OVERDRUK
UIT HET LANDBOUWKUNDIG TIJDSCHRIFT, MAANDBLAD VAN HET NED. GENOOTSCHAP VOOR LANDBOUWWETENSCHAP.
49ste Jaargang. No. 604. October 1937.

Een en ander over de fosfaathuishouding in enkele Nederlandsche grondsoorten

(Ueber den Phosphathaushalt in einigen Niederländischen Bodentypen).

door

O. DE VRIES, C. W. G. HETTERSCHIJ en F. VAN DER PAAUW.

(Deutsche Zusammenfassung auf Seite 39).

63.416.2
63.423
63.413.2
BIBL. INSTITUUT VOOR BODEMVRUCHTBAARH. GRONINGEN
SEPARAAT No. 14555

I. *Onderzoekingsmethoden.*
1. Het P-getal.
2. P-water bij vaste pH.
3. Het P-citr cijfer.
4. Eenige andere methoden met zure extractie.
5. P-totaal.
6. Fosfaatvastlegging.
7. Herhaalde extractie.

II. *Verband tusschen verschillende grootheden.*
8. Verband tusschen P-getal resp. P-citr en toegediend fosfaat.
9. Verband tusschen P-citr en P-totaal; relatieve oplosbaarheid volgens Lemmermann.
10. Verband tusschen P-getal en P-citr.
11. P-getal resp. P-citr en pH.
12. Fosfaathuishouding en humus.
13. Fosfaathuishouding en micro-organismen.

III. *Fosfaathuishouding bij verschillende grondtypen.*
14. Verdeeling van het fosfaat in den grond.
15. Laagsgewijze onderzoek; mengmonsters.
16. Beweeglijkheid van fosfaat in dalgrond.
17. Verplaatsing van fosfaat in zandgrond.
18. Directe en geleidelijke vastlegging.
19. Voorraadsbemesting en versch fosfaat.

IV. *Reactie van het gewas in opbrengst en samenstelling.*
20. Verband tusschen opbrengst en P-getal resp. P-citr.
21. Chemische samenstelling van het gewas.

De stikstofhuishouding, de fosfaat-, de kali, en de kalkhuishouding van den grond vertoonen elk een eigen beeld. Sommige punten hebben zij gemeen, maar in andere opzichten verschillen zij zeer karakteristiek van elkander.

Bij de voorziening van den grond met stikstof komt het er zeer op aan de juiste hoeveelheid te geven: de prijs is hoog, en daarenboven geeft niet alleen een tekort, maar ook een teveel bezwaren. Voorraad- of reserve-vorming heeft er niet plaats, men bemest voor het komende gewas en de nawerking op het volgende is vaak van geen, hoewel soms nog wel van eenige beteekenis. Er zijn omzettingen door micro-organismen, de stikstof is over 't algemeen beweeglijk in den grond, er zijn verliezen door uitspoeling enz.

Ook de kali is betrekkelijk duur en, althans op de lichtere gronden, zeer beweeglijk, zoodat men bij de toepassing naar de juiste portie streeft. Een teveel doet in de meeste gevallen echter geen kwaad; de aardappelcultuur neemt in dit opzicht een speciale positie in. Er is merkbaar verschil tusschen weinig en ruim met kali voorziene gronden, er kan eenige voorraadvorming zijn, maar de uitspoeling stelt daaraan ook weer grenzen.

Fosfaat is in den grond weinig beweeglijk; het is goedkooper dan de andere en gaat niet of weinig door uitspoeling verloren. Men bemest er vaak ruim of zeer ruim mee, ook al om het gewas van voldoende, snel opneembaar fosfaat te voorzien.

Kalk ten slotte wordt gegeven om den zuurgraad te regelen resp. den kalktoestand van den grond in orde te brengen en te houden. Vergeleken met de hoeveelheden, die daarvoor noodig zijn, is de hoeveelheid, die door het gewas opgenomen wordt, slechts gering. Kalk is beweeglijk in den grond, er kan door uitspoeling heel wat verloren gaan.

In het volgende willen wij trachten, aan de hand van de onderzoekingen, die aan het Rijkslandbouwproefstation de laatste jaren werden verricht, een beeld te geven van eenige punten in de fosfaathuishouding in eenige Nederlandsche grondsoorten. Ons doel is daarbij tevens om een vollediger begrip te geven van de eigenschappen, die bij het fosfaatonderzoek bepaald worden, en van de beteekenis die de daarbij verkregen cijfers voor de opbrengst en samenstelling van het gewas hebben.

Wanneer wij ons een zoo volledig mogelijk beeld van de fosfaathuishouding, b.v. op een fosfaatproefveld, wenschen te vormen, bepalen wij in den grond *vijf grootheden,* namelijk:

het *P-getal* (waterig extract)
het *P-citr* cijfer (extract met 1 % citroenzuur)
het *P-totaal* (koningswater)
het *vastleggingscijfer*
het *tweede extract,* en eventueel volgende waterige extracten.

Daarbij komt dan nog de opbrengst van het gewas, de chemische samenstelling daarvan (waarbij, naast korrel of knol, vooral ook stroo of loof onderzocht wordt), de waarnemingen of afwijkingen bij het gewas, eventueel de ontwikkeling van het wortelstelsel, en verdere gegevens al naar den aard van de proef.

Van de bovengenoemde vijf grootheden worden de eerste twee geregeld bepaald, ook bij het grondonderzoek voor de practijk; de drie overige vrijwel alleen bij proeven, waarin bepaalde kwesties nader bestudeerd worden.

Wij zullen nu eerst het een en ander over elk dezer grootheden mededeelen, daarna over hun verband onderling en dat met eenige andere grootheden, dan over hun beteekenis bij verschillende grondtypen, om tenslotte de reactie daarop van het gewas in samenstelling en opbrengst na te gaan.

I. Onderzoekingsmethoden.

1. *Het P-getal.*

Het P-getal geeft aan hoeveel milligrammen P_2O_5 er uit 100 gram luchtdrogen grond in oplossing komen, wanneer men dezen met gewoon gedestilleerd water (dus zwak koolzuurhoudend, pH 5.8) 24 uur laat staan bij een temperatuur van 50° C. in de verhouding 5 gr grond en 50 cc water. Bij het begin wordt eenige malen geschud, maar overigens staan de kolfjes met grond en water rustig in een op 50° verwarmde kast. Na 24 uur wordt het extract afgepipetteerd en hierin het P_2O_5 colorimetrisch bepaald volgens de molybdeenblauwmethode.

Het P-getal geeft aanwijzingen over de mate, waarin fosforzuur opgelost is in het bodemvocht en daardoor voor de plant direct beschikbaar is.

Het waterig extract, dat men bij de boven beschreven behandeling krijgt, is natuurlijk niet gelijk te stellen aan het bodemvocht; dit laatste vormt bij een normaal vochtigen grond vaak slechts 10—20 gewichtsprocent van den drogen grond, terwijl voor de bepaling van het P-getal zeer veel meer, namelijk 10 cc water op 1 gram grond worden genomen. In die 10 cc water kunnen enkele goed oplosbare bestanddeelen geheel in oplossing gaan; b.v. monocalciumfosfaat (het belangrijkste bestanddeel van superfosfaat), als dat na de bemesting nog onveranderd in den grond aanwezig is. Van andere fosfaten zal een zekere hoeveelheid in oplossing gaan, al naar hun oplosbaarheid en de invloed, die andere bodembestanddeelen daarop uitoefenen; ook zullen er andere stoffen oplossen, b.v. kali, kalk, stikstofverbindingen enz., en daarvan kan in 10 cc water natuurlijk meer gaan dan in de kleine hoeveelheid bodemvocht. Het kan zeer goed voorkomen, dat de concentratie van een dergelijke stof in de 10 vol. waterig extract bij de bepaling van het P-getal kleiner is dan die in het bodemvocht, omdat er maar weinig van aanwezig is en alles oplost; en dit kan weer invloed hebben op de oplosbaarheid van het fosfaat in dat extract, vergeleken met die in het bodemvocht.

TABEL 1.
Fosfaatconcentratie bij verschillende verhoudingen grond : water
(mg P_2O_5 per liter extract).

Proefveld	Omschrijving		schudverhouding in grammen				
			1 : 2½	1 : 5	1 : 10	1 : 20	1 : 50
Pr 8	oude dalgrond	stm	20	16	14	9.3	5.6
		NPK	24	20	16	10.5	5.6
ZGr 1	idem	NPK	20	19	14	8.5	5.2
Pr 148	idem	400 P_2O_5	32	27	14	9	7
		0 P_2O_5	12	10	8	4	3
Pr 42	idem	pH 5	20	18	12	7	6
		pH 7½	6	6	6	4.5	3.5
WF 32	verturfd laagveen	100 P_2O_5	16	12	10	7	3
Pr 113	heide ontginning	900 P_2O_5	8	10	8	7	3.6
O.F. 17	zandgrond	0 mergel	52	44	24	17	8
		8000 mergel	24	22	15	11	6
NGe 80	zandgrond	gewenscht P-getal 4—6	8	8	7	5	2.6
WO 104	zandgrond	100 P_2O_5	14	13	12	7.5	4.2
PO 53	ijzerhoudende zandgrond	2000 P_2O_5	4	—	6	4	3
Pr 123	zavel	100 P_2O_5	7	6	4	3	2
Pr 109	zware klei	sup + ks	80	58	35	23	10

De concentratie in het waterig extract 1 : 10 zoowel als de hoeveelheid fosfaat, die in dat extract oplost, verschillen aanzienlijk van de concentratie, die men krijgt wanneer men den grond met

kleiner hoeveelheden water uittrekt. In eenige grondtypen vonden wij de in Tabel 1 vermelde cijfers voor het in oplossing gegane P_2O_5.

Deze cijfers geven de concentratie aan, die dus in het algemeen hooger is, hoe minder water men gebruikt, en dus in het bodemvocht zelf nog anders zal kunnen uitvallen. De uit de gebruikte hoeveelheid grond in oplossing gegane hoeveelheid fosfaat kan men uit bovenstaande tabel door omrekenen bepalen; deze blijkt grooter, naarmate men meer water nam. Het P-getal geeft dus noch de concentratie aan fosfaat in het bodemvocht, noch de hoeveelheid, die daarin opgelost voorkomt; het geeft *aanwijzingen* over de *mate,* waarin fosfaat in het bodemvocht opgelost voorkomt, maar volstrekt geen directe gegevens. Daarvoor zou men het bodemvocht zelf, b.v. door uitpersen, moeten verzamelen en onderzoeken, wat voor gewoon grondonderzoek veel te omslachtig en tijdroovend is. Bovendien is het de vraag of een dergelijk cijfer betere gegevens zou opleveren, wat alleen aan de hand van veldproeven uit te maken zou zijn.

Men blijve zich verder goed voor oogen stellen, dat het P-getal *volstrekt niet alle in water oplosbare fosfaat, dat in den grond voorkomt, aangeeft.* Tabel 1 toont dit duidelijk; in § 7 zullen wij zien dat, als men dezelfde portie grond een tweede maal met water in de verhouding 1:10 uittrekt, er weer fosfaat in oplossing gaat, en zoo ook in volgende extracten.

De *pH van het extract,* dat voor de bepaling van het P-getal gebruikt wordt, komt practisch overeen met het cijfer, dat als pH van den grond opgegeven wordt. Bij deze laatste bepaling wordt ongeveer 10—15 gr grond met 50 cc water behandeld, dus ongeveer in de verhouding 1:5. Weliswaar blijft dan de suspensie overnacht bij 25° C staan, dus bij lager temperatuur dan de kolfjes voor de bepaling van het P-getal, maar veel verschil geeft dit niet. Wij vonden b.v. de cijfers in Tabel 2.

TABEL 2.
pH bij verschillende omstandigheden.

	pH-bepaling	bepaling van het P-getal
Temperatuur	25° C	50° C
Schudverhouding	1 : 5 à 1 : 3	1 : 10
Pr 122, zandgrond	5.15	5.35
	5.6	5.85
	5.9	6.15
	4.85	5.05
	5.8	5.6
	6.1	6.15
	6.3	6.4
	6.45	6.55
Pr 123, zavelgrond	6.3	6.25
Pr 118, klei	7.2	7.25
	7.2	7.25
	7.35	7.2
Pr 148, oude dalgrond	5.4	5.55
	5.2	5.35
	5.1	5.25
Pr 99, zandgrond	4.85	4.85
	4.55	4.6

De cijfers verschillen hier en daar wat, maar niet zooveel of men mag globaal wel zeggen, dat de pH bij de bepaling van het P-getal overeenkomt met de pH van den grond volgens de gebruikelijke bepalingswijze.

Het onderzoek in het Bedrijfslaboratorium is gericht op „snel en goedkoop"; naar een nauwkeurigheid, grooter dan bij de beoordeeling van grondmonsters noodig is, wordt niet gestreefd. Zoo ook bij de bepaling van het P-getal. Als *fout van de enkele bepaling* werd daarbij voor P-getallen van middelgrootte (5—10) gemiddeld bij een groot cijfermatriaal 0.46 eenheden gevonden. Dat wil dus zeggen dat, wanneer in een grondmonster het P-getal in enkelvoud bepaald is, men bij herhaling van de bepaling in 95 % van de gevallen een waarde zal vinden, die minder dan $1.65 \times 0.46 = 0.76$ naar boven of naar beneden afwijkt. Doet men de bepaling in duplo, dan wordt de fout 0.33 eenheden.

Wij wijzen er nog even op, dat de hier besproken bepalingsfout, die is van bepalingen in een en hetzelfde monster; de fout, die het monsternemen onvermijdelijk aankleeft, staat daar dus buiten.

2. *P-water bij vaste pH.*

Men zou zich de vraag kunnen stellen of het niet beter zou zijn, bij de bepaling van het in water oplosbare fosforzuur steeds te zorgen, dat het extract eenzelfde pH heeft; immers bij lager pH (sterker zure oplossing) lost van verschillende fosfaten meer op. Het P-getal, zooals het Bedrijfslaboratorium dat bepaalt, benadert dus wel den toestand, zooals die in den betreffenden grond werkelijk voorkomt, maar daarnaast zou een ander cijfer van waarde kunnen zijn, dat de oplosbaarheid van fosfaat aangeeft bij een vaste pH, en dat mogelijk de fosfaatverbindingen, die in den grond voorkomen, zuiverder zou karakteriseeren. Wij hebben dezen gedachtengang gevolgd en verschillende buffermengsels bestudeerd; meerdere voldeden niet of gaven geen geschikte eind-pH, het beste resultaat verkregen wij met een natriumphtalaat-phtaalzuur buffer, die een eind-pH van 4.8 geeft. Voor de zand- en dalgronden wenschten wij de vaste eind-pH namelijk in of zoo dicht mogelijk bij het practisch voorkomende pH-gebied te kiezen; een eind-pH van 7 ± 0.15, zooals Dreyspring en Heinz die bereiken met hun kort geleden bekend gemaakten magnesiumbicarbonaat buffer [1]), is voor de Nederlandsche zand- en dalgronden niet zoozeer van beteekenis, aangezien die pH in verreweg de meeste van die gronden nooit voorkomt en ook niet gewenscht zou zijn. Hoe het fosfaat zich gedraagt bij een dergelijke hooge pH, is voor onze gronden niet van practisch belang en zou ons af en toe een verkeerd beeld kunnen geven.

De cijfers, die wij voor P-water 4.8 kregen, gaven voorloopig geen groote verruiming van ons inzicht in de fosfaathuishouding van de zand- en dalgronden; wij blijven deze aanvullende bepaling in het oog houden, maar hebben nog geen aanleiding gevonden om die geregeld toe te passen.

In § 11 komen wij op de afhankelijkheid van het P-getal van de pH van den grond terug.

[1]) *C. Dreyspring* und *W. Heinz*, Zeitschr. für Pflanzenern. Düngung und Bodenkunde, Teil A *35*, 362 (1934).

3. *Het P-citr cijfer.*

P-citr geeft aan, hoeveel milligrammen P_2O_5 er per 100 gram luchtdrogen grond in oplossing komen, wanneer 5 gr grond in een schudverhouding 1:10 met 1 % citroenzuur (overeenkomstig de methode L e m m e r m a n n twee uur bij kamertemperatuur geschud wordt, daarna 24 uur blijft staan en dan nog een uur geschud wordt. De bepaling van het fosfaat gebeurt ook in dit geval volgens de molybdeenblauw-methode; om de overmaat citroenzuur weg te nemen moet de oplossing met kaliumpermanganaat behandeld worden. De methode geeft iets lagere cijfers dan de citroenzuur-methode Lemmersmann, waarbij het fosfaat op omslachtiger wijze volgens de methode Lorenz bepaald wordt. Het verschil is ongeveer 2 eenheden en kan soms 6 eenheden bedragen.

