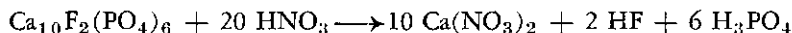


Oplosbaarheid in 'water en korrelgrootte van fosfaatmeststoffen

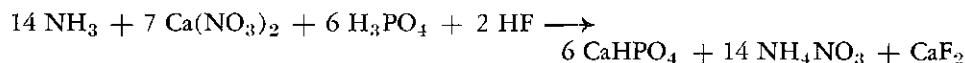
P. F. J. VAN BURG *

In het kader van het onderzoek ter verbetering van de landbouwkundige waarde van de NP-mengmeststof 'fosfaatammonsalpeter' (fas) werd vooral aandacht besteed aan het percentage van het in de meststof aanwezige, in water oplosbare fosfaat (verder aangeduid als % wo-P of percentage 'water oplosbaar' fosfaat) en aan de korrelgrootte.

Wellicht is het nuttig eerst iets te vermelden over de industriële bereiding der onderzochte meststoffen. Bij de Staatsmijnen begint de fabricage van de NP-mengmeststoffen met de ontsluiting van natuurlijk fosfaat met salpeterzuur :

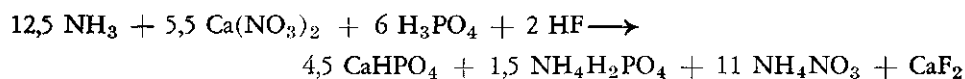


Na verwijdering van 3 mol calciumnitraat door uitkristallisatie en filtratie, gevolgd door toevoeging van ammoniak, wordt dicalciumfosfaat neergeslagen:



Al het fosfaat is in dit geval dus onoplosbaar in water (dicalciumfosfaat).

De NP-mengmeststof (fas) van de Staatsmijnen bevatte tot 1960 75 % van het fosfaat als dicalciumfosfaat en 25 % als mono-ammoniumfosfaat (in water oplosbaar). Dit werd bereikt door uitkristallisatie van in totaal 4,5 mol calciumnitraat, zodat bij neutralisatie met ammoniak de volgende reactie plaatsvond:



Door nog meer calciumnitraat te verwijderen zijn produkten verkregen, die het fosfaat voor 50 en 75 % in de vorm van ammoniumfosfaat bevatten. Om een meststof te maken, die het fosfaat geheel in de vorm van ammoniumfosfaat bevat, is het nodig bijna al het calciumnitraat te verwijderen.

Teneinde eventuele invloeden van een variërend stikstofniveau uit te sluiten werd er bij de voor dit onderzoek gebruikte veld- en potproeven steeds voor gezorgd dat de stikstofbemesting bij alle objecten even hoog was. Een eventuele aanvulling met stikstof werd gegeven in de vorm van ammoniumnitraat. Bij de potproeven (Mitscherlich-potten met 6 à 7 kg grond) werd bemest tot een stikstofniveau van 1500 tot 2000 mg stikstof per pot.

* Wetenschappelijk medewerker van het Landbouwkundig Bureau van de Nederlandse Stikstofmeststoffen-Industrie.

OPLOSBAARHEID VAN HET FOSFAAT IN WATER

Directe werking

Op bouwland en grasland werd een aantal proeven uitgevoerd met 'fas'-meststoffen die 26 tot 73 % van het fosfaat in water-oplosbare vorm bevatten¹. Als standaard-meststof fungeerde superfosfaat (98 % wo-P). De zeefanalyses van de NP-meststoffen en van superfosfaat waren verschillend; de korrelgrootten van de eerste lagen voor 85 à 95 % tussen 2,0 en 4,8 mm; superfosfaat was veel grover, nl. 75 % boven 4,8 mm.

De graslandproeven waren aangelegd op gronden met een betrekkelijk goede fosfaattoestand. Dit bemoeilijkt, zoals te begrijpen is, de vergelijking van de meststoffen uit het oogpunt van opbrengst. Op dergelijke gronden kan men immers geen of geen grote opbrengstverschillen verwachten. Het gras zal óf uit de grond óf uit een meststof met een gering percentage wateroplosbaar fosfaat reeds voldoende fosfaat kunnen opnemen voor een maximale produktie. Om de meststoffen uit een oogpunt van opbrengst met elkaar te kunnen vergelijken, zouden de proeven dus op fosfaatarme gronden moeten worden aangelegd. Bij bouwland is dit geen bezwaar, maar bij grasland kan dit tot moeilijkheden leiden. Op arme gronden verandert nl. de botanische samenstelling van het bestand zeer spoedig onder invloed van een bemesting met fosfaat, waardoor men dan verschillende 'gewassen' met elkaar gaat vergelijken. Dit lijkt minder juist.

