

Ophoping en uitspoeling van fosfaat uit organische mest en kunstmest in de bodem

Dr. R. G. Gerritse - Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren

Ongeveer 25 % van al het fosfaat dat via de landbouw in de Nederlandse bodem terecht komt wordt weer met het gewas afgevoerd en minder dan 1 % verdwijnt via natuurlijke uitspoeling met het bodemvocht naar oppervlakte- en grondwater (Kolenbrander, 1974). De rest zal zich in de bodem ophopen, hetgeen in 1970 neerkwam op een gemiddeld overschot (dat is bemesting minus onttrekking) van 30–40 kg P (69–92 kg P₂O₅) per ha cultuurgrond per jaar (Kolenbrander, 1974). De spreiding is echter groot en in gebieden met intensieve veehouderij kan het voorkomen dat meer dan 100 kg P (230 kg P₂O₅) per ha in een jaar wordt opgehoopt (Henselmans en Algra, 1976). In glastuinbouwgebieden ligt het fosfaatoverschot vaak tussen 50 en 100 kg P (115 en 230 kg P₂O₅) per ha per jaar (Hamaker, 1975; Hamaker en Van der Burg, 1979, 1981).

Probleemstelling

De vraag is nu of door deze fosfaatophoping gronden langzamerhand met fosfaat verzadigd kunnen raken zodat een toenemend deel van het jaarlijks gegeven fosfaatoverschot gaat uitspoelen. In principe is dit zonder meer mogelijk. Het wel of niet bereiken van een verzadigingstoestand zal afhangen van de in de bodem aanwezige en met de meststof aangevoerde fosfaatbindende componenten. De snelheid van vastlegging en de vorm waarin het fosfaat tenslotte wordt opgeslagen bepalen de fosfaatconcentratie in het bodemvocht en dus de mate en het verloop van de uitspoeling (Gerritse et al., 1981).

Een tweede vraag is of fosfaat uit dierlijke mest nog extra beweeglijk is (De la Lande Cremer, 1972). Ongeveer 55 % van het fosfaat dat in 1970 via landbouw in onze bodem terecht kwam was afkomstig van dierlijke mest (Kolenbrander, 1974). Recentere gegevens wijzen op een dalend gebruik van kunstmest welke meer dan gedekt wordt door een toename in het gebruik van dierlijke mest. Zo was in 1978 (CBS, 1980) ca. 65 % van het bemestings-P afkomstig uit dierlijke mest. Tussen 10 en 20 % van het in dierlijke mest aanwezige fosfaat is aanwezig in organische vorm, dat wil zeggen ingebouwd in complexe organische moleculen (Gerritse & Zugec, 1977; Gerritse, 1978). Bij de zo nu en dan gehoorde uitlating dat fosfaat uit dierlijke mest veel eerder uitspoelt dan uit kunstmest, wordt voorbijgegaan aan het feit dat 80–90 % van het fosfaat in dierlijke mest in anorganische vorm aanwezig is en dus te vergelijken is met fosfaat in kunstmest. De bijdrage van organisch fosfaat in dierlijke mest aan de totale fosfaatbelasting van de bodem is, zoals uit eerder vermelde cij-

fers kan worden berekend, ongeveer 6–13 %. Indien dit organisch fosfaat volledig zou uitspoelen, is dat een hoeveelheid, op landelijke basis omgerekend, van 3–7 kg P (7–16 kg P₂O₅) per ha per jaar met plaatselijk aanzienlijk grotere hoeveelheden. Dit zou meer dan een vertienvoudiging zijn van wat er momenteel via bodemvocht uit cultuurgrond aan fosfaat verdwijnt naar grond- en oppervlaktewater (Kolenbrander, 1974). Uit de hierna te bespreken onderzoekresultaten blijkt dat deze extra-dreiging van het organisch fosfaat uit dierlijke mest ten opzichte van het anorganisch fosfaat te verwaarlozen is.