Het P-citr cijfer geeft aanwijzingen over den in den grond aanwezigen, voor de plant toegankelijken voorraad fosforzuur.

Evenmin als het P-getal, geeft het P-citr aan de geheele hoeveelheid fosfaat in den grond, die in 1 % citroenzuur oplosbaar is. Ook hier krijgt men bij een tweede extractie uit dezelfde portie grond meer fosfaat in oplossing, en meestal ook bij een derde of vierde extractie. Terwijl de „herhaalde extractie" bij het waterig extract een zekere beteekenis heeft als een maat voor de nalevering, zooals wij in § 7 bespreken zullen, is dit bij de citroenzuur-extractie niet in dezelfde mate het geval, en wordt de herhaalde extractie met 1 % citroenzuur slechts in speciale gevallen gebruikt, als men een of ander bijzonder punt wil onderzoeken. Eenige voorbeelden geven wij in § 7.

Citroenzuur als extractiemiddel werd in 1894 ingevoerd door B. D y e r. Deze constateerde [2]), dat het celvocht in de wortels van 20 verschillende planten zuur was en meestal een titratie-zuurgraad vertoonde, welke met die van 1 % citroenzuur overeenkwam. Vanuit de onjuiste redeneering dat het zure celsap zou dienen om fosfaat en andere bestanddeelen uit den grond oplosbaar te maken, zoodat deze door de wortels konden worden opgenomen, sloeg Dyer voor om den grond met 1 % citroenzuur te behandelen ten einde na te gaan hoe het met het beschikbare fosfaat stond. Deze motiveering bleek later onjuist; er is veel gedachtenwisseling geweest en veel onderzoek gedaan over het extraheeren van den grond met 1 % of met 2 % citroenzuur, maar in de laatste jaren heeft de extractie met verdund zuur in zooverre toch weer een wat meer reëelen achtergrond gekregen, als men heeft kunnen aantoonen en meten dat in de onmiddellijke omgeving van de actieve wortelzone (een strook vlak achter den groeienden worteltop, waar de fijne haarwortels zitten) door de uitademing van koolzuur, door de wisselwerking bij het opnemen van bestanddeelen uit het bodemvocht en door de werking van bacteriën, de pH een halve tot een eenheid lager kan zijn dan die van het onveranderde bodemvocht, zoodat in feite de opnemende wanden der fijne worteleinden in uitwisseling staan met een milieu, dat zuurder is dan het bodemvocht.

1 % Citroenzuur heeft een pH van 2.1. Wanneer men grond in de verhouding 1:10 met 1 % citroenzuur behandelt, is de eind-pH natuurlijk niet 2.1: deze verandert door de aanwezigheid van den

[2]) Transactions Chem. Soc. *65*, 115 (1894).

grond en zal, al naar de samenstelling daarvan, vrij sterk kunnen wisselen. Bij de bepaling van fosfaat in citroenzure extracten wordt met die ongelijke eind-pH geen rekening gehouden; alleen bij gronden, die meer dan 0.3 % koolzure kalk bevatten, neemt men per percent $CaCO_3$ 68 mg citroenzuur per 50 cc 1 % citroenzuuroplossing meer, zonder verder na te gaan hoe de eind-pH precies wordt. Merkwaardigerwijze bekommert men zich als regel zeer weinig om de eind-pH, ofschoon het toch deze is, die de mate, waarin fosfaat in het extract opgelost is, beheerscht, en niet de pH van 2.1 van het 1 % citroenzuur zelf.

4. *Eenige andere methoden met zure extractie.*

Wij vermeldden al dat anderen (o.a. O. Arrhenius) als extractiemiddel 2 % citroenzuur gebruikten. De pH hiervan is 0.15 lager dan die van 1 % citroenzuur, en na inwerking op den grond zal het verschil misschien nog wat meer merkbaar zijn; er gaat wat meer fosfaat in oplossing dan met 1 % citroenzuur, maar van veel beteekenis is het verschil niet en internationaal heeft men de afspraak gemaakt om 1 % citroenzuur te gebruiken.[3])

Verdund zoutzuur (0.1 normaal) geeft in de meeste gevallen blijkens onze ervaring waarden, welke met die in 1 % citroenzuur overeenkomen. Bij ijzerhoudende gronden vallen de cijfers echter veel lager uit, daar door complexbinding het citroenzuur veel meer ijzer bindt. Het is niet a priori te zeggen of dit een voordeel is, daar de planten zeker in staat zijn een deel van het aan ijzer gebonden fosfaat vrij te maken.

K. A. Bondorff en F. Steenbjerg [4]) behandelen 6 hoeveelheden grond met salpeterzuur in stijgende concentratie. Door in de extracten pH en P-concentratie te bepalen, kunnen zij door grafische interpolatie vaststellen hoe groot het fosforzuurgetal is bij een eindreactie pH = 2.5. Bij deze methode is dus aan het desideratum van een constante eind-pH voldaan; de gekozen pH ligt echter tamelijk laag en de werkwijze is tijdroovend.

H. Egner [5]) stelde als extractiemiddel een bufferoplossing voor, die 0.02 normaal aan calcium lactaat en 0.01 n aan HCl is (lactaatmethode). De pH hiervan is 3.5, de eind-pH bij extractie van den grond 3.5—4. Deze ligt dus dichter bij de waarden, die practisch in de omgeving der worteleinden voorkomen. Melkzuur verschilt ook nog van citroenzuur, doordat het minder met ijzer reageert onder vorming van complexe verbindingen en daardoor minder aan ijzer gebonden fosforzuur in oplossing brengt.

Onze voorloopige indruk, bij vergelijkende bepalingen, is dat deze methode zeker de aandacht verdient. Een meer uitgebreid onderzoek, waarbij nagegaan wordt niet alleen hoeveel fosfaat er oplost en wat de eind-pH is, maar ook wat er van andere bestanddeelen (kalk, ijzer enz. enz.) oplost, is wel zeer gewenscht om tot een beter inzicht in de beteekenis der verschillende methoden te komen; plannen voor internationale samenwerking op dit gebied werden op de in Juli 1935 te Königsberg gehouden conferentie

[3]) Zie Verhandlungen der 2en Kommission der Intern. Bodenk. Gesellschaft. Budapest 1929, Teil B, blz. 35.

[4]) Tidskrift for Planteavl *38*, 273 (1932).

[5]) Metod att Bestämma Lättlösslig Fosforsyra i Åkerjord. Meddelande No. 425 från Centralanstalten för försöksväsendet på jordbruksområdet.

van eenige secties der Internationale Bodemkundige Vereeniging gemaakt.

Zeer na verwant aan de zure extracties is de fosfaatbepaling met de Aspergillusmethode [6]). De grond wordt daarbij behandeld met 1 % citroenzuur; op het extract laat men de schimmel Aspergillus niger groeien, en door wegen van het gevormde mycelium (schimmelmassa) kan men de P-behoefte van den grond bepalen. Bij deze methode komt het er dus op neer, dat men het in verdund zuur oplosbare fosforzuur langs physiologischen weg bepaalt. De hoeveelheid fosfaat, die de schimmel opneemt, wordt echter door verschillende omstandigheden beïnvloed; zoo hangt deze af van het gehalte aan andere ionen, aan humus, aan calciumcarbonaat. Verschillende Aspergillus-stammen geven een verschillenden opbrengst aan myceliummassa, terwijl ook de activiteit van een bepaalden stam uiteraard wisselt met de levensomstandigheden. Een en ander moet dus nauwkeurig gestandaardiseerd worden, waardoor de methode een geheel conventioneel karakter krijgt.

Ook de methode Neubauer (kiemplanten-methode) is met de zure extracties verwant: de wortels van de rogge-kiemplantjes scheiden koolzuur af en doen een zuur milieu ontstaan, waaruit zij fosfaat opnemen. Sommigen gaan zelfs zoo ver, dat zij deze methode zonder meer onder de zure extracties rangschikken; in hoeverre het physiologisch effect er een speciale rol bij speelt en wat de beteekenis daarvan is bij het bodemonderzoek, is uit de verrichte onderzoekingen nog niet duidelijk komen vast te staan.

5. *P-totaal.*

Onder de zure extracties neemt de extractie met sterke zuren een speciale plaats in, waarbij men alle P_2O_5, dat in den grond aanwezig is — of althans nagenoeg al dat fosfaat — in oplossing brengt. De meest gebruikelijke vorm, die wij ook toepassen wanneer wij cijfers over het totaal fosfaat wenschen, is de methode Lemmermann, waarbij 15 gr grond 1—1½ uur gekookt wordt met 120 cc koningswater en het fosfaat met een molybdeenoplossing wordt neergeslagen.

Voor de fosfaatvoorziening der gewassen heeft het P-totaal cijfer geen directe beteekenis; als regel zal in het citroenzuurextract al fosfaat in oplossing gaan, dat voor de plantenwortels niet, of niet snel genoeg, toegankelijk is, en het fosfaat dat door citroenzuur niet, door koningswater wel opgelost wordt, zal bij de fosfaatopname door het gewas geen groote directe rol spelen. Wanneer men zich echter een denkbeeld wil vormen over de vastlegging van het fosfaat in den grond, of over de verplaatsing daarvan, of wanneer men een fosfaatbalans wil opstellen, kan men niet volstaan met de onvolledige extractie door citroenzuur en moet men de behandeling met koningswater erbij betrekken. Wij zullen daarvan in het volgende verschillende voorbeelden bespreken.

Past men in plaats van koningswater een nog sterker werkend destructiemiddel toe, b.v. het Fleischmannzuur (gelijke volumina sterk zwavelzuur en sterk salpeterzuur), dan lost dikwijls heel

[6]) *W. W. Butkewitsch,* Journ. f. Exp. Landw. *10,* 136 (1909). Ref. in Zentralbl. f. Bakt. 2 Abt. *25,* 314. *H. Niklas, H. Poschenrieder* und *J. Frischler,* Archiv. f. Pflanzenbau 5, H 3 (1931).

wat meer fosforzuur op dan bij de methode Lemmermann (20 of 30 % en hooger).

6. *Fosfaatvastlegging.*

Wanneer men bij een bepaalde hoeveelheid grond een zekere hoeveelheid oplosbaar fosfaat voegt (b.v. monocalciumfosfaat, het belangrijkste bestanddeel van superfosfaat; maar ook kalium- of natriumfosfaat e.d.) zal men, na eenig inwerken, bij extractie met water niet al dat fosfaat terugkrijgen; soms vindt men zelfs zeer veel minder. Men zegt dan dat er fosfaat door den grond is vastgelegd. Geheel juist is deze uitdrukking eigenlijk niet; geheel vast ligt dat fosfaat lang niet altijd, het kan in zijn geheel of ten deele door herhaalde extractie, of door den plantenwortel, of door verdunde zuren aan den grond onttrokken worden. Werkelijke vastlegging kan zeer zeker voorkomen — het moeilijk oplosbare ijzerfosfaat gaat b.v. langzamerhand in vormen over, die zeer moeilijk ontleed worden — maar in den regel zou men beter doen door niet van „vastlegging" te spreken, maar van *„beperking der oplosbaarheid"*. Bepaalde fosfaten — b.v. slakkenmeel, tricalciumfosfaat — hebben in water of in koolzuurhoudend water of in water dat verschillende zouten bevat, slechts een beperkte oplosbaarheid, maar worden, wanneer men voldoende water neemt of een voldoende aantal malen met water behandelt, tenslotte voor een aanzienlijk deel of zelfs geheel opgelost, zooals dat met elke moeilijk oplosbare stof het geval is.

Wij zullen kortheidshalve het woord „vastlegging" blijven gebruiken. De bepaling geschiedt als volgt.

Twee porties, elk van 5 gr luchtdrogen grond worden behandeld met 50 cc van een oplossing, die 10 resp. 20 eenheden P_2O_5 per 1 gr grond bevat (dus 0.5 resp 1 mg P_2O_5) in den vorm van primair calciumfosfaat; zij worden daarmee geschud en blijven 24 uur bij 50° C staan, juist zoo als bij de bepaling van het P-getal (zie § 1). Na afloop wordt het P-getal van de verkregen oplossing bepaald; het verschil met het P-getal van den grond zelf vermeerderd met 10 resp. 20 geeft aan hoeveel er van het toegevoegde fosfaat is vastgelegd. Dit wordt in percenten van het toegevoegde fosfaat uitgedrukt; het gemiddelde van beide bepalingen geeft het vastleggingscijfer. Eenige voorbeelden mogen dit verduidelijken.

TABEL 3.

Bepaling van het vastleggingscijfer.

Grond	% Humus	Vastlegging bij		Gemiddeld (vastleggingscijfer)
		10 eenheden	20 eenheden	
Pr 113, heidegrond	3	99	95	98
Pr 99, heidegrond	6	90	89	90
Heukers, natuurgrond	16	85	85	85
PO 53, ijzerhoudende zandgrond	6½	88	82	85
Pr 34, kleihoudende veengrond	48	85	68	77
OO 51, eschgrond	7	80	70	75
OB 9, zandgrond	2½	63	53	58
Pr 148, oude dalgrond	22	60	55	58
Pr 42, oude dalgrond	12	45	40	43
WF 32, laagveengrond	20	30	23	27
EC 72, nieuwe dalgrond	11	20	15	18
Pr 87, nieuwe dalgrond	5½	20	16	18

Wanneer men een serie bepalingen doet waarbij, behalve de bovengenoemde hoeveelheden, ook nog grootere hoeveelheden fosfaat worden toegevoegd, zal geleidelijk het vastleggingscijfer afnemen omdat de fosfaatbindende stoffen verzadigd raken, of wel er gemakkelijker oplosbare fosfaten ontstaan. Wij vonden b.v. de volgende cijfers.

TABEL 4.

Vastlegging bij opklimmende hoeveelheden fosfaat.

	Toegediende eenheden fosfaat	16	20	24	28	32	36
Heino-vak	KH_2PO_4: gevonden P-getal	2	3	4	5	5	6½
	vastlegging	88	85	83	82	84	82
	$Ca(H_2PO_4)_2$: gevonden P-getal ..	2	3½	4½	5	6	8
	vastlegging	88	83	81	82	81	78
	Toegediende eenheden fosfaat	8	12	16	20	24	28
Pr 113	KH_2PO_4: gevonden P-getal	0	1	1½	3	4	5
	vastlegging	100	92	91	85	83	82
	$Ca(H_2PO_4)_2$: gevonden P-getal ..	0	0	1	1½	3	4
	vastlegging	100	100	94	93	88	86

De bepaling van het vastleggingscijfer op de beschreven manier geeft geen uitkomsten, die erg nauwkeurig zijn, zooals de in Tabel 3 gegeven voorbeelden ook wel toonen. Dit doet er niet veel toe, want het cijfer behoeft slechts te dienen om den grond te karakteriseeren. In verband met die onnauwkeurigheid ronden wij de cijfers steeds tot veelvouden van vijf af.

Wij wijzen er ook hierbij op, dat het vastleggingscijfer den grond (in vrij grove trekken) karakteriseert, maar dat daarop geen berekeningen gebaseerd kunnen worden, b.v zoo dat men gaat uitrekenen hoeveel er van een gegeven bemesting zal worden vastgelegd, hoeveel er in oplossing of oplosbaar zal blijven. De verhoudingen zijn op den akker anders dan in het laboratorium. Wij vonden b.v. bij een ijzerhoudenden zandgrond na toevoeging van 36 eenheden een P-getal 6½—8, terwijl 40 eenheden in den grond (op het proefveld gegeven) slechts een P-getal 2 gaven. Bij een heidegrond door 28 eenheden een P-getal 4—5, op het veld echter door 27 eenheden een P-getal ½ en door 40 een P-getal van 1½.

7. *Herhaalde extractie.*

Wanneer men den grond met een zekere hoeveelheid water behandelt, gaat er fosfaat in oplossing totdat de oplosbaarheidsgrens van het PO_4-ion ,in wisselwerking met de andere ionen, zooals Ca, CO_3, HCO_3 enz., bereikt is, en zooals een en ander zich instelt in evenwicht met de als vaste deelen aanwezige verbindingen. In de beperkte hoeveelheid water, die bij de extractie toegevoegd wordt, gaat een zekere hoeveelheid PO_4-ionen in oplossing; verwijdert men

dit extract en voegt men weer water toe, dan gaan weer PO_4-ionen in oplossing tot een concentratie, die met de dan aanwezige vaste en opgeloste bestanddeelen samenhangt, en zoo vervolgens. In het geheel kan men zoo een heel wat grootere hoeveelheid fosfaat met water extraheeren dan het eerste extract als P-getal oplevert. Voor verschillende grondtypen vonden wij zoo bijvoorbeeld de in tabel 5 vermelde cijfers.

TABEL 5.

Herhaalde extractie met water.

