



Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen 3. Precisiebemesting

P.A.I. Ehlert ¹⁾, C.A.Ph. van Wijk ²⁾ en P. de Willigen ¹⁾



© 2001 Wageningen, Praktijkonderzoek Plant & Omgeving BV.

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

Dit projectrapport geeft de resultaten weer van het onderzoek dat het Praktijkonderzoek Plant & Omgeving heeft uitgevoerd in opdracht van:

Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
Postbus 20401
2500 EK 's-GRAVENHAGE

1) ALTERRA

2) PPO Agv

©

Praktijkonderzoek Plant en Omgeving
Sector AGV

Bezoekadres Edelhertweg 1, Lelystad

Postadres Postbus 430, 8200 AK Lelystad

Telefoon 0320-29 11 11

Telefax 0320-23 04 79

E-mail info@ppo.dlo.nl

Internet www.pav.nl

ALTERRA

Droevendaalsesteeg 3, Wageningen

Postbus 47, 6700 AA Wageningen

0317-474700

0317-419000

postkamer@alterra.wag-ur.nl

www.alterra.wageningen-ur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
SAMENVATTING	5
1. AANLEIDING.....	7
2. LITERATUURONDERZOEK.....	9
3. VELDONDERZOEK	13
3.1 OPZET.....	13
3.2 RESULTATEN EN DISCUSSIE	13
4. MODELVERKENNINGEN.....	17
4.1 OPZET.....	17
4.2 VERANTWOORDING VAN DE INVOERGEGEVENS	17
4.3 RESULTATEN.....	18
5. DISCUSSIE EN ADVIES	21
5.1 DISCUSSIE.....	21
5.2 ADVIES	22
LITERATUUR.....	25

Samenvatting

Een aantal vollegrondsgroentegewassen zoals sla en peen vragen volgens het landbouwkundig bemestingsadvies gebaseerd op economische grondslag zeer hoge fosfaatgiften bij breedwerpige toediening van mineraal fosfaat. Dit rapport behandelt de winst die behaald kan worden door de meststof in de rij toe te dienen. Het rapport behandelt literatuurgegevens, de resultaten van een veldproef op kleigrond met het gewas sla en resultaten van een modelverkenning. Literatuur onderzoek wees uit dat rijenbemesting of plaatsing van fosfaat bij het gewas een hogere opbrengst en/of kwaliteit gaf bij augurk, bloemkool, kool, koolraap, kropsla, ijssla, prinsessenboon suikermais, peen en zaaiui. Het betreft gegevens van veelal buitenlands onderzoek op bodem die sterk afwijken van Nederlandse grondsoorten en afwijkende teeltomstandigheden. Ook modelverkenningen geven aan dat fosfaat gegeven als rijenbemesting door het gewas beter wordt benut dan breedwerpig toegediend fosfaat. Een veldproef op kleigrond waarbij rijenbemesting bij kropsla vergeleken werd met breedwerpige bemesting, toonde echter niet aan dat met een lager fosfaatgift volstaan kan worden. De gehanteerde bemestingstechniek leidde tot een opbrengstderving. Bij het opstellen van het bemestingsadvies voor plaatsing en rijenbemesting met fosfaat zijn gegevens van akkerbouwgewassen richtinggevend geweest.

Verder onderzoek naar de efficiëntiewinst door plaatsing van fosfaat blijft noodzakelijk. De toedieningstechniek moet beter op de eisen van het gewas worden afgestemd. Daarnaast is onbekend hoe de ontwikkeling van het wortelstelsel van vollegrondsgroentegewassen wordt beïnvloed door plaatsing van fosfaat. Verder geeft plaatsing van fosfaat lokaal zeer hoge fosfaatconcentraties waardoor precipitaten van fosfaat met calcium en andere kationen kunnen ontstaan. De huidige beschrijving van het fosfaatgedrag in de bodem houdt hiermee geen rekening. Nader procesgericht onderzoek is hier gewenst. Tenslotte zal door plaatsing van fosfaat in rij of in bedden de toestand in de bodem heterogener worden. Het is niet duidelijk hoe de bodem bemonsterd moet worden om een juiste weergave van de situatie te verkrijgen gelet op de fosfaatbemestingsadvisering.

1. Aanleiding

De gewasreactie van intensief geteelde vollegrondsgroentegewassen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand is door middel van veldonderzoek bij een aantal toetsgewassen op zand-, dal- en kleigrond in 1996-1998 vastgesteld. Toetsgewassen waren vroege sla, zomersla, bloemkool, peen, prei en aardappel. De toetsgewassen zijn gekozen op grond van hun verwachte fosfaatreactie, als representant qua groeiwijze voor een groep van groentegewassen alsmede vanwege hun belang voor de sector. Aardappel is gekozen als vertegenwoordiger van het fosfaatbemestingsadvies voor akkerbouwland.

In het projectrapport '*Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen, 1. Bemesting en rendement*' (Ehlert e.a., 2000) is het resultaat van een samenvattende bewerking van de gegevens over de reactie van de toetsgewassen op fosfaatbemesting en fosfaattoestand gegeven. Tevens is in genoemd rapport een voorstel gedaan over de werkwijze tot integratie van het fosfaatadvies intensief geteelde vollegrondsgroenten met het bestaande fosfaatadvies voor de akkerbouwgewassen. Conform een idee binnen de Commissie Bemesting Akkerbouw/Vollegrondsgroenteteelt (CBAV) is een voorstel voor integratie geformuleerd voor een landbouwkundig fosfaatadvies dat gebaseerd is op het rendement van bemesting (economisch optimale opbrengsten).

Het projectrapport '*Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen, 2. Plaatsing in gewasgroepen*' geeft een voorstel voor plaatsing van groentegewassen in gewasgroepen (Ehlert & Van Wijk, 2002). Het voorstel is gebaseerd op een vergelijking van andere vollegrondsgroentegewassen met de teelt van de pilotgewassen (referentiegewassen) vroege sla, zomersla, bloemkool, peen en prei, op basis van literatuuronderzoek en op basis van een verkenning met het model van Van Noordwijk e.a. (1990).

In dit rapport wordt ingegaan op precisiebemesting. Met precisiebemesting wordt in dit rapport plaatsing van fosfaat bij het gewas bedoeld in de vorm van ondiep bemesten (zaaibed, plantbed), rijenbemesting, plantgatbemesting en fertigatie. Het doel van dit rapport is om de efficiëntiewinst door precisiebemesting met fosfaat bij vollegrondsgroentegewassen te duiden. Daartoe wordt de stand van zaken voor precisiebemesting bij vollegrondsgroentegewassen gebaseerd op literatuuronderzoek, veldonderzoek naar de effecten van rijenbemesting bij kropsla en enkele modelverkenningen met FUSIM2 gegeven.

Het rapport is als volgt ingedeeld. Hoofdstuk 2 geeft het resultaat van literatuuronderzoek. In hoofdstuk 3 wordt het resultaat van het veldonderzoek met kropsla gegeven. Hoofdstuk 4 vat de resultaten van modelverkenningen samen. In hoofdstuk 5 wordt de stand van zaken bediscussieerd en wordt een advies uitgebracht.

2. Literatuuronderzoek

Met precisiebemesting wordt plaatsing van meststoffen bedoeld. In Nederland kennen wij twee vormen: rijenbemesting en plantgatbemesting. Bij rijenbemesting wordt de meststof soms op de grond gestrooid en via een vorm van grondbewerking (ploegen of cultivateren) vlak bij het zaad, knol, bol, ui of rhizoom gebracht. Veelal wordt de meststof in een sleufje op een bepaalde diepte in de nabijheid van de plant toegediend. Hiervoor worden meestal vaste kunstmeststoffen (NP) gebruikt. De laatste jaren wordt ook gebruik gemaakt van vloeibare fosfaatmeststoffen zoals bv. ammoniumpolyfosfaat of dierlijke mest. Plantgatbemesting is een vorm van bemesting waarbij de meststof in het plantgat wordt aangebracht voordat het gewas geplant, gezaaid of gepoot wordt. Dit kan voorafgegaan worden met het afdekken van de meststof met een dun laagje grond. Rijenbemesting heeft brede ingang gevonden in de landbouw; plantgatbemesting vindt vooral plaats in de tuinbouw en boomteelt.

