

Studier over Jordens Fosforsyreindhold.

II.

Laboratorieundersøgelsens Forhold til Markforsøget.

Af K. A. Bondorff.

270. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

I nærværende Afhandling gøres Rede for det Grundlag, hvorpaa Laboratorieundersøgelser til Erstatning for Gødningsforsøg maa bygge. Afhandlingen er fremgaaet af Undersøgelser ved Statens Planteavls-Laboratorium, sammenholdt med foreliggende Resultater af Markforsøg.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Gennem næsten et Aarhundredes plantefysiologiske Arbejde, hvis forskellige Stadier maaske kan karakteriseres ved Navnene *Ingenhousz*, *de Saussure*, *Sprengel*, *Liebig*, *Knop* og *Sachs*, var man omkring 1860 naaet til Erkendelse af, hvilke Grundstoffer, der var nødvendige for Planterne, d. v. s., man havde i alt væsentligt løst Ernæringsproblemet og dermed Gødskningens kvalitative Side.

Ganske vist har den nyere plantefysiologiske Forskning paa flere Punkter revideret den klassiske Liste over Planternes Næringsstoffer, idet en Række Grundstoffer som Mangan, Bor, Kobber, Zink o. a. synes at maatte optages paa Listen over de nødvendige Næringsstoffer. Men som Grundlag for Gødskningen har man i alt Fald lige til den nyeste Tid kun regnet med de for længst som nødvendige erkendte Stoffer, og i de Tilfælde, hvor en Tilførsel af Mangan eller Kobber har vist sig af praktisk Betydning, har man været tilbøjelig til at betragte disse Stoffer ikke som Næringsstoffer, men som

Medicin og Fænomenerne selv som hørende til Plantepatologiens Omraade.

Ernæringsproblemets kvantitative Side, d. v. s. Spørgsmaalet om, hvilke Mængder af de nødvendige Næringsstoffer, Planterne skal have, har Plantefysiologerne i langt ringere Grad interesseret sig for. Dette Spørgsmaals Besvarelse er i Hovedsagen blevet overladt Landbrugsvidenskaben, og Erfaringen har vist, at Ernæringsproblemets kvantitative Side, der, set fra Plantedyrkerens Synspunkt, har mindst samme Interesse som den kvalitative, frembyder langt flere og større Vanskeligheder end denne.

Rent naturvidenskabeligt er Problemet dette: hvorledes er Forholdet mellem Næringsstofmængde og Stofproduktion. Men man maa vogte sig for at forveksle dette Problem med det for Praxis umiddelbart mere vigtige: hvilke Næringsstofmængder er det nødvendigt (d. v. s. økonomisk fordelagtigt) at tilføre Afgrøderne. De to Problemer er nær beslægtede, men langtfra identiske, og ikke altid er de holdt klart ude fra hinanden.

Her som paa mangfoldige andre Omraader gælder det, at det praktiske Problem kan løses uafhængigt af det videnskabelige, nemlig rent empirisk gennem passende Forsøg; men det gælder ogsaa, at en rationel, almen Løsning kun opnaas paa Grundlag af det videnskabelige Problems Løsning. Dette Problem er derfor af den største Betydning. Løsningen er bl. a. det nødvendige Grundlag for en Gødkningens Teori, og Løsningen maa — i alt Fald i Øjeblikket — danne Udgangspunktet for ethvert Forsøg paa gennem kemisk Undersøgelse af Jorden, med Omgaelse af direkte Markforsøg, at udrede det for Praxis saa vigtige Spørgsmaal om den mest hensigtsmæssige Gødningsmængde. Det er derfor ikke alene naturligt, men nødvendigt, at Spørgsmaalet om Forholdet mellem Næringsstof- (Gødnings-) mængde og Stofproduktion her gøres til Genstand for nærmere Behandling.

Forholdet mellem Næringsstofmængde og Stofproduktion.

En Undersøgelse af dette Problem møder først den store Vanskelighed, at begge de Størrelser, der er Tale om, baade Næringsstofmængde og Stofproduktion, som Regel er vanskelige at præcisere, er daarligt definerede.

Stofproduktionen maales oftest ved Mængden af produceret

Tørstof. Men fysiologisk kan det ikke være uden Betydning, hvorledes dette Tørstof er sammensat, om det f. Eks. er Kulhydrater eller Fedtstoffer, og Tørstofmængden kan derfor ikke antages at give noget præcist Udtryk for Plantens Reaktion over for Næringsstofmængden.

At Tørstofproduktionens Fordeling paa de forskellige Organer, Kærne eller Halm, Rod eller Top, naturligvis er af den største praktiske Betydning, er igen en anden Sag.

Den producerede Tørstofmængde er altsaa ikke noget klart defineret Begreb, men for Tiden staar vel næppe andet til Raadighed. Plantens Reaktion over for Næringsstofmængden maa maales gennem Tørstofproduktionen eller — da f. Eks. i Kornforsøg Rod- og Stubvægten ikke bestemmes — endda kun gennem en vis, men ukendt Del af denne.

Ogsaa den anden Størrelse, Næringsstofmængden, er det vanskeligt at præcisere. Der skal blot erindres om, at ved Forsøg i Jord spiller dennes Egenskaber i høj Grad ind, saaledes at der kan være stor Forskel paa den tilførte og den virkelig til Afgrødernes Raadighed staaende Næringsstofmængde. Og anstilles Forsøget i et »indifferent« Voksemedium, som Forsøg i Kvartssand eller Vandkulturer, maa man ikke overse, at man i saadanne Forsøg saa godt som altid varierer baade Næringsstofmængde og Næringsstofkoncentration, idet Vandmængden holdes konstant.

De Vanskeligheder, man saaledes træffer paa, naar man vil søge en Besvarelse af det stillede Spørgsmaal, skal ikke diskuteres nærmere her. Der vil i en senere Afhandling blive Lejlighed til at gaa nærmere ind paa disse Forhold. Stofproduktionen vil her blive angivet som Mængden af høstet Tørstof (eller frisk Plantemasse), og Næringsstofmængden udtrykt i Enheder af tilført Gødningsstof. Men det vil af det anførte formentlig fremgaa, at det Forhold, man maatte finde mellem Stofproduktion og Næringsstofmængde, mellem to daarligt definerede Størrelser, ikke kan være Udtryk for nogen Naturlov, højest en ufuldkommen Tilnærmelse til en saadan.

Paa rent empirisk Grundlag, d. v. s. paa Resultatet af mangfoldige Mark- og Karforsøg med aftrappede (»stigende«) Næringsstofmængder, er man naaet til Erkendelse af Reglen om de aftagende Udbyttetilvækster, d. v. s., man har fundet, at Stofproduktionen ikke stiger proportionalt med Næ-

ringsstofmængden, men mindre, ja ved store Næringsstofmængder igen aftager. Nogen fyldestgørende Forklaring paa dette Forhold, der i øvrigt er i Samklang med en Række andre Foreteelser inden for Plante- og Dyrefysiologien, er det ikke lykkedes at give, og de forskellige teoretiske Begrundelser, der er blevet fremsat, kan man i Øjeblikket ikke tillægge særlig Vægt.

Reglen om de aftagende Udbyttetilvækster har man ofte søgt at udtrykke præcisere gennem det matematiske Sprog, og da det nu er saaledes, at det matematiske Sprog kortere og klarere end det talte Sprog kan udtrykke de Forhold, det her drejer sig om, vil det være rimeligt ogsaa i nærværende Afhandling at benytte det matematiske Sprog i den Udstrækning, hvor det med virkelig Fordel kan træde i Stedet for det almindelige.

Betegner man med x Næringsstofmængden, med y Stofproduktionen, kan Reglen om de aftagende Udbyttetilvækster gengives ved en Ligning, den saakaldte Udbytteligning, hvis Differentialkvotient $\frac{dy}{dx}$ aftager med voksende x -Værdier og for tilstrækkeligt store x -Værdier bliver Nul og derefter negativ. En Række saadanne Ligninger kan opstilles, og det er ikke hidtil med Sikkerhed lykkedes at afgøre hvilken Ligning, der svarer bedst til foreliggende Data. Da Udbytteligningen — i det matematiske Sprogs Form — er Besvarelsen af Spørgsmaalet om Forholdet mellem Næringsstofmængde og Stofproduktion, og da den bedst mulige Besvarelse maa søges, skal forskellige Ligninger her anføres.

Almene Ligninger, der tilfredsstillende paa Forhaand stillede Betingelser, er bl. a.:

$$y = ax^m \div bx^n \quad (1) \quad \frac{dy}{dx} = cx^p \div dx^r \quad (1^1)$$

$$y = \frac{a(x+b)^n \div ab^n}{(x+b)^n \cdot b^n} \div cx^m \quad (2) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{c}{(x+d)^p} \div kx^r \quad (2^1) \quad p > 1$$

$$y = a \log(x+b) \div a \log b \div cx^m \quad (3) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{c}{x+d} \div kx^r \quad (3^1)$$

$$y = a \left(1 \div \sqrt[n]{\frac{1}{bx+1}}\right) \div cx^m \quad (4) \quad \frac{dy}{dx} = c(a \div y)^p \div kx^r \quad (4^1) \quad p > 1$$

$$y = a(1 \div 10 \div kx) \div cx^m \quad (5) \quad \frac{dy}{dx} = c(a \div y) \div kx^r \quad (5^1)$$

Ud fra disse almindelige Ligninger lader sig ved Fiksring af 1 eller flere Konstanter let aflede de Specialligninger, der fra Tid til anden har været foreslaaet. Saadanne Specialligninger er:

$$y = ax \div bx^2 \quad (6)$$

$$y = ax \div bx^n \quad (7)$$

$$y = a \sqrt{x} \div bx \quad (8)$$

$$y = \frac{ax}{x+b} \div cx \quad (9)$$

$$y = a \log(x+1) \div cx \quad (10)$$

$$y = a(1 \div 10 \div kx) \div cx \quad (11)$$

Foruden de ovenfor anførte Ligninger, er foreslaaet:

$$y = a(1 \div 10 \div kx) \quad (12) \quad \frac{dy}{dx} = c(d \div y) \quad (12^1)$$

$$y = \frac{ax}{x+b} \quad (13) \quad \frac{dy}{dx} = \frac{c}{(x+b)^2} \quad (13^1)$$

Om disse to Ligninger, af hvilke (12) er velkendt i den logaritmerede Form: $\log(a \div y) = \log a \div kx$ og under Navn af *Mitscherlichs* Ligning, gælder, at de vel kan gengive Forholdet mellem Næringsstofmængde og Stofproduktion paa tilfredsstillende Maade ved mindre Næringsstofmængder, hvorimod de ikke kan gengive dette Forhold ved store Mængder, hvor Stofproduktionen aftager. Deres Anvendelighed er altsaa begrænset.

Endelig skal det anføres, at Ligningen (1) f. Eks. i Formen $y = ax^2 \div bx^3$ for smaa Næringsstofmængder viser tiltagende Udbyttetilvækster, d. v. s., at den dobbelte Næringsstofmængde giver mere end den dobbelte Stofproduktion. Dette Forhold er gennem Karforsøg eksperimentelt paavist, og Reglen om de aftagende Udbyttetilvækster er saaledes ikke uden Undtagelse. Ved smaa Næringsstofmængder iagttager man ofte tiltagende Udbyttetilvækster. For Vækstfaktorer som Lys og Varme synes dette Forhold i langt højere Grad fremtrædende end for de egentlige Næringsstoffer, hvor tiltagende Udbyttetilvækster kun synes at forekomme ved saa smaa Næringsstofmængder, at Forholdet ikke engang altid kommer frem ved Karforsøg, fordi de tilførte Næringsstofmængder ikke har været smaa nok. Tiltagende Udbyttetilvækster, saaledes som de ret hyppigt kan forekomme ved Markforsøg, staar næppe direkte i Sammenhæng med Gødningstilførslen, men maa, naar Fejl paa Grund af Jordens Uensartethed maa udelukkes, skyldes sekundære Forhold. Den nyere Tids Undersøgelser over den saakaldte Antagonisme mellem Næringsstofferne aabner her uanede Muligheder for Fortolkning af fejlagtige Forsøgsresultater. Til Forholdene ligger væsentligt mere afklarede, gør man dog klogest i ikke at skyde for meget over paa Antagonisme, der ikke hidtil med Sikkerhed er paavist ved Karforsøg og endnu mindre ved Markforsøg. Det til Dato foreliggende Materiale stammer fra Vandkulturforsøg, hvor Vækstbetingelserne jo er væsensforskellige fra Vækstbetingelserne i et fast Voksemedium.

Hvilken af de anførte Udbytteligninger, man skal foretrække, er det i Øjeblikket umuligt definitivt at besvare. Erfaringen fra Karforsøg, der gennem en længere Aarrække er udført ved Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles Undervisningsmark med Udfindelse af Udbytteligningen som Hoved-

formaal, har vist, at ingen af de foran anførte Ligninger er helt tilfredsstillende. Bedst synes Ligningerne (1), (2) og (5), men disse Ligninger, anvendt i deres almindelige Form, frembyder overordentlige regnemæssige Vanskeligheder.

Ligningerne (9) og (11) er gode Tilnærmelser, og i det følgende vil Ligning (9) blive anvendt. De Udviklinger, der anføres, vil vel nok rent talmæssigt faa andet Udseende, hvis en anden Udbytteligning anvendes. Principielt vil de derimod blive ganske de samme.