Grond	Eerste extract (P-getal)	Volgende extracten									Totaal opgelost in 15 maal
		2	3	4	5	6	7	8	10	15	
Pr 8, oude dalgrond	15	10½	6	4	4	3½	2+	2	2—	2—	58½
Pr 10, zandgrond	9½	5	3½	2½	2	2	2	2—	2—	1	37½
OO 51, zandgrond, onbemest perceel	2	2—	2—	1	1	1	1	1	1	1	17½
ZGr 1, oude dalgrond	7	4½	4	2½	2	2	2	2—	2—	1	34½ in 8 extracten
OF 3, zandgrond	16½	15½	7	6—	4—	2	1	½			52
NGe 48, zandgrond	7½	6—	5	3	3	2+	2½	2			31
Pr 87, nieuwe dalgrond ..	13½	5½	2+	2—	1	½	½	—			24½

Uit de voorbeelden blijkt wel duidelijk, dat het P-getal niet den in water oplosbaren vooraad fosfaat voorstelt: deze is steeds veel grooter dan het P-getal aangeeft.

De herhaalde extractie, die uiteraard bewerkelijk is, wordt slechts in bepaalde gevallen toegepast. Eenige beteekenis heeft het tweede extract, omdat dit eenigszins een indruk geeft van de „nalevering" van fosfaat door den grond: wanneer de plantenwortel fosfaat uit het bodemvocht opgenomen heeft, gaat er uit den grond fosfaat in oplossing tot er weer een evenwicht bereikt is, en deze nalevering is natuurlijk van belang voor de fosfaatvoeding van de plant, die in den loop van de groeiperiode meer noodig heeft dan op een zeker moment in het bodemvocht voorkomt. Daarbij spelen natuurlijk ook andere factoren een rol, zooals de groei der worteltoppen, waardoor de actieve zône (vlak achter de worteltop, waar de fijne wortelharen zitten), die de voedingsstoffen opneemt, zich in den grond verplaatst en dus op andere punten voedsel gaat onttrekken; verder de diffusie van opgeloste stoffen, die de ontstane concentratieverschillen weer doet verminderen, en de beweging van het bodemwater door daling of opstijging (regen, verdamping) en door opname door de wortels. Meer dan een indruk over de naleveringsmogelijkheden in den grond krijgt men uit de tweede en volgende extracten dan ook niet, maar om den grond in grove trekken te karakteriseeren kunnen die wel eenige beteekenis hebben.

Ook wanneer men den grond met 1 % citroenzuur extraheert, gaat niet direct alle in citroenzuur oplosbare fosfaat in de oplossing over, zooals wij reeds in § 3 zeiden. Herhaalde extractie geven b.v. de cijfers in tabel 6.

De hoeveelheid, die in volgende extracten gaat, is bij citroenzuur naar verhouding niet zoo groot als bij water, en men komt

ook eerder tot een eind. Bij extractie met water krijgt men in het tiende en in het vijftiende extract nog steeds fosfaat in oplossing, al zijn dit kleine hoeveelheden (overeenkomende met P-getallen van 2 of 1), en zoo ook bij verdere extracten. Dit fosfaat komt natuurlijk grootendeels uit verbindingen, die maar heel weinig in water oplossen; bij extractie met 1 % citroenzuur geven vier van de in tabel 6 vermelde zeven gronden in het vierde resp. het vijfde extract al niets meer.

TABEL 6.

Herhaalde extractie met 1 % citroenzuur.

Grond	Eerste extract (P-citr.)	Volgende extracten				Totaal opgelost in 5 maal
		2	3	4	5	
Pr 42, oude dalgrond	76	17	5	1	0	99
Pr 10, zandgrond	60	12	3	0	0	75
OO 51, zandgrond, onbemest perceel	35	17	9	5	3	69
Pr 3, oude dalgrond	94	20	8	1	1	124
Boxem, Kotten NGe, zandgrond	108	20	4+	1	0	133
OF 3, zandgrond	38	12	5	1	1	57
OO 16, zandgrond	74	15	4—	0	0	93

II. Verband tusschen verschillende grootheden.

§ 8. *Verband tusschen P-getal resp. P-citr en toegediend fosfaat.*

Verdund citroenzuur brengt fosfaten in oplossing, die in water niet of weinig oplosbaar zijn. Zoo b.v. dicalcium- en tricalciumfosfaat, en onder bepaalde omstandigheden ook ijzerfosfaat, vooral als dit versch gevormd is (bij het ouder worden daalt de oplosbaarheid in zuren).

Over het algemeen zal het P-citr cijfer dus hooger zijn dan het P-getal. Wij geven daarvan eenige karakteristieke voorbeelden bij diverse grondsoorten, en wel in verband met de toegediende hoeveelheid fosfaat.

Fig. 1 stelt de gegevens voor bij een nieuwen dalgrond, en wel bij een proefveld (Pr 87), waarop jaarlijks verschillende hoeveelheden fosfaat gegeven worden [7]). Het proefveld werd einde 1929 aangelegd; 1930 was de eerste oogst (aardappelen). In Fig. 1 ziet men de P-getallen afgebeeld, die na den eersten oogst in November 1930 gevonden werden; de lijn stijgt langzaam, maar behoorlijk regelmatig, bij stijgende fosfaatgiften. De lijnen voor herfst 1932 en herfst 1934 liggen hooger; het in water oplosbare fosfaat vertoont een regelmatig verband met de fosfaatgiften.

Iets dergelijks is het geval voor de P-citr cijfers, die hooger in de figuur liggen, maar ook regelmatig stijgen met de jaarlijksche fosfaatgift en naarmate in opvolgende jaren meer fosfaat in den grond gebracht is. De fosfaathuishouding is dus in dit geval overzichtelijk en eenvoudig.

Zetten wij de verkregen cijfers uit tegen de in totaal toege-

[7]) Uitvoerige beschrijving zie „Die Phosphorsäure", 5, 46 (1935).

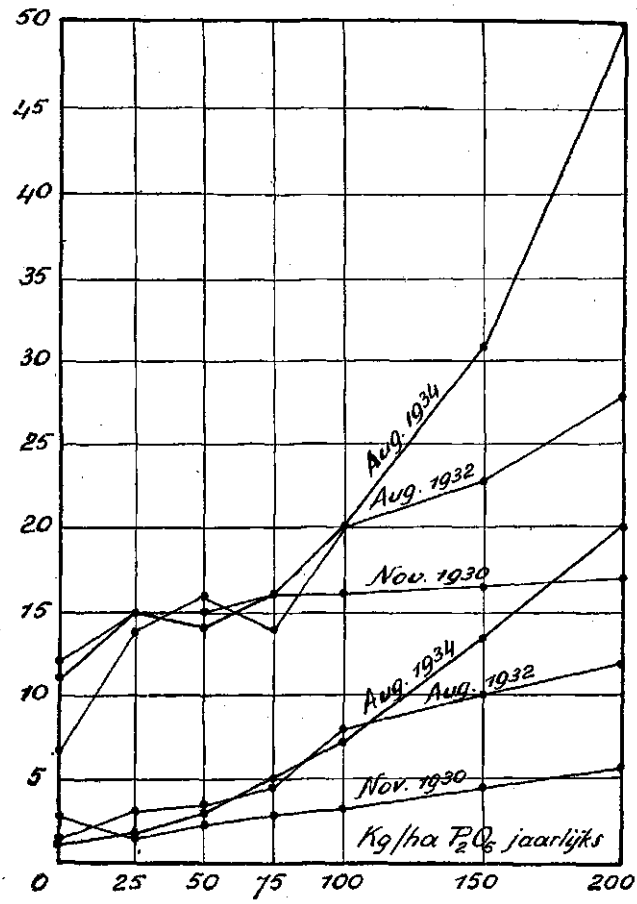

Fig. 1. P-getal (onder) en P-citr (boven) voor drie jaren, bij het proefveld Pr 87 op nieuwen dalgrond, uitgezet tegen de hoeveelheid P_2O_5 die jaarlijks gegeven werd.

diende fosfaatgiften, dan krijgen wij Fig. 2. De lijnen van opeenvolgende jaren zijn natuurlijk aanzienlijk tegenover elkaar verschoven.

Echter is de basis voor deze figuur al evenmin volkomen juist als die voor Fig. 1: de hoeveelheid fosfaat, die door de achtereenvolgende oogsten onttrokken werd, is daarbij buiten beschouwing gelaten, en vooral de punten voor latere jaren komen een stuk naar links wanneer men als abscis gebruikt de werkelijke toename van de fosfaathoeveelheid in den grond. Volkomen juiste cijfers voor de onttrekking zijn echter niet bekend, aangezien het fosfaatgehalte wel bij graankorrel en stroo en bij aardappelknol bepaald werd, maar niet bij de wortels en bij het aardappelloof. Ook is bij dezen dalgrond eenige verplaatsing van fosforzuur naar diepere lagen, en zelfs eenige uitspoeling, mogelijk. Men zou voor de fosfaat-onttrekking door de opeenvolgende oogsten en door benedenwaartsche verplaatsing in den grond een schatting kunnen maken en met behulp daarvan de cijfers voor P-getal en P-citr kunnen uitzetten in verband met de toename van de hoeveelheid fosfaat in den grond. Wij hebben deze figuren echter hier niet

voor hetzelfde proefveld Pr 87 afgebeeld; wel voor een proefveld op heide-ontginning (Pr. 259), dat de in Fig. 3 afgebeelde cijfers gaf. Ook hier stijgen de lijnen voor P-getal en P-citr vrij regelmatig met het toegediende fosfaat; maar bij vergelijking met Fig. 2 blijkt, dat het P-getal bij gelijke toename van de fosfaathoeveelheid op den vastgestelden heidegrond van Pr 259 veel lager blijft dan op den dalgrond van Pr 87.

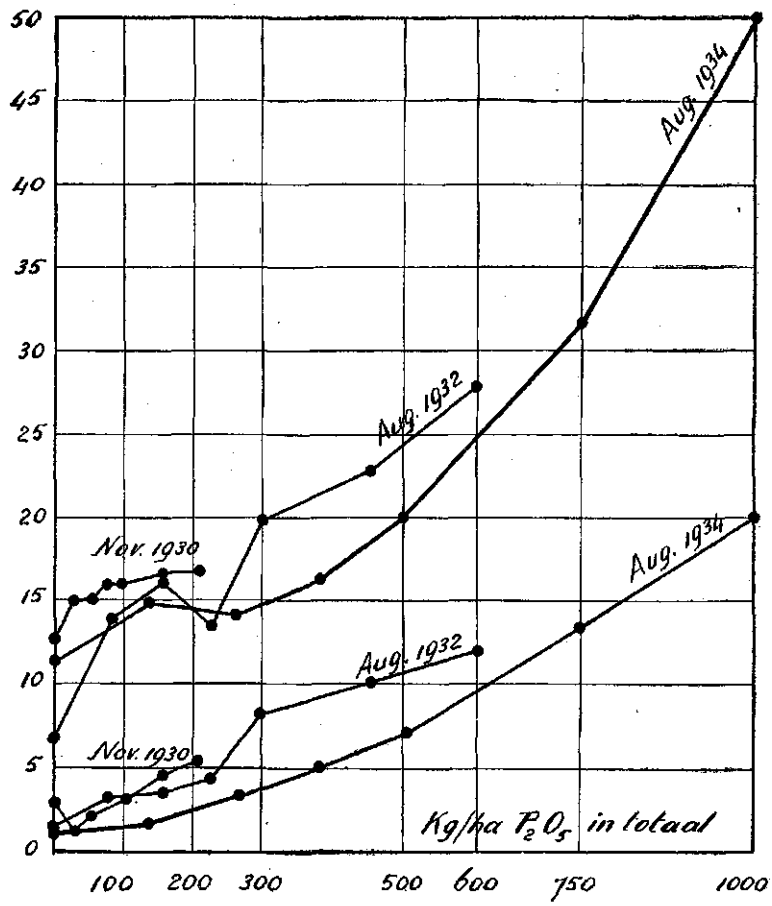

Fig. 2. Dezelfde gegevens als in Fig. 1, uitgezet tegen de hoeveelheid P_2O_5 die in totaal gegeven werd.

Dit ziet men duidelijker in Fig. 4, waarin de lijnen (totaal toegediend fosfaat minus geschatte onttrekking) vereenigd zijn voor drie grondsooren, namelijk de beide zooeven genoemde en een ijzerhoudende zandgrond van de Proefboererij Heino [8]), die ook sterke fosfaatvastlegging vertoont. De lijn voor het P-getal ligt laag, ten deele lager dan bij Pr 259; de P-getal lijn voor Pr. 87 met goede

[8]) Zie de vakkenproef met dezen grond, uitvoerig beschreven in Versl. v. Lbk. Onderz. *43* (1937, „Fosfaathuishouding in een ijzerhoudenden zandgrond", door *O. de Vries* en *C. W. G. Hetterschy*.

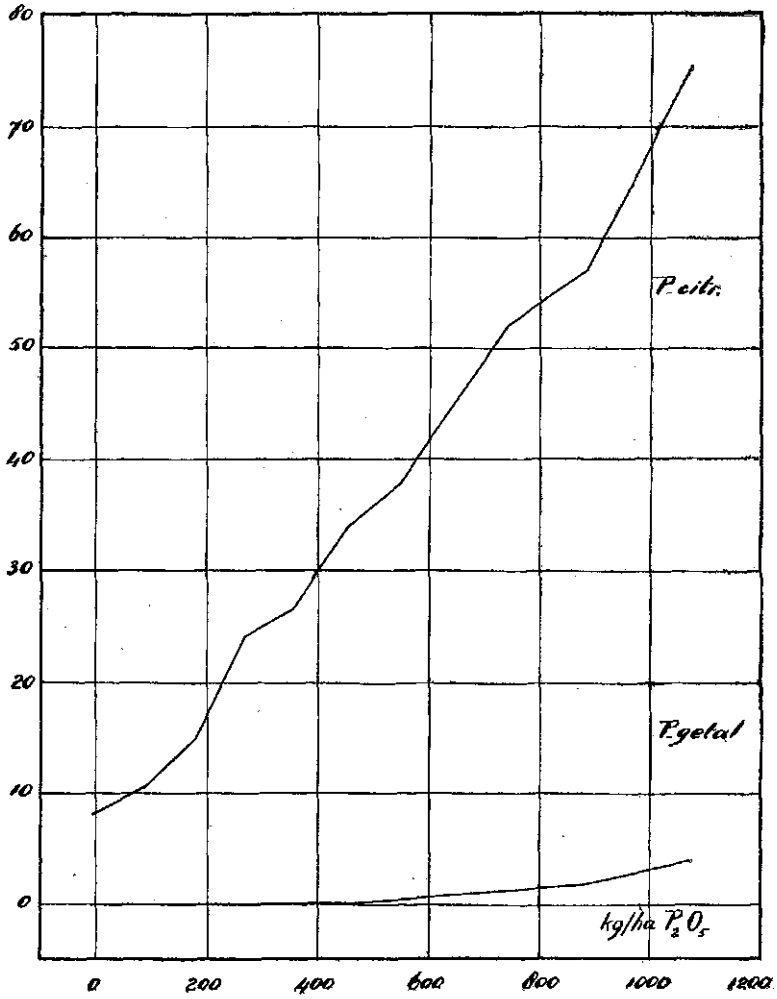

Fig. 3. P-getal en P-citr, uitgezet naar den fosfaatvoorraad (toegediend fosfaat minus onttrekking) van den grond, voor proefveld Pr 259 op fosfaatvastleggenden heide-zandgrond.

fosfaatoplosbaarheid loopt aanzienlijk steiler. Daarentegen is het verschil tusschen de ligging der P-citr lijnen minder opvallend, al blijft de volgorde der drie grondtypen ook dezelfde.

§ 9. *Verband tusschen P-citr en P-totaal; relatieve oplosbaarheid volgens Lemmermann.*

Voor de bepaling van de fosfaathuishouding van den grond voerde O. Lemmermann, naast het in 1% citroenzuur oplosbaar fosfaat en het in mineraalzuur oplosbaar fosfaat (koningswater, zie § 5), ook de relatieve oplosbaarheid in, namelijk de verhouding tusschen deze beide cijfers. Zoowel het citroenzuur-cijfer als de relatieve oplosbaarheid worden door Lemmermann gebruikt om den fosfaatoestand van den grond aan te geven; bij beide wordt een cijfer van 25 aangenomen als de grens tusschen onvoldoenden en voldoenden fosfaattoestand.

