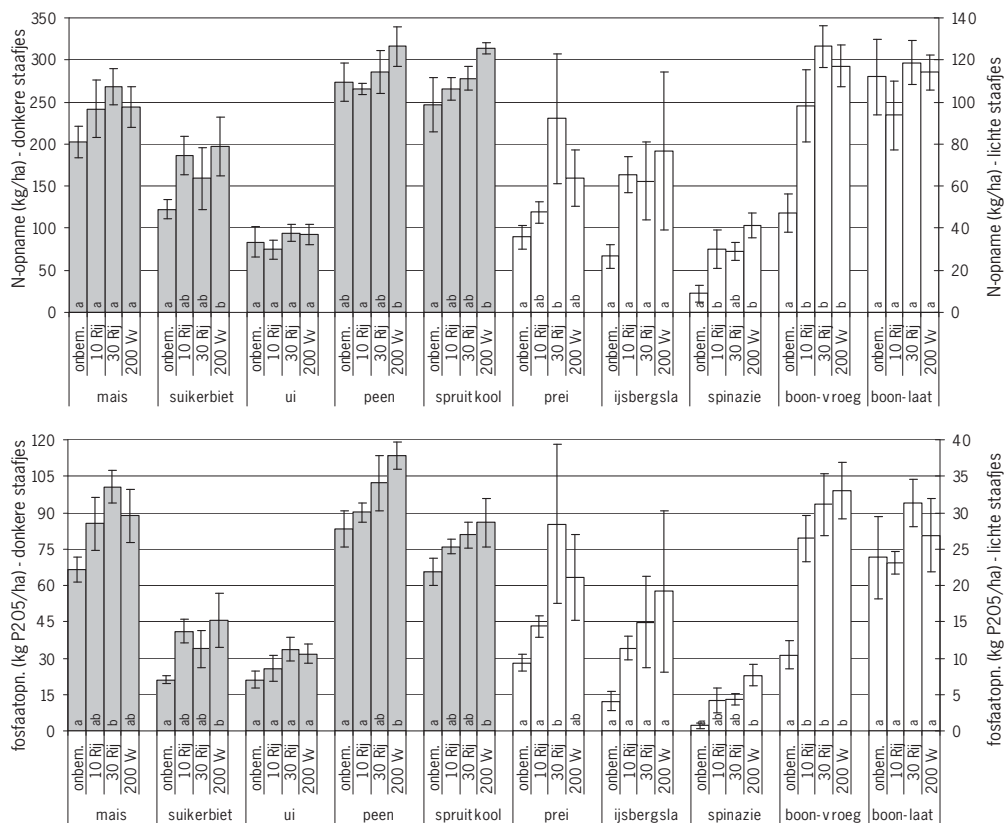
Het N-gehalte in het totale gewas verschilde tussen de gewassen maar werd niet of nauwelijks beïnvloed door de verschillende fosfaatbehandelingen (Figuur 3). Er was een kleine trend tot iets hogere N-gehalten bij de behandelingen zonder P-bemesting. Bemesting met fosfaat gaf over het geheel gezien een hoger P-gehalte ten opzichte van de onbemeste behandeling, maar er waren verschillen tussen de gewassen. Maïs week af van de overige gewassen doordat bij de oogst het P-gehalte van de onbemeste veldjes hoger was dan van de veldjes die 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> hadden gekregen. Bij spinazie werd het sterkste effect van fosfaatbemesting op het P-gehalte bij oogst gevonden. Het P-gehalte bij oogst zegt echter weinig over de invloed van fosfaatbeschikbaarheid op de opbrengst omdat fosfaat vooral effect heeft op de begingroei. Een hogere fosfaatbeschikbaarheid in het profiel kan tijdens de groei makkelijke accumulatie in het gewas geven en hogere P-gehalten. Dit hoeft echter niet te betekenen dat er voldoende fosfaat bij de begingroei aanwezig was.



*Figuur 3. N- en P-gehalte (g/kg drogestof) van het totale gewas bij de vier fosfaatbehandelingen voor tien gewassen. Letters geven statistisch significante verschillen weer tussen fosfaatbehandelingen binnen een gewas. Error bars geven de standard error of the mean aan.*