In het buitenland wordt ook via contactbemesting P bij het gewas geplaatst. Hierbij vindt een direct contact plaats tussen het gewas en de meststof. Deze vorm van bemesting wordt in Nederland te risicovol geacht in verband met het optreden van zoutschade.

De mogelijkheden om P bij het gewas te plaatsen zijn velerlei. In Nederland is het gebruikelijk om meststof in een band of in een rij bij het gewas te plaatsen. Dat kan een enkele band zijn en maar ook een band aan weerszijden van het gewas. Bij plaatsing in een band vindt een grotere menging met grond plaats dan bij plaatsing in een rij. Bij eenzelfde gift aan fosfaat zal daardoor de concentratie aan P bij rijbemesting lokaal hoger zijn dan bij plaatsing in een band. In het buitenland wordt meststof ook op andere wijzen bij het gewas gepositioneerd. Zo worden meerdere banden van meststof op diverse diepten onder elkaar onder het gewas aangebracht of wordt meststof op ongelijke diepte in rijen naast of onder het gewas geplaatst. Volgens Finck (1992) wordt de P-opname door het gewas door precisiebemesting verhoogd indien:

1. de fosfaattoestand van de grond laag is;
2. de vochttoestand van de bodem laag is en de temperatuur relatief koel;
3. de plantafstand ruim is;
4. de grond fosfaat sterk vastlegt;
5. de meststofgift laag is (startgift);
6. de gewassen een korte groeiduur hebben en een hoge fosfaatbehoefte hebben. NB. Met hoge fosfaatbehoefte wordt hier door Finck in de klassieke betekenis gebruikt dwz dat het gewas een relatief hoge fosfaatbemesting en hoge fosfaattoestand nodig heeft.

Knittel (1988) vermeldt dat al in 1883 de plaatsing van meststoffen werd onderzocht. Over het plaatsen van meststoffen zijn diverse overzichtsartikelen geschreven. In dit rapport wordt verwezen naar die van Bohm, (1974), Batchelor (1983), Dilz & Van Brakel (1985), Randall e.a. (1985), Knittel (1988) en Black (1992).

Er zijn theorieën ontwikkeld om de effecten van plaatsing van meststoffen te verklaren en de efficiëntiewinst te kwantificeren. Het onderzoek van C.T. de Wit (1953) heeft hier een belangrijke impuls aan gegeven.

Theoretische beschouwingen zijn verder door Steenbjerg (1957), Barber (1984), Costigan (1987), De Willigen & Van Noordwijk (1987), Black (1992) en Greenwood e.a. (2001) gepubliceerd.

Er is op basis van deze literatuur geen discussie of precisiebemesting met P gunstig is voor het gewas met name bij lage fosfaatgiften en lage fosfaattoestanden. Alle genoemde publicaties gaan in op het positieve effect van plaatsing van P bij een gewas. Wel is er discussie over wanneer plaatsing van nutriënten effectief is en wanneer niet. Literatuuronderzoek heeft vele tientallen publicaties over veldonderzoek naar de effecten van plaatsing van P bij gewassen opgeleverd. Het zijn met name de akkerbouwgewassen die zijn onderzocht. Zo is er relatief veel informatie over effecten van plaatsing van meststof-P bij tarwe, maïs, sojaboon, gerst, katoen en sorghum gevonden. Het betreft dan veelal teelten onder relatief droge omstandigheden (semi-aride gebieden). Informatie uit de literatuur over de plaatsing van P bij groentegewassen is schaars voorhanden. Nederlandse onderzoeksverslagen van resultaten bij vollegrondsgroentegewassen zijn niet aangetroffen. Het literatuuronderzoek heeft voor augurk, bloemkool, courgette, koolraap, kropsla, mergkool, prinsessenboon, suikermaïs, wortel, ijsbergsla en zaaui treffers opgeleverd. Tabel 1 vat de resultaat van het literatuuronderzoek samen.

Tabel 1. Effecten van rijenbemesting bij een aantal vollegrondsgroentegewassen.

Gewas	Gevonden effect	Bron
Augurk	Opbrengstverhoging door rijenbemesting 45%; oogstvervroeging van 3 dagen.	Nerson, 1980
Bloemkool	Op zandgrond met een lage fosfaattoestand had de methode van fosfaattoediening geen effect op de opbrengst aan bloemkool.	McParhlin e.a., 1995
Courgette	Geen kwantificering van effect, een kwalitatieve opmerking wordt gemaakt dat bandbemesting (strook) belangrijk is.	Buwalda, 1988
Kool	Een combinatie van bandplaatsing en bijmesten was effectiever dan breedwerpige bemesting.	Smith e.a., 1990
Koolraap	Rijenbemesting gaf een hogere opbrengst dan breedwerpige bemesting op veengrond. Het effect was groter in droge jaren. Rijenbemesting onderdrukt de opslag van onkruid.	Ekeberg, 1986
Kropsla	Rijenbemesting met P gaf een hogere opbrengst dan breedwerpige toediening bij grond met een lage fosfaattoestand. In combinatie met stikstof werd een nog gunstiger effect gevonden. Geconcludeerd werd dat 30-60 kg N/ha en 240 kg P ₂ O ₅ /ha in de rij het gunstigst was. Een complicerende factor is dat fosfaatbemesting bacterierot verhoogde.	Baker, 1979
Kropsla	NH ₄ H ₂ PO ₄ toegediend 1 cm onder het zaad in grond met diverse giften breedwerpig toegediend tripelsuperfosfaat gaf 65% toename in opbrengst. Het drogestofgehalte nam lineair toe met de P-gehalte na 36 dagen groei.	Costigan, 1984
Kropsla	Bandplaatsing van NP- en NPK-meststoffen in organische stofrijke gronden die P sterk vastleggen door de aanwezigheid van Fe- en Al-oxiden en vrij calciumcarbonaat verhoogde de opbrengst in vergelijking met breedwerpige toediening bij 3 slarassen.	Guzman, 1988
Prinsessenboon	Een combinatie van bandplaatsing en bijmesten was effectiever dan breedwerpige bemesting.	Smith, 1990
Suikermaïs	Bij lage fosfaattoestand werd P bij rijenbemesting 3 maal zo effectief benut als bij breedwerpige bemesting bij lage fosfaattoestand (0,2 g per m ³). Bij hoge fosfaattoestand (1,2 g per m ³) had de methode van toediening geen effect op de opbrengst.	Sanchez, 1991
Suikermaïs	Bandplaatsing van NP of NPK meststof op 5 cm diepte en op 5 cm afstand van het zaad aan weerszijden gaf beter resultaat als breedwerpige bemesting.	Smith e.a, 1990
Peen	Rijenbemesting gaf een hogere opbrengst dan breedwerpige bemesting op veengrond. Het effect was groter in droge jaren. Rijenbemesting onderdrukt de opslag van onkruid.	Ekeberg, 1986

Tabel 1. Effecten van rijenbemesting bij een aantal vollegrondsgroentegewassen, vervolg.