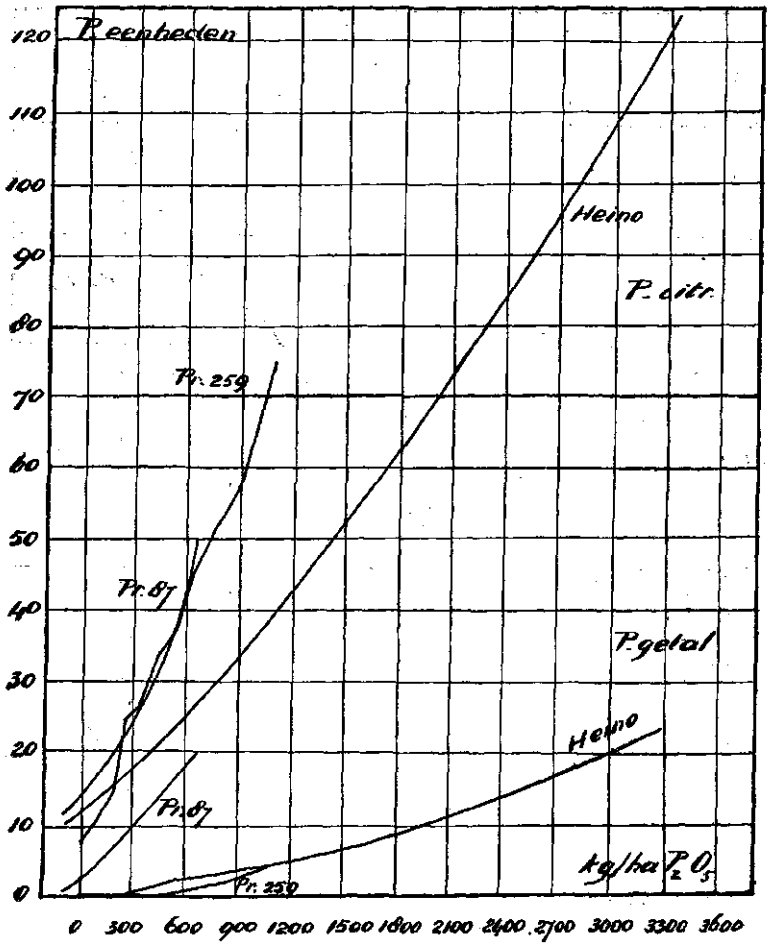

Fig. 4. Als Fig. 2 en 3, de gegevens voor drie verschillende grondsoorten (nieuwen dalgrond van Pr 87, heide-ontginning van Pr 259 en ijzerhoudenden zandgrond van Heino).

De P-totaal-bepaling is tijdroovend en niet geschikt voor massa-onderzoek; zooals boven gezegd, verrichten wij deze bepaling alleen bij speciale studies. Bij praktijkgevallen en bij de meeste proefvelden is de bepaling van P-getal en P-citr voldoende; de criteria van Lemmermann gebruiken wij daarbij niet.

Voor zoover wij het P-totaal cijfer naast het P-citr bepalen, zetten wij deze beide af in een grafiek, waarvan Fig. 5 een schematisch voorbeeld geeft. Wij verkrijgen daardoor een overzichtelijker beeld dan bij de beschouwing van de cijfers zonder meer, zooals dat door Lemmermann aangegeven werd. Het blijkt namelijk — in Fig. 6 zullen wij dit nader zien — dat bij één proefveld de punten voor veldjes, die verschillende hoeveelheden fosfaatmest gekregen hebben, nagenoeg op een rechte lijn liggen. Veldje A in Fig. 5 met een P-citr. cijfer van 19 en een P-totaal van 54 geeft een relatieve oplosbaarheid van 35 % en zou volgens de criteria van Lemmermann een onvoldoenden fosfaattoestand hebben; veldje B met 34 en 68 geeft 50 % en zou in goeden fosfaattoestand

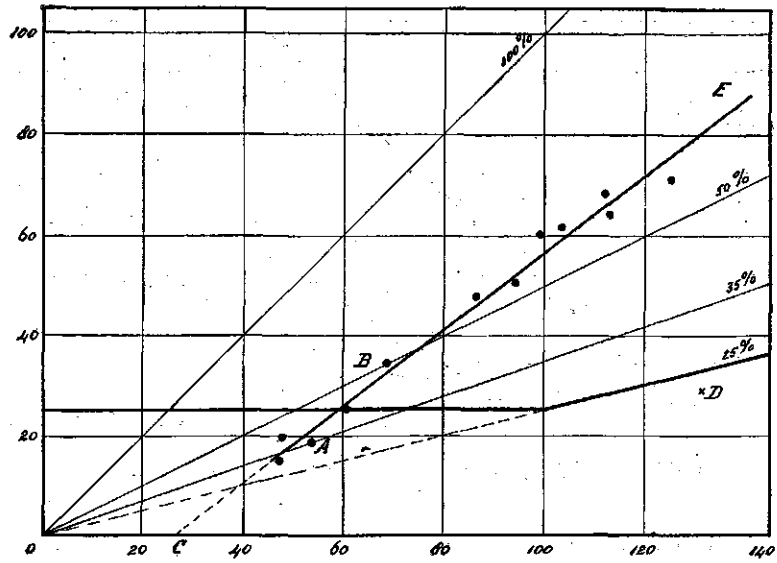

Fig. 5. Schematische voorstelling van de P-citr en P-totaal cijfers bij een proefveld, van de relatieve oplosbaarheid en de grenzen volgens Lemmermann. Nadere preciseering van den samenhang tusschen beide eerstgenoemde grootheden.

verkeeren. Een grondmonster D met P-citr 29 en P-totaal 132, dus relatief 22 %, zou een onvoldoenden fosfaattoestand vertoonen.

De grenzen volgens Lemmermann worden in Fig. 5 door de dikke lijnen bij P-citr 25 en bij 25 % relatieve oplosbaarheid (schuin oploopend gedeelte) aangegeven. Daarenboven hebben wij in Fig. 5 de lijn voor 100 % oplosbaarheid (P-citr = P-totaal) aangegeven, die de bovenste grens vormt, aangezien het wel nooit zal voorkomen, dat in 1 % citroenzuur meer fosfaat oplost dan in koningswater.

Trekt men nu door de punten van het proefveld de gemiddelde lijn CE, dan geeft deze door zijne helling van 75 % naar onze meening een meer karakteristieke eigenschap aan dan de van punt tot punt verschillende relatieve oplosbaarheid van Lemmermann. Men zou deze eigenschap van den betreffenden grond misschien het best — ofschoon niet geheel juist — omschrijven als de verhouding waarin toegevoegd fosfaat in 1 % citroenzuur resp. in koningswater oplosbaar blijft. Het stuk OC, dat de lijn EC van van de abscis afsnijdt, geeft een aanwijzing over in den grond aanwezig fosfaat dat wel in koningswater maar niet in citroenzuur oplost.

Voor enkele proefvelden hebben wij de overeenkomstige cijfers vereenigd in Fig. 6. De lijnen die het verband tusschen P-citr en P-totaal bij verschillende proefvelden aangeven, verschillen aanmerkelijk in richting en in ligging, waardoor een beeld van de verschillende fosfaat-verhoudingen in de betreffende grondsoorten wordt verkregen.

Bij Pr 87 op nieuwen dalgrond te Emmercompascuum is de helling van de lijn groot (overeenkomende met omstreeks 80 %); het toegediende fosfaat is dus vrijwel even gemakkelijk in citroenzuur als in koningswater oplosbaar. De gemiddelde lijn snijdt de

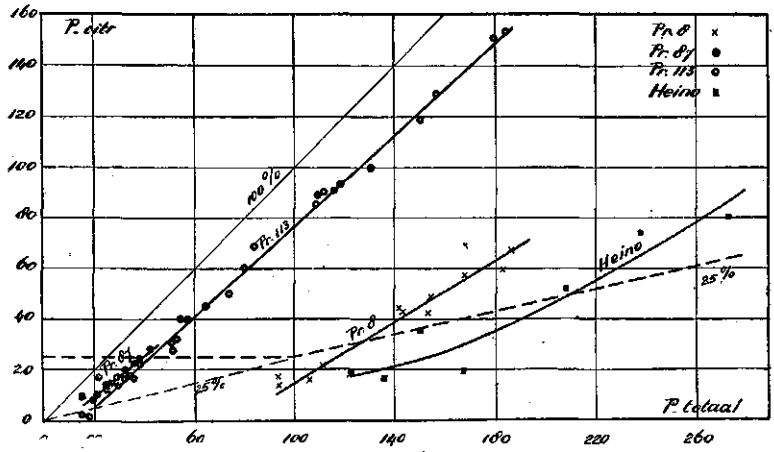

Fig. 6. Zelfde als Fig. 5, voor eenige proefvelden op verschillende grondtypen.

abscis vrij dicht bij den oorsprong: er is dus een betrekkelijk geringe hoeveelheid fosfaat in den grond, dat wel in koningswater maar niet in citroenzuur oplosbaar is. Pr 113, op nieuwen heidegrond met een groot fosfaatvastleggend vermogen, geeft een lijn, die vrijwel met die van Pr 87 samenvalt: de oplosbaarheid in zuren van de in dien grond aanwezige fosfaten van verschillenden aard (mineraal fosfaat, organisch fosfaat, toegediend fosfaat, enz.) is dus vrijwel dezelfde als bij den weinig vastleggenden nieuwen dalgrond. Men zou misschien niet verwachten dat nieuwe dalgrond met groote fosfaatbeweeglijkheid, en fosfaatvastleggende heidegrond bijna hetzelfde beeld zouden geven; het verschil tusschen deze beide komt echter bij het P-getal pas goed voor den dag, zooals wij in § 10 zullen bespreken. De wijze, waarop het fosfaat in den heidezandgrond vastgelegd wordt, brengt blijkbaar niet mede dat het in zuren, wel dat het in water moeilijk oplosbaar wordt.

Bij den zeer ouden dalgrond, waarop het Oude Bemestingsproefveld te Sappemeer (Pr 8) ligt, zijn de verhoudingen merkbaar anders: toegediend fosfaat, voor zoover het in koningswater oplosbaar blijft, is blijkens de helling der lijn slechts voor ongeveer 60% in citroenzuur oplosbaar, en er is een aanmerkelijke fosfaatvoorraad die niet in citroenzuur maar wel in koningswater oplosbaar is.

Nog iets meer zijn de verhoudingen verschoven bij den ijzerhoudenden zandgrond van de Proefboerderij Heino: de P-citr cijfers zijn bij gelijke P-totaal veel lager, al is de oplosbaarheidsverhouding van toegevoegd fosfaat ongeveer dezelfde (de helling der lijn komt ook overeen met ca. 60 %). Een door het bovenste, niet gebogen deel van de curve getrokken rechte lijn zou de abscis tamelijk ver van den oorsprong snijden, en wijzen op vrij veel fosfaat dat wel in koningswater maar niet in 1 % citroenzuur oplost.

Om de figuur niet te overladen zijn slechts van enkele proefvelden gegevens er in geteekend. Wij kunnen echter vermelden, dat de lijnen voor een aantal andere proefvelden zich vrij regelmatig daar tusschen voegen.

In Fig. 6 vindt men met een stippellijn de grens van Lemmermann aangegeven. Deze gold vermoedelijk in de eerste plaats voor

Duitsche gronden, waarbij leemige gronden een groote plaats innemen. Voor de Nederlandsche grondtypen, waarop onze onderzoekingen betrekking hebben, zou apart nagegaan moeten worden welke beteekenis deze grens van Lemmermann heeft. Een uitvoeriger studie van dat punt is in dit artikel niet op zijn plaats; wij vermelden slechts dat voor sommige gevallen de grens van Lemmermann goed bruikbaar blijkt, maar voor andere minder goed of niet.

§ 10. *Verband tusschen P-getal en P-citr.*

Op overeenkomstige wijze als in de vorige paragraaf kan men nu ook P-getal en P-citr tegen elkaar uitzetten. Wij kiezen weer dezelfde voorbeelden; Fig. 7 toont dat ook in dit geval de punten per proefveld in een tamelijk enge strook liggen, waardoor een gemiddelde lijn getrokken kan worden. Bij den Heino-grond en den heide-zandgrond van Pr 113 is deze lijn duidelijk gebogen, bij de twee andere proefvelden (en bij een aantal andere proefvelden, die niet in Fig. 7 zijn opgenomen) kan zeer goed een rechte lijn als gemiddelde worden aangenomen.

Aan deze lijnen kan men overeenkomstige beschouwingen vastknoopen als in § 9 over de verhouding van de oplosbaarheid van aan den grond toegevoegd (en dus meestal ook in den grond omgezet) fosfaat in water en in 1 % citroenzuur (helling der lijnen), en over het voorkomen in den grond van fosfaat dat wel in citroenzuur maar niet in water oplosbaar is. Wij zullen dergelijke beschouwingen niet weer houden, maar wijzen alleen op eenige karakeristieke punten, die de fosfaathuishouding in de betreffende grondtypen duidelijk karakteriseeren.

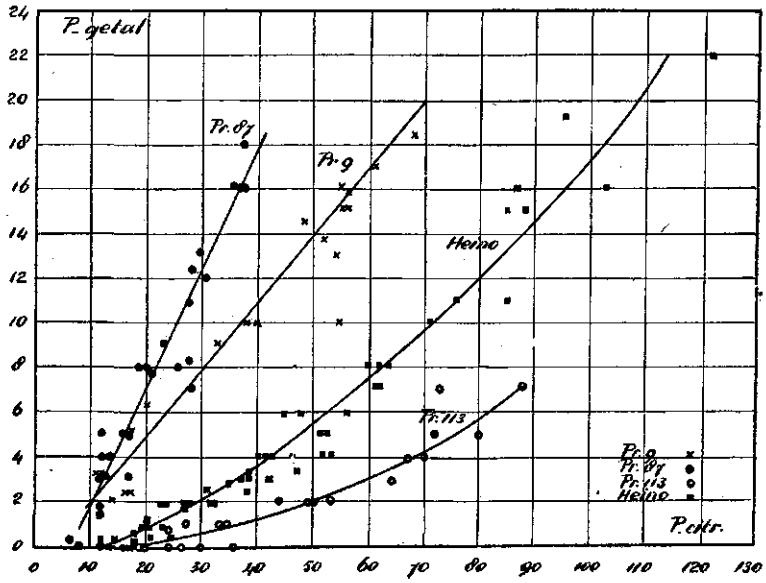

Fig. 7. P-getal en P-citr voor eenige proefvelden, op overeenkomstige wijze afgezet en in verband gebracht als in Fig. 6.

De lijn voor den nieuwen dalgrond van Pr 87 ligt ook in Fig. 7 weer bovenaan: de fosfaatoplosbaarheid in dezen grond, is be-

trekkelijk zeer groot, in citroenzuur lost er niet zoo heel veel minder op dan in koningswater, en van het in citroenzuur oplosbare fosfaat is een groot deel in water oplosbaar. Zooals wij reeds meermalen zeiden: een eenvoudige en overzichtelijke fosfaathuishouding.

Daarentegen valt het zeer op dat de lijn voor Pr 113, die in Fig. 6 ook bovenaan lag en nagenoeg met die van Pr 87 samenviel, in Fig. 7 onderaan blijkt te liggen: van het in citroenzuur oplosbare fosfaat is maar een klein gedeelte in water oplosbaar, de P-getallen zijn ook na groote fosfaatgiften betrekkelijk zeer laag. Het fosfaat wordt dus in dezen grond vastgelegd in een vorm waarin het in water vrij weinig, in 1 % citroenzuur aanzienlijk meer en in koningswater nog slechts weinig meer oplost. Wij hopen op de verklaring van dit verschijnsel bij een latere gelegenheid terug te komen.

Pr 9, de andere helft van het Oude Bemestingsproefveld te Sappemeer en volkomen met Pr 8 uit Fig. 6 te vergelijken, ligt in Fig. 7 vrij dicht bij Pr 87; ook de ijzerhoudende zandgrond van Heino vertoont een grooter oplosbaarheidsverhouding P-getal: P-citr dan bij P-citr : P-totaal het geval was, en van het in citroenzuur oplosbare fosfaat is dus bij dezen grond een betrekkelijk groot gedeelte tevens ook in water oplosbaar.

Wanneer men op deze verhoudingen nader in wil gaan, mag niet uit het oog worden verloren, dat het P-getal de fosfaatoplosbaarheid aangeeft bij de pH van den grond zelf, zooals wij in § 2 bespraken. Wat dit voor beteekenis kan hebben, zullen wij in de volgende paragraaf nagaan.

§ 11. *P-getal resp. P-citr en pH.*

Zooals wij in § 2 reeds kort bespraken, kan de oplosbaarheid van fosfaat in water — en zoo ook die in het bodemvocht — vrij sterk beïnvloed worden door de pH. In water moeilijk of niet oplosbare fosfaten lossen in verdund zuur goed op; bekend is b.v. dat dicalciumfosfaat (het hoofdbestanddeel van fosforzure voederkalk en van de meststof Fertiphos) in water slechts zeer weinig, maar in verdunde zuren goed oplost. Het is dus niet te verwonderen dat de pH van den grond een belangrijken invloed op het P-getal kan hebben.

