

Studier over Jordens Fosforsyreindhold.

I. Jordfosforsyrens Opløselighed. .

Af K. A. Bondorff og F. Steenbjerg.

256. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Nærværende Afhandling fremkommer som første Resultat af en Række Arbejder, der er udført og udføres med det Formaal at fremskaffe en Laboratoriemetode til Erstatning for kortvarige Gødningsforsøg.

De i Afhandlingen refererede Undersøgelser er dels udførte paa Statens Planteavls-Laboratorium, dels paa Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles Afdeling for Landbrugets Jorddyrkning, idet en Del af Undersøgelserne er udførte af Afdelingsbestyrer *F. Steenbjerg* under et Specialkursus ved Højskolen. Undersøgelserne angaar kun rent teoretiske Spørgsmaal vedrørende Jordfosforsyrens Opløselighed og tager ikke direkte Sigte paa Arbejdernes Hovedformaal.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Om Opløseligheden af den i Jorden værende Fosforsyre foreligger en overordentlig stor Litteratur. Kemikerne har alle Dage interesseret sig stærkt for Jordens Fosforsyreindhold, hvad enten Aarsagen til denne Interesse nu maa søges i de interessante, men indviklede Opløselighedsforhold, man her træffer, eller i, at man til Bestemmelse af Fosforsyre har haft lette og relativt nøjagtige Analysemetoder. Men trods alle foreliggende Arbejder er Opløselighedsforholdene for Jordens Fosforsyre endnu langt fra klarlagte, og der var her, da nærværende Arbejde paabegyndtes — og er fremdeles — et rigt og taknemmeligt Arbejdsfelt. Medens Undersøgelserne var i fuld Gang, fremkom *Gaarders* Arbejde over Opløseligheden af de i Jorden formentlig

forekommende Fosfater (1)¹⁾. Ved de senere Undersøgelser har der ofte været Anledning til at sammenligne med Gaarders overordentlig værdifulde Arbejde, som imidlertid angriber Problemerne fra en anden Side end nærværende Undersøgelse, og Gaarders Arbejde har derfor ikke ført til Ændringer i den for Arbejdet oprindeligt lagte Plan.

I. Den anvendte Metodik.

Fosforsyrebestemmelserne.

Ved Bestemmelse af saa smaa Fosforsyrekoncentrationer, som paatræffes i Jordekstrakter, ofte under 1 mg $\text{PO}_4/1$, vil en kolorimetrisk Metode være at foretrække fremfor en gravimetrisk eller volumetrisk Metode, der vil kræve Inddampning af ret store Vædskemængder. Af kolorimetriske Metoder til Fosforsyrebestemmelse foreligger adskillige. De fleste beror dog paa den Omstændighed, at Fosformolybdat ved Reduktion under passende Betingelser omdannes til en intensiv blaa Forbindelse, det saakaldte Molybdænblaat. Der er forud for det egentlige Undersøgelsesarbejde — og ogsaa under dette — gennemprøvet forskellige af de paa dette Princip beroende Metoder, af hvilke udvalgte dels *Atkins'* Modifikation (2) af *Denigès'* Metode (3), dels *Truog & Meyer's* Modifikation (4) af samme Metode. Begge Modifikationer har deres Fortrin og Mangler.

Atkins' Modifikation.

Til Analysens Udførelse kræves følgende Reagenser:

1) Molybdatopløsning: 100 cm^3 af en 10 pCt. Opløsning af Ammoniummolybdat blandes med 300 cm^3 50-procentig (Volumen) arsenfri Svovlsyre. Begge Opløsninger maa være afkølede, inden Blandingen foretages. Filtrering efter Blandingen maa undgaaes, og Opløsningen maa opbevares i Mørke.

2) Stannokloridopløsning: 0.5 g rent, pulveriseret Tin overføres i en lille Erlenmeyerkolbe. Der tilsættes 5 Draaber 4 pCt. Kupri-sulfatopløsning samt 10 cm^3 koncentreret, arsenfri Saltsyre. Der opvarmes forsigtigt, til Tinnets er gaaet i Opløsning. Herefter tilsættes destilleret Vand, til man har 50 cm^3 Reagens, hvorpaa filtreres. Reagentet fremstilles frisk hver Dag.

3) Standardopløsning: 0.1433 g tørt KH_2PO_4 (efter *Sørensen*) opløses i 1 Liter destilleret Vand. Denne Opløsning indeholder 100 mg

¹⁾ Tallene i Parentes henviser til Litteraturfortegnelsen Side 307.

PO_4/l . Heraf fortyndes 10 cm^3 til 1 Liter, hvorved faas en Standardopløsning med et Indhold af $1 \text{ mg PO}_4/\text{l}$.

Analysen udføres paa følgende Maade:

I en Række 100 cm^3 Maalekolber afmaales henholdsvis 20, 25, 30,, 75, 80 cm^3 af Standardopløsningen. Der tilsættes 2 cm^3 Molybdatopløsning og omrystes. Derefter tilsættes 6 Draaber Stannokloridopløsning, og der fyldes op til Mærket med destilleret Vand, hvorpaa der omrystes kraftigt.

Samtidig er 50 cm^3 af den Opløsning, hvis Fosforsyreindhold skal bestemmes, behandlet paa tilsvarende Maade.

Efter 5 Minutters Henstand overføres nu en afmaalt Mængde af de fremkomne blaa Opløsninger i kalibrerede Reagensglas, og i et saakaldt Kolorimeterstativ er det da let at indrangere den ukendte Opløsning mellem Opløsningerne af kendt Koncentration. Stemmer den ukendte Opløsning i Farve overens med det Glas, der indeholder 30 cm^3 af Standardopløsningen, har dens Koncentration været $0,6 \text{ mg PO}_4/\text{l}$.

Den Opløsning, hvis Fosforsyrekoncentration skal bestemmes, maa helst indeholde omkring $1 \text{ mg PO}_4/\text{l}$. Er den væsentlig stærkere, fortyndes passende. Man kan, naar Opløsningerne ikke er gulfarvede, endnu bestemme Koncentrationer omkring $0,1 \text{ mg PO}_4/\text{l}$. Ved Analysen kan man, naar man har erhvervet sig nogen Øvelse og Belysningsforholdene er gode, erkende Koncentrationsforskelle paa $0,02 \text{ mg PO}_4/\text{l}$, hvilket altsaa svarer til, at de afmaalte Mængder af Standardopløsningen har varieret med 1 cm^3 .

Den blaa Farve er ikke særlig holdbar, og der maa derfor i alt Fald hver $\frac{1}{2}$ Time fremstilles nye Sammenligningsvædske. Dette Forhold er en af Metodens Svagheder, der navnlig ved Masseanalyser gør sig stærkt gældende.

En anden Svaghed, som dog ikke ved den ovenfor beskrevne Fremgangsmaade spiller nogen Rolle, er den, at der ikke er absolut Proportionalitet mellem Fosforsyrekoncentration og Farvestyrke. Vil man ved den kolorimetriske Maaling i Stedet for en Række Sammenligningsvædske i et Kolorimeterstativ benytte et Kolorimeter med kun een Sammenligningsvædske, spiller dette Forhold imidlertid en afgørende Rolle. I Litteraturen foreligger vel Angivelse af, at der ikke er absolut Proportionalitet mellem Fosforsyrekoncentration og Farvestyrke, men en nærmere Undersøgelse af dette Forhold er, saa vidt det kan ses, kun foretaget af Wrangell (5), der benytter en særlig Modifikation af Denigès' Metode. De 2 Modifikationer, Atkins'

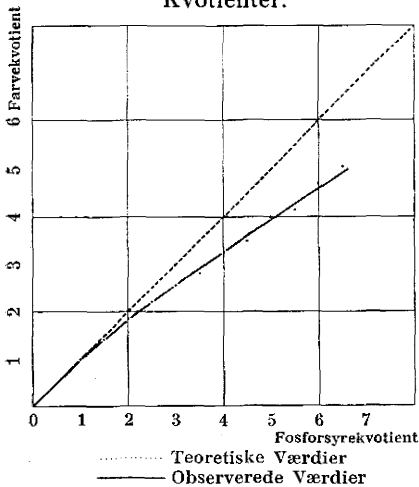
og Truog & Meyers er derfor nærmere undersøgt for dette Forhold. Ligeledes er Zinzadses Metode (6), der skal udmærke sig ved lang Holdbarhed af det blaa Farvestof (flere Dage), undersøgt for det nævnte Forhold.

Undersøgelserne er udførte med et Dubosques Kolorimeter (fra Firmaet Hellige) med 50 mm Vædskehøjde. Det viste sig ved Undersøgelserne, at den absolutte Koncentration af de Vædsker, der undersøgtes, ikke spillede nogen Rolle, i alt Fald en saa ringe Rolle, at Aflæsningsfejlen var dominerende, og det var derfor muligt alene at regne med Kvotienten for de to Vædsker, der sammenlignedes.

Sammenligner man i Kolorimetret to Vædsker, af hvilke den ene indeholder dobbelt saa megen Fosforsyre som den anden, skal man teoretisk have Forholdet mellem Vædskehøjderne som 1:2, naar der er indstillet paa samme Farvenuance. Imidlertid viste det sig, at en Opløsning, der var dobbelt saa stærk som en anden med Hensyn til Fosforsyre, ikke blev »dobbelt saa blaa«, d. v. s. Vædskehøjden maatte være mere end halv saa høj, for at man kunde faa samme Farvenuance i Kolorimetret.

Fig. 1.

Truog og Meyers Metode. Forhold mellem Fosforsyrekoncentration og Farvestyrke, udtrykt ved Sammenligningsvædskerne Kvotienter.



I Fig. 1 er Forholdet illustreret for Truog & Meyers Modifikation. Det vil ses, at naar en Opløsning f. Eks. er 5 Gange saa stærk som Standarden, vil den i Kolorimetret kun findes ca. 4 Gange saa stærk. Ved Zinzadses Metode skulde der efter Forfatterens Angivelse (l. c.) være Proportionalitet til Stede mellem Koncentration og Farvestyrke. Som det vil fremgaa af Fig. 2, har dette ikke kunnet bekræftes; tværtimod viser denne Metode større Uoverensstemmelse mellem Fosforsyrekoncentration og Farvestyrke end Truog & Meyers.

Den Korrektion, der skal anbringes paa de i Kolorimetret

fundne Kvotienter, er anført i Fig. 3 og Fig. 4 for henholdsvis Atkins' og Truog & Meyers Modifikation. Det vil ses, at Korrektionen er mindst for Truog og Meyers Modifikation, og ved alle Analyser, der er udførte ved Hjælp af Kolorimeter, er derfor denne Metode benyttet, idet der samtidig er sørget for, at Kvotienten ikke oversteg 2, hvorved Korrektionen stedse holdtes inden for rimelige Grænser.

Metoden er desuden nok saa fintmærkende som Atkins', men lider af den Mangel, at den blaa Farves Holdbarhed er væsentligt kortere, hvorfor Metoden ikke egner sig til Maaling i Kolorimeterstativ, hvor der skal fremstilles mange Sammenligningsvædsker.

Truog og Meyers Modifikation

kræver følgende Vædsker:

1. Molybdatopløsning: 25 g Ammoniummolybdat opløses i 200 cm³ 60° varmt Vand. Der filtreres. 280 cm³ arsen- og fosforfri Svovlsyre (ca. 36 normal) fortyndes til 800 cm³ med dest. Vand. Efter at begge Opløsninger er afkølede, hældes Ammoniummolybdatopløsningen langsomt og under Omrystning i Svovlsyren. Efter at Blandingen er afkølet til Stuetemperatur, fortyndes til nøjagtig 1000 cm³.

2. Stannokloridopløsning. 13.15 g rent pulveriseret Tin overføres i en Erlenmeyerkolbe. Der tilsættes 20 Draaber 4 pCt. Kupri-sulfatopløsning samt 50 cm³ koncentreret, arsenfri Saltsyre. Der opvarmes forsigtigt. Naar Tinnets er opløst, overføres Kolbens Indhold kvantitativt til en 1000 cm³ Maalekolbe, hvorpaa der yderligere tilsættes 75 cm³ koncentreret, arsenfri Saltsyre og fyldes op til Mærket med destilleret Vand.