Gewas	Gevonden effect	Bron
Ijssla	Rijenbemesting was driemaal zo effectief als breedwerpige bemesting indien 1 dag voor de zaai in banden van 8 cm breed en 5 cm onder het zaad werd geplaatst. Rijenbemesting gaf een hogere productie (niveauverschil) ten opzichte van breedwerpige bemesting.	Porter, 1990
Ijssla	Op zandgrond met een lage fosfaattoestand werd geen effect van plaatsing van P op de opbrengst gevonden. Wel was het percentage P in het buitenblad 12% hoger. Bij deze proef was superfosfaat 9 maanden voor het planten van de ijssla toegediend (giften tot 600 kg P per ha (1374 kg P ₂ O ₅ per ha).	McParlin, 1997
Zaaiui	Fosfaatbemesting verhoogde de opbrengst bij voorjaarsteelt van zaaiui, de methode van toediening had geen effect.	McParlin, 1999
Zaaiui	In een factoriele proef werd fosfaat werd op 0, 2,5, 5, 7,5 en 10 cm onder het zaad geplaatst en op 0, 2, 4, 6 en 8 cm van het zaad in twee doseringen (50 en 100 kg P ₂ O ₅ per ha). De plaatsing op een diepte van 2,5 of 7,5 cm direct onder het zaad gaf de hoogste opbrengst. Het effect van plaatsing was groter dan het effect van de dosering.	Mulkey, 1979
Zaaiui	Rijenbemesting met plaatsing op 5 cm onder het zaad leverde een beter economisch resultaat op dan met breedwerpige bemesting. Monoammoniumfosfaat gaf betere resultaten dan superfosfaat.	Dragland, 1984

Door verstrengeling met gelijktijdige plaatsing van P met N, te sterk van Nederlandse grondsoorten afwijkende bodems (b.v. oxisolon) en te afwijkende teeltomstandigheden (b.v. ter plaatse zaai van kropsla) en afwijkende en voor het beoogde doel niet toereikende proefopzetten, is deze literatuur niet eenduidig en samenhangend te bewerken tot een eenduidig advies voor de efficiëntiewinst die behaald kan worden. Verder wordt in buitenlandse literatuur geen gebruik gemaakt van methoden van grondonderzoek die in Nederland gehanteerd worden.

Een belangrijk verschil tussen teelten van akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen is sturing van de vochthuishouding. Vollegrondsgroentegewassen worden bij optimale vochtvoorziening geteeld, akkerbouwgewassen worden onder drogere condities geteeld. Daarnaast is de fosfaattoestand van de bodem bij akkerbouwgewassen lager dan bij vollegrondsgroenten. De redenen voor de grotere oogst aan literatuurgegevens van akkerbouwgewassen zijn dan aan te geven.

- Vochtgebrek belemmert de diffusie van P naar het gewas. Juist onder drogere omstandigheden zullen effecten van plaatsing van meststoffen gunstiger tot uitdrukking komen Nye & Tinker (1977)
- Plaatsing van meststof-P wordt effectiever naarmate de fosfaattoestand van de bodem lager is (Prummel, 1950, Nye & Tinker (1977), Black (1992).

Groentegewassen worden doorgaans goed van vocht en fosfaat voorzien. In westerse landen wordt vaak gebruik gemaakt van plantgoed dat opgekweekt is in fosfaatrijke substraten en zijn de fosfaattoestanden van percelen met intensieve groenteteelt hoger t.o.v. die voor akkerbouw. Hoge fosfaatgiften leveren dan geen positief effect op (Finck, 1992). Het positieve effect van plaatsing van meststof-P wordt dan niet gevonden en de noodzaak om er onderzoek naar uit te voeren ontbreekt. In Nederland heeft Prummel uitgebreid onderzoek gedaan naar de zogenoemde grove tuinbouwgewassen (Prummel, 1958, 1959, 1966, 1967, 1971, 1973, 1975, 1979 & 1982). Rijenbemesting werkt beter naarmate de rijafstand groter

is (Prummel, 1959). Naarmate deze afstand groter is, zal immers een groter deel van de meststof bij breedwerpig uitstrooien niet of pas laat worden opgenomen. Rijenbemesting geeft bij lage fosfaattoestand van de grond ook met een matige fosfaatbemesting hoge opbrengsten. Dit betekent volgens Prummel dat het niet nodig is om de fosfaattoestand van de grond bij toepassing van rijenbemesting tot een hoog peil op te voeren.

Zijn onderzoeksresultaten zijn gebruikt bij het opstellen van het huidige bemestingsadvies voor akkerbouwgewassen en voor het voedergewas snijmaïs.

3. Veldonderzoek

In 2001 is door PPO-Lelystad onderzoek naar het effect van rijenbemesting en breedwerpige bemesting bij kropsla uitgevoerd. Dit hoofdstuk geeft het resultaat van dit verkennende onderzoek.

3.1 Opzet

In 2001 is rijenbemesting vergeleken met breedwerpige bemesting met het sterk op fosfaat reagerende gewas kropsla op zeeklei en dalgrond. Het betrof een onbedekte vroege teelt. Het geselecteerde proefperceel op kleigrond had Pw-getal 27 mg P₂O₅ per liter en op dalgrond een Pw-getal 34 mg P₂O₅ per liter en beantwoordden daardoor aan de streefwaarden voor de fosfaattoestand op resp. kleigrond en zandgrond.. De fosfaatgiften waren 0, 60, 120, 240 en 360 kg P₂O₅ per ha. Deze giften zijn in de vorm van rijenbemesting of breedwerpig toegediend. De breedwerpige toediening is voor het planten toegediend en ingewerkt volgens praktijk. De rijenbemesting is ca. 1 week na het planten in de grond toegediend met een zaaikouter. Ook bij de fosfaatgift 0 kg P₂O₅ per ha werd bij rijenbemesting het zaaikouter langs de perspotplanten getrokken. De meststof is in rijen geplaatst schuin onder het perspot op ca 7-10 cm uit het hart van de plant en op 5-7 cm onder het maaiveld. Het gebruikte zaaikouter is 3 cm dik. Bij beide bemestingsmethoden zijn dezelfde fosfaatgiften toegediend. Op de smalle rij van 3 cm was zodoende de fosfaathoeveelheid minimaal 10 maal zo groot als bij breedwerpige toediening. Verdere technische gegevens per proefplaats worden gegeven in tabel 25. De opbrengst is op twee tijdstippen bepaald.

Tabel 2. Proeftechnische gegevens per locatie.

	Lelystad	Valthermond
Grondsoort	Klei, 23 % afslibbaar*	Zand (dalgrond)
Pw-getal, mg P ₂ O ₅ per liter	27	34
Organische stof, %	1,9	10,5
Plantdatum	26 april 2001	24 april 2001
Toediening rijenbemesting	5 mei 2001	30 april 2001
Plantverband	30 * 30 cm	27 * 30 cm

* deeltjes kleiner dan 16 micron.

3.2 Resultaten en discussie

Gemiddeld over beide locaties en oogsttijdstippen was opbrengst bij breedwerpige toepassing steeds hoger dan bij toepassing in rijen (tabel 3).

Tabel 3. Opbrengst kropsla per fosfaatgift bij breedwerpige toediening en bij rijenbemesting in ton vers product per ha.

Methode van toediening	Gift, kg P ₂ O ₅ per ha				LSD (gift*toepassing) P = 0,05
	0	60	120	240	
Breedwerpig	55,8	54,6	60,0	59,9	63,6
Rij	51,0	57,4	50,6	56,7	58,9

Bij toepassing in de rij hebben de velden zonder fosfaatbemesting een opbrengst van 51 ton per ha. Bij een gift van 60 kg P₂O₅ per ha is er een sterke toename tot 57,4 ton per ha. Alleen bij een gift van 60 kg P₂O₅ per ha was de opbrengst hoger bij rijenbemesting t.o.v. breedwerpige bemesting (tabel 6). Dit verschil is echter niet significant. De opbrengstreactie op bemesting toont variatie. Zo geeft een bemesting met 120 kg P₂O₅ per ha in de rij eenzelfde opbrengst als geen bemesting namelijk 50,6 ton per ha. Bij de hogere