### 3.1.4 N- en P-opname

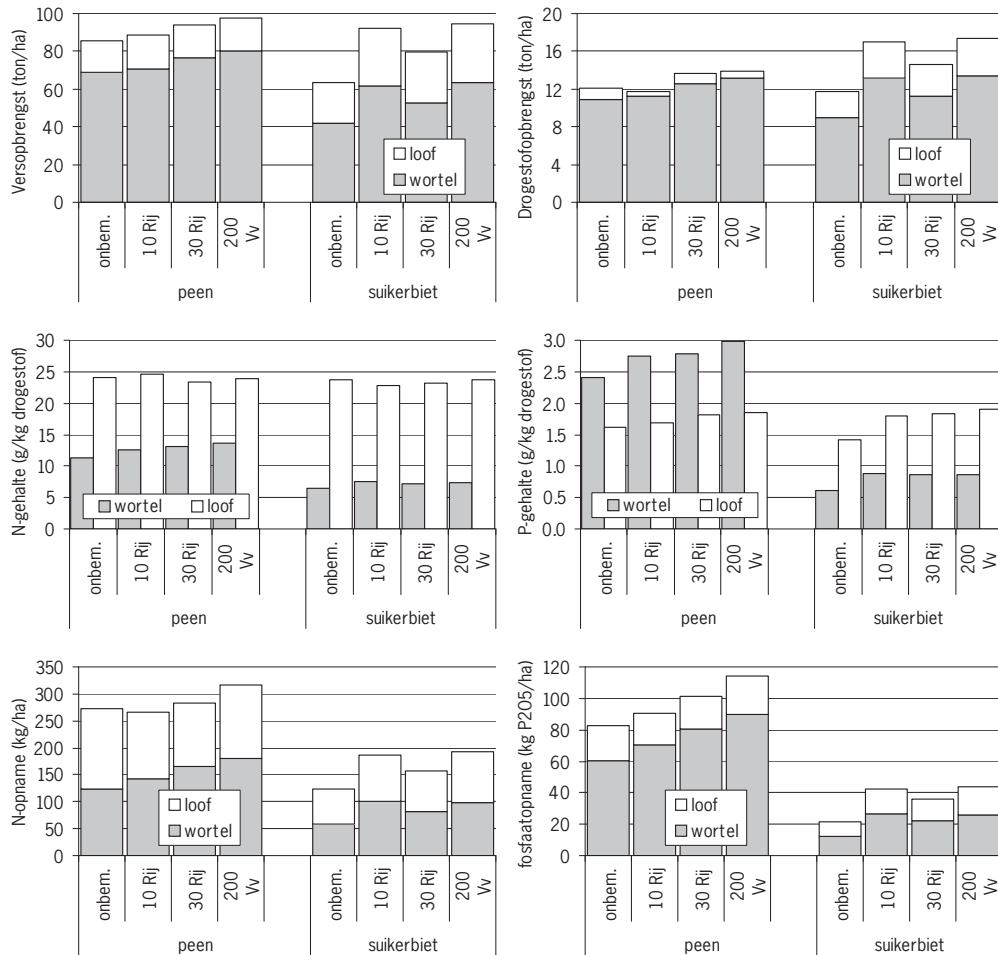
De gewasopname aan N en P (Figuur 4) vertoont grotendeels hetzelfde beeld als de opbrengst (Figuur 2). Opname aan N en P door het gewas is de som van drogestofopbrengst en gehalte, en de totale opname door het gewas werd dus sterker bepaald door opbrengst dan door gehalte.



Figuur 4. Stikstof en fosfaatopname (kg/ha) in het totale gewas, bij de vier fosfaatbehandelingen voor tien gewassen. Letters geven statistisch significante verschillen weer tussen fosfaatbehandelingen binnen een gewas. Error bars geven de standard error of the mean aan.

### 3.1.5 Verdeling loof-wortel bij peen en suikerbiet

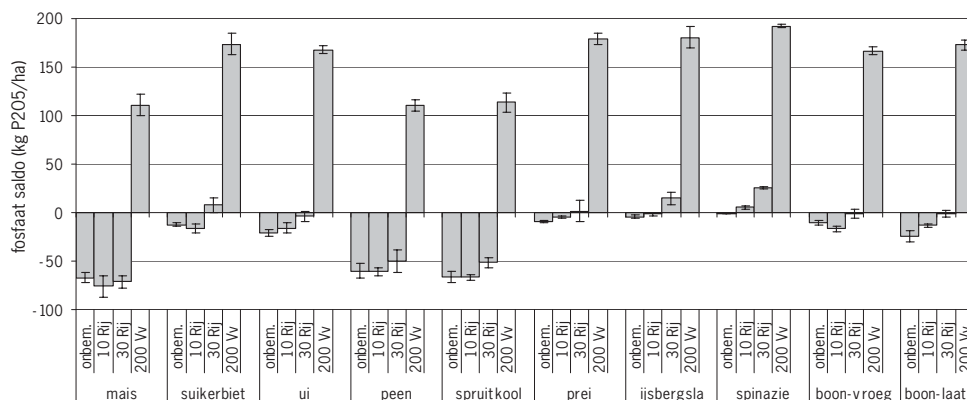
Bij suikerbiet en peen is de verdeling van de opbrengst over loof en wortel bekeken (Figuur 5). De verdeling over loof en wortel verschilde niet tussen de verschillende fosfaatbehandelingen. De totale gewasproductie bestond voor het merendeel uit wortel. Bij de oogst wordt bij beide gewassen ongeveer de helft van de opgenomen stikstof en iets meer dan de helft van de opgenomen fosfaat met de peen of bieten afgevoerd van het veld.