Jordens Indhold af Næringsstof.

En Vanskelighed ved Anvendelsen af de foran omtalte Ligninger møder man nu i det Forhold, at x -Værdierne, d. v. s. de til Raadighed staaende Næringsstofmængder, som Regel ikke er kendte. Man kender kun de tilførte Næringsstofmængder, t .

Anstiller man med Jord som Voksemedium et Forsøg med aftrappede Næringsstofftilførsler, vil Jordan ogsaa uden Næringsstofftilførsel frembringe et vist Udbytte, y_0 . Jordan har altsaa stillet en vis Næringsstofmængde, f , til Afgrødens Raadighed, men hvilken?

Gennem Forsøg med aftrappede Gødningsmængder kan man imidlertid faa et Udtryk for den Næringsstofmængde, Jordan har stillet til Afgrødens Raadighed. Et Eksempel vil bedst illustrere dette.

Forsøg med aftrappede Superfosfatmængder til Kaalroer har givet følgende Resultater:

Gødning (t)	0	150	300	450	kg Superfosfat pr. ha
Udbytte (y)	991	1015	1026	1028	hkg Kaalroer pr. ha
Merudbytte (v)	—	24	35	37	» » » »

Det er indlysende, at Jordan selv (heri indbefattet den eventuelt tilførte Staldgødning) maa have stillet betydelige Fosforsyremængder til Afgrødens Raadighed, og man kan nu anstille følgende Ræsonnement: Jordan har ved en Superfosfattilførsel paa 300 kg pr. ha givet 1026 hkg Kaalroer pr. ha. »Berøver« man den saaledes gødede Jord 150 kg Superfosfat pr. ha, giver den kun et Udbytte paa 1015 hkg. »Berøver« man den 300 kg Superfosfat pr. ha, giver den kun 991 hkg Roer. Hvor mange kg Superfosfat pr. ha skulde man berøve

Jorden, for at Udbyttet skulde dale til 0? Denne »Superfosfat«-mængde maa Jorden jo have stillet til Kaalroernes Raadighed.

Finder man, at Jorden har stillet f. Eks. 1000 kg »Superfosfat« pr. ha til Afgrødens Raadighed, betyder dette naturligvis ikke, at Jorden har indeholdt 1000 kg Superfosfat pr. ha, men Resultatet maa forstaas saaledes: Jorden har til Kaalroernes Raadighed stillet en Fosforsyremængde, der er ækvivalent, ensvirkende, med 1000 kg Superfosfat. Havde Jorden ikke indeholdt (fysiologisk aktiv) Fosforsyre, men i øvrigt haft alle de andre Egenskaber, den nu har, ikke mindst sin Absorptionsevne overfor Fosforsyre, maatte man have tilført 1000 kg Superfosfat for at faa et Udbytte paa 991 hkg Kaalroer pr. ha.

Ud fra Resultaterne af Forsøg med aftrappede Gødningsmængder og ud fra en Udbytteligning maa man altsaa kunne beregne den Næringsstofmængde, som Jorden har stillet til Afgrødens Raadighed, udtrykt i samme Enheder, som den tilførte Gødning maales i. Den ovenfor udviklede Tankegang er først fremsat af *E. A. Mitscherlich*, der har kaldt Fremgangsmaaden for plantefysiologisk Jordbundsanalyse. Det Udtryk, der paa denne Maade erholdes for den af Jorden til Raadighed stillede Næringsstofmængde, vil i det følgende blive kaldt den fysiologisk bestemte Mængde og betegnet med *f*.

Beregningen af *f* paa Grundlag af de erholdte Resultater sker ved, at Ligningen (9)

$$y = \frac{ax}{x+b} \div cx, \text{ omformes til}$$

$$y = \frac{a(f+t)}{f+t+b} \div c(f+t) \quad (14), \text{ idet } x = (f+t).$$

Til Beregningen af de 4 Konstanter *a*, *b*, *c* og *f* kræves 4 samhørende Værdipaar af *y* og *t*, hvilket i Eksemplet haves, idet y_0 , t_0 kan anvendes som det ene Par.

Beregningen fører til Ligningen:

$$y = \frac{1592.24 (732.21 + t)}{(732.21 + t) + 280.29} \div 0.21917 (732.21 + t) \quad (15)$$

Jorden har — efter denne Beregning — stillet en Fosforsyremængde, ækvivalent med 732 kg Superfosfat, til Kaalroernes Raadighed, eller $f = 732$ kg Superfosfat pr. ha.

Det skal her paa dette Sted blot tilføjes, at den fundne *f*-Værdi for en Jord vil være afhængig dels af den Planteart,

hvormed Forsøget foretages, dels af den benyttede Ligning. Anvender man Ligningen (12), *Mitscherlichs* Ligning, paa de ovenfor anførte Tal, findes $f = 520$ kg Superfosfat pr. ha. Det er altsaa, hvis de for Jorderne gennem »plantefysiologisk Analyse« fundne Næringsstofmængder skal sammenholdes med de gennem en kemisk Analyse fundne Mængder, af afgørende Betydning, at man vælger en Udbytteligning, der er saa god en Tilnærmelse til de eksperimentelle Data som muligt, og bl. a. af denne Grund er Spørgsmaalet om Udbytteligningens Form meget vigtigt.

Forholdet mellem tilført Næringsstof og Merudbytte.

Da man, som ovenfor nævnt, saa godt som aldrig kender de til en Afgødes Raadighed staaende Næringsstofmængder, og da det efter en Gødningstilførsel opnaaede Merudbytte er det afgørende Moment for Gødskningens Økonomi, vil det i de fleste Tilfælde ogsaa være ønskeligt at kunne præcisere Forholdet mellem Næringsstofftilførsel og Merudbytte nærmere.

Dette Forhold kan udtrykkes gennem Ligninger af samme Form som Udbytteligningerne. Betegner man Merudbyttet med v , den tilførte Gødningsmængde med t , kan man som Udtryk for Merudbyttets Afhængighed af Gødningsmængden f . Eks. anvende Ligningen:

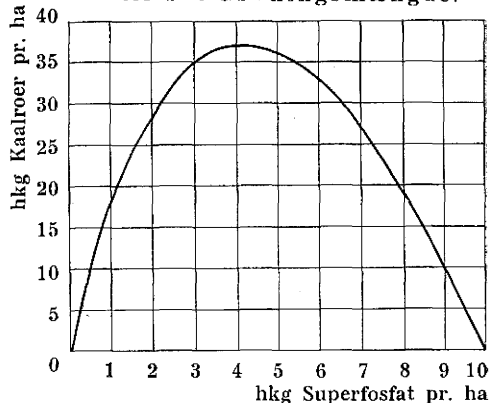
$$v = \frac{at}{b+t} \div ct \quad (16),$$

der for det benyttede Eksempel fremtræder som

$$v = \frac{440.78 t}{1012.50 + t} \div 0.21917 \cdot t \quad (17)$$

I Fig. 1 er den efter denne Ligning beregnede Sammenhæng mellem Gødningstilførsel og Merudbytte angivet.

Fig. 1. Merudbytte i Forhold til tilført Gødningsmængde.



Merudbytteligningen og den tilsvarende Udbytteligning kan ofte afledes af hinanden. Betegner man Udbyttet af Ugødet med y_0 , har man f. Eks.:

$$y = \frac{ax}{b+x} \div cx \quad (18), \text{ som, idet } x = (f+t), \text{ kan skrives}$$

$$y = \frac{af+at}{b+f+t} \div cf \div ct \quad (19), \text{ da}$$

$$y_0 = \frac{af}{b+f} \div cf \quad (20) \text{ faas ved Subtraktion}$$

$$v = \frac{af+at}{b+f+t} \div \frac{af}{b+f} \div ct \quad (21)$$

$$v = \frac{abt}{(b+f)^2 + (b+f)t} \div ct = \frac{dt}{e+t} \div ct \quad (22).$$

De i Ligningerne indgaaede Konstanter er altsaa enten de samme eller kan let afledes af hverandre, naar f kendes.

Forsøg med aftrappede Gødningsmængder giver nu, foruden Sammenhængen mellem Gødskning og Merudbytte, Mulighed for en nærmere Undersøgelse af Økonomien ved Gødskningen. Betegner man med r Forholdet mellem Prisen pr. Gødningsenhed og Pris (Værdi) pr. Afgrødeenhed, altsaa:

$$r = \frac{\text{Pris pr. Gødningsenhed}}{\text{Pris pr. Afgrødeenhed}},$$

er Gødningsudgiften, u , $= rt$ og Nettofortjenesten ved Gødningsanvendelsen, p , $= v \div u$, idet saavel Udgift som Fortjeneste da maales i Afgrødeenheder. Man har nu, idet Ligning (9) og den tilsvarende (16) stadig skal anvendes,

$$v = \frac{at}{b+t} \div ct \quad (16)$$

$$u = rt \quad (23)$$

$$p = \frac{at}{b+t} \div (c+r)t \quad (24)$$

Den Ligning, der gengiver den økonomiske Fordel ved Anvendelse af Gødning, er altsaa i dette Tilfælde af samme Form som baade Udbytte- og Merudbytteligning.

Ligning (24) skal nu anvendes paa Resultaterne af Kaalroeforsøget. Antager man, at Superfosfatprisen kan variere mellem 6 og 9 Øre, Kaalroeværdien mellem 0.5 og 1.0 Kr., henholdsvis pr. kg og pr. hkg, svarer til disse Prisgrænser r -Værdier mellem 0.06 og 0.18.

De i Ligningen indgaaende Konstanter haves fra (17), saaledes at man har

$$p = \frac{440.78 \cdot t}{1012.50 + t} \div (0.21917 + r) \cdot t \quad (25)$$

og Nettofortjenesten kan angives gennem Tabel 1.

Tabel 1. Nettofortjeneste, hkg Kaalroer pr. ha.

r	Gødningmængde, kg pr. ha										
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
0.06	6.8	11.7	15.0	16.9	17.5	17.0	15.5	13.2	10.0	6.1	1.6
0.07	6.3	10.7	13.5	14.9	15.0	14.0	12.0	9.2	5.5	1.1	
0.08	5.8	9.7	12.0	12.9	12.5	11.0	8.5	5.2	1.0		
0.09	5.3	8.7	10.5	10.9	10.0	8.0	5.0	1.2			
0.10	4.8	7.7	9.0	8.9	7.5	5.0	1.5				
0.11	4.3	6.7	7.5	6.9	5.0	2.0					
0.12	3.8	5.7	6.0	4.9	2.5						
0.13	3.3	4.7	4.5	2.9							
0.14	2.8	3.7	3.0	0.9							
0.15	2.3	2.7	1.5								
0.16	1.8	1.7									
0.17	1.3	0.7									
0.18	0.8										

En saadan Tabel vil med en for Praksis tilstrækkelig Nøjagtighed angive den under vekslende Konjunkturforhold fordelagtigste Gødningmængde. Det vil ses, at en Gødningmængde, lidt større eller lidt mindre end den optimale, ikke i væsentlig Grad paavirker Nettoudbyttet, saaledes at man ikke behøver at vaage ængsteligt over, at netop den optimale Gødningmængde anvendes. Ønsker man en nøjagtigere Bestemmelse af de optimale Gødningmængder, kan disse beregnes af Ligningen (24).

Differentieres denne, faas:

$$\frac{dp}{dt} = \frac{ab}{(b+t)^2} \div (c+r) \quad (26)$$

Sættes $\frac{dp}{dt} = 0$, og løses Ligningen med Hensyn til t, faar man den til Maksimum for p svarende t-Værdi, d. v. s. den optimale Gødningmængde, O.

$$0 = \div b \pm \sqrt{\frac{ab}{c+r}} \quad (27)$$

For Eksemplets Vedkommende faar man:

$$0 = \div 1012.50 + \sqrt{\frac{440.78 \cdot 1012.50}{0.21917 + r}} \quad (20)$$

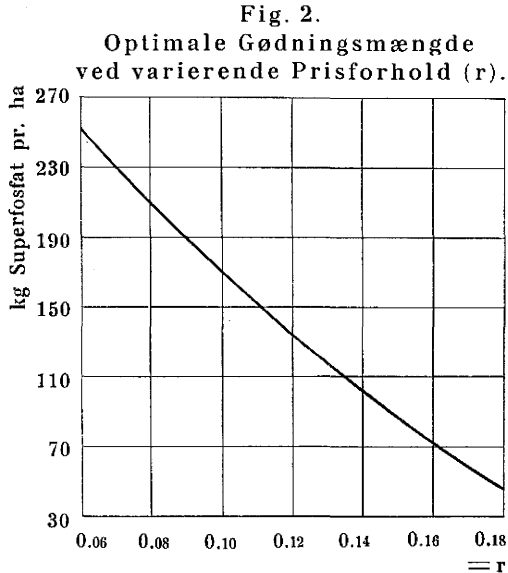
Løses denne Ligning for vekslende r-Værdier, faar man:

Tabel 2. Optimale Gødningmængder.

100 · r =	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
O =	252	230	209	189	170	152	135	118	102	87	73	59	47

Som Tabel 2 viser, vil en lidt forkert Vurdering af Værdiforholdet mellem Gødning og Afgrøde ikke føre til Gødningsmængder, der er meget forskellige fra de mest økonomiske. Plantedyrkeren har ved Beregningen af den Gødningsmængde, han bør anvende, et vist Spillerum.