Het totale fosfaatprobleem mag echter zeker niet worden verwaarloosd. Via een 'indicatief meerjarenprogramma' streeft een interdepartementale commissie voor de milieuhygiëne (ICMH rapport, 1977) ernaar om in de jaren tachtig te komen tot een fosfaatconcentratie in het oppervlaktewater van maximaal 0,05 mg P per liter. Nu is de concentratie op veel plaatsen vijf à tien maal zo hoog en is de hoeveelheid in sedimenten opgeslagen fosfaat zodanig dat, ondanks allerlei fosfaat-invoer-bepalende maatregelen, door nalevering nog jarenlang last van dit fosfaat zal worden ondervonden (Hieltjes, 1981). De fosfaatconcentratie in de drains van bouw- en grasland voldoet nu meestal nog aan de gestelde norm van 0,05 mg per liter. In het drainwater van sommige oude kasgronden echter wordt al vaak 3–5 mg per liter gevonden (Hamaker, 1975; Hamaker en Van der Burg, 1979). De huidige situatie is zo, dat de fosfaatbelasting van onze oppervlaktewateren voor meer dan 90 % wordt bepaald door invoer via de grote rivieren, huishoudens en industrie (Kolenbrander, 1974). Indien echter de fosfaatophoping in cultuurgrond doorgaat is het denkbaar dat eenzelfde situatie als reeds bij sommige kasgronden is ontstaan, voor een veel groter gebied wordt bereikt. Op den duur zal dan, zeker als de huishoudelijke en industriële bijdragen verminderen, de bijdrage van de landbouw gaan overheersen. In het volgende zal deze waarschuwing worden onderbouwd.

Verschijningsvormen van fosfaat

Het verschil tussen anorganisch en organisch fosfaat is al even aangestipt. Kunstmest bevat alleen anorganisch fosfaat, zoals calcium-, ammonium- en polyfosfaten. In dierlijke mest is 10–20 % van het fosfaat aanwezig in vaste organische complexen en ca. 1 % in opgeloste organische verbindingen. In tabel 1 is de gemiddelde samenstelling van een tiental varkensdrijfmesten voor de diverse organische en anorganische

fosfaatfracties weergegeven. In verse drijfmest kunnen de gehalten aan organisch fosfaat veel hoger liggen, soms wel tot 40 % van de totale hoeveelheid fosfaat bij varkensdrijfmest en 60 % bij kippedrijfmest. Na verloop van een paar maanden (opslag) neigen alle drijfmesten, wat de relatieve fosfaatsamenstelling betreft, tot het beeld dat voor varkensdrijfmest in tabel 1 is weergegeven. Dit is het gevolg van een snelle microbiële fosfaatkringloop, waardoor een gelijk 'eindstadium' in de fosfaatsamenstelling wordt bereikt (Gerritse & Zugec, 1977; Gerritse, 1978). Van het in de bodem vastgelegd fosfaat is een groot deel, ruwweg variërend van 20-80 %, organisch. In jonge gronden (IJsselmeerpolders) is het aandeel van organisch fosfaat vaak laag (20 % en lager), in oudere gronden veel hoger (meer dan 40 %). Een relatief zeer geringe hoeveelheid fosfaat is in het bodemvocht opgelost, voor het merendeel, soms zelfs meer dan 90 %, in organische vorm. Dit opgeloste organisch fosfaat weerspiegelt niet rechtstreeks de oplosbaarheid van het in de bodem vastgelegde organisch fosfaat. Het is een tussenproduct in een vrij ingewikkelde kringloop tussen organisch fosfaat en anorganisch fosfaat. Complexvorming van organisch fosfaat met opgelost organisch materiaal (fulvozuren) speelt ook een rol.

Vastlegging van anorganisch fosfaat in de bodem

Anorganisch fosfaat wordt in de bodem stevig vastgelegd, zodat er maar weinig in de bodemoplossing overblijft. De vastlegging vindt voornamelijk aan minerale bestanddelen van de grond plaats. IJzer- en aluminiumoxiden zijn in zure gronden (pH < 5) hiervoor verantwoordelijk. Kalk is in alkalische gronden (pH > 7) de belangrijkste factor. Tussen pH 5 en 7 vormen zich mengverbindingen van ijzer, aluminium, calcium en fosfaat (Beek, 1979). Fosfaat in superfosfaat wordt na oplossing in het bodemvocht vrij snel vastgelegd, totdat er een zekere evenwichtsconcentratie schijnt te zijn bereikt. Deze concentratie wordt, afhankelijk van de vastleggende eigenschappen van de grond, bepaald door pH en beschikbaar ijzer, aluminium en/of calcium.