Proeven over de werking van verschillende fosfaatmeststoffen op grasland kunnen daarom beter worden uitgevoerd op gronden die betrekkelijk goed met fosfaat zijn voorzien. De beoordeling van de meststoffen zal dan echter moeten plaatsvinden op grond van de door het gras opgenomen hoeveelheid fosfaat.

In figuur 1 zijn de resultaten weergegeven van de graslandproeven volgens de methode van De Wit (8). Uit kwadrant III van deze figuur blijkt dat de proefvelden wel op een fosfaatbemesting hebben gereageerd, al is de opbrengstreactie niet zeer groot, nl. nog geen 9 %. Met superfosfaat en fas-73 wordt de maximale opbrengst praktisch reeds bereikt bij een gift van 35 kg P/ha, met fas-50 pas bij een gift van ongeveer 50 kg en bij fas-37 en fas-26 bij nog hogere giften. De waardering van de meststoffen via opbrengstbepaling hangt, zoals uit kwadrant III duidelijk blijkt, in sterke mate af van het fosfaatbemestingsniveau; zo zou bijv. bij een niveau van 35 kg P/ha fas-73 beter worden beoordeeld dan fas-50, terwijl beide meststoffen bij een niveau van 52,5 kg P gelijk zouden worden gewaardeerd.

Uit kwadrant I van fig. 1 kan worden afgelezen dat uit superfosfaat en fas-73 een gelijke hoeveelheid fosfaat wordt opgenomen en dat de opneming minder wordt naarmate het percentage wateroplosbaar fosfaat daalt van 50 tot 26 %. Dit geldt voor elk niveau van fosfaatbemesting.

Tenslotte blijkt uit kwadrant II dat het uit de verschillende meststoffen op-

¹ Fas-x betekent in dit artikel een fas-produkt waarvan x procent van het fosfaat in water oplost.

OPLOSBAARHEID EN KORRELGROOTTE VAN FOSFAATMESTSTOFFEN

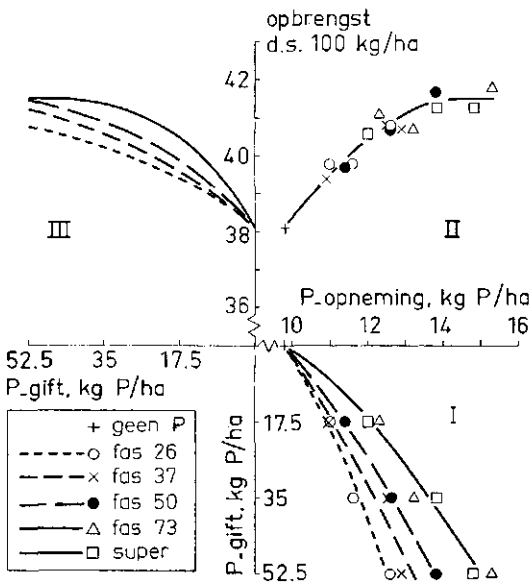


Fig. 1 Invloed van het percentage wateroplosbaar fosfaat op het verband tussen fosfaatgift en fosfaatopneming (kwadrant I), tussen fosfaatopneming en droge-stofopbrengst (kwadrant II) en de uit kwadrant I en II geconstrueerde opbrengstcurven (kwadrant III). Gemiddelde van 7 proefvelden uit 1960.

genomen fosfaat een gelijke werking heeft; de punten zijn nl. gerangschikt om één lijn. Dit betekent dat bij de beoordeling van fosfaatmeststoffen de fosfaatopneming uitstekend als waardemeter kan worden gebruikt.

