

# Studier over Jordens Fosforsyreindhold.

## IV. Det organisk bundne Fosfor.

Af P. Damsgaard-Sørensen.

### Indledning.

De Metoder af rent kemisk Natur, som for Tiden er i Brug ved Bestemmelse af det for Planterne tilgængelige Fosfor i Jordbunden og bruges som Grundlag for Gødskningsvejledningen, er praktisk talt alle baseret paa en Ekstraktion og Bestemmelse af en større eller mindre Del af den paagældende Jords Indhold af uorganiske Fosforforbindelser. De analytiske Metoder, der anvendes, er i overvejende Grad Modifikationer af den kolorimetriske Bestemmelse af Ortofosforsyre ved Hjælp af Molybdænsyre i Forbindelse med passende Reduktionsmidler.

Ved disse Metoder bestemmes kun Fosfor, der er tilstede i Jorden eller Jordekstrakterne som Ortofosforsyre eller Ioner af denne. Meta- og Pyrofosforsyre bestemmes altsaa kun med, saafremt Metodiken er af en saadan Art, at disse Fosforsyreformer overgaar i Orto-Formen under Behandlingen. Da Meta- og Pyrofosfater imidlertid næppe forekommer i betydelige Mængder i Agerjorden, kan man i Praksis sige, at hvad der er af uorganiske Fosforforbindelser bestemmes med<sup>1)</sup>.

Anderledes er det med et Indhold af organisk bundet Fosfor, som eventuelt maatte forekomme i Jorden eller i Jordekstrakten. Mange organiske Fosforforbindelser er letopløselige i Vand eller i de Ekstraktopløsninger, der anvendes ved Jordbundsanalyser. Dog maa Størsteparten af det organiske Fosfor i Jord antages at være tilstede i saadanne Forbindelser, at det ikke opløses af

---

1) Det i uorganiske resp. organiske Forbindelser forekommende Fosfor vil i det følgende blive benævnt »uorganisk« resp. »organisk« Fosfor. Disse Benævnelser maa altsaa ikke tages som Udtryk for, at der skulde være Forskel paa Fosforet, som stammer fra de to Stofgrupper.

de lidt aktive Opløsningsmidler, som bruges ved de gængse Metoder. Men selv de, der kan opløses, vil — medmindre de hydrolyseres under Ekstraktionen — ikke paavirke Bestemmelsen af Fosforsyre.

Det er gentagne Gange vist, at forskellige organiske Fosforforbindelser er velegnede som Fosforgødning, ja endog under visse Omstændigheder kan optages direkte af Planterne. I Reglen vil de dog først nedbrydes og Fosforet frigøres som Forfationer inden Optagelsen. Der kan derfor rettes Kritik mod Anvendelsen af de kun for uorganisk Fosfor reagerende Analysemetoder — i vort Tilfælde Fosforsyretalsbestemmelsen — fordi de eventuelt derved kan blive vildledende, naar Jordens Fosforsyretrængning skal bedømmes. En Jord kan f. Eks. tænkes at indeholde meget lidt uorganisk Fosfor og maa derfor paa Grund af dens lave Fosforsyretrængning anses for at være fosforsyretrængende. Har den saa samtidig et stort Indhold af letomsættelige organiske Fosforsyreforbindelser, vil den maaske alligevel være i Stand til at forsyne en Afgroede med tilstrækkeligt Fosfor, og Jorden er altsaa med Urette af Analysen kendt fosfortrængende.

Det er tidligere konstateret, at der i vandige Ekstrakter af Jord kan forekomme ret betydelige Mængder af organisk Fosfor. Amerikanske Forskere har dog ved Vandkulturforsøg paavist, at disse Forbindelser i Reglen er helt uden Værdi som Fosforkilde for Planterne (1). De simple organiske Fosforforbindelser, som eventuelt kan optages direkte, er desuden, naar de kommer ud i Jorden, udsatte for en hurtig Mineralisering — Overgang i uorganisk Form — ad saavel kemisk som biologisk Vej (2). Det kan derfor vanskeligt tænkes, at en Jord skulde kunne indeholde større Mængder af saadanne letomsættelige Forbindelser uden samtidig at indeholde tilsvarende Mængder af disses Nedbrydningsprodukter, altsaa uorganisk Fosfor. Jordens Indhold af simple organiske Fosforforbindelser vil desuden hurtigt udtømmes, da de enten mineraliseres eller optages af Mikroorganismer.

Den nævnte Kritik kan dog ikke paa Forhaand afvises som uberettiget, især da de faa fra Udlandet stammende Forsøg paa at bestemme Jordens Indhold af organisk Fosforsyre tyder paa, at dette Indhold kan være ret antageligt i Forhold til Indholdet af uorganisk Fosfor.

Naar der ikke foreligger ret mange Bestemmelser af organisk Fosfor i Jord, er Grunden antagelig, at det paa Forhaand

maa synes uhyre vanskeligt ad analytisk Vej at faa en tilfredsstillende Adskillelse af organisk og uorganisk Fosfor. Den eneste mulige Fremgangsmaade er, at man ved Hjælp af en eller anden Ekstraktionsmetode først fjerner eller bestemmer de tilstedeværende uorganiske Fosfater og derefter med et eller andet Midde nedbryder de organiske Forbindelser, saa at det i disse værende Fosfor bliver tilgængeligt for Bestemmelse som Fosforsyre eller Fosfation.

### Den anvendte Analysemetode.

Det organiske Fosfor. Da der ikke forelaa Bestemmelser af den Art udført paa danske Agerjorder, paabegyndtes i Foraaret 1941 paa *Statens Planteavlslaboratorium* i Lyngby en Række Undersøgelser med det Formaal at skaffe et Materiale til Belysning af, hvilken Rolle det organiske Fosfor spiller i danske Jorder. Undersøgelserne blev afbrudt i 1942, men fortsattes i 1943 og 1944 ved Laboratoriets Afdeling i Vejle.

Som Udgangspunkt for Udarbejdelsen af en egnet Analysemetodik anvendtes en Fremgangsmaade angivet af *Dickman og de Turk* (3). Den gaar ud paa, at man ilter de organiske Stoffer med Brintoverilte og derefter opløser de dannede Fosfater i fortyndet Svovlsyre af passende Styrke. Mængden af uorganisk Fosfor bestemmes i en anden Jordprøve, der uden forudgaaende Iltning ekstraheres med fortyndet Svovlsyre under de samme Omstændigheder som den iltede Prøve. Det organiske Fosfor bestemmes da som Differensen mellem den iltede og den ikke iltede Prøve.

Vanskeligheden ved at faa en tilforladelig Bestemmelse ligger her i at finde den rigtige Syremængde. Hvis der anvendes for stærk Syre, vil denne virke hydrolyserende paa nogle af de organiske Forbindelser, ogsaa der, hvor intet Iltningsmiddel er tilstede. Det, man bestemmer i den ikke iltede Prøve, bliver da ikke alene Fosfor af uorganisk Oprindelse. Hvis man anvender for lidt eller for svag Syre, faar man ikke i den iltede Prøve opløst alt det Fosfat, som stammer fra Nedbrydningen af organisk Stof. Da Iltningen, som senere vist, maa foregaa i neutral eller basisk Opløsning, maa man gaa ud fra, at de dannede Fosfationer straks udfældes som Ca-, Fe- eller Al-fosfater. Ved senere Behandling med Syre vil Jorden i Reaktionsomraadet under  $\text{pH} = 4$  muligvis være anionbytende og paa den Maade fastholde Fosfationer. Endelig kan det ogsaa tænkes, at Jordens

Evne til at fastholde Fosfationer kan ændres under Iltningsprocessen, og det maa derfor anses for ønskeligt, at der anvendes saa megen Syre, at Størsteparten af Fosforsyren forekommer i Ekstrakten som udissocieret Syre.