De spreiding die, afhankelijk van de grond, in het verband tussen deze (bijvoorbeeld 24 uur na toediening gemeten) concentratie en de gedoseerde fosfaathoe-

Tabel 1 Verdeling van fosfaat over organische en anorganische componenten in varkensdrijfmest. Tien drijfmesten werden geanalyseerd met droge-stofgehalten variërend van 5-10% en bewaartijden tussen 1 en 6 maanden

	P-gehalte (% van de drogestof)	% van totaal P
Totaal anorganisch P	1,5 - 2	85
Totaal organisch P	0,2 - 0,3	15
Opgelost anorganisch P	0,01 - 0,2	2
Fytaal P	0,01 - 0,1	2
P in micro-organismen	0,02 - 0,04	1,5
P in adenosine-5-trifosfaat (ATP)	0,000 - 0,1	1
Opgelost organisch P	0,01 - 0,03	1

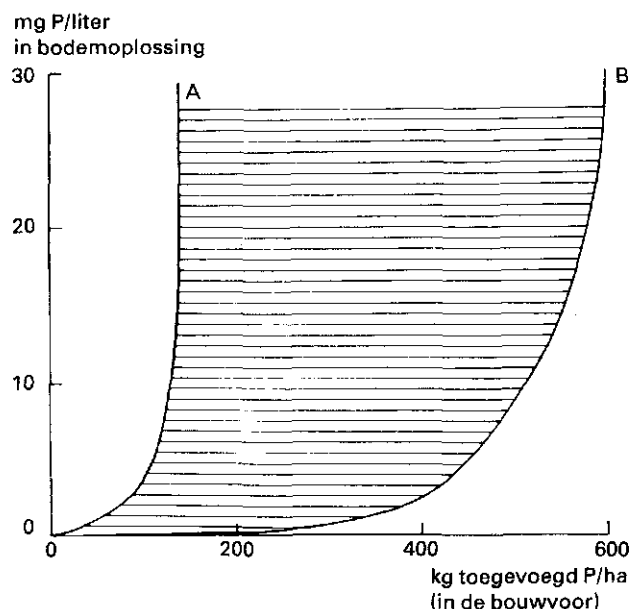


Fig. 1 Spreiding in het verloop van de fosfaatconcentratie in de bodemoplossing 24 uur na toevoeging van anorganisch fosfaat aan een hoeveelheid grond uit de bouwvoor van een aantal verschillende gronden. De uitersten (A en B) worden respectievelijk gegeven door een zandgrond en een komklei. Bij de uitvoering van de proeven is steeds 30 g grond met 60 ml gesimuleerd bodemwater geschud. Het anorganisch fosfaat werd als neutraal Na-K zout toegevoegd. Na afcentrifugeren werd de concentratie aan P in oplossing bepaald, waarna de hoeveelheid aan de grond geadsorbeerd fosfaat kon worden berekend en omgerekend per ha (bouwvoor = 20 cm)

veelheid kan worden gevonden is in figuur 1 weergegeven. De situatie na 24 uur is echter geen werkelijke evenwichtssituatie. De vastlegging van fosfaat zet zich namelijk in veel trager tempo over een lange periode nog voort. In sommige zandgronden bijvoorbeeld neemt na een fosfaatbemesting het verschil tussen de aanvankelijke concentratie van anorganisch fosfaat in de bodemoplossing en de uiteindelijke evenwichtsconcentratie per maand met de helft af. De oorzaak hiervan is een langzame omzetting van vastgelegd fosfaat in steeds stabielere en moeilijker oplosbare minerale vormen. Voor andere gronden kan deze 'halveringstijd' variëren van enkele maanden tot jaren, voor veengronden zelfs in de orde van tientallen jaren.

In figuur 1 is het verband gegeven tussen de concentratie in de bodemoplossing en de gedoseerde hoeveelheid anorganisch fosfaat 24 uur na toediening voor een aantal grondsoorten. Ruwweg blijkt, uitgaande van het gearceerde gebied in figuur 1, afhankelijk van de grond, in de bovenste laag van 20 cm, tussen 140 en 600 kg P (ca. 300-1400 kg P₂O₅) door vastlegging direct geborgen te kunnen worden. Het werkelijk vastlegend vermogen van een grond zal, zoals uit het voorgaande blijkt, aanzienlijk groter kunnen zijn. In figuur 2 zijn ter illustratie de resultaten van een kolomproef weergegeven. Door de bovenste 2 cm van twee in het laboratorium opgestelde ongestoorde kolommen zandgrond werden hoeveelheden gedroogde varkensdrijfmest gemengd, overeenkomend met een mestgift in de praktijk van respectievelijk 250 ton en