Denne Opløsning hældes paa en Flaske med en Hævert eller paa en Tubusflaske, og Opløsningen beskyttes mod Luften ved Hjælp af et tyndt Lag ren, hvid Paraffinolie. Saaledes beskyttet kan Opløsningen holde sig nogle Dage.

3. Standardopløsning. Denne fremstilles ved Opløsning af

Fig. 2. Zinzadses Metode. Forholdet mellem Fosforsyrekoncentration og Farvestyrke, udtrykt ved Sammenligningsvædskerne Kvotienter.

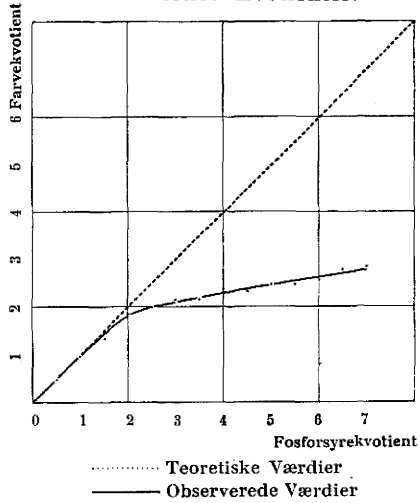


Fig. 3. Atkins Metode. Korrektion til de i Kolorimetret aflæste Kvotienter for Farvestyrke.

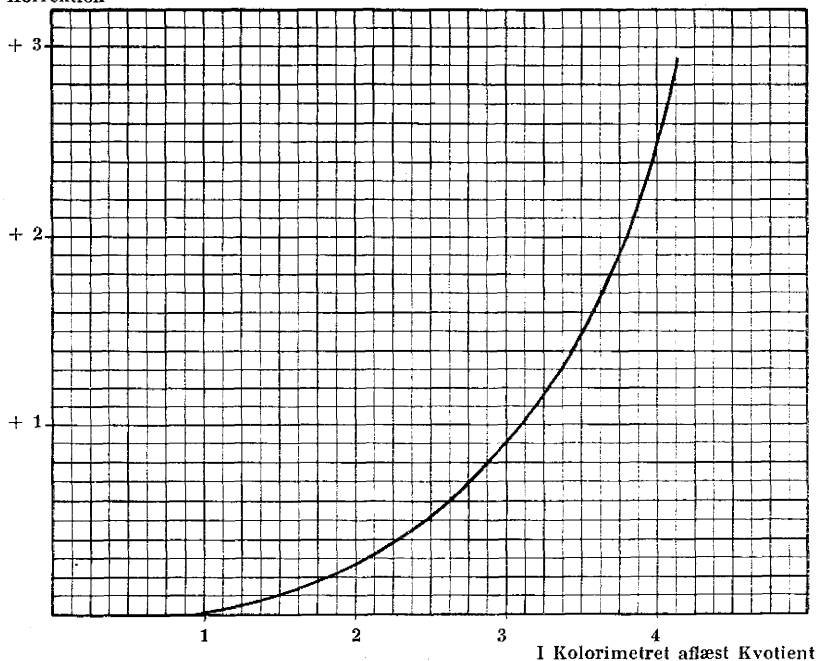
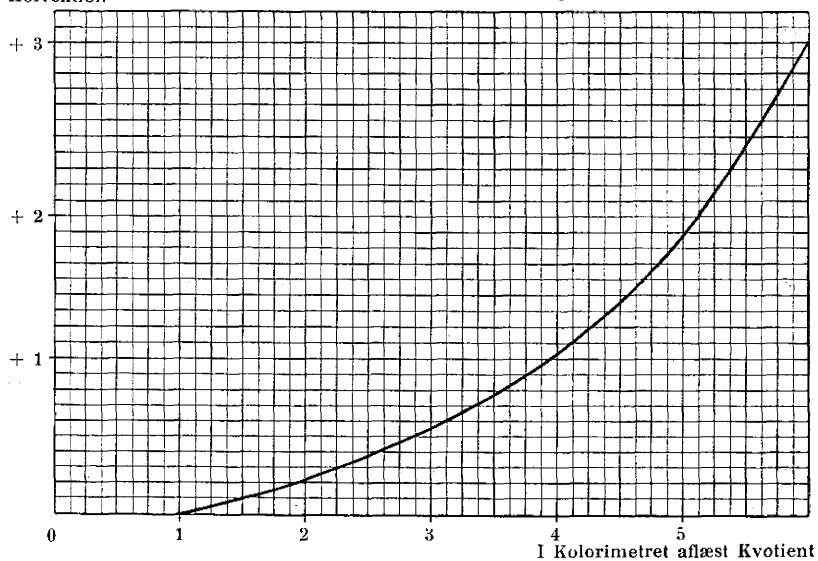


Fig. 4. Truog & Meyers Metode. Korrektion til de i Kolorimetret aflæste Kvotienter for Farvestyrke.



0.7165 g tørt KH_2PO_4 (efter Sørensen) i 1 Liter destilleret Vand. Af denne Opløsning fortyndes 10 cm^3 til 1 Liter, hvorved faas en Standardopløsning, der indeholder 5 $\text{mg PO}_4/\text{l}$.

Analysen udføres paa følgende Maade: I en 100 cm^3 Maalekolbe afmaales 10 cm^3 Standardopløsning, hvorpaa der paafyldes 70—80 cm^3 destilleret Vand. Der tilsættes 4 cm^3 Molybdatopløsning og omrystes. Derefter tilsættes 6 Draaber Stannokloridopløsning, og der fyldes op til Mærket med destilleret Vand, hvorpaa der omrystes kraftigt. Samtidig er der i en 100 cm^3 Maalekolbe afmaalt 50 cm^3 af den Opløsning, hvis Fosforsyreindhold skal bestemmes. Efter 3—5 Minutters Henstand foretages i et Kolorimeter Bestemmelsen. Ved Serieanalyser maa Bestemmelsen af samtlige ukendte Opløsninger være tilendebragt i Løbet af yderligere 10—13 Minutter, hvorfor der ikke kan tages mange Analyser i Arbejde ad Gangen.

Er den aflæste og korrigerede Kvotient (d. v. s. Højden af Standardopløsningen, divideret med Højden af den ubekendte Opløsning) 1.17, indeholder den ubekendte Opløsning 1.17 $\text{mg PO}_4/\text{l}$. Erfaring har vist, at Sammenligningsvædsken helst skal svare til 1.0 $\text{mg PO}_4/\text{l}$ (10 cm^3 Standardopløsning til 100 cm^3), hvorfor de Opløsninger, der skal maales, søges fortyndede til ca. 1 $\text{mg PO}_4/\text{l}$, hvis de er væsentlig stærkere.

Fremstilling af Jordekstrakterne.

Da Undersøgelsens Opgave har været at undersøge den Rolle, som Forholdet Jord: Opløsningsmiddel, Opløsningsmidlets Styrke, Indvirkningstiden o. a. havde paa den Fosforsyremængde, der gik i Opløsning fra Jorden, er Jordekstrakterne fremstillede under meget vekslende Betingelser. Fælles for Fremstillingen af alle Jordekstrakterne har det i Grunden kun været, at Opløsningsmidlet indvirkede paa Jorden i en Stohmanns Kolbe, anbragt i et Wagnersk Rysteapparat, med et Omdrejningstal paa ca. 25/min.

Efter Rystningen er Jordekstrakten fremstillet ved Filtrering, idet Centrifugering ikke har været mulig over for det store Antal Analyser, der har været udført. Ved Filtrering er anvendt Munktells Filtrerpapir Nr. 0, som altid har vist sig at være fri for Fosforsyre. Ogsaa Munktell Nr. 2, der er noget billigere, er anvendeligt; selv om det ikke er absolut fosforsyrefrit, er Fosforsyreindholdet saa lille, at det ikke spiller nogen Rolle. Filtrerpapir af daarligere Kvalitet kan indeholde ikke helt uvæsentlige Fosforsyremængder, og Filtrerpapiret, der anvendes, maa derfor undersøges.

Et andet Forhold, som spiller ind ved Fremstillingen af Jordekstrakterne gennem Filtrering, er den Mængde Jord, der

bringes over paa Filtret. Der er herover anstillet en Række Undersøgelser, som har vist, at en paa Filtret værende Jordmængde kan paavirke Filtratets Fosforsyreindhold paa forskellig Maade, saaledes som det fremgaar af nedenstaaende Tabel.

Tabel 1. Filtrering med og uden Jord paa Filtret.

Jord Nr.	mg PO ₄ /l		Forskel
	Med Jord	Uden Jord	
1.....	2.72	2.47	÷0.25
2.....	2.35	2.17	÷0.18
3.....	1.53	1.10	÷0.43
4.....	0.63	0.48	÷0.15
5.....	0.52	0.44	÷0.08

Da det imidlertid viste sig, at Filtrater »uden Jord« altid stemte overens med Centrifugater i Fosforsyreindhold, er alle Ekstrakter fremstillede paa den Maade, at Rysteflasken er henstillet, til Jorden nogenlunde har sat sig til Bunds, hvorpaa der er filtreret saaledes, at saa lidt Jord som muligt bragtes over paa Filtret.

Fosforsyrebestemmelsens Nøjagtighed.

Den Nøjagtighed, der kan opnaas ved en kolorimetrisk Metode, afhænger i høj Grad af Analytikerens individuelle Evne til at kunne adskille Farvenuancer. Som foran anført, vil det dog med lidt Øvelse være muligt at skelne fra hinanden Farvenuancer, der svarer til en Forskel af 0.02 mg PO₄/l, naar Koncentrationen af Vædskerne ligger omkring 1.00 mg PO₄/l. Metoden skulde saaledes kunne angive Fosforsyreindholdet med en Usikkerhed paa c. 2 pCt., naar det drejer sig om saa smaa Koncentrationer som her. Men dette gælder kun »rene« Opløsninger. Er Jordekstrakterne gulfarvede, maa der regnes med en mindre Nøjagtighed.

Endvidere paavirkes Farvestyrken, foruden af Fosforsyre, af en Række andre Stoffer, saaledes Arsen, Kiselsyre, Titan- og Ferrisalte. Arsen forekommer næppe i Jordekstrakterne, hvorimod de andre Stoffer normalt er til Stede. For Kiselsyrens Vedkommende gælder det, efter en Række i Litteraturen foreliggende Undersøgelser, at der skal være meget store Mængder til Stede, før Resultatet paavirkes nævneværdigt. *Parker & Fudge*

(7) finder saaledes, at indtil 1000 Gange saa megen Kiselsyre som Fosforsyre i Opløsningen endnu ikke paavirker Fosforsyrebestemmelsen. *Truog & Meyer* (4) har nærmere undersøgt Indflydelsen af Ferri- og Titansalte og finder, at naar Ferrikoncentrationen er 8 Gange saa stor som Fosforsyrekoncentrationen (PO_4), bliver Fosforsyrebestemmelsen væsentlig for lav. Ferriioner er derimod uden Indflydelse. Titan (TiO_2) kan derimod være til Stede i den 40-dobbelte af Fosforsyremængden uden at paavirke Resultatet. For danske Jorders Vedkommende bliver det saaledes navnlig Ekstrakternes Indhold af Ferriioner, der kan paavirke Resultatet af Fosforsyrebestemmelsen. Undersøgelserne har imidlertid vist, at ved passende Valg af Forsøgsbetingelser, kan Fosforsyrebestemmelsen i langt de fleste Tilfælde foretages med tilfredsstillende Nøjagtighed. I Tabel 2 er anført Resultaterne af nogle Bestemmelser i Jordekstrakter, udført dels kolorimetrisk, dels gravimetrisk efter *Lorentz* (8).

Tabel 2. Kolorimetrisk og gravimetrisk Fosforsyrebestemmelse i Jordekstrakter.