De resultaten van een aantal aardappelproeven zijn samengevat in figuur 2. Hieruit blijkt dat zowel op gronden met een matige (linkerhelft) als met een grote fosfaatreactie (rechterhelft) de hoogste knolopbrengsten worden verkregen bij het hoogste percentage wateroplosbaar fosfaat. Het valt op dat in beide gevallen de gunstige invloed van de wateroplosbaarheid het grootst is

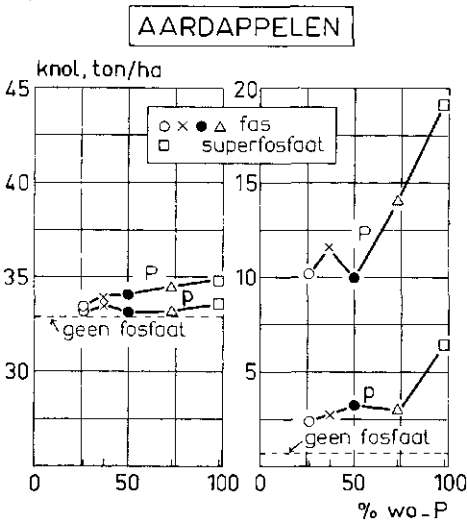


Fig. 2 Invloed van het percentage wateroplosbaar fosfaat op de knolopbrengst van aardappelen; links de gemiddelde resultaten van 5 proefvelden op matig reagerende gronden (fosfaatgift, p = 33 kg P/ha en P = 55 kg P/ha) en rechts de resultaten van een proefveld op sterk reagerende grond (fosfaatgift, p = 26 kg P/ha en P = 60 kg P/ha).

bij het hoge fosfaatbemestingsniveau. Wellicht wordt vooral bij de lagere trappen het eigenlijke beeld tengevolge van fosfaatfixatie vertroebeld.

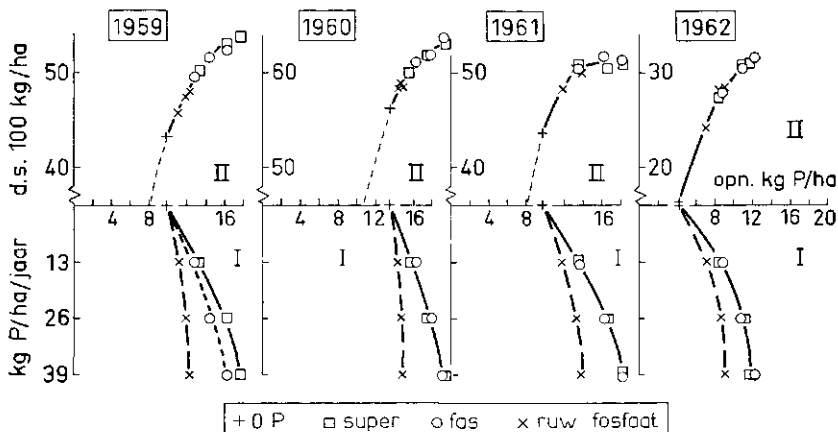
Nawerking

Uit het bovenstaande blijkt dat de directe werking van een fosfaatmeststof met een hoog percentage wateroplosbaar fosfaat in het algemeen beter is dan die van een meststof met een laag percentage. De nawerking is evenwel slechter. Wordt de totale werking vergeleken, d.i. de som van de directe werking en de nawerking, dan zijn tussen meststoffen met een hoge en een lage wateroplosbaarheid vaak nauwelijks meer opbrengstverschillen te constateren (4). Wij kunnen echter niet afgaan op de nawerking, wanneer naar een zo hoog mogelijke opbrengst wordt gestreefd. Hiervoor is meestal een verse bemesting met fosfaat nodig. Het bepalen van de nawerking alleen heeft voor de praktijk dan ook betrekkelijk weinig waarde. Het is noodzakelijk de verschillen tussen de meststoffen te bestuderen bij een geregelde jaarlijkse toediening, d.w.z. hun cumulatieve werking na te gaan.

Cumulatieve werking

In 1958 werd een serie proeven aangelegd ter bepaling van de cumulatieve werking van superfosfaat (98 % wo-P), fosfaatammonsalpeter (25 resp. 46 % wo-P)² en natuurlijk fosfaat (0 % wo-P). De meststoffen hadden niet alle een gelijke korrelgrootte: fas-25 lag voor 85 % tussen 2,0 en 4,0 mm, superfosfaat en fas-46 waren veel grover, nl. 68 resp. 67 % groter dan 4,0 mm, en het natuurlijk fosfaat was zeer fijn, nl. 95 % kleiner dan 0,15 mm. De resultaten van drie graslandproeven waarbij vijf jaar achtereen elk jaar werd bemest, zijn samengevat in fig. 3. Duidelijk blijkt uit de kwadranten II

Fig. 3 Invloed van een geregelde bemesting met superfosfaat, fosfaatammonsalpeter en natuurlijk fosfaat op het verband tussen fosfaatgift en fosfaatopneming (kwadrant I) en tussen fosfaatopneming en droge-stofopbrengst (kwadrant II). Gemiddelde van 3 proefvelden.