Figuur 5. Verdeling over loof en wortel bij peen en suikerbiet van vers- en drogestofopbrengst (boven) en stikstof- en fosfaatopname (onder). Gehalten aan N en P zijn voor loof en wortel afzonderlijk gegeven (midden). Statistische toetsing voor het totaal van loof + wortel is gegeven in Figuur x. Er was geen effect op de verhouding loof/wortel bij de verschillende figuren.

### 3.1.6 Fosfaatoverschot

Het fosfaatoverschot verschilt sterk tussen de verschillende fosfaatbehandelingen en tussen de gewassen (Figuur 6). Bij suikerbiet en peen is het overschot berekend op basis van alleen afvoer van de wortels en achterlaten van het loof. Bij de andere gewassen is gerekend met de totale fosfaatinhoud van het gewas, maar vooral bij spruitkool en boon blijven gewasresten achter op het veld en zal het saldo hoger zijn.



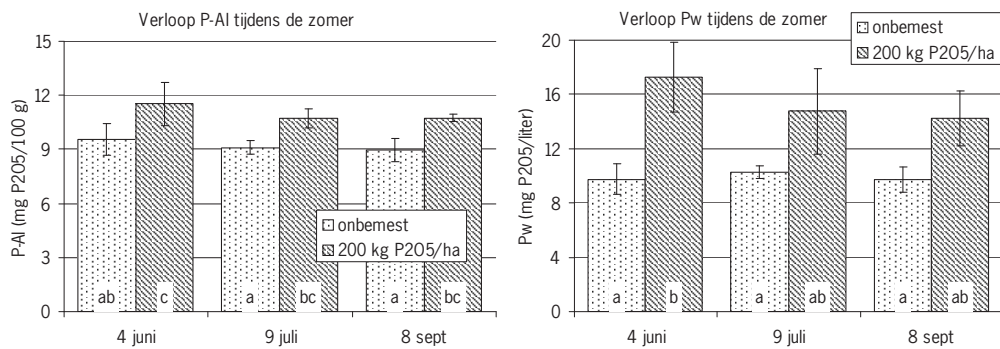
*Figuur 6. Fosfaatsaldo (kg/ha) bij de vier fosfaatbehandelingen voor tien gewassen. Bij suikerbiet en peen is alleen met afvoer via de wortels gerekend, bij de overige gewassen is gerekend met de fosfaatinhoud van het totale gewas en zal bij achterlaten van gewasresten het saldo hoger worden. Error bars geven de standard error of the mean aan.*

## 3.2 Experiment 2

### 3.2.1 Effect van P-bemesting op Pw en P-AI tijdens het groeiseizoen

De fosfaatbeschikbaarheid op de veldjes zonder gewas werd significant verhoogd door een gift van 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> (Figuur 7). Op 4 juni, 42 dagen na toediening, was P-AI met 2 eenheden verhoogd (121%) en de Pw met 8 eenheden (179%). In de loop van het seizoen bleef de P-beschikbaarheid hoger op de bemeste veldjes, maar het verschil in P-AI of Pw met het onbemeste veldje nam wel iets af. De resultaten wijzen er wel op dat toegediende fosfaat op dit perceel niet direct werd vastgelegd en dat de fosfaatbeschikbaarheid verhoogd was gedurende het gehele groeiseizoen.

