

Undersøgelser vedrørende nogle nyere Fremgangsmaader til Bestemmelse af Jordens Reaktion og Kalktrang.

Af Harald R. Christensen.

154. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

I denne Beretning gives der Meddelelse om en Række Undersøgelser, der paa Statens Planteavls-Laboratorium er foretaget til Belysning af nyere Reaktionsbestemmelsesmetoders Anvendelighed ved de paa Laboratoriets Kalktrangsafdeling udførte Masseundersøgelser vedrørende Jordens Kalktrang. Endvidere gøres der Rede for de siden disse Undersøgelser Paabegyndelse indvundne Erfaringer med Hensyn til Azotobacterprøvens Værdi. En foreløbig Meddelelse om disse Undersøgelser og Erfaringer er givet ved et Foredrag, som Laboratorieforstander *Harald R. Christensen* holdt ved det i Horsens i Juli Maaned 1922 afholdte Undervisningsmøde for Landboforeningernes Konsulenter og Assisterter i Planteavl. Nærværende Beretning omfatter dog et betydeligt større Undersøgelsesmateriale end det, der blev forelagt ved det nævnte Møde.

Ved Udførelsen af Undersøgelserne har Assisterterne Frk. *E. Thorborg* og Frk. *S. Heintze* i særlig Grad været medvirkende, og ved enkelte Undersøgelsesrækker har desuden Agronom *O. Perman* fra Stockholm, der i en Del af Sommeren 1922 studerede paa Laboratoriet, bistaet.

Beretningen er udarbejdet af Laboratorieforstander *Harald R. Christensen*.

Forsøgslederne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Den Fremgangsmaade, der i Øjeblikket fortrinsvis anvendes her i Landet ved Undersøgelse af Jordens Kalktrang, er baseret paa de Undersøgelser, som Forfatteren af nærværende Beretning i 1906 (1)¹⁾ offentliggjorde vedrørende den kvælstofbindende Bakterie *Azotobacter chroococcum*s Forekomst i danske Jorder. Disse Undersøgelser førte til, at der blev gjort Forsøg paa gennem en Bestemmelse af Jordens Reaktion og dens Forhold over for *Azotobacter* at faa Udtryk for Jordens Kalktrang. Denne formodedes nemlig at være ensbetydende med dens Trang til basiske, stødpudevirkende Stoffer, hvis Betydning for en normal Stofomsætning i Jordbunden er vel kendt.

I de nærmest følgende Aar blev Undersøgelserne over *Azotobacter*s Forhold til Jordens Reaktion og Kalkindhold fortsatte, og det paavistes, at denne Bakteries ejendommelige Forhold over for Jordens Kalkindhold skyldtes dens overordentlige Ømfindtlighed over for Mangel paa syremættende Stoffer. Det viste sig nemlig, at *Azotobacter* simpelthen gaar til Grunde i Jorder, der ikke indeholder eller er meget fattige paa saadanne Stoffer. I udpræget surt reagerende Jorder foregik denne Ødelæggelse endog i Løbet af faa Timer, hvorimod Bakterien i Aarevis kunde holde sig livskraftig i Jordportioner indeholdende en rigelig Mængde kulsur Kalk. Disse Resultater stemmer godt overens med Resultater af senere Undersøgelser, udførte af K. A. Bondorff (2), Gainey (3), Fred og Davenport (4), og af hvilke det fremgaar, at *Azotobacter* dræbes, naar Surheden er større, end der svarer til henholdsvis Brintioneksponenterne (se senere) 6.7 (Bondorff), 6.5 (Fred og Davenport), 6.0 (Gainey), altsaa ved Reaktionen, der, som det senere skal ses, er meget nær den neutrale.

Inden vi gaar nærmere ind paa *Azotobacter*prøven, skal omtales den Bestemmelse, der ved Kalktrangundersøgelsen foretages forud for *Azotobacter*prøven, nemlig Bestemmelse af Jordens Reaktion eller præcisere udtrykt: Jordvædskestens Brintionkoncentration, hvilken Bestemmelse i den nyere Tid har tilvendt sig en stærkt forøget Opmærksomhed.

Sure Opløsninger er kendetegnede ved, at Antallet af Brintioner overstiger Antallet af Hydroxyllioner, medens det omvendte kendetegner alkaliske Opløsninger. Neutral Reaktion er kende-

¹⁾ Parentestallene henviser til Litteraturfortegnelsen Side 764.

tegnet ved Tilstedeværelse af lige store Mængder af Brint- og Hydroxyliøner.

