

## **Studier over jordens fosforsyreindhold.**

### **VI. Jordfosforsyrens opløselighed i fortyndet svovlsyre.**

Ved K. A. Bondorff.

---

#### **449. beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.**

---

Nærværende beretning omhandler undersøgelser, udført i forbindelse med udarbejdelsen af den nu anvendte metode til bestemmelse af jordens fosforsyretræng.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

---

De i jorden forekommende fosforforbindelser er dels uorganiske, dels organiske. Hvor stor en del af jordens totale fosforindhold, der forekommer i organiske forbindelser, er det — i alt fald for tiden — ikke muligt at bestemme ganske nøjagtigt. Men det er dog givet, at en meget væsentlig del, ofte langt over halvdelen af jordens fosforindhold er til stede i organiske forbindelser.

Dette »organiske« fosfor spiller efter alt foreliggende en ret underordnet rolle for afgrødernes forsyning med fosfor. Vel kan visse organiske fosforforbindelser, som glycerinfosforsyre og fytin, let udnyttes af planterne. Men disse forbindelser omsættes også let mikrobielt til fosfater, og det er usandsynligt, at de forekommer i jorden i nævneværdige mængder. Hovedparten af det »organiske« fosfor synes fastlagt i humusstofferne og kan kun udnyttes af planterne, efterhånden som humusstofferne mineraliseres. Frigørelsen af humusfosfor går parallelt med frigørelsen af humuskvælstof, og på samme måde som jordens humusfor-

bindelser — på højbundsjorder — ikke kan afgive kvælstof nok til de afgrøder, nutidens landmænd kræver, kan humusforbindelserne heller ikke afgive assimilabelt fosfor i tilstrækkelig mængde.

Interessen vil derfor samle sig om jordens »uorganiske« fosfor. En del af dette vil forekomme som det såkaldte silikatbundne fosfor, d. v. s. som bestanddel af silikaterne og vil i laboratoriet først kunne bringes i opløsning, når silikaterne smeltes med soda eller behandles med flussyre. I naturen frigøres dette fosfor kun gennem en langsomt forløbende forvitring af disse forbindelser, og deres bidrag til afgrødernes forsyning med fosfor kan man også se bort fra. Tilbage bliver da en gruppe uorganiske fosforforbindelser, der kan opløses i relativ svag syre. Det er denne fraktion af fosforforbindelser, man — når talen er om afgrødernes forsyning med fosfor, — vil være særligt interesseret i.

Gruppen omfatter måske ikke alle de fosfater, der kan tænkes at eksistere i jorden, men omfatter kalciumfosfaterne, apatiterne indbefattet, magnesiumfosfater samt jern- og aluminiumfosfater. Nu vides det fra gødningsforsøg, at kalciumfosfaterne, klor- og fluorapatit undtagne, udnyttes godt af planterne. Det samme gælder magnesiumfosfater, og medens man længe har anset jern- og aluminiumfosfater som praktisk taget værdiløse for planterne, bekræfter de af *J. Find Poulsen* udførte forsøg (1) den formodning, man efterhånden havde fået om, at visse jern- og aluminiumfosfater måtte kunne udnyttes godt af planterne.

Det synes da, som om den syreopløselige fraktion af jordens fosforforbindelser må være afgørende for jordens evne til at forsyne afgrøderne med fosforsyre, såfremt klor- og fluorapatit ikke udgør nogen større del af denne fraktion. Men disse apatiter kan ikke antages at forekomme i større mængde i danske jorder, med mindre de tilføres som råfosfat. De kan ikke dannes under de i jorden herskende forhold, og et naturligt indhold af klor- eller fluorapatit forudsætter derfor forekomsten af disse forbindelser blandt de bjergarter, hvoraf jorden er opstået.

Under danske forhold, hvor råfosfat jo normalt ikke anvendes som gødning, skulle den syreopløselige fraktion af jordens fosforforbindelser derfor være den for afgrødernes fosforforsyning afgørende del af jordens fosforindhold.

*P. Damsgaard-Sørensen* har undersøgt denne fraktion af jordens fosforforbindelser nærmere (2). Han fandt, at den mængde fosforsyre, der gik i opløsning, når jorden behandlede med fortyndet svovlsyre, var uafhængig af syrestyrken, når denne varierede mellem 0.08 og 0.4 normal. De undersøgelser, der her skal refereres, har ikke bekræftet *Damsgaard-Sørensen*'s resultat, at syrestyrken — i det omtalte interval — ikke spiller nogen rolle for mængden af opløst fosforsyre. Men der har også været anvendt en noget anden metodik. *Damsgaard-Sørensen* rystede 1 g jord i 1 time med 200 ml fortyndet svovlsyre. En så lille jordmængde er det ved rutineanalyser, som nærværende arbejde tog sigte på, uhensigtsmæssigt at arbejde med. Dels bliver vejefejlen let relativ stor, dels er det af mange jorder vanskeligt — uden vidtgående og tidskrævende findeling — at afveje en gennemsnitsprøve på 1 g. Og endelig får man svage opløsninger, hvis fosfatkoncentration ikke kan bestemmes med stor nøjagtighed. Ved undersøgelserne er derfor normalt anvendt 10 g jord, som rystedes med 250 ml fortyndet syre i 3 timer, idet indgående undersøgelser over den opløste fosforsyremængdes afhængighed af rystetiden viste, at mængden af opløst fosforsyre ikke — eller praktisk taget ikke — forøgedes efter 3 timers rystning.

Det skal her anføres, at spørgsmålet om opløsningshastighed har været gjort til genstand for indgående undersøgelse, ikke blot med henblik på jordanalyser, men også med henblik på andre agrikulturkemiske analyser, f. eks. analysen af tungt-opløselige fosforgødninger. Der vil senere blive gjort nærmere rede for disse undersøgelser, men en kort redegørelse vil her være naturlig.

Allerede 1932, i den første beretning om jordfosforsyrens opløselighed, behandlede *Bondorff & Steenbjerg* (3) opløsningshastigheden og anførte, at en ligning af formen

$$y = \frac{At}{b+t} \quad (1)$$

på ret tilfredsstillende måde gengiver resultaterne. I ovenstående ligning er  $y$  den opløste fosforsyremængde,  $t$  rystetiden,  $A$  og  $b$  konstanter. Konstanten  $A$  er den fosforsyremængde, der går i opløsning ved uendelig lang rystetid, medens konstanten  $b$  er den rystetid, der kræves, for at halvdelen af  $A$  kan bringes i opløsning. Når man, som ved disse forsøg, arbejder med konstant volumen, kan  $A$  og  $y$  udtrykkes som koncentrationer, f. eks. mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ .

Ligningen (1) kan afledes af en differentialkvotient af formen

$$\frac{dy}{dt} = k(A - y)^2 \quad (2)$$

hvor  $k$  er en konstant  $= 1:Ab$ .

Ligning (2) angiver, at opløsningshastigheden er proportional med kvadratet på »umættetheden«,  $A-y$ , men *Bondorff & Steenbjerg* gjorde opmærksom på, at selv om ligning (1) på tilfredsstillende måde kan gengive forsøgsresultaterne, så de ingen tvungende grund til, at kvadratet på »umættetheden« skulle være afgørende.

De i årenes løb på Statens Planteavls-Laboratorium udførte undersøgelser har nu vist, at differentialkvotienten (2) dels må opfattes som et specialtilfælde, dels som en tilnærmelse. Opløsningshastigheden er bestemt ved

$$\frac{dy}{dt} = k(a-y)(b-y) \quad (3)$$

hvor  $a$  er den mængde, der overhovedet kan gå i opløsning og altså — ved konstant volumen — svarer til mætningskoncentration, medens  $b$  er den mængde af vedkommende stof, der behandles (er afvejet). Hvis opløsningen bliver mættet ( $y=a$ ) eller hvis alt det afvejede stof er opløst ( $y = b < a$ ) bliver  $dy/dt = 0$ .