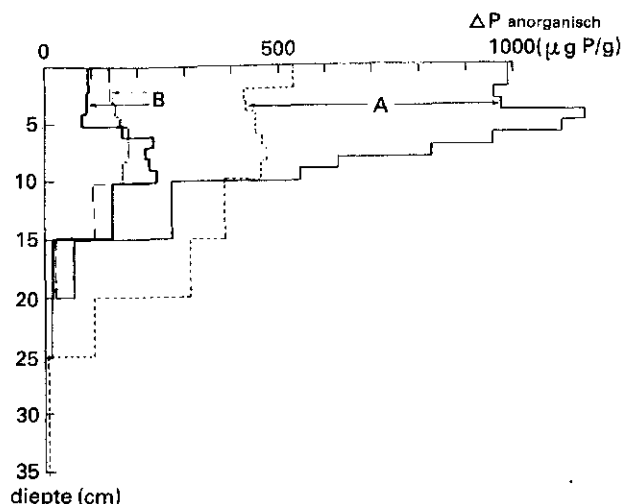


Fig. 2 De toename van anorganisch fosfaat in het profiel van een ongestoorde kolom zandgrond (lengte 90 cm, oppervlakte doorsnee 112 cm²).

In geval A was 80 g droge varkensdrijfmest door de bovenste 2 cm grond gemengd, waarna gedurende 16 maanden met gemiddeld 5 mm per dag beregend werd. In geval B was 20 g droge varkensdrijfmest gegeven en gedurende 12 maanden met 10 mm per dag beregend. De varkensdrijfmest bevatte per g droge mest 16,4 mg anorganisch P en 3,7 mg organisch P. Omgerekend komen A en B overeen met praktijkgiften van respectievelijk 1 000 en 250 ton drijfmest per ha. De getrokken lijnen geven de gemeten situatie weer, de onderbroken lijnen geven de met behulp van een computersimulatiemodel berekende situatie weer.

1 000 ton per ha. Per 100 ton mest werd 120 kg anorganisch P (275 kg P₂O₅) en 30 kg organisch P (70 kg P₂O₅) gegeven. Het vastleggend vermogen na 24 uur voor deze bovengronden bleek bij bepaling ongeveer 400–500 kg P (920–1 150 kg P₂O₅) per ha te bedragen, gerekend in de bovenste laag van 20 cm. Omgerekend wordt dit 200 μg per gram grond. Berekening van de kolommen was gemiddeld 5 mm per dag. De toename van anorganisch fosfaat dieper in het profiel, 16 maanden na de mestgift bepaald, is in figuur 2 weergegeven door de getrokken lijnen. De onderbroken lijnen geven de via een computersimulatiemodel berekende situatie weer. (De Willigen et al., 1981). Duidelijk is te zien dat zowel bij de hoge als de lage gift, doordringing in het profiel plaatsvindt. Het vastleggend vermogen van de bovengrond blijkt ook veel hoger te kunnen zijn dan verwacht mag worden op grond van computerberekeningen (onderbroken lijn voor geval A in figuur 2). Bij deze berekeningen was uitgegaan van een vastleggend vermogen bepaald na 24 uur en een gemeten 'halfwaardetijd' van 40 dagen. Een mogelijke verklaring voor het gevonden verschil in penetratie tussen praktijk en berekening zou kunnen zijn dat het voor fosfaatvastlegging actieve ijzer sterk is toegenomen doordat bij de hoge mestgift tijdelijk anaërobe omstandigheden hebben geheerst. Zowel uit de berekende als uit de in werkelijkheid gevonden situatie blijkt dat in de bovenste 20 cm van deze grond een zeer grote hoeveelheid fosfaat – meer dan 1 200 kg P per ha (2 760 kg P₂O₅) – geborgen kan worden. Met het huidige gemiddelde fosfaatoverschot van 30–40 kg P (70–90 kg P₂O₅)

per ha per jaar zou verzadiging van deze laag ten minste 50 jaar vergen. In gebieden met intensieve veehouderij met plaatselijke overschotten die groter zijn zal een evenredig kortere periode gelden voordat een dergelijke zandgrond volraakt. Uit figuur 1 blijkt dat er gronden kunnen voorkomen waarvan het vastleggend vermogen 24 uur na toediening tegen de 150 kg P (350 kg P₂O₅) per ha ligt. Het volraken van de bovenlaag (20 cm) zal bij deze gronden niet meer dan enkele jaren tot hooguit een tiental jaren vergen. Het zou dus een goede zaak zijn als bij het bemestingsbeleid hiermee rekening kon worden gehouden.