Brintionkoncentrationen (C_H) i en Vædske udtrykkes ved Angivelse af dennes Normalitet m. H. t. Brintioner:

$$C_H = 10^{-p_H}$$

Den negative Værdi af Eksponenten, p_H , betegnes Brintioneksponenten og er et bekvemt og almindelig benyttet Udtryk for Brintionkoncentrationens Størrelse. Naar p_H er = 0, er Opløsningen $1/1$ normal m. H. t. Brintioner, d. v. s., at den indeholder 1 g Brintioner pr. Liter. Er Brintioneksponenten 1, forefindes der $1/10$, og er den 2, $1/100$ g Brintioner pr. Liter o. s. v. Jo højere Brintioneksponenten er, desto mindre er Brintionkoncentrationen. Brintioneksponenten 7 udtrykker, at Antallet af Brintioner (H) og Hydroxyliøner (OH) er lige stort, d. v. s., at Vædsken er neutral. Ved denne Reaktion indeholdes der meget nær $1/10000$ mg frie Brintioner pr. l. Rent destilleret Vand er neutralt. Er Brintioneksponenten højere end 7, er der et Overskud af Hydroxyliøner; Brintioneksponenten 14 angiver, at Vædsken er $1/1$ normal med Hensyn til Hydroxyliøner, og altsaa indeholder lige saa mange Hydroxyliøner som en Vædske med $p_H = 0$ indeholder Brintioner. Dr. K. Hasselbalch, Borupgaard, har for kort Tid siden (5) foreslaaet at betegne de Tal, der angiver Størrelsen af Brintioneksponenterne, som Reaktionstal, et Forslag, der maa siges at være baade hensigtsmæssigt og praktisk.

Brintionkoncentrationen kan bestemmes enten elektro-metrisk eller kolorimetrisk. Hvor Talen er om Masseundersøgelser, er Metoderne efter det førstnævnte Princip endnu for omstændelige, og man er derfor her henvist til den kolorimetriske Bestemmelse, der er baseret paa det Forhold, at Opløsninger af visse Indikatorer, som f. Eks. Lakmus, antager forskellig Farve ved vekslende Brintionkoncentration.

Naar Lakmus er anvendt som Indikator ved de hidtil udførte Kalktrangsundersøgelser, er Aarsagen den, at den, paa det Tidspunkt, Metodikken for disse udarbejdedes, maatte anses for den bedst egnede. Den affarves i Reglen ikke af almindelige Agerjorder, spænder over et stort og netop ved Jordbundsundersøgelsen særlig betydningsfuldt Brintionkoncentrationsomraade (fra p_H ca. 4.5 til ca. 7.8), har sit Omslagspunkt

Tabel 1. Variationer i Reaktionstallet (p_H) i indsendte Jordprøver.
Kolorimetrisk Bestemmelse i Jordopslemninger.

a. Lerjorder.

Reaktionstal	4.4	4.6	4.8—5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	I alt
Antal Jorder.....	0	0	14	18	53	123	199	509	529	582	433	375	272	179	124	82	1	1	3494 Jorder
pCt. af det samlede Antal Jorder.	0	0	0.4	0.5	1.5	3.5	5.7	14.6	15.1	16.7	12.4	10.7	7.8	5.1	3.6	2.9	0.05	0.05	100 pCt.

b. Sandjorder.

Reaktionstal	4.4	4.6	4.8—5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	I alt
Antal Jorder.....	0	1	33	38	62	119	153	276	223	208	128	103	47	49	43	21	2	0	1506 Jorder
pCt. af det samlede Antal Jorder.	0	0.1	2.2	2.5	4.1	7.9	10.2	18.3	14.8	13.8	8.5	6.8	3.1	3.3	2.9	1.4	0.1	0	100 pCt.

Tabel 2. Variationer i lakmusneutrale Jorders Reaktionstal.

a. Lakmusneutral omfatter fra neutral—svagt sur til neutral—sv. alkalisk.

Reaktionstal	4.4	4.6	4.8—5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	I alt
Antal Jorder.....	0	0	1	2	14	65	144	622	562	620	418	324	157	37	13	3	0	0	2982 Jorder
pCt. af det samlede Antal Jorder.	0	0	0.03	0.07	0.5	2.2	4.8	20.9	18.8	20.8	14.0	10.9	5.3	1.2	0.4	0.1	0	0	100 pCt.

b. Lakmusneutral omfatter kun selve de som neutral betegnede Jorder.

Reaktionstal	4.4	4.6	4.8—5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	I alt
Antal Jorder.....	0	0	0	0	0	1	9	391	434	540	293	124	27	2	1	0	0	0	1822 Jorder
pCt. af det samlede Antal Jorder.	0	0	0	0	0	0.05	0.5	21.5	23.8	29.6	16.1	6.8	1.5	0.1	0.05	0	0	0	100 pCt.

Tabel 3. Forholdet mellem Udfaldet af Azotobacterprøven og Resultaterne af den kolorimetrisk Bestemmelse af Reaktionstallet.

Reaktionstal.....	4.4	4.6	4.8—5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0	I alt
Antal Jorder	0	0	1	3	5	31	59	479	673	765	499	398	160	55	26	7	0	0	3161
Antal Jorder med Azotobactervegetation 0...	0	0	1	3	5	31	59	439	475	312	29	1	0	0	0	0	0	0	1355
Antal Jorder med Azotobactervegetation 1—2	0	0	0	0	0	0	0	39	177	256	131	36	4	0	0	0	0	0	643
Antal Jorder med Azotobactervegetation 3—4	0	0	0	0	0	0	0	1	21	197	339	361	156	55	26	7	0	0	1163
Antal Jorder med Azotobactervegetation 1—4	0	0	0	0	0	0	0	40	198	453	470	397	160	55	26	7	0	0	1806
pCt. Jorder med Azotobactervegetation 0...	0	0	100	100	100	100	100	92	71	40	6	0.3	0	0	0	0	0	0	
pCt. Jorder med Azotobactervegetation 1—2	0	0	0	0	0	0	0	8	26	34	26	9	2.5	0	0	0	0	0	
pCt. Jorder med Azotobactervegetation 3—4	0	0	0	0	0	0	0	0.2	3	26	68	91	98	100	100	100	0	0	
pCt. Jorder med Azotobactervegetation 1—4	0	0	0	0	0	0	0	8.2	29	60	94	99.7	100	100	100	100	0	0	