Integreres (3) får man, når  $a \neq b$

$$\log \frac{(a-y) \cdot b}{(b-y) \cdot a} = k_1(a-b) \cdot t \quad (4)$$

For så vidt  $a = b$ , giver integrationen af (3) ligningen

$$y = \frac{a \cdot t}{c+t}, \text{ hvor } c = 1/ak, \text{ d. v. s. ligning (1)}$$

Ligningerne (1) og (4) er ikke så forskellige, som deres forskellige form kunne give anledning til at tro. »Slægtsskabet« mellem dem træder tydeligst frem, når man sammenligner differentialkvotienterne.

Ligning (3) giver

$$\frac{dy}{dt} = k(y^2 - y(a+b) + ab) \quad (5)$$

Sammenligner man hermed

$$\frac{dy}{dt} = k(y^2 - y \cdot 2\sqrt{ab} + ab) \quad (6)$$

vil det ses at forskellen beror på forskellen mellem  $a + b$  og  $2\sqrt{ab}$ , d. v. s. på forskellen mellem det aritmetiske og geometriske gennemsnit af  $a$  og  $b$ . Men (6) giver integreret en ligning af formen (1) og ved at vælge  $k$  i (6) lidt forskellig fra  $k$  i (5) vil man ved en ligning af formen (1) tilnærmest kunne beskrive opløsningsprocessen som funktion af tiden.

Idet rystefiden fikseredes til 3 timer, undersøgte nu, hvorledes den opløste fosforsyremængde afhang af syrekoncentrationen, når 10 g jord rystedes med 250 ml fortyndet svovlsyre.

Det viste sig da, at den opløste fosforsyremængde steg med syrekoncentrationen, således som det eksempelvis fremgår af tallene i tabel 1 og den tilsvarende figur 1.

Tabel 1. Opløst fosforsyre og syrekoncentration.

Normalitet af svovlsyren	Opløst fosforsyre, mg PO <sub>4</sub> /l		
	fundet	beregnet	
		I	II
0	0.63	1.13	—
0.004	1.99	1.98	—
0.008	3.06	2.94	—
0.032	6.46	6.07	—
0.048	7.63	7.17	7.22
0.080	9.30	9.06	9.23
0.100	10.07	10.06	10.07
0.200	11.95	12.26	12.32
0.400	13.50	13.76	13.87
0.700	14.66	14.64	14.66
1.000	15.00	14.99	15.01

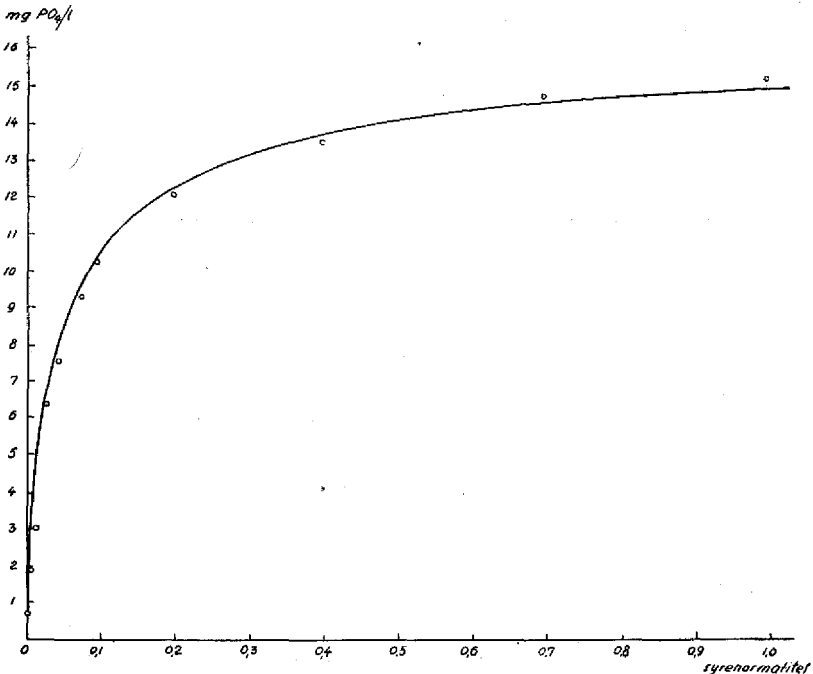


Fig. 1. Forholdet mellem syrestyrke og opløst fosforsyremængde.

Det vil ses, at jo stærkere syre, jo mere fosforsyre opløses. Der er — ved den valgte metodik — ikke tale om, således som *Damsgaard-Sørensen* fandt, at den opløste fosforsyremængde er uafhængig af syrekonzentrationen i et vist interval af denne. Men tallene viser, at den opløste fosforsyremængde åbenbart går mod en vis maksimumsværdi.

Det vil være nærliggende at søge det regelmæssige sammenhæng mellem opløst fosforsyre og syrestyrke beskrevet gennem en ligning, og en ligning, der tilnærmet gengiver resultaterne er

$$y = \frac{ax}{b+x} + c \quad (7)$$

hvor  $y$  er den opløste fosforsyremængde, udtrykt i mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ ,  $x$  syrestyrken, udtrykt i normalitet,  $a$ ,  $b$  og  $c$  konstanter. I tabel 1, 3. kolonne, er beregnet en række  $y$ -værdier, svarende til ligningen

$$y = \frac{14.767x}{0.0653+x} + 1.13 \quad (8)$$

For så vidt man kun betragter de højere syrekonzentrationer, kan resultaterne tilnærmet gengives ved en enklere ligning

$$y = \frac{a'x}{b'+x} \quad (9)$$

I tabel 1, sidste kolonne, er anført de til ligningen

$$y = \frac{15.868x}{0.0575+x} \quad (10)$$

svarende  $y$ -værdier.

I tabel 2 er anført resultaterne fra undersøgelsen af 5 andre jorder og de tilsvarende beregninger efter (9).

Selv om ligningerne (8) og (9) er rent empiriske, frembyder det dog en vis interesse at betragte dem nærmere. Begge ligninger »fortæller«, at jord nr. 1 kun indeholder en vis mængde svovlsyreopløselig fosforsyre, svarende til 15.9 mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ . Selv om man øger svovlsyrekonzentrationen nok så meget, skulle man ikke kunne få mere fosforsyre i opløsning.

Der må her peges på, at denne maksimalværdi vil man ikke kunne bestemme eksperimentelt ved at behandle jorden med koncentreret svovlsyre, idet man derved vil destruere de orga-

Tabel 2. Opløst fosforsyre ved forskellig syrekonzentration.

Jord nr.	Syrens normalitet				a'	b'
	0.1	0.2	0.4	0.8		
1. Fundet . . . . .	10.07	11.95	13.50	—	15.87	0.0575
Beregnet . . . . .	10.07	12.32	13.87	14.89		
2. Fundet . . . . .	12.25	14.30	16.00	16.46	17.61	0.0497
Beregnet . . . . .	11.76	14.10	15.66	16.58		
3. Fundet . . . . .	10.15	12.13	14.38	15.16	16.67	0.0683
Beregnet . . . . .	9.90	12.42	14.24	15.36		
4. Fundet . . . . .	5.95	6.28	6.60	6.98	7.04	0.0211
Beregnet . . . . .	5.81	6.37	6.69	6.86		
5. Fundet . . . . .	9.91	10.38	10.62	10.53	10.89	0.0099
Beregnet . . . . .	9.91	10.38	10.63	10.76		
6. Fundet . . . . .	1.85	6.28	10.38	11.20	15.46	0.2638
Beregnet . . . . .	(4.25)	6.67	9.32	11.63		

niske fosforforbindelser. Maksimalværdien (konstanten  $a+c$ , resp.  $a'$ ) må altså opfattes som den mængde fosforsyre, der ville opløses i »uendelig« stærk svovlsyre, hvis destruktionen af organiske fosforforbindelser ikke satte ind i større udstrækning, end det er tilfældet ved de svovlsyrekonzentrationer, der er anvendt.