Vastlegging van organisch fosfaat in de bodem

Het feit dat vaak een groot deel van al het fosfaat in de bodem bestaat uit organisch fosfaat geeft al aan dat organisch fosfaat in de grond wordt opgeslagen. Ook hierbij zijn ijzer, aluminium en calcium betrokken, zodat organisch fosfaat het vastleggend vermogen van de grond voor anorganisch fosfaat vermindert. Het met dierlijke mest toegevoerde organisch fosfaat blijkt voor micro-organismen goed toegankelijk te zijn (Gerritse, 1977). In de mest zelf is de kringloop tussen organisch en anorganisch fosfaat vrij snel. In de bodem wordt het fosfaat vastgelegd, waardoor de kringloop ervan wordt vertraagd. Dat het niet om een algehele inactivering gaat komt goed tot uiting in het verschil in oppervlak tussen het gemeten en berekende verloop van het gehalte aan anorganisch P in geval A van figuur 2. Dit verschil in oppervlak komt bijna volledig overeen met de toegevoegde hoeveelheid organisch fosfaat. Het met de mest toegevoerde organisch fosfaat is kennelijk in de 16 maanden van het experiment vrijwel volledig gemineraliseerd en in de bovenste 10 cm vastgelegd. In de mestoplossing aanwezig organisch fosfaat kan tot 10% van het totaal in de mest aanwezig organisch fosfaat uitmaken. Vastgesteld werd dat dit opgelost organisch fosfaat als zodanig in geringe mate wordt vastgelegd in de bodem en bij grote neerslaghoeveelheden en lage bodemtemperatuur kan uitspoelen. De pH van de grond speelt hierbij ook een rol. In zure gronden (pH < 5) treedt nog wel een waarneembare directe vastlegging op, in alkalische gronden niet (Gerritse, 1981). Onder gemiddelde omstandigheden blijkt echter ook dit mobiele fosfaat goed te worden omgezet en vastgelegd, zodat door een mestgift de hoeveelheid van nature uitspoelend organisch fosfaat niet merkbaar verhoogd wordt.

In figuur 3 is het effect van toenemende hoeveelheid varkensdrijfmest te zien op de uitspoeling van organisch fosfaat uit de bij figuur 2 beschreven kolommen zandgrond, waarbij ook de resultaten van twee kolommen met mestgiften van omgerekend 500 en 750 ton per ha zijn gegeven. Boven een gift van 500 ton per ha neemt de uitspoeling van organisch fosfaat sterk toe, mogelijk omdat bij dergelijke grote giften anaërobe omstandigheden optreden. De hoeveelheid totaal uitgespoeld organisch fosfaat is echter nooit meer dan de met de mest gegeven oplosbare hoeveelheid organisch fosfaat. Deze hoeveelheid bedraagt hooguit 1% van de totale met de mest gegeven hoeveelheid fosfaat (tabel 1).