Der udførtes en Række Forsøg med Udførelse af Iltningen i sur og basisk Opløsning. Herved opnaaedes mindre tilfredsstillende Resultater. Ved sur Iltning viste det sig vanskeligt at faa Overskudet af Brintoverilte fjernet. Da Iltningen desuden kun er tilstrækkelig effektiv, naar der opvarmes til  $100^{\circ}$ , maatte man ogsaa blive betænkelig, fordi den tilsvarende Bestemmelse af uorganisk Fosfat næppe kunde blive reproducerbar. Syren eller Basen vilde i den ikke iltede Prøve, der saa ogsaa skulde varmes, uden Tvivl føre til uønskede Nedbrydninger af organisk Stof.

Iltningen i neutral Opløsning gik imidlertid glat. Selv Tørvejord med 50 pCt. Humus eller derover kunde i Reglen tilsyneladende gøres helt humusfri ved  $\frac{1}{2}$  Times Behandling med Brintoverilte. Det var dog ogsaa her meget vanskeligt at faa Overskudet af Brintoverilte kogt bort. Dette kunde imidlertid, naar Behandlingen var endt, fjernes, ved at man til Kolberne som Katalysator satte en Smule fældet, pulveriseret Brunsten, der straks foraarsagede en fuldstændig Sønderdeling.

Efter de vundne Erfaringer udarbejdedes følgende Fremgangsmaade for Iltningen:

En Prøve paa ca. 10 g Jord pulveriseres fint i en Porcelæns-morter. Heraf afvejes 1 g paa Analysevægt. Dette bringes over i en 300 ml Erlenmeyerkolbe og tilsættes 10 ml 10 pCt. Brintoverilte (fosforsyrefri!) + 20 ml destilleret Vand. Brintoveriltens Styrke bestemmes ved Titration med  $\text{KMnO}_4$  i svovlsur Vædske.

Kolberne hensættes paa kogende Vandbad  $\frac{1}{2}$  Time til Inddampning. Herefter bringes Overskudet af  $\text{H}_2\text{O}_2$  til Sønderdeling med  $\frac{1}{2}$  Spatelfuld fældet pulveriseret Brunsten, og Kolben afkøles. Der tilsættes 5 ml 4-n  $\text{H}_2\text{SO}_4$  og fyldes op til 200 ml med dest. Vand, hvorpaa Kolberne roteres i Rysteapparat 1 Time ved ca. 30 Omdr./Min. Efter Rystningen filtreres. Filtratet prøves med Permanganat, og dets Indhold af Fosforsyre bestemmes kolorimetrisk ved Hjælp af den sædvanlige ved Bestemmelse af Fosforsyretal anvendte Metode. (Se (4)).

Prøven med Permanganat foretages for at sikre, at ethvert Spor af Brintoverilte er kogt bort. Større Spor af  $\text{H}_2\text{O}_2$  giver sig til Kende ved en kraftig gul Farve, naar Ammoniummolybdatet under Fosforsyrebestemmelsen sættes til, men smaa Mæng-

der, der ikke røber sig paa den Maade, kan ilte det senere tilsatte Stannoklorid, saa den blaa Farve bliver for svag eller helt udebliver.

Ved Anvendelse af den nævnte Mængde  $H_2O_2$  og den givne Opvarmningstid vil man, som det fremgaar af Tabel 1 og 2, opnaa en tilfredsstillende Sønderdeling af det organiske Stof. Anvendelse af mere Brintoverilte og længere Opvarmningstid giver, som det ses, ikke højere Resultater, hvorfor det maa formodes, at Iltningen er saa fuldstændig, som den den blive med Brintoverilte. Filtraterne vil, undtagen naar det drejer sig om Jorder med stort Jernindhold, være fuldstændig farveløse, og Undersøgelser af Jordrester under Mikroskop viser heller ingen synlige Humuspartikler. Der kan dog, hvor Jordens organiske Stof delvis bestaar af grove uomsatte Rodrester eller lignende, være enkelte usønderdelte Partikler af Plantematerialet tilbage. Mængden af disse kan dog reduceres stærkt ved omhyggelig Pulverisering af Prøven, en Ting som iøvrigt er paakrævet for at faa en ordentlig Gennemsnitsprøve, naar der afvejes saa lidt som 1 g. Det er tillige af *Richardson* (5) paavist, at Størsteparten af saadanne Plantepartiklers Indhold af Fosfor ved Behandling med  $H_2O_2$  alligevel gaar i Opløsning, selv om Plantematerialet tilsyneladende ikke nedbrydes. Den derved opstaaede Fejl kan derfor ikke antages at være af nogen Betydning.

Tabel 1. Opløsning af Fosforsyre med stigende Mængde Brintoverilte.

Jord Nr.	Jord	mg $PO_4$ pr. 40 g Jord opløst ved Behandling med ml 10 pCt. $H_2O_2$ :				
		2.5	5	10	15	20
4	Humusjord m. Okker, Rabsted	82.4	91.0	91.4	91.4	92.0
8713	Sandmuld, Hornum .....	75.7	78.1	81.6	80.5	80.5
8581	Lermuld, Blangsted .....	29.2	30.9	31.0	30.4	30.4

Jordens Indhold af Fosfor er i Tabel 1 og i alle følgende Tilfælde, naar ikke andet er anført, angivet i Fosforsyretalsenheder (Ft-E), d. v. s. mg  $PO_4$  pr. 40 g Jord. Naar denne Enhed er valgt, skyldes det, at man derved bliver i Stand til direkte at sammenligne de fundne Fosformængder med dem, der kommer til Udtryk i Fosforsyretallet. Med en Rumvægt paa 1.25 og 20 cm Dybde svarer en Ft-Enheder til ca. 47 kg  $P_2O_5$ , 62,5 kg  $PO_4$  eller godt  $2\frac{1}{2}$  Sæk Superfosfat pr. ha.

Det uorganiske Fosfor. De Fosforsyremængder,

Tabel 2. Opvarmningstidens Indflydelse.

Jord Nr.	mg PO <sub>4</sub> pr. 40 g Jord opløst efter Behandling med 10 ml 10 pCt. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> i Minutter:				
	10	20	30	40	50
4.....	88.0	90.6	90.3	90.6	90.0
8713.....	65.3	75.7	80.0	80.5	80.5
8581.....	26.0	30.8	31.8	31.8	31.4

som udgør de i Tabel 1 og 2 gengivne Resultater, andrager Summen af det ved Iltningen frigjorte Fosfor og den Del af det uorganiske, som er bragt i Opløsning af den Syre, der efter Iltningen er brugt som Ekstraktionsmiddel. For at bestemme Mængden af organisk Fosfor alene skal der altsaa fradrages den Mængde Fosfor, som gaar i Opløsning, hvis Prøven ikke iltes. Da tidligere Undersøgelser har vist, at Mængden af syreopløselige Fosfater stiger med Opløsningens Brintionkoncentration, maa man vente, at den til dette Formaal bedst egnede Syrestyrke er den, hvor Ændringen i Mængden af opløst Fosfat i Forhold til Ændringen i Syrestyrke er mindst mulig og helst tillige mindst muligt paavirket af de øvrige Ekstraktionsbetingelser. For at finde den for vore Forhold mest passende Syremængde udførtes saa en Række Bestemmelser af Fosforsyrens Opløselighed ved stigende Mængder Svovlsyre paa forskellige Jorder.