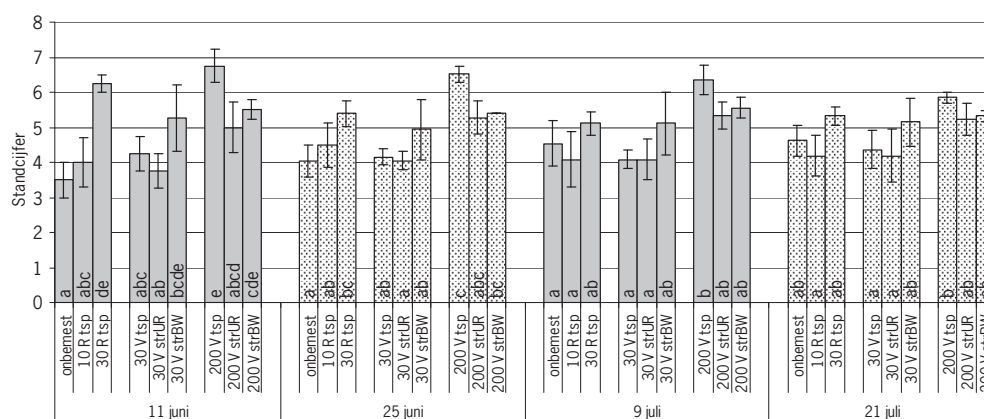
Pw en P-AI op de veldjes zonder gewas waren lager dan die welke bepaald door het BLGG in het monster van het gehele perceel dat in het voorgaande najaar was genomen (Tabel 1). Voor Pw zijn hierbij verschillende methoden gebruikt: de monsters van de veldjes zonder gewas zijn geanalyseerd door het Centraal Bodemkundig Laboratorium in Wageningen volgens het Pw protocol, en het algemeen grondonderzoek is geanalyseerd door het BLGG volgens P-PAE en via een regressieformule omgerekend naar Pw. Er is sprake van spreiding rondom de regressieformule (Ehlert *et al.*, 2007). Bij P-AI zijn echter dezelfde analysemethoden gebruikt bij beide laboratoria, en ook hier waren de waarden op de veldjes zonder gewas lager. Het meest waarschijnlijk is dat het perceelsgedeelte voor de proef een lagere fosfaattoestand had dan het gehele perceel.



Figuur 7. Effect van een gift van 200 kg  $P_2O_5$ /ha (gegeven als tripelsuperfosfaat) op 23 april op de P-beschikbaarheid in de bodem (laag 0-15 cm) uitgedrukt als P-AI (mg kg<sup>-1</sup> droge grond; links) en Pw (rechts) op drie tijdstippen tijdens de teelt. Error bars geven de standard error of the mean aan.

### 3.2.2 Gewasontwikkeling maïs

De stand van het gewas is op vier tijdstippen visueel beoordeeld (Figuur 8). De standcijfers van de beoordelingen op 25 juni, 9 juli en 21 juli zijn geschaald naar het gemiddelde van 11 juni om de relatieve verschillen tussen de behandelingen beter te kunnen bekijken. Op 11 juni was de stand van de behandelingen met hoge fosfaatbeschikbaarheid bij het zaad vaak beter. Volvelds strooien van 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> gaf vergelijkbare standcijfers als bij de onbemeste veldjes, volvelds strooien van 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> gaf een hoger standcijfer dan de onbemeste veldjes, vooral bij tripelsuperfosfaat. Plaatsing van 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> gaf een gelijke stand als volvelds strooien van 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>. Plaatsing van 10 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> gaf geen andere stand dan die van de onbemeste veldjes en bleef daarmee achter bij de verwachting. De behandeling met 30 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup> via struviet-BW was onverwacht hoog. In de loop van het groeiseizoen bleven de effecten van de behandelingen vergelijkbaar, maar namen de verschillen tussen de behandelingen af. Op 21 juli was de gewasstand van geen enkele behandeling meer significant afwijkend van de onbemeste veldjes.