Het duidelijkste beeld krijgt men daarvan wanneer men de fosfaatcijfers bepaalt van bekalkingsproefvelden, waarop een reeks van pH-trappen zijn verwezenlijkt. Nadat de kalk voldoende tijd gehad heeft om zich met den grond om te zetten en nadat storende reactieproducten door den regen geleidelijk weer weggespoeld zijn, bereikt men een toestand waarbij alleen de pH van den grond verschilt (tenminste bij proefvelden waarop alle objecten een gelijke bemesting met stikstof, fosfaat en kali krijgen, en waarop niet door geringe oogsten bij lage pH zoodanige verschillen door onttrekking in den oogst ontstaan zijn, dat deze het beeld vertroebelen). Wij geven hierbij een voorbeeld van een dergelijk geval en vermelden daarbij tevens de P-citr cijfers, de opbrengst en het fosfaatgehalte van de oogstproducten, zoodat men zich een voldoende volledig beeld van den invloed van de pH op de fosfaathuishouding kan vormen. Proefveld Pr 42 op de Proefboerderij

te Borgercompagnie gaf in Augustus 1932, na een oogst van wintertarwe (Robusta), de cijfers in Tabel 7.

TABEL 7.

pH	4.6	4.8	5.2	5.8	6.2	6.7	6.8
P-getal	16	13	12.5	11	8	4	3.5
P-citr	49	46	53	58	60	59	60
Korrel, 100 = 37 q/ha	95	107	96	95	91	96	100
Stroo, 100 = 84.8 q/ha	93	97	96	104	100	100	100
% P_2O_5 in de droge stof van de korrel	1.03	0.99	0.95	0.98	0.95	0.99	0.96
% P_2O_5 in de droge stof van het stroo	0.24	0.23	0.19	0.19	0.17	0.20	0.19

Het P-getal daalt dus aanzienlijk met stijgende pH, namelijk van 16 tot 3½. Omgekeerd stijgt het P-citr cijfer merkbaar. Het gewas reageert niet sterk op de pH: bij de korrel-oogst schommelen de cijfers onregelmatig, het stroo schijnt wat minder te worden bij lager pH. Het fosfaatgehalte van de korrel is bij een P-getal van 4 praktisch even hoog als bij een P-getal van 13—16; ook het fosfaatgehalte van het stroo, dat een gevoeliger aanwijzing over de fosfaatvoorziening van het gewas geeft, toont geen samenhang met het P-getal. Het gewas trekt zich in dit geval van dat verschil in fosfaattoestand van den grond als het ware niets aan. Over het algemeen neemt men, op grond van een groot cijfermateriaal uit proeven, aan dat bij dalgrond het P-getal 8—10 moet bedragen, wil men de fosfaatbemesting weglaten of sterk verminderen; eenP-getal van omstreeks 4 mag bij dergelijken grond niet als voldoende worden beschouwd, zooals wij in § 20 nog nader zullen zien. Nu kan men, — terecht — opmerken, dat zoo'n algemeene uitspraak geldt voor normalen dalgrond, waar de pH als regel niet boven 5.5 zal liggen en dat voor die pH en lagere het P-getal op dit proefveld ook ruim voldoende was. Ook is het P-citr. voor alle objecten ruim. De in Tabel 7 gegeven cijfers zijn dus volstrekt niet in strijd met de algemeene ervaring, maar zij wijzen er op dat men de beteekenis van de pH bij de beoordeeling van het P-getal niet uit het oog mag verliezen.

Meerdere voorbeelden van ongeveer dezelfde strekking hebben wij elders [9]) gegeven; in het Proefveldverslag voor Overijsel voor 1934 wees E. J. Lankwarden op dergelijke verhoudingen bij zijne kalkproefvelden.

Echter is de daling van het P-getal niet altijd zoo duidelijk en soms zelfs twijfelachtig; op Pr 10, het pH-trappenproefveld te Spitsbergen, verandert het P-getal b.v. nagenoeg niet bij pH's die van 4.0 tot 6.2 loopen, terwijl het P-citr. een weinig stijgt. En zeker mag men de verhoudingen niet omdraaien: bij hooge pH, in de buurt van 6, kan men zeer goed P-getallen van 20 en meer vinden, terwijl omgekeerd bij lage pH, b.v. van 4½—5, P-getallen van 0—2 kunnen voorkomen op gronden met zeer hooge P-citr. cijfers, waar dus het fosfaat, ondanks goede voorraad, bij lage pH toch weinig oplosbaar is, blijkbaar door vastleggingsverschijnselen. Enkele voorbeelden [10]) zijn:

[9]) *O. de Vries* und *C. W. G. Hetterschij*. „Der Phosphorsäurehaushalt in Moorkolonialem Boden", Die Phosphorsäure *5*, 42-44 (1935).

[10]) Voor verdere voorbeelden zie Die Phosphorsäure *5*, 45 (1935).

TABEL 8.

	pH	P-getal	P-citr
EC 9, Emmercompascuum	6.1	14	32
NH 49, 't Zand	6.5	19	148
OF 7, Steggerda	6.3	21	110
Pr 10, Spitsbergen	6.2	14	58
NGe 17, Teuge	4.1	1	52
OO 156, de Lutte	4.7	2	32
Pr 34, Harkstede	4.9	2	63
Pr 122, Hooghalen	4.9	1	51—60

De in Tabel 7 en verder genoemde cijfers geven wel aanleiding om te overwegen of het niet beter is het P-getal te bepalen, niet bij de pH van den grond zelf, maar bij een vaste pH. In § 2 beschreven wij reeds dat over dit punt een onderzoek gaande is, maar dat dit ons voorloopig nog geen aanleiding gegeven heeft om naast (en zeker niet in plaats van) de tegenwoordige methode van P-getal bepaling een bepaling van het P-getal bij vaste pH in te voeren.

§ 12. *Fosfaathuishouding en humus.*

In de literatuur komt men herhaaldelijk uiteenzettingen tegen [11]) over een verband tusschen den fosfaattoestand van den grond en de humus, in dien zin dat humus de oplosbaarheid van het fosfaat zou kunnen bevorderen en dus bij gelijken bodemvoorraad aan fosfaat hooger P-getallen kan geven. Het verschil tusschen de lijnen voor het P-getal (en ook de P-citr cijfers) bij gelijke totale fosfaatgiften, die Fig. 4 te zien geeft voor dalgrond resp. voor zandgrond, zou op grond daarvan aan de humus in het eerste grondtype toegeschreven kunnen worden, ofschoon het humusgehalte in het kunstmatige mengsel van veen en geel zand, dat den dalgrond vormt, niet zoo hoog behoeft te zijn: ook bij een dalgrond-bouwkruin met 10—12 % humus (Pr 87 had slechts 5—6 %) krijgt men door fosfaatbemesting al gauw hooge P-getallen. De aard van de humus zal daarbij zeker een voorname rol spelen; over het algemeen kan men niet zeggen dat b.v. bij de zandgronden een hooger humusgehalte met hooger P-getallen gepaard gaat.

Ook heeft men te denken aan het ontbreken of nagenoeg ontbreken van kleiige en leemige bestanddeelen in den dalgrond, dus mogelijk aan het ontbreken van bodembestanddeelen, die in de eerste plaats bij het vastleggen van fosfaat betrokken zijn.

Een vraag, die met dit punt nauw samenhangt, is of men door groenbemesting b.v. op een zandgrond het daarin aanwezige fosfaat oplosbaarder kan maken, „mobiliseeren" zooals men dat wel noemt. Het is niet zoo gemakkelijk om hierover strikt bewijzende gegevens te verzamelen, omdat de in den grond gebrachte plantenmassa natuurlijk zelf fosfaat bevat, en men niet weet wat men

[11]) Zie b.v. het overzicht door *H. Kappen* in „Der Forschungsdienst", Sonderheft 2 (1936) blz. 83. Voor literatuuropgaven kan verwezen worden naar *O. Flieg,* Zeitschr. f. Pflz. Ern. Düng. u. Bodenk. *38,* 222 (1935).

daarvan in het P-getal en het P-citr cijfer zal terugvinden. De gegevens, die wij tot nog toe van groenbemestingsproefvelden gezien hebben, toonen onzes inziens geen „mobiliseerende" invloed van de groenbemesting aan.

§ 13. *Fosfaathuishouding en micro-organismen.*

In de literatuur treft men herhaaldelijk uiteenzettingen aan, waarin betoogd wordt dat de micro-flora van den grond een belangrijke rol speelt bij de fosfaathuishouding [12]). Deze rol kan zoowel bestaan in het vastleggen van oplosbare P-verbindingen als in het oplosbaar maken van onoplosbare P-verbindingen. Het eerste heeft plaats wanneer aan den grond een overmaat van organische stoffen wordt toegevoegd, waardoor de micro-organismen zich snel vermenigvuldigen en in hun lichaamssubstantie P in den vorm van nucleo-proteine, lecithine e.d. vastleggen. Tijdelijk kan hierdoor het voor de plant beschikbare fosfaat afnemen; betrouwbare gegevens over den invloed van deze vastlegging op het P-getal en het P-citr cijfer ontbreken echter nog, en van erg veel belang zal dit vermoedelijk niet zijn, aangezien de totale hoeveelheid droge stof van de bacteriën-lichamen, die in de bouwvoor aanwezig zijn, op ca vijf kg geschat wordt, en dus het fosfaat slechts een gedeelte daarvan.

Andererzijds kunnen de micro-organismen een belangrijk aandeel hebben in het oplosbaar maken van onoplosbare organische en anorganische P-verbindingen. In de eerste plaats moet men daarbij denken aan de nitrificeerende bacterien, die bij de omzetting van zwavelzure ammoniak zoowel salpeterzuur als zwavelzuur doen ontstaan. Daarnaast zijn er verschillende bacterien, welke uit organische stoffen organische zuren en CO_2 vormen en hierdoor de oplosbaarheid der fosfaten doen toenemen. Recente onderzoekingen, door Dr. F. G. Gerretsen aan het Rijkslandbouwproefstation verricht, maken het waarschijnlijk, dat dergelijke bacterien vlak rond de wortels, in de zgn. rhizosfeer, een groote activiteit ontplooien, en de door de wortels aldaar afgescheiden organische stoffen voor hun omzettingen gebruiken. Geconstateerd werd daarbij o.a. dat na bemesting met beendermeel, tri- en dicalciumfosfaat de fosfaatopname van de plant door enting met bacterien met meer dan de helft toenam, vergeleken met ongeënt, en dat daarbij ook de opbrengst aan droge stof aanzienlijk steeg.

Alhoewel over den kringloop van het fosfaat-ion in den grond nog slechts een beperkt aantal goed gedocumenteerde onderzoekingen verricht zijn, mag wel met zekerheid aangenomen worden, dat de micro-organismen inderdaad daarbij een rol van beteekenis spelen, al brengt dit natuurlijk geenszins mee dat zij daarbij onmisbaar zijn of dat alle fosfaat-opname via microbieele omzettingsproducten gaat — immers ook in steriele cultuur neemt de plant gemakkelijk en vlot het fosfaat op.

---

[12]) Zie *S. Waksman,* Soil Microbiology, blz. 644—660. *J. Stoklasa* (Biochemischer Kreislauf des Phosphats-ions im Boden. Central Bl. f. Bakteriologie II, *29,* 305—519, (1911) was een van de eerste onderzoekers, die op de beteekenis van de micro-organismen voor de fosfaathuishouding in den grond gewezen heeft.

III. Fosfaathuishouding bij verschillende grondtypen.

§ 14. *Verdeeling van het fosfaat in den grond.*

Over het algemeen heeft fosfaat den naam dat het zich, in verband met geringe oplosbaarheid en met vastleggingsverschijnselen, maar weinig in den grond verplaatst en praktisch niet uitspoelt. Wij hebben daarover voor Nederlandsche gevallen een aantal gegevens verzameld en zullen enkele daarvan hier als voorbeeld aanhalen.

a. *Horizontale verdeeling.*

Waterbeweging in den bovengrond in horizontale richting is er slechts in beperkte mate; ook oplosbare meststoffen zooals de stikstof- en de kaliverbindingen verplaatsen zich horizontaal slechts weinig en langzaam. Beweging van fosfaat in horizontale richting is er dus niet veel te verwachten.

Op grasland, waar de grond niet omgewerkt wordt, zal men hierover een beter beeld krijgen dan op bouwland. Het sterkst zou dit spreken wanneer men grasland, dat nog nooit met fosfaat bemest was, eenige maanden na een fosfaatbemesting pleksgewijze ging onderzoeken: hier en daar zijn grove of fijnere korrels fosfaat neergekomen, en hebben deze zich op een klein plekje grond verdeeld door den regen, het trappen van het vee, eenige diffusie, wellicht eenige verplaatsing door aardwormen of andere dieren. Op grasland, dat herhaaldelijk met fosfaat werd bemest, zullen de toevalligheden van het uitstrooien min of meer zijn uitgewischt; maar een gelijkmatige verdeeling ontstaat daardoor niet, en vooral zullen de uitwerpselen van het vee pleksgewijs verschillen geven.

Wij hebben grasland, zoowel proefvelden (waar de fosfaatmest met zorg gelijkmatig wordt uitgestrooid) als praktijkland, pleksgewijze bemonsterd [13]); op een weiland vonden wij b.v. bij monstertjes die op afstanden telkens van 10 cm genomen werden, P-getallen die van 2 of 4 wisselden tot 12 à 13, terwijl de P-citr cijfers van ca 20 tot 60 à 80 uiteenliepen. Uit de rij van 50 waarnemingen vermelden wij hier willekeurig die om de vijf:

P-getal	4	1½	3	6	4	7½	9½	18½	5	2½
P-citr	36	16	40	51	54	43	39	86	32	26

Men ziet hieruit wel hoe verschillend op vrij korten afstand de fosfaattoestand van den grond op grasland kan zijn.

b. *Verticale verdeeling.*

Ook hieromtrent krijgt men het scherpste beeld bij grasland, waar het fosfaat bovenop komt te liggen, door het vee wat ingetrapt wordt en verder met het regenwater naar beneden kan zakken. Bemonstert men dunne laagjes, dan ziet men goed hoe sterk de fosfaatophooping in de bovenste paar centimeters is. Wij hebben dit voor een aantal gevallen nagegaan [14]), waarvan wij er hier twee aanhalen, waarbij laagjes van 2 cm dik bemonsterd werden.

---

[13]) *C. W. G. Hetterschij.* „Die Verteilung der Phosphorsäure im Boden". Die Phosphorsäure 5, 216 (1935).

[14]) Die Phosphorsäure 5, 218 (1935).

TABEL 9.

Laag	Proefveld NH 49				Proefveld Pr 98	
	Humus	P-getal	P-citr	P-totaal	P-getal	P-citr
0— 2	17	29	140	278	58	134
2— 4	15	16	141	276	44	120
4— 6	14	11	94	190	30	106
6— 8	12	5½	49	139	14	96
8—10	9	3½	36	111	10	80

Proefveld NH 49 ligt op grofzandigen vrij humeuzen grond in de Zijpe (N.H.); het humusgehalte neemt naar beneden toe sterk af, en dit is nog veel sterker het geval bij de fosfaatcijfers. Men zou misschien kunnen denken dat het verschil in humusgehalte daarbij ook een rol speelt en in de bovenste laagjes het fosfaat oplosbaarder maakt; maar het P-totaal cijfer toont dat inderdaad verreweg het meeste fosfaat in de bovenste vier centimeter ligt, al neemt de relatieve oplosbaarheid van boven naar beneden af (van 50 tot 32). Proefveld Pr 98 is een klei-grasland bij Baard in Friesland, waar ook de bovenste lagen aanzienlijk meer fosfaat blijken te bevatten dan de iets dieper gelegene.

Wat op grasland zoo sterk naar voren treedt, doordat de grond niet omgewerkt wordt, heeft op bouwland een veel geringere, maar toch nog wel eenige beteekenis: men zal altijd moeten bedenken, dat althans het pas toegediende fosfaat nog zeer ongelijkmatig over de bouwvoor verdeeld zal zijn, met hier en daar korrels of kluitjes die een fosfaatrijk plekje geven (men spreekt dan van fosfaatnesten), terwijl andere plekjes niets kregen en armer aan fosfaat zijn. Planten hebben echter in ruime mate het vermogen zich aan die plaatselijke verdeeling aan te passen: waar, in een fosfaatarmen grond, een wortel op een fosfaatrijk plekje stuit, gaat die zich sterker vertakken (morphologische compensatie), terwijl tevens per eenheid van actieve wortelzone meer fosfaat opgenomen wordt (physiologische compensatie) [15]). De plaatselijke ophooping van fosfaat in den grond behoeft — wanneer het niet al te sterk gelokaliseerd is — dus geen bezwaar te zijn; men heeft zelfs wel verondersteld, dat het een voordeel kan zijn om het fosfaat niet gelijkmatig over de bouwkruin te verdeelen, maar het in rijen (voortjes) of bij de afzonderlijke planten te geven: plaatselijk zal dan de vastlegging in hooger mate overwonnen en meer fosfaat makkelijk beschikbaar zijn. Vooral in Amerika heeft men aan het gelokaliseerd toedienen van fosfaat veel onderzoek gewijd; ten onzent leidden de proeven nog niet tot hooge verwachtingen.