² In 1960 werd overgegaan van fas-25 op fas-46.

OPLOSBAARHEID EN KORRELGROOTTE VAN FOSFAATMESTSTOFFEN

in deze figuur, dat ook hier de opbrengst/opnemingskrommen niet door de soort meststof worden beïnvloed; de opnemingscijfers (kwadranten I) kunnen derhalve als waardemeter worden gebruikt. Het blijkt dat in 1959 uit fas-25 en natuurlijk fosfaat veel minder fosfaat is opgenomen dan uit superfosfaat. In 1958 werd de fosfaatopneming niet bepaald. Ware dit wel gebeurd, dan zou zeker ook in dit jaar uit fas-25 minder fosfaat gebleken te zijn opgenomen dan uit superfosfaat (vgl. fig. 1).

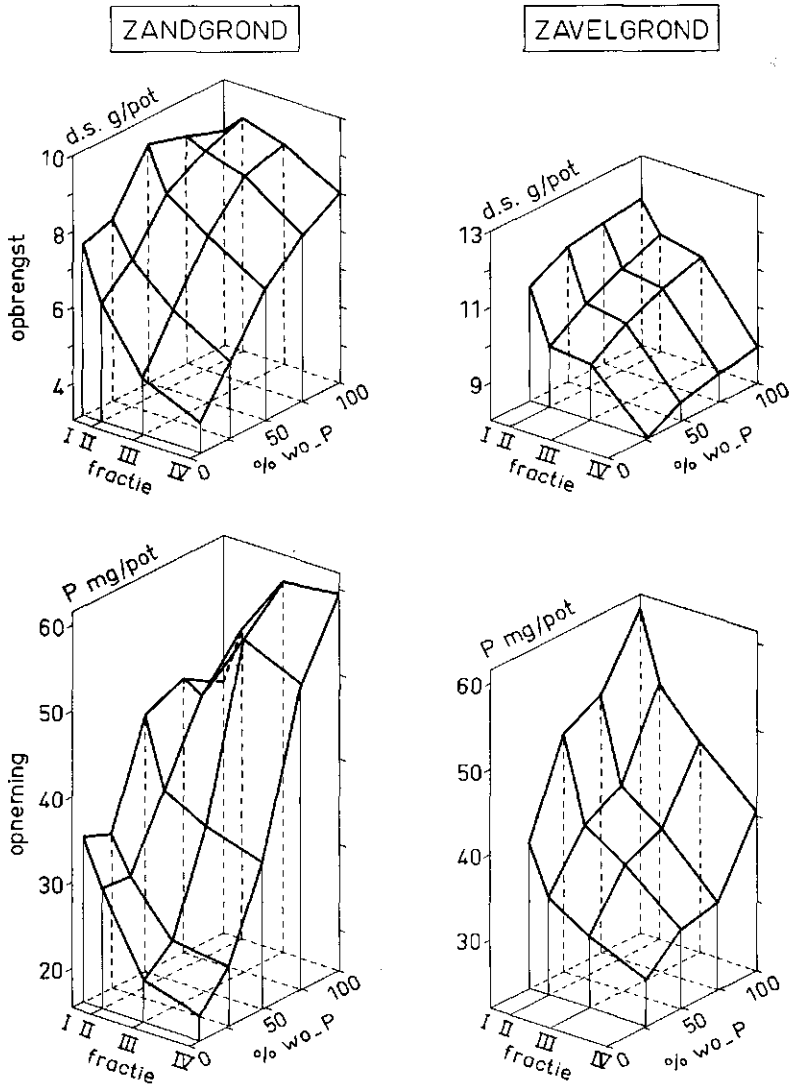


Fig. 4 Invloed van korrelgrootte en wateroplosbaarheid op de droge-stofopbrengst en opneming van fosfaat bij groen geoogste haver. Twee grondsoorten, zure zandgrond en koolzure-kalkhoudende zavelgrond. Fracties I, II, III en IV betekenen een korrelgrootte van resp. 1,0-1,4, 2,0-2,4, 4,0-4,8 en 6,8-8,0 mm.