beliggende i Nærheden af om end noget under (p_H ca. 6.5) det virkelige Neutralpunkt og giver betydelige Udslag paa begge Sider af dette Omslagspunkt, hvorved det, til stor Lettelse for Gennemførelsen af Masseundersøgelser, ikke har været nødvendigt at benytte mere end denne ene Indikator. — Imidlertid er ogsaa Manglerne ved Lakmus ret betydelige. Den er saaledes ikke særlig følsom over for smaa Reaktionsforskelligheder og er desuden i sig selv i Besiddelse af en ringe Stødpudevirkning. — Som vore, med Anvendelse af de senere omtalte mere fintmærkende Indikatorer, udførte Undersøgelser har vist (Tabel 2), kan der inden for de lakmusneutrale eller tilnærmelsesvis lakmusneutrale Jorder, omfattende de tre Grupper »neutral til svagt sur«, »neutral« og »neutral—svagt alkalisk«, være Tale om betydelige Forskelligheder med Hensyn til Reaktionstillenes Størrelse, idet denne varierer mellem ca. 5.0 og 7.6. Dog er det kun ganske undtagelsesvis, at disse ekstreme Tal forekommer (Tabel 2 og Fig. 2), og ikke mindre end 91 pCt. af de paagældende Jorder ligger inden for Omraadet 6—7. For de Jorders Vedkommende, der ved Lakmusprøven kun har faaet Betegnelsen »neutral«, varierer Reaktionstillene mellem 5.6 og 7.4, men her ligger saa at sige alle Jorder, ca. 99 pCt., inden for Reaktionstalomraadet 6—7, og 91 pCt. ligger inden for et saa forholdsvis snævert Omraade, som der afgrænses af Tallene 6.0 og 6.6. Imidlertid maa det erkendes, at Lakmusprøven kun med tilstrækkelig Sikkerhed er i Stand til at afgrænse mere yderligt beliggende Omraader inden for Reaktionsskalaen, udpræget sur eller udpræget basisk Reaktion, en Mangel, der jo imidlertid, hvad Kalktrangsundersøgelserne angaar, i Hovedsagen er opvejet derved, at hele Gruppen af lakmusneutrale Jorder altid er underkastet Azotobacterprøven. Lakmusprøven er kun benyttet til en grovere Sortering af Materialet, men har netop her været til megen Nytte.

Som det fremgaar af Tabel 3 og Fig. 3, ligger Surhedsgrænsen for en Azotobactervegetations Fremkomst ved Reaktionstallet 6.0, ved hvilken Reaktion der ved 8 pCt. af Jorderne er fremkommet Azotobacterudvikling. Hyppigheden for Azotobactervegetation tiltager derefter stærkt med stigende Reaktionstal og har allerede ved 6.6—6.8 omtrent naaet den maksimale Højde. Ganske usikker med Hensyn til Fremkomst af Azoto-

bactervegetation er p_H -Omraadet 6.2—6.4 (ved hvilket næsten alle Jorderne er lakmusneutrale), men netop inden for dette Omraade ligger en meget stor Del af Danmarks Agerjorder, i det her forelagte Materiale ca. 30 pCt. — Medtager vi ved Opgørelsen kun de Jorder, der har givet en kraftig Azotobactervegetation (Tabel 3), vil det ses, at en saadan ikke indtræder førend ved Reaktions-tallet 6.2 og endda kun er forholdsvis sjælden. Først ved Reaktions-tal af 6.4 og derover bliver kraftig Azotobactervegetation hyppigt forekommende.

I 1916 offentliggjorde Forfatteren en Beretning (6) om Undersøgelser over Fremgangsmaader til Bestemmelse af Jordens Reaktion, i hvilken der bl. a. gives Meddelelse om Resultaterne af en sammenlignende Undersøgelse af forskellige Fremgangsmaader til Bestemmelse af Jordens Reaktion. Lakmusprøven, saaledes som den er anvendt af os, sammenlignedes med Weibulls Lakmuspapir-Prøve. Daikuharas Natriumnitrit-Metode, Baumanns og Gullys Jodmetode (en Blanding af Opløsninger af Kaliumjodid og Kaliumjodat), p-Nitrofenol-Metoden samt endelig Daikuharas kvantitative Bestemmelse af den ved Omsætning mellem Jord og en $\frac{1}{1}$ mol. Klorkaliumopløsning frigjorte Syremængde, hvilken Fremgangsmaade i sit Princip ganske svarer til den i den senere Tid saa meget omtalte Hasenbäumerske Metode.