§ 15. *Laagsgewijze onderzoek; mengmonsters.*

De uiteenzetting in § 14 werpt een duidelijk licht op de beperkte beteekenis die gemengde grondmonsters hebben, wanneer men dieper in de fosfaathuishouding van bodem en plant wil doordringen. Voor de praktijk is de gebruikelijke wijze van monsternemen bevredigend en de eenig rationeele; men kan toch de mest niet anders afmeten en uitstrooien dan per perceel, met misschien eenige correctie voor bekende slechte plekken. Bij deze globale

[15]) Dit onderwerp, waarover *Dr. M. A. J. Goedewaagen* reeds kort bericht heeft, zal door hem in een uitvoeriger publicatie behandeld worden.

werkwijze past een globale bemonstering; het heeft geen zin om voor praktijkonderzoek nauwkeuriger en uitvoeriger te bemonsteren en te analyseeren dan voor de maatregelen, die men op grond daarvan zal nemen, noodig is. Maar wil men den aard der verschijnselen leeren verstaan en hun verband leeren kennen als algemeene basis voor de adviezen en het verder onderzoek, dan dient men wel te differentieeren.

Daarbij heeft men te rekenen met het feit, dat een mengmonster van lagen, zooals wij die in § 14 beschreven, niet de gemiddelde fosfaatcijfers geeft zooals men die uit de cijfers voor de afzonderlijke lagen zou berekenen. Fosfaat uit de bovenlaag, die daarvan veel bevat en het fosfaat gemakkelijk oplosbaar houdt, komt bij het mengen in aanraking met diepere lagen, die fosfaat vastleggen: het cijfer, dat bij een mengmonster van alle lagen gevonden wordt, valt lager uit dan het berekende. Duidelijk blijkt dat uit de volgende voorbeelden, waarbij op grasland lagen van 1 cm dikte afzonderlijk bemonsterd werden en tegelijk, vlak ernaast, de laag 0—10 cm in zijn geheel bemonsterd en onderzocht werd.

TABEL 10.

Laag	I		II	
	P-getal	P-citr	P-getal	P-citr
0— 1	12	46	10	56
1— 2	12½	46	7	58
2— 3	4½	32½	4+	48
3— 4	3	32	4	51½
4— 5	3+	16	2	43½
5— 6	1	7	2—	34½
6— 7	1+	5½	1½	18½
7— 8	+	0	½	13½
8— 9	+	0	0	8
9—10	0	0	+	7
gemiddeld	3.7	19	3.1	34
laag 0—10	1	12½	1	21
ineens				

Reeds veel eerder (zie Jaarverslag van het Bedrijfslaboratorium voor Grondonderzoek 1929-30) was de ervaring opgedaan, dat men te lage cijfers krijgt voor den fosfaattoestand, wanneer men bij grasland de laag 0—10 of 0—15 cm als één geheel bemonstert, en was het voorschrift gegeven om steeds de laag 0—5 cm afzonderlijk te bemonsteren en de zode (na kort afsnijden) er in te laten: verwijdert men grasjes, dan gaat daarmee een deel van de fosfaatrijkste grond verloren en vallen de cijfers te laag uit.

Bij bouwland, waar de bouwvoor door de grondbewerking gemengd wordt, ligt het geval anders; wel is waar heeft het mengen door een enkele keer ploegen nog maar heel weinig om het lijf, maar op den langen duur wordt toch een behoorlijke dooreenmenging verkregen. Voor gewone bemonstering heeft verdeeling van de bouwvoor in lagen geen zin; alleen bij bepaalde problemen (b.v. de verplaatsing van het fosfaat, zie § 16 en 17) zal men ook hier in lagen bemonsteren.

§ 16. *Beweeglijkheid van fosfaat in dalgrond.*

De in de beide vorige paragrafen gegeven voorbeelden versterken ten zeerste de opvatting dat het fosfaat zich maar zeer langzaam in den grond verplaatst, ook in benedenwaartsche richting. Toch zou men verkeerd doen dit als een regel zonder uitzondering te beschouwen.

In de eerste plaats geldt dit in veel minder sterke mate voor gronden, die het fosfaat weinig vastleggen. In dalgrond b.v., en vooral in nieuwen dalgrond, is het fosfaat zeer beweeglijk, zelfs zoo dat het drainwater er merkbare hoeveelheden van bevat. Op de Proefboerderij te Emmercompascuum constateerden wij, dat de verliezen in het drainwater per jaar 15—30 kg/ha P_2O_5 konden bedragen. Het als kunstmest gegeven fosfaat verplaatst zich uit de bouwvoor dan ook zeer merkbaar naar diepere lagen, zooals o.a. de volgende cijfers [16]) leeren.

TABEL 11.

	P-getal			P-citr			P-totaal
	bouwvoor	10-20 cm	20-30 cm	bouwvoor	10-20 cm	20-30 cm	bouwvoor
geen fosfaat ..	2	7	14	6	8	19	18
100 kg/ha P_2O_5	12	14	15	27	15	14	39
200 kg/ha P_2O_5	21	25	33	47	27	28	57

De bouwvoor op proefveld Pr 87 te Emmercompascuum (een mengsel van zand en veen) is circa 10 cm dik; daaronder ligt het bonkveen, met 50—80 % humus en een pH van 4.5. Blijkens P-getal en P-citr is de laag 10—20 door de bemesting naar 100 kg/ha P_2O_5, die bij de bemonstering zes jaar was toegepast, al merkbaar in fosfaatgehalte gestegen: de cijfers zijn ongeveer verdubbeld, en door zes jaarlijksche bemestingen naar 200 kg/ha P_2O_5 nog eens verdubbeld. Bij de laag 20—30 is door de bemesting naar 100 kg/ha nog geen, door die naar 200 kg/ha echter wel een merkbare toename te constateeren.

Merkwaardig is dat beide ondergrond-lagen bij dit grondtype nagenoeg gelijke cijfers voor P-getal en P-citr geven. De uit veen en zand bestaande bouwvoor geeft de normale verhouding te zien. De pH van den ondergrond kan men er niet verantwoordelijk voor stellen, dat water evenveel fosfaat in oplossing brengt als 1 % citroenzuur: deze is 4.5, dus wel laag, maar niet lager dan op vele zandgronden waar het P-citr vele malen grooter is dan het P-getal. Men zal wel mogen aannemen dat de aanwezigheid van turfachtig veen, dat grootendeels dezen ondergrond vormt, de oorzaak is van de groote oplosbaarheid van fosfaat in het waterig extract. Men heeft hierin tevens de verklaring voor de belangrijke fosfaatverliezen in het drainwater.

§ 17. *Verplaatsing van fosfaat in zandgrond.*

Dat het fosfaat in nieuwen dalgrond, met zijn in den ondergrond zoo aanzienlijk fosfaat-oplossend vermogen, niet vast ligt

[16]) Zie voor verdere gegevens *O. de Vries* en *C. W. G. Hetterschij.* „Beweglichkeit der Phosphorsäure im Boden", Zschr. Bodenk. u. Pflanzenern. *2*, 178 (1937).

maar in beweeglijkheid op de stikstof- en kaliverbindingen gaat lijken, is begrijpelijk en in de vorige paragraaf duidelijk gebleken. Maar ook in sterk vastleggenden zandgrond blijkt het fosfaat niet zoo onbeweeglijk als men geneigd zou zijn te denken. Zoowel bij potproeven (dus met gelijkmatig ingebrachten grond) als op proefvelden vonden wij bij zandgronden met 80 en 98 % vastlegging een merkbare verplaatsing van fosfaat uit de bouwvoor, waarmee het gemengd was, naar diepere lagen. Wij moeten voor de uitvoerige cijfers voor verschillende proeven naar de desbetreffende mededeelingen [17]) verwijzen, en halen hier alleen een serie P-totaal cijfers aan voor een proefveld (Pr 259) op heide-ontginning, nadat dit voor de eerste maal een bemesting met dicalciumfosfaat gekregen had, die door omwerken met de greep met de ca 10 cm dikke bouwvoor vermengd werd.

Opeenvolgende bemonsteringen bij proefveld Pr 259 in lagen van 2 cm dikte gedurende een periode dat geen grondbewerking plaats had en alleen op 20 Sept. de aardappels gerooid werden, gaf:

TABEL 12.

kg/ha P_2O_5	0	600				900			
Bemonstering	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3	6/6	28/6	16/9	30/3
Laag 0— 2	17	140	122	125	102	198	156	170	120
2— 4	15	55	52	77	125	90	60	146	148
4— 6	13	18	26	38	86	36	30	64	96
6— 8	13	23	23	24	45	19	18	31	58
8—10	14	14	17	16	21	18	15	19	29
10—12	15	14	15	15	17	13	15	17	21
12—14	16	17	17	15	17	18	15	15	18
14—16	15	—	—	16	17	—	—	14	17
0-10		250	240	280	379	361	273	450	467

Men ziet duidelijk hoe het fosfaat zich gaandeweg uit de bovenste laag, waar verreweg het meeste ervan bij het zeer onvolledig mengen met de greep was blijven liggen, verplaatst naar de twee of drie volgende lagen van 2 cm dikte. In de laag 8—10 cm neemt het fosfaatgehalte ten slotte nog merkbaar toe; daaronder dringt het fosfaat niet of slechts zeer weinig door.

Dergelijke verplaatsingen van fosfaat vonden wij bij een proef in betonnen vakken van 25 bij 25 cm, gevuld met een ijzerhoudenden zandgrond van de Proefboerderij Heino. Het fosfaat werd hier goed met de bouwvoor van 12½ cm dikte gemengd; zoowel ondergrond (17½ cm van denzelfden grond, waaronder humusarm geel zand) als bouwvoor waren natuurlijk zeer regelmatig in de vakken ingevuld, en er was geen sprake van klompen, kluiten, barsten of gangen, die te velde, ook op een proefveld, misschien eenigermate een rol gespeeld kunnen hebben. Wij bemonsterden hier lagen van telkens 3 cm dikte onder de bouwvoor en vonden o.a. de volgende cijfers voor P-totaal.

[17]) *O. de Vries* und *C. W. G. Hetterschij*. Der Phosphorsäure-Haushalt im Heidesandboden (1936) blz. 12, 15, 22, 26, 54 (afzonderlijk uitgegeven brochure, verkrijgbaar bij het Rijkslandbouwproefstation te Groningen). Verder ook „Fosfaathuishouding in een ijzerhoudenden zandgrond", door *O. de Vries* en *C. W. G. Hetterschij*, Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen. *43*, 1937.

TABEL 13.

kg/ha P_2O_5	0	900	1800	3600
bouwvoor	122	150	207	321
ondergrond 0— 3	122	140	210	179
3— 6	119	118	149	156
6— 9	120	115	131	174
9—12	121	118	141	162
12—15	122	114	134	150

De laag vlak onder de bouwvoor kon, doordat de grens niet aangegeven was en er eenige inklinking had plaats gevonden, niet altijd geheel zuiver teruggevonden worden; neemt men 0—3 als een mogelijk gemengde laag, dan blijkt toch duidelijk dat er in de daaronder gelegen lagen een toename van fosfaat heeft plaats gevonden, grooter en dieper naarmate met meer fosfaat bemest was.

Hoe deze verplaatsing van het fosfaat plaats vindt, is nog niet opgehelderd. Men kan denken aan een mechanische inspoeling van mestkorreltjes (die bij de groote mestgiften zeker nog langen tijd aanwezig zullen zijn gebleven) of aan fosfaat dat bij de grootste mestgift, die een vrij hoog P-getal veroorzaakte, in het bodemvocht omlaag gevoerd en in diepere, fosfaatarme lagen is vastgelegd. Nader onderzoek zal moeten uitmaken wat er precies heeft plaats gehad.

§ 18. *Directe en geleidelijke vastlegging.*

Op vele gronden gaat het zoo, dat in oplosbaren vorm toegevoegd fosfaat (als het voldoende door den grond verdeeld is en er in aanraking mee komt door voldoende vocht) praktisch direct is vastgelegd, of juister dat de oplosbaarheid direct tot de voor dien grond geldende grens is teruggebracht. Dient men op een vastleggenden zandgrond fosfaat toe, werkt dit behoorlijk in en neemt kort daarna een monster, dan vertoont dit al dadelijk dezelfde lage P-getallen als men na eenige weken of maanden vindt. B.v.

TABEL 14.

Pr 113, heide-ontginning; met fosfaat bemest 2 Dec. 1931.

Bemesting kg/ha P_2O_5	0	200	400	600	900
P-getal, 2 Dec. 1931	0	0	0	1	2½
5 Jan. 1932	0	0	½	1½	3
20 April 1932	0	0	½	1½	2½
27 Sept. 1032	0	0	½	2	2½
P-citr, 20 April 1932	7	16	23	40	51
27 Sept. 1932	6	17	25	40	45
P-totaal, 20 April 1932	18	32	39	57	74

Het P-getal stelt zich dus direct op het definitieve cijfer in en blijft verder binnen de waarnemingsfouten onveranderd. Echter moet men daarbij bedenken dat men bij de analyse 5 gr van het goed gemengde monster met 50 cc water omschudt en gedurende 24 uur laat staan: tijdens de analyse vindt er dus een homogeniseeren en dooreenmengen plaats, en het is mogelijk dat het in den grond zelf nog niet zoo ver gekomen was en dat daar van plekje

tot plekje de fosfaattoestand nog verschillend was, overeenkomstig de verhoudingen die wij in § 14 beschreven en door tabel 9 illustreerden.

Gaat men hierop dieper in, dan blijkt inderdaad tijdens de analyse een vastlegging of oplosbaarheidsbeperking plaats te vinden tot dezelfde grens als in den grond te velde. Mengt men drogen grond met droog fosfaat en onderwerpt men dit mengsel, waarin het fosfaat dus nog niet met den grond heeft kunnen reageeren, aan de analyse, dan vindt men cijfers die vrijwel overeenkomen met wat men bij den grond te velde na eenigen tijd van inwerken vindt. B.v.

TABEL 15.

Toegevoegd in P-eenheden	40	60
P-getal bij droog mengsel	2	5
P-getal op proefveld, na eenige uren	1	2½
P-getal op proefveld, na 10 maanden	2	2½

Van de 40 resp. 60 P-eenheden, die werden toegevoegd, vond men er dus bij de analyse slechts 2 resp. 5 terug, zoodat tijdens de analyse de oplosbaarheid reeds in die mate teruggedrongen was. In de praktijk zal men natuurlijk niet kort na de bemesting den grond bemonsteren en zal dit verschijnsel dus praktisch geen rol spelen; toch zal men erop bedacht moeten blijven, dat de toestand in den grond niet zoo eenvoudig behoeft te zijn en dat er, zij het tijdelijk, plekjes voor kunnen komen waar toevallig veel fosfaat terecht kwam en de fosfaattoestand gunstiger was dan bij het doorsnee-monster.

Tabel 14 en 15 toonen tegelijkertijd, dat bij den grond van Pr 113 het P-getal na de bemesting gedurende maanden constant blijft. Bij grootere fosfaatgiften hebben wij op dienzelfden grond wel een dalen van het P-getal na verloop van tijd waargenomen, maar dan daalde het P-citr en het P-totaal ook en had er dus verplaatsing van fosfaat plaats, zooals wij die in § 17 beschreven. De proeven geven geen zekerheid of er bij dezen grond een langzame vastlegging plaats vindt. Dit is wel het geval op den ijzerhoudenden zandgrond van Heino, die wij voor een uitvoerige proef gebruikten. Wanneer wij de proef in een glazen vat deden, om verplaatsing van fosfaat buiten te sluiten, vonden wij b.v. de volgende cijfers

TABEL 16.

Fosfaatgift kg/ha P_2O_5	na:	1 dag	2 dagen	1 week	1 maand	3 mnd.	6 mnd.
900	P-getal	10	7½	5	4	3	2
	P-citr	60	54	52	44	38	45
2400	P-getal	30	25	22	16	16	10
	P-citr	130	118	125	119	90	100

Dus een zeer duidelijke en geleidelijke afname in P-getal naast een veel minder groote en wat minder regelmatige daling in P-citr.