Multipliserer man — ved den her anvendte metodik — den opløste fosforsyremængde, udtrykt i mg  $PO_4/l$ , med 0.0018685, får man fosforsyremængden i procent  $P_2O_5$ . 15.87 mg  $PO_4/l$  svarer altså til 0.030 pct. svovlsyreopløselig  $P_2O_5$ . Jordens »totale« indhold, bestemt ved kogning med 20 pct. saltsyre, fandtes til 0.074 pct. Multipliseres den opløste fosforsyremængde, udtrykt i mg  $PO_4/l$ , med 46.7, får man den opløste mængde i kg  $P_2O_5/ha$ , vægten af 1 ha regnet til 2.5 mill. kg. 15.87 mg  $PO_4/l$  svarer altså til 740 kg  $P_2O_5/ha$ . Når man erindrer, at en afgrøde ofte optager mindre end 10 pct. af fosforsyre, tilført som superfosfat, kan den svovlsyreopløselige fosforsyre ikke siges at være af nogen urimeelig størrelsesorden.

Konstanten  $b'$  har benævnelsen »normal svovlsyre« og angiver i ligning (9) den syrestyrke, ved hvilken halvdelen af  $a'$  går i opløsning. Selv om planterødderne ikke har fortyndet svovl-

syre til rådighed, må det dog antages, at konstanten  $b'$  er udtryk for forhold, som ikke er uden betydning for afgrødernes forsyning med fosforsyre. Jo mindre  $b'$  er, jo »lettere« opløselig er fosforsyren, således at forstå, at en relativ stor mængde af den svovlsyreopløselige fosforsyre går i opløsning i ganske svag svovlsyre.

I tabel 3 er, for de 6 i tabel 2 opførte jorder, dels anført den svovlsyrekoncentration, ved hvilken 10 pct. af maksimalmængden går i opløsning, dels den koncentration, der er nødvendig for at opløse en fosforsyremængde, svarende til 60 kg  $P_2O_5$ /ha.

Tabel 3. Data vedrørende fosforsyrens opløselighed.

Jord nr.	Svovlsyrenormalitet $\times 10^3$		$a'$	$Ft_1$	$Ft_2$
	10 pct. opløst	60 kg $P_2O_5$ opløst			
1.....	6.39	5.07	15.87	2.5	2.8
2.....	5.52	3.91	17.61	3.5	3.3
3.....	7.59	5.70	16.67	2.5	2.8
4.....	2.34	4.71	7.04	2.8	1.5
5.....	1.10	1.82	10.89	5.1	2.4
6.....	(29.81)	(23.91)	15.46	0.5	1.5

I tabel 3 er endvidere som  $Ft_1$ , anført fosforsyretal, bestemt efter salpetersyremetoden, og som  $Ft_2$  fosforsyretal, bestemt efter svovlsyremetoden.

De i tabellerne 2 og 3 anførte data viser dels, hvor forskellige jorder er, dels hvor umuligt det er gennem et enkelt tal at give nøjere oplysning om fosforsyretilstanden i en jord. Når tallene for jord nr. 6 er sat i parentes, er årsagen den, at beregningen, som tabel 2 viser, her giver for lave værdier for syrenormaliteten.

Skønt man ved rutineanalyser vil tage en bestemt og ikke for lille jordmængde i arbejde, koncentreredes undersøgelserne hurtigt om forholdet mellem jord og syremængde. Da denne sidste altid — af rent arbejdsmæssige grunde — udgjorde 250 ml, varieredes forholdet jord: vædske altid derved, at der indvejedes vekslende jordmængder. Syren var ved de allerfleste af de mange analyser, der udførtes, 0.2 normal svovlsyre. Som eksempel på, hvorledes den opløste fosforsyremængde afhænger af den indvejede jordmængde, skal anføres de i tabel 4 gengivne tal.



Tabel 4. Opløst fosforsyre som funktion af jordmængden.

Gram jord pr. 250 ml 0.2 n H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Opløst fosforsyre, mg PO <sub>4</sub> /l Jord nr.						
	1	6	7	8	9	10	11
1.0 .....	1.42	1.60	5.03	2.94	2.73	0.29	3.50
2.5 .....	3.44	3.56	10.81	7.79	6.81	0.62	8.31
5.0 .....	6.54	5.72	18.25	14.11	13.55	1.14	15.73
7.5 .....	9.38	6.56	22.13	20.50	18.92	1.63	21.64
10.0 .....	12.04	6.80	24.13	26.65	25.36	2.18	26.98
15.0 .....	17.28	6.40	28.75	36.04	37.48	3.11	36.88
20.0 .....	22.44	5.20	30.00	44.52	49.03	4.18	44.39
Ft <sub>1</sub> .....	2.5	0.5	0.3	2.2	7.7	2.3	2.1
Ft <sub>2</sub> .....	2.8	1.6	5.7	6.2	5.9	0.5	6.3

Det vil af tabel 4 ses, at i intet tilfælde vokser den opløste fosforsyremængde proportionalt med den indvejede jordmængde. Fordobles jordmængden, går altid mindre end den dobbelte fosforsyremængde i opløsning og jord nr. 6 er eksempel på, at øges jordmængden, kan den opløste fosforsyremængde aftage. Hvilken rolle forholdet jord:vædske spiller for fosforsyrens opløselighed, har været undersøgt på et meget stort antal jordprøver. Det må nemlig anses for et ret vigtigt spørgsmål, alene ud fra den betragtning, at — såfremt man overhovedet kan tale om et forhold jord:vædske ude i marken — dette forhold vil være så snævert, at det ikke kan efterlignes ved laboratorieundersøgelser. Man vil derfor være interesseret i, om der kan findes et lovmæssigt sammenhæng mellem opløst fosforsyre og forholdet jord:opløsningsmiddel, der gør en eventuel ekstrapolation mulig.

Betragter man tallene i tabel 4 nærmere, tyder de på et lovmæssigt sammenhæng, der måske bliver endnu tydeligere, hvis man — som i tabel 5 — angiver den pr. gram jord opløste fosforsyremængde som funktion af den indvejede jordmængde.

I figur 2 er resultaterne afbildet for jorderne nr. 1, 6 og 11.

Sammenhængen mellem den pr. gram jord opløste fosforsyremængde  $v$  og den — ved konstant rumfang 0.2 n svovlsyre — indvejede jordmængde,  $z$ , synes at kunne gengives ved en ligning af formen

$$v = \frac{a}{b+z} + c \quad (11)$$

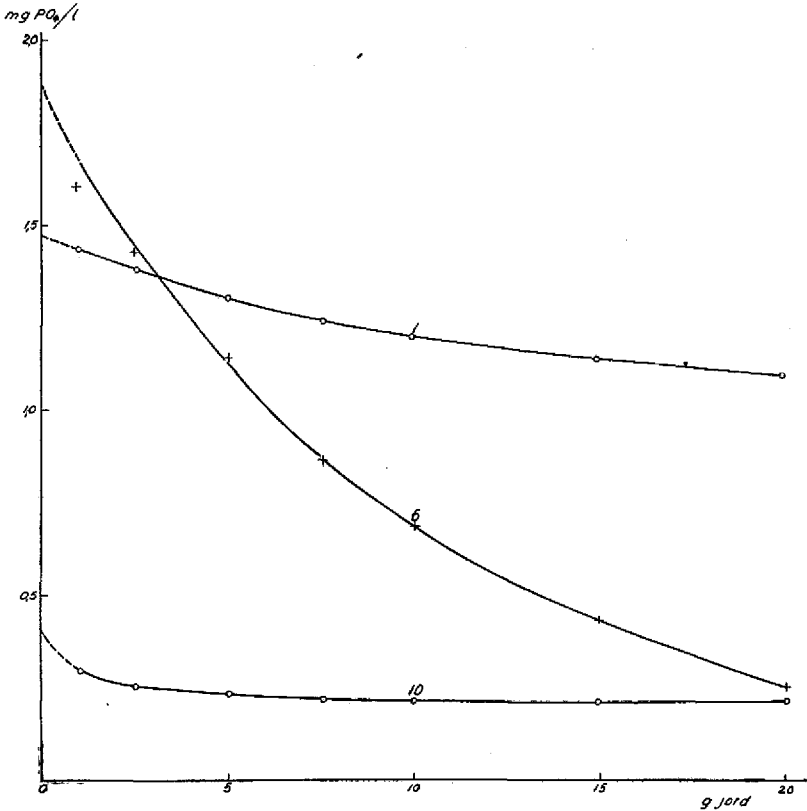


Fig. 2. Forholdet mellem indvejet jordmængde og opløst fosforsyremængde pr. g jord

hvor  $a$ ,  $b$  og  $c$  er konstanter. De for de forskellige jorder beregnede konstanter er anført forneden i tabel 5, og de beregnede  $v$ -værdier er anført i tabellen med kursiv.