Jord Nr.	mg PO_4 /l		Forskel
	Gravimetrisk	Kolorimetrisk	
1.....	6.07	5.97	÷ 0.10
4.....	5.22	5.15	÷ 0.07
5.....	6.77	6.86	+ 0.09
8.....	5.86	5.89	+ 0.03
10.....	5.70	6.15	+ 0.45
11.....	5.70	5.61	÷ 0.09

Med Henblik paa den kolorimetriske Fosforsyrebestemmelseres Reproducerbarhed udførtes følgende Undersøgelser:

5 g Jord rystedes med 500 cm^3 n/100 HNO_3 i 4 Timer ved 20° C . Der udførtes Dobbeltbestemmelser (d. v. s. med 2 Jordportioner).

Bestemmelserne udførtes efter *Atkins* med Kolorimeterstativ og Standardopløsninger svarende til 0.6—1.0 mg PO_4 /l, saaledes at en eventuel Fejl ved den kolorimetriske Maaling er multipliceret op, naar det har drejet sig om stærkere Jordekstrakter. Metoden maa derfor siges at give fuldt reproducerbare Resultater.

Tabel 3. Dobbelbestemmelser i Jordekstrakter.

Jord Nr.	mg PO ₄ /l		Forskel
	1. Bestemmelse	2. Bestemmelse	
1.....	2.20	2.10	0.10
2.....	2.93	2.80	0.13
3.....	2.00	2.00	0.00
4.....	2.80	2.80	0.00
5.....	3.41	3.41	0.00
6.....	0.33	0.32	0.01
7.....	1.03	1.03	0.00
8.....	1.57	1.57	0.00
9.....	2.00	2.00	0.00
10.....	1.25	1.23	0.02
11.....	0.64	0.62	0.02
12.....	0.34	0.34	0.00
13.....	1.18	1.20	0.02
14.....	3.40	3.40	0.00
15.....	1.00	0.98	0.02
16.....	2.00	2.10	0.10
17.....	1.47	1.40	0.07
18.....	1.83	1.83	0.00
19.....	1.80	1.80	0.00
20.....	1.47	1.40	0.07
21.....	4.33	4.33	0.00
22.....	1.15	1.10	0.05
23.....	0.87	0.87	0.00
Gennemsnit ...			0.027

II. Jordfosforsyrens Opløselighed.

Som i Indledningen nævnt, foreligger der en righoldig Litteratur over Jordfosforsyrens Opløselighed, og man finder i denne Litteratur Angivelser af en Række Faktorer, der paa-virker den Fosforsyremængde, som kan ekstraheres af en given Jordmængde. Det var saaledes paa Forhaand givet, at hver af nedennævnte Faktorer vilde have Indflydelse, naar Opløseligheden bestemtes ved Rystning af Jord med et Opløsningsmiddel i et Wagnersk Rysteapparat.

1. Temperatur
2. Rystetid
3. Opløsningsmidlets Art
4. — Styrke
5. Omdrejningshastighed af Apparatet
6. Forholdet mellem Jordens og Opløsningsmidlets Mængde.

Undersøgelserne har ikke hidtil omfattet alle disse Faktorens Indflydelse. Temperaturen har saaledes været holdt konstant ved 20°. Kun ved et Faatal af de mange Bestemmelser har det været muligt at gennemføre Rystningen i en elektrisk opvarmet Vandtermostat, hvor Temperaturen højst har svinget $\frac{1}{10}^{\circ}$. Hovedparten af Undersøgelserne har maattet udføres frit i Laboratoriet, hvor Lufttemperaturen har været holdt saa nær 20° som praktisk muligt. Ved Undersøgelserne over Rystetidens Indflydelse, hvor Rystningen maatte foregaa om Natten ogsaa, har det dog ikke kunnet undgaaes, at Temperaturen i Nattens Løb er dalet noget.

Rystningen af Jord med Opløsningsmidlet er, som foran nævnt, foretaget i Stohmanns Rystekolber, anbragt i et Wagnersk Rysteapparat, hvis Omdrejningshastighed har været 25 Omdrejninger i Minuttet.

Endelig har Opløsningsmidlets Art været holdt konstant, idet der til alle Undersøgelserne har været benyttet fortyndet Salpetersyre.

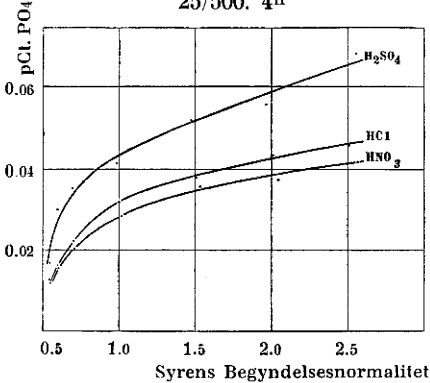
Til Bestemmelse af Jordens Indhold af opløselig Fosforsyre har der i Tidens Løb været anvendt mange forskellige Opløsningsmidler. Citronsyre har saaledes været anvendt bl. a. af *Dyer* (9), *König & Hasenbäumer* (10), *Marr* (11), *Arrhenius* (12, 13) og *Gedroiz* (14), medens Eddikesyre har været anvendt af *Pagnoul* (15), *Gedroiz* (14) og *Hofman-Bang* (16). *Němec* (17) og *v. Wrangell* (18) har anvendt destilleret Vand. *Das* (19) har forsøgt Kaliumkarbonat, *Dirks & Scheffer* (20) Kalciumbikarbonat. Fortyndet Salpetersyre har været anvendt af *Schlösing fils* (21) *v. Sigmond* (22), *Whitson & Stoddardt* (23) og *Fraps* (24). Ved nærværende Undersøgelse er ogsaa benyttet Salpetersyre som Opløsningsmiddel. Naar Salpetersyre valgtes, var Aarsagen først og fremmest praktiske Hensyn, idet Jordekstrakterne da lettest kunde analyseres efter Denigès' kolorimetrisk Metode, medens man f. Eks. ved Anvendelse af Citronsyre maa destruere denne, inden Ekstrakternes Fosforsyreindhold kan bestemmes kolorimetrisk. En Række orienterende Undersøgelser viste desuden, at Ekstraktion med Salpetersyre gav mindre farvede Ekstrakter end Ekstraktion med Saltsyre eller Svovlsyre.

Naar Salpetersyre valgtes, var — foruden de praktiske Hensyn — ogsaa rent teoretiske Overvejelser afgørende. Ved Anvendelse af Salpetersyre (eller Saltsyre) vil man nemlig faa

et »renere« Udtryk for Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Jordekstraktens Brintionkoncentration end ved Anvendelse af Citronsyre. Citrationen vil nemlig ved at danne Kompleksforbindelser med Sesquioxiderne bevirke en forøget Opløselighed af Fosforsyren, og Svovlsyre vil, ved at sænke Kalciumionkoncentrationen, virke i samme Retning. Den Indflydelse, som Opløsningsmidlets Anioner udøver paa Opløseligheden af Jordens Fosforsyreforbindelser, har allerede *Russell & Prescott* (25) paa-

Fig. 5. Forskellige Syrers Indflydelse paa den opløste Fosforsyremængde.

Lerjord fra Skovlunde. J/O = 25/500. 4h



vist, og en Undersøgelse, der foretoges for at sammenligne Salpetersyre, Saltsyre og Svovlsyre som Opløsningsmidler, viste da ogsaa, at Jordens Fosforsyre er lettere opløselig i Svovlsyre end i de to andre Syrer.

Ud fra den Betragtning, at i Jordan er Fosforsyrens Opløselighed paavirket af Tilstedeværelsen af Ferri-, Aluminium- og Kalciumioner, valgtes derfor fortyndet Salpetersyre som et Opløsningsmiddel, der ikke paa-virkede de ovennævnte Ionarter, og som yderligere frembød visse Fordele ved selve Analysen.

Fosforsyrens Opløselighed og Opløsningsmidlets Styrke.

Det var paa Forhaand givet, at Styrken af den Salpetersyre, hvormed Jordan ekstraheredes, maatte udøve en væsentlig Indflydelse paa den Fosforsyremængde, der gik i Opløsning. Dette Spørgsmaal blev derfor gjort til Genstand for nærmere Undersøgelse. Som det vil ses af de nedenfor anførte Resultater, stiger den opløste Fosforsyremængde stærkt med stigende Brintionkoncentration i Opløsningsmidlet. Det skal her straks bemærkes, at alle Steder, hvor der ved disse Undersøgelser er Tale om Opløsningsmidlets Brintionkoncentration, forstaas her-ved Brintionkoncentrationen efter Rystningen. At angive Opløsningsmidlets Styrke før Reaktionen mellem Syren og Jordan har fundet Sted vil naturligvis aldrig kunne give sammenlignelige Værdier og navnlig ikke, naar der foreligger Jorder med forskelligt Karbonatindhold.

Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af pH.

1. Jord fra Tylstrup. Reaktionstal 4.40, Rystetid 4 h, 20° C.

a. Forhold Jord/Opløsningsmiddel = 10/500

pH	1.93	2.08	2.31	2.53	2.86	3.24
mg PO ₄ /l	8.18	7.23	5.88	4.70	2.88	1.93

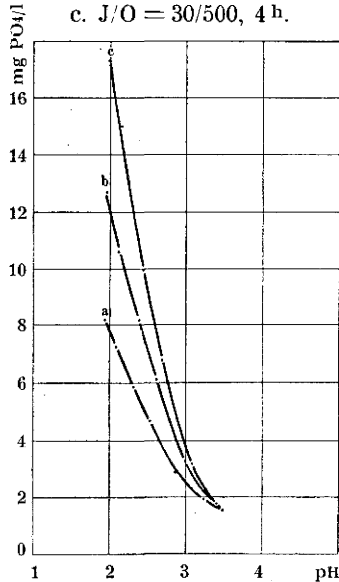
b. J/O = 20/500

pH	1.96	2.12	2.38	2.62	2.99	3.41
mg PO ₄ /l	12.70	10.64	8.17	6.13	3.27	1.76

c. J/O = 30/500

pH	1.91	2.15	2.44	2.88	3.08	3.48
mg PO ₄ /l	17.31	15.00	10.00	6.77	3.20	1.54

Fig. 6. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af pH Sandjord fra Tylstrup, Hb. a. J/O = 10/500, b. J/O = 20/500, c. J/O = 30/500, 4 h.



2. Jord fra Virumgaard. Reaktionstal 4.75, Rystetid 12 h, 20°.

a. J/O = 10/500

pH	2.13	2.30	2.59	2.94	3.33	3.67
mg PO ₄ /l	8.00	6.57	5.10	3.27	1.60	0.73

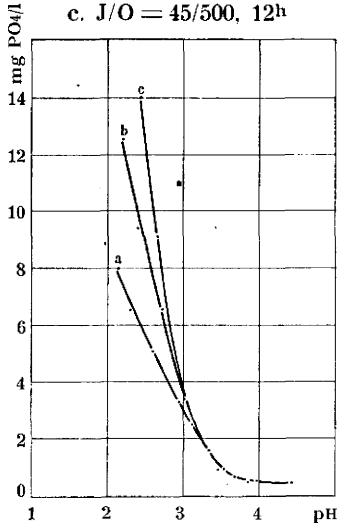
b. J/O = 20/500

pH	2.20	2.40	2.72	3.11	3.53	3.97
mg PO ₄ /l	12.57	9.40	6.57	2.50	0.94	0.57

c. J/O = 45/500

pH	2.43	2.65	3.01	3.45	3.85	4.42
mg PO ₄ /l	14.00	9.09	3.38	0.94	0.53	0.48

Fig. 7. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af pH.
Lerjord fra Virumgaard, Parcelmarken. a. J/O = 10/500. b. J/O = 20/500,
c. J/O = 45/500, 12h