Bij dezen grond vindt dus, naast de oplosbaarheidsbeperking die direct bij de menging van fosfaat en grond ontstaat, nog een geleidelijke, zeer aanzienlijke vastlegging plaats, die men vrijwel zeker aan omzettingen tusschen fosfaat en ijzer zal mogen toeschrijven.

§ 19. *Voorraadsbemesting en versch fosfaat.*

Bij de fosfaatbemesting is het een oude stelregel om geregeld elk jaar wat fosfaat te geven, ook al is de grond er door overschotten van vorige jaren geleidelijk al ruim van voorzien. Fosfaatbemesting is niet duur; men weet dat slechts een gedeelte ervan de plant ten goede komt, een ander gedeelte wordt vastgelegd; men wil, om een vol gewas te krijgen, de plant in alle groeistadien gaarne ruim voorzien houden, en men bedenkt dat het overschot toch niet verloren gaat, zij het dan dat het door vastlegging voor de plant minder makkelijk toegankelijk en ten deele misschien vrijwel ontoegankelijk wordt. Deze stelregels geven ongetwijfeld in hoofdzaak een gezonde bedrijfseconomie, alhoewel men, als onze kennis van de fosfaathuishouding van diverse grondtypen toeneemt, wat meer naar grondsoort zal moeten gaan differentiëeren en op verstandige wijze tot nadere regels zal moeten komen. Verschillende onderzoekingen hebben al eenig nader licht gebracht, b.v. over de gebruikelijke praktijkhoeveelheden tegenover een wat zuiniger berekende aanvullingshoeveelheid (onttrekking door de voorafgaande oogst plus een zekere toeslag). Wij zullen over dit punt hier niet in het algemeen uitweiden, maar alleen nog eenige cijfers noemen van onze proeven met den ijzerhoudenden zandgrond van Heino, waarbij ten eerste onderzocht werd hoeveel fosfaat er wel gegeven moest worden om het vastleggend vermogen van den grond af te stompen, en ten tweede werd nagegaan of, wanneer door een zeer ruime fosfaatbemesting een behoorlijk P-getal was bereikt, het gewas zonder jaarlijksche toediening van versche fosfaatmest een tijd lang op dien voorraad kon teren.

Het vastleggingscijfer op dezen grond bleek niet eens zoo erg hoog: 85—88 % bij grond op het proefveld, 80% bij den grond die wij voor vakkenproeven gebruikten, terwijl het op de heideontginning te Hooghalen (Pr 113 en Pr 122) 98 % was. Door flinke doses fosfaatmest nam het vastleggingscijfer ook zeer merkbaar af; b.v.

TABEL 17.

kg/ha P_2O_5 totaal toegediend	0 —	150 1932	600 1932	1200 1933	1800 1932	2700 1934	3600 1934
Vastlegging op 25 Mei 1934	80	85	75	75	65	70	55
7 Maart 1935	80	80	75	70	65	55	50
10 Sept. 1935	80	80	75	65	65	50	45
3 Sept. 1936	80	80	80	70	70	65	60

De groote giften, die ten deele pas toegediend werden toen de proef al een paar jaar liep, hebben het vastleggend vermogen van den grond dus aanvankelijk merkbaar doen afnemen en het tot 45 à 50 teruggebracht, een waarde die men ook bij vrij weinig

vastleggenden grond aantreft en die zelfs bij dalgrond [18]) gevonden wordt. Maar zooals men in Tabel 17 ziet stijgt het cijfer dan weer tot 60 à 65, door geleidelijke verdere vastlegging.

Wij vermelden nog even de P-getallen, van de in Tabel 17 bedoelde monsters, die de verhoudingen aardig illustreeren.

TABEL 18.

kg/ha P_2O_5 totaal toegediend	0 —	150 1932	600 1932	1200 1933	1800 1932	2700 1934	3600 1934
P-getal op 25 Mei 1934	½	1	2	3½	6	20	27
7 Maart 1935	0	½	2	4	5½	18	24
10 Sept. 1935	0	0	½	3	4	15	19
3 Sept. 1936	0	0	1	3	3	10	15

De P-getallen vertoonen dus een geleidelijke afname, zooals wij die voor speciale proeven al in Tabel 16 beschreven.

De verkregen gegevens gaven ons aanleiding om voor te stellen, op het betrokken perceel van de Proefboerderij te Heino een proefveld aan te leggen met een voorraadsbemesting naar 2000 kg/ha P_2O_5, dus 5000 kg fosforzure voederkalk per hectare. De vastlegging daalde daardoor van 85 % tot 65 % (om echter na twee jaar weer tot 80 % terug te loopen); het P-getal steeg van 1 tot 7 à 8 en het P-citr van 12 tot 55. Toch vertoonden de granen (eerste oogst haver in 1934; wintertarwe in 1936) niet veel invloed van deze voorraadsbemesting tegenover het object dat per jaar naar 75 kg/ha P_2O_5 in den vorm van superfosfaat, zonder dat er voorraad gegeven was, bemest werd; de aardappelen in 1935 gaven duidelijk resultaat te zien, maar waren naast de enorme voorraadsbemesting toch nog dankbaar voor een gift aan versch fosfaat.

TABEL 19.

PO 53, aardappelen (Triumf) in 1935.

	Opbrengst knollen, q/ha	Zetmeel, q/ha	% P_2O_5 in knollen
geen voorraad, 75 kg/ha versch ..	381=100	59=100	0.42
2000 kg/ha voorraad	415 109	68 115	0 62
idem met 75 kg/ha versch	445 117	74 125	0.62

Een zeer duidelijk effect werd verkregen bij de reeds meermalen aangehaalde uitvoerige proeven op twee typen van fosfaatvastleggenden zandgrond. Bij beide werd, nadat eenige jaren fosfaat in opklimmende hoeveelheid gegeven was, een deel der objecten op nawerking gelaten, terwijl een ander deel versch fosfaat ontving. Bij den ijzerhoudenden zandgrond van Heino was dit, gelijkelijk voor alle vakjes, 100 kg/ha P_2O_5 in den vorm van fosforzure voederkalk; dit gaf de volgende resultaten:

[18]) Zie *F. van der Paauw.* Verslagen van Landbouwkundige Onderzoekingen No. *41*, 1935 tabel 7, p. 289. Alle cijfers voor dalgrond zijn daar van die grootte.

TABEL 20.

Totaal toegediend fosfaat, kg/ha	600	1200	1800	2400	3600
Opbrengst					
1935 met versch fosfaat	135	131	152	152	153
idem op nawerking	109	126	155	150	150
1936, twee jaar versch fosfaat	216	208	265	254	229
idem, twee jaar op nawerking	156	148	246	227	211
P-getal in Sept.					
1935 met versch fosfaat	2	3	7	8	22
idem op nawerking	½	2	6	7	19
1936, twee jaar versch fosfaat	2	2½	6	6	16
idem, twee jaar op nawerking	½	2	3½	4	15

De opbrengst is dus in 1935 na de toediening van 100 kg/ha P_2O_5 versch in alle gevallen op één na iets hooger, en in 1936 na twee giften van 100 P_2O_5 steeds duidelijk hooger dan bij de veldjes, die op nawerking lagen. De P-getallen worden door de toediening van de versche mest met een of enkele eenheden verhoogd, ook nog na afloop van den oogst bij bemonstering in September.

Bij de proef op heidegrond werden, toen de proef een jaar liep, de verschillende, opklimmende fosfaatgiften op een deel der perceeltjes een jaar uitgesteld; versch tegenover nawerking had daarbij dus betrekking op toenemende giften. Nemen wij de perceeltjes er uit, die in totaal evenveel fosfaat ontvingen, dan krijgen wij b.v. de volgende vergelijkingen [19]) voor de aardappel-opbrengst in 1934.

TABEL 21.

Totaal P_2O_5, kg/ha	200	400	800	1200	1800
Opbrengst					
helft in 1932, helft in 1933 (nawerking in 1934)	1.9	3.1	3.6	6.4	6.6
helft in 1932, helft in 1934 versch in 1934)	2.6	5.1	7.6	7.8	8.2
P-getal					
helft in 1932, helft in 1933 (nawerking in 1934)	0	1	1	2	3
helft in 1932, helft in 1934 versch in 1934)	0	0	1	5	8½

Dus een zeer duidelijk grootere opbrengst, wanneer de tweede gift versch gegeven was, ook bij de kleinere giften, waarbij dit op het P-getal geen invloed had.

IV. Reactie van het gewas in opbrengst en samenstelling.

§ 20. *Verband tusschen opbrengst en P-getal resp. P-citr.*

Overziet men de complicaties, die er bij de fosfaathuishouding in den grond zijn, dan valt het mee, dat er op betrekkelijk zoovele proefvelden toch een vrij nauw verband blijkt te bestaan tus-

[19]) Meer cijfers van dezelfde strekking zijn te vinden in de onder noot 17 aangehaalde brochure, op blz. 8 tabel 8, blz. 28 tabel 34, en blz. 34 tabel 41.

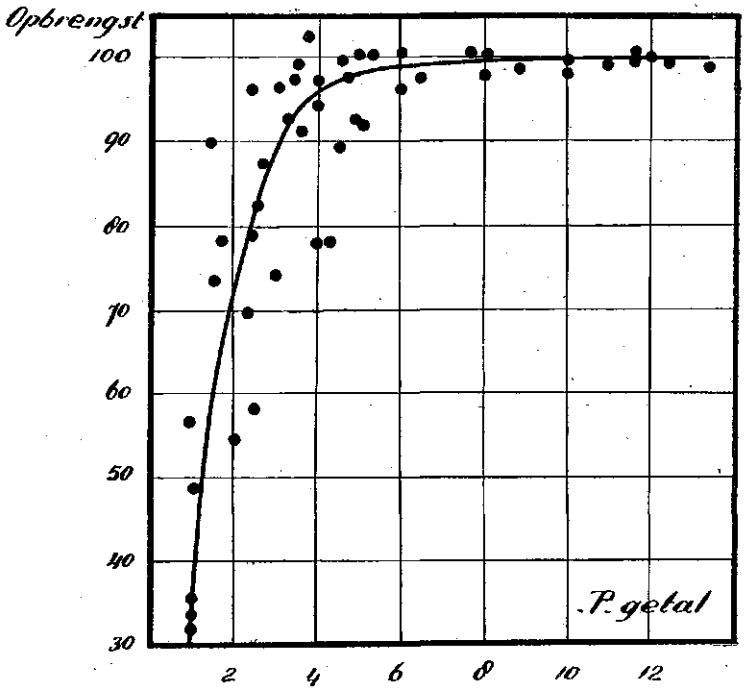

Fig. 8. Zetmeelopbrengst van aardappelen en P-getal bij eenige proefvelden op nieuwen dalgrond te Emmercompascuum.

schen de opbrengst en het P-getal resp. het P-citr. Voor jongen dalgrond met zijn betrekkelijk eenvoudige fosfaathuishouding kunnen de resultaten worden samengevat in de grafieken 8 en 9, waarbij voor drie proefvelden te Emmercompascuum de zetmeel-

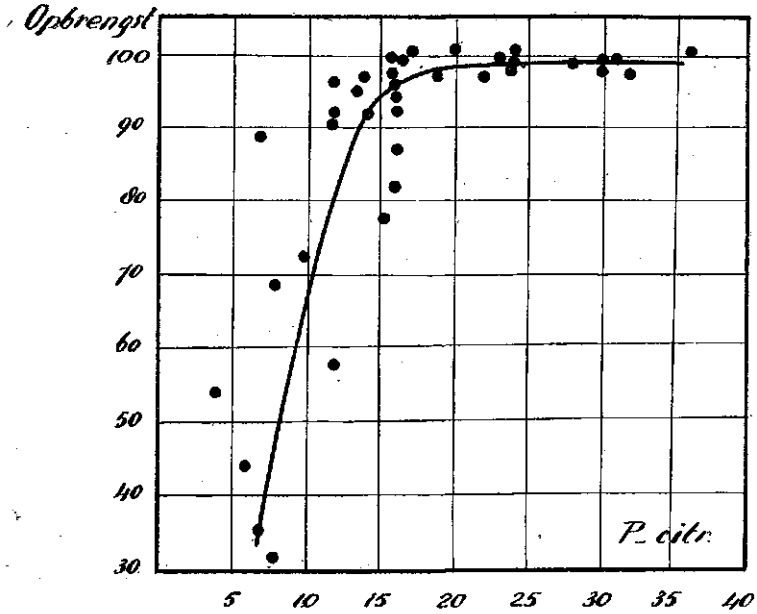

Fig. 9. Zetmeelopbrengst van aardappelen en P-citr bij eenige proefvelden op nieuwen dalgrond te Emmercompascuum.

opbrengstcijfers bij aardappelen voor de verschillende objecten (opklimmende fosfaattrappen) en voor eenige proefjaren zijn afgezet tegen de cijfers, die het grondonderzoek gaf. Daarbij is vóór elk jaar de hoogste opbrengst gelijk honderd gesteld, zoodat de verschillende jaren in één grafiek konden worden samengebracht. Zooals men ziet vallen de punten in een betrekkelijk smalle strook, waardoor zich zeer goed een gemiddelde lijn laat trekken die het verband tusschen de respectievelijke grootheden aangeeft.

De lijnen in Fig. 8 en 9 geven aan, dat bij een P-getal van 6 à 8 of hooger, en bij een P-citr. cijfer van 20 à 25 of hooger de oogsten maximaal zijn, zoodat het geen zin heeft door fosfaatbemesting deze cijfers hooger op te voeren en men, bij perceelen met hooger cijfers, na kan gaan of men de fosfaatbemesting een of meer jaar weg kan laten, dan wel met een geringe aanvulling van versch fosfaat kan volstaan. Een basis voor de keuze tusschen deze laatste maatregelen geven proeven van een opzet als Pr 87 (opklimmende hoeveelheden fosfaat, die jaarlijks gegeven worden) niet: daarvoor moeten proeven dienen over de nawerking en over de toediening van verschillende kleinere fosfaatgiften bij een opklimmende rij van fosfaattoestanden; deze proeven zijn nog niet zoo ver gevorderd dat daarover bericht kan worden. Voorloopig zal men in 't algemeen, en vooral bij fosfaatvastleggende gronden, goed doen bij matig ruime fosfaattoestanden de beteekenis van versch fosfaat, die in § 19 besproken werd, niet uit het oog te verliezen, en dus kleine hoeveelheden fosfaat jaarlijks te blijven geven; alleen bij zeer ruime fosfaattoestanden zou men de fosfaattoediening een of meer jaren achterwege kunnen laten.

Daarbij kan men zich er op baseeren dat de fosfaatonttrekking door de voornaamste gewassen omstreeks 50 kg P_2O_5 per hectare is, zooals de volgende cijfers illustreeren.

TABEL 22.

Jaarlijksche fosfaatonttrekking door eenige belangrijke gewassen.

	kg/ha P_2O_5				Totaal
tarwe	korrel	30	stroo	15	45
rogge	korrel	25	stroo	15	40
aardappelen	knol	45	loof	5	50
suikerbieten	biet	40	loof	25	65
hooi	1e snede	20	2e snede	20	50

Op soortgelijke wijze als bij de dalgrondproefvelden in Fig. 8 en 9 hebben wij de resultaten bij andere proefvelden bewerkt en in gemiddelde lijnen samengevat; voor eenige uiteenloopende grondtypen, die in deze verhandeling al meermalen zijn besproken, hebben wij deze lijnen samengebracht in Fig. 10 en 11. Men ziet dat er duidelijke verschillen zijn: bij de zandgrondproefvelden Pr 113 en OO 51 mag men de grens voor het P-getal op 3 à 4 stellen, terwijl bij den nieuwen dalgrond van Emmercompascuum en den ijzerhoudenden zandgrond van Heino pas een P-getal van 6 tot 8 als voldoende te beschouwen is, en bij ouden dalgrond het P-getal wel 10 mag zijn. Bij de P-citr. cijfers daarentegen kan men bij den nieuwen dalgrond (Pr 87 en andere proefvelden) bij

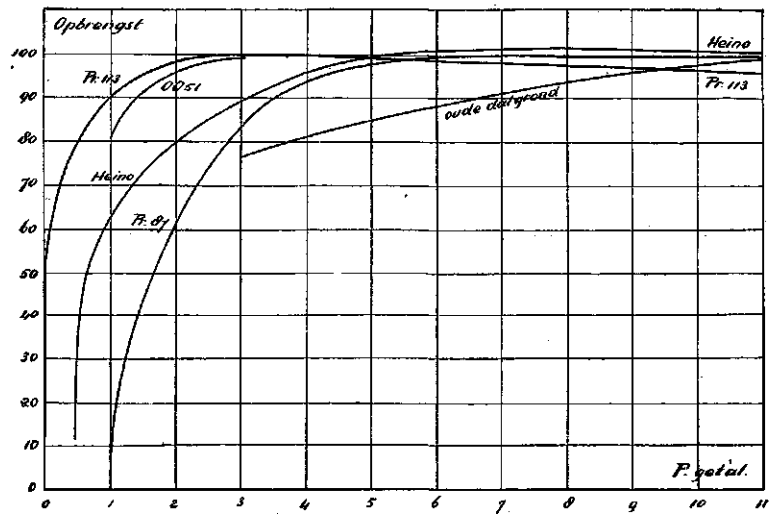

Fig. 10. Verband tusschen opbrengst en P-getal bij verschillende grondsoorten.