Ligning (11) er — som den står — rent empirisk og angiver således kun, at den pr. gram jord opløste fosforsyremængde,  $v$ , daler fra  $a/b + c$ , til  $c$  når den indvejede jordmængde stiger fra 0 til  $\infty$ .

Søger man en forklaring på, hvorfor  $v$  aftager med stigende indvejning af jord, vil det være naturligt at tænke på den aftagen af syrestyrken, som stigende jordmængder vil fremkalde. Kun ved jordmængden 0 er syrestyrken 0.2 normal; jo større jordmængde, der indvejes, des mindre vil den virkelige syrestyrke være og indvejes tilstrækkelig store jordmængder, vil syrestyrken

Tabel 5. Opløst fosforsyre pr. g jord.  
mg  $PO_4/l$ .

Gram jord	Jord nr.						
	1	6	7	8	9	10	11
1.0 .....	1.42 1.42	1.66 1.60	4.99 5.03	3.00 2.94	2.70 2.73	0.29 0.29	3.50 3.50
2.5 .....	1.36 1.38	1.42 1.42	4.32 4.32	2.93 3.12	2.67 2.72	0.25 0.25	3.33 3.32
5.0 .....	1.30 1.31	1.11 1.14	3.50 3.65	2.82 2.82	2.62 2.71	0.23 0.23	3.09 3.15
7.5 .....	1.25 1.25	0.87 0.87	2.92 2.95	2.71 2.73	2.58 2.52	0.22 0.22	2.89 2.89
10.0 .....	1.21 1.20	0.69 0.68	2.49 2.41	2.60 2.67	2.55 2.54	0.21 0.22	2.72 2.70
15.0 .....	1.15 1.15	0.42 0.43	1.88 1.92	2.41 2.40	2.49 2.50	0.21 0.21	2.44 2.46
20.0 .....	1.12 1.12	0.24 0.26	1.43 1.50	2.23 2.23	2.44 2.45	0.21 0.21	2.22 2.22
a.....	5.83	33.0	59.45	502.98	26.95	0.156	78.12
$b = e/k$ .....	10.98	12.5	9.78	101.00	35.00	0.78	24.88
c.....	0.93	÷ 0.78	÷ 0.52	÷ 1.98	1.95	0.20	0.48
$a/b = d$ .....	0.53	2.64	6.08	4.88	0.77	0.20	3.14
$a/b + c = k$ ..	1.46	1.86	5.56	3.05	2.72	0.40	3.62
e.....	15.96	23.25	54.40	307.53	95.25	0.31	90.09

kunne dale til nul eller — f. eks. ved kalkholdige jorder — endda kunne blive negativ. Betragtes ligning (11) ud fra dette synspunkt, repræsenterer konstanten  $c$  en fosforsyremængde, der går i opløsning, selv om syrestyrken — når  $z$  bliver tilstrækkelig stor — synker til nul. Det vil da være nærliggende at kalde  $c$  vandopløselig fosforsyre, selv om  $c$ -værdien — af grunde, der ikke her skal diskuteres — kan forventes at afvige betydeligt fra den mængde fosforsyre, man vil få i opløsning, hvis jorden virkeligt rystes med vand.

Størrelsen  $a/b$  vil tilsvarende være den (maksimale) mængde fosforsyre, der — ud over  $c$  — kan gå i opløsning, når syrestyrken ved en minimal jordmængde virkelig er 0.2 normal.

I tabel 5 er de beregnede værdier for  $a/b$ ,  $c$  og  $a/b + c$  anført. De viser også, hvor forskellig jordfosforsyren er i forskellige jorder. Et forhold, der har en vis interesse er, at  $a/b + c$  er af samme størrelse som den maksimalværdi for opløselig fosforsyre, der fås ved at behandle jorden med svovlsyre af stigende styrke. Dette tyder på, at 0.2 normal svovlsyre — når blot forholdet jord:syre vælges tilstrækkeligt lille — opløser hele den fosforsyrefraktion, der overhovedet kan gå i opløsning i svovlsyre. Når man — ved at behandle 10 g jord med syre af stigende styrke — finder en forøgelse af den opløste fosforsyremængde, når syrestyrken øges ud over 0.2 normal (sml. tabel 2), skulle derfor andre forhold end netop syrestyrken spille ind.

En nærmere analyse af de i tabel 5 anførte data viser nu, at det ovenfor anførte synspunkt ikke kan anlægges. Allerede den omstændighed, at konstanten  $c$  undertiden findes negativ, giver anledning til betænkelighed, selv om en negativ  $c$ -værdi kan forstås således, at jorden ikke indeholder vandopløselig fosforsyre og endda i udpræget grad vil fastlægge vandopløselig fosforsyre, hvis den tilføres. Endnu betænkeligere er det, at den nedgang i syrestyrke, som stigende jordmængder virkelig fremkalder, ikke kan bringes i samklang med ligning (11). Denne fordrer således ved nogle jorder en aftagen af syrestyrken, der er mange gange større end den, man eksperimentelt finder. Der er derfor søgt efter en anden forklaring på det gennem (11) udtrykte forhold.

Allerede i 1932 var *Bondorff & Steenbjerg* (3) inde på, at den opløste fosforsyremængdes afhængighed af forholdet jord: opløsningsmiddel kunne forklares ved, at jorden absorberede en del af den opløste fosforsyre. Denne opfattelse har også ved nærværende undersøgelse vist sig at være den, der bedst kan forklare de iagttagne forhold.

Rystes varierende jordmængder med en konstant mængde af et opløsningsmiddel, der ikke væsentligt ændres som følge af de varierende jordmængder, ville egentlig en fosforsyremængde,  $y'$ , proportional med den indvejede jordmængde,  $z$ , gå i opløs-

ning, så længe der ikke er tale om mætning af opløsningsmidlet. Udtrykt i ligningsform har man da

$$y' = k \cdot z \quad (12)$$

Ved konstant rumfang kan  $y'$  udtrykkes som en koncentration. Imidlertid sker der en absorption af den opløste fosforsyre. Denne absorption kan udtrykkes ved

$$r = \frac{dkz}{e + kz} \quad (13)$$

hvor  $r$  er den pr. g jord absorberede fosforsyremængde,  $d$  og  $e$  konstanter. Sammenholdes (12) og (13) får man

$$y' - r = y = kz - \frac{dkz}{e + kz} \cdot z \quad (14)$$

eller

$$\frac{y}{z} = v = k - \frac{dz}{e/k + z} \quad (15)$$

Denne sidste kan omformes til

$$v = \frac{de/k}{e/k + z} + (k - d) \quad (16)$$

Det vil ses, at (16) er af samme form som (11) og gennem antagelsen af, at den fosforsyremængde, man finder i opløsningen, fremkommer som resultat af to modsat rettede processer, en opløsning og en absorption, når man altså til en ligning, der ganske svarer til den empiriske ligning (11).

De i ligning (14) indgående konstanter har følgende betydning.