3. Jord fra Landbohøjskolens Undervisningsmark,
Forsøgsled ÷ Fosforsyre, Reaktionstal 6.9, Rystetid 3 h, 20°.

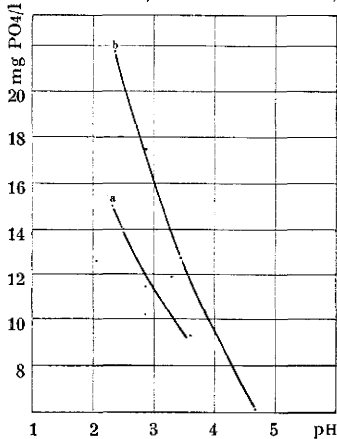
a. J/O = 20/500

pH	2.32	2.50	2.86	3.60
mg PO ₄ /l	15.00	14.00	11.43	8.73

b. J/O = 45/500

pH	2.35	2.86	3.44	4.66
mg PO ₄ /l	21.74	17.49	12.75	6.15

Fig. 8. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af pH.
Lerjord fra Landbohøjskolens Undervisningsmark, Forsøgsled ÷ PO₄
a. J/O = 20/500, b. J/O = 45/500, 3h

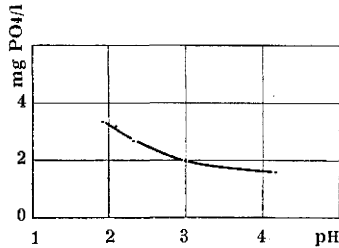


4. Jord fra Lundgaard. Kalkforsøg. Reaktionstal 7.76,
Rystetid 3 h, 20°.

J/O = 20/500

pH	1.91	2.08	2.32	2.99	4.16
mg PO ₄ /l.....	3.34	3.19	2.67	1.96	1.60

Fig. 9. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af pH.
Sandjord fra Lundgaard. Kalkforsøg. J/O = 20/500, 3h

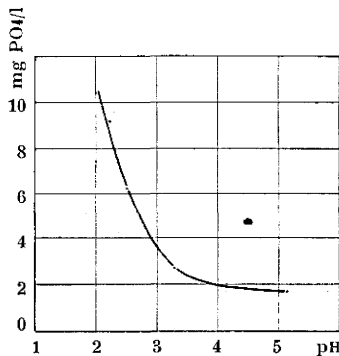


5. Jord fra Tylstrup. Kalkforsøg. Reaktionstal 7.57,
Rystetid 3 h, 20°.

J/O = 20/500

pH	2.00	2.22	2.51	3.29	5.13
mg PO ₄ /l.....	10.44	9.20	6.23	2.67	1.70

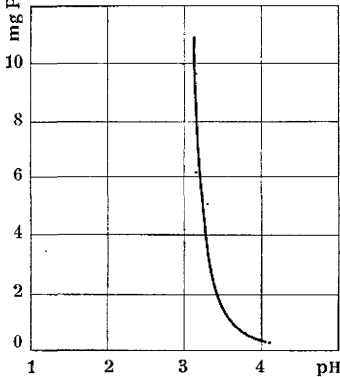
Fig. 10. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af pH.
Sandjord fra Tylstrup. Kalkforsøg. J/O = 20/500, 3h



Endelig er der til Sammenligning anført Resultaterne fra en af *Gaarders* Forsøgsserier.

Den stærke Indflydelse, som Brintionkoncentrationen udøver paa den Fosforsyremængde, der gaar i Opløsning, fremgaar klart af disse Eksempler, der kunde suppleres med mange andre. Forsøg paa en teoretisk Udredning af Forholdene er

Fig. 11. Fosforsyreens
Opløselighed som
Funktion af pH.
Efter Gaarder (1). Stort
Overskud af Fe^{+++} og SiO_2



gjort, men en saadan er paa Basis af de hidtil foretagne Undersøgelser næppe mulig, og en nærmere Om- tale af de fundne Resultater skal derfor opsættes til en senere Afhand- ling. Men det er indlysende, at ved alle Undersøgelser over Jordens Fos- forsyre maa Opløsningernes Brintion- koncentration nøjagtig bestemmes, idet selv smaa Variationer af pH kan modsvare store Forskelligheder i den opløste Fosforsyremængde. Ved alle Undersøgelser, hvor Opløsningens pH (Slutaciditet) har skullet være konstant, er dette rent teknisk udført paa den Maade, at 6 Jordprøver er rystet med lidt forskellige Salpeter- syremængder. I de 6 erholdte Opløsninger er derpaa pH og Fosforsyrekoncentration bestemt. Ved grafisk Interpolation er derpaa udfundet den til et bestemt pH svarende Fosforsyrekon- centration. Fremgangsmaaden er paa Grund af det store Antal Analyser, der maa udføres, omstændelig, men giver paa den anden Side den til en bestemt Slutaciditet svarende Fosforsyre- mængde med stor Nøjagtighed.

Fosforsyreens Opløselighed og Rystetiden.

Den Tid, i hvilken Opløsningsmidlet indvirker paa Jorden, er ogsaa af afgørende Betydning for den Fosforsyremængde, der kan gaa i Opløsning fra en given Jordmængde. Jordens Fosforsyreforbindelser er relativt langsomt opløselige, og til Opnaaelse af Ligevægt mellem Jorden og Opløsningen kræves ofte saa lang Indvirkningstid, at man ved Undersøgelserne af praktiske Hensyn ikke vil afvente Ligevægtstilstandens Ind- træden. Som Eksempel paa Rystetidens Indvirkning paa den opløste Fosforsyremængde skal anføres følgende Resultater, erholdte ved Undersøgelse af en Jordprøve fra Virumgaard.

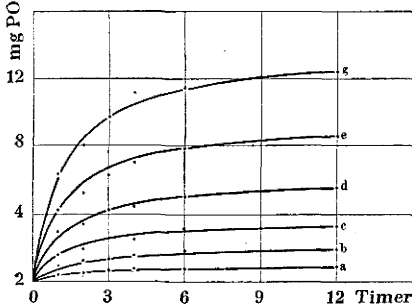
Resultaterne er grafisk gengivne i Fig. 12, hvor Kurven for $J/O = 30/500$ er udeladt af Hensyn til Overskueligheden.

Den Regelmæssighed, som de eksperimentelle Data frem- viser, rejser Spørgsmaalet om, hvilken »Lov«, der ligger bag

Lerjord fra Virumgaard. Parcelmarken. Reaktionstal 4.75.
Opløsningernes pH (Slutaciditet) 2.50, 20°.

a. J/O = 1/500						
Rystetid, Timer	1	2	3	4	6	12
mg PO ₄ /l, fundet	0.44	0.53	0.68	0.76	0.77	0.92
» beregnet ..	0.36	0.53	0.63	0.69	0.77	0.87
b. J/O = 2.5/500						
mg PO ₄ /l, fundet	0.95	1.22	1.34	1.55	1.86	1.92
» beregnet ..	0.74	1.11	1.34	1.49	1.67	1.92
c. J/O = 5/500						
mg PO ₄ /l, fundet	1.61	1.96	2.54	2.55	3.16	3.31
» beregnet ..	1.61	2.23	2.57	2.78	3.01	3.31
d. J/O = 10/500						
mg PO ₄ /l, fundet	2.96	3.48	4.25	4.50	5.03	5.59
» beregnet ..	2.62	3.67	4.25	4.60	5.03	5.54
e. J/O = 20/500						
mg PO ₄ /l, fundet	4.26	5.23	6.29	7.00	7.86	8.54
» beregnet ..	4.26	5.86	6.70	7.22	7.83	8.54
f. J/O = 30/500						
mg PO ₄ /l, fundet	5.10	6.44	8.00	9.62	9.67	11.28
» beregnet ..	5.10	7.12	8.20	8.88	9.67	10.62
g. J/O = 45/500						
mg PO ₄ /l, fundet	6.33	8.00	9.68	11.14	11.47	12.43
» beregnet ..	6.09	8.44	9.68	10.45	11.36	12.43

Fig. 12. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Rystetiden. Lerjord fra Virumgaard. Opløsningernes pH = 2.50. J/O: a=1/500, b=2.5/500, c=5/500, d=10/500, e=20/500, g=45/500



disse Data. Det skal her straks bemærkes, at de Forhold, der er paatrufne ved disse Undersøgelser, i Realiteten er saa komplicerede, at det paa Forhaand maa anses for givet, at en Lovmæssighed, der kan udtrykkes ved relativt simple matematiske Ligninger, ikke eksisterer. Naar det ikke desto mindre er forsøgt at finde saadanne simple, matematiske Ligninger, der kan gengive de fundne Resultater, er det ud fra den Betragtning, at tilnærmede Formler, selv om

de maaske slet ikke kan bringes i Overensstemmelse med de teoretiske Forhold, dog ofte vil have deres Betydning ved Undersøgelser af denne Art, idet de i alle Tilfælde som Interpolat-

tions- og Ekstrapolationsformler kan have deres Betydning. Ud fra dette Synspunkt maa de opstillede Ligninger betragtes.

Opløsningshastigheden af faste Stoffer i Syre kan udtrykkes (26), (26a) ved Ligningen:

$$\frac{dy}{dt} = kO (A \div y) \quad (1)$$

hvor y er den opløste Stofmængde, O Berøringsfladen mellem Stof og Opløsningsmiddel og A Syrens oprindelige Styrke. (Begyndelsestiter). A og y udtrykkes begge i Ækvivalenter.

Denne Ligning kan ikke umiddelbart anvendes paa de ovenfor anførte Data, idet Syrens Begyndelsestiter ikke er bestemt, og pH har »været konstant« under Rystetiden. Nærliggende vil det imidlertid være at undersøge, om ikke Opløseligheden kunde udtrykkes ved

$$\frac{dy}{dt} = kO (A \div y) \quad (2)$$

hvor A betyder den maksimale Mængde, der kan gaa i Opløsning, naar Rystetiden bliver uendelig lang. Under Forudsætning af, at O , Berøringsfladen, forbliver konstant, giver ovenstaaende Ligning ved Integration:

$$\ln (A \div y) = \ln A \div kOt \quad (3)$$

eller, ved Overgang til Briggske Logaritmer og Sammen dragging af kO til een Konstant:

$$\log (A \div y) = \log A \div kt \quad (3a)$$

Ligning (2) kan ogsaa udtrykkes saaledes: den øjeblikkelige Opløsningshastighed er proportional med Opløsningens »Umættethed«, (d. v. s. Forskellen mellem Mætningskoncentrationen og den øjeblikkelige Koncentration). Imidlertid har det vist sig, at Ligningen (3a) ikke paa tilfredsstillende Maade kan gengive Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Tiden. Antager man derimod:

$$\frac{dy}{dt} = kO (A \div y)^2 \quad (4)$$

d. v. s. Opløsningshastigheden er proportional med 2. Potens af »Umættetheden«, faar man ved Integration:

$$y = \frac{A^2 k_1 t}{1 + A k_1 t} \quad (5)$$

Denne Ligning viser sig paa ganske tilfredsstillende Maade at kunne gengive Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Tiden, og de Side 289 anførte, beregnede Værdier saavel som Kurverne i Fig. 12 er fremgaaet af Ligningen (5), hvor Konstanterne¹⁾ er fundet til

¹⁾ Konstanten A beregnes af Ligningerne:

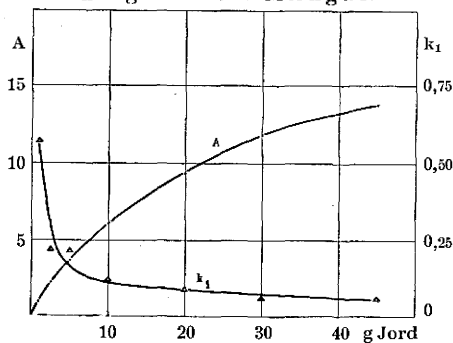
$$A = \frac{t_2 \div t_1}{t_2 y_1 \div t_1 y_2} \cdot y_1 y_2, \text{ hvor } t_1 \text{ og } y_1, t_2 \text{ og } y_2 \text{ er samhørende Værdipar.}$$

Konstanten k_1 beregnes derefter let ved Indsætning i (5).