20—25 al tevreden zijn, maar dient men bij sommige andere grondsoorten wel b.v. 50 of hooger als eisch te stellen.

Vooral bij de grondsoorten, waar de grens voor het P-getal vrij laag ligt, heeft de bepaling van het P-citr. cijfer voordeelen: de bepalingsfout maakt dat men bij een P-getal van b.v. 3 erg voorzichtig met een conclusie zal wezen, terwijl een bijbehoorend P-citr. cijfer van 50 een veel betrouwbaarder aanwijzing geeft dat de fosfaattoestand van den betreffenden grond voldoende en besparing op de fosfaatbemesting mogelijk zal zijn.

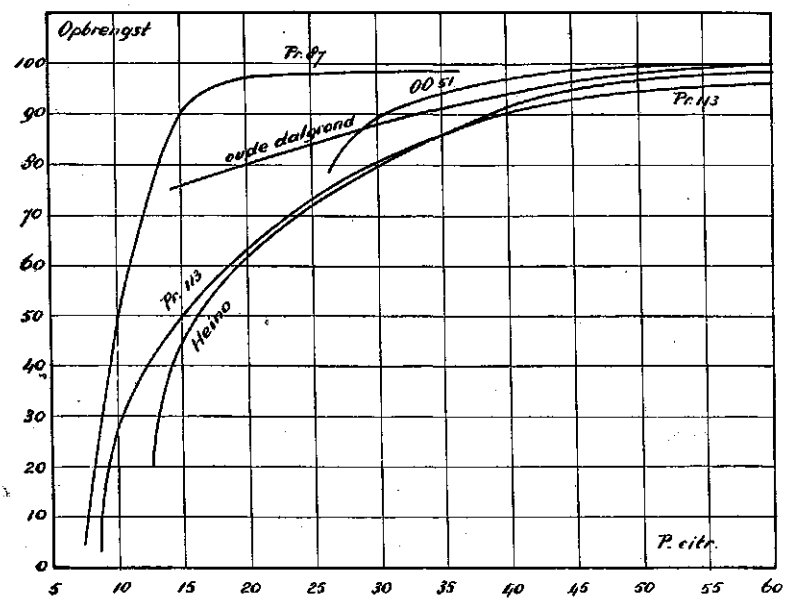

Fig. 11. Verband tusschen opbrengst en P-citr bij verschillende grondsoorten.

Het denkbeeld, dat er één grenswaarde, b.v. bij het P-getal, zou zijn die bij alle gewassen en alle grondtypen zou gelden, is zeker onjuist; bij deze chemische bepalingswijze moet men, evenals bij andere chemische bepalingsmethoden en ook b.v. bij de kiemplantenmethode volgens Neubauer, voor verschillende grondtypen verschillende grenscijfers gebruiken, die met behulp van proefvelden moeten worden vastgesteld. Voor klei- en zavelgronden b.v., waarvoor nog slechts betrekkelijk weinig proefveldgegevens ter beschikking staan, zal de grenswaarde voor het P-getal vermoedelijk bij omstreeks 1 liggen, dus nog duidelijk lager dan bij de zandgronden in Fig. 10.

Ook zal men, bij het opstellen van praktijkadviezen, rekening moeten houden met het te verbouwen gewas. Er is duidelijk verschil in het gemak, waarmee de gewassen fosfaat opnemen; zoo zal op fosfaatarmen zandgrond een tarwegewas zich nog vaak van voldoende fosfaat kunnen voorzien, waar aardappelen daartoe niet meer in staat zijn en duidelijk fosfaatgebrek vertoonen. Allerlei factoren komen daarbij in het spel; zoo de beworteling, en de pH die er ontstaat in de rhizosfeer (de zone vlak om de worteleinden, waar de haarworteltjes de voedingsstoffen opnemen) en die door het eene gewas merkbaar meer omlaag gebracht wordt dan door het andere. Alleen al de tijd van het jaar, waarin de gewassen fosfaat moeten opnemen, kan in dat opzicht van invloed

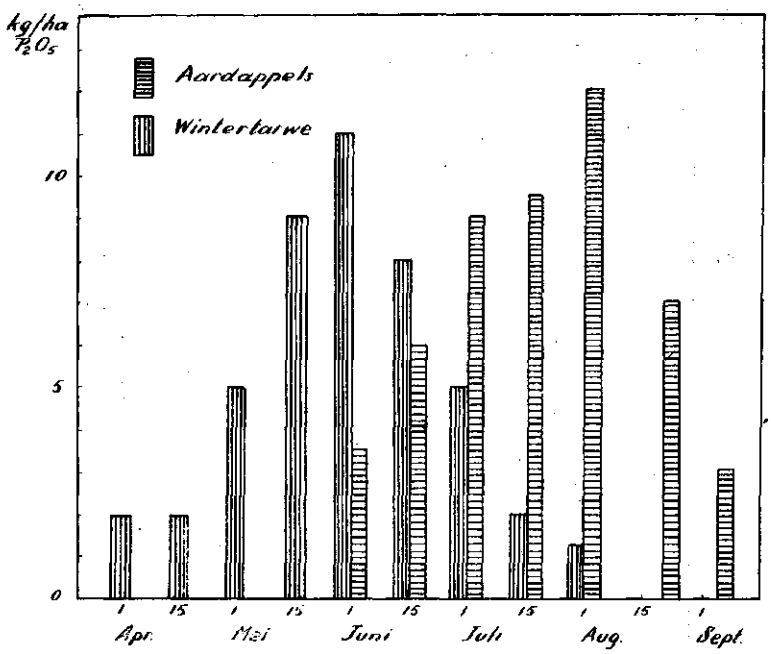

Fig. 12. Fosfaatopname gedurende veertiendaagsche perioden bij wintertarwe en bij aardappels.

zijn: Fig. 12 toont de fosfaatopname in veertiendaagsche perioden door wintertarwe en door aardappelen, en het zal duidelijk zijn dat de aardappelen bij heel wat hooger grondtemperatuur, dus bij grooter fosfaatoplosbaarheid, groeien dan wintertarwe.

§ 21. *Chemische samenstelling van het gewas.*

De fosfaatgesteldheid van den grond heeft duidelijken invloed op de chemische samenstelling van het gewas: naarmate de eerste ruimer is, neemt het gewas meer fosfaat op. Bij proefvelden met opklimmende fosfaattrappen is er in den regel een zeer duidelijk en regelmatig verband en is een bepaling van de chemische samenstelling van groot nut om de beoordeeling van de fosfaatwerking vollediger te maken; maar voor de beoordeeling van praktijkgevallen en zelfs bij een vergelijking van de fosfaathuishouding op verschillende grondtypen, heeft men er vermoedelijk minder aan, omdat door verschillende factoren het beeld dan minder duidelijk wordt.

Bij granen wordt het fosfaatgehalte van de korrel door de plant

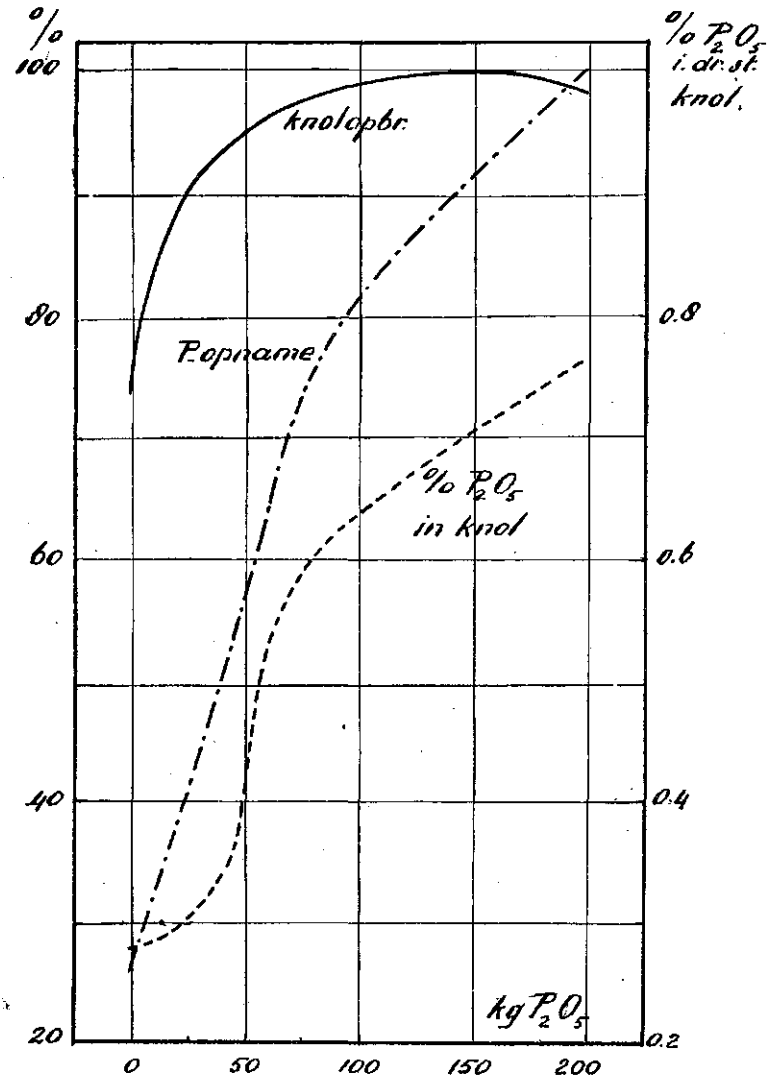

Fig. 13. Opbrengst aan aardappelknollen, hoeveelheid fosfaat in den aardappeloogst (beide in % van de hoogste oogst) en gehalte aan P_2O_5 in de knollen, bij opklimmende fosfaatgiften.

in sterke mate geregeld en naar een gewenschte norm toe gebracht, zoodat het als indicator weinig zegt; alleen bij sterk fosfaatgebrek bevat de korrel minder fosforzuur dan normaal. Het fosfaatgehalte van het stroo spiegelt duidelijker de verschillen in fosfaatgesteldheid van den grond af, maar de verschillen zijn gewoonlijk klein: bij het oogsten is het grootste deel van het fosfaat naar de korrel afgevoerd, en de gehaltecijfers in het stroo zijn laag, waardoor er slechts kleine verschillen bij verschillende fosfaatgesteldheid optreden.

Groot onderscheid vindt men, wanneer men de geheele plant in groenen toestand vóór het schieten onderzoekt. De moeilijkheid hierbij is echter, dat gedurende de periode van opkomen tot doorschieten het fosfaatgehalte van de graanplanten sterk daalt, zoo sterk dat, bij vergelijking van de fosfaatgehalten van planten in eenigszins uiteenloopende groeistadia, de hierdoor veroorzaakte verschillen, de door het onderscheid in fosfaatgesteldheid veroorzaakte verschillen gemakkelijk kunnen overdekken. Hetzelfde geldt voor het onderzoek van gras op fosforzuurgehalte [20]).

Beter aanwijzingen krijgt men uit het fosfaatgehalte van een plantendeel als b.v. aardappelknollen; echter gaat het fosfaatgehalte niet parallel aan de knolopbrengst, maar blijft bij maximale knolopbrengst nog stijgen: er vindt dan plaats wat men luxe-consumptie noemt, zooals dat door Fig. 13 in beeld gebracht is. Men zou dus op grenscijfers aangewezen zijn; maar deze zijn, althans met onze tegenwoordige kennis en volgens onze tegenwoordige methoden, slechts globaal vast te stellen, omdat allerlei factoren er een grooten invloed op hebben. In bepaalde gevallen kan men, door onderlinge vergelijking, nut van de cijfers van het chemisch onderzoek van het gewas hebben; de cijfers van het chemisch grondonderzoek hebben het praktisch zeer groote voordeel, dat zij vooraf kunnen worden bepaald en dus bij het bemestingsadvies van den komenden oogst kunnen worden gebruikt, terwijl de chemische samenstelling van het gewas pas achteraf bekend wordt en slechts min of meer indirecte aanwijzingen voor het daarop volgende andere gewas zou kunnen geven.

Ueber den Phosphathaushalt in einigen Niederländischen Bodentypen

von

O. DE VRIES, C. W. G. HETTERSCHIJ und VAN DER PAAUW.

(Inhaltsübersicht).

Es wird eine zusammenfassende Übersicht gegeben von Resultaten und Gesichtspunkten, welche beim Studium des Phosphathaushalts in einigen Niederländischen Bodentypen gewonnen wurden. Behandelt werden:

I. *Untersuchungsmethoden.* Beschrieben und besprochen werden die Bestimmung der P-Zahl (Kohlensäure-haltiges Wasser) P-Wasser bei konstantem pH, P-Zitr (1 % Zitronensäure), einige

[20]) Zie *Th. B. v. Italie,* Landbk. Tijdschr. *47,* 17 (1935).

andere Methoden welche mit saurer Extraktion arbeiten, P-Total, Phosphatfestlegung und wiederholte Extraktion.

Tabelle I gibt die Phosphatkonzentration (mg P_2O_5 per Liter Extrakt) bei verschiedenen Verhältnissen Boden: Wasser. Tabelle 2 die pH-Zahlen, bestimmt in der gewöhnlichen Weise und erhalten bei der Bestimmung der P-Zahl. Tabelle 3 bringt Daten über die Bestimmung der Festlegungszahl. Tabelle 4 Festlegung bei steigenden Quantitäten zugesetzten Phosphats. Tabelle 5 wiederholte Extraktion mit destilliertem Wasser. Tabelle 6, mit 1% Zitronensäure.

II. *Zusammenhang zwischen den verschiedenen Grössen.* Der Zusammenhang zwischen P-Zahl und P-Zitr mit dem zugesetzten Phosphat wird von Fig. 1—4 dargestellt. Fig. 1 bei einem moorkolonialen Boden und nach jährlichen Phosphatgaben; Fig. 2 dasselbe nach totalen Phosphatgaben. Fig. 3 Zahlen für einen Phosphatfestlegenden Heidesandboden, und nach Phosphatvorrat (zugesetzt minus entzogen), Fig. 4 dasselbe bei drei verschiedenen Bodentypen. P-Zitr und P-Total zeigen bei einem Boden einen engen Zusammenhang, der schematisch in Fig. 5 abgebildet ist, mit den relativen Löslichkeiten und Grenzzahlen nach Lemmermann's Betrachtungsweise. Fig. 6 dasselbe für einige Versuchsfelder auf verschiedenen Bodentypen. Eine ähnlicher Zusammenhang zeigen P-Zahl und P-Zitr (Fig. 7).

P-Zahl und P-Zitr sind in gewissem Grade vom pH abhängig; Zahlen für ein Versuchsfeld auf altem moorkolonialem Boden in Tabelle 7, die Ernte (Ertrag, P_2O_5-Gehalt) reagiert kaum auf diese Unterschiede. Es folgen einige Bemerkungen über Phosphathaushalt und Humus- bezw. Mikro-organismen.

III. *Phosphathaushalt bei verschiedenen Bodentypen.* Die ungleichmässige Verteilung des Phosphats im Boden in horizontaler Richtung und in senkrechter Richtung wird bei Grasland gezeigt (Tabelle 9 und 10). Die Beweglichkeit des Phosphats in moorkolonialem Boden (Tabelle 11) und Sandboden (Tabelle 12, 13) wird besprochen. Die sofortige und die allmählige Festlegung werden behandelt (Tabellen 14—16), und die Bedeutung von frischem Phosphat neben derjenigen einer Vorrätsdüngung (Tab. 17—21).

IV. *Einfluss auf Ertrag und Zusammensetzung der Pflanze.* Der Zusammenhang zwischen P-Zahl bezw. P-Zitr und Ertrag (Stärke) ist in Fig. 8 und 9 abgebildet für einige Versuchsfelder auf neuem moorkolonialem Boden, in Fig. 10—11 für Versuchsfelder auf verschiedenen Böden, während Fig. 13 einiges über die Zusammensetzung der Kartoffeln (Knollen-Ertrag, % P_2O_5 in den Knollen, Phosphat-Aufnahme) bringt.

Die experimentellen Daten sind teilweise in den in den Fussnoten angegebenen Publikationen enthalten.