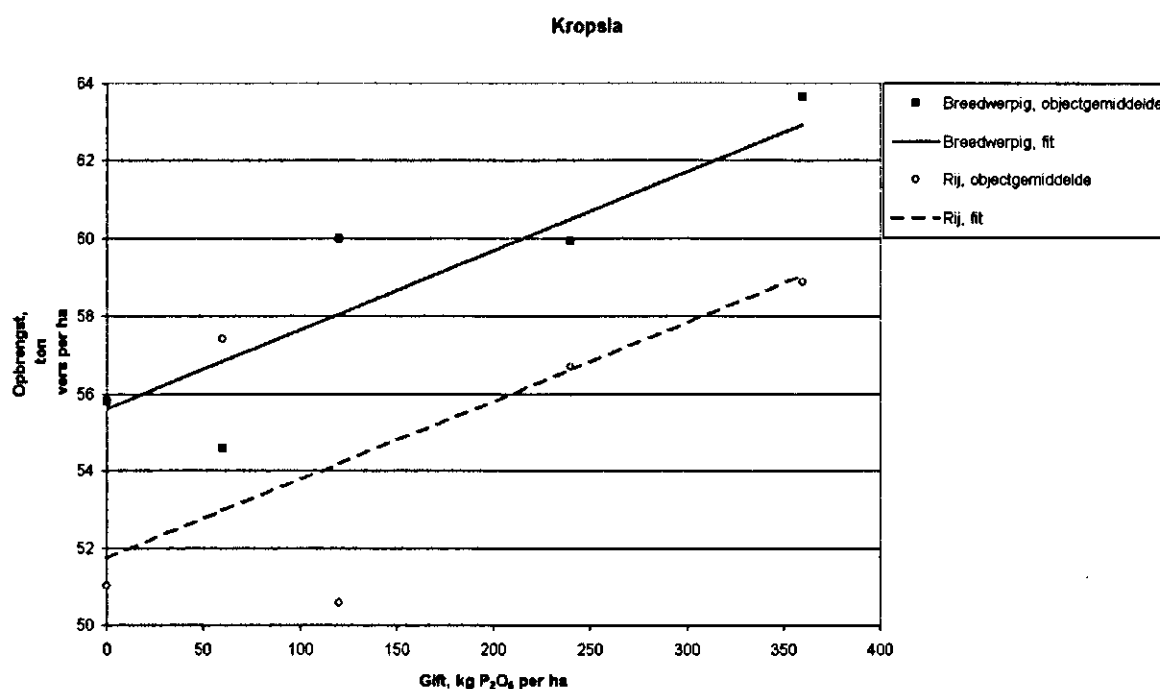
bemestingsgiften van 240 en 360 kg P₂O₅ per ha is er weer een toename naar 56,7 en 58,9 ton per ha. Bij breedwerpige bemesting hebben de giften 0 en 60 kg P₂O₅ per ha ongeveer dezelfde opbrengst: 55,8 en 54,6 ton per ha. Bij 120 en 240 kg P₂O₅ per ha is de opbrengst hoger: 60,0 en 59,9 ton per ha. Bij 360 kg P₂O₅ per hectare is de opbrengst nog hoger.

Opvallend is dat rijenbemesting gemiddeld geen hogere opbrengst geeft dan breedwerpige bemesting. De opbrengststijging blijft doorgaan tot 360 kg P₂O₅ per ha zowel bij rijenbemesting als bij breedwerpige bemesting (figuur 1). De toename van de opbrengst is bij beide methoden van toediening is evenredig met de meststofgift. Het opbrengstniveau bij breedwerpige bemesting is significant hoger dan het niveau bij rijenbemesting.

Ook bij de veldjes zonder fosfaat toediening blijft rijenbemesting 4,8 ton per ha achter op breedwerpige toepassing. Mogelijk komt dat doordat er mechanische wortelschade bij toediening met het zaaikouter na het planten is opgetreden. Daarom is de regressie-analyse nogmaals uitgevoerd waarbij de opbrengsten met

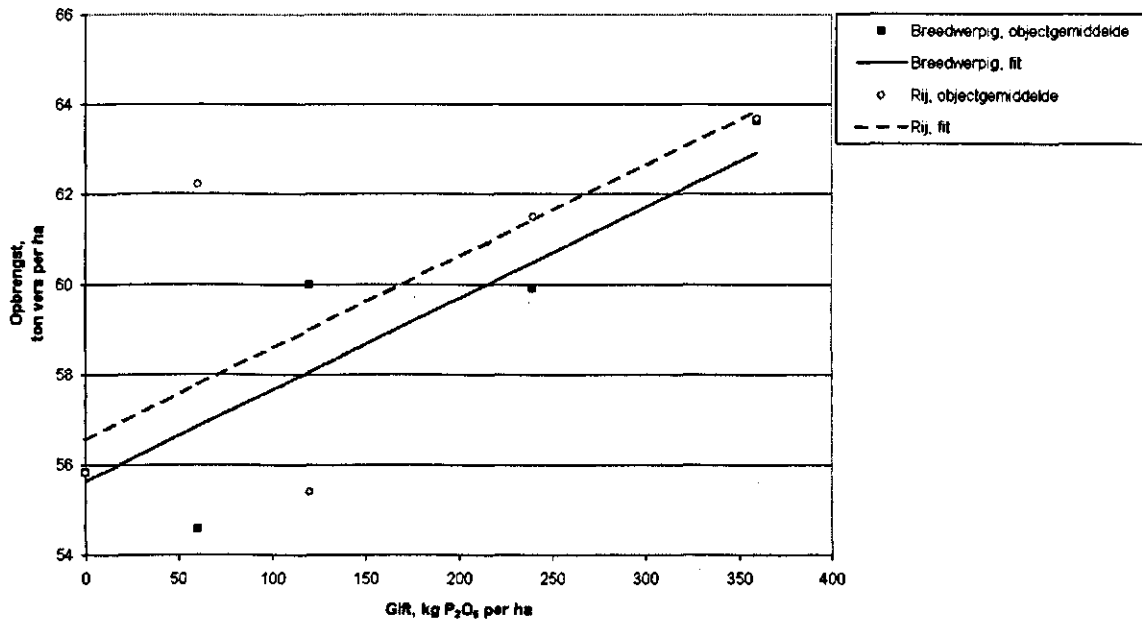
rijenbemesting 4.8 ton per ha zijn verhoogd. Het niveauverschil tussen de regressielijnen (figuur 2) is dan niet meer significant, wat ook te verwachten was op grond van de LSD-waarde (tabel 3).

Deze éénjarige proef toont niet betrouwbaar aan dat met rijenbemesting met een lagere fosfaatgift volstaan kan worden. Verder onderzoek is nodig ter onderkenning van eventuele jaareffecten en vanwege de gewenste verbetering van de toedieningstechniek.



Figuur 1. Effect van breedwerpige toepassing en rijenbemesting van fosfaat op de kropopbrengst.

Kropsla, gecorrigeerd voor wortelschade



Figuur 2. Effect van breedwerpige toepassing en rijenbemesting van fosfaat op de kropopbrengst na correctie van het effect van het zaikouter.

4. Modelverkenningen

4.1 Opzet

Modelverkenningen zijn uitgevoerd met behulp van FUSSIM2. Voor een uitvoerige beschrijving van dit twee dimensionaal model voor het gedrag van water in de onverzadigde zone wordt verwezen naar Heinen & De Willigen (1998). In FUSSIM2 zijn opgenomen onder meer een wortelgroeimodel een fosfaatopname module. Een beschrijving van het wortelgroeimodel is in voorbereiding. Het voert te ver om in dit rapport nadrukkelijk op het wortelgroeimodel in te gaan. Volstaan wordt met de melding dat de wortelgroei beschreven wordt als een diffusieproces met een term voor wortelafsterving.

Modelverkenningen zijn uitgevoerd voor het gewas peen. Peen is gekozen omdat het gewas een hoge fosfaattoestand en een hoge fosfaatbemesting vraagt. Verder krijgt het gewas bij het zaaien een zeer geringe voorraad aan P mee waardoor in de jeugdfase van het gewas al aanspraak gemaakt moet worden op bodemfosfaat. Daarnaast is peen een pilotgewas of toetsgewas geweest waardoor meetgegevens beschikbaar waren van veldproeven op het Meterikse Veld en op het proefbedrijf van PPO-Lelystad. De meetgegevens zijn identiek aan die gegeven door Ehlert & Van Wijk (2002). In dit rapport worden de effecten van plaatsing van meststoffen gepresenteerd door middel van berekende P-opname door het gewas peen.