Med Undtagelse af Natriumnitritmetoden var der set under eet en god indbyrdes Overensstemmelse mellem Resultaterne af de med Anvendelse af de forskellige Prøver fremkomne Resultater. Hvad først Baumanns og Gullys Jodmetode angaar, foranledigede alle lakmussure Jorder en udpræget Gulfarvning af Vædsken (og en tilsvarende Blaaefarvning af den som Indikator anvendte Stivelseopløsning). Ved lakmusneutrale Jorder var Opløsningen enten meget svagt gulfarvet eller farveløs, og ved de Jorder, der viste blot Antydning af lakmusalkalisk Reaktion, var Opløsningen farveløs. I p-Nitrofenolprøven, der spænder over Reaktionsalomraadet 5 (farveløs) til 7 (gul), var Opløsningen ved Anvendelse af udpræget lakmussure Jorder altid farveløs, ved Anvendelse af svagt sure Jorder enten farveløs eller meget svagt gulfarvet, og ved Anvendelse af lakmusneutrale Jorder altid mere eller mindre gulfarvet. Lakmusalkaliske Jorder foranledigede en udpræget Gulfarvning. Endelig viste Undersøgelserne med Daikuharas Klorkaliummetode det interessante Forhold, at medens Ekstrakterne af saa at sige alle lakmussure Jorder indeholdt en større eller mindre Mængde Aluminiumklorid, og saaledes var i Besiddelse af maalelige Mængder af virkelig surt reagerende Stoffer, var dette aldrig Tilfældet med Ekstrakterne af Jorder, der reagerede neutralt eller tilnærmelsesvis neutralt over for Lakmus, og der var da i Virkeligheden ved denne Undersøgelse Tale om et

ret skarpt Skel mellem lakmusneutrale og lakmussure Jorder. Dette Resultat tyder hen paa, at selv om lakmusneutrale Jorder i visse Tilfælde kan være i Besiddelse af en ret betydelig aktuel Aciditet (se Tabel 2), er deres potentielle Aciditet: Mængden af surt reagerende Stoffer, altid ringe (d. v. s. mindre end der udkræves for at overvinde Lakmusopløsningens svage Stødpudevirkning), et Forhold, der, hvor Talen er om Kalktrangsundersøgelser, i Virkeligheden formindsker Betydningen af Lakmusprøvens foran omtalte Ufuldkommenhed med Hensyn til at give nøjagtige Udtryk for Jordreaktionen.

Da ingen af de den Gang prøvede Fremgangsmaader kunde siges at give bedre Oplysninger om Jordreaktionen end Lakmusprøven, og denne var den lettest gennemførlige, bibeholdtes denne Prøve.

For nogle Aar siden har Amerikanerne *Clark* og *Lubs* (7 og 8) fremstillet eller nærmere undersøgt en Række forskellige Indikatorer, der, som Undersøgelser af forskellige amerikanske Jordbundsforskere, navnlig af *Gillespie* (9 og 10), har godtgjort, ogsaa er vel egnede til Bestemmelse af Jordreaktionen, idet Farvestoffet i forholdsvis ringe Grad absorberes af Jordbestanddelene.

Nedenfor er anført Betegnelserne for de Indikatorer, der er af særlig Interesse ved Jordbundsundersøgelsen, og angivet de p_H -Omraader, som de hver især spænder over.

	Farveomraade	p_H -Omraade
Brom—Fenol—Blaat	Gul—blaa	3.0—4.6
Brom—Cresol—Purpur	Gul—purpur	5.2—6.8
Brom—Thymol—Blaat	Gul—blaa	6.0—7.6
Fenol—Rødt	Gul—rød	6.8—8.4

Ingen af disse Indikatorer er dog hver for sig i Stand til at spænde over et saa stort Brintionkoncentrationsomraade som Lakmus, inden for hvis Omraade, som allerede nævnt, næsten alle danske Agerjorder ligger (sml. Tabel 1), men man er i mange Tilfælde henvist til at betjene sig af flere forskellige Indikatorer. Om nogen principiel Forskel mellem Lakmusprøven og den ved Hjælp af de foran omtalte Indikatorer udførte Reaktionsbestemmelse er der naturligvis ikke Tale.

Som det vil ses af ovenstaaende Sammenstilling vedrørende disse forskellige Indikatorer, mangler der een, der kan give sikre Oplysninger om Brintionkoncentrationen inden for p_H -Omraadet 4.6—5.2. Indikatoren Methylrødt, der ind-

befatter dette Omraade, lader sig daarlig anvende ved Jordbundsundersøgelser og slet ikke, hvor det drejer sig om Jordopslemninger. Heller ikke Brom-Fenol-Blaat synes ved Anvendelse af Jordopslemninger at give fuldt paalidelige Resultater. Forholdet bliver da det, at Reaktionstal under 5.2¹⁾ ikke ved den angivne Metode lader sig bestemme med nogen større Sikkerhed, og ved den almindelige Kalktrangsundersøgelse vil en surere Reaktion, end der svarer til det nævnte Tal, derfor kun blive angivet ved Betegnelsen »under 5.2«. For den praktiske Kalktrangsundersøgelser Vedkommende er denne Mangel dog af mindre Betydning, idet — som det fremgaar af Tabel 1 — Jorder med lavere Reaktionstal er forholdsvis sjældne, og den Reaktion, som det nævnte Tal udtrykker, er ensbetydende med, at Jorden (Mineraljord) er udpræget sur og stærkt kalktrængende.