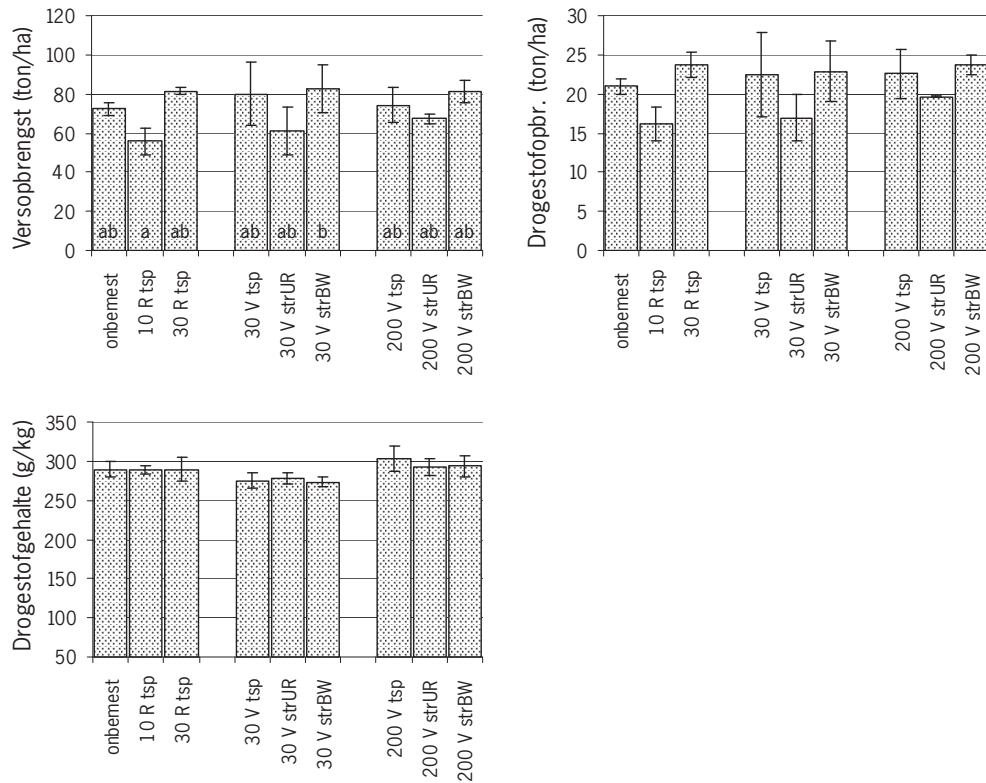


*Figuur 8. Visuele beoordeling van de gewasstand van maïs, geschaald naar een gelijk gemiddelde per waarnemingsdatum. 10, 30 en 200 is fosfaatgift in kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>; R=geplaatst onder de rij, V=volvelds; tsp=tripelsuperfosfaat, strUR en strBW zijn de twee struvietsoorten. Letters geven statistisch significante ( $P < 0.05$ ) verschillen aan binnen een waarnemingsdatum, error bars geven de standard error of the mean aan.*



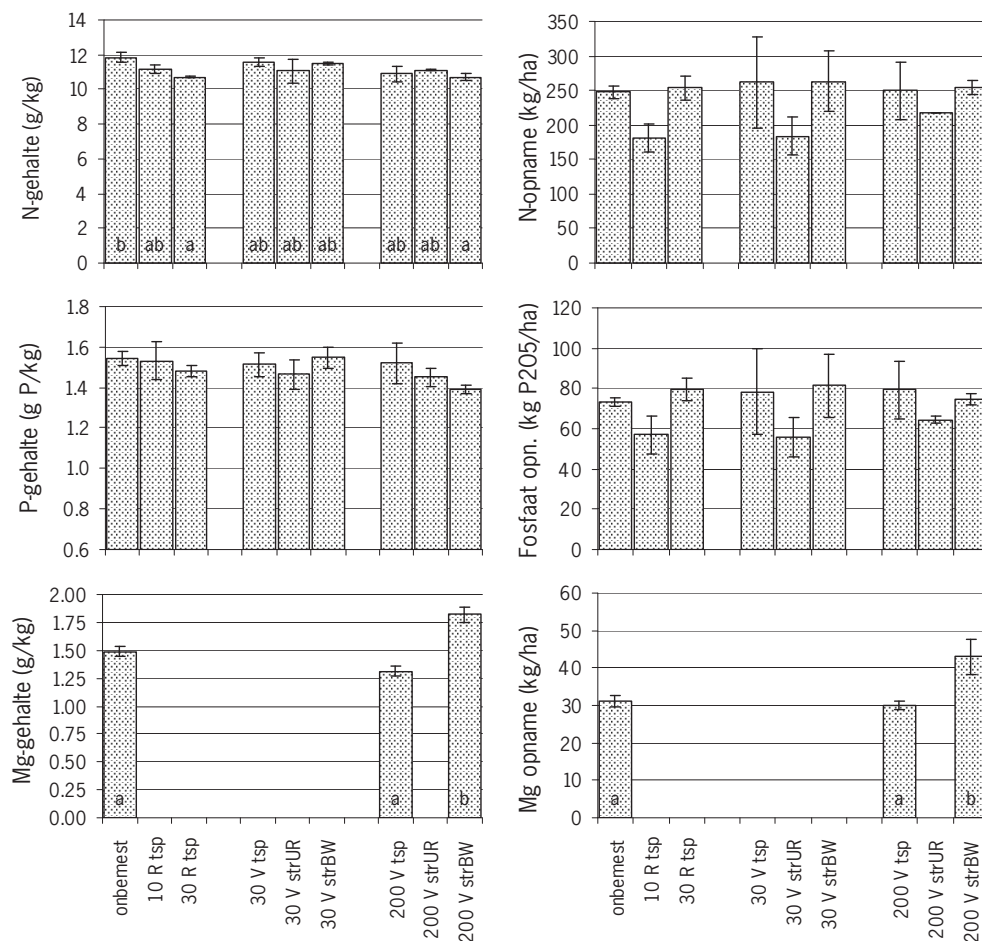
### 3.2.3 Opbrengst en nutriëntenopname

Bij de oogst op 2 september aan het einde van de proef werden geen duidelijke verschillen in opbrengst gevonden tussen de behandelingen (Figuur 9). Er was geen verschil tussen de gewasopbrengst van de onbemeste veldjes en de gewasopbrengst van de veldjes met de verschillende fosfaatbemestingen. De verschillen in standcijfer die aan het begin van de groei werden waargenomen leidden dus niet tot verschillen in uiteindelijke opbrengst. Dit wijst erop dat voor de uiteindelijke opbrengst fosfaat niet beperkend was.