Tallene i Tabel 2 er gengivet i Fig. 2, der yderligere viser det lige anførte Forhold.



Gødningsvirkningens Forhold til Jordens Næringsstofafgivelse.

Tænker man sig den Jord, der svarer til det stadig som Eksempel benyttede Kaalroeforsøg, berøvet en vis Mængde Fosforsyre, medens alle andre Faktorer, der kan paavirke Afgrøden, ikke ændres, har man en Jord med en anden f-Værdi eller, som det populært, men ulogisk udtrykkes, en Jord med en anden »Fosforsyretrang«.

Da kun Jordens Evne til at afgive Fosforsyre til Afgrøden er ændret, maa Udbyttets Afhængighed af den til Raadighed staaende Fosforsyremængde stadig være den samme, d. v. s. kan stadig udtrykkes ved Ligningen (15) i dens almindeligere Form:

$$y = \frac{1592.24 (f + t)}{f + t + 280.29} \div 0.21917 (f + t) \quad (29)$$

Idet $y_0 = \frac{1592.24 \cdot f}{f + 280.29} \div 0.21917 \cdot f$, faar man ved Subtraktion

$$v = \frac{446288.95 \cdot t}{(f + 280.29)^2 + (280.29 + f) t} \div 0.21917 t \quad (30)$$

Af denne Ligning kan, idet man indsætter forskellige Værdier for f, Gødningsvirkningen paa Jorder med forskellig f-Værdi (med forskellig Fosforsyretrang) beregnes, idet man maa erindre, at man forudsætter alle andre Faktorer uforandrede. I Tabel 3 er anført de saaledes beregnede Merudbyttetal.

Tabel 3. Gødningsvirkning i Forhold til Jordens f-Værdi.
Merudbytte,
hkg Kaalroer pr. ha efter Anvendelse af kg Superfosfat pr. ha.

f = kg Superfosfat pr. ha	100	200	300	400	500	600	700	800
100	222	361	452	514	557	587	607	620
200	138	229	292	335	361	385	398	405
300	91	153	196	226	246	260	267	271
400	62	105	135	155	168	176	179	179
500	43	73	93	106	114	117	117	114
600	30	50	63	71	74	74	71	66
700	20	33	41	44	44	41	36	29
800	13	21	24	24	21	16	9	0
900	8	11	11	8	3	÷ 4	÷ 13	÷ 23
1000	3	3	0	÷ 5	÷ 12	÷ 21	÷ 31	÷ 42
1100	0	÷ 3	÷ 8	÷ 15	÷ 24	÷ 34	÷ 45	÷ 57
1200	÷ 3	÷ 8	÷ 15	÷ 24	÷ 34	÷ 45	÷ 57	÷ 70

Ud fra Ligningen (30) kan man endvidere beregne de under vekslende Konjunkturforhold optimale Gødningsmængder for de »forskellige« Jorder.

Man finder Ligningen:

$$0 = \div (280.29 + f) + \sqrt{\frac{446288.95}{0.21917 + r}} \quad (31)$$

En Beregning af O for vekslende r- og f-Værdier fører til følgende Tal (Tabel 4):

Tabel 4. Den optimale Gødningsmængde,
kg Superfosfat pr. ha.

f = kg Super- fosfat pr. ha	100 r =												
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
100	884	862	841	821	802	784	767	751	735	719	705	691	677
200	784	762	741	721	702	684	667	651	635	619	605	591	577
300	684	662	641	621	602	584	567	551	535	519	505	491	477
400	584	562	541	521	502	484	467	451	435	419	405	391	377
500	484	462	441	421	402	384	367	351	335	319	305	291	277
600	384	362	341	321	302	284	267	251	235	219	205	191	177
700	284	262	241	221	202	184	167	151	135	119	105	91	77
800	184	162	141	121	102	84	67	51	—	—	—	—	—
900	84	62	41	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Det er altsaa muligt — ud fra Forsøg med aftrappede Gødningsmængder — at udtrykke Gødningsvirkningen og den

under vekslende Konjunkturforhold optimale Gødningsmængde som Funktion af f , Jordens »Indhold« af det paagældende Næringsstof. Ligningerne (30) og (31) udtrykker denne funktionelle Sammenhæng, saafremt man for Udbytteligningen vælger Ligning (15).

Kunde man nu ad anden Vej end gennem Forsøg med aftrappede Næringsstofmængder, f. Eks. gennem kemisk Undersøgelse, bestemme en Jords f -Værdi, vilde det altsaa være muligt med Omgaaelse af Forsøg paa den paagældende Jord at angive Gødningsvirkningen og den optimale Gødningsmængde, saafremt Gødningen kom til Anvendelse under ganske samme Omstændigheder som i det Forsøg, hvis Resultater har dannet Udgangspunktet for Beregningen af den funktionelle Sammenhæng mellem f -Værdi og Gødningsvirkning. Men dette sidste vil i Praksis aldrig være Tilfældet. To Jorder, der kun afviger indbyrdes med Hensyn til f -Værdien for et enkelt Næringsstof, vil næppe forekomme. De Spørgsmaal, der da rejser sig, naar man vil forsøge gennem Laboratorieundersøgelser at naa frem til Bestemmelse af Gødningsvirkningen, er først og fremmest følgende:

1) Er det muligt i Laboratoriet at bestemme en Jords f -Værdi.

2) Er det i bekræftende Fald muligt at drage Slutninger om Gødningsvirkningen, naar den Jord, hvis f -Værdi bestemmes gennem Laboratorieundersøgelse, ogsaa paa anden Maade afviger fra Forsøgsjorden.

3) Hvorledes afprøves de gennem Laboratorieundersøgelse indvundne Resultater.

Disse Spørgsmaal skal i det følgende søges besvaret, idet der alene tages Hensyn til Fosforsyre. Svarene vilde i øvrigt for de to sidste Spørgsmaals Vedkommende ikke blive principielt forskellige, selv om det drejede sig om andre Plantenæringsstoffer.

Den laboratoriemæssige Bestemmelse af en Jords f -Værdi.

Det er en almindelig Antagelse, at Planterne kun optager deres Næringsstoffer i opløst Form. Nu er Forholdet det, at Jordvædsken kun indeholder smaa Mængder af de Stoffer, Planterne optager, og ganske særlig har Jordvædsken kun et yderst ringe Indhold af Fosforsyre, af Størrelsesordenen 1.5 mg

PO_4 pr. Liter. Ved en Vandoptagelse paa 3000 t pr. ha (= 300 mm) vil en Afgrøde derfor ved at optage Jordvædsken som saadan kun kunne optage 4—5 kg PO_4 /ha, altsaa kun en ringe Del af, hvad selv vore fosforsyrefattigste Afgrøder optager. Det er derfor indlysende, at der under Planternes Vækst paa den ene eller den anden Maade maa gaa Næringsstof i Opløsning fra Jordens Forraad af tungt opløselige Forbindelser. Hvorledes denne Proces former sig, ved man overordentlig lidt om og vel mindst for Fosforsyrens Vedkommende.

Alene den Omstændighed, at Planterødderne optager Fosforsyre fra Jordvædsken, vil rent automatisk bevirke, at der gaar nye Mængder i Opløsning fra Jordens Fosfater, idet man maa antage, at Jordvædsken er mættet med disse. Planten vil uden anden Aktivitet fra dens Side end selve Fosforsyreoptagelsen fra Jordvædsken »mobilisere« en Del af Jordens tungt opløselige Forraad.

Men desuden er det muligt (og i høj Grad sandsynligt), at Planten mere aktivt paavirker de tungt opløselige Fosfater i Jorden, nemlig gennem den fra Røddernes Kulsyreproduktion hidrørende Forøgelse af Jordvædskens Brintionkoncentration, en Forøgelse, der i Rodhaarenes umiddelbare Nærhed under Omstændigheder maa kunne blive ret anseelig. Gennem denne mere aktive Paavirkning fra Plantens Side vil den opløste Fosforsyremængde ogsaa forøges. Den Mængde Fosforsyre, der saaledes gaar i Opløsning, optages vistnok fuldstændig af Planterne. Den i Afgrøden indeholdte Fosforsyremængde er — i det store og hele — identisk med den Mængde, der i Løbet af Vækstperioden (rettere: Optagelsesperioden) har været i Opløsning.

Begge de ovenfor nævnte Maader, hvorpaa Planten kan bringe Jordfosfaterne i Opløsning, baade den »passive« og den »aktive«, maa forekomme. Hvilken der spiller Hovedrollen for Fosforsyreoptagelsens Vedkommende, er det vel for Tiden umuligt at have begrundet Mening om. Men begge fører til det Resultat, at Fosforsyreoptagelsen fremkommer som Resultat af et Samspil mellem Plante og Jord.

Det er ud fra det her anførte ogsaa let forstaaeligt, at forskellige Afgrøder fra een og samme Jord optager forskellige Fosforsyremængder, eller een og samme Afgrøde paa samme Jord optager forskellige Fosforsyremængder i forskellige Aar.

Saadanne Forhold som: Voksetid, Rodoverfladens Størrelse, Rodaandedrættets (Kulsyreproduktionens) Størrelse vil spille ind, og Aarets Vejrlig vil paavirke de her nævnte Forhold, ganske bortset fra den Rolle, som forskellig Nedbør maa spille for Opløsningsprocesserne.

Det er derfor ogsaa vel forstaaeligt, at man ved Bestemmelse af en Jords f-Værdi gennem Forsøg med aftrappede Gødningsmængder kan finde forskellige Værdier for forskellige Planter eller i forskellige Aar. Den gennem plantefysiologisk Jordbundsanalyse fundne f-Værdi og den talmæssige Sammenhæng mellem f og Gødningsvirkning har kun stræng Gyldighed for det paagældende Forsøg med dets særlige Forhold.

Vil man nu i Laboratoriet søge at bestemme en Jords f-Værdi, er det paa Forhaand indlysende, at man ikke i Laboratoriet nøjagtigt kan eftergøre det Samspil, der udfolder sig ude i Jorden mellem Planterødderne og Jordfosfaterne. Hvad man i Laboratoriet kan gøre, kan højest blive en plump Efterligning og allerede denne støder paa store tekniske Vanskeligheder, idet det rent teknisk vil være overordentlig vanskeligt efterhaanden at fjerne de Fosfationer, der dannes under Paavirkningen af Jordfosfaterne.

Planternes »passive Paavirkning« af Jordfosfaterne kan man vel lettest faa en Forestilling om ved at bestemme Jordfosfaternes Opløsningshastighed og den aktive Paavirkning ved at undersøge Fosfaternes Opløselighed og Opløsningshastighed som Funktion af Brintionkoncentrationen. Selv en plump Efterligning af Forholdene, saaledes som de virkelig former sig ude i Jorden, vil for den enkelte Jordprøves Vedkommende medføre et saa omfattende Analysearbejde, at den laboratoriemæssige Undersøgelse af Jorden alene af økonomiske Grunde maa blive uden Betydning for Praksis.

Af rent tekniske — og økonomiske — Grunde maa man anvende simple og billige Laboratorieundersøgelser, men det er da i endnu højere Grad indlysende, at Laboratorieundersøgelsen ikke kan give Resultater, der paa udtømmende Maade angiver »Fosforsyretilstanden« ude i Jorden, idet man ved »Tilstand« ikke maa tænke paa en stationær Tilstand, men paa den af Samspillet mellem Plante og Jord fremgaaende Vandring af Fosforsyre fra Jord til Planterod. Ganske særlig gælder dette, hvis Laboratorieundersøgelsens Resultat skal an-

gives i eet enkelt Tal. Medens man ved den plantefysiologiske Jordbundsanalyse i f faar et enkelt Tal for, hvad der i det paagældende Forsøg er sket med Hensyn til Fosforsyrens Mobilisering i Jorden, maa man ikke vente, at en i Laboratoriet bestemt f-Værdi kan sammenfatte alt det, som den plantefysiologiske f-Værdi i og for sig gør. Og paa Forhaand maa man ogsaa opgive i Laboratoriet at efterligne den af Planteart eller Aargang betingede Forskel i f-Værdi.

De Forsøg, der er gjort paa gennem Laboratorieundersøgelse at bestemme Jordens »Fosforsyretræng«, lager — mere eller mindre bevidst — Sigte paa, hvad der ovenfor er kaldt Planternes aktive Paavirkning af Jordfosfaterne, og kun faa har, som Prof. *Margrethe v. Wrangell* (Fyrstinde *Andronikow*) (1) lagt Hovedvægten paa den passive Paavirkning.

Ud fra den Betragtning, at Syre af den ene eller anden Art maatte være det Reagens, hvorved Planterne kunde paavirke Jordfosfaterne, har man søgt at bestemme Jordens »Indhold af tilgængelig Fosforsyre« gennem Behandling af Jorden med fortyndede Syrer. Der er, som omtalt i 256. Beretning (Side 283), i Tidens Løb foreslaaet en Række forskellige Metoder, af hvilken *Dyers* Metode (2), hvor Jorden ekstraheres med 2 pCt. Citronsyre, vel er den ældste og en af de bedst kendte. Ud fra Kendskabet til den uhyre Rolle, som Brintionkoncentrationen spiller for Jordfosfaternes Opløselighed, har man i en Række nyere Ungersøgelser søgt at fiksere Brintionkoncentrationen.