I øvrigt er der i denne Forbindelse Grund til at gøre opmærksom paa, at en Jordprøves Reaktionstal ikke ligger absolut fast, men at Indvirkninger af forskellig Art, som f. Eks. de i Jorden under dens Ophold i Laboratoriet stedfundne Omsætninger og i øvrigt ogsaa Indtørring i nogen Grad kan påvirke dette. De Reaktionsændringer, der er Tale om som Følge af disse Indvirkninger, lader sig som oftest ikke konstatere ved Lakmusprøven, men ved Anvendelse af de foran nævnte Farveindikatorer kan der undertiden paavises en Forskel i Reaktionstal af 0.2—0.4.

Ved de hidtil af forskellige Forfattere (her i Landet særlig af *Carsten Olsen*) (11) udførte kolorimetriske Bestemmelser af Jordvædskeens Brintionkoncentration er Maalingen i Overensstemmelse med det af de nævnte amerikanske Jordbundsfolkere givne Forslag, foretaget i Filtrater af Jordopslemninger.

I al Almindelighed udføres Bestemmelsen paa den Maade, at Blandingen af Jord og Vand under gentagne Omrystninger henstaar i ca. 24 Timer, inden Filtreringen finder Sted.

Ved en Række foreløbige Undersøgelser, som vi har udført med Anvendelse af denne Fremgangsmaade, har det vist sig, at Filtraterne oftest har haft lidt højere Reaktionstal (var mindre

¹⁾ Ved ogsaa at anvende p-Nitrofenol, der giver farveløs Vædske ved en p_H -Værdi af 5.0 og derunder, kan man dog ogsaa i Jordopslemninger forholdsvis sikkert afgøre, om Reaktionstallet naar ned til denne Grænseværdi.

sure eller mere alkaliske) end Jordopslemningerne. Forskellen var dog sjældent over 0.2, men gik i nogle Tilfælde op til 0.4—0.6. Ved en senere — med et specielt Formaal foretagen — Undersøgelse, omfattende 128 Mineraljorder (Ler- og Sandjorder i Blanding), ved hvilken Blandingen af Jord og Vand (i Forholdet 1 : 4), foruden under jævnlig Omrystning at henstaa i 24 Timer forud for Filtreringen, udsattes for Gennemledning af en Luftstrøm i 3 Timer¹⁾ opnaaedes en bedre Overensstemmelse mellem Resultaterne af de direkte i Jordopslemninger og i Filtrater foretagne Reaktionsbestemmelser (se Tabel 4). For de Jorder, ved hvilke Klaringen har været god, er Forskellen uden nævneværdig Betydning for vort Formaal, og ved de almindelige Kalktrangsundersøgelser vil det i Reglen være unødvendigt at benytte Filtrering, der, navnlig om den skal kombineres med Gennemluftning, er mere tidsrøvende. Og endvidere maa det, særlig hvor det drejer sig om Masseundersøgelser, tages i Betragtning, at Anvendelse af Filtrater ved Reaktionsbestemmelsen, som Følge af disses sædvanlig yderst ringe Indhold af stødpudevirkende Stoffer, kræver en endnu mere vidt dreven Omhyggelighed og Renlighed end den almindelige Anvendelse af Opslemningerne. Hvis en saadan ikke med Sikkerhed kan gennemføres, vil man let kunne faa helt misvisende Resultater. De Jorder — for det meste kalkfattige Lerjorder —, der klares

¹⁾ Jorden (10—25 g) og det destillerede Vand (40—100 cm³) anbragtes i en 200 cm³ Erlenmeyerkolbe. Foruden en mere intensiv Sammenblanding af Jord og Vand sikrer man sig ved denne Gennembobling af Luft, at Blandingen faar samme Kulsyretenion som den atmosfæriske Luft, hvilket man ved sammenlignende Undersøgelser med vort Formaal maa tilstræbe. Som senere indvundne Erfaringer antyder, kan den bedre Overensstemmelse mellem Filtraternes og Jordopslemningernes Reaktionstal i den sidste Undersøgelsesrække dog sandsynligvis ogsaa i nogen Grad bero paa, at man ved denne altid førte den sammenrystede Blanding af Jord og Vand over paa Filtret, medens man ved den første Undersøgelsesrække i adskillige Tilfælde — for at fremskynde Filtreringen — lod Jordbundfaldet blive tilbage i Kolben og kun bragte den ovenstaaende mere eller mindre klare Del af Vædsken paa Filtret. I sidstnævnte Tilfælde vil en eventuel Evne hos Filtrerpapiret til at absorbere Brintioner og derved formindske Filtratets Brintionkoncentration gøre sig stærkest gældende. Ved Benyttelse af Filtrater maa det anbefales at bringe saa meget som muligt af selve Jorden over paa Filtret. Gaar man frem paa denne Maade, er — som en Række endnu ikke afsluttede Undersøgelser viser — Filtraternes Reaktionstal ogsaa uden Gennemluftning kun undtagelsesvis mere end 0.2 højere end Opslemningernes.