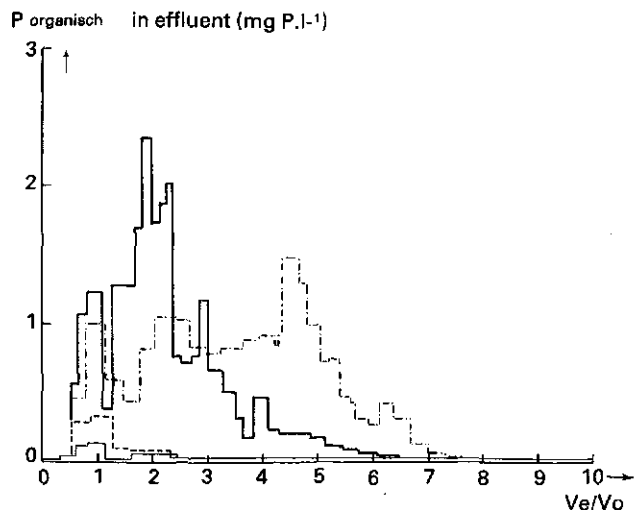


Fig. 3 Verloop van de concentratie van organisch fosfaat in het effluent van ongestoorde kolommen zandgrond. Door de bovenste laag grond van 2 cm was 20 g (—), 40 g (- - -), 60 g (- · - ·) en 80 g (· · · ·) droge varkensdrijfmest gemengd. De beregening lag tussen de 5 en 10 mm per dag. V_e = totaal opgevangen volume effluent vanaf het begin; V_o = poriëvolume van de grondkolommen (= 2,5–2,7 liter). Verdere gegevens als in figuur 2

Conclusies

Aan fosfaat uit dierlijke mest is niet meer risico verbonden dan aan fosfaat uit kunstmest. Bemesting met organisch fosfaat geeft op zichzelf niet meer kans op uitspoeling dan bemesting met anorganisch fosfaat. Binnen de huidige bedrijfsstructuur zal dus niet de fosfaatvorm een probleem gaan geven maar de totale fosfaatdosis. Dat in dit verband organische mest een groter probleem vormt dan kunstmest is dus niet zozeer een kwestie van bindingsvorm van het fosfaat in de bodem, maar van verschil in dosis die men pleegt toe te passen. Indien men overschotten wil wegwerken en daarom hoge doseringen toepast, neemt het risico toe.

Literatuur

- Beek, J. (1979). Phosphate retention by soil in relation to waste disposal. Dissertatie 23 maart 1979, LH Wageningen.
- CBS (1980). Statistisch Zakboek. Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage. blz. 15 en 145.
- Hamaker, Ph. (1975). Lysimeteronderzoek betreffende uitspoeling van zouten en meststoffen uit een kasgrond van lichte textuur. ICW-nota 877.
- Hamaker, Ph. en A. M. M. van der Burg (1979). De water- en mineralenhuishouding van een glastuinbouwbedrijf op een zandgrond in het Westland in de periode 1977/78. ICW-nota 1129.
- Hamaker, Ph. en A. M. M. van der Burg (1981). Het meststoffenverbruik bij de teelt van vroege tomaten. Bedrijfsontwikkeling nog niet gepubliceerd.
- Gerritse, R. G. (1978). Assessment of a procedure for fractionating organic phosphates in soil and organic materials. *J. Sci. Fd. Agric.*, 29: 577–586.
- Gerritse, R. G. (1981). Mobility of phosphorus from pig slurry in soils. In: Phosphorus in sewage sludge and animal waste slurries, Proc. of an EEC seminar (Kluwer Acad. Publ., ISBN 90–277–0317–5): 347–367.
- Gerritse, R. G., P. de Willigen en P. A. C. Raats (1981). Transport and fixation of phosphate in acid, homogeneous soils: 111. Experimental case study of acid, sandy soil columns heavily treated with pig slurry. *Agric. Environ* (ter publ. aangeboden).
- Gerritse, R. G. en I. Zucec (1977). The phosphorus cycle in pig slurry measured from $^{32}\text{P}\text{O}_4$ distribution rates. *J. Agric. Sci.* 88: 101–109.
- Henselmans, J. V. en Algera, S. (1976). Fosfaatproductie en fosfaatgebruik in gebieden met bio-industrie. *Natuur en Landschap* 6: 173–186.
- Hieltjes, A. H. M. (1981). De invloed van de onderwaterbodem op de fosfaathuishouding van een meer. *Polytech. Tijdschr./Procestechiek* 36: 139–146.
- ICMH rapport (1977). Interdepartementale Commissie voor de Milieuhygiëne.
- Kolenbrander, G. J. (1974). Evaluation of contribution of agriculture to eutrophication of shallow surface waters. *Sem. Etud. Agric. Environ.*, Bull. Rech. Agron. Gembloux (hors sér): 113–126.
- Lande Cremer, L. C. N. de la (1972). Gebruik de drijfmest, maar misbruik hem niet! *Bedrijfsontwikkeling* 3: 523–526.
- Willigen, P. de, P. A. C. Raats en R. G. Gerritse (1981). Transport and fixation of phosphate in acid, homogeneous soils. 11. Computer Simulation. *Agric. Environ*. (ter publ. aangeboden).