Bondorff og *Steenbjerg* (3) ekstraherer Jorden med forskellige Mængder Salpetersyre og foretager derpaa en grafisk Interpolation til den ønskede Brintionkoncentration. En ganske tilsvarende Fremgangsmaade, blot med Anvendelse af Eddikesyre, anvender *Hibbard* (4). Ved andre Metoder anvendes Stødpudeblandinger med samme Formaal, saaledes anvender *Egnér* (5) Tartrat- og Laktatblandinger og *Lohse* og *Ruhnke* (6) Kaliumbisulfat. Der opnaas vel herved en simplere Metodik, men paa den anden Side vil Brintionkoncentrationen ikke være saa absolut ens ved forskellige Jorder, og navnlig naar karbonatholdige Jorder forekommer, saaledes som Tilfældet jo ofte er her i Landet, vil Anvendelse af Stødpudeblandinger til Fiksering af Brintionkoncentrationen altfor ofte svigte.

Ved de paa Statens Planteavls-Laboratorium gennemførte Undersøgelser anvendes derfor *Bondorff* og *Steenbjergs* Metode,

og Laboratorieundersøgelsens Resultat udtrykkes i et enkelt Tal, Fosforsyretallet (forkortet Ft), der angiver, hvor mange mg Fosfat, udtrykt som PO_4 , der gaar i Opløsning, naar 40 g Jord rystes i 3 Timer med 1 Liter fortyndet Salpetersyre saaledes, at Slutaciditeten svarer til $p_H = 2.5$.

Naar netop dette Tal, Fosforsyretallet, er valgt som Udtryk for Jordfosforsyrens Opløselighed, er Aarsagen hertil den, at Fosforsyretallet er nogenlunde proportionalt med Forhold vedrørende Jordfosforsyrens Opløsningshastighed, og ud fra ret indgaaende Undersøgelser over Jordfosforsyrens Opløselighedsforhold maatte det formodes, at Fosforsyretallet var det mest hensigtsmæssige Ettalsudtryk for disse. Hertil kom, at Fosforsyretallet var af samme Størrelsesorden som *Neubauers* Fosforsyreværdier, og at Fosforsyretallet rent laboratorieteknisk var let at bestemme.

I det følgende skal det nu nærmere belyses, om man i Fosforsyretallet kan tænkes at have en Størrelse, der i nogen Maade er Udtryk for en Jords f-Værdi. Det maa her gentages, at Fosforsyretallet kun kan være et grovt, tilnærmet Udtryk herfor, idet der jo i alle Tilfælde ved dets Bestemmelse ikke tages Hensyn hverken til Planteart eller Vejrlig. Fosforsyretallet er altsaa noget for Jorden karakteristisk, ikke for det Samspil mellem Jord, Plante og Vejrlig, som f-Værdien er Udtryk for.

Fosforsyretallet i Forhold til Gødningsvirkning.

Spørgsmaalet om, hvorvidt man i Fosforsyretallet har en Størrelse, der al Ufuldkommenhed til Trods dog kan anvendes i Stedet for den plantefysiologisk bestemte f-Værdi, kan kun afgøres ved Hjælp af egnede Markforsøg.

En første Orientering med Hensyn til, om Fosforsyretallene overhovedet har nogen Værdi, kan man dog opnaa ved at undersøge, om Fosforsyretallene kan gengive kendte Forskelligheder i Gødskning, saaledes som man har dem i Gødningsforsøg. Som Eksempler paa, hvorledes Fosforsyretallet er i Stand til at afspejle Jordens forskellige Gødskning, skal anføres en Række Data.

I. Forsøg med Staldgødning og Kunstgødning (93-II).

Askov Lermark.		Askov Sandmark	
Forsøgsled	Ft.	Forsøgsled	Ft.
Ugødet.....	< 0.5	Ugødet	3.7
1/2 Staldgødning	< 0.5		
1 »	0.7	1 Staldgødning	7.1
1 1/2 »	1.7		
1/2 Kunstgødning	1.3	1/2 Kunstgødning	6.8
1 »	0.8	1 »	6.4
1 1/2 »	1.6		
1/2 Staldgødn. + 1/2 Kunstgødn.	0.7		
1 Kvælstof	< 0.5	1 Kvælstof	3.3
1 Fosforsyre	1.3	1 Fosforsyre	9.5
1 Kali	< 0.5	1 Kali	1.8

1 = gennemsnitlig 40 kg P₂O₅ pr. ha pr. Aar

Selv om der forekommer Fosforsyretal, som afviger fra, hvad man »vilde vente«, er Fosforsyretallene dog et Udtryk for Jordens Gødningshistorie, og naar 1/2 Kunstgødning saavel paa Lermarken som paa Sandmarken tilsyneladende har for høje Fosforsyretal, har man her et Udtryk for, at disse Forsøgsled fra 1893, da Forsøget anlagdes, og til 1922 blev gødet med Fiskeguano.

II. Forsøg med Staldgødning og Kunstgødning (26-56).

Forsøgsled	Ft.	
	Tylstrup	Lundgaard
Ugødet.....	7.2	0.9
1/2 Staldgødning	7.3	1.2
1 »	7.8	1.8
1/2 Kunstgødning	7.4	1.5
1 »	8.2	1.9
1/2 Staldgødning + 1/2 Kunstgødning	8.4	1.7
1/2 » + 1/2 Kvælstofgødning ...	7.4	1.3
Ugødet.....	9.1	1.3
1 Fosforsyre	10.2	2.4
1 Kali	8.3	1.3
1 Fosforsyre + 1 Kali	9.8	2.1
1 Kvælstof	8.7	1.1
1 » + 1 Fosforsyre	9.5	1.7
1 » + 1 Kali	8.1	0.9
1 Kunstgødning	9.0	2.0

1 = gennemsnitlig 40 kg P₂O₅ pr. ha pr. Aar.

III. Forskellig Udbringningstid for Superfosfat
(32—53).

Forsøgsled		Lundgaard
		Ft.
Ugødet		1.8 2.1
1/2 Superfosfat.	Efteraar	1.8 2.2
1	»	1.9 2.2
1/2	» Foraar	2.0 2.3
1	»	2.3 2.5

1 Superfosfat = 36 kg P_2O_5 pr. ha til Korn,
72 kg P_2O_5 pr. ha til Rodfrugt.

Tallene til venstre refererer sig til Prøver, udtaget i Efteraaret 1930, Tallene til højre til Prøver fra Efteraaret 1931.

IV. Forsøg med stigende Superfosfatmængder (27—43).

Forsøgsled	Lyng- by	Bor- ris	Askov Lerm.	Lund- gaard	Tyl- strup
0 Fosforsyre	4.9	3.9	1.0	2.2	8.9
9 kg P_2O_5 pr. ha pr. Aar	5.3	4.4	1.0	2.4	9.3
18 » » » » » »	4.4	4.6	1.2	2.8	9.5
36 » » » » » »	5.8	5.2	1.3	4.0	10.5
108 kg P_2O_5 pr. ha hvert 3. Aar	—	—	—	4.1	10.0
144 » » » » » 4. » ..	6.7	5.8	1.9	—	—
216 » » » » » 6. » ..	—	—	—	4.0	9.5
216 » » hv. 6. Aar i Renaniafosf.	—	—	—	3.8	9.3

Jordprøverne er udtaget i Efteraaret 1931, 3 Aar efter Forsøgets Anlæggelse.

Fosforsyretallet tilfredsstillers saaledes den første Fordring, der maa stilles til det, at det kan give Udtryk for forskellig Gødskning af een og samme Jord.

Der skal her erindres om, at Ft = 1.0 svarer, under Forudsætning af, at Jordvægten pr. ha er 2500 t, til 62.5 kg PO_4 pr. ha eller 260 kg Superfosfat (18 pCt. P_2O_5). En Tilførsel af 100 kg Superfosfat pr. ha skulde saaledes, hvis Fosforsyren ikke bindes fastere i Jorden, end at den kan gaa i Oplosning under de ovennævnte Betingelser, svare til en Forøgelse i Fosforsyretallet paa ca. 0.4. Da Fosforsyretallet i Laboratoriet kan bestemmes med en Nøjagtighed paa 0.2 skulde det være muligt gennem Fosforsyretallet at eftervise en Gødskning med 100 kg Superfosfat pr. ha.

En Afprøvning af, om Fosforsyretallet staar i Forbindelse med den gennem Forsøg bestemte f-Værdi i Jorden, støder som allerede nævnt paa forskellige Vanskeligheder, af hvilke de to første er, at f-Værdien paa en bestemt Jord er afhængig af Planteart og Aargang (Aarets Vejrlig).

En Afprøvning maatte i Grunden foretages paa den Maade, at man paa en Række Jorder, der kun var forskellige med Hensyn til f-Værdi, gennemførte Forsøg i Sædskifte med aftrappede Superfosfatmængder gennem en længere Aarrække og saa sammenlignede, om Jordernes Fosforsyretal og f-Værdierne, disse som Gennemsnit af en Aarrækkes forskellige f-Værdier, viste Sammenhæng, idet man da maatte foretage en saadan Sammenligning med hver af de i Sædskiftet indgaaende Plantearter. En saadan Sammenligning mellem Fosforsyretal og f-Værdier vil imidlertid ikke være mulig alene af den Grund, at en Række Jorder, der kun er forskellige m. H. t. f-Værdier, og hvor alle andre Forhold, der paavirker Afrødens Størrelse, er ens, ikke vil kunne fremskaffes.

En Afprøvning af Fosforsyretallet maa derfor foretages paa anden Maade.

Foretager man en Række Forsøg paa Jorder med forskellig f-Værdi, denne atter taget som Gennemsnit af en Aarrække, og altsaa opgiver Fordringen om, at alle andre Forhold end f-Værdierne skal være ens, tør man ikke vente at finde nøje Overensstemmelse mellem Fosforsyretal og f-Værdier.

Dette beror paa følgende Forhold: I een og samme Jord vil f-Værdien findes mindre, naar de andre Forhold, der paavirker Stofproduktionen, »gøres større«, d. v. s. stilles bedre, og omvendt vil f-Værdien findes større, naar de øvrige Produktionsfaktorer stilles ugunstigere. Man vil altsaa, paa samme Jord, med et bestemt Fosforsyretal, kunne finde forskellige f-Værdier, alt efter som man i Forsøg med aftrappede Superfosfatmængder ogsaa varierer f. Eks. Faktoren Kvælstof.

Til Belysning af dette Forhold skal anføres nogle Tal fra et ved Landbohøjskolen udført Karforsøg med aftrappede Fosforsyremængder, delt i to Serier, en med stor, en med lille Kvælstofgødskning.

Tabel 5. Karforsøg med aftrappede Superfosfatmængder. Udbytte, g T. S. pr. Kar.

Grundgødning	Fosforsyregødsning, g P ₂ O ₅ pr. Kar			
	0	0.4	0.8	1.2
1 g N pr. Kar	113.8	120.9	122.5	123.2
3 » » » »	141.3	203.2	213.5	215.0

Merudbytteligningerne for de to Serier er:

$$v = \frac{11.29 t}{0.2348 + t} \div 0.0351 t \quad (32)$$

$$v = \frac{109.15 t}{0.2467 + t} \div 16.525 t \quad (33)$$

De ud fra Forsøgsresultaterne beregnede f-Værdier findes til 0.22 og 0.14 g P_2O_5 pr. Kar ved henholdsvis lille og stor Kvælstofmængde.

Det ovennævnte Forhold, at f-Værdien for Fosforsyre findes forskellig i en og samme Jord alt efter Kvælstofgødskningen, der gives, er Gang paa Gang paavist i Karforsøg ved Landbohøjskolen. Aarsagen er den simple, at Udbytteligningen kun er en Tilnærmelse og ikke med tilstrækkelig Nøjagtighed kan gengive de foreliggende Data. Karforsøgene viser nemlig ogsaa, at kendte man den rigtige Udbytteligning, vilde man beregne samme f-Værdi uanset Kvælstofmængden, der gives i Forsøgene.

Det er altsaa kun tilsyneladende, at f-Værdien er forskellig for en og samme Jord, naar andre Vækstfaktorer end den, der undersøges, samtidig varieres, og — med Kendskab til den rigtige Udbytteligning — skulde det være muligt gennem Forsøg med aftrappede Fosforsyremængder, selv om disse Forsøg udføres under forskellige Forhold, at sammenholde de gennem Forsøgene fundne f-Værdier med de i Laboratoriet fundne Fosforsyretal og derved afprøve Værdien af Laboratorieundersøgelserne. Men et saadant Forsøgsmateriale mangler endnu.

En Afprøvning af Laboratiemetoden, en Afprøvning af, om Fosforsyretallet svarer til den gennem Forsøg fundne f-Værdi, forudsætter Forsøg med aftrappede Fosforsyremængder og Kendskab til den rigtige (eller tilstrækkeligt rigtige) Udbyttekurve. Dette gælder ogsaa Afprøvning af Laboratiemetoder til Bestemmelse af f. Eks. Kalivirkning, og Markforsøg med aftrappede Mængder sammen med Karforsøg til Bestemmelse af den bedste Udbytteligning vil være det Grundlag, hvorpaa Laboratorieundersøgelsen til Erstatning for Markforsøg maa baade afprøves og bygge. Men selv om man havde et saadant Forsøgsmateriale, og selv om man derigennem havde vist, at Fosforsyretal og f-Værdien stemte overens, vilde Anvendelsen af

Fosforsyretallene til Vejledning for Praksis støde paa endnu en Vanskelighed.