4.2 Verantwoording van de invoergegevens

De aard en data van invoergegevens van FUSSIM zijn gegeven door Heinen & De Willigen (1998). Bij de berekeningen is aangenomen dat het vochtgehalte constant is. Bij het Meterikse Veld is een vochtgehalte van 25% aangenomen en voor Lelystad een gehalte van 35%. De horizontale stroming is op nul gesteld; en verticale stroming van water 0,1 cm³ per cm² per dag onder de aanname dat het neerslagoverschot 365 mm per ha per jaar is.

Het tweedimensionale profiel is opgedeeld in eenheden van 5 bij 2,5 cm. Er zijn 20 bodemlagen van 5 cm dikte opgelegd (Z-richting) en 6 kolommen van elk 2,5 cm breed (X-richting). Verder is een bouwvoordikte van 40 cm aangenomen. Aan elk van deze eenheden is een fosfaattoestand gemeten als P_w-getal toegekend. In geval van rijenbemesting is uit P_i-getal en P-adsorptie-isothermen van de gegeven locaties het P_w-getal berekend gegeven een gift aan fosfaat. De meststof tripelsuperfosfaat is op 5 cm afstand op 5 cm diepte van het zaad geplaatst. Daarbij is aangenomen dat een band van 5 bij 5 cm is bemest. De fosfaattoestand (P_w-getal) direct na bemesting is berekend op basis van het P_i-getal en de fosfaatadsorptie-isotherm.

Indien het berekeningsresultaat voor het P_w-getal hoger was dan de waarde 500 mg P₂O₅ per liter, is laatst genoemde waarde gebruikt. Bij hoge fosforconcentraties in de bodemoplossing is aannemelijk dat precipitatie van anorganische P-verbindingen van calcium, magnesium, ammonium e.a. kationen optreedt. Vanaf een waarde voor het P_w-getal van 500 mg P₂O₅ per liter is precipitatie van dicalciumfosfaat waarschijnlijk. Hoge fosforconcentraties zijn niet vertegenwoordigd in het meetbereik van de fosfaatadsorptie-isothermen. Precipitatie van P of nalevering van P zijn niet in de hier gebruikte procesbeschrijving en berekeningen opgenomen. Het model houdt eveneens geen rekening met nalevering door mineralisatie. De adsorptie-isothermen en P_i-getallen zijn dezelfde als die gebruikt zijn door Ehlert & De Willigen (1999) en Ehlert & Van Wijk (2002). Ook in deze situatie is de adsorptie-isotherm beschreven met een Langmuir-vergelijking met één adsorptiemaximum.

De invoergegevens voor de P opname door het gewas zijn identiek aan die in Ehlert & De Willigen (1999). De beschrijving van de P opname in de tijd wijkt af. De opname van P in de tijd is beschreven met een expolineair verband volgens Goudriaan & Monteith (1990). Met luxe consumptie van fosfaat door het gewas wordt geen rekening gehouden.

Bij het verzamelen van de noodzakelijke invoergegevens bleek dat gegevens van wortelecologisch

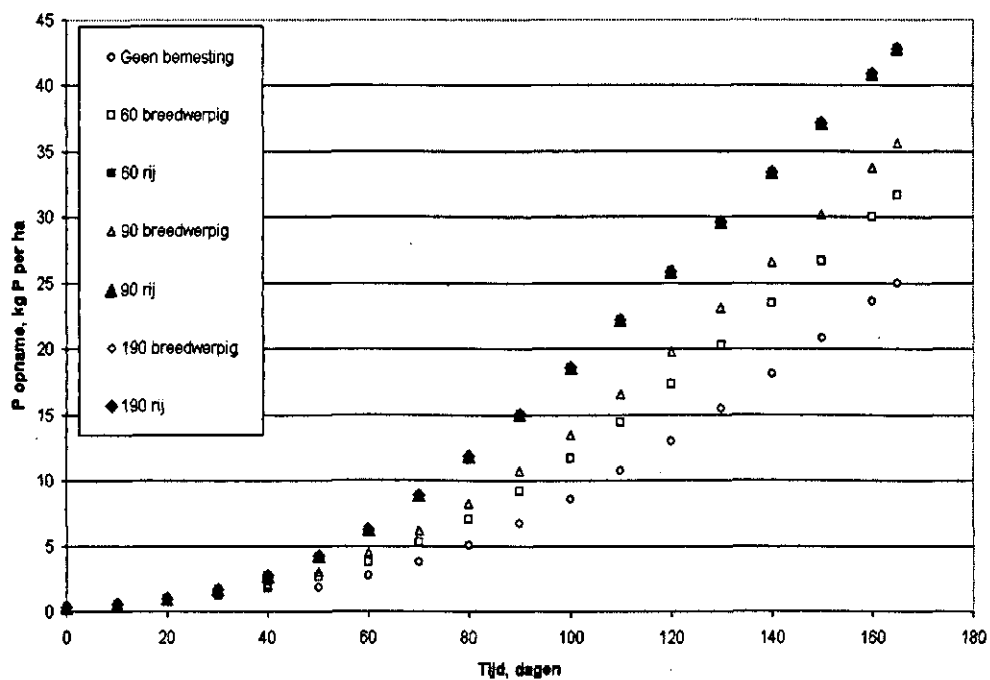
onderzoek van plaatsing van P bij het gewas peen (of een ander gewas) niet beschikbaar zijn. Gegevens van wortellengtedichtheid (L_{rv}) en wortelstraal van breedwerpige bemesting met fosfaat zijn voor Lelystad en Meterikse Veld beschikbaar. Met de beschikbare wortelecologische gegevens is gerekend. Hier is een kanttekening noodzakelijk. Plaatsing van nutriënten bij een gewas leidt tot een verandering in het patroon van het wortelstelsel. Dit aspect is verwaarloosd omdat feitelijke metingen ontbreken. De schaarse informatie die afkomstig is van onderzoek aan snijmais bij plaatsing van drijfmest wijst erop dat plaatsing leidt tot een wortelstelsel dat smaller is en dieper gaat. Het effect van plaatsing wordt daardoor dus versterkt. Daardoor zal onder de hier opgelegde conditie het werkelijke effect van plaatsing worden bij de berekening onderschat.

4.3 Resultaten

De resultaten van berekening worden voor het Meterikse Veld gegeven in figuur 3 en voor Lelystad in figuur 4. Breedwerpige bemesting blijkt volgens berekening minder effectief te zijn dan plaatsing van tripelsuperfosfaat in de rij. Door bemesting neemt de P-opname toe (figuur 3 en figuur 4). Zonder P-bemesting neemt de P opname door CD-peen toe bij toename van de fosfaattoestand (figuur 4). Voor zandgrond met een uitgangstoestand voor het P_w -getal van 48 mg P_2O_5 per liter zijn giften van 60 of 90 kg P_2O_5 per ha te laag om het gewas te kunnen voeden. Volgens berekening is 190 kg P_2O_5 per ha voldoende om aan de vraag van het gewas te kunnen voldoen. Rijbemesting met 60, 90 of 190 kg P_2O_5 per ha blijkt aan de vraag van het gewas te kunnen beantwoorden.