In 1960, toen de Staatsmijnen het percentage wateroplosbaar fosfaat in fas verhoogden, werd ook in onze proeven overgegaan op een produkt met een hoger percentage wateroplosbaar fosfaat, nl. 46 %. Uit fig. 3 blijkt dat in 1960, 1961 en 1962 uit fas-46 evenveel fosfaat werd opgenomen als uit superfosfaat (zie bijv. fig. 1). Zou doorlopend fas-25 zijn gebruikt, dan zou dit resultaat zeker in 1960 niet verkregen zijn; dit is nl. gebleken uit andere, ook in 1958 begonnen proeven waarvan de uitkomsten hier niet worden vermeld. In deze proeven, waarbij NPK-24 (fas-24 + K) werd vergeleken met superfosfaat, is in 1960 *niet* overgeschakeld op een produkt met hogere wateroplosbaarheid. NPK-24 bleef ook in 1960 slechter werken dan superfosfaat: cumulatief voldeed een laag percentage wateroplosbaar fosfaat dus ook niet. Hieruit kan worden afgeleid dat de verhoging van het percentage wateroplosbaar fosfaat van 26 tot 46 inderdaad een grote verbetering is geweest.

De gegevens van de bouwlandproeven zullen hier niet worden vermeld. Gebleken is dat een gehalte van 50 % wateroplosbaar fosfaat voor granen voldoende is. Dit is, ook cumulatief, echter lang niet voldoende voor aardappelen (2).

OPLOSBAARHEID IN WATER EN GROOTTE VAN DE KORREL

De werking van een fosfaatmeststof hangt behalve van het percentage wateroplosbaar fosfaat ook in sterke mate af van de korrelgrootte (1, 2, 7). Teneinde de wisselwerking tussen wateroplosbaarheid en korrelgrootte te onderzoeken werden pot- en veldproeven uitgevoerd met fas-meststoffen die zowel in korrelgrootte als in wateroplosbaarheid varieerden.

Potproeven met haver

In de driedimensionale figuur 4 zijn voor twee gronden (zure zandgrond en koolzure-kalkhoudende zavel) de droge-stofopbrengsten en de fosfaatopneming uitgezet tegen de korrelgrootte en tegen het percentage wateroplosbaar fosfaat. Op de *zure zandgrond* (pH 3,9) dalen bij een laag % wo-P zowel de opbrengst als de fosfaatopneming sterk, wanneer de korrels groter worden. Naarmate het % wo-P wordt verhoogd, wordt de opbrengstdaling tengevolge van het gebruik van grotere korrels kleiner. Bij de hoogste wateroplosbaarheid stijgt aanvankelijk zelfs de opbrengst, waarna deze pas bij de grotere korrels weer daalt. Bij verhoging van het % wo-P vertoont de opneming van fosfaat een ander verloop dan de opbrengst. Dit is vooral duidelijk te zien bij de hoogste wateroplosbaarheid. Hier wordt de opneming steeds groter, naarmate de korrels groter worden, terwijl de opbrengst na een aanvankelijke stijging daalt. Bij grote korrels stijgen opbrengst en fosfaatopneming sterk bij toenemend % wo-P; bij kleine korrels daarentegen leidt alleen een verhoging van het % wo-P tot \pm 50 procent tot een stijging van de opbrengst en van de opneming. Een verdere verhoging tot 100 procent geeft zowel van opbrengst als van opneming een verlaging te zien, waarschijnlijk als gevolg van fosfaatvastlegging.

Op de *zavelgrond* (pH 7,3) ziet men een ander beeld. De opbrengst en de fosfaatopneming dalen sterk, naarmate de korrels groter worden, ongeacht het % wo-P. En een toenemend % wo-P verhoogt, ongeacht de korrelgrootte, de opbrengst en de opneming. Deze gegevens komen geheel overeen met die van o.a. Yankovitch (9) en Terman (5). Een interessante bevestiging van dit verschijnsel vinden we in een potproef waarbij de werking van H_3PO_4 , toegediend in oplossing (dus fijn verdeeld), vergeleken werd met die van superfosfaat toegediend in korrels van 3,0—4,0 mm. Op zure zandgrond gaf H_3PO_4 nl. lagere opbrengsten dan superfosfaat, op koolzure-kalkhoudende zavel was H_3PO_4 daarentegen aanzienlijk beter dan superfosfaat.