Tager man det overfor nævnte Karforsøg, hvor Beregningen har givet f-Værdier paa henholdsvis 0.22 og 0.14, men hvor det ud fra ikke anførte Data vides, at den f-Værdi, en rigtig Udbytteligning vilde føre til, for begge Serier er 0.44, viser Tallene umiddelbart, at det funktionelle Sammenhæng mellem f-Værdi (eller Fosforsyretal) og Fosforsyrevirkning er vidt forskellig i de to Serier. Til samme f-Værdi svarer en langt større Fosforsyrevirkning i den Serie, der er gødet rigeligt med Kvælstof end i den Serie, der er gødet sparsommere med Kvælstof. Selv om de andre Vækstfaktorer ved Forsøg med aftrappede Gødningsmængder ikke paavirker den fundne f-Værdi, paavirker de i høj Grad Sammenhængen mellem f-Værdi og Gødningsvirkning.

Det Forhold, der her er illustreret gennem et Karforsøgs Resultater, savner man tilsvarende Data for fra Markforsøg, idet der næppe findes Markforsøg med aftrappede Fosforsyremængder, hvor samtidig f. Eks. Kvælstofmængden er varieret. Man har ikke Data fra Markforsøg, gennem hvilke det er muligt at angive, hvorledes den funktionelle Sammenhæng mellem f-Værdi og Fosforsyrevirkning ændrer sig ved kendte Ændringer af andre Produktionsfaktorer.

At Forholdet ogsaa gælder under de i Marken herskende Betingelser, kan imidlertid let vises.

Konsulent *Gejl Hansen* har udført en Del Gødningsforsøg efter den s. k. fuldstændige, 8-leddede Plan, hvorved der fremkommer Merudbyttetal for Superfosfat dels anvendt alene, dels som Tilskud til anden Gødskning (7) og (8).

Ved 15 Forsøg i Runkelroer har Superfosfat alene givet et gennemsnitligt Merudbytte paa 21 hkg, medens det anvendt som Tilskud til Chilesalpeter har givet et Merudbytte paa 34 hkg. 12 Forsøg i Hvede viser tilsvarende henholdsvis 47 og 69 kg Kærne i Merudbytte og 18 Forsøg i Byg viser 108 og 154 kg Kærne i Merudbytte.

En Ændring i Kvælstofgødskning forøger altsaa Fosforsyrevirkningen meget betydeligt. Ogsaa en Ændring i Kalitilførslen virker paa lignende Maade, om end langt svagere. De ovennævnte Forsøg er for faa til, at Kaligødskningens Indflydelse paa Superfosfatvirkningen kan træde tydeligt frem,

men en Gennemgang af en Række fynske Forsøg, anlagt efter den 5-leddede Plan, hvorved faas Virkningen af Superfosfat som Tilskud til Chilesalpeter og til Chilesalpeter + Kali, viser for 300 kg Superfosfat pr. ha til Runkelroer en Fosforsyrevirkning af henholdsvis 20.4 og 23.3 hkg Roer pr. ha i Gennemsnit af 170 Forsøg. 200 kg Superfosfat pr. ha til Byg viser tilsvarende 111 og 123 kg Kærne pr. ha i Gennemsnit af 165 Forsøg.

At Fosforsyrevirkningen er forskellig paa samme Sted fra Aar til Aar er da ogsaa kun et Udtryk for den Indflydelse, en Variation af de øvrige Vækstfaktorer har paa Fosforsyrevirkningen.

En direkte Afprøvning af den laboratoriemæssige Undersøgelse er da for Tiden umulig. Den forudsætter, som allerede nævnt, en Række Forsøg med aftrappede Fosforsyremængder, gennemført paa hvert Forsøgssted i en Aarrække. Havde man en saadan Række Forsøg, vilde det være muligt: 1) at afgøre om den laboratoriemæssige Undersøgelse førte til f-Værdierne for de paagældende Jorder, f-Værdierne angivet som Gennemsnit af en Aarrækkes Bestemmelser, og 2) i givet Fald ud fra Laboratorieundersøgelsen at forudsige Fosforsyrevirkningen resp. den optimale Gødningsmængde, naar Fosforsyren anvendtes under samme Forhold som paa et af Forsøgsstederne. Det vil derfor ved Anlæg af saadanne Forsøg være af mindst samme Vigtighed at faa dem anlagt under vekslende Driftsforhold som under vekslende »Fosforsyretrang«.

Indtil saadanne Forsøg foreligger, maa Vurderingen af Fosforsyretallene ske paa væsentlig andet Grundlag, ud fra en statistisk Behandling af foreliggende Data.

Den Betragtningssmaade, der lagdes til Grund for den første, foreløbige Bedømmelse af Fosforsyretallene var følgende: Der foreligger fra lokale Forsøg en lang Aarrækkes Resultater m. H. t. Fosforsyrevirkning, og for visse Afgrøders Vedkommende, Byg, Runkelroer og Kaalroer, er baade Aaremaalet og Forsøgsantallet saa stort, at nye tilkommende Resultater ikke ændrer hverken Gennemsnitstal eller Variation.

Der foreligger ikke Fosforsyretal fra disse Forsøg, men det vil forholdsvis hurtigt være muligt i Laboratoriet at bestemme Fosforsyretal i et saa stort Antal tilsvarende Jorder, at Gennemsnit og Variation for Fosforsyretallene ikke paavirkes af nye tilkommende Resultater.

Man har derved to korresponderende Talrækker, Fosforsyrevirkning og Fosforsyretal, og idet disse sidste er bestemt i Jorder fra lokale Forsøg, maa man have Lov til at gaa ud fra, at Fosforsyretallene baade med Hensyn til Størrelse og Variation i nogen Maade svarer til de Fosforsyretal, man vilde havde fundet, hvis man havde bestemt Fosforsyretal i de Jorder, hvorfra Forsøgsresultaterne stammer.

Hvis der nu er Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Fosforsyrevirkning, og denne Sammenhæng er saaledes, at smaa Fosforsyretal svarer til stor Fosforsyrevirkning, maa det være muligt — ud fra de givne Antagelser — at finde Sammenhængen mellem Fosforsyretal og Fosforsyrevirkning. Tager man f. Eks. de 10 pCt. laveste Fosforsyretal, maa disse svare til de 10 pCt. højeste Fosforsyrevirkninger o. s. v.

Ud fra denne Betragtning er et stort Antal lokale Forsøgsresultater beregnet, og Fremgangsmaaden har i Korthed været følgende:

Fra Planteavlsberetningerne 1918—1929 udskreves f. Eks. Virkningen af 200 kg Superfosfat, anvendt paa jydsk Såndjord til staldgødede Kaaeroer, d. v. s. Forskellen i Udbytte mellem »Salpeter + Superfosfat« og »Salpeter« alene.

De saaledes erholdte Tal ordnedes i Klasser, hvorved man for det valgte Eksempel fik den i Tabel 6 anførte Fordeling:

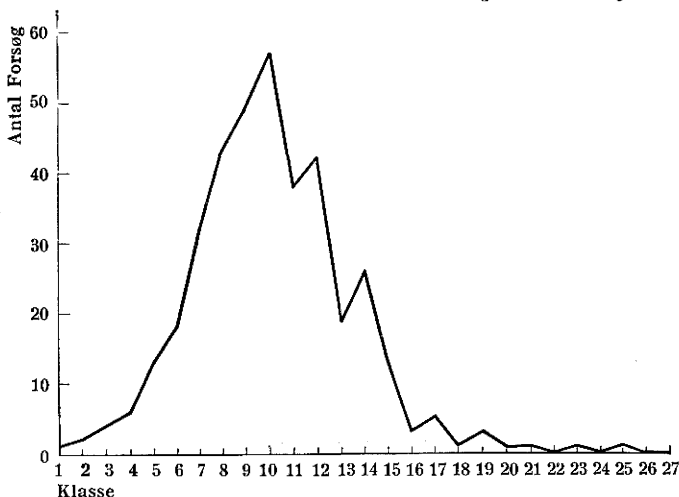
Tabel 6. Fordeling af Fosforsyrevirkning.
Jylland. 200 kg Superfosfat pr. ha til staldgødede Kaaeroer.

Klasse Nr.	Virkning, hkg Kaaeroer pr. ha	Antal Forsøg	Klasse Nr.	Virkning, hkg Kaaeroer pr. ha	Antal Forsøg
1	÷70—60	1	16	80—90	3
2	÷60—50	2	17	90—100	5
3	÷50—40	0	18	100—110	1
4	÷40—30	6	19	110—120	3
5	÷30—20	13	20	120—130	1
6	÷20—10	18	21	130—140	1
7	÷10—0	32	22	140—150	0
8	0—10	43	23	150—160	1
9	10—20	49	24	160—170	0
10	20—30	57	25	170—180	1
11	30—40	38	26	180—190	0
12	40—50	42	27	190—200	0
13	50—60	19	28	200—210	0
14	60—70	26	29	210—220	1
15	70—80	13	30	220—230	0

I Fig. 3 er Fordelingskurven for de fundne Superfosfatvirkninger gengivet.

Fig. 3.
Fordelingskurve for Superfosfatvirkning.
200 kg Superfosfat pr. ha til staldg. Kaalroer.

Jylland. Sandjord.



Ud fra denne Fordeling beregnedes nu Sumfunktionen efter *Bruns* Normalligning:

$$2 \mathfrak{S}(X) \div 1 = \Phi(V) \div D_3 \frac{\Phi(V)_2}{4} + D_4 \frac{\Phi(V)_3}{8},$$

idet der gennem de medtagne Led toges Hensyn til Skævhed og Eksces (9). Den ud fra Normalligningen beregnede Sumfunktion tegnedes op paa Millimeterpapir og er gengivet i Fig. 4.

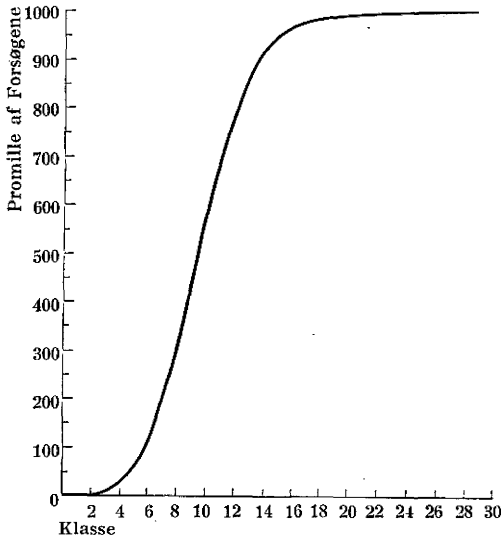
Fosforsyretallene behandlede paa ganske tilsvarende Maade, og ogsaa deres Sumfunktion tegnedes paa Millimeterpapir, Fig. 5.

Det var da, naar først de omstændelige Beregninger af Sumfunktionerne var gennemført, let rent grafisk at konstruere »Regressionskurven«, den Kurve, der illustrerede Sammenhængen mellem Fosforsyretal og Fosforsyrevirkning.

Baade Merudbyttetal og Fosforsyretal viste en udpræget skæv Fordeling omkring Gennemsnitstallene, og Regressionskurven var udpræget krum, af et Forløb, som man paa Forhaand maatte vente. I Fig. 6 er den paa Grundlag af de viste Sumkurver konstruerede Regressionskurve gengivet, og det vil ses, at den i Forløbet minder om den i Fig. 7 gængsne Kurve, der gengiver Sammenhængen mellem f -Værdier og Merudbytte, beregnet af de som Eksempel stadig benyttede Forsøgstal efter Ligning (30).

Der er om den saaledes anvendte Metode til Bestemmelse af Sammenhængen mellem Fosforsyretal og -virkning at be-

Fig. 4. Sumkurve
for Superfosfatvirkning.
200 kg Sup. pr. ha til staldg. Kaalroer.
Jylland. Sandjord.

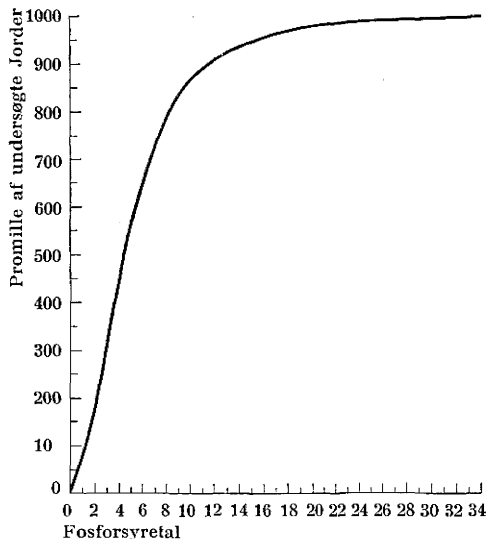


mærke, at man jo paa Forhaand gaar ud fra, at Sammenhængen er til Stede, og Kurven kan da blot angive de nærmere Omstændigheder ved denne antagne Sammenhæng. Det Forhold, at de fundne Kurver har en Form, der svarer til, hvad man paa Forhaand maatte vente, gør det imidlertid til en vis Grad sandsynligt, at den antagne Sammenhæng virkelig er til Stede.