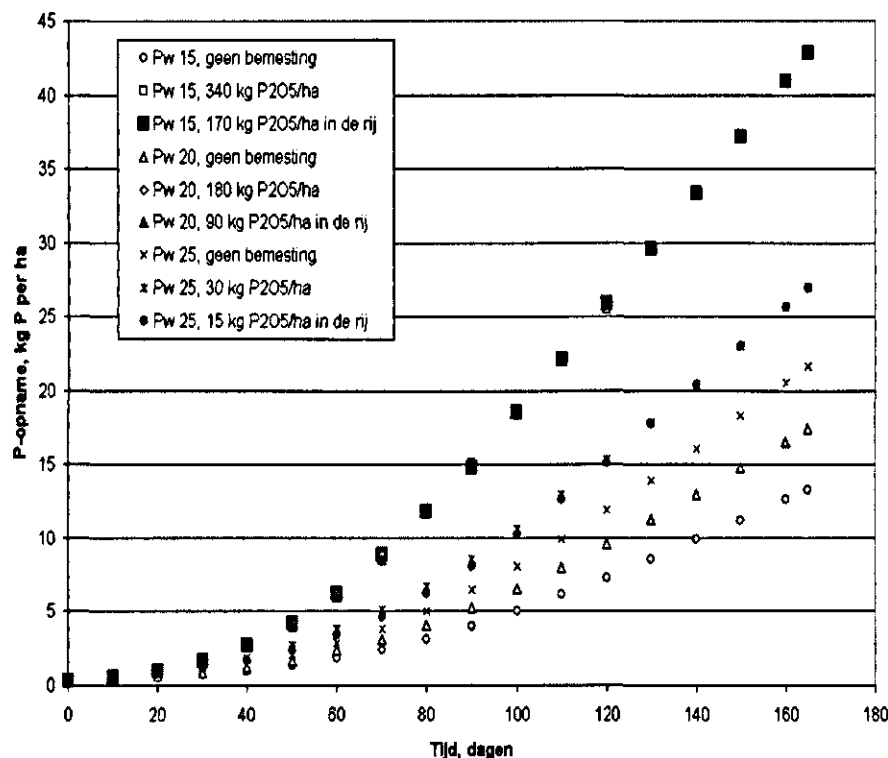
Een vergelijkbare trend is gevonden voor de kleigrond te Lelystad. Zonder bemesting wordt bij P_w -getallen van 15, 20 of 25 mg $P_2O_5 \cdot l^{-1}$ onvoldoende fosfaat door het gewas opgenomen om tot een maximale opname te komen. Ook bemestingen met 30 kg P_2O_5 per ha breedwerpig of 15 kg P_2O_5 per ha in de rij zijn dan niet toereikend. Met 15 kg P_2O_5 wordt wel een vergelijkbare P opname bereikt als met 30 kg P_2O_5 per ha. De berekeningen geven aan dat ten opzichte van een breedwerpige bemesting met een gehalveerde gift in de rij geplaatst een vergelijkbaar resultaat wordt bereikt.

CD - peen



Figuur 3. Berekende P-opname door CD-peen op basis van gegevens van het Meterikse Veld voor verschillende giften aan fosfaat bij breedwerpig toediening en bij plaatsing in de rij. De fosfaattoestand (Pw-getal) is 48 mg P₂O₅ per liter. De berekeningsresultaten voor de rijenbemesting en voor de gift van 190 kg P₂O₅ per ha vallen samen.

CD-Peen, Lelystad



Figuur 4. Berekende P-opname door CD-peen op basis van gegevens van Lelystad voor verschillende giften aan fosfaat bij breedwerpige toediening en bij plaatsing in de rij bij drie fosfaattoestanden. De berekeningsresultaten van de fosfaatopname in de tijd met rijenbemesting, met uitzondering van die voor een Pw-getal van 25 mg P₂O₅ per liter bij een gift van 15 kg P₂O₅ per ha, en breedwerpige bemesting met 340 kg P₂O₅ per ha bij een Pw-getal van 15 mg P₂O₅ per liter en 180 kg P₂O₅ per ha bij een Pw-getal van 20 mg P₂O₅ per liter vallen samen.

5. Discussie en advies

5.1 Discussie

Literatuurgegevens over efficiëntiewinst van precisiebemesting met P bij vollegrondsgroentegewassen zijn bont en niet eenduidig te bewerken tot vuistregels. De gegevens uit de literatuur wijzen erop dat er voordeel te behalen is door het plaatsen van fosfaat in zaaibed, door rijenbemesting of door plantgatbemesting vooral in omstandigheden waarin de fosfaattoestand van de grond laag is, het transport van P door diffusie in de bodem door een gereduceerd vochtgehalte wordt belemmerd, de plantafstand ruim is, fosfaat in de bodem wordt vastgelegd zodanig dat de gewasbeschikbaarheid sterk achteruit gaat, de fosfaatgift laag is en de duur van de teelt kort en de vraag naar P door het gewas hoog. Plaatsing van P bij groentegewassen zou dan effectief zijn.

De veldproef met sla heeft dat niet bevestigd. Plaatsing van P bij sla heeft geleid tot opbrengstderving. Plaatsen van de meststof na het planten heeft geleid tot opbrengstderving, mogelijk door schade aan het wortelstelsel. De precieze oorzaak voor het negatieve effect van rijenbemesting kan niet worden aangegeven. De resultaten van de modelberekeningen zijn een illustratie dat rijenbemesting de efficiëntie van meststofgebruik kan verhogen. De opgelegde condities en invoergegevens zijn echter sterk bepalend voor het verkregen resultaat. De getalswaarden kunnen daardoor niet absoluut worden genomen.

BIJ AKKERBOUWGEWASSEN IS DOOR DE COMMISSIE BEMESTING VAN AKKERBOUWGEWASSEN OP BASIS VAN ONDERZOEK VAN PRUMMEL (1950, 1958, 1959, 1975), ARNOLD EN TEN HAG (1982) EN BUITENLANDSE LITERATUUR OP ZANDGROND AANGENOMEN DAT DE MESTSTOFGIFT BIJ RIJENBEMESTING 75% BEDRAAGT VAN DE BREEDWERPIGE BEMESTING OP KLEIGROND. OP ZANDGROND IS HET ADVIES DAT DE GIFT GEGEVEN ALS RIJENBEMESTING CIRCA 50% BEDRAAGT VAN DIE VAN DE BREEDWERPIGE BEMESTING. HET ADVIES VOOR AKKERBOUWGEWASSEN IS DESTIJD VOORZICHTIG OPGESTELD. PRUMMEL VOND BIJ DIVERSE GEWASSEN AANZIENLIJK HOGERE EFFICIËNTIEWINSTEN DAN UITEINDELIJK IN HET ADVIES WERDEN OPGENOMEN. BUITENLANDSE LITERATUURGEGEVENS EN MODELVERKENNINGEN WEERLEGGEN DIT ADVIES NIET.

Groentegewassen als sla en peen vragen hoge fosfaatgiften. Redelijkerwijs kan men verwachten dat adviezen voor breedwerpig toegediende meststof gereduceerd kunnen worden door de meststof te plaatsen. Welke mate van reductie mogelijk is, kan op basis van de literatuurstudie, het veldonderzoek of de modelverkenningen niet geconcretiseerd worden. In kwalitatieve betekenis kan worden aangegeven dat plaatsing van fosfaat bij een gewas de benutting van toegediend meststoffosfaat verhoogt indien:

1. de fosfaattoestand laag is;
2. de vochthuishouding van de bodem niet optimaal is gedurende de teelt en de teelt plaats vindt bij relatief koele omstandigheden;
3. de afstand tussen individuele planten groot is, b.v. een ruime rijafstand;
4. de bodem fosfaat vastlegt in voor het gewas onbeschikbare vormen ('fixatie');
5. de meststofgift laag is;
6. het gewas bij het planten en zaaien weinig fosfaat mee krijgt, een hoge dagelijkse vraag naar fosfaat heeft en veel fosfaat opneemt, een korte groeiduur en een zwak ontwikkeld en heterogeen wortelstelsel heeft.

Bij groenteteelt zal doorgaans de vochthuishouding op peil zijn en door de ruime bemesting in het verleden zullen de fosfaattoestanden ruim voldoende tot hoog zijn en fosfaatvastlegging aan de bodem geen belangrijke rol spelen.

Groentegewassen welke met een ruime plantafstand worden geteeld, zoals koolsoorten en prei op klei, blijken niet of nauwelijks op fosfaatbemesting en fosfaattoestand te reageren. Suikermaïs vormt hierop een uitzondering. Bij rijenbemesting van dit gewas kan een reductie van 50% van de fosfaatgift worden uitgevoerd; het gewas is vergelijkbaar met snijmaïs.