Het effect van de korrelgrootte is dus op zure en kalkhoudende gronden verschillend, althans bij hoge wateroplosbaarheid. Op kalkhoudende gronden wordt het in water oplosbare fosfaat omgezet in dicalciumfosfaat, dat beter voor de plant beschikbaar zal zijn dan de reactieproducten die in een zure grond ontstaan.

Korrelgrootte en korrelverdeling

Bij de beschouwingen omtrent korrelgrootte is het gewenst zich te realiseren dat een toeneming van de korrelgrootte automatisch leidt tot een vermindering van het aantal korrels per gewichtseenheid. De verdeling van een meststof door of over de grond wordt zodoende slechter. Zo bedroeg bij de hierboven besproken potproeven het aantal korrels in de fracties 1,0—1,4, 2,0—2,4, 4,0—4,8 en 6,8—8,0 mm resp. ongeveer 7000, 1000, 120 en 26 per 500 mg P.

Bij toepassing van grote korrels stond het gewas in de potten zeer onregelmatig, d.w.z. er waren goed ontwikkelde planten en (soms vlak daarnaast) planten die ernstig fosfaatgebrek vertoonden (fig. 5). Bij een latere proef is vastgesteld dat deze kleine planten inderdaad nauwelijks meer fosfaat hadden opgenomen dan de planten van het onbemeste object. Deze kleine planten zijn blijkbaar niet in staat geweest een kunstmestkorrel te bereiken.

Korrelgrootte en korrelverdeling (aantal korrels) zijn zo nauw met elkaar verweven, dat het met de normale meststoffen onmogelijk is beider effecten van elkaar te scheiden. Voor de bestudering van dit probleem moesten dan ook speciale proefproducten worden vervaardigd. Van een mengsel van dicalciumfosfaat, ammoniumnitraat en een vulstof van puimsteen/polyetheen (1 : 1) werden korrels gemaakt:

- a. van gelijke grootte maar met afnemende hoeveelheid fosfaat per korrel (verdelings-effect), en
- b. van verschillende korrelgrootte maar met gelijkblijvende hoeveelheid fosfaat per korrel (grootte-effect).

De resultaten van een proef met deze producten kunnen als volgt worden samengevat: veel korrels gaven een hogere opbrengst dan weinig korrels (bij constante korrelgrootte) en grote korrels gaven een hogere opbrengst dan kleine korrels (bij constant korrelaantal).

Uit deze resultaten kon worden afgeleid dat de gunstige invloed van het toenemend aantal korrels zowel als die van de toenemende korrelgrootte moet worden toegeschreven aan een grotere kans die de wortels hebben om een kunstmestkorrel te raken (trefkans). Voor de speciale proefprodukten werd gevonden: 1) dat bij een constant korrelaantal en toenemende grootte de trefkans recht evenredig is aan het kwadraat van de korreldiameter, en 2) dat bij constante korreldiameter en toenemend aantal korrels de trefkans recht evenredig is met het aantal korrels (2). Voor normale meststoffen, waarbij de bovengenoemde afhankelijkheid in principe ook geldt, maar waarbij een toenemen van de korrelgrootte een vermindering van het aantal korrels betekent, is de trefkans omgekeerd evenredig aan de korreldiameter, hetgeen inhoudt dat bij grotere korrels de trefkans kleiner wordt.



Fig. 5 Onregelmatige stand van haver bemest met fas-26 met een korrelgrootte van 6,8–8,0 mm.

Veldproeven

Behalve potproeven werden ook veldproeven uitgevoerd met fas-meststoffen van variërende wateroplosbaarheid en korrelgrootte. Fig. 6, waarin een aantal proefresultaten op bouwland is samengevat, laat zien dat er een duidelijke interactie bestaat tussen het percentage wateroplosbaar fosfaat en de korrelgrootte. Dit is in overeenstemming met de resultaten van o.a. Bouldin (1) en Terman (6). De interactie is waarschijnlijk een gevolg van twee factoren, t.w. de verdeling van de meststof in de grond en de mate van vastlegging van het toegediende fosfaat.