De fundne Kurver skal ikke nærmere diskuteres, da den Relation,

der paa denne Maade søgtes mellem Fosforsyretal og Gødningsvirkning, nu paa anden Maade er fundet. De afgav imidlertid paa et Tidspunkt, da andet Grundlag ikke var til Stede, de første, om end usikre Holdepunkter for Fosforsyretallenes praktiske Anvendelighed, idet de maatte antages nogenlunde at angive det søgte Forhold. Den Fosforsyrevirkning, der svarede til et bestemt Fosforsyretal, kaldtes Normalvirkningen, idet det var den Virkning, der paa den paagældende Jord kunde paaregnes,

Fig. 5.
Sumkurve for Fosforsyretal.



hvis Superfosfatet anvendes under de i Forsøgene gennemsnitligt herskende Betingelser (Normalomstændigheder).

Det skal blot tilføjes, at de fundne Kurver maatte ventes at give et noget forvrænget Billede af det søgte Forhold mellem Fosforsyretal og Fosforsyrevirkning og saaledes, at der ved smaa Fosforsyretal næppe vilde opnaas saa stor Virkning, som Kurven angav, ved store Fosforsyretal derimod en noget større Virkning. Dette Forhold maatte fremkomme ved, at man til de laveste Fosforsyretal henførte alle de Forsøg, hvor Superfosfatvirkningen paa Grund af de uundgaelige Arbejdsfejl var fundet for stor — og omvendt. De senere foreliggende Erfaringer synes at vise, at denne Forvrængning ved smaa Fosforsyretal er ret betydelig,

Fig. 7.

Sammenhæng mellem f-Værdier og Superfosfatvirkning.
200 kg Superf. pr. ha til Kaaalroer.

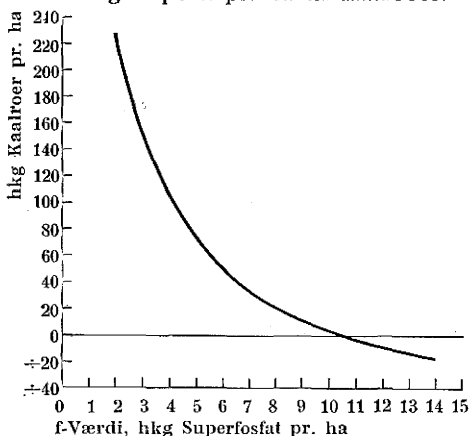
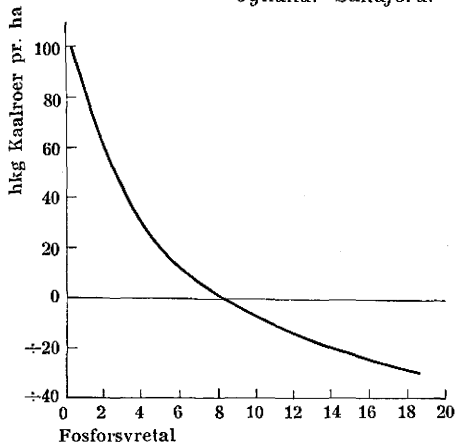


Fig. 6. Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Superfosfatvirkning.
200 kg Sup. pr. ha til stldg. Kaaalroer.
Jylland. Sandjord.



dog af andre Grunde end Forsøgsfejl. Dette Forhold vil senere blive omtalt nærmere.

Paa Grundlag af lokale Forsøg, udført i Aarene 1930—32, har det været muligt at foretage en direkte Sammenligning mellem Superfosfatvirkning og Fosforsyretal.

Der foreligger Resultater fra i alt 157 Forsøg i Runkelroer, hvor der er givet 200 kg Superfosfat pr. ha som Tilskud til Chilesalpeter. De fundne Tal vil fremgaa af Tabel 7.

Tabel 7. Virkning af 200 kg Superfosfat til Runkelroer, hkg pr. ha.

Fosforsyretal	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—12	12—14
Fosforsyrevirkning	30	29	19	15	3	6	6
Antal Forsøg	11	50	41	22	13	12	8
± v	22.6	35.6	25.6	21.2	31.2	20.4	25.5
± V	6.8	5.0	4.0	4.5	8.6	5.9	9.0

Tallene viser, at der bestaar en Relation mellem Fosforsyretal og Fosforsyrevirkning, denne maalt som Gennemsnit af de inden for en bestemt Gruppe fundne Merudbyttetal. Men de anførte Maal for Variationen viser ogsaa, at man paa Jorder med samme Fosforsyretal iagttager meget forskellig Virkning af et Superfosfattilskud, saaledes som man maatte vente det i Henhold til det ovenfor anførte om de andre Vækstfaktorerers Indflydelse paa Fosforsyrevirkningen. Det skal saaledes nævnes, at paa Jorder, hvis Fosforsyretal har ligget mellem 4 og 6, og hvor den gennemsnitlige Virkning af 200 kg Superfosfat har været 19 hkg pr. ha, ligger de i 41 Forsøg fundne Ydreværdier ved henholdsvis \div 72 og $+$ 63 hkg pr. ha.

Men foruden den Indflydelse, som de andre Vækstfaktorer har paa Fosforsyrevirkningen, maa her erindres om de uundgaaelige Forsøgsfejl. Markforsøg med 4—5 Fællesparceller har en gennemsnitlig Arbejdsfejl paa 3 pCt. Lavere er det med den anvendte Metodik næppe muligt at komme. Regner man med et Udbytte paa 700 hkg, vil det sige, at Usikkerheden, M, paa et fundet Merudbytte er \pm 30 hkg pr. ha. Mellem 19 ± 30 ligger nu 28, udenfor 13 af de ovennævnte 41 Forsøg, altsaa en Fordeling, der i Betragtning af det ringe Antal Forsøg næsten er i for god Overensstemmelse med Teorien. Vilde man antage, at den iagttagne Variation i Fosforsyrevirkning fra Forsøgssted til Forsøgssted alene skyldtes Arbejdsfejl, vilde en Usikkerhed paa \pm 30 hkg pr. ha svare til en Usikkerhed paa Gennemsnitstallet paa $\pm 30 : \sqrt{41} = 4.69$. Den fundne Værdi for V er ± 4.00 . Det synes saaledes, at den Forskel, der kan og maa være i Virkningen af Superfosfat fra Forsøgssted til Forsøgssted med samme Fosforsyretal, er saa ringe, at den opluges af Usikkerheden ved den nu anvendte Forsøgsteknik. Det her nævnte Forhold maa ikke lades ude af Betragtning, naar Laboratorieundersøgelsernes Resultater skal sammenholdes med Markforsøgenes.

Med Kaalroer foreligger 98 Forsøg, der har givet følgende Resultat:

Tabel 8. Virkning af 200 kg Superfosfat til Kaalroer, hkg pr. ha.

Fosforsyretal.....	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10
Fosforsyrevirkning.....	29	31	23	4	6
Antal Forsøg.....	18	28	36	8	8
± V.....	28.5	22.8	20.2	19.0	40.4
± v.....	6.7	4.3	3.4	6.7	14.3

Med Byg foreligger 235 Forsøg:

Tabel 9. Virkning af 200 kg Superfosfat til Byg, kg Kærne pr. ha.

Fosforsyretal.....	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10—12	12—14	14—16
Fosforsyrevirkning.....	149	154	69	62	55	57	49	÷8
Antal Forsøg.....	21	57	62	36	21	18	14	6
± V.....	141	137	133	136	136	98	77	98
± v.....	30.7	18.2	16.9	22.7	29.6	23.1	20.7	39.8

Med andre Afgrøder end de ovenfor nævnte foreligger for faa Forsøg til, at tilsvarende Tabeller kan opstilles.

Ogsaa i Kaalroer og Byg er en Relation mellem Fosforsyretal og Gennemsnitsvirkning umiskendelig. Bygforsøgene udviser dog praktisk taget samme Fosforsyrevirkning, hvad enten Fosforsyretallet er 4—6 eller 12—14, men den Variation, der er i Bygforsøgenes Resultater, maa her tages med i Betragtning. Den foran nævnte Usikkerhed, hvormed Markforsøgenes Resultater nu engang er behæftet, vil for Bygafgrødernes Vedkommende betyde en Usikkerhed paa ca. ± 125 kg pr. ha paa Merudbyttetallene i det enkelte Forsøg. Heller ikke for Bygforsøgenes Vedkommende er Variationen i Merudbytte fra Sted til Sted med samme Fosforsyretal da større, end den kunde fremkomme paa Grund af Arbejdsfejl alene.

De i Tabellerne 7—9 anførte Tal er, hvad der i Øjeblikket vides om Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Superfosfatvirkning. I Fig. 8—10 er disse Data gengivet, og der er indtegnet den Kurve, der antagelig giver det bedste Billede af Superfosfatvirkningens Afhængighed af Fosforsyretallet.

Det skal bemærkes, at ingen af Kurverne afviger mere end $1 \times V$ fra de observerede Data, og at Afvigelsen oftest kun er en ringe Brøkdelen af V.

Fig. 8. Sammenhæng mellem Fosforsyretil og Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha.

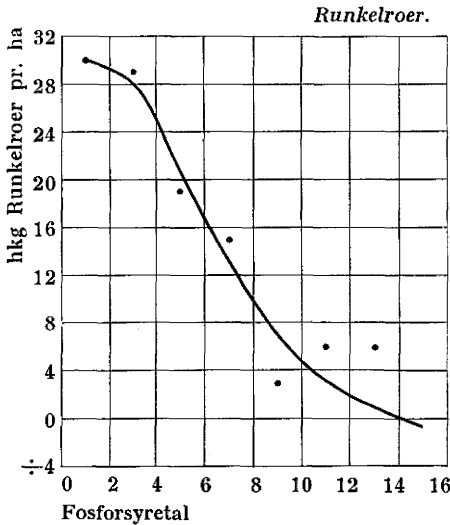
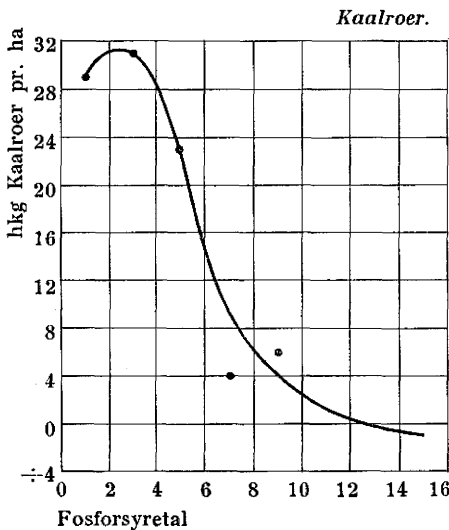


Fig. 9. Sammenhæng mellem Fosforsyretil og Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha.



Den efter vedstaaende Kurver til et bestemt Fosforsyretil svarende Superfosfatvirksomhed betegnes som Normalvirksomheden. Det er den Superfosfatvirksomhed, man vil faa, hvis 200 kg Superfosfat anvendes paa vedkommende Jord under samme Omstændigheder som dem, hvorunder Superfosfat gennemsnitlig anvendes i danske, lokale Gødningsforsøg. Det er de gennem Kurverne angivne Superfosfatvirksomheder, der nu angives sammen med Bestemmelsen af Fosforsyretil ved Statens Planteavlslaboratorium.

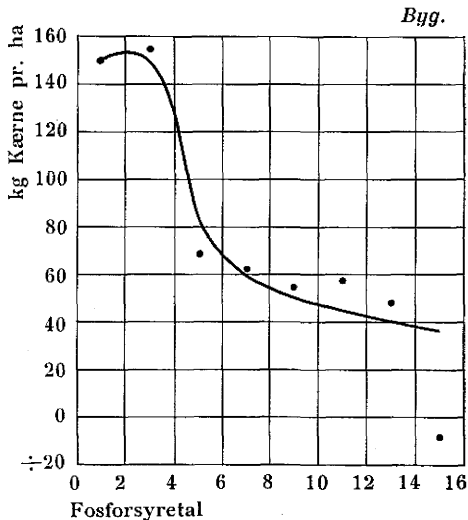
Naar det fra første Færd er valgt at angive en Normalvirksomhed sammen med Fosforsyretallene og ikke disse alene, er Aarsagen den, at der gennem Angivelse af Normalvirksomheden gives den udøvende Landmand Oplysning om, hvorledes Superfosfat gennemsnitlig virker paa Jord med Fosforsyretil som hans, en Oplysning, der ikke kan være uden Værdi for ham, og den Oplysning, han til syvende og sidst vil have, og hvorfor han har ladet sin Jord undersøge. En Oplysning om, at 200 kg Superfosfat pr. ha

til Byg paa Jord med Fosforsyretallet 3 gennemsnitlig frembringer et Merudbytte paa 154 kg Kærne pr. ha, medens den samme Superfosfatgødskning paa Jord med Fosforsyretallet 5 kun gennemsnitlig frembringer et Merudbytte paa 69 kg¹⁾, en saadan Oplysning er det, den udøvende Landmand har Brug for, og ikke ubestemte Angivelser om stærk, svag eller ingen Fosforsyretrang. Hvad der burde kunne gives, er naturligvis ikke Virkningen af en bestemt Superfosfatmængde, men Oplysning

om, hvilken Superfosfatmængde der bør anvendes paa Jord med et givet Fosforsyretal. En saadan Oplysning kan imidlertid ikke gives paa det i Øjeblikket til Raadighed staaende Grundlag. Forsøg med aftrappede Superfosfatmængder maa her skaffe Grundlaget, og den teoretiske Mulighed, der er for, at der gennem Forsøg med kun een Gødningsmængde kan gives Oplysning om Virkningen af forskellige Gødningsmængder, en Mulighed, der senere skal diskuteres, vil i alt Fald til sin Realisation kræve et saadant Forsøgsantal, at Vejen gennem Forsøg med aftrappede Gødningsmængder vil være baade hurtigere, lettere og billigere.