J/O	A	k_1
a. 1/500	0.995	0.570
b. 2.5/500	2.24	0.220
c. 5/500	3.66	0.215
d. 10/500	6.16	0.120
e. 20/500	9.40	0.088
f. 30/500	11.78	0.065
g. 45/500	13.73	0.058

Selv om Ligning (5) paa tilfredsstillende Maade kan gengive Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Tiden, giver den ikke nogen Forklaring paa Forholdene. Der er ingen tvingende Grund til, at Opløsningshastigheden skulde være proportional med Kvadratet paa »Umættetheden«. Det var dog langt naturligere, om den Ligning, der kunde gengive Opløseligheden som Tidsfunktion, var af samme Type som (3), idet den analoge, af (1) afledede Ligning har vist sig i mangfoldige Tilfælde at kunne gengive de eksperimentelle Data fra Undersøgelser over heterogene Systemers Kinetik. Endvidere er det umuligt at finde en tilfredsstillende Forklaring paa den Maade, hvorpaa A og k_1 afhænger af den anvendte Jordmængde. A priori maatte man antage, at A vilde stige proportionalt med den anvendte Jordmængde; men som det fremgaar af Fig. 13, er dette langt fra Tilfældet, og k_1 aftager stærkt med stigende Jordmængder.

Fig. 13. Variation af Konstanterne A og k_1 med Forholdet mellem Jordens og Opløsningsmidlets Mængde.

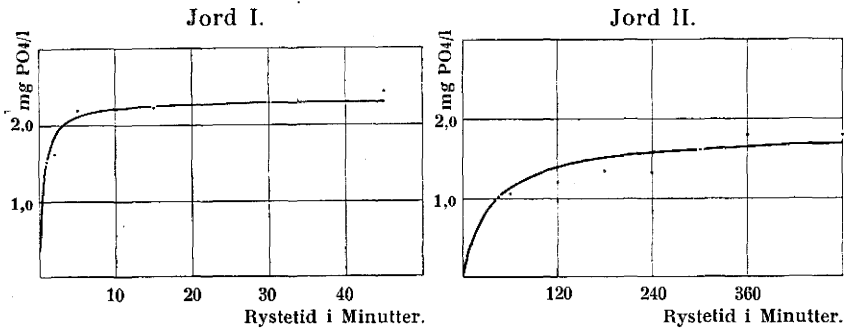


Disse Forhold peger paa, at Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Rystetiden er af mere kompliceret Natur, end Ligning (5) giver Udtryk for. Som det senere skal vises, kan man paa Grundlag af en Teori om Fosforsyrens Absorption af Jorden naa til en mere fyldestgørende Forklaring af Forholdene.

I Litteraturen træffer man en Del Undersøgelser over Rystetidens Indflydelse paa Fosforsyrens Opløselighed. Ved mange af disse Undersøgelser er Rystetiden imidlertid ikke varieret saa meget, at en nærmere Behandling af de

Fig. 14 og Fig 15. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Rystetiden.

Efter L. Meyer. Ekstraktion med Vand. J/O = 5/500.



offentliggjorte Data har kunnet lønne sig, og ved de allerfleste Undersøgelser har p_H ikke været holdt konstant. Ved enkelte Undersøgelser, hvor Opløsningsmidlet har været Vand, kan man dog gaa ud fra, at p_H har været nogenlunde konstant. Meyer har saaledes offentliggjort Data, vundne med Ekstraktion med Vand (27). Nedenfor er anført nogle af hans Resultater, der, som det vil ses, kan gengives ved Ligning (5).

L. Meyer. Ekstraktion med destilleret Vand.

		Jord I.					
		Minutter					
Rystetid		1	2	5	15	30	45
mg PO_4/l ,	fundet	1.53	1.62	2.19	2.23	2.29	2.43
'	beregnet . .	1.53	1.85	2.11	2.25	2.29	2.30

$$A = 2.330 \text{ mg } PO_4/l, k_1 = 0.8199$$

		Jord II.							
		Minutter							
Rystetid		45	60	120	180	240	300	360	480
mg PO_4/l ,	fundet . .	1.02	1.06	1.21	1.35	1.33	1.62	1.80	1.80
'	beregnet	1.02	1.14	1.40	1.52	1.58	1.62	1.65	1.69

$$A = 1.808 \text{ mg } PO_4/l, k_1 = 0.0159.$$

Overensstemmelsen mellem fundne og efter (5) beregnede Værdier vil ogsaa fremgaa af Fig. 14 og Fig. 15.

Hele Spørgsmaalet om Rystetidens Indflydelse paa den opløste Fosforsyremængde vil senere blive gjort til Genstand for nærmere Behandling, og det skal vises, at Nernst's Ligning trodt alt ogsaa gælder for Opløsningshastigheden af Jordfosforsyren.

Fosforsyrens Opløselighed og Forholdet mellem Jordens og Opløsningsmidlets Mængde.

Det er en for Agrikulturkemikerne velkendt Sag, at den Mængde Fosforsyre, der gaar i Opløsning fra et tungtopløseligt Fosfat eller fra en Jord, i høj Grad er afhængig af Forholdet mellem den faste og flydende Fases Mængde. Som Eksempel paa den Afhængighed, som her forefindes, skal anføres følgende Resultater:

Jord fra Virumgaard. Parcelmarken. Reaktionstal: 4.75,
Rystetid 6^h, 20°. Filtratets pH = 2.50.

J/O	1/500	2.5/500	5/500	10/500	20/500	30/500	45/500
mg PO ₄ /l ..	0.77	1.86	3.16	5.03	7.86	9.67	11.47

Den Fosforsyremængde, der gaar i Opløsning i Salpetersyre ved et bestemt pH, er i høj Grad afhængig af den Jordmængde, der ekstraheres, men ikke saaledes, at den opløste Fosforsyremængde er ligefrem proportional med den behandlede Jordmængde.

Russell & Prescott (25) er til Forklaring af de Forhold, de iagttag ved Ekstraktion af Jord med forskellige Syrer, gaaet ud fra den Teori, at den Mængde Fosforsyre, der gaar i Opløsning, fremkommer som Resultant af 2 modsat rettede Kræfter, nemlig den anvendte Syres opløsende Virkning og Jordkolloidernes modvirkende Absorption af Fosforsyre.

Ud fra den samme Tanke er det nu forsøgt at give en teoretisk Tydning af de iagttagne Forhold. Det er antaget, at Jordfosforsyren ikke ved de anvendte Jordmængder vil give Anledning til en mættet Opløsning. Hvis Fosforsyren derfor frit kunde gaa i Opløsning, vilde den opløste Fosforsyremængde være proportional med den anvendte Jordmængde, altsaa

$$y = kx \quad (6)$$

hvor y er den opløste Fosforsyremængde, udtrykt i mg PO₄/l, x den anvendte Jordmængde i Gram.

Naar dette Forhold ikke findes ved Forsøgene, er Aarsagen den, at Jorden absorptivt binder Fosfationer, saaledes at ikke alle de Fosfationer, der egentlig efter det anvendte Ekstraktionsmiddels Styrke kunde gaa i Opløsning, ogsaa gaar i Opløsning. Af hvilken Natur denne Absorption er, kan i denne Forbindelse være ligegyldigt, thi som *L. Michaelis* skriver (28):

»In einer Zeit, in der das Rutherfordsche Atommodell den gemeinsamen Unterbau für die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Moleküle täglich fester stützt, scheint es ein vergebliches Bemühen, zwischen mechanischen Adhäsionskräften und chemischen Anziehungen zu unterscheiden.

Wir benutzen also das Wort Adsorption nicht in dem Sinne eines Gegensatzes zu chemischer Bindung, und verstehen darunter ebenso gut Fälle, welche auch der reine Chemiker zweifellos als chemische Umsetzungen anerkennen würde, wie auch Fälle, in denen ein Forscher, der in der älteren Denkweise erzogen ist, keine Spur einer chemischen Affinität erkennen kann, wie z. B. die Adsorption eines in Wasser gelösten Alkohols durch Kohle.«

Karakteristisk for Absorptionen er det, at den kan udtrykkes ved den bekendte *Freundlichs* Ligning: $v = k xy^n$, hvor v er den absorberede Mængde, x Mængden af Absorbens, y den ikke absorberede Mængde og k og n er Konstanter. At denne Ligning ikke er et eksakt Udtryk for Absorptionen, kan der i denne Forbindelse ses bort fra. De Undersøgelser, der er udførte vedrørende Fosforsyrens Absorption i Jord, bl. a. af *Russell & Prescott* (25) og *Amar Nath Puri* (29), saavel som *Prescott's* Undersøgelser (31) over Jordens Absorption af en Række forskellige Stoffer, viser alle, at *Freundlichs* Ligning med tilstrækkelig god Tilnærmelse kan bringes til Anvendelse paa de eksperimentelle Data.

Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af den anvendte Jordmængde skulde derefter ikke kunne gengives ved (6), men ved en Ligning af Formen

$$y = k_2 x \div k_3 xy^n \quad (7)$$

hvor sidste Led er Udtryk for den absorptivt fastholdte Mængde Fosforsyre.

Det viser sig nu, at de eksperimentelle Data særdeles godt følger den ovenfor anførte Ligning (7). Nedenfor skal anføres Resultaterne fra Forsøg med

Jord fra Virungaard. Parcelmarken. Reaktionstal 4.75, 25 Omdrejninger/m, pH i Filtrat 2.50, 20°.

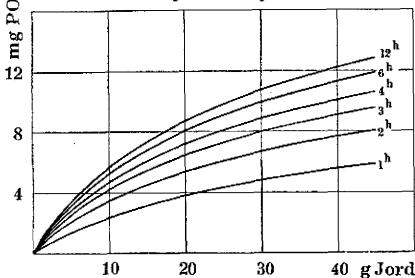
J/O	1/500	2.5/500	5/500	10/500	20/500	30/500	45/500
Rystetid 1h							
mg PO ₄ /l, fundet..	0.46	0.95	1.61	2.96	4.26	5.10	6.33
» beregnet	0.35	0.78	1.35	2.35	3.80	4.82	5.90
Rystetid 2h							
mg PO ₄ /l, fundet..	0.53	1.22	1.96	3.48	5.23	6.44	8.00
» beregnet	0.53	1.20	2.10	3.48	5.38	6.68	8.09

Rystetid 3h									
mg PO ₄ /l, fundet..	0.68	1.34	2.54	4.25	6.42	8.00	9.68		
» beregnet	0.68	1.48	2.54	4.22	6.48	7.98	9.60		
Rystetid 4h									
mg PO ₄ /l, fundet..	0.78	1.55	2.55	4.50	7.00	9.62	11.14		
» beregnet	0.75	1.65	2.85	4.70	7.20	8.90	10.63		
Rystetid 6h									
mg PO ₄ /l, fundet..	0.77	1.86	3.16	5.03	7.86	9.67	11.47		
» beregnet	0.80	1.85	3.16	5.25	8.05	9.98	11.95		
Rystetid 12h									
mg PO ₄ /l, fundet..	0.92	1.92	3.31	5.59	8.54	11.28	12.43		
» beregnet	0.90	1.96	3.40	5.63	8.68	10.73	12.90		
Rystetid ∞ h									
mg PO ₄ /l, beregnet	0.90	1.96	3.40	5.64	8.73	10.86	13.00		

Som det vil fremgaa af Tallene og Fig. 16, stemmer de fundne og de efter en Ligning af Formen (7) beregnede Værdier ganske godt overens, saaledes at det maa være berettiget at betragte Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af den anvendte Jordmængde ud fra det Synspunkt, at egentlig vil en Fosforsyremængde, proportional med den anvendte Jordmængde, gaa i Opløsning, men en Proces, der kan gengives ved den Freundlich'ske Absorptionsligning, spiller med ind.

Den største Uoverensstemmelse mellem fundne og beregnede

Fig. 16. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Mængdeforholdet mellem Jord og Opløsningsmiddel. Variesende Rystetid. pH i Filtrat 2.50.



de længere Rystetider ingen Rolle.