Plaatsing van fosfaat bij groentegewassen zal vooral effectief zijn bij gewassen met een heterogeen

wortelstelsel en bij gewassen die bij het zaaien of planten weinig fosfaat mee krijgen. Peen, peulvruchten en bonen zijn gewassen met een heterogeen wortelstelsel. Door de dagelijkse hoge vraag naar fosfaat is bij andijvie, sla, venkel, consumptieraap en Chinese kool zal rijenbemesting effectief zijn. De fosfaatgift kan verlaagd worden tot tenminste 75% van die van breedwerpige bemesting wordt. Plaatsing van fosfaat in het zaaibed van spinazie en snijbiet verdient de voorkeur. Ook hier kan met tenminste verlaging van de gift met 75% t.o.v. van die van breedwerpige bemesting worden gerekend. Bij augurk verdient fertigatie de voorkeur.

Verder onderzoek naar de efficiëntiewinst door plaatsing van fosfaat blijft noodzakelijk. De toedieningstechniek moet beter op de eisen van het gewas worden afgestemd. Daarnaast is onbekend hoe de ontwikkeling van het wortelstelsel van vollegrondsgroentegewassen wordt beïnvloed door plaatsing van fosfaat. Verder geeft plaatsing van fosfaat lokaal zeer hoge fosfaatconcentraties waardoor precipitaten van fosfaat met calcium en andere kationen kunnen ontstaan. De huidige beschrijving van het fosfaatgedrag in de bodem houdt hiermee geen rekening. Nader procesgericht onderzoek is hier gewenst. Tenslotte zal door plaatsing van fosfaat in rij of in bedden de toestand in de bodem heterogener worden. Het is niet duidelijk hoe de bodem bemonsterd moet worden om een juiste weergave van de situatie te verkrijgen gelet op de fosfaatbemestingsadviesing. Tot dan zou geconformeerd kunnen worden aan het advies voor de akkerbouw.

5.2 Advies

In het fosfaatadvies voor akkerbouwgewassen staan zowel bij de tabel met de geadviseerde hoeveelheden fosfaat als bij de tabel met de indeling van gewasgroepen bij de fosfaatadviesing voetnoten die de gebruiker attenderen op besparing van meststofgift door rijenbemesting. Opname van de intensief geteelde groentegewassen vraagt een aanvulling van deze voetnoten. Tabel 4 geeft de nieuwe gewasgroepentabel. Tabel 5 geeft de adviesgiften aangevuld met een nieuwe kolom (kolom 0) voor gewassen met een hogere vraag naar fosfaat dan gewasgroep 1 van het akkerbouwadvies en aangevuld met een voetnoot over plaatsing van fosfaat. Tabellen 4 en 5 zijn verantwoord door Ehlert e.a. (2000) en Ehlert & Van Wijk (2002). Dit rapport verantwoordt de besparingen door plaatsing van fosfaatmeststof.

In tabel 4 is met een extra voetnoot onderscheid aangebracht tussen besparing door rijenbemesting en besparing door het ondiep of op plantdiepte plaatsen van fosfaatmeststof. Omdat deze nieuwe voetnoot als eerste in de tabel genoemd wordt, zijn de nummers van bestaande voetnoten gewijzigd.

De voetnoot bij tabel 5 is een uitbreiding van de huidige opmerkingen 1 tot en met 5 van tabel 2.4. van het huidige fosfaatbemestingsadvies voor akkerbouwgewassen (Van Dijk, 1999). Voetnoot 1 kan worden toegevoegd als opmerking 6. Bij de *geplaatste* giften in tabel 4 (zie voetnoot 1) is bij dekzand, dalgrond, rivierklei en löss uitgegaan een besparing van 50% en bij zeeklei en zeezand een besparing van 25% ten opzichte van de *niet geplaatste* gift.

Tabel 4. Indeling gewasgroepen akkerbouwgewassen en vollegrondsgroentegewassen.

Gewasgroep	Gewassen
0 ¹	Andijvie (inclusief krulandijvie), augurk (teelt-aan-touw), Chinese kool, consumptieraap, paksoi, pastinaak op zand, peen op zand (alle teelten op zand), peterselie (eenmalige en meermalige oogst), sla (bind-, krop-, ijs-, eikenblad, lolla rossa), selderij (bleek-), snijbiet, spinazie, venkel, witlof op zand.
1	Aardappel (consumptie-, fabrieks-, industriële verwerking), augurk (volvelds), boon (bruine, stamsla-, snij-, stok-, pronk-, tuin-, veld-) ² , erwten (dop- en landbouw-), knoflook, koolrabi, maïs (voedermaïs, korrelmaïs, suikermaïs) ³ , peul, rammenas, selderij (knol-), spruitkool, uien (bosui, sjalot, zilverui, plant- en zaaiui).
2	Suikerbieten, voederbieten, zaadbieten, vlas, karwij, raapsteel, radicchio, radijs.
3	Bloembollen, klaver, wikken, gerst, 1- en 2-jarig grasland (2 sneden) peen op klei (alle teelten op klei), pastinaak op klei, witlof op klei.
4	Granen (behalve gerst), graszaad, koolzaad en andere gewassen, aardbei, asperge (wit en groen), bieslook, bloemkool (witte, groene, romanesco), boerenkool, broccoli, courgette, koolraap, kroot, pompoen, prei (alle teelten), rabarber (alle teelten), schorseneer, sluitkool (groene, rode, savooie, witte, spits-)

1. Door de meststof **te plaatsen** (bovenin het zaaibed, op plantdiepte of als rijenbemesting) kan worden volstaan met 50-75% van de **niet geplaatste** gift. De besparing is groter naarmate de groeiduur korter, de rijenafstand ruimer, de beworteling ondieper, de dagelijkse vraag naar fosfaat en totale fosfaatopname hoger en de fosfaattoestand lager is. In tabel 4 geldt dit vanaf Pw-getal 45 op dekzand, dalgrond, rivierklei en löss en van 40 op zeeklei en zeezand. Bij lagere waarden is de besparing door **plaatsing** al opgenomen in het advies.
2. Op zandgrond betreft het giften die als rijenbemesting worden toegediend; bij breedwerpige toediening dient 2x zoveel gegeven te worden, Op kleigrond betreft het giften die breedwerpig worden toegediend; bij rijenbemesting kan 75% van de breedwerpig geadviseerde gift worden volstaan.
3. Bij rijenbemesting de halve hoeveelheid.

Tabel 5. Geadviseerde hoeveelheden fosfaat in kg P₂O₅ per ha.

Pw-getal	Dekzand, dalgrond, rivierklei, löss					Zeeklei, zeezand				
	Gewasgroepen					Gewasgroep				
	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
10	.	185	160	130	100	.	185	150	110	60
15	.	170	145	110	80	.	170	130	90	40
20	.	150	125	95	60	.	150	115	65	20
25	.	135	110	75	40	245 ¹	135	95	45	0
30	235 ¹	120	90	55	20	190 ¹	120	75	20	
35	155 ¹	105	75	40	0	130 ¹	105	55	0	
40	95 ¹	85	55	20		90	85	40		
45	90	70	40	0		70	70	0		
50	55	55	20			55	55			
55	35	35	0			35	35			
60	20	20				20	20			
65	0	0				0	0			

1. Gift plaatsen d.w.z. ondiep in het zaaibed of op plantdiepte toedienen of als rijenbemesting toedienen.

Literatuur

Arnold, G.H. & Hag, B.A. ten, 1982. Rijenbemesting met fosfaat bij snijmaïs. *Bedrijfsontwikkeling*. 13 (4): 403-409.

Baker A.S., 1979. Evaluation of rates and methods of applying nitrogen and phosphorus fertilizers for head lettuce in western Washington. *Bulletin, College of Agriculture Research Center, Washington State University*; No 0883

Black, C.A., 1992. Soil fertility evaluation and control. Lewis Publishers. Chapter 7. Fertilizer Placement. pp. 573-645, ISBN 0-87372-834-8.

Bohm, W., 1974. Phosphate fertilization and root growth. *Phosphorsaure* 30: 2, 141-157.