Konstanten  $k$  er mængden af fosforsyre pr. g jord, opløselig i 0.2  $n$  svovlsyre og som foran nævnt synes  $k$  at være den totale mængde uorganiske fosforsyre, der overhovedet kan opløses i svovlsyre.

Konstanten  $d$  er den mængde fosforsyre, som 1 g jord maksimalt kan absorbere. Den kan kaldes absorptionskapaciteten.

Da rumfangsforholdene har været konstante, er  $k$  og  $d$  udtrykt ved koncentrationer, mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ . Divideres  $k$  og  $d$  med 4, fås fosforsyremængderne i mg  $\text{PO}_4/\text{g}$  jord.

Konstanten  $e$  er den fosforsyrekoncentration, i mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ , ved hvilken jorden — under de givne forsøgsbetingelser — er halvt mættet, d. v. s. har absorberet halvdelen af  $d$ . Jo mindre  $e$  er, desto mindre vil  $y$  (ved samme  $k$ - og  $d$ -værdi) være. Størrelsen  $1/e$  kan kaldes absorptionsintensiteten. En stor værdi af  $1/e$  betyder, at allerede fra svage fosforsyreopløsninger er en stor del af den fosforsyre, der kan absorberes, absorberet.

Ud fra det her anførte synspunkt vil man betragte de i tabel 5 opførte jorder på en anden måde. Jorderne 6, 7 og 8, der har negative  $c$ -værdier, viser sig nu at være jorder, hvis absorptionskapacitet (for svovlsyreopløselig fosforsyre),  $d$ , er større end deres indhold af fosforsyre. De må altså betragtes som ganske umættede m. h. t. fosforsyre. Jord nr. 9 er en jord med ikke særligt højt indhold af fosforsyre, men absorptionskapaciteten er lille, kun svarende til 0.77 mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ . Af interesse er også sammenligninger mellem nr. 7 og 8 og nr. 8 og 11.

Nr. 8 indeholder væsentligt mindre svovlsyreopløselig fosforsyre end nr. 7. Men ved indvejning af 10 g jord (eller mere), findes mere opløst fosforsyre ved jord nr. 8 end ved nr. 7, grundet på, dels at absorptionskapaciteten er mindst for nr. 8, dels og navnlig fordi nr. 8 har en meget stor  $e$ -værdi, d. v. s. en lille absorptionsintensitet. Selv om nr. 8 kan absorbere store mængder fosforsyre, skal der »koncentrerede« opløsninger til, før absorptionen antager noget større omfang.

Nr. 8 og nr. 11 har omtrent samme fosforsyreindhold og den mængde fosforsyre, der går i opløsning ved forskellig indvejningsmængde, er også ret nær ens. Men konstantberegningen afslører en stor forskel mellem de 2 jorder. Det er på grund af sin ringe absorptionsintensitet, den umættede jord nr. 8 kan følge trop med nr. 11.

Et ret stort antal jorder har været undersøgt på denne måde og de forskellige konstanter beregnet. Overensstemmelsen mellem de fundne og beregnede værdier har altid været tilfredsstillende, og konstanterne har givet et dybere indblik i jordens fosforsyretilstand, end man tidligere har haft. Hosstående skal i tabelform gives konstanterne for nogle jorder og for sammenligningens skyld medtages også jorderne fra tabel 5.

Tabel 6. Konstanter for forskellige jorder.

Jord nr.	<i>k</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	Ft <sub>1</sub>	Ft <sub>2</sub>	pct. humus
6	1.86	2.64	23.25	1.0	1.5	52.4
7	5.56	6.08	54.40	0.9	5.7	11.7
8	3.08	4.98	307.93	2.2	6.2	3.1
9	2.72	0.77	95.25	7.7	5.9	2.5
10	0.40	0.20	0.31	1.7	0.5	5.8
11	3.62	3.14	90.09	2.1	6.3	4.5
12	1.64	0.46	15.61	4.5	3.3	2.4
13	3.43	4.86	176.68	4.4	6.2	12.3
14	2.10	0.87	32.72	2.8	4.1	3.4
15	2.10	0.68	11.91	2.4	4.0	3.1
16	1.76	0.96	71.86	5.2	3.7	2.5
17	2.99	0.12	7.78	6.1	7.2	2.0
18	9.50	7.00	122.69	1.7	16.3	9.1
19	2.48	1.14	42.22	—	4.7	2.3
20	3.58	1.26	48.01	—	7.0	2.3
21	5.19	6.17	65.80	0.3	5.8	11.7

Om jorderne skal anføres følgende:

- Nr. 6. Okkerholdig lavmosejord fra Nisumgaard ved Skanderborg.  
 Nr. 7. Jærnholdig, stærkt humusholdig jord (»rødjord«) fra Skærbæk.  
 Nr. 8. Let sandjord fra Nørre Snedeegnen.  
 Nr. 9. Lermuld fra Rønde, Djursland.  
 Nr. 10. Let sandjord (hedejord) fra Hejnsvig.  
 Nr. 11. Let lermuld fra Kalø, Djursland.  
 Nr. 12. Lermuld fra Farendløse, Midtsjælland.  
 Nr. 13. Svær, dyndagtig lerjord fra Volshave, Vestlolland.  
 Nr. 14. Lermuld fra Hornstrup, Vejleegnen.  
 Nr. 15. Lermuld fra Ø. Grundet, Vejleegnen.  
 Nr. 16. Lermuld fra Billesborg, Køgeegnen.  
 Nr. 17. Sandmuld fra Grevinge, Holbækeggen.  
 Nr. 18. Stærk humusholdig, dyndagtig jord fra Dybvad, Vendsyssel.  
 Nr. 19. Svær lerjord fra Sophiehøj, Midtjylland.  
 Nr. 20. Samme jord gødet med 2000 kg superfosfat/ha.  
 Nr. 21. Samme jord som nr. 7, anden prøveudtagning.

Det vil ses, hvor forskellig jord kan være. Gennemgår man tabellen nøjere, vil det ses, at høje *d*-værdier, stor absorptionskapacitet, oftest følges med et højt humusindhold i jorden. Imidlertid har de pågældende jorder været ret jærnholdige og er netop af denne grund inddraget i undersøgelsen. Det er måske snarere jærnindholdet end humusindholdet, der ligger bag den høje absorptionskapacitet.

I og for sig er det mærkeligt, at ligning (14) gengiver forsøgsresultaterne så tilfredsstillende, som den gør. Man skulle vente at ligningen

$$y = kz - \frac{ay}{b+y} \cdot z \quad (17)$$

var bedre. Denne ligning beskriver absorptionen som bestemt ved fosforsyrekoncentrationen efter absorptionen,  $y$ , og ikke ved koncentrationen før absorptionen,  $kz$ .

Ligningen (17) kan vel beskrive forsøgsresultaterne for en række jorder, men svigter overfor andre jorder, nemlig de jorder, hvor den opløste fosforsyremængde ved større jordmængder aftager med stigende jordmængder. Det er sådanne jorder, hvor  $d$  i ligningen (14) findes større end  $k$ , altså jorder, hvis absorptionskapacitet er større end deres indhold af svovlsyreopløselig fosforsyre.

Teorien om, at den ved jordens behandling opløste fosforsyremængde fremkommer som differens mellem en opløsnings- og en absorptionsproces, er søgt underbygget ved undersøgelser over, hvorledes forholdene stiller sig, når man tilsætter systemet opløst fosforsyre.

Hvis ligningen

$$y = kz - \frac{dkz}{e+kz} \cdot z \quad (14)$$

beskriver forholdene, skulle man, når der tilsættes fosforsyre i en mængde svarende til  $t$  mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ , få

$$y = kz + t - \frac{d(kz + t)}{e+kz+t} \cdot z \quad (18)$$

Fikseres  $z$  (jordmængden), f. eks. til 10 g, får man

$$y = 10k + t - \frac{d(10k + t)}{e + 10k + t} \cdot 10 \quad (19)$$

Man skulle altså ud fra forsøg med stigende indvejning af jord kunne beregne, hvad der vil ske, hvis man ved konstant jordmængde tilfører stigende mængder fosforsyre.