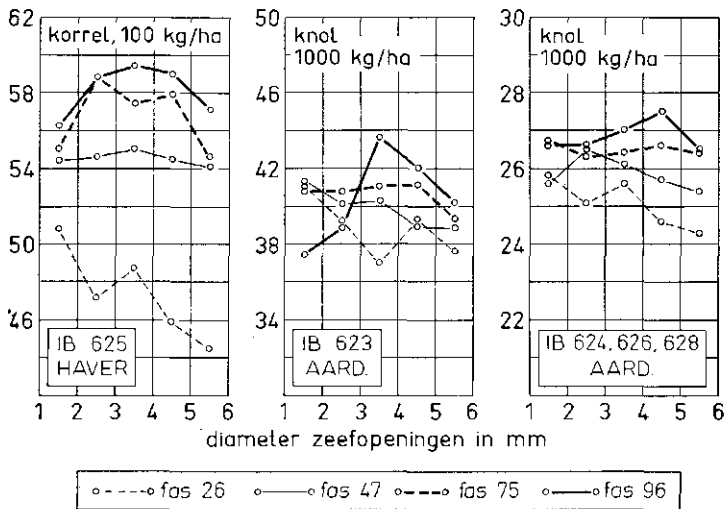
Er is reeds gezegd dat bij toenemen van de korrelgrootte het aantal korrels per gewichtseenheid fosfaat vermindert. Het aantal korrels dat op de veld-

OPLOSBAARHEID EN KORRELGROOTTE VAN FOSFAATMESTSTOFFEN

proeven bij de fracties 1—2, 2—3, 3—4, 4—5 en 5—6 mm per 44 kg P (dit is de fosfaatgift per ha) werd toegediend, bedroeg resp. ongeveer 125, 36, 14, 8 en 4 miljoen.

Bij een meststof die weinig of geen wateroplosbaar fosfaat bevat, speelt de fixatie geen rol van betekenis. In dit geval betekent een vermindering van het korrelaantal, dat de verdeling en dus de werking van de meststof slechter wordt. In fig. 6 wordt dit door de neergaande lijnen van fas-26 duidelijk geïllustreerd.

Fig. 6 Invloed van korrelgrootte en wateroplosbaarheid op de korrelobbrengst van haver en de knolopbrengst van aardappelen. Om variatie in korrelgrootte te krijgen, werden de mestproeven voor deze proeven met normale fabriekszeven uitgezeefd.



Bij een meststof met een hoog percentage oplosbaar fosfaat kan fixatie echter wel degelijk een grote invloed hebben. De omzetting van wateroplosbaar fosfaat in een minder beschikbare fosfaatvorm gaat bij een groot aantal kleine korrels gemakkelijker dan bij een klein aantal grote. Het voordeel van een betere verdeling bij kleine korrels kan aldus door een verhoogde vastlegging volkomen worden tenietgedaan. Met zeer grote korrels, waarbij de vastlegging weliswaar sterk wordt gereduceerd, gaat echter de te ongunstige verdeling weer meespreken (3). De maxima in de krommen van fas-96 (fig. 6) zijn hiervan een goed voorbeeld.

Er werd met de genoemde meststoffen ook een proef op grasland uitgevoerd. De fosfaatbemesting had heel weinig invloed op de opbrengst. De fosfaatopneming kan echter, zoals reeds eerder is gesteld, goed worden gebruikt als waardemeter. Uit fig. 7 blijkt dat de fosfaatopneming toeneemt met een stijgend percentage wateroplosbaar fosfaat, maar duidelijk vermindert bij toenemende korrelgrootte, ongeacht het gehalte aan wateroplosbaar fosfaat. Resultaten van twee graslandproeven uit 1963, waarin twee korrelfracties (1—3 en

3—5 mm) van fas-50 en fas-94 waren opgenomen, wezen in dezelfde richting; bij beide wateroplosbaarheden werd met de kleine fractie de hoogste fosfaatopneming verkregen. Het lijkt er dus op, dat een goede verdeling³ van de meststof op grasland belangrijker is dan op bouwland. In al deze gevallen betrof het nl. geen koolzure-kalkhoudende gronden, maar twee zandgronden en een veengrond met lage pH.