Hvilken Fosforsyrevirkning, man paa en bestemt Jord vil faa, siger Tallene for Normalvirkning intet om, thi Superfosfatvirkningen beror paa andet end Fosforsyretallet: Vejrlig, Saa-tid, Kvælstofgødskning o. s. v., saaledes som det foran er vist, og Forhold, som det aldrig vil være muligt for en Laboratorie-

Fig. 10. Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha.



¹⁾ Det kan nævnes, at Sandsynligheden for, at 154 og 69 ved fortsatte Undersøgelser skulde vise sig at være det samme Tal, at Superfosfatvirkningen altsaa er lige stor ved Ft 3 og 5, efter de foreliggende Data kun er som ca. 500 mod 1.

undersøgelse at tage Hensyn til. Landmanden selv — eller Konsulenten — maa afgøre, om Forholdene afviger fra Normalomstændighederne.

De i Fig. 8—10 gengivne Kurver er Udtryk for, hvor langt man i Øjeblikket er naaet med Hensyn til Laboratorieundersøgelsernes praktiske Værdi. Gennem kommende Aars Resultater vil Kurverne kunne præciseres nøjere, og det vil blive muligt at dele Materialet op og f. Eks. angive Normalvirkning til Byg efter Roer og til Byg efter Korn, til Byg paa Sandjord og til Byg paa Lerjord. Laboratorieundersøgelsernes Værdi for Praxis vil vokse med stigende Forsøgstal.

Til de fundne Tal for Normalvirkning skal knyttes nogle Betragtninger, der i Øjeblikket, af Mangel paa de fornødne Forsøgsdata, maa blive af mere teoretisk Art.

Under Antagelse af, at Udbytteligningen har Formen

$$y = \frac{a x}{b + x} + c x$$

og under Antagelse af, at Fosforsyretallet er proportionalt med den til Raadighed staaende Fosforsyremængde ($x = k \cdot Ft$), kan man ogsaa skrive Ligningen som

$$y = \frac{a Ft}{d + Ft} + e Ft \quad (33),$$

hvor Ft er Fosforsyretallet.

Det Merudbytte, der faas ved en bestemt Forøgelse af Fosforsyretallet, f. Eks. en Forøgelse paa Δ er da

$$v = \frac{a (Ft + \Delta)}{(d + Ft + \Delta)} + e (Ft + \Delta) - \left(\frac{a Ft}{d + Ft} + e Ft \right) \quad (34) \text{ eller}$$

$$v = \frac{\Delta ad}{(d + Ft + \Delta)(d + Ft)} + \Delta e \quad (35)$$

Med Kendskab til Konstanterne a , d og e er det ud fra (35) muligt at beregne den Virkning, som en Forøgelse, Δ , af Fosforsyretallet vil give ved varierende Fosforsyretal.

Fra Forsøgene kender man nu, hvilken Virkning man faar af f. Eks. 200 kg Superfosfat ved varierende Fosforsyretal. Hvis den Forøgelse af Fosforsyretallet, som en Tilførsel af 200 kg Superfosfat giver, er uafhængig af Fosforsyretallets Størrelse, er $\Delta = k \cdot 200$ kg Superfosfat pr. ha, og (35) kan skrives

$$v = \frac{k \cdot 200 \cdot ad}{(d + Ft + k \cdot 200)(d + Ft)} + k \cdot 200 \cdot e \quad (36)$$

Af de fra Forsøgene foreliggende Værdipar af v og Ft kan de i (36) indgaaede Konstanter beregnes.

For Runkelroer finder man

$$v = \frac{0.01 \cdot 200 \cdot 528 \cdot 15}{(15 + Ft + 0.01 \cdot 200)(15 + Ft)} \div 0.01 \cdot 200 \cdot 8 \quad (37) \text{ eller}$$

$$v = \frac{15840}{(17 + Ft)(15 + Ft)} \div 16 \quad (38),$$

hvilken Ligning er Udtryk for Forholdet mellem Virkningen af 200 kg Superfosfat og Fosforsyretallet. Beregningen af v for vekslende Fosforsyretal er angivet i Tabel 10.

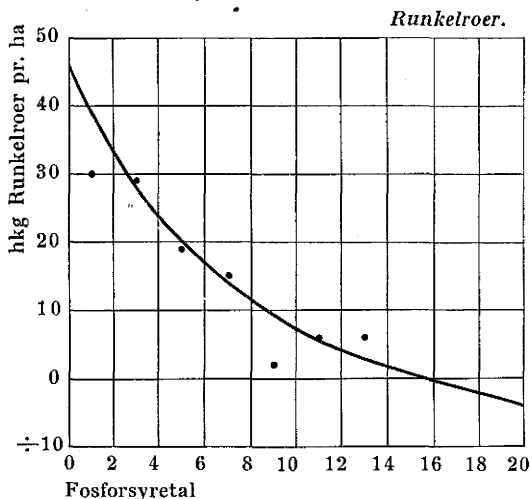
Tabel 10. Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha til Runkelroer.
hkg pr. ha.

Fosforsyretal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Virkning, beregnet .	39	33	28	24	20	17	14	11	9	7	5	4	3	2	1
» fundet	30	—	29	—	19	—	15	—	3	—	6	—	6	—	—

Paa Grundlag af den saaledes beregnede Virkning er Kurven i Fig. 11 tegnet.

Konstanten k er fundet til 0.01, d. v. s. 100 kg Superfosfat pr. ha giver en Forøgelse paa 1 i Fosforsyretallet. 100 kg

Fig. 11. Teoretisk Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha.



Superfosfat, 24 kg PO_4 vil, naar der regnes med en Jordvægt pr. ha i 20 cm Dybde af 2500 t, kun modsvare en Forøgelse af Fosforsyretallet paa 0.4.

Den beregnede Konstant $k = 0.01$ er saaledes væsentlig større, end rimeligt er. Ogsaa for Bygforsøgene finder man $k = 0.01$, idet Beregningerne her fører til Ligningen

$$v = \frac{0.01 \cdot 200 \cdot 1200 \cdot 3}{(3 + Ft + 0.01 \cdot 200) (Ft + 3)} \quad (39) \text{ eller}$$

$$v = \frac{7200}{(Ft + 5) (Ft + 3)} \quad (40)$$

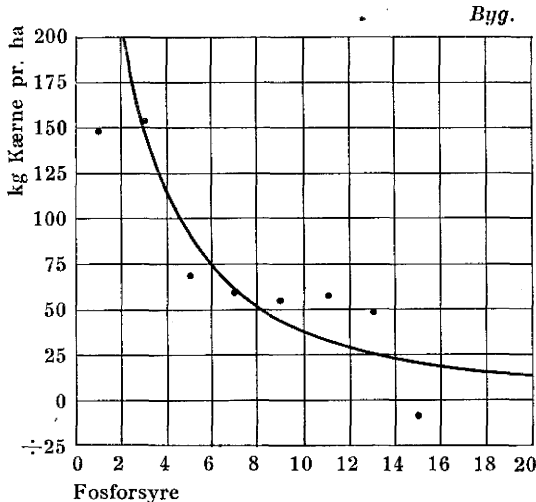
De efter Ligningen beregnede Virkningstal er gengivet i Tabel 11 og Fig. 12.

Tabel 11. Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha til Byg, kg Kærne pr. ha.

Fosforsyretal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Virkning, beregnet . . .	300	206	150	114	90	73	60	50	43	37	32	28	25	22	20
» fundet	149	—	154	—	69	—	62	—	55	—	57	—	49	—	÷8

Naar Konstanten k er særlig fremhævet, hænger det sammen med, at det vil være af overordentlig Betydning at kende Sammenhængen mellem Superfosfattilførsel og Ændring af

Fig. 12. Teoretisk Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha.



Fosforsyretallet, saaledes som den former sig i Forsøgene, og som k er Udtryk for. En direkte Bestemmelse af dette Forhold gennem Laboratorieundersøgelser skulde synes mest nærliggende, men støder paa overordentlig store Vanskeligheder ved Prøveudtagningen, saaledes at det ikke hidtil er lykkedes at opnaa paalidelige Resultater i Laboratoriet.

Kender man nemlig 1) Sammenhængen mellem Fosforsyretilførsel og Ændring i Fosforsyretal og 2) Formen for Udbyttekurven, kan man drage yderligere Slutninger ud fra et Forsøgsmateriale som det foreliggende.

Antager man, at disse to Forhold er givet ved Konstanten $k = 0.01$ og Ligningen

$$y = \frac{ax}{b+x} \div cx,$$

kan man for Runkelroeforsøgenes Vedkommende angive Forholdet mellem Udbytte og Fosforsyretal ved

$$y = \frac{a \cdot Ft}{d + Ft} \div e Ft \quad (41).$$

For $Ft = 6$, som svarer til Gennemsnitsværdien for over 5000 undersøgte Jordprøver, har man da

$$y = \frac{a \cdot 6}{d + 6} \div e \cdot 6 \quad (42).$$

Tilfører man Superfosfat, vil Ft stige med k for hvert tilført kg pr. ha (= t). Man har altsaa

$$y = \frac{a(6 + kt)}{d + 6 + kt} \div e(6 + kt) \quad (43),$$

$$y_0 = \frac{a \cdot 6}{d + 6} \div e \cdot 6 \quad (44) \text{ og ved Subtraktion}$$

$$v = \frac{a d k t}{(d + 6)(d + 6 + kt)} \div e k t \quad (45).$$

Indsættes Konstanterne fra (37), har man

$$v = \frac{528 \cdot 15 \cdot 0.01 t}{21 \cdot (21 + 0.01 t)} \div 8 \cdot 0.01 \cdot t \quad (46) \text{ eller}$$

$$v = \frac{7920 \cdot 0.01 t}{21(21 + 0.01 t)} \div 0.08 t \quad (47).$$

Beregningen af v fører til

$t =$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	kg Superfosfat pr. ha
$v =$	9	17	23	28	33	36	38	40	41	42	hkg Roer pr. ha

Ud fra v vil endvidere, som Side 558 anført, den optimale Gødningsmængde kunne beregnes.

Tilsvarende Beregninger kan naturligvis gennemføres for andre Værdier af Fosforsyretallet end 6 og rent teoretisk er det saaledes muligt gennem Kendskab til Udbytteligningens Form og med Kendskab til, hvorledes Fosforsyretallet ændres gennem Superfosfattilførsel, paa Grundlag af almindelige lokale Gødningsforsøg med kun 1 Gødningsmængde at naa frem til Angivelse af, hvorledes forskellige Gødningsmængder vil virke under Normalomstændigheder paa en Jord med givet Fosforsyretal og angive den optimale Gødningsmængde. Man kan naa frem til en rationel Vejledning paa Gødskningens Omraade gennem Forsøg med kun een Gødningsmængde, men Vejen er lang og trang og kræver, som nævnt, et indgaaende Kendskab til 1) Udbyttekurvens Form, 2) en Superfosfattilførsels Indvirkning paa Fosforsyretallet og 3) overordentlig mange Markforsøg. Forsøg med aftrappede Gødningsmængder vil mere direkte, hurtigere og lettere føre til Maalet.

En Sammenligning mellem de efter Ligning (36) beregnede Merudbyttetal og de virkelige fundne viser, at der er en udpræget Tendens til, at de fundne Normalvirkninger er større, end man ud fra Udbytteligningen skulde vente ved store Fosforsyretal, men udpræget lavere ved smaa Fosforsyretal (Tabel 10 og 11). Der kan til denne Afvigelse mellem Beregning og Observation være forskellige Aarsager, f. Eks. at den antagne Udbytteligning er forkert eller at den Ændring, en Superfosfattilførsel fremkalder i Fosforsyretallet, er en kompliceret Funktion af dette. Af forskellige Grunde forekommer dog disse Forklaringer ikke tilfredsstillende. Derimod er en tredje Aarsag mere nærliggende.

En Beregning af Forholdet mellem Fosforsyretal og Superfosfatvirkning ud fra Ligning (36) bygger paa den Forudsætning, at de øvrige Vækstforhold er de samme, hvad Fosforsyretallet end er. Denne Forudsætning holder sikkert ikke Stik. Har man en Jord med meget lavt Fosforsyretal, vil andre Vækstfaktorer (Kalkning, Dræning, Kvælstoftilførsel) sandsynligvis ogsaa være til Stede i ringere Mængde end normalt. Og omvendt, Jorder med højt Fosforsyretal vil oftest være Jorder i god Kultur i det hele taget. Det vil i Praksis være saaledes, at de enkelte Vækstfaktorer ikke varierer uafhængig af hverandre.