Inden Betydningen af de i Ligning (7) indgaaede Konstanter omtales nærmere, skal Konstanternes Beregning ud fra de eksperimentelle Data anføres:

nede Værdier forekommer ved en Rystetid paa 1 Time, hvor de beregnede Værdier uden Undtagelse er lavere end de fundne. Forholdet skyldes sikkert en rent teknisk Fejl ved Undersøgelserne, idet den Tid, som Filtreringen tager, jo paa en Maade indgaaer i Rystetiden. Denne har altsaa reelt været mere end 1 Time. Filtreringstidens Indflydelse maa naturligvis træde stærkest frem ved den korteste Rystetid og spiller ved

Ved Beregningerne er der gaaet frem paa den Maade, at de eksperimentelt fundne Fosforsyremængder (mg PO_4/l) er afsat som Ordinater i et Koordinatsystem, medens de tilsvarende Jordmængder er afsat som Abscisser. Gennem de saaledes bestemte Punkter er derpaa tegnet en jævn forløbende Kurve, der saa godt som muligt passer til Punkterne.

Der er derpaa valgt 3 y-Værdier, som har følgende indbyrdes Relation:

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{y_2}{y_3}$$

og de hertil svarende 3 x-Værdier er bestemt (grafisk).

Konstanten k_2 findes da af Ligningen

$$k_2 = \frac{y_2^2 x_1 x_3 \div y_1 y_3 x_2^2}{2y_2 x_1 x_2 x_3 \div y_3 x_1 x_2^2 \div y_1 x_3 x_2^2} \quad (8)$$

Konstanten n findes derpaa af Ligningen

$$\frac{y_1 \div k_2 x_1}{y_2 \div k_2 x_2} \cdot \frac{x_2}{x_1} = \left(\frac{y_1}{y_2}\right)^n \quad (9)$$

og den dertil analoge Ligning. Endelig beregnes k_3 ved Indsætning af k_2 og n i de 3 oprindelige Ligninger (7).

Da y ikke kan frigøres, er det ikke muligt direkte at beregne den til en given x-Værdi svarende y-Værdi, naar Konstanterne er fundne, og ved Beregning af den teoretiske Kurve er man derfor nødsaget til at gaa den Vej, at man beregner den til en given y-Værdi svarende x-Værdi, efter Ligningen:

$$x = \frac{y}{k_2 \div k_3 y^n} \quad (10)$$

Paa Grundlag af de saaledes beregnede, samhørende y- og x-Værdier tegnes da Kurven, og den til en given x-Værdi svarende y-Værdi findes grafisk.

De 3 i Ligningen (7) indgaaende Konstanter har hver deres Betydning. Konstanten n er saaledes karakteristisk for vedkommende Absorbens, d. v. s. er et Udtryk for Arten af det eller de Stoffer, der i Jorden absorberer Fosforsyren. Ved Beregning findes denne Konstant forskellig fra Jord til Jord.

Det maa imidlertid tages i Betragtning, at smaa Variationer i de eksperimentelt bestemte y-Værdier, efter hele den Maade, hvorpaa Konstantberegningen maa foretages, paavirker Konstanterne overmaade stærkt. Ud fra et enkelt Forsøg vil det næppe være muligt at bestemme Konstanternes Størrelse med fornøden Sikkerhed.

Ved Undersøgelserne har man foreløbig haft Opmærksomheden mest rettet paa Konstanten n. Denne er i Gennemsnit

af et større Antal meget forskellige Jorder fundet til 0.748, og som det fremgaar af Tabel 4, Side 305, er det muligt at beregne alle Data med Anvendelse af denne Værdi for n . Dette Forhold kan tyde paa, at det i danske Jorder er et og samme Stof, der er virksomt ved Fosforsyrens Absorption.

Konstanten k_3 kan opfattes som et Maal for Mængden af Absorbens i den paagældende Jord. Konstanten er fundet at have Værdier mellem 0.04 og 0.14.

Konstanten k_2 angiver, hvor megen Fosforsyre, der vilde gaa i Opløsning fra den paagældende Jord, saafremt der ingen Absorption fandt Sted. Man kan derfor sige, at k_2 er et Udtryk for Fosforsyrens Opløselighedstendens. Ved Undersøgelserne er der bestemt Værdier mellem 0.18 og 1.25, men andre Undersøgelser, der ikke tillader en Konstantberegning, viser, at denne Konstant maa kunne antage betydeligt større Værdier.

Ved Beregning af de Resultater, der er fundne ved Undersøgelsen af en Jord fra Virumgaard, og som er anført Side 294—95, er nberegnet til 0.5145, altsaa en lavere Værdi end den ovenfor anførte Gennemsnitsværdi 0.748. Resultaterne kan særdeles vel gengives ved Ligninger, hvori n sættes lig 0.748, men Værdien 0.5145 er den Værdi, der faas ved Beregning af de eksperimentelle Data, og da det ikke tør anses for absolut givet, at n skal være af samme Værdi for alle Jorder, er Værdien 0.5145 benyttet ved Beregningen.

Undersøger man nu, hvorledes k_2 varierer med Rystetiden, finder man:

Rystetid, Timer	1	2	3	4	6	12
k_2	0,4033	0,6566	0,8157	0,9157	1,0178	1,0803

Da k_2 angiver den Fosforsyremængde, der vilde gaa i Opløsning, saafremt der ingen Absorption fandt Sted, har det sin Interesse at se, hvorledes k_2 varierer med Rystetiden, idet man maatte vente her at finde Ligningen (3a) (Side 290) som Udtryk for k_2 's Afhængighed af Rystetiden.

Det viser sig da ogsaa, at de anførte Værdier for k_2 nøjagtig følger Ligningen

$$\log (1.0844 \div k_2) = \log 1.0844 \div 0.2020 t \quad (11).$$

Den Side 290 omtalte Omstændighed, at Opløsningshastigheden af Jordens Fosforsyre ikke fulgte den fra talrige Forsøg over faste Stoffers Opløsningshastighed fundne Lovmæssighed,

finder da her sin Forklaring. Jordens Fosforsyre følger den almindelige Lovmæssighed for Opløsningshastigheden, men den samtidige Absorptionsproces tilslører Forholdene, saaledes at disse først træder klart frem, naar man gennem Beregning af k_2 skaffer sig et Udtryk for den »virkelige« Opløselighed.

Maksimalværdien af k_2 er, som det fremgaar af (11), 1.0844. Rystes 1 g Jord med 500 cm³ fortyndet Salpetersyre ved p_H 2.50, afgiver denne Jord altsaa 0.5422 mg PO₄ (= 1.0844 mg PO₄/l), saafremt ingen Absorption finder Sted. Dette modsvarer et Indhold af »opløselig« PO₄ i Jorden paa 0.05422 pCt. Ved Kogning med Kongevand fandtes i den paagældende Jord 0.203 pCt. PO₄. Over 25 pCt. af Jordens Fosforsyre er saaledes »opløselig« i stærkt fortyndet Salpetersyre, blot Rystetiden er lang nok. Forholdet understreger det Resultat, man fra helt anden Side, nemlig gennem Gødningsforsøgene, ogsaa kommer til, at Jordfosforsyren ikke er særlig tungtopløselig. En nærmere Diskussion af disse Forhold vil det imidlertid være naturligere at fremkomme med i en senere Afhandling, hvor gødnings-tekniske Synspunkter træder i Forgrunden.

Konstanten k_3 er ogsaa afhængig af Rystetiden.

Rystetid, Timer	1	2	3	4	6	12
k_3	0.1096	0.1628	0.1885	0.2010	0.2100	0.2127

Det viser sig, at ogsaa k_3 som Funktion af Rystetiden følger Ligningen (3a) i dette Tilfælde.

$$\log (0.2128 \div k_3) = \log 0.2128 \div 0.3144 t \quad (12)$$

Er k_3 , som foran antaget, Udtryk for Mængden af Absorbens i Jorden, kunde det forekomme mærkeligt, at denne Mængde forøges med Rystetiden, men alle Undersøgelserne viser, at k_3 vokser med stigende Rystetid. Det kan tænkes, at Jorden under Rystningen findeles, saaledes at den absorberende Overflade derved forøges. Under Rystningen maa formentlig ogsaa ske en Opkvældning af Jordkolloiderne, der maaske betyder en forøget absorberende (indre?) Overflade. Og endelig kan det tænkes, at for hvert Fosforsyremolekyle, der gaar i Opløsning, bliver en »Binding« fri, saaledes at den samme Jordmængde maa besidde større absorberende Evne over for Fosforsyre, jo mere af denne, der er gaaet i Opløsning. I saa Fald kunde man vente, at Tidskonstanten for k_3 (0.3144 i (12)) skulde være den samme som Tidskonstanten for k_2 (0.2020 i

(11)). Dette har imidlertid aldrig været Tilfældet. En Forklaring paa k_3 's Afhængighed af Rystetiden kunde ogsaa søges i, at Absorptionsprocessen tog en vis Tid. Hvis Fosforsyrens Opløselighed var hurtigere end Absorptionen, vilde man faa en Variation i Konstanten k_3 som den iagttagne. Mod denne Forklaring taler for det første, at k_3 findes større end k_2 , men dernæst ogsaa, at efter alle foreliggende Undersøgelser er Absorption en meget hurtigt forløbende Proces. Spørgsmaalet om, hvorfor k_3 vokser med Rystetiden, maa indtil videre staa ubesvaret.

Undersøgelser, hvor Rystetiden og Forholdet J/O er varieret, er ogsaa udført ved andre p_H Værdier end 2.50. Der skal anføres Resultater fra Jord fra Virumgaard.

Jord fra Virumgaard. p_H i Filtrat 2.35, 20°.								
J/O	1/500	2.5/500	5/500	10/500	20/500	30/500	45/500	
Rystetid 1 ^h								$y = 0.5296 x \div 0.1991 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , fundet..	0.50	1.05	1.85	3.45	5.02	6.48	8.16	
» beregnet	0.36	0.86	1.53	2.65	4.44	5.83	7.56	
Rystetid 2 ^h								$y = 0.8622 x \div 0.3108 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , fundet..	0.59	1.34	2.21	4.08	6.37	8.17	11.01	
» beregnet	0.60	1.33	2.33	3.96	6.46	8.40	10.61	
Rystetid 3 ^h								$y = 1.0711 x \div 0.3735 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , fundet..	0.74	1.51	2.81	4.90	7.69	10.23	12.79	
» beregnet	0.74	1.63	2.82	4.80	7.76	10.02	12.69	
Rystetid 4 ^h								$y = 1.2023 x \div 0.4087 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , fundet..	0.82	1.70	2.89	5.28	8.48	11.88	14.13	
» beregnet	0.80	1.80	3.15	5.34	8.62	11.12	14.04	
Rystetid 6 ^h								$y = 1.3365 x \div 0.4395 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , fundet..	0.83	1.99	3.51	5.84	9.27	12.12	14.92	
» beregnet	0.92	2.02	3.50	5.95	9.61	12.40	15.62	
Rystetid 12 ^h								$y = 1.4185 x \div 0.4533 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , fundet..	1.01	2.09	3.62	6.39	10.42	13.54	15.16	
» beregnet	0.96	2.12	3.72	6.37	10.32	13.34	16.89	
Rystetid ∞^h								$y = 1.4239 x \div 0.4537 xy^{0.2948}$
mg PO_4/l , beregnet	0.96	2.12	3.76	6.41	10.41	13.43	17.00	

Jord fra Virumgaard. p_H i Filtrat 2.80, 20°.								
J/O	1/500	2.5/500	5/500	10/500	20/500	30/500	45/500	
Rystetid 1 ^h								$y = 0.2914 x \div 0.06045 xy^{0.9624}$
mg PO_4/l , fundet..	0.38	0.77	1.27	2.19	3.04	3.19	3.53	
» beregnet	0.30	0.65	1.14	1.86	2.70	3.20	3.64	
Rystetid 2 ^h								$y = 0.4744 x \div 0.08704 xy^{0.9624}$
mg PO_4/l , fundet..	0.44	1.00	1.52	2.42	3.48	3.76	4.11	
» beregnet	0.44	0.98	1.63	2.57	3.53	4.10	4.55	

Rystetid 3h								$y = 0.5894 x \div 0.09873 xy^{0.9624}$
mg PO ₄ /l, fundet..	0.57	1.08	1.99	3.15	4.10	4.16	5.04	
» beregnet	0.55	1.19	1.99	3.04	4.10	4.67	5.12	
Rystetid 4h								$y = 0.6616 x \div 0.10388 xy^{0.9624}$
mg PO ₄ /l, fundet..	0.63	1.25	1.99	3.07	4.40	4.62	5.60	
» beregnet	0.60	1.30	2.20	3.31	4.48	5.04	5.54	
Rystetid 6h								$y = 0.7354 x \div 0.10714 xy^{0.9624}$
mg PO ₄ /l, fundet..	0.65	1.56	2.47	3.66	5.16	5.52	5.94	
» beregnet	0.65	1.45	2.42	3.64	4.89	5.50	6.00	
Rystetid 12h								$y = 0.7805 x \div 0.10788 xy^{0.9624}$
mg PO ₄ /l, fundet..	0.77	1.59	2.65	3.96	5.71	6.47	6.37	
» beregnet	0.70	1.56	2.56	3.87	5.13	5.84	6.34	
Rystetid ∞ h								$y = 0.7835 x \div 0.10792 xy^{0.9624}$
mg PO ₄ /l, beregnet	0.70	1.56	2.57	3.88	5.17	5.86	6.40	

Som det vil ses, er Konstanten n afhængig af Reaktions-tallet:

pH	2.35	2.50	2.80
n	0.2948	0.5145	0.9624

Som Fig. 17 viser, aftager n ligefremt proportional med p_H og skulde ved p_H 2.16 være 0. Forholdet er endnu ikke eksperimentelt efterprøvet.