*Figuur 9. Versopbrengst, drogestofgehalte en drogestofopbrengst van maïs bij oogst op 2 september. 10, 30 en 200 is fosfaatgift in  $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ ; R=geplaatst onder de rij, V=volvelds; tsp=tripelsuperfosfaat, strUR en strBW zijn de twee struivietsoorten. Wanneer verschillen tussen behandelingen statistisch significant ( $P < 0.05$ ) zijn is dit aangegeven met verschillende letters in de kolommen. Error bars geven de standard error of the mean aan.*

N-gehalten in het gewas bij oogst verschilden weinig tussen de behandelingen (Figuur 10). De behandelingen met hoge P-beschikbaarheid bij het zaad (30 kg  $P_2O_5$  geplaatst, en 200 kg volvelds toegediend) neigden naar lagere N-gehalten dan de onbemeste behandeling of de behandelingen met lagere giften. De P-gehalten in het gewas bij oogst lieten geen significante verschillen zien tussen de behandelingen. De opname van N en fosfaat werd vooral bepaald door verschillen in opbrengst en in mindere mate door verschillen in gehalten, en er was geen effect van de verschillende behandelingen. Het gehalten en de opname van Mg was bij bemesting met struviet hoger dan bij de onbemeste behandeling of bij bemesting met tripelsuperfosfaat.



Figuur 10. N-, P- en Mg-gehalten (links) en afvoer (rechts) van maïs bij oogst op 2 september. 10, 30 en 200 is fosfaatgift in  $kg P_2O_5 ha^{-1}$ ; R=geplaatst onder de rij, V=volvelds; tsp=tripelsuperfosfaat, strUR en strBW zijn de twee struvietsoorten. Wanneer verschillen tussen behandelingen statistisch significant ( $P < 0.05$ ) zijn is dit aangegeven met verschillende letters in de kolommen. Error bars geven de standard error of the mean aan.

## 4. Discussie

De proefpercelen van beide jaren waren geselecteerd op lage P-beschikbaarheid en met P<sub>w</sub>-waarden van 27 en 19 was deze ook laag. De pH van de grond was bij beide percelen laag, wat ook bijdraagt aan een lage fosfaatconcentratie in het bodemvocht doordat fosfaat sterker in de bodem geadsorbeerd wordt dan bij pH-waarden van 6 of 7 (Bolan & Hedley, 1990). Lage beschikbaarheid van P zal, naar verwachting, de effectiviteit van P-plaatsing verhogen en is ook nodig om de bemestende waarde van struviet te kunnen bestuderen. Wanneer er bij de onbemeste behandeling geen sprake is van opbrengstreductie ten opzichte van de bemeste behandelingen kunnen er geen uitspraken gedaan worden over de effectiviteit van verschillende plaatsingsmethoden. Ook kunnen er dan geen uitspraken gedaan worden over verschillen in werking van fosfaatmeststoffen. Een gelijke opbrengst wil in dat geval zeggen dat er geen bemesting nodig was.

De pH was in Exp. 2 iets lager dan in Exp. 1 (Tabel 1) en gaf in Exp. 2 problemen met de kieming en opkomst van spinazie, suikerbiet en peen. De planning van de proef kon pas kort voor zaai beginnen en besloten is om het beschikbare perceel op dat moment niet te bekalken. Waar spinazie, suikerbiet en peen in Exp. 1 wel opkwamen en groeiden bleek de pH op het perceel van Exp. 2 net onder de minimale waarde voor deze gewassen. Exp. 2 is daardoor vooral gericht op maïs dat wel goed kiemde en een normale groei liet zien.

Fosfaatbemesting had een duidelijk effect op de begingroei van spinazie, suikerbiet, ui, stamslaboon en maïs. Bij maïs bleef in Exp. 1 de gewasstand op de onbemeste veldjes achter bij die van de bemeste veldjes, terwijl in Exp. 2 er in juli geen verschillen in gewasstand meer werden waargenomen. Fosfaatbemesting heeft vooral een invloed op de begingroei van het gewas, maar uiteindelijk gaat het om de opbrengst bij oogst van het gewas. Fosfaatbemesting verhoogde de opbrengst in Exp. 1 bij suikerbiet, spruitkool, prei, spinazie, vroege stamslaboon en maïs (alleen de drogestofopbrengst). In Exp. 2 was er geen effect van fosfaatbemesting op de opbrengst van maïs. Dat initiële verschillen in groei door fosfaatbemesting niet worden teruggevonden in verschillen in opbrengst is in eerder ook gevonden (Van Keulen *et al.*, 2000; Habekotté *et al.*, 1998). Of fosfaatbemesting effect heeft hangt af van de fosfaattoestand van de grond, de groeiduur en de fosfaatbehoefte van gewassen (Van Dijk *et al.*, 2007). Het meeste effect valt te verwachten bij groentegewassen die een korte groeiduur hebben en een hoge fosfaatbehoefte. Dit is niet duidelijk terug te zien in de proefresultaten (Tabel 3). Bij de meest fosfaatbehoefte gewassen (gewasgroep 0) was er wel effect bij spinazie en ijsbergsla, maar niet bij peen. En de minder fosfaatbehoefte gewassen suikerbiet en prei met een lange groeiduur gaven wel een hogere opbrengst bij fosfaatbemesting. Bij ui werd de ontwikkeling versneld bij fosfaatbemesting, en de afrijping was later bij de onbemeste behandeling. Dit kan er ook aan bijgedragen hebben dat eerdere groeiverschillen verdwenen doordat bij onbemest het groeiseizoen verlengd werd.