utilstrækkeligt i Opslemninger, vil i Almindelighed ogsaa give uklare Filtrater¹⁾. Men desuden hænder det ikke sjældent (se Tabel 4), at der i Jordopslemninger fremkommer en for en sikker Afgørelse af Reaktionen tilstrækkelig dyb, klar Zone, medens de tilsvarende Filtrater er uklare og derfor ogsaa gennemgaaende vurderes til at give væsentlig lavere Reaktionstal end Opslemningerne (Tabel 4). Sandsynligvis viser de sidstnævnte i saadanne Tilfælde det rigtigste Resultat. — Til nærmere Belysning af Fejlen i Tilfælde som disse vil der i den nærmeste Fremtid blive udført elektrometriske Maalinger af Brintionkoncentrationen, hvortil Statens Planteavlslaboratorium nu efter Overflytningen til Lyngby vil komme til at raade over en tilstrækkelig fuldkommen Installation.

Den ved direkte Anvendelse af Jordopslemninger anvendte Fremgangsmaade svarer ganske til Lakmusprøven og er følgende: 20 cm³ af Indikatoropløsningen føres over i et Reagensglas (ca. 40 cm³ Rumindhold) og tilsættes 5 g Jord (helst lufttør). Jorden og Vædsken sammenrystes 2 à 3 Gange i Løbet af Dagen, hvorefter Opslemningen henstaar i Ro Natten over. Farvebestemmelsen udføres — ligesom ved Lakmusprøven — kun i det øverste klare Parti af Vædsken, der ikke indeholder svævende Jordpartikler, et Forhold, der er af den største Vigtighed at være opmærksom paa, idet Tilstedeværelsen af disse svævende Partikler ved de her benyttede Indikatorer næsten altid giver Indtryk af en højere Brintionkoncentration, end der i Virkeligheden forefindes.

Den klare Zone kan være af større eller mindre Dybde. I nogle Tilfælde er saa at sige hele Vædskelegatet klart, men det forekommer ogsaa, navnlig ved svære, kalkfattige Lerjorder, at Vædsken er uklar næsten helt op til Overfladen, og i saa

¹⁾ Ifølge en mundtlig Meddelelse i Sommer af Docent, Dr. V. Brenner, Helsingfors, der i Foraaret 1922 under et Ophold paa Statens Planteavlslaboratorium satte sig ind i vore Fremgangsmaader ved Undersøgelse af Jordreaktionen, lader en kolorimetrisk Bestemmelse af Brintionkoncentrationen i de fleste finske Lerjorder (der som oftest er meget elektrolytfattige og udpræget surt reagerende) sig hverken gennemføre i Opslemninger eller Filtrat, idet en tilstrækkelig Klaring af Vædskerne ikke kan opnaas. I saadanne Tilfælde, der, som det vil fremgaa af Tabel 4, heller ikke er helt sjældne hos os, kan en sikker Bestemmelse af Jordreaktionen kun opnaas ved Anvendelse af den elektrometriske Brintionmaalning.

Tilfælde er Bestemmelsen ikke gennemførlig eller i hvert Fald meget usikker. Bestemmelsen af Reaktionstallet i den med en Indikator forsynede Jordopslemning (eller Jordfiltrat) foregaar sædvanlig ved Sammenligning med en Række med samme Indikator forsynede Opløsninger (Stødpudeblandinger efter *S. P. L. Sørensen*) med kendt p_H . Paa Grund af de nævnte Indikatorers overordentlig store Følsomhed over for smaa Reaktionsændringer udkræves der en gennemført Kontrol med de benyttede Reagensglas, det anvendte Vand (der f. Eks. bør have samme Kulsyretenion som den omgivende Luft) eller de nødvendige Kemikalier, ligesom en fuldstændig gennemført Renlighed er en ubetinget Nødvendighed. I modsat Fald kommer Metoden let til at give fejlagtige og vildledende Resultater. Den kolorimetrisk Bestemmelse af Reaktionstallet vil derfor næppe nogen Sinde blive en Hjemmemetode.

Med Hensyn til Reagensglassene viser det sig f. Eks., at almindelige Reagensglas ofte afgiver smaa Mængder Alkali til Vædsken, af hvilken Grund Jena-Glas ubetinget maa foretrækkes. Dette Forhold, der saa vidt vides ikke tidligere er fremhævet, er det efter vore Erfaringer særdeles vigtigt at have Opmærksomheden henvendt paa.

Ved de hidtil udførte kolorimetrisk Bestemmelser af Brintionkoncentrationen har Mængdeforholdet mellem Jord og Vand været ret forskelligt. For nærmere at faa Rede paa, hvilken Indflydelse dette, ved en Række af de af os undersøgte Mineraljorder, udøver paa de fundne p_H -Værdier, er der foretaget den i Tabel 5 omtalte Undersøgelse. Vandmængden holdtes konstant, hvorimod Jordmængden varierede. Blandingen af Jord og Vand henstod under jævnlig Omrystning i ca. 24 Timer, hvorefter den gennemluftedes i 3 Timer. Bestemmelsen af Reaktionen er i dette Tilfælde udelukkende foretaget i Filtrater.