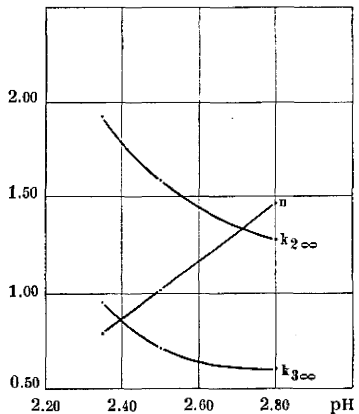
Konstanten k₂ frembyder særlig Interesse. Dens Afhængighed af Rystetiden kan ved alle 3 p_H Værdier angives ved Ligningen (3a) og ved Tidskonstanten 0.2020. I Tilslutning til, hvad der tidligere er anført om Betydningen af Konstanten k₂ betyder dette, at Fosforsyrens Opløsningshastighed er uafhængig af Brintionkoncentrationen. Kun Temperatur og Rørehastighed spiller ind. Konstanten selv er derimod, som det ses i Fig. 17, og som det ogsaa var at vente, i høj Grad afhængig af p_H:

pH	2.35	2.50	2.80
k ₂	1.4239	1.0844	0.7835

Konstanten k₃ er i høj Grad afhængig af p_H, som nedenstaaende Tal viser (sml. Fig. 17).

pH	2.35	2.50	2.80
k ₃	0.4537	0.2128	0.1079

Fig. 17. Konstanterne k₂∞, k₃∞ og n's Variation med Filtratets pH



Tidskonstanten for k_3 er i Forhold til p_H fundet at være:

p_H	2.35	2.50	2.80
C_{k_3}	0.2509	0.3144	0.3567

Medens Tidskonstanten for k_2 er fundet at være uafhængig af p_H (d. v. s. Fosforsyrens »virkelige« Opløsningshastighed er uafhængig af p_H), er dette altsaa ikke Tilfældet for »Mængden« af absorberende Stof i Jorden.

Disse Forhold, der er fundet ved Undersøgelser af en bestemt Jord, Lerjord fra Virumgaard, maa verificeres gennem tilsvarende Undersøgelser af et større Antal Jorder, og disse Undersøgelser er i Gang; men man staar her over for et saa omfattende Analysearbejde, mange Tusinde Analyser, at Resultaterne først kan foreligge efter længere Tids Forløb. Men den indgaaende Undersøgelse af kun een Jord har dog bragt værdifulde Fingerpeg m. H. t. de Opgaver, det fremtidige Arbejde skal koncentreres om.

I Litteraturen forelaa, da nærværende Arbejde paabegyndtes, ingen Undersøgelser over Betydningen af Forholdet Jord/Opløsningsmiddel, der kunde gøres til Genstand for Beregning efter Ligning (7), idet Reaktionen ikke var holdt konstant. Efter at de her refererede Undersøgelser i alt væsentligt var afsluttede, udkom et Arbejde af *Hibbard* (32), der indeholder Data, som kan beregnes. Hibbard har undersøgt Jordfosforsyrens Opløselighed i Eddikesyre og har til Bestemmelse af den til et bestemt p_H svarende, opløste Fosforsyremængde anvendt en Metodik, der ganske svarer til den her anvendte, d. v. s. grafisk Interpolation. Hibbards Resultater kan gengives ved Ligning (7), som nedestaaende Tal fra to af hans Forsøg viser:

Jord Nr. 80. Rystetid 1^h Filtratets p_H 4.16—4.29.

$$y = 1.3198 x \div 0.0394 xy^{1.0128}$$

J/O	12.5/500	25/500	50/500	100/500
mg PO_4/l , fundet....	6.0	9.0	14.5	20.0
» beregnet...	5.5	9.4	14.5	20.0

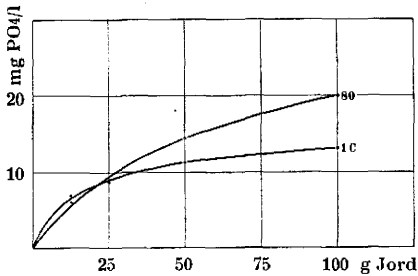
Jord Nr. 1 C. Rystetid 1^h Filtratets p_H 3.95—3.97.

$$y = 4.0516 x \div 1.1248 xy^{0.4641}$$

mg PO_4/l , fundet....	6.8	8.8	11.4	13.2
» beregnet...	6.6	9.0	11.4	13.2

De til ovenstaaende Tal svarende Kurver er gengivet i Fig. 18.

Fig. 18. Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Mængdeforholdet mellem Jord og Opløsningsmiddel. Hibbards Data.



fremsatte Ligninger maa — i alt Fald foreløbig — betragtes som rent empiriske, der med tilstrækkelig Sikkerhed kan benyttes som Interpolations- og i visse Tilfælde som Ekstrapolationsformler.

Men Undersøgelserne har til fulde vist, hvor indviklet Jordfosforsyrens Opløselighedsforhold er, og til Dels den Rolle, som forskellige Faktorer spiller i denne Forbindelse. Det vil endvidere være klart, at naar man ud fra Gødningslærens Standpunkt vil vide Besked om Jordens Indhold af »opløselig Fosforsyre«, helst angivet i pCt. eller endnu bedre i kg pr. ha., da er dette Indhold en meget daarligt defineret Størrelse. Et enkelt Tal siger i Virkeligheden overmaade lidt om Jordens Fosforsyre og dennes Forhold. End ikke en Kurve giver udtømmende Besked, der skal flere Kurver til.

Af rent praktiske Grunde vil man dog søge, om ikke et enkelt Tal kunde give en om end langtfra udtømmende, saa i praktisk Henseende dog værdifuld Oplysning. Det kunde ligge nær at bruge en eller anden Værdi af k_2 i saa Henseende, f. Eks. $k_2 \infty$, p_H 2.50. Men paa den ene Side kræver Bestemmelsen af denne Størrelse en lang Række Analyser, paa den anden Side tages herved ikke Absorptionen med i Betragtning.

Som enkelt Udtryk for Jordens Fosforsyreforhold har man da valgt den Mængde Fosforsyre, der gaar i Opløsning, naar 40 Gram Jord rystes 3 Timer ved 20° med 1 Liter Salpetersyre ved p_H 2.50. Mængden udtrykkes i mg PO₄/l og kaldes Fosforsyretallet.

De her refererede Undersøgelser er, som det ovenfor gentagne Gange er betonet, ikke afsluttede. Det er kun foreløbige Resultater, der kan fremlægges, og det er meget muligt, at fremtidige Undersøgelser vil føre til en anden Fortolkning af de fundne Resultater, saa meget mere, som den her givne Fortolkning vanskeligt kan bringes i Samklang med den Fortolkning, man fra et teoretisk-ke-misk Synspunkt vilde give. De

Naar netop dette ene Punkt af et polydimensionalt Punkt-system er valgt, har forskellige Hensyn været raadende. Rent praktiske Hensyn har spillet ind, idet Erfaringen har vist, at højere p_H -Værdier gav saa smaa Fosforsyremængder, at Analysen blev usikker, medens lavere p_H -Værdier gav gulfarvede Ekstrakter.

Men det har vist sig, at Fosforsyretallet nogenlunde er 10 Gange saa stort som $k_2 \cdot 3^h$ (p_H 2.50) og derved ogsaa staar i et nogenlunde konstant Forhold til $k_2 \cdot \infty$ (p_H 2.50). Selv om Absorptionen spiller ind — og netop skal spille ind — ved Bestemmelsen af et Tal, der saa godt som muligt skal tage Hensyn til alle Sider af Opløselighedsforholdene, har man i Fosforsyretallet nogenlunde Udtryk for den vigtige Konstant k_2 , der angiver Jordfosforsyrens Opløselighedstendens.

Et andet Moment, der har spillet ind ved Valget af netop det som Fosforsyretal betegnede Punkt, er det, at Fosforsyretallet, saa vidt de foreliggende Erfaringer rækker, er af samme Størrelsesorden som den »rodopløselige« Fosforsyre efter Neubauer, og da denne Bestemmelse jo benyttes meget i Tyskland, vilde det være bekvemt at have Fosforsyretal og »Fosforsyre efter Neubauer« af samme Størrelsesorden. Fosforsyretallets Betydning for praktiske Jordbundsundersøgelser vil der blive gjort nærmere Rede for i en følgende Afhandling.

Sluttelig skal blot resumeres de Resultater, som nærværende Undersøgelse har ført til, og som danner Udgangspunktet for fortsatte Undersøgelser:

1) Den Mængde Fosforsyre, der gaar i Opløsning fra en given Jordmængde, er i høj Grad afhængig af Opløsningsmidlets Reaktion.

2) Den Mængde Fosforsyre, der gaar i Opløsning fra en given Jordmængde i et givet Opløsningsmiddel, er afhængig af Rystetiden. Forholdet mellem opløst Fosforsyremængde og Rystetid kan gives ved en Ligning af Formen:

$$y = \frac{A^2 k_1 t}{1 + A k_1 t}$$

3) Den Mængde Fosforsyre, der fra en given Jordmængde i et givet Opløsningsmiddel og med given Rystetid gaar i Opløsning, er afhængig af Mængdeforholdet mellem Jord og

Opløsningsmiddel. Den opløste Fosforsyremængde følger en Ligning af Formen:

$$y = k_2 x \div k_3 xy^n$$

4) Ved at antage, at der finder en Absorption Sted af Fosforsyren i Jorden, og at denne Absorption følger Freundlichs Ligning, fører Undersøgelserne til, at Fosforsyrens Opløselighed som Funktion af Rystetiden, naar der korrigeres for Absorptionen, følger den sædvanlige Ligning for faste Stoffers Opløsningshastighed:

$$\log (A \div y) = \log A \div kt$$

5) Undersøgelserne tyder paa, at Fosforsyren i Jorden er ret letopløselig. Ved p_H 2.00 vilde ca. Halvdelen af Jordens Fosforsyre gaa i Opløsning, saafremt Absorption ikke fandt Sted.

6) Resultaterne af Opløselighedsmaalinger i et større Antal Jorder kan beregnes saaledes, at Konstanten n i den Freundlichske Ligning er ens for alle Jorder.

7) Som bedst muligt Ettalsudtryk for Fosforsyrens Opløselighedsforhold i en given Jord foreslaas: Fosforsyretallet. Dette angiver, hvor mange Milligram PO_4 , der gaar i Opløsning, naar 40 g Jord rystes 3 Timer med 1 Liter fortyndet Salpetersyre, saaledes at Slutreaktionen er $p_H = 2.50$.

Tabel 4. Fosforsyrens Opløselighed i forskellige Jorder.
mg PO₄/l, pH 2.50, 20° C.

Jord Nr.	J/O					k ₂	k ₃	n
	5/500	10/500	20/500	30/500	40/500			
989 fundet beregnet	1.00 0.98	1.60 1.60	2.50 2.23	2.60 2.70	3.15 3.00	0.2835	0.09383	0.748
1053 fundet beregnet	1.20 1.16	1.80 1.75	2.20 2.43	2.60 2.78	3.00 3.03	0.3750	0.1314	0.748
765 fundet beregnet	4.90 4.85	8.60 8.45	12.50 13.80	17.60 17.90	20.60 20.35	1.1758	0.06674	0.748
767 fundet beregnet	4.40 4.40	7.40 8.00	12.00 13.45	17.60 17.80	21.30 21.30	1.0342	0.05091	0.748
602 fundet beregnet	1.60 1.60	2.90 2.85	4.85 4.83	6.35 6.28	7.45 7.45	0.3819	0.04357	0.748
374 fundet beregnet	1.50 1.35	2.30 2.27	3.40 3.55	4.60 4.35	5.00 5.00	0.3572	0.06967	0.748
1019 fundet beregnet	5.20 5.10	8.70 8.90	15.90 14.60	19.60 18.70	22.20 22.00	1.2568	0.07001	0.748
370 fundet beregnet	4.60 4.60	7.00 7.70	12.20 12.00	15.30 14.90	16.90 16.90	1.2221	0.09647	0.748
1029 fundet beregnet	1.40 1.40	2.30 2.25	3.20 3.47	3.90 4.10	4.80 4.05	0.3975	0.09136	0.748
837 fundet beregnet	1.20 1.10	1.80 1.90	3.20 3.05	3.80 3.83	4.30 4.50	0.2775	0.05356	0.748
865 fundet beregnet	3.70 3.50	6.30 6.40	11.00 11.10	13.90 14.75	19.30 19.20	0.8062	0.04163	0.748
907 fundet beregnet	3.90 3.70	6.80 6.60	11.20 10.80	13.70 13.85	17.30 16.30	0.9037	0.06151	0.748
828 fundet beregnet	2.20 2.20	3.80 3.80	6.50 6.20	7.70 7.85	9.00 9.10	0.5524	0.06228	0.748
379 fundet beregnet	3.50 3.60	6.70 6.45	10.80 11.00	14.50 14.50	17.20 17.25	0.8496	0.04971	0.748
789 fundet beregnet	3.40 3.25	5.70 5.75	9.70 9.80	13.20 12.85	15.00 15.30	0.7724	0.05067	0.748

(fortsættes).

Tabel 4 (fortsat).

Jord Nr.	J/O						k ₂	k ₃	n
	2.5/500	5/500	10/500	20/500	30/500	45/500			
591 fundet beregnet		2.57 2.65	4.90 4.55	6.80 7.00	8.24 8.75	10.52 10.45	0.6963	0.08022	0.748
597 fundet beregnet		2.50 2.35	3.70 4.05	6.70 6.42	7.50 8.00	10.10 9.80	0.6020	0.06969	0.748
803 fundet beregnet		3.10 2.95	5.23 5.20	8.80 8.83	11.85 11.55	14.60 14.60	0.7051	0.05124	0.748
582 fundet beregnet		3.50 3.40	5.68 6.00	9.20 9.95	12.52 12.85	16.35 16.35	0.8216	0.05667	0.748
1128 fundet beregnet		1.70 1.50	2.40 2.50	3.80 3.77	4.79 4.64	5.31 5.37	0.4131	0.08356	0.748
424 fundet beregnet		3.06 3.06	5.49 5.60	8.94 9.64	13.45 12.87	16.49 16.70	0.7061	0.04078	0.748
804 fundet beregnet	1.42 1.50	2.37 2.45	3.97 4.30	7.14 6.85	9.01 8.55	10.27 10.35	0.6426	0.07183	0.748
1055 fundet beregnet		1.40 1.22	2.00 2.12	3.50 3.42	4.40 4.43	5.60 5.45	0.3035	0.05131	0.748
1056 fundet beregnet	0.86 0.86	1.42 1.50	2.40 2.40	3.37 3.45	3.97 4.05	4.69 4.70	0.4448	0.10700	0.748
1048 fundet beregnet	0.65 0.66	1.11 1.10	1.89 1.80	2.63 2.70	3.31 3.22	3.73 3.75	0.3110	0.08468	0.748
978 fundet beregnet	0.75 0.75	1.30 1.30	2.19 2.18	3.30 3.40	4.28 4.20	4.99 5.00	0.3456	0.07036	0.748
702 fundet beregnet	0.91 0.85	1.50 1.50	2.56 2.50	3.83 3.80	4.70 4.65	5.48 5.50	0.4082	0.07990	0.748
1136 fundet beregnet	0.60 0.60	1.10 1.08	1.89 1.87	3.13 3.01	3.93 3.85	4.68 4.68	0.2721	0.05300	0.748
1073 fundet beregnet	0.70 0.70	1.23 1.23	2.02 2.02	3.13 3.20	3.91 3.95	4.70 4.70	0.3280	0.07025	0.748
1042 fundet beregnet	0.39 0.31	0.50 0.50	0.69 0.72	0.91 0.95	1.03 1.07	1.10 1.17	0.1832	0.13973	0.748
1207 fundet beregnet	0.40 0.38	0.60 0.60	0.86 0.91	1.23 1.26	1.38 1.43	1.64 1.60	0.1980	0.11433	0.748

Litteraturliste.

1. *Gaarder, T.*: Die Bindung der Phosphorsäure im Erdboden. Meddelelser Nr. 14 fra Vestlandets forstlige forsøksstation. Bind 4. Hefte 4. Bergen 1930.
2. *Atkins, W. R. G.*: The rapid determination of the available phosphate in soil by the coeruleo-molybdate reaction of Denigès. Journal of Agr. Science. Bd. 14, S. 192, 1924.
3. *Denigès, G.*: Reaction de coloration extrêmement sensible des phosphates et des arsénates. Ses applications. Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Bd. 171, S. 802, 1920.
4. *Truog, E. & Meyer, A. H.*: Improvements in the Denigès colorimetric method for phosphorus and arsenic. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. Analytical Edition. Bd. 1, S. 136, 1929.
5. *Wrangell, M. v.*: Kolorimetrische Methode zur schnellen Bestimmung von Phosphorsäure in sehr verdünnten Lösungen. Landw. Jahrbücher. Bd. 63, S. 669, 1926.
6. *Zinzadze, Sch. R.*: Neue Methoden zur kolorimetrischen Bestimmung der Phosphor- und Arsensäure. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde. A. Bd. 16, S. 129, 1930.
7. *Parker, F. W. & Fudge, J. F.*: Soil phosphorus studies: I. The colorimetric determination of organic and inorganic phosphorus in soil extracts and in the soil solution. Soil Science. Bd. 24, S. 109, 1927.
8. *König, J.*: Die Untersuchung landwirtschaftlich und landw. gewerblich wichtiger Stoffe. 5. Auf. I, S. 239, 1923.
9. *Dyer, B.*: On the analytical determination of probable available »mineral« plant food in soils. Journ. of the Chemical Society. Transactions. Bd. 65, S. 115, 1894.
10. *König, J. & Hasenbäumer, J.*: Die Ermittlung des Düngungsbedürfnisses des Bodens. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Düngung. B. Bd. 3, S. 497, 1924.
11. *Marr, T.*: Over kali en phosphorzuur in onzen bouwgrond. Archief v. d. Java Suikerind. 1907. (Her citeret efter O. Arrhenius (12)).
12. *Arrhenius, O.*: Lantbrukets Fosforsyrefråga. Odlaremeddelanda Nr. 1 från Svenska Sockerfabriks Aktiebolaget. 1930.
13. *Arrhenius, O.*: Die Phosphatfrage. I. Der Phosphatgehalt des Bodens und die Phosphorsäuredüngung. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde, A. Bd. 14, S. 121, 1929.
14. *Gedroiz, K. K.*: Die chemischen Methoden zur Bestimmung der Fruchtbarkeit der Böden in Bezug auf Phosphorsäure. Russ. Journal für exp. Landwirtschaft. Bd. 4, S. 403, 1903. Exp. Station Record. Bd. XV, S. 549. 1903—04.
15. *Pagnoul, M. A.*: La richesse d'une bonne terre arable en acide phosphorique. Dehérain. Annales Agronomiques. Bd. 25, S. 549, 1899.
16. *Hofman-Bang, O.*: Försök at bestämma den för kulturväxterna tillgängliga mängden af fosforsyra, P_2O_5 , i åkerjord. Kungl. Lantbruks-Akademiens Handlingar och Tidsskrift. S. 316, 1906.

17. *Němec, A.*: Ein neues rasches Verfahren zur Ermittlung der Phosphorsäuredüngungsbedürftigkeit der Ackerböden. Fortschritte der Landwirtschaft. Bd. 3, S. 919, 1928.
 - 17 a. *Němec, A.*: Beitrag zur Auswertung der Ergebnisse chemischer Bodenanalysen auf Phosphorsäuredüngungsbedürftigkeit. Wissenschaftliches Archiv für Landwirtschaft A. Bd. 4, S. 229, 1930.
 18. *Wrangell, M. v.*: Die Bestimmung der pflanzenzugänglichen Nährstoffe des Bodens. Landw. Jahrbücher. Bd. 71, S. 149, 1930.
 19. *Das, Surendralal*: An improved method for the determination of available phosphoric acid of soils. Soil Science Bd. 30, S. 33, 1930.
 20. *Dirks, B. und Scheffer, F.*: Vergleichende Untersuchungen über das Nährstoffbedürfnis der Kulturböden. Landwirtschaftliche Jahrbücher. Bd. 67, S. 779, 1928.
 21. *Schlösing, Th.* (fils): Action des liqueurs acides très étendues sur les phosphates du sol. Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Bd. 128, S. 1004, 1899.
 - 21 a. *Schlösing, Th.* (fils): Sur l'acide phosphorique des sols. Comptes rendus de l'Académie des Sciences. Bd. 132, S. 1189, 1901.
 22. *v. Sigmund, A.*: Über die praktische Bedeutung der chemischen Bodenanalyse. Zeitschrift für das landwirtschaftliche Versuchswesen in Oesterreich. Bd. 10, S. 581, 1907.
 23. *Whitson, A. R. & Stoddardt, C. W.*: Factors influencing the phosphate content of soils. The university of Wisconsin Agr. Exp. Stat. Research Bulletin 2, 1909.
 24. *Fraps, G. S.*: Relation of pot experiments to the active phosphoric acid of the soil. Journal of Ind. and Engineering Chemistry. Bd. 3, S. 335, 1910.
 25. *Russell, E. J. & Prescottt, J. J.*: The reaction between dilute acids and the phosphorus compounds of the soil. Journal of Agricultural Sc., Bd. 8, S. 65, 1916—17.
 26. *Nernst, W.*: Theoretische Chemie. 8—10 Aufl. S. 658, 1921.
 - 26 a. *Noyes, A. A. & Whitney, W. R.*: Über die Auflösungs geschwindigkeit von festen Stoffen in ihren eigenen Lösungen. Zeitschrift für physikalische Chemie. Bd. 23, S. 689, 1897.
 27. *Meyer, L.*: Vergleich der Untersuchungen von Bodenlösungen nach v. Wrangell mit den Vorschlägen von A. Němec. Fortschritte der Landwirtschaft. 5. Jahrg. S. 745, 1930.
 28. *Michaelis, L.*: Die Wasserstoffionenkonzentration S. 199, Berlin 1922.
 29. *Puri, A. N.*: Some experiments on the interaction between soil and dilute acids. Journal of Agr. Science. Bd. 15, S. 334, 1925.
 30. *Freundlich, H.*: Kapillarchemie. 3. Aufl. S. 232 ff., 1923.
 31. *Prescottt, J. A.*: The phenomenon of absorption in its relation to soils. Journal of Agr. Science. Bd. 8, S. 111, 1916—17.
 32. *Hibbard, P. L.*: Chemical methods for estimating the availability of soil phosphate. Soil Science. Bd. 31, S. 437, 1931.
-