Tabel 3. Gewassen, indeling in gewasgroepen bij de fosfaatadvisering (Van Dijk, ), geschatte groeiduur en effect van fosfaatbemesting op begingroei en opbrengst.

Gewas	Gewasgroep	Groeiduur	Snellere begingroei	Hogere opbrengst
suikerbiet	2	lang	ja	ja
spruitkool	1	lang		ja
prei	4	lang		ja
spinazie	0	kort	ja	ja
vroege stamslaboon	1	kort	ja	ja
maïs	1	lang	ja	ja
ui	1	lang	ja	nee
peen	0	kort		nee
ijsbergsla	0	kort	(ja) <sup>a</sup>	(ja) <sup>a</sup>
late stamslaboon	1	kort		nee

<sup>a</sup> Door grote variatie niet significant.

Plaatsing bleek een effectieve manier om de fosfaatgift sterk te reduceren en toch fosfaat aan te bieden in voldoende hoge concentraties bij de wortel: zowel een geplaatste gift van 10 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> als 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> gaf een vergelijkbare opbrengst als 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> volvelds gestrooid. Dit sluit aan bij de resultaten zoals verkregen zijn uit de modelstudie en het klimaatkamerexperiment (Smit *et al.*, 2009b, *in voorbereiding*). De mate waarin de gift teruggebracht kan worden bij plaatsing en de effectiviteit van een kleine, volvelds gestrooide gift is in Exp. 1 niet bekeken. In Exp. 2 was wel een kleine, volvelds gestrooide gift opgenomen, maar daar had fosfaatbemesting geen effect.

Uit de veldjes zonder gewas bleek dat fosfaatbemesting over langere tijd de fosfaatbeschikbaarheid (P-Al en P-w) verhoogt. Dit betekent dat het fosfaat ook enige tijd voor zaaien of planten aangebracht kan worden, waarna via GPS-systemen het gewas op de juiste plaats gezaaid of geplant kan worden.

Struviet gaf in Exp. 2 een gelijke opbrengst als tripelsuperfosfaat. Fosfaatbemesting gaf echter geen meeropbrengst ten opzichte van de onbemeste veldjes, zodat er geen uitspraken gedaan kunnen worden over de bemestende waarde van struviet ten opzichte van tripelsuperfosfaat. Een indicatie van fosfaatwerking wordt wel verkregen uit het effect op de begingroei van maïs, waarbij de behandelingen met struviet ook een snellere begingroei gaven ten opzichte van de onbemeste behandeling. Het leek erop dat struviet van urine minder goed werkte dan struviet van blackwater en een lagere opbrengst gaf. Deze verschillen waren echter niet significant zodat hierover geen betrouwbare uitspraken gedaan kunnen worden.

Naast fosfaat bevat struviet ook Mg en NH<sub>4</sub>. Met de N-inhoud van struviet is grotendeels rekening gehouden bij de stikstofbemesting, en er werden bij de behandelingen met struviet geen afwijkende N-gehalten of N-opname gevonden. De Mg-opname bij bemesting met struviet bleek duidelijk verhoogd ten opzichte van tripelsuperfosfaat en de onbemeste behandeling: 12 tot 13 kg ha<sup>-1</sup>.

Bij toediening van fosfaat via struviet worden fosfaat en Mg in een verhouding van 1:0,34 gegeven. Door het maïsgewas werden fosfaat en Mg in een verhouding van 1:0,4 tot 1:0,57 opgenomen. Dit betekent dat evenwichtsbemesting van fosfaat bij maïs mogelijk is met struviet zonder overmatig Mg toe te dienen.