I Tabellen er kun medtaget de Jordfiltrater, der har været helt eller tilnærmelsesvis klare. I uklare Filtrater er Bestemmelsen nemlig for usikker til, at der kan være Tale om at maale de smaa Forskeligheder, som der kan fremkomme.

Som det vil ses, er der ikke ved de undersøgte Blandingsforhold fremkommen nogen større Forskel i p_H -Værdierne, i hvert Fald synes det hidtil ved Lakmusprøven benyttede Forhold mellem Jord- og Vandmængde 1:4 at være tilstrækkelig snævert, og dette Forhold er da ogsaa bibeholdt ved de med de nye Indikatorer udførte kolorimetrisk Bestemmelser af Brintionkoncentrationen.

Af andre Fremgangsmaader til Reaktionsbestemmelse i Jord har de af *Hasenbäumer* (12) og *Comber* (13) foreslaaede

i den nyeste Tid tilvendt sig betydelig Opmærksomhed ogsaa herhjemme (14 og 15).

Hasenbäumers Metode, der tilsigter en kvantitativ Bestemmelse af Surheden, kan siges at være en Modifikation af den foran omtalte af *Daikuhara* foreslaaede Ekstraktion af Jorden med en Opløsning af Kaliumklorid. Medens man ved *Daikuharas* Fremgangsmaade bestemmer Syreindholdet ved Titration af Klorkaliumekstrakten med Natronlud, søger *Hasenbäumer* at faa Udtryk for dette ved Iagttagelse af den Farve, der fremkommer ved Tilsætning af Methyrrødt til Ekstrakten, idet Farvereaktionen inden for visse Grænser er betinget af det opløste Kvantum Aluminiumklorid og saaledes, ifølge *Hasenbäumer*, vil kunne give Udtryk for Størrelsen af dette Kvantum og dermed for Jordens Syreindhold. Methyrrødt spænder over p_H -Omraadet 4.2 (Lilla) til 6.2 (Ren gul), og giver altsaa kun Oplysninger om Reaktionen paa den sure Side af Neutralpunktet¹⁾.

Da alle Jorder, ved hvilke Klorkaliumekstrakten bliver gulfarvet ved Tilsætning af Methyrrødt (Reaktionstal over 6), efter *Hasenbäumers* Anskuelse ikke er kalktrængende, er Anvendelse af andre Indikatorer egentlig ikke nødvendig, men i øvrigt anfører *Hasenbäumer*, at man kan anvende Azolithmin til Reaktionsbestemmelse i Ekstrakter med Reaktionstal over 6.

Ved vore Undersøgelser er, bortset fra den i Tabel 12 refererede Undersøgelse, anvendt en Modifikation af *Hasenbäumers* Metode, idet vi undgaar Filtreringen. Bestemmelsen er udført paa følgende Maade: 5 g Jord overføres i et Reagensglas indeholdende 20 cm³ $\frac{1}{1}$ mol. K. Cl. Opløsning. Glasset omrystes gentagne Gange i Løbet af Dagen og henstaar derefter i Ro Natten over. Den store Saltkoncentration bevirker, at den over Jorden staaende Vædske næsten altid bliver fuldstændig klar. Der tilsættes nogle Draaber Methyrrødt, og den fremkomne Farvereaktion bestemmes ved Hjælp af en Farveskala, der gaar fra karmin til ren gul.

¹⁾ *Hasenbäumer* angiver følgende Reaktionstal for de enkelte Farveomraader inden for Methyrrødt-Skalaen:

Ren Gul.....	over 6.2
Orange.....	5.3—6.2
Zinnoberrødt.....	4.6—5.2
Karmin.....	4.2—4.5
Lilla.....	under 4.2

Denne modificerede og lettere udførlige Metode er med Anvendelse af et større Antal Prøver sammenlignet med den oprindelige Hasenbäumer-Metode, og Resultaterne falder næsten altid nøje sammen og er aldrig i nogen væsentlig Grad forskellige.

Ogsaa Anvendelsen af Hasenbäumer-Metoden forudsætter paa Grund af den anvendte Indikators overordenlig store Følsomhed en gennemført Omhyggelighed og Renlighed og en indgaaende Kontrol med de anvendte Kemikalier.

Combers Metode er baseret paa det Forhold, at der i surt reagerende Jordvædske sædvanlig forekommer frie Ferri-Ioner. Disses Paavisning finder Sted ved Hjælp af Rhodankalium, der kan anvendes enten i vandig eller i alkoholisk Opløsning. I sidste Tilfælde opnaar man, at Vædsken klarer sig omtrent øjeblikkelig, og Reaktionen bliver meget tydelig. Der anvendes 40 g Rhodankalium til 1 Liter 95 pCt. Alkohol. 2—3 g af den foreliggende Jord afvejes i et Reagensglas, og der tilsættes 5 cm³ af den alkoholiske Rhodankaliumopløsning, hvorefter Blandingen sammenrystes. Efter et Par Timers Henstand iagttages Farven, og derefter igen den følgende og næstfølgende Dag. Farvereaktionen varierer efter Surhedsgraden mellem »mørkerød« og »farveløs«, og inden for disse to Yderpunkter skelner man desuden mellem »rød« og »lyserød«.