Som eksempel skal anføres tallene fra et forsøg med jord nr. 11. Ved forsøg med stigende jordmængder var fundet de i



tabel 5 anførte resultater. Der afvejedes derpå 6 portioner a 10 g som rystedes 3 timer med 250 ml 0.2 n svovlsyre, hvortil — i form af  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — var sat fosforsyre, svarende til 0, 4, 8, 12, 16 og 20 mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ . Filtraternes fosforsyreindhold er anført nedenfor.

mg $\text{PO}_4/\text{l}$ tilsat	mg $\text{PO}_4/\text{l}$ i filtrat	
	fundet	beregnet
0	26.96	27.20
4	30.51	30.52
8	34.02	33.86
12	37.38	37.26
15	40.42	40.68
20	43.82	44.14

Ved undersøgelsen af en række forskellige jorder har man fået tilsvarende resultater. Spørgsmålet om fosforsyrens absorption skal iøvrigt ikke behandles nærmere i nærværende beretning.

Hvad absorptionens natur angår, hersker endnu uklarhed. Det kunne tænkes, at der i de stærkt sure opløsninger, der her er anvendt, var tale om en anionbytning, idet opløsningerne er så sure, at jordkolloiderne optræder som kationer. Imod denne antagelse taler den omstændighed, at jo svagere syre, der anvendes, jo større absorption finder man.

Ser man nu på resultaterne af de her refererede undersøgelser, synes det fastslået, at der findes en relativt veldefineret fosforfraktion i jorden, opløselig i svovlsyre. Fraktionen omfatter en række forskellige fosfater og det må antages, at — under danske jordbunds- og gødningsforhold — denne fraktion er den væsentligste fosforsyrekilde for afgrøderne.

Undersøgelserne har imidlertid også vist, at denne fraktions opløselighedsforhold kan variere stærkt fra jord til jord. Forskellighederne har vist sig, når der anvendtes forskellig syrestyrke ved konstant forhold mellem jord og vædske, og har vist sig, når der — ved konstant syrestyrke — anvendtes forskelligt forhold mellem jord og opløsningsmiddel.

Det er nærliggende at antage, at de forskelligheder, der er påvist, også spiller en rolle, når talen er om planternes udnyttelse af fosforsyren, og til karakterisering af en jords fosforsyretilstand er en række tal derfor nødvendige. Ved praktiske jordbundsundersøgelser vil man søge at nøjes med eet tal, der i sig inkluderer om ikke samtlige forhold, så dog de væsentligste.

Det vil ved rutineanalyser være ønskeligt, om man kan nøjes med een syrestyrke, og det vil være hensigtsmæssigt at vælge denne så stærk, at den fosforfraktion, der er tale om, kan gå i opløsning, uden at man risikerer nævneværdig destruktion af humusstofferne og uden at den »silikatbundne« fosforsyre går i opløsning. En 0.2 normal svovlsyre opfylder i alt fald for de allerfleste jorder denne fordring.

En behandling af jorden med 0.2 normal svovlsyre er et kraftigt indgreb i jordens naturlige tilstand. Men denne behandling adskiller sig næppe principielt fra andre behandlinger, hvorved man søger at bestemme jordens indhold af »tilgængelig« fosforsyre. Ved alle metoder underkastes jorden en behandling, der i høj grad ændrer de kemiske og fysiske forhold, og hvis man, gennem behandling med 0.2 normal svovlsyre, når det tilsigtede mål, at få et begreb om jordens indhold af tilgængelig fosforsyre, er spørgsmålet, om det da ikke er ligeegyldigt, i hvilken grad jorden ændres.

Vælger man ved undersøgelsen forholdet jord:syre meget stort, f. eks. kun indvejer 1 g jord til 250 ml syre, får man praktisk taget jordens totale indhold af svovlsyreopløselig fosforsyre i opløsning. Ved så lille en jordmængde vil absorptionsprocessen ikke spille nogen rolle. Vælger man en større jordmængde, kommer også absorptionsprocessen med i spillet. Fosforsyremængden i filtratet er mindre end totalmængden. Hvor meget mindre, afhænger af absorptionens størrelse.

Stræber man efter et ettalsudtryk, vil det derfor være nærliggende at anvende en relativt stor jordmængde. Igen er det et spørgsmål, der må afgøres skønsomt, hvilken jordmængde man skal vælge. Når man ved rutineanalysen er blevet stående ved 10 g, er denne mængde for så vidt vilkårligt valgt, bestemt dels af hensyn til, at denne jordmængde let kan afvejes med tilfredsstillende nøjagtighed, dels af hensyn til, at man med 10 g jord kan få en nogenlunde pålidelig gennemsnitsprøve og endelig med henblik på, at ved denne jordmængde vil absorptionsprocesserne, som man sikkert bør tage hensyn til, influere kendeligt på den fosforsyremængde, man finder i ekstrakten.

Man valgte altså den fosforsyremængde, der går i opløsning, når 10 g jord rystes 3 timer med 0.2 normal svovlsyre som ettals-

udtryk for jordens fosforsyretilstand. Før imidlertid — i videst mulig udstrækning — at bevare forbindelsen med de »gamle« fosforsyretal, valgtes det at multiplicere denne fosforsyremængde udtrykt i mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ , med 0.2336. Man fik derved tal af samme størrelsesorden som de gamle fosforsyretal.

Tilbage stod at undersøge, om disse nye fosforsyretal var i alt fald lige så gode, d. v. s. stemte lige så godt med markforsøgenes resultater. Den omstændighed, at de nye fosforsyretal var meget stærkt korrelerede med de gamle, var en indikation for de nye tals anvendelighed, men ikke noget egentligt bevis. Dette forhold er nærmere omtalt i en tidligere beretning (4).

En direkte sammenligning med resultater fra markforsøg er foretaget i den undersøgelse, som et udvalg nedsat af Nordiske Jordbrugsforskeres Forening har udført (5,6) og hvortil der her skal henvises. Det viste sig her, at de nye tal var fuldt så godt korreleret med markforsøgenes resultater som de gamle fosforsyretal og i betragtning af, at selve analysen var lettere og sikrere end den hidtil brugte, har man da fra 1. juni 1948 anvendt de nye fosforsyretal ved de rutineanalyser, der udføres på Statens Planteavlslaboratorium.

De nye fosforsyretal er — som de gamle — rent empiriske. Men dette gælder alle til dato foreslåede »fosforsyretal«. Det eneste kriterium, man kan opstille for de forskellige fosforsyretals anvendelighed, deres kvalitet, er deres overensstemmelse med markforsøget.

Som ovenfor omtalt, vil det ikke være muligt i et enkelt tal at give oplysning om alt, hvad man egentlig kan oplyse om jordens fosforsyretilstand. Men hensynet til, at rutineanalysen skal være hurtig og billig, og hensynet til, at praktikerne som regel vil være ude af stand til at vurdere og udnytte flere tal for den samme jordprøve, bevirker, at man søger at få et ettalsudtryk, selv om man erkender dets ufuldstændighed.

Om det ettalsudtryk, der her er valgt og som er valgt således, at — gennem faktoren 0.2336 — en enhed af fosforsyretallet svarer til 200 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$  pr. ha (2.5 mill. kg), om dette ettalsudtryk er det bedst mulige, vil kunne diskuteres. Der arbejdes stadig på Statens Planteavlslaboratorium for at finde bedre tal, og den linie, man for tiden arbejder efter, skal kort omtales. Den er

fremgået af de ovenfor omtalte undersøgelser og er en direkte fortsættelse af disse.

Ved de fosforsyretal, der i øjeblikket findes, hvad enten det er Statens Planteavls-Laboratoriums fosforsyretal, Hedeselskabets fosfattal, Egners laktattal eller andre, angiver man et enkelt tal, der — med rette eller urette — formodes at være et udtryk for jordens indhold af tilgængelig fosforsyre. Og gennem markforsøg søger man så at »kalibrere« tallene. Denne kalibrering tager som regel sigte på at udfinde, hvilket merudbytte, en bestemt mængde fosforsyregødning, f. eks. 200 kg superfosfat, frembringer på jorder med forskellige fosforsyretal.