Barber, S.A., 1984. *Soil Nutrient Bioavailability: A Mechanistic Approach*. John Wiley & Sons, NY.

Buwalda, J.G. & Freeman, R.E., 1988. Effects of phosphorus fertiliser levels on phosphorus accumulation, growth, and yield of hybrid squash in the field. *Sci. Horticulturae* 34 (3/4): 201-210.

Costigan P.A., 1984. The effect of placing small amounts of phosphate fertilizer close to the seed on growth and nutrient concentrations of lettuce. *Plant and Soil*, 93: 183-193.

Costigan, P.A., 1987. A model to describe the pattern of availability of broadcast phosphorus fertilizer during the growth of a crop. *Plant and Soil* 101: 281-285.

Dilz, K., & Brakel, G.D. van, 1985. Effects of uneven fertiliser spreading - A literature review. pp. 1-19. In: K. Dilz, G.D. van Brakel & I.R. Richards. *Effects of uneven fertiliser spreading on crop yield and quality*. The Fertilizer Society (London), Proceedings No. 240.

Dragland, S., 1984. Fosforgjødsling til kepalok. Use of phosphate on onions. *Gartneryrket.*, 74 (9): 192-194.

Dijk, W. van (samensteller), 1999. *Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentegewassen*. Publicatie nr. 95. *Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt*. Lelystad.

Ehlert, P.A.I., Wijk, C.A.P. van, & Berg, W. van, 2000. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen. 1. Bemesting en rendement. *Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt*. Projectrapport nr. 25.2.3.2. December 2000.

Ehlert, P.A.I., & Wijk, C.A.P. van, 2002. Fosfaatbehoefte van vollegrondsgroentegewassen. 2. Plaatsing in gewasgroepen. *Praktijkonderzoek voor de Akkerbouw en de Vollegrondsgroenteteelt*. PPO-AGV Projectrapport nr. 25.2.3.2., ALTErrA projectnummer 317-10195-02, Februari 2002.

Ekeberg, E., 1986. Radgjødsling på myr. Fertilizer placement on peat soils. *Forskning og Forsøk i Landbruket* 37 (1): 23-28. *Kise Agric. Res. Sta. Norway*, Report No. 79.

Finck, A., 1992. *Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen*. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-W-6940 Weinheim. 2e druk. ISBN 3-527-28356-0.

Greenwood, D.J., Karpinets, T.V., & Stone, D.A., 2001. Dynamic model for the effects of soil P and fertilizer P on crop growth, P uptake and soil P in arable cropping: Model description. *Ann. Bot.* 88 (2): 279-291.

- Heinen, M., & Willigen, P. de, 1998. FUSSIM2. A two-dimensional simulation model for water flow, solute transport and root uptake of water and nutrients in partly unsaturated porous media. Quantitative Approaches in Systems Analysis No. 20, AB-DLO and PE, Wageningen, The Netherlands, 140 pp.
- Goudriaan, J., & Monteith, J.L., 1990. A mathematical function for crop growth based on light interception and leaf-area expansion. *Annals of Botany*, 66 (6): 695-701.
- Guzman V.L., et al. 1988, Banding fertilizers for improved fertilizers use efficiency for lettuce on Everglades histosols. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*; 100; 2001-2003.
- Knittel, H., 1988. Placement of solid fertilisers in agricultural crops: a review. *Proceedings, Fertiliser Society, UK*. No. 273, 3-20.
- McPharlin, I.R., Robertson, W.J., & Jeffery, R.C. & Weissberg, R., 1995. Response of cauliflower to phosphate fertilizer placement and soil test phosphorus calibration on a Karrakatta sand. *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*. 26 (3-4): 607-620.
- McPharlin, I.R., & Robertson, W.J., 1997. Response of spring-planted lettuce (*Lactuca sativa* L.) to freshly-applied and residual phosphorus and to phosphate fertilizer placement on a Karrakatta sand. *Australian Journal of Experiment. Agric.* 37 (6): 701-708.
- McPharlin, I.R., & Robertson, W.J., 1999. Response of onions (*Allium cepa* L.) to phosphate fertiliser placement and residual phosphorus on a Karrakatta sand. *Australian Journal of Experiment. Agric.*, 39 (3): 351-359.
- Mulkey, J.R. e.a., 1979. Response of onions to P –placement. *Agronomy Journal*; 71 (6): 1037-1040.
- Nerson, H., Karchi Z., Paris, H.S., & Shosani, D., 1990. The effect of supplementary banded phosphorus fertilization on yield of pickling cucumbers for once-over harvest, Hassadeh; 60 (5): 879-881.
- 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 recommendation. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 38: 317-332.
- Nye, P.H., & Tinker, P.B., 1977. Solute movement in the soil-root system. *Studies in ecology volume 4*. Blackwell Scientific Publications.
- Prummel, J., 1950. Rijenbemesting. *Landbouwkundig tijdschrift* 62 (8): 620-627.
- Prummel, J., 1958. Rijenbemesting met fosfaat bij peulvruchten en mais. *Landbouwvoorlichting* 15 (2): 83-91.
- Prummel, J., 1959. Rijenbemesting met fosfaat bij stamslabonen. *Technische berichten maart, nr. 82*. Peulvruchten studie combinatie.
- Prummel, J. 1966. Fosfaat- en kalibemesting voor spruitkool en uien op landbouwgronden. *Buffer* 12 (1): 11-14.
- Prummel, J. 1967. Fosfaat- en kaliproeven met bladspinazie en stamslabonen. *Buffer* 13 (2): 34-37.
- Prummel, J., 1971. Fosfaat- en kalibemesting van bladspinazie en stamslabonen op landbouwgronden. *Bedrijfsontwikkeling* 2 (5): 77-82.

- Prummel, J., 1973. Fosfaat- en kalibemesting van conservenerwten op landbouwgronden. *Bedrijfsontwikkeling* 4 (10): 928-930.
- Prummel, J., & Barnau Sijthoff, P.A. von, 1975. Rijenbemesting met fosfaat bij stamslabonen en tuinbonen. *Bedrijfsontwikkeling* 6 (2): 173-175.
- Prummel, J., 1979. Fosfaat- en kalibemesting van tuinbonen op landbouwgronden. *Bedrijfsontwikkeling* 10 (1): 77-80.
- Prummel, J., 1982. Fosfaat- en kalibemesting van het tweede groentegewas bij dubbelteelten op akkerbouwbedrijven. *Bedrijfsontwikkeling* 13 (8): 759-761
- Randall, G.W., Wells, K.L., & Hanway, 1985. Modern techniques in fertilizer application. pp. 521-560. In: O.P. Engelstad (Ed.). *Fertilizer Technology and Use*. 3e druk. Soil Science Society of America. Madison, WI.
- Randall, G.W., & Hoeft, R.G., 1988. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: a review. *Journal of Production Agriculture*. 1 (1): 70-79.
- Sanchez, C.A., Swanson, S., & Porter, P.S., 1990. Banding P to improve fertilizer use efficiency of lettuce. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 115 (4): 581-584.
- Sanchez, C.A., Porter, P.S., & Ulloah, M.F., 1991. Relative Efficiency of Broadcasting and banded Phosphorus for sweet corn produced on histosols. *Soil Science Society America Journal* 55 (3): 871-875.
- Smith, C.B., Demchak, K.T., & Ferretti, P.A., 1990. Fertilizer placement effects on growth responses and nutrient uptake of sweet corn, snapbeans, tomatoes and cabbage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21(1-2): 107-123.
- Steenbjerg, F., 1957. A theory on the placement of fertilizers. *Den Kongelige Verterinaerog Landbohjskole Åarskrift* 1957: 1-30.
- Willigen, P. de & Noordwijk, M. van, 1987. Roots, plant production and nutrient use efficiency. PhD thesis Agricultural University Wageningen. The Netherlands, 282 pp.
- Wit, C.T. de, 1953. A physical theory on placement of fertilizers. *Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen* no. 59.4. Staatsdrukkerij en Uitgeversbedrijf, Wageningen, The Netherlands.