## Conclusies

- Op een perceel met lage fosfaattoestand verhoogde fosfaatbemesting de opbrengst bij suikerbiet, spruitkool, prei, spinazie, vroege stamslaboon en maïs. Fosfaatbemesting had geen effect op de opbrengst van ui, peen, ijsbergsla en late stamslaboon.
- Fosfaatbemesting versnelde de begingroei van spinazie, suikerbiet, ui, stamslaboon en maïs. Bij ui verdwenen de verschillen in de loop van het groeiseizoen, evenals bij maïs in het tweede proefjaar.
- Plaatsing is een effectieve manier om de fosfaatgift sterk te reduceren en toch fosfaat aan te bieden in voldoende hoge concentraties bij de wortel.
- Fosfaatbemesting verhoogde de fosfaatbeschikbaarheid (P-AI, Pw) en dit effect nam slechts langzaam af gedurende het groeiseizoen. Dit betekent dat fosfaat ook enige tijd voor zaaien of planten aangebracht kan worden.
- Struviet gaf een gelijke opbrengst als tripelsuperfosfaat, maar beide meststoffen gaven geen meeropbrengst ten opzichte van onbemeste veldjes. Over de bemestende waarde van struviet ten opzichte van tripelsuperfosfaat kunnen daarom geen uitspraken gedaan worden.
- Bemesting van 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> via struviet gaf een extra Mg-opname van 12-13 kg ha<sup>-1</sup> ten opzichte van tripelsuperfosfaat en de onbemeste behandeling.
- Maïs neemt fosfaat en Mg op in een verhouding van 1:0,4 tot 1:0,57. Struviet bevat fosfaat en Mg in een verhouding van 1:0,34 waardoor bij evenwichtsbemesting van fosfaat bij maïs kan struviet gebruikt worden zonder overmatig Mg toe te dienen.



## Referenties

- Bolan, N.S. & M.J. Hedley, 1990.  
Dissolution of phosphate rocks in soils. 2. Effect of pH on the dissolution and plant availability of phosphate rock in soil with pH dependent charge. *Nutrient Cycling in Agroecosystems (Fert. Res.)* 24: 125-134.
- Ehlert, P.A.I., S.L.G.E. Burgers, D.W. Bussink, E.J.M. Temminghoff, P.J. Van Erp & W.H. Van Riemsdijk, 2006.  
Deskstudie naar de mogelijkheden voor het aanwijzen van fosfaatarme gronden op basis van P-PAE. Wageningen, Alterra, Rapport 1458, 80 pp.
- Gell, Kealan *in prep.*  
Struvite from Blackwater and Urine: A Safe and Effective Fertilizer. MSc thesis Wageningen University.
- Habekotté, B., H.F.M. Aarts, W.J. Corré, G.J. Hilhorst, H. Van Keulen, J.J. Schröder, O.F. Schoumans & F.C. Van der Schans, 1998.  
Duurzame melkveehouderij en fosfaatmanagement. Recente (1990-1997) en te verwachten resultaten van proefbedrijf De Marke en de betekenis voor praktijkbedrijven. AB-DLO Rapport 92.
- Smit, A.L., P. Bindraban, J.J. Schröder, J.G. Conijn & H.G. Van der Meer, 2009a.  
Phosphorus in agriculture: global resources, trends and developments. Wageningen, Plant Research International, Report 282: 36 pp.
- Smit, A.L., P. De Willigen & A.A. Pronk, 2009b.  
Plaatsing als strategie voor een efficiëntere fosfaatbemesting 1. Literatuur en modelonderzoek. Wageningen, Plant Research International, rapport nr. 216.
- Smit, A.L., A.A. Pronk & P. De Willigen, 2009c. (Accepted by Acta Hort)  
Placement of phosphate leads to a more efficient use of a finite resource. Congress ISHS - Toward Ecologically Sound Fertilization Strategies for Field Vegetables Production, 22-25 september 2008, Malmo.
- Smit, A.L., *in voorbereiding.*  
Plaatsing als strategie voor een efficiëntere fosfaatbemesting 2. Klimaatkamerexperiment. Wageningen, Plant Research International.
- Udo de Haes, H.A., J.L.A. Jansen, W.J. Van der Weijden & A.L. Smit, 2009.  
Fosfaat - van te veel naar tekort. Utrecht, Beleidsnotitie van de Stuurgroep Technology Assessment van het ministerie van LNV, 16 pp.
- Van Dijk, W., P.H.M. Dekker, H.F.M. Ten Berge, A.L. Smit & J.R. Van der Schoot, 2007.  
Aanscherping van fosfaatgebruiksnormen op bouwland bij akker- en tuinbouwgewassen : verkenning van noodzaak en mogelijkheden tot differentiatie. Praktijkonderzoek Plant & Omgeving, Rapport 367.
- Van Keulen, H., H.F.M. Aarts, B. Habekotté, H.G. Van der Meer & J.H.J. Spiertz, 2000.  
Soil-plant-animal relations in nutrient cycling: the case of dairy farming system 'De Marke'. *European Journal of Agronomy* 13: 245-261.