Imidlertid — hvis jordbundsanalysen angiver, at en jord har et lavt fosforsyretal — vil praktikerens nok være interesseret i at vide, hvilket merudbytte 200 kg superfosfat frembringer; men i endnu højere grad vil han være interesseret i at vide, hvor stor mængde superfosfat, han bør anvende. Og dette sidste spørgsmål kan intet af de eksisterende fosforsyretal besvare.

Det skulle ligge indenfor mulighederens grænse, at man gennem en laboratorieundersøgelse, kalibreret ved sammenligning med resultater af markforsøg, kunne nå til at angive den mængde fosforsyregødning, der i det enkelte tilfælde bør anvendes. Der arbejdes i øjeblikket på Statens Planteavls-Laboratorium på denne opgave, hvis eventuelle løsning imidlertid først kan foreligge, når det for metodens anvendelighed nødvendige antal markforsøg foreligger. Det vil imidlertid være naturligt at give en redegørelse for disse undersøgelser, der er fremgået af de ovenfor refererede undersøgelser og er en videreførelse af disse.

Som det fremgår af ligning (14), beskrives jordens fosforsyretilstand ved 3 tal,  $k$ ,  $d$  og  $e$ , der angiver henholdsvis jordens indhold af svovlsyreopløselig fosforsyre ( $k$ ), dens absorptionskapacitet ( $d$ ) og dens absorptionsintensitet ( $1/e$ ). Der kræves derfor mindst 3 fosforsyrebestemmelser, enten med stigende jordmængder eller med konstant jordmængde og tilsætning af fosforsyre, for at kunne bestemme konstanterne.

Imidlertid kan man ved hjælp af 2 fosforsyrebestemmelser nå en — som det synes — god beskrivelse af fosforsyretilstanden, og en beskrivelse, som, selv om den er ufuldstændig, i flere henseender frembyder fordele for den fuldstændige.

Udfører man forsøg med konstant jordmængde, f. eks. 10 g, og tilsætter fosforsyre, kan resultaterne afbildes grafisk som vist i fig. 3.

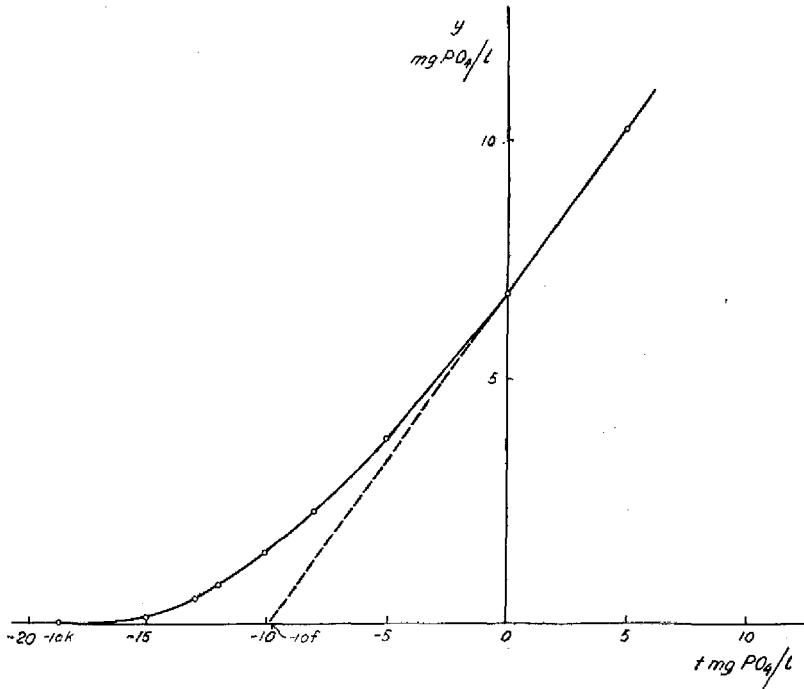


Fig. 3. Forholdet mellem tilsat og opløst fosforsyremængde.

Afbildes den opløste fosforsyremængde som funktion af den tilsatte fosforsyremængde, fås en krum kurve, der — med stigende tilsætning — asymptotisk vil nærme sig en ret linie med hældningskoefficienten 1. Ekstrapoleret bagud vil kurven skære abscisseaksen i punktet  $-10 k$ .

Trækker man en ret linie, f. eks. gennem punkterne  $y_0$  og  $y_1$  ( $t=5$ ), og forlænger denne bagud, vil denne linie skære abscisseaksen i punktet  $-10 f$ , og  $f$  vil være en tilnærmet værdi for  $k$ , men altid være mindre end  $k$ .

Den rette linies hældningskoefficient,  $r$ , er bestemt ved

$$r = \frac{y_1 - y_0}{t} \quad (20)$$

Indsættes her i stedet for  $y_0$  og  $y_1$  udtrykkene

$$\begin{aligned}
 y_0 &= 10 k - \frac{100 dk}{e+10 k} && \text{og} \\
 y_1 &= 10 k + t - \frac{10 d(10 k + t)}{e+10 k + t} && \text{fås} \\
 r &= 1 - \frac{10 de}{(e+10 k + t)(e+10 k)} && (21)
 \end{aligned}$$

Det vil ses, at  $r$  bliver desto mindre, jo større  $d$ , absorptionskapaciteten er. En stor absorptionsintensitet,  $1/e$ , og en stor tilført fosforsyremængde,  $t$ , bevirker derimod — andre forhold lige — en stor  $r$ -værdi. Hældningskoefficienten indbefatter altså de 2 absorptionskonstanter. Jo mindre hældningskoefficient, jo mere absorberer jorden af tilført fosforsyre.

Størrelsen  $f$  er bestemt ved

$$f = \frac{y_0}{10 \cdot r} \quad (22)$$

Indsættes udtrykket for  $y_0$ , fås

$$f = k/r - 1/r \cdot \frac{d}{e/10 k + 1} \quad (23)$$

Dette udtryk viser, at  $f$  vil nærme sig  $k$ , når  $r$  nærmer sig 1, når  $d$  er lille og  $e$  stor, d. v. s. absorptionen er ringe.

Hvor god en approximation  $f$  er, vil fremgå af tabel 7, hvor der på grundlag af forsøg med tilsætning af fosforsyre, svarende til 4 mg  $\text{PO}_4/l$ , er anført de beregnede værdier for  $k$  og  $f$ .

Det vil ses, at  $f$ -værdierne i de fleste tilfælde er en ganske god tilnærmelse til  $k$ -værdierne, og en sammenligning med tabel 6 viser, at hældningskoefficienten  $r$  er et udtryk for absorptionsforholdene.

Ved rutineanalyser kan der derfor være al anledning til kun at udføre 2 fosforsyrebestemmelser og beregne  $f$  samt  $r$ .

En beregning af  $k$  kræver 50 pct. mere analysearbejde plus et omstændeligere beregningsarbejde. Konstanten  $r$  har desuden den letfattelige betydning, at  $100(1 - r)$  er den mængde af tilført fosforsyre, som jorden absorberer så stærkt, at den ikke er op-

Tabel 7. Beregnede konstanter.

Jord nr.	<i>k</i>	<i>f</i>	<i>r</i>
1	1.46	1.31	0.92
6	1.86	1.01	0.68
7	5.56	2.95	0.74
8	3.08	3.08	0.87
9	2.72	2.68	0.95
10	0.40	0.22	0.98
11	3.62	3.28	0.83
12	1.64	1.50	0.94
13	3.43	3.26	0.81
14	2.10	1.94	0.91
15	2.10	1.79	0.93
16	1.76	1.71	0.92
17	2.99	2.92	0.99
18	9.50	7.84	0.82
19	2.43	2.39	0.90
20	3.53	3.32	0.92
21	5.19	3.44	0.72

løselig i fortyndet svovlsyre. Det vil af tabel 7 ses, at jorderne har absorberet fra 1 til 32 pct. af den tilførte fosforsyre.