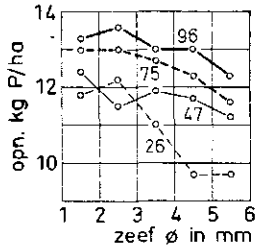


Fig. 7 Invloed van korrelgrootte en wateroplosbaarheid op de opneming van fosfaat door gras. De cijfers bij de lijnen geven het percentage wateroplosbaar fosfaat aan (zie ook legenda bij figuur 5).

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Bij het onderzoek naar de verbetering van de landbouwkundige waarde van de NP-mengmeststof 'fosfaatammonsalpeter' werden de volgende punten nader bestudeerd: 1) de directe en de cumulatieve werking van produkten die sterk verschilden in het percentage wateroplosbaar fosfaat (% wo-P), en 2) de wisselwerking tussen het percentage wateroplosbaar fosfaat en de korrelgrootte.

Om de hoogste knolopbrengsten te geven moeten aardappelen bemest worden met een fosfaatmeststof die het fosfaat geheel in wateroplosbare vorm bevat (100 % wo-P). Dit geldt niet alleen voor de directe werking, maar ook voor de cumulatieve. Daarentegen bleek op grasland de directe werking van een fosfaatmeststof met 70 tot 75 % wo-P voldoende, terwijl bij geregelde bemesting de cumulatieve werking van een fosfaatmeststof met 50 % wo-P reeds voldoende was.

Er bestaat een duidelijke wisselwerking tussen het percentage wateroplosbaar fosfaat en de korrelgrootte. Bij haver en aardappelen op niet koolzure-kalkhoudende gronden daalt de werking van fosfaatmeststoffen met een laag % wo-P, wanneer de korrels groter worden, terwijl de werking van fosfaatmeststoffen met een hoog % wo-P in het algemeen juist bij toenemende korrelgrootte beter wordt, althans wanneer een bepaalde korreldiameter niet wordt overschreden. Op koolzure-kalkhoudende gronden wordt echter ook bij een hoog % wo-P de fosfaatwerking slechter naarmate de korreldiameter toeneemt. De korrelgrootte beïnvloedt in sterke mate de verdeling van een meststof in of over de grond; immers, wanneer de korrelgrootte toeneemt, daalt het aantal korrels per gewichtseenheid fosfaat.

Op grasland blijkt de verdeling van de meststof over de grond belangrijker dan op bouwland; immers ook op niet koolzure-kalkhoudende gronden ver-

³ Bij de fractie 1—2 mm en 5—6 mm bedraagt het gemiddelde aantal korrels per cm² resp. 1,25 en slechts 0,04!

mindert daar de fosfaatwerking bij toenemende korrelgrootte, onafhankelijk van het percentage wateroplosbaar fosfaat.

Uit dit onderzoek kan worden afgeleid dat het minder juist is de beschikbaarheid van het fosfaat in verschillende fosfaatmeststoffen met elkaar te vergelijken, wanneer de meststoffen niet ongeveer een gelijke korrelgrootte-samenstelling hebben. Voor een juiste interpretatie moet namelijk de wisselwerking tussen korrelgrootte, korrelverdeling en percentage wateroplosbaar fosfaat in beschouwing worden genomen.

LITERATUUR

- 1 D. R. Bouldin, J. D. DeMent & E. C. Sample : *Agric. Food Chem.* 8 (1960) 470—474.
- 2 P. F. J. van Burg : *Fertilizer Society Proceedings* 75 (1963) 1—54.
- 3 T. Geisler : *Gartenbauwissenschaft* 22 (1957) 322—342.
- 4 E. G. Mulder : *Fertilizer Society Proceedings* 25 (1953) 1—50.
- 5 G. L. Terman : Economic and technical analysis of fertilizer innovations and resource use. Iowa State College Press, Ames 1957, 37—54.
- 6 G. L. Terman, J. D. DeMent, L. B. Clements & J. A. Lutz : *Agric. Food Chem.* 8 (1960) 13—18.
- 7 G. L. Terman, W. M. Hoffman & B. C. Wright : *Advances in Agronomy* 16 (1964) 59—100.
- 8 C. T. de Wit : A physical theory on placement of fertilizers. Versl. Landbouwk. Onderz. 59.4 (1953) 1—71.
- 9 L. Yankovitch : *Ann. Serv. Botan. Agron. Tunisie* 26 (1953) 103—151.