For at holde Fremgangsmaaden saa nær til den, der brugtes ved Iltningen, udførtes Bestemmelserne saaledes, at 1 g Jord afvejedes, anbragtes i en 300 ml Erlenmeyerkolbe og tilsattes 30 ml dest. Vand. Der opvarmedes saa paa Vandbad i 30 Min. paa samme Maade, som beskrevet for Prøverne, der iltedes. Efter Opvarmningen tilsattes 4-n Svovlsyre i de angivne Mængder + dest. Vand til 200 ml, hvorpaa der rystedes 1 Time, og Fosforsyren bestemtes saa i Opløsningen som beskrevet foran.

Der undersøgte paa den Maade en Række Jorder, men da Opløselighedskurven for dem alle forløb paa nogenlunde samme Maade, anføres kun Resultaterne for de i Tabel 1 og 2 benyttede Jorder. I Tabel 3 findes for disse Opløseligheden af Fosfor med stigende Syremængde saavel med som uden forudgaaende Iltning.

Tabel 3 fremviser det overraskende Forhold, at der for alle tre Jorder findes et ret bredt Omraade, hvor Mængden af opløst Fosfor er praktisk talt uafhængig af Syremængden. Dette tyder paa Tilstedeværelsen af en med Hensyn til Opløselighed ret vel-

Tabel 3. Behandling med stigende Syremængder.

Jord Nr.	ml 4-n H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> tilsat	Ikke iltet Ft-E	Iltet Ft-E	Organisk Ft-E
4				
Ft = 0,2	0	2.2	4.0	1.8
	2	13.5	36.4	22.9
	4	36.2	70.0	33.3
	6	51.0	91.0	40.0
	10	51.2	91.4	40.2
	20	52.5	90.6	38.1
8713				
Ft = 12,4	0	14.9	20.0	5.1
	2	35.9	70.8	34.9
	4	40.0	79.6	39.6
	6	40.0	82.0	42.0
	10	40.0	81.6	41.6
	20	43.2	81.6	38.4
8581				
Ft = 3,0	0	3,0	6,4	3,4
	2	14,0	29,8	15,8
	4	14,4	30,4	16,0
	6	14,2	31,0	16,8
	10	14,4	31,0	16,6
	20	16,0	31,8	15,8

defineret Fraktion af uorganiske Fosfater i Jorden. En Undersøgelse af flere Jorder har vist, at dette gælder ret generelt for danske Agerjorder. Naar Tilstedeværelsen af et saadant vandret Stykke paa Opløselighedskurven ikke tidligere er konstateret, skyldes det antagelig to Ting. For det første har man brugt pH som Maal for Syrestyrken, hvorved det nævnte Omraade er blevet for lille. For det andet har man haft for snævert Forhold mellem Jord og Vædske, saa at de anvendte absolutte Syremængder har givet for stor Koncentration. Man har ved Anvendelsen af disse store Syremængder ikke været opmærksom paa Jordens store Indhold af organiske Fosforforbindelser, som delvis vil hydrolyseres ved Behandlingen. De af den stærke Syre fraspaltede organisk bundne PO<sub>4</sub>-Grupper er derved bestemt med, men man har troet, at de stammede fra en delvis »Oplukning« af Jordens Mineralpartikler.

Den nævnte Fraktion af uorganiske Fosfater synes at spille en meget væsentlig Rolle for Jordens Evne til at afgive Fosfor-

syre til Planterne. Sagen vil derfor blive gjort til Genstand for en mere indgaaende Behandling i en senere Afhandling. Af Betydning for Bestemmelsen af det organiske Fosfor er det, at man under de her givne Forhold opnaar nogenlunde konstante Tal for saavel Mængden af uorganisk som organisk Fosfor ved Behandling med fra 5—10 ml 4-n  $H_2SO_4$ . Mindre Syremængder giver som ventet for smaa Tal paa Grund af en ufuldstændig Opløsning af de efter Iltningen dannede Fosfater. Ved 5—10 ml Svovlsyre er Opløsningen fuldstændig, hvilket kunde vises ved at tilsætte Prøverne en kendt Mængde Fosfat inden Iltningen. Større Mængder Syre giver ligeledes for lidt organisk Fosfor, hvilket uden Tvivl skyldes Hydrolyse i den ikke iltede Prøve, saa at der her er bestemt noget af det organiske Fosfor med.

Da det ved Jorder med Humus og Jern i større Mængde (Okkerjorder) var knebent, at 5 ml 4-n  $H_2SO_4$  var nok til at give maximal Opløsning af uorganisk Fosfor, anvendtes ved de videre Undersøgelser 10 ml 4-n  $H_2SO_4$  til 200 ml Opløsning og 1 g Jord i Stedet for de Side 4 angivne 5 ml.

Ved de videre Undersøgelser viste det sig, at Opvarmningen af den ikke iltede Prøve paa Vandbadet inden Rystningen bekvemmere kunde erstattes med en Times ekstra Rystning i Rysteapparatet. En Rystning alene i 1 Time gav i nogle Tilfælde for lave Resultater, og det synes derfor, som om en vis Udblødning er nødvendig, men denne naas altsaa lige saa godt ved at forlænge Rystetiden med en Time som ved at lade Kolberne staa paa Vandbadet sammen med Prøverne, som skal iltes. En længere Rystetid end 2 Timer giver for de fleste Jorder en med Tiden langsom stigende Opløsning af Fosforsyre i de ikke iltede Prøver, og det skyldes utvivlsomt ogsaa Fraspaltning af  $PO_4$ -Grupper fra organisk Materiale.

Undersøgelser udført efter Afslutningen af de i det følgende omtalte Bestemmelser har endelig vist, at en simpel Bortbrænding af det organiske Stof og derpaa følgende Behandling med Svovlsyre som den ikke iltede Jordprøve, ikke giver væsentlig anderledes Værdier for Mængden af organisk Fosfor end Iltningen med Brintoverilte. Tallene ligger ved en saadan Afbrænding, der udføres i en Porcelænsdigel over en almindelig Bunsenbrænder, undertiden et Par Procent højere end efter Iltning ad vaad Vej, og sandsynligvis er denne Forhøjelse reel, da der som før anført findes Partikler, som ikke helt sonderdeles af Brintoverilte.



Forskellen er dog uden Betydning for praktiske Undersøgelser, til hvilke man antagelig uden Betænkning kan bruge Afbrændingen i Stedet for den betydeligt mere tidsrøvende og dyre Iltning med Brintoverilte.

### Mængden af „organisk Fosfor“ i Jorden.

For at faa et Indtryk af, hvor stort Indholdet af »organisk Fosfor« er i danske Agerjorder, er der undersøgt 445 forskellige Jordprøver udtaget i forskellige lokale Forsøg med Superfosfat fordelt over hele Landet. En stor Del af Prøverne stammer fra de i 1943 anlagte Forsøg med store Mængder Superfosfat (S. M. S.-Forsøg).

Fordelingen efter Indhold af organisk Fosfor fremgaar af Tabel 4. Det mindste observerede Indhold er paa 5.9 Ft-Enheder i en Jord fra Hedefloden omkring Karup. Det højeste er paa 114 Ft-Enheder i en Lavmosejord fra Rørkær (Sønderjylland). Gennemsnittet er 27.1. Hyppigste Værdi ligger omkring 24 og Halveringstallet paa godt 26.