Det vil nu være af interesse at undersøge, om der er nogen korrelation mellem *k*-, resp. *f*-værdierne og jordens produktivitet, resp. virkningen af superfosfat på den pågældende jord. Der skal her erindres om, at en *k*-værdi på 1 modsvarer 467 kg svovlsyreopløselig  $P_2O_5$  pr. ha (= 2.5 mill. kg).

Imidlertid kan det formodes, at ikke blot *k*-værdien, men også jordens absorption vil spille ind og — som det ovenfor er omtalt — er der påvist en ganske god korrelation mellem den fosforsyremængde, der går i opløsning, når 10 g jord rystes med 250 ml 0.2 normal svovlsyre og afgrødens størrelse. Kaldes denne fosforsyremængde, udtrykt i mg  $PO_4/l$ ,  $y_{10}$ , er de nye fosforsyretal  $y_{10} \cdot 0,2336$ .

Det synes, efter det hidtil foreliggende, men endnu ikke tilstrækkeligt store forsøgsmateriale, at en god kornafgrøde, der ikke reagerer overfor tilskud af superfosfat, kræver en  $y_{10}$ -værdi på mindst 15 (= Ft 3.5), medens en rodfrugtafgrøde kræver en  $y_{10}$ -værdi på c. 20 (= Ft 4.7).

Finder man altså ved analysen en lavere  $y_{10}$ -værdi, skulle jorden ikke indeholde tilstrækkelig fosforsyre til maksimal af-

grøde. Hvor store mængder superfosfat, der i så tilfælde bør tilføres, er bestemt af  $y_{10}$  samt  $r$ , idet man til korn skal tilføre en fosforsyremængde, svarende til  $(15 - y_{10}) : r$  mg  $\text{PO}_4/\text{l}$ . Omregnet pr. 2.5 mill. kg jord og 18 pct. superfosfat betyder dette, at hver enhed,  $y_{10}$  findes for lavt, modsvarende  $(260:r)$  kg 18 pct. superfosfat pr. ha.

En sådan beregning vil, når  $y_{10}$  er meget forskellig fra optimumsværdien, give noget for høje superfosfatmængder, men forskellen vil ikke være stor. For jord nr. 6 finder man således 2900 kg superfosfat efter ligning (19), medens approximationen  $(15 - y_{10}) (260:r)$  giver 3100 kg.

Det kan synes meget store mængder, man i visse tilfælde kommer til. Men jorder, der fastlægger fosforsyre kraftigt, kræver sikkert en grundgødskning med fosforsyre for at kunne komme op på fuld ydeevne.

De løbende undersøgelser tager sigte på at undersøge, om denne vej til at angive størrelsen af den fosforsyremængde, man bør tilføre jorden, er farbar.

## SUMMARY

Experiments on the solubility of soil phosphorus in diluted sulphuric acid indicate, that a definite fraction of the total soil phosphorus is soluble in sulphuric acid. This fraction, which is thought to be the inorganic soil phosphorus, amounts — in danish soils — very seldom to half the total phosphorus content, but it seems that this "acid-soluble" phosphorus determines the yields as well as the effect of a dressing with phosphatic fertilizers.

If increasing amounts of soil are treated with a constant volume of 0.2 normal sulphuric acid, the amounts of phosphoric acid going into solution are not proportionate to the amounts of soil. The results can be described by the equation,

$$y = kz - \frac{e + kz}{dkz} \cdot z \quad (14)$$

$y$  is the amount of phosphoric acid found in the solution,  $z$  the amount of soil,  $k$ ,  $d$  and  $e$  are constants,  $k$  indicating the total amount of phosphoric acid per gram of soil, soluble in 0.2 normal sulphuric acid. The equation may be interpreted as follows.



The amount of phosphoric acid in the solution would be  $kz$ , i.e. would be proportionate to the amount of soil, if not an absorption of dissolved phosphoric acid took place. The absorption per gram of soil is given by

$$\frac{dkz}{e + kz}$$

where  $d$  may be called the "absorption capacity",  $e$  — or better  $1/e$  — the "absorption intensity".

From a theoretical point of view one would expect, that equation (14) should be replaced by

$$y = kz - \frac{dy}{e + y} \cdot z \quad (17)$$

$y$  being the equilibrium concentration of phosphoric acid; but equation (17) does not fit the experimental results as well as equation (14).

The theory, expressed by equation (14), has been tried by adding dissolved phosphoric acid to the system. Keeping  $z$  a constant, say 10 grams, (14) gives

$$y = 10k + t - \frac{d(10k - t)}{e + 10k + t} \cdot 10 \quad (19)$$

$t$  being the amount of dissolved phosphoric acid added to the the system. The experiments have shown, that (19) fits the results astonishingly well.

The investigations form the basis for the present danish method to determine the content of "available" phosphoric acid in soils. 10 grams of soil are shaken for 3 hours with 250 ml 0.2 normal sulphuric acid. In the filtrate, the content of phosphoric acid is determined by colorimetry, using ammonium-molybdate and metol as the reducing agent. The result is expressed as mg  $\text{PO}_4$  per liter of the filtrate. Multiplying this figure by 0.2336 gives finally the "phosphorus value,, of the soil. The reason for multiplying with 0.2336 is, that the "phosphoric values,, then are of the same order of magnitude as the values obtained by the older danish method and further, that a unit of the phosphorus values corresponds to 200 kilos  $\text{P}_2\text{O}_5$  pr. 2.5 million kilos of soil (= 1 hectare).

The attention is further drawn to the fact, that if *small* amounts of (dissolved) phosphoric acid are added to  $z$  grams of soil suspended in a constant volume of 0.2 normal sulphuric acid, the amounts of phosphoric acid found in the solution vary *nearly* rectilinear in relation to the amounts added (fig. 3).

Extrapolating the straight line to its intersection with the abscissæ axis gives the point  $\div z \cdot f$ ,  $f$  being an approximation to the constant  $k$  (table 7).

The slope  $r$  of the straight line is mainly determined by the constants  $d$  and  $e$  (see equation (21)) and is thus an expression of the absorption of phosphoric acid by the soil,  $(1 - r) \cdot 100$  being the percentage of added phosphoric acid absorbed.

Finally it is pointed out, that the constant  $r$  seems to be of importance in determining the amount of superphosphate necessary to raise a low "phosphorus value,, of the soil to a value sufficiently high to guarantee, that the yield will not be limited by lack of available phosphorus.

## LITTERATUR

1. *J. Find Poulsen*: Studier over forskellige Fosfaters Gødningsværdi II. Om nogle Ferri- og Aluminiumfosfaters Gødningsværdi. Tidsskrift for Planteavl. 51. bd. s. 616—639. 1948.
2. *P. Damsgaard-Sørensen*: Studier over Jordens Fosforsyreindhold IV. Det organisk bundne Fosfor. Tidsskrift for Planteavl. 50. bd. s. 653—675. 1946.
3. *K. A. Bondorff & F. Steenbjerg*: Studier over Jordens Fosforsyreindhold I. Jordfosforsyrens Opløselighed. Tidsskrift for Planteavl. 38. bd. s. 273—308. 1932.
4. *K. A. Bondorff*: Studier over jordens fosforsyreindhold. V. En ny fremgangsmåde ved undersøgelsen af jordens fosforsyreindhold. Tidsskrift for Planteavl. 53. bd. s. 336—342. 1950.
5. *K. A. Bondorff*: Foreløbig beretning fra N. J. F.'s udvalg for jordanalyser og markforsøg. Beretning om Nordiske Jordbrugsforskere's Forening 7. kongres i Oslo 1947, s. 749—764.
6. *Karsten Iversen*: Om bestemmelse af jordens gødningstrang. Nordisk Jordbrugsforskning. 1949—50, s. 189—211. 1951.