Combers Metode er her i Landet anvendt af *Fr. Weis* ved Undersøgelse af Skovjorder og er i Sverige af *H. v. Feilitzen* anbefalet til Anvendelse ved Undersøgelse af Agerjorders Reaktion.

Frk. *G. Weibull* (16), Alnarp, har fornylig med Anvendelse af 70 forskellige Jorder sammenlignet denne Metode med Lakmuspapir-Metoden og Hasenbäumer-Metoden. I Henhold til de fremkomne Resultater udtaler Frk. *Weibull*, at Comber-Metoden fortjener at finde praktisk Anvendelse som Markmetode ved Undersøgelse af Ager- og Skovjorder, hvorimod Hasenbäumer-Metoden paa Grund af sin store Følsomhed kun egner sig til Anvendelse paa Laboratorier. — Da Fremkomsten af den røde Farve er en Reaktion for Tilstedeværelsen af Ferri-Ioner, og ikke alle surt reagerende Jorder indeholder saadanne i Jordvædsken, er en ufarvet Vædske ikke altid et Bevis for, at Jorden ikke er sur. Undtagelserne synes navnlig at udgøres af visse tørveagtige Jorder, særlig Lavmosetørv,

der meget vel kan være udpræget surt reagerende uden at foranledige en Rødfarvning af Rhodankaliumopløsningen, et Forhold, der formentlig beror paa, at Jærnet her forekommer i organiske Forbindelser, der ikke eller kun i meget ringe Grad fradissocierer Ferri-Ioner.

Paa Statens Planteavls-Laboratorium er der nu i Løbet af det sidste Aar og med Anvendelse af Agerjordsprøver udført indgaaende sammenlignende Undersøgelser med disse forskellige Metoder. Særlig omfattende Undersøgelser er foretagne vedrørende den kolorimetriske Bestemmelse af Reaktions-tallene ved Hjælp af de nyere amerikanske Indikatorer. — Resultaterne af alle disse Bestemmelser, der i Hovedsagen er udførte af Assistent Frk. *E. Thorborg*, er statistisk opgjorte i Tabellerne 1—13.

Tabel 1 (og Fig. 1) viser, hvorledes de undersøgte Jordprøver fordeler sig inden for Reaktionsskalaen, der jo, som tidligere nævnt, indbefatter Reaktionstallene 0—14. Som det vil ses af Tabellen og Fig. 1, grupperer hele Materialet sig inden for det forholdsvis snævre p_H -Omraade: 4.6 til 8.0. Inden for Sandjordsgruppen er Antallet af udpræget surt reagerende Jorder størst, og dette gælder for alle Reaktionstal indtil 6.0, hvor Sandjordskurven har sit Toppunkt. Ved Reaktionstallet 6.2 (Kurvernes Skæringspunkt) er Procentantallet af Sandjorder og Lerjorder omtrent lige stort. Lerjordskurven, der først ved Tallet 5.4 hæver sig nævneværdigt over Abscisseaksen, har sit Toppunkt ved 6.4 og ligger nu ved alle følgende Tal omtrent lige saa højt over Sandjordskurven som den paa den sure Side af Tallet 6.2 ligger under denne. Lerjordsgruppen rummer altsaa til Gengæld for det mindre Antal surt reagerende Jorder et betydeligt større Antal neutralt eller alkalisk reagerende Jorder, og Kurvernes Forløb maa siges at svare godt til den almindelige Opfattelse vedrørende Kalktrangsforholdene inden for disse to Jordgrupper.

Surheden (Reaktionstal under 7) varierer inden for betydeligt videre Grænser end Alkaliniteten (Reaktionstal over 7), men i det hele taget er det kun forholdsvis svage Brintion- eller Hydroxylionkoncentrationer, der er Tale om i de almindelig dyrkede Agerjorder, og saa svage, at man vanskeligt kan tænke sig, at de er i Stand til at udøve direkte Giftvirkninger. Langt den største Del af Materialet — ca. 74 pCt. — ligger endog inden

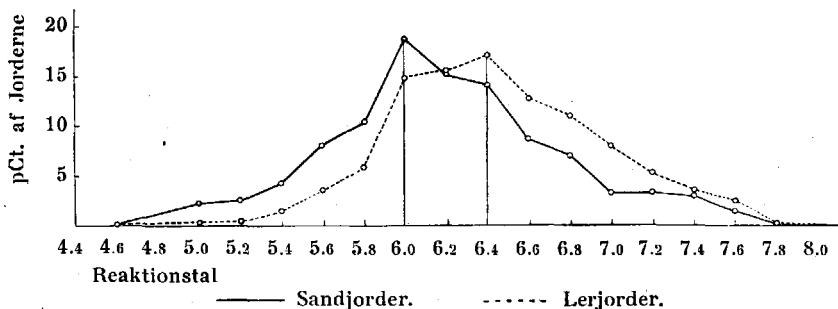


Fig. 1. Variationen i Reaktionstal i 5000 til Kalktrangsundersøgelse indsendte Jordprøver.