Tabel 4.

Fordeling af Jorder efter Indholdet af organisk Fosfor.

Org. P. Ft-E: ...	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	over 50	Ialt
Antal Jorder: ...	17	82	177	104	41	24	435
pCt. do. ...	3.8	18.4	39.8	23.4	9.2	5.4	100.0

Det er saaledes ret antagelige Mængder i Sammenligning med det, som kommer til Udtryk gennem Fosforsyretallene, hvis Gennemsnit for hele Landet efter de indtil 1943 udførte Analyser er paa 6.2. Ogsaa af Jordens Totalindhold af Fosfor udgør det organiske Fosfor en meget væsentlig Del, 27 Ft-Enheder svarer meget nær til 0.05 pCt.  $P_2O_5$ , idet 1 Ft-Enhed  $\sim$  0.0019 pCt.  $P_2O_5$ , og da Totalindholdet i Reglen angives at ligge omkring 0.1 pCt.  $P_2O_5$ , vil der antagelig i Gennemsnit være lige meget organisk og uorganisk Fosfor i Jorden. Fordelingen af Totalindholdet paa de to Fraktioner er dog højst varierende. I det undersøgte Materiale varierer det mellem 20 og 80 pCt. organisk Fosfor.

Paa det foreliggende Materiale har det ikke været muligt at finde nogen tydelig Sammenhæng mellem Jordtypen og Indholdet af organisk Fosfor. Kun synes det — som naturligt er — at humusrige Jorder gennemgaaende indeholder mere organisk

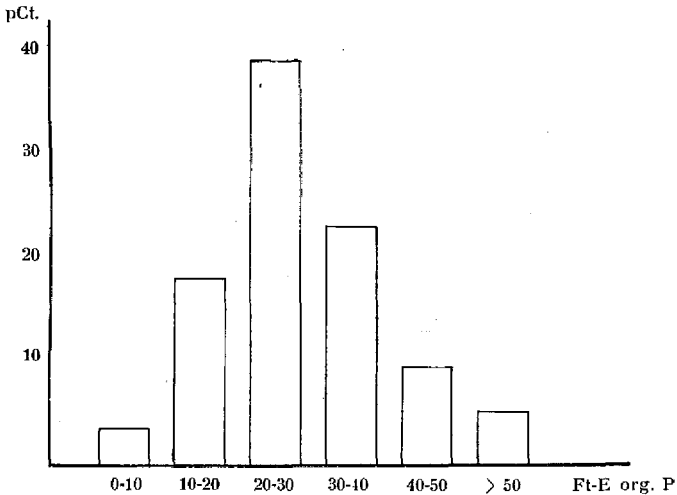


Fig. 1. Fordeling af Jorder efter Indhold af organisk Fosfor.

Fosfor end humusfattige. Det er dog ikke saaledes, at Humusen har et blot nogenlunde konstant  $\text{PO}_4$ -Indhold. Amerikanske Bestemmelser (7) udviser meget store Svingninger i saa Henseende. Tabel 5 viser nogle Bestemmelser foretaget her. Det er tydeligt, at Humusen bliver mindre fosforholdig, jo højere Humusprocenten er, et Forhold, som iøvrigt er kendt for Kvælstoffets Vedkommende, hvilket vel hænger sammen med Humusens mindre Omsætningsgrad.

Forskel paa Lerjord og Sandjord har ikke kunnet paavises. I det hele taget synes Variationen mere bestemt af Jordens gødsknings- og kalkningsmæssige Forhistorie end af Jordtypen.

Hvis man derimod sammenligner Jordens Indhold af organisk Fosfor med den Mængde Fosfor, der gaar i Opløsning ved Behandling af den ikke iltede Prøve med Svovlsyre, finder man en vis Korrelation.

Den sidstnævnte Fraktion vil i det følgende blive benævnt »Uorganisk Fosfor«. Ganske vist svarer det af den fortyndede Svovlsyre opløste Fosforsyre ikke til Jordens Totalindhold af uorganiske Fosforforbindelser, men det udgør dog en saa væsentlig Part heraf, at man godt i Praksis kan se bort fra Resten. Interessant er det at sammenligne det »totale« Fosforindhold, man kommer til ved at addere »uorganisk« og »organisk« Fosfor, altsaa i Virkeligheden den Mængde Fosfor, man finder i den med  $\text{H}_2\text{O}_2 + 0.2\text{-n } \text{H}_2\text{SO}_4$  behandlede Prøve, med

Tabel 5. Forhold mellem Humusindhold og Indhold af organisk Fosfor.

Type	pCt. Humus	mg org. PO <sub>4</sub>	mg PO <sub>4</sub> /g Humus
Lerm.....	3.5	25.8	18.4
Klæg.....	3.7	8.5	5.9
Lerm.....	4.0	21.4	13.4
do. ....	4.7	28.4	15.1
do. ....	4.8	23.4	12.2
Sandm. ....	5.0	33.8	16.9
Lerm.....	5.2	40.6	19.5
do. ....	5.2	21.2	10.5
Sandm. ....	5.3	41.0	19.3
do. ....	5.3	29.2	13.8
do. ....	5.3	17.6	8.3
do. ....	6.3	30.0	11.3
Lerm.....	8.0	20.4	6.4
Sandm. ....	8.8	26.4	7.5
do. ....	9.4	15.0	4.0
do. ....	10.9	22.2	5.1
do. ....	17.0	68.0	10.0
Klæg.....	20.6	30.4	3.7
Lerhumus .....	25.0	43.6	4.4
Sandhumus .....	29.9	5.3	4.4
Okkerhold. Humus	33.3	113.6	8.5
Sandhumus .....	40.0	45.2	2.9
do. ....	44.0	67.6	3.8
Tørvejord.....	46.0	87.4	4.8

den Mængde »Total-Fosforsyre«, man finder ved Benyttelse af den konventionelle Metode (Kogning med 20 pCt.'s Saltsyre  $\frac{1}{2}$  Time under Tilbagesvaling).

En Række saadanne Bestemmelser findes i Tabel 6.

Tabellen viser, at man faar mindre P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> med kogende Saltsyre end med kold stærkt fortyndet Saltsyre + Brintoverilte. Denne overraskende Kendsgerning kan kun skyldes, at de uorganiske Fosforforbindelser, som befinder sig udenfor Jordpartiklernes Krystalgitre, maa være forholdsvis let opløselige i stærke fortyndede Syrer, en Ting, som man egentlig ogsaa maa vente ud fra Kendskabet til de uorganiske Fosfaters Opløselighedsforhold. Kogningen med Saltsyre vil foruden at opløse de uorganiske Fosfater ogsaa hydrolysere Hovedparten af de organiske, men den vil i saa Henseende ikke være saa effektiv som Brintoveriltebehandlingen. Den konventionelle Metode giver derfor uden Tvivl et daarligere Udtryk for Mængden af »Total-

Tabel 6. Sammenligning mellem Fosforindholdet i Jord bestemt ved Kogning med 20 pCt.s Saltsyre og Behandling med Brintoverilte + 0,2-n Svovlsyre.

Jord fra Forsøg	Forsøgsled	pCt. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> bestemt med:		b i pCt. af a
		a H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	b 20 pCt. HCl	
Virumgaard	1 Staldg.....	0.150	0.124	83
09-74	1/2 do. ....	0.148	0.118	80
Mk. 1	1/2 do. + 1/2 Kunstg. ..	0.156	0.122	78
	1 Kunstg.....	0.146	0.121	83
	1/2 do. ....	1.148	0.116	78
	Ugødet.....	0.148	0.117	79
Askov Lerm.	Ugødet.....	0.042	0.033	79
93-II	1/2 Kunstg.....	0.056	0.049	87
Mk. B 3	1 do. ....	0.058	0.050	86
	1 1/2 do. ....	0.059	0.053	90
	1 Staldg. ....	0.060	0.047	78
	1 1/2 do. ....	0.062	0.052	84

Fosforsyre« end den her beskrevne Metode. Bemærkes maa det dog, at ingen af de to Metoder tager Hensyn til det »silikatbundne« Fosfor, som kun kan faas med, naar Silikaterne i Jorden »lukkes op« med Flussyre eller ved Alkalis smeltning, men denne Fraktion af Fosforet er ogsaa i Reglen uden nogen Betydning for Planternes Ernæring.

Tager man saaledes Mængden af opløst Fosforsyre i den ikke iltede Prøve som Udtryk for Jordens Indhold af uorganisk Fosfor, viser en Korrelationsberegning udført paa Størstedelen af de undersøgte Jordprøver en Korrelationskoefficient paa + 0.35, saa Mængden af organisk stiger med Mængden af uorganisk Fosfor. De tilsvarende Regressionskoefficienter er beregnet til henholdsvis 0.39 org./uorg. og 0.31 uorg./org.

Tabel 7. Sammenligning mellem Indholdet af organisk og uorganisk Fosfor i Jord.

Klasse Nr.:		1	2	3	4	5	6
Ft-E	Org. Fosfor ...	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	> 50
	do. , Gns. ...	8.1	16.0	24.7	34.1	43.8	68.0
Ft-E	Uorg. Fosfor, Gns. ...	10.0	15.5	20.3	22.7	24.0	(36.3)
	do. , Min. ...	4.4	4.4	6.2	6.0	11.2	13.4
	do. , Max. ...	47.0	32.8	123.0	253.0	69.2	286.0

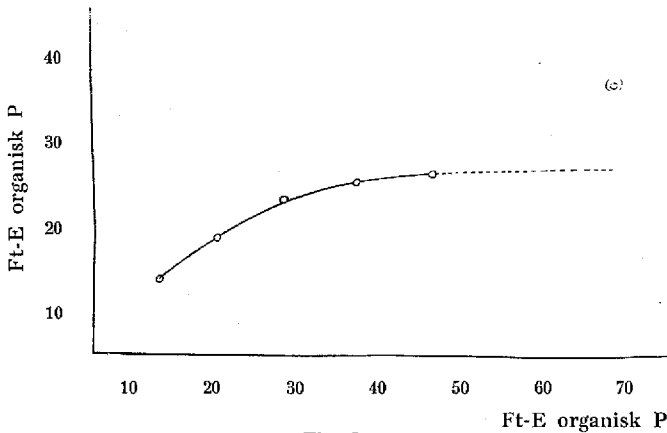


Fig. 2.

Som det vil ses af Tabel 7, hvor Materialet er delt op i Grupper efter Indhold af organisk Fosfor, og det til Grupperne svarende gennemsnitlige Indhold af uorganisk Fosfor er anført, er Sammenhængen mellem de to Størrelser dog sikkert ikke retlinet, idet det kun er tydeligt ved smaa Tal, medens det forsvinder ved større Tal, idet det sidste Punkts høje Beliggenhed skyldes en enkelt Prøve med et abnormt stort Indhold af uorganisk Fosfor, hvilket særlig tydeligt fremgaar af Fig. 2.

Der vil som Følge heraf næppe af den fundne Kovariation kunne faas Oplysninger angaaende Omsætningen fra uorganisk til organisk Fosfor eller omvendt udover den selvfølgelig, at hvor der kun er smaa Mængder af Fosfor ialt, maa Mængden af begge Former nødvendigvis blive lille. Efter de enkelte Resultater at dømme synes de to Former af Fosforforbindelser ikke at have nogen større Tilbøjelighed til Omdannelse fra den ene til den anden. Man ser f. Eks. Jorder med et højt Indhold af organisk Fosfor, der samtidig viser et meget lavt Indhold af uorganisk. Omvendt findes der Jorder med et meget højt Indhold af uorganisk Fosfor, som viser et Indhold af organisk Fosfor, der ligger betydeligt under Gennemsnittet. I det hele taget synes Tilførsel af store Mængder uorganiske Fosfater ikke i de nærmeste Aar efter Tilførslen at give Anledning til nogen synderlig forøget Dannelse af organiske Forbindelser, men det maa dog anses for sandsynligt, at der — alt andet lige — dannes større Mængder af organisk Fosfor, hvor der er store Mængder af tilgængelige uorganiske Fosfater, fordi de Planterester, af

hvilke Humusstofferne dannes, i saa Fald er rigere paa Fosfor, men hvor stor en Del af det tilstedeværende Fosfor, der gaar over i organisk Form, vil sikkert i høj Grad være bestemt af de kemiske og biologiske Forhold i Jorden, maaske især Reaktionen.

### Gødningers og Planteresters Indhold af organisk Fosfor.

I den levende Organisme forekommer sikkert Størsteparten af Fosforet i mere eller mindre stabile organiske Forbindelser, især som Fosforsyreestere, idet disse spiller en meget væsentlig Rolle for Opbygningen og Nedbrydningen af de organiske Stoffer under saavel Dyr- som Plantecellernes Stofskifte. I de fleste Tilfælde er kun det ene af Fosforsyrens tre Brintatomer substitueret med en Alkylgruppe, altsaa Forbindelser af Formen  $R - H_2PO_4$ , men der forekommer ogsaa baade di- og trisubstituerede Fosforsyreestere. Estrene er ofte af en ret labil Karakter. Deres Dannelse og Spaltning sker gerne ved Hjælp af Enzymer, de saakaldte Fosfater.

I Planter, men aldrig i Dyr, forekommer særlig ofte de saakaldte Fytiner. Det er Fosforsyreestere af den hexavalente Alkohol Inosit, der kan optræde med indtil 6 Fosforsyregrupper. Især i Frø og Korn er Fytinindholdet stort, her kan ofte den største Del af det totale Indhold af Fosfor være at finde som Fytin.

Naar Cellerne dør, vil en Del af de organiske Fosforforbindelser spalte deres Fosforsyregrupper fra, saa at de ved en Analyse findes som Fosfater eller Fosforsyre. De simplere organiske Fosfater er letopløselige i Vand og forsæbes forholdsvis let af Baser. Overfor kolde fortyndede Syrer er de ret resistente, men hydrolyseres let af disse ved Opvarmning til Kogning. Det samme gælder Fytinerne. Saalænge de ikke er hydrolyserede, viser de ikke de for Fosforsyre karakteristiske Reaktioner, bl. a. Molybdænblaatreaktionen, og man kan derfor uden Risiko behandle Jorden med fortyndet Svovlsyre som foran beskrevet.

Forholdet mellem uorganisk og organisk Fosfor i Plantematerialer er meget stærkt varierende. Som Eksempler skal anføres nogle Analyser af forskelligt Plantemateriale udført her i Laboratoriet.

Forholdet mellem organisk og uorganisk Fosfor er altsaa meget vekslende. I det friske levende Plantemateriale er Mængden af uorganisk Fosfor under en Tredjedel af det hele, og der

Tabel 8. Analyser af Plantemateriale.

Materialets Art	pCt. PO <sub>4</sub> i Tørstoffet		Organisk i pCt. af
	Total	uorganisk	Total
Byghalm.....	0.259	0.204	22
Rughalm.....	0.180	0.130	28
Kløvergr., 1. Slet grov.....	0.750	0.323	57
do. 2. do. fin, fosforfattig Jord	0.520	0.203	61
do. 2. do. fin, fosforgødet.....	1.113	0.480	57
Rene Græsser, 2. Slet fin.....	1.085	0.333	69
Hvidkløver, 3. Slet fin, fosforfattig Jord.....	0.500	0.173	65
Hvidkløver, 3. Slet fin, forforgødet.	1.020	0.355	65
Blandet Staldgødning.....	1.74	1.43	18

er næppe Tvivl om, at i Realiteten indgaar til Stadighed langt den største Del af det i Stofskiftet. Det konstaterede Indhold af uorganisk Fosfor er kun et Udtryk for en statistisk Ligevægt, som opstaar ved den stadige Fraspaltning og Paalejring af PO<sub>4</sub>-Grupper under Stofskiftet. Naar Planterne modnes, fortsætter Fraspaltningen af PO<sub>4</sub> til en vis Grad, medens nye organiske Forbindelser ikke dannes, hvilket forklarer det høje Indhold af uorganisk Fosfor i groft Hø og Halm, medens Indholdet i frisk Græs og i Kærne er forholdsvis lavt. Imidlertid synes den spontane Omsætning i Halmen at standse, naar  $\frac{2}{3}$ — $\frac{4}{5}$  af Fosforet er tilstede i uorganisk Form.

Spørgsmaalet om Planternes Indhold af organisk resp. uorganisk Fosfor har i denne Forbindelse kun Interesse, for saa vidt som de bruges til Gødning eller paa anden Maade bringes ned i Jorden, f. Eks. som Rod- eller Stubrester, og det vil derfor især være i Forbindelse med Spørgsmaalet om Udnyttelse af Fosfor i Grøngødning, at vi kan have Interesse for Forholdet mellem organisk og uorganisk Fosfor i frisk Plantemateriale.

Af Gødninger med Indhold af organisk Fosfor er kun Staldgødningen af større praktisk Betydning. Det kan dog nævnes, at det fra forskellig Side er foreslaaet at anvende opløselige organiske Fosfater som Gødning paa Jorder, der er tilbøjelige til at fastlægge de uorganiske Fosfater, idet disse sidste, hvor de ikke kan nedbringes, fastlægges i det øverste Par Centimeter, medens de organiske som Følge af, at de ikke fældes af Jern, Aluminium eller Kalcium, vil være i Stand til at trænge dybere ned (2).

Som det fremgaar af Tabel 8 findes ca. 80 pCt. af Staldgødningens Fosfor i Form af uorganiske Forbindelser. Det er ret naturligt, eftersom en stor Del af Staldgødningens Materiale er mere eller mindre omsat Halm. Desuden viser Undersøgelser over Indholdet af Fytin i Fæces (6), at Indholdet af dette Stof og dermed antagelig ogsaa Indholdet af organiske Fosforforbindelser i det hele taget i Reglen er betydeligt mindre end Indholdet deraf i de benyttede Fodermidler.

En Kendsgerning er det altsaa, at en væsentlig Del af det Fosfor, som tilføres Jorden med Staldgødning eller andet Materiale, er organisk bundet, selv om det vel er mindre, end man i Almindelighed regner med. Spørgsmaalet er da, hvordan det gaar med dette Fosfor ude i Jorden.

Undersøgelser udført af *Scharrer* og *Keller* (2) viser, at organiske Fosforforbindelser som Glycerinfosfat eller Glukonfosfat nedbrydes ret hurtigt, naar de kommer ud i Jorden. Denne Nedbrydning er særlig hurtig i de to første Døgn. Den er da overvejende af kemisk Natur. Senere gaar Mineraliseringen langsommere og er da af mikrobiologisk Natur.

Selv mere komplicerede organiske Forbindelser, f. Eks. Fytin, er Genstand for en forholdsvis hurtig Omsætning i Jorden. I det hele taget synes Fosfor, der er tilstede som  $PO_4$ -Grupper, at være udsat for stærk Mineralisering. De nedenfor omtalte modstandsdygtige Forbindelser er sikkert hovedsagelig saadanne, hvor Fosforet indgaar i heterocykliske Forbindelser af kompliceret Natur. Saadanne Forbindelser kendes, og Forholdet er sikkert analogt med Kvælstofforbindelsernes, om hvilke det vides, at kemiske Forbindelser af denne Art opmagasineres i Jorden som Humuskvælstof. Omsætningen kunde jo ogsaa tænkes at gaa den anden Vej, idet uorganisk Fosfor kunde tænkes omdannet af Mikroorganismer til organisk. Mikroorganismernes Levetid er dog kun kort, og de vil, naar de dør, atter nedbrydes som andet organisk Materiale. I det lange Løb vil der derfor indstille sig en Ligevægt mellem Opbygning og Mineralisering, og alt tyder paa, at denne Ligevægt i Jorden er forskudt stærkt til Fordel for den uorganiske Binding. Utænkeligt er det dog ikke, at der under gode Vækstforhold for Mikroorganismerne kan opstaa en akut Fosfatmangel, ligesom der ved vidt C:N-Forhold kan opstaa en forbigaaende Fastlægning af Kvælstoffet i Jorden.

Imidlertid viser det sig, at Indholdet af organisk Fosfor kan være større i Jorder, der er gødet med Fosfor gennem læn-



gere Tid, end i tilsvarende ugødede Jorder. Det samme gælder Jorder, der er gødet med Staldgødning, i Forhold til Jorder, der er gødet udelukkende med Kunstgødning. Der er altsaa ingen Tvivl om, at Nedbrydningen af de organiske Fosforforbindelser i Jorden ikke altid er total. Der ophobes en Del af Fosforet som Humusfosfor, og det væsentlige Spørgsmaal i Forbindelse med organiske Gødningers Fosforvirkning er altsaa, hvor stor en Del af det oprindelige Indhold der paa den Maade kan inaktiveres. Til Bestemmelse heraf har der ikke til denne Undersøgelse foreligget tilstrækkelig sikkert Materiale, men af de i det følgende Afsnit omtalte Bestemmelser synes det at fremgaa, at det ikke udgør nogen væsentlig Part.

Organiske Gødningers Indhold af organisk Fosfor findes altsaa i 3 Former. Den første Form er de labile og let hydrolyserbare Forbindelser, hvis gødningsmæssige Værdi er den samme som de letopløselige uorganiske Fosforgødningers. Den anden Form er de mere komplicerede Forbindelser af Beskaffenhed som f. Eks. Fytin, der ganske vist ikke straks er lettilgængelige, men som ved Mikroorganismers Hjælp alligevel omsættes indenfor rimelig Tid. Endelig er der den tredje og meget modstandsdygtige Form, i hvilken formentlig Fosforet indgaaer som Bestanddel af heterocykliske Forbindelser. Dette Fosfor vil kun yderst langsomt frigøres og kun samtidig med en fuldstændig Nedbrydning af det Humuskompleks, det tilhører. Dette Fosfor maa antages at være af samme ringe Betydning for Planternes Ernæring som de tilsvarende Kvælstofforbindelser, selv om saavel Kvælstof som Fosfor af denne Art findes i betydelig Mængde bundet til Humus i enhver Jord.

### Gødskningens Indflydelse.

For at undersøge, hvorledes tilført Gødning indvirker paa Jordens Indhold af uorganisk og organisk Fosfor, udførtes Analyser af nogle Jordprøver fra fastliggende Gødningsforsøg ved Forsøgsstationerne Askov, Lyngby, Blangsted og Hornum.

Fra Askov Forsøgsstation undersøgtes Jordprøver fra de gamle Gødningsforsøg (anl. 1893). Prøverne blev udtaget saavel i Lermarken (Mark B<sub>2</sub> og B<sub>3</sub>) som i Sandmarken (G<sub>1</sub>) i Efteraaret 1943, altsaa efter 49 Aars Forsøg. Virumgaard-Prøverne stammer ogsaa fra det der liggende gamle Gødningsforsøg (anl. 1909) og blev udtaget i 1939.

Prøverne fra Blangsted og Hornum stammer fra Forsøgene

Tabel 9. Jordens Indhold af organisk og uorganisk Fosfor i gamle Gødningsforsøg.

Forsøgssted	Form	Ugødet	Ft-Enheder i Forsøgsled:				
			1 Staldg.	1 Kunstg.	1 N	1 P	1 K
Askov Lerm.	org.	19.6	23.0	22.0	19.0	19.8	19.4
	uorg.	9.1	13.0	15.5	7.7	19.5	8.7
Askov Sandm.	org.	31.4	33.2	32.2	33.0	32.5	30.6
	uorg.	17.2	22.6	21.7	17.8	29.4	13.8
Virumgaard	org.	41.0	42.5	42.2			
	uorg.	26.1	32.0	31.7			
			Ugødet	1 Staldg.	2 Staldg.	1 Kunstg.	2 Kunstg.
Blangsted	org.	17.6	18.8	19.4	17.6	16.8	
	uorg.	12.8	20.8	30.6	21.4	30.0	
Hornum	org.	34.2	35.4	35.2	35.2	34.4	
	uorg.	16.4	25.8	34.4	31.2	39.6	

med Gødskning af Frugttræer (anl. 1921). De er udtaget i 1939 efter 17 Aars Forsøg. De forskellige Analyseresultater findes i Tabel 9.

Det fremgaar af disse Tal, at Gødskningen kun har haft forholdsvis ringe Indflydelse paa Jordens Indhold af organisk Fosfor, medens den alle Steder har paavirket Indholdet af uorganisk Fosfor i betydelig Grad. Størst er Ændringen i Mængden af organisk Fosfor paa Askov Lermark, hvor »1 Kunstgødning« har frembragt en Forskel paa 2.4 Ft-Enheder i Forhold til »Ugødet«. Da Tilførslen af Fosfor gennem de 49 Aar har andraget omkring 30 Ft-Enheder, vil det sige, at ca. 8 pCt. af det tilførte Fosfor er omdannet til og opmagasineret som Humusfosfor. Af Staldgødningens Fosfor er yderligere 1 Ft-Enhed — altsaa omkring 3 pCt. — blevet unddraget Afgrøderne og opmagasineret i Form af Humusforbindelser. Ensidig Gødskning har tilsyneladende ikke kunnet frembringe væsentlige Mængder organisk Fosfor i Jorden, velsagtens fordi Rod- og Stubrester her har været tilstede i forholdsvis ringe Mængde.

For de øvrige Forsøgssteders Vedkommende synes en tilsvarende Virkning m. H. t. organisk Fosfor at gøre sig gældende, omend svagere. Virkningen er her saa lille, at den tilsløres af Analysefejl og Jordvariation. At den ikke er betydelig, fremgaar især af Analyserne fra Blangsted og Hornum, hvor »1 og 2 Staldgødning« svarer til henholdsvis 10 og 20 Tons Staldgødning pr. ha aarligt. Trods disse store Mængder gennem 17 Aar er Ændringen i Jordens Indhold af organisk Fosfor

endnu ikke sikker, medens Forøgelsen af uorganisk Fosfor ikke er til at tage Fejl af, idet Tallene viser, at 60—70 pCt. af det tilførte Fosfor endnu findes i Jorden i uorganisk Form.

De her undersøgte Forsøgsjorder har alle været i en tilfredsstillende Kalkningstilstand. Det fremgaar imidlertid af et senere Afsnit, at det ikke vil være utænkeligt, om en større Opmagasinerings af organisk Fosfor finder Sted i sure Jorder. I Tabel 10 gengives Analyser af Jorder fra en Række fastlig-

Tabel 10. Lokale Forsøg i Kolding Omegns Landboforening.

Forsøgssted	Jord	Rt.	Ant. Aar	Ft-E org. PO <sub>4</sub>			Ft-E uorg. PO <sub>4</sub>		
				Forsøgsled			Forsøgsled		
				a	b	c	a	b	c
Hyldelund ...		5.7	11	20.8	21.8	20.0	4.4	8.2	13.8
Foldingbro...	S	6.2	11	41.9	36.6	41.8	25.3	31.3	38.2
Baungaard...	L	6.3	9	24.7	25.5	27.0	9.7	12.9	15.8
Veerst .....	L	6.4	11	24.8	27.6	28.6	13.5	17.6	21.4
Gejsing.....	L	6.4	7	24.2	24.2	21.7	9.4	13.8	16.3
Vittrup.....		7.1	6	13.8	15.8	16.0	8.6	12.5	16.0
Gennemsnit ..			9.2	25.0	25.2	25.9	11.6	16.1	20.3

gende Forsøg udført af Forstander *J. Dons Christensen* i Kolding Omegns Landboforening, men Forsøgs-gødningen har her kun været Superfosfat som Tilskud til Gaardens normale Mængder af Staldgødning og Ajle. Prøverne er udtaget i 1941 efter det i Tabellen angivne Antal Aars Forsøg. Jordvariationen er imidlertid saa stor, at der ikke kan siges noget sikkert om Ændringen i Mængden af organisk Fosfor som Følge af Forsøgs-gødskningen, dog er det tydeligt, at selv ved Rt. 5.7 (Hyldelund) vil Opmagasinerings af Fosfor i organisk Form være ringe i Sammenligning med de Mængder, som forbliver i uorganisk Form.

Det drejer sig dog her om Fosfor tilført som uorganisk Gødning. Til den her foretagne Undersøgelse har der desværre ikke foreligget Prøver fra Forsøg med Staldgødning eller andre organiske Gødninger paa sure Jorder, og det har derfor ikke kunnet vises, om de tilførte organiske Fosforforbindelser nedbrydes daarligere ved sur Reaktion, hvorved Fosforets Værdital i Staldgødning skulde blive mindre, end paa neutral-alkalisk Jord. Da saa meget af Staldgødningens Fosfor imidlertid allerede ved Udbringelsen er tilstede i uorganisk Form, vil Nedgangen i Værditallet dog næppe blive særlig stor.

### Kalkningens Indflydelse.

Medens Jordens Indhold af organiske Fosforforbindelser ikke synes at paavirkes i væsentlig Grad ved Tilførsel af ikke reaktionsændrende uorganiske Gødninger, synes en Tilførsel af Kalkningsmidler og dermed følgende Ændring af Jordreaktionen at have en tydelig Indflydelse.

I Tabel 11 gengives nogle Analyser udført paa Jorder fra de gamle Kalkforsøg paa Borris og Tylstrup.

Tabel 11.  
Kalkningens Indflydelse paa Jordens Fosforindhold.

Forsøgsled	Ft	Uorg. PO <sub>4</sub>	Org. PO <sub>4</sub>	Total
<i>I. Borris. Mark K. 1.</i>				
Ukalket.....	2.8	19.4	45.0	64.4
2000 kg CaCO <sub>3</sub> .....	2.9	17.2	45.4	62.6
4000 kg do. ....	3.0	19.4	44.8	64.2
8000 kg do. ....	3.2	18.8	45.6	64.4
16000 kg do. ....	4.8	23.0	39.6	62.6
32000 kg do. ....	6.9	27.6	37.6	64.2
<i>II. Tylstrup. Mark H. 8.</i>				
Ukalket.....	6.3	22.0	39.4	64.4
2000 kg CaCO <sub>3</sub> .....	5.4	21.8	40.2	62.0
4000 kg do. ....	6.5	22.0	39.4	64.4
8000 kg do. ....	7.8	26.2	34.8	61.0
16000 kg do. ....	8.2	27.6	32.6	60.2
32000 kg do. ....	10.8	32.0	26.4	58.4

Det fremgaar tydeligt af disse, at Kalkningen har bevirket en Nedgang i Mængden af organisk Fosfor, men en tilsvarende Forøgelse af det uorganiske. Denne Overførsel fra organisk Fosfor i uorganisk Form skyldes sikkert en af det højere Reaktionsstal fremkaldt kraftigere Nedbrydning af organisk Stof, og den skulde altsaa være parret med en tilsvarende Overførsel af Kvælstof til uorganisk Form. Imidlertid vil det uorganiske Kvælstof forsvinde, hvorfor en eventuel Kvælstofvirkning af Kalkningen ikke vil være varig, men det uorganiske Fosfor vaskes ikke ud, og Kalkningens Fosforvirkning vil derfor være af større Varighed. Der kan næppe være Tvivl om, at denne Overførsel fra organisk til uorganisk Form maa være om ikke den eneste saa dog Hovedaarsagen til det større Indhold af tilgængeligt Fosfor i den kalkede Jord, som ofte er konstateret dels gennem Jordbundsanalyser og dels gennem Dyrkningsforsøg.

Om Kalkningen ogsaa har Indflydelse paa Tilgængeligheden af de uorganiske Fosfater har ikke kunnet konstateres, men den observerede Stigning af Fosforsyretallet viser ikke i Retning af, at de uorganiske Forbindelser, der fandtes inden Kalkningen, skulde være blevet lettere tilgængelige, naar man tager i Betragtning, at det nydannede uorganiske Fosfat maa have været i Iontilstand, da det gik over fra at være organisk bundet til uorganisk. Den almindelige Opfattelse, at Kalkningens Virkning paa Tilgængeligheden af Jordens Fosfatindhold skyldes en Konvertering fra Jern- eller Aluminiumfosfater til Kalciumfosfater, synes efter dette kun i ringe Grad at være i Overensstemmelse med de faktiske Forhold. Konverteringen fra organisk til uorganisk Fosfat er sikkert Hovedaarsagen til den nedsatte Fosforsyretrang paa kalkede Jorder.

Hvor hurtigt denne Kalkvirkning paa Jordens Fosforindhold indtræder vides ikke, men Undersøgelse over dette Spørgsmaal er sat i Gang. Det synes dog, at der her frembyder sig en Mulighed for at aktivere noget af den bundne Kapital af Fosfor i de organiske Stoffer, og en nærmere Udredning af disse Problemer vil sikkert være af stor Værdi for fremtidige Undersøgelser vedrørende saavel Kalkningens som Fosforgødskningens Økonomi.

#### Litteratur.

1. *Parker, F. W. og Pierre, W. H.*: Soil phosphorus Studies II. Soil Sci. XXIV (1927) 119.
2. *Scharrer, K. og Keller, B.*: Über Verteilung und Absorption organischer Phosphorsäureverbindungen im Boden. Pflanzenern. u. Bodenk. 19 (1940) 109.
3. *Dickman, S. R. og de Turk, E. E.*: Organic phosphorus of soils. Soil Sci. XLV (1938) 29.
4. *Bondorff, K. A. og Steenbjerg, F.*: Studier over Jordens Fosforsyreindhold. Tidsskrift for Planteavl 38 (1932) 273.
5. *Richardson, H. L.*: The use of hydrogen peroxyde for estimating humification. Soil Sci. XXXII (1931) 167.
6. *Pedersen, J. G. A.*: Experimental Rakitis hos Svin. 193. Beretning fra Forsøgslaboratoriet, København 1940.
7. *Waksman, S. A.*: Humus. London 1938.

### English Summary.

#### Soil Phosphorus Studies. IV. The Organic Bound Phosphorus.

A series of determinations of organic bound phosphorus in danish soils have been carried out to investigate which rôle these organic phosphorus compounds play in the supply of crops with phosphorus.

The quantity of organic bound phosphorus was determined as the difference between the quantity that could be extracted with liquid acid from a sample in which the organic matter was destroyed by an oxidation with hydrogen peroxide and a sample which was not oxidized. In both cases 0.2-normal sulphuric acid was used for extracting.

Investigations carried out to find which concentration of acid is most suitable for the determination showed, that for most soils there will be found a certain interval in which the quantity of acid used has practically no bearing upon the amount of  $\text{PO}_4$  dissolved, as long as the relation of earth to liquid is sufficiently open (1 : 200). This interval is usually between about 0.1-normal to 0.4-normal sulphuric acid under the above mentioned circumstances. Its existence implies that there concerning chemical constitution and solubility is a well defined fraction of the soils inorganic phosphates. This fraction seems also to play a rather decisive rôle in the supply of plants with phosphorus, and in this investigation it is used as a measure for the contents of inorganic bound phosphorus of soil.

Analyses of 445 soil-samples taken from field-experiments carried out over the whole country show, that the contents of organic bound phosphorus of soil varies considerably (from 6—114 phosphorus-number units<sup>1)</sup>), on an average about 27 phosphorus-number units. The organic bound phosphorus constitutes on an average scarcely half of the total contents of the soils phosphorus. The above mentioned inorganic bound phosphorus constitutes the greater part of the other half (on an average 24 phosphorus-number units (Ft-E)). The smaller part is found as a constitution-component within the mineral particles of soil. In accordance with this it is called silicate-bound phosphorus. (usually < 10 phosphorus-number units).

There does not seem to be any significant correlation between the contents of organic and inorganic bound phosphorus in soil.

The contents of phosphorus in fresh plant-material is for the greater part present in organic form while in straw and farmyard manure there is only  $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{4}$  in organic compounds. Most of the organic phosphorus will be mineralized in a short time when it is

<sup>1)</sup> 1 phosphorus-number unit (Ft-E) = 1 mg  $\text{PO}_4$  per 40 g air-dry soil.

brought into the soil. Only a proportionally small part is stored up as humus phosphorus constituting an almost dead capital without any particular value for plant production.

Analyses of soils from old manure-experiments show that even manuring with phosphorus does not influence the contents of organic phosphorus of the soil worth mentioning, while the quantity of inorganic phosphorus is altered in a high degree. In 50 year old experiments at Askov Experiment Station farmyard manure caused in proportion to artificial manures a small increase of the contents of organic phosphorus corresponding with about 3 p.c. of the contents of phosphorus in the manure. In other experiments there is no significant difference to be found.

Supply of acid soils with lime will effect a partial change from organic to inorganic phosphorus, and this is probably the explanation of the well-known experience that phosphorus fertilizers give smaller returns on limed than on not limed soil.

---