Men ud fra denne Antagelse maa man ved lave Fosfor-

syretal finde mindre, ved højere Fosforsyretal større Virkning af en Superfosfattilførsel, end man ud fra Ligning (36) og med Hovedvægten paa Observationerne omkring det gennemsnitlige Fosforsyretal beregner.

Denne, navnlig ved de lave Fosforsyretal, fremtrædende Afvigelse mellem Observation og Beregning forstærker den Forvrængning, som man ved den paa Grundlag af Sumkurverne (Side 575) konstruerede Sammenhæng mellem Fosforsyretal og Superfosfatvirkning paa Grund af Forsøgsfejl maatte vente. Afvigelsen mellem Observation og Beregning synes endvidere, sammen med andre Forhold, der ikke her skal gøres til Genstand for nærmere Omtale, at vise, at »de andre Vækstfaktorer« spiller en ret stor Rolle for Fosforsyrevirkningen, saaledes som det for Kvælstofgødskningens Vedkommende fremgik af de Side 570 refererede Forsøg. Paa den anden Side taler den Omstændighed, at de inden for en Gruppe Jorder med bestemte Fosforsyretal fundne Superfosfatvirkninger ikke varierer mere fra Sted til Sted, end at en Forsøgsfejl paa 3 pCt. alene kan være Aarsag dertil, imod den Opfattelse, at de andre Vækstfaktorer spiller en væsentlig Rolle for Superfosfatvirkningens Størrelse. Der er her et Forhold, som maa gøres til Genstand for nærmere Undersøgelse. Det vil være overflødigt nærmere at forklare, hvilken Betydning det vil have for Laboratorieundersøgelsens Anvendelighed, hvis den Indflydelse, som Vejrlig, Saatid, anden Gødskning o. s. v. utvivlsomt har paa Superfosfatvirkningens Størrelse, ligger inden for Markforsøgets Fejlgrænse.

Hvorledes Forholdet mellem Fosforsyretal og de øvrige Vækstfaktorer stiller sig, og hvorledes disse paavirker Superfosfatvirkningen, er imidlertid i Øjeblikket et Problem, man ganske mangler Kendskab til. Ogsaa her kan kun Forsøg med aftrappede Mængder bidrage til Problemets Løsning (sml. det Side 568 refererede Karforsøg) og derved forhøje den Nytte, man kan have af Laboratorieundersøgelsen i Forbindelse med de almindelige Gødningsforsøg.

Andre Udbytteligninger.

De ovenfor anførte Udviklinger er stadig bygget paa en Udbytteligning af Formen (9). Som det tidligere er anført, er Udbytteligninger af andre Former mulige, og naar disse ikke tidligere er nærmere diskuterede, er Aarsagen den, at de anførte

Udviklinger principielt bliver de samme, hvilken Udbytteligning man end vælger, hvorimod de talmæssige Resultater selvfølgelig bliver andre.

Til det anførte Forsøg i Kaalroer kan f. Eks. beregnes følgende Ligninger:

$$y = ax \div bx^2 \quad (48)$$

$$y = 1.033 (1609 + t) \div 0.2593 \cdot 10 \div 3 (1609 + t)^2 \quad (48^1)$$

$$y = a (1 \div 10 \div kx) \div bx \quad (49)$$

$$y = 1237.3 (1 \div 10 \div 0.00106467 (897 + t)) \div 0.1217 (897 + t) \quad (49^1)$$

$$y = a (1 \div 10 \div kx) \quad (50)$$

$$y = 1030.33 (1 \div 10 \div 0.002728 (520 + t)) \quad (50^1)$$

$$y = \frac{ax}{b+x} \quad (51)$$

$$y = \frac{1041.8 (159 + t)}{167.14 + t} \quad (51^1)$$

$$y = ax^2 \div bx^3 \quad (52)$$

$$y = 3.3020 (27.129 + t)^2 \div 0.072083 (27.129 + t)^3 * \quad (52^1)$$

* (100 kg Superfosfat = 1 t.)

Hvilke Resultater, de forskellige Ligninger fører til, vil lettere fremgaa af følgende Tabeller:

Tabel 12. f-Værdier,
kg Superfosfat pr. ha.

Ligning	48	49	50	51	52
f =	1609	897	520	159	2713

Tabel 13. Optimale Gødningsmængder,
kg Superfosfat pr. ha.

Ligning \ r =	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18
48	268	249	229	210	191	172	152	133	114	94	75	56	37
49	251	230	209	189	170	152	135	119	103	87	73	58	45
50	225	201	180	161	144	129	115	102	90	79	69	60	50
51	209	181	159	140	124	111	99	88	79	71	63	56	50
52	247	231	215	198	181	164	147	130	112	94	76	57	39
9	252	230	209	189	170	152	135	118	102	87	73	59	47

Det vil ses, at de forskellige Ligninger fører til nogenlunde samme optimale Gødningsmængder, et Udtryk for, at de forskellige Ligninger paa nogenlunde samme Maade kan gengive de foreliggende Forsøgsresultater. Derimod fører de forskellige Ligninger til vidt forskellige f-Værdier, og vil man ud fra Ligningerne beregne den optimale Gødningsmængde ved forskellige f-Værdier, vil man derfor ogsaa komme til vidt for-

skellige Resultater. Som Illustration til dette Forhold er i Tabel 14 anført det Merudbytte, som 200 kg Superfosfat — i Henhold til de forskellige Ligninger — vil frembringe ved forskellige f-Værdier.

Tabel 14. Merudbytte af 200 kg Superfosfat pr. ha
i hkg Roer pr. ha.

f i 100 kg S pr. ha	48	49	50	51	52	9	f i 100 kg S pr. ha	48	49	50	51	52	9
1	186	455	393	51	24	361	16	30		0	0	100	
2	176	351	210	20	35	229	17	20		0	0	98	
3	165	269	112	11	45	153	18	10				95	
4	155	205	60	7	55	105	19	0				91	
5	144	156	32	5	64	73	20					86	
6	134	116	17	3	71	50	21					81	
7	124	86	9	3	78	33	22	negativ	negativ			75	
8	113	62	5	2	84	21	23					68	
9	103	43	3	2	89	11	24	negativ	negativ			60	negativ
10	93	28	1	1	93	3	25					51	
11	82	17	1	1	96	÷ 3	26					41	
12	72	8	0	1	98	÷ 8	27					30	
13	71	1	0	0	100	÷ 12	28					19	
14	51	÷ 5	0	0	101	÷ 16	29					7	
15	41	÷ 9	0	0	101	÷ 19	30					÷ 7	

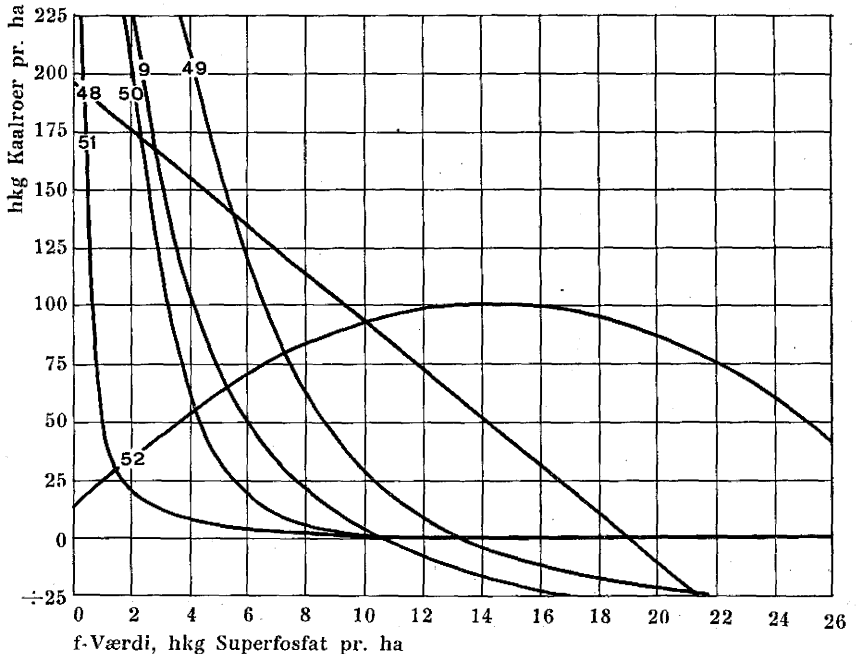
Tallene er gengivet i Fig. 13, der formentlig bedre end Ord understreger den Kendsgerning, at vel kan en Række forskellige Ligninger gengive foreliggende Data og benyttes til Interpolations- og Udjævningsligninger. Men de fører til højest forskellige Konsekvenser, der ogsaa gerne skulde være i Overensstemmelse med eksperimentelle Data.

Idet Bestræbelserne for gennem Laboratorieundersøgelse at kunne vejlede med Hensyn til Gødningsanvendelse som udviklet i høj Grad maa bygge paa Kendskab til Udbytteligheden, er Forsøg paa at finde dennes bedste Form af fundamental Betydning.

Her kan sikkert kun Karforsøg blive af Betydning, og som nævnt er der gennem en Aarrække gennemført Forsøg ved Landbohøjskolens Undervisningsmark med det Hovedformaal at finde Udbyttelighedens Form. Forsøgene har hidtil ikke ført til absolut afgørende Resultater, idet forskellige Ligninger svarer lige godt — eller lige daarligt — til de foreliggende Data, og det er for at træffe Valget imellem disse Ligninger nødvendigt at have overordentlig sikre eksperimentelle

Data, saaledes at Forsøgene i de senere Aar er udført med et betydeligt Antal Fælleskar.

Fig. 13. Sammenhæng mellem f-Værdi og Virkning af 200 kg Superfosfat pr. ha, beregnet efter forskellige Ligninger. *Kaalroer.*



Oversigt.

Sluttelig skal gives en kort Sammenfatning af det her udviklede.

Det er vist,

- 1) at Laboratorieundersøgelser til Vejledning for Gødningsanvendelse maa bygge paa Kendskab til Udbytteligheden,
- 2) at Laboratorieundersøgelserne absolut maa støtte sig til Markforsøg,
- 3) at Markforsøg med aftrappede Gødningsmængder er af den største Betydning for den fulde praktiske Udnyttelse af Laboratorieundersøgelserne,
- 4) at det i Laboratoriet bestemte Fosforsyretal staar i Relation til den ved Markforsøg opnaaede Gennemsnitsvirkning, Normalvirkningen, af en Superfosfattilførsel,

5) at Superfosfatvirkningen paavirkes af andre Vækstfaktorer, saaledes at Fosforsyretallet og Fosforsyrevirkning ikke kan være eentydige Funktioner af hinanden. Paavirkningens Størrelse under de i Markforsøgene gennemsnitligt herskende Omstændigheder er det ikke for Tiden muligt nærmere at angive.

Laboratorieundersøgelser som Vejledning for Gødningsanvendelse er kun i sin første Begyndelse. Der kan forhaabentlig ventes en stærk Udvikling paa dette Omraade, men, som det i Indledningen anførtes: en almen, rationel Besvarelse af Spørgsmaalet om Laboratorieundersøgelsens Forhold til Markforsøgets Resultater kræver en Løsning af forskellige, rent naturvidenskabelige Problemer. Det, der savnes til Videreførelse af de her udviklede Forhold, er først og sidst fleraarige Forsøg med aftrappede Gødningsmængder. Uden saadanne Forsøg kan Laboratorieundersøgelsernes Betydning ikke blive den Støtte, som den udøvende Landmand, hvad enten han paa sin Ejendom har Gødningsforsøg eller ikke, altid vil have Brug for ved Gødningsanvendelsen.

Litteraturfortegnelse.

1. *M. v. Wrangel*: Die Bestimmung der pflanzenzugänglichen Nährstoffe des Bodens. Landw. Jahrbücher, Bd. 71, S. 149, 1930.
2. *B. Dyer*: On the analytical determination of probable available »mineral« plant food in soils. Journ. of the Chemical Society. Transactions, Bd. 65, S. 115, 1894.
3. *K. A. Bondorff* og *F. Steenbjerg*: Studier over Jordens Fosforsyreindhold. I. Jordfosforsyrens Opløselighed. Tidsskrift for Planteavl, Bd. 38, S. 273, 1932.
4. *P. L. Hibbard*: Chemical methods for estimating the availability of soil phosphate. Soil Science. Bd. 31, S. 437, 1931.
5. *H. Egnér*: Metod att bestämma löslig fosforsyra i åkerjord. Meddelande Nr. 425 från Centralanstalten, 1932.
6. *H. W. Lohse* og *G. N. Ruhnke*: Studies on readily soluble phosphates in soils: I Extraction of readily soluble phosphate from soils by means of dilute acid potassium sulfate (KHSO_4). Soil Science Bd. 35. 1933.
7. Beretningerne om Landboforeningernes Virksomhed for Planteavl paa Sjælland. 1916 og 1920—24.
8. *K. A. Bondorff*: Om Planlæggelse og Beregning af Gødningsforsøg. Nordisk Jordbrugsforskning. 5.—6. Aarg., S. 464, 1924.
9. *E. Czuber*: Wahrscheinlichkeitsrechnung. I. 4. Ausg., S. 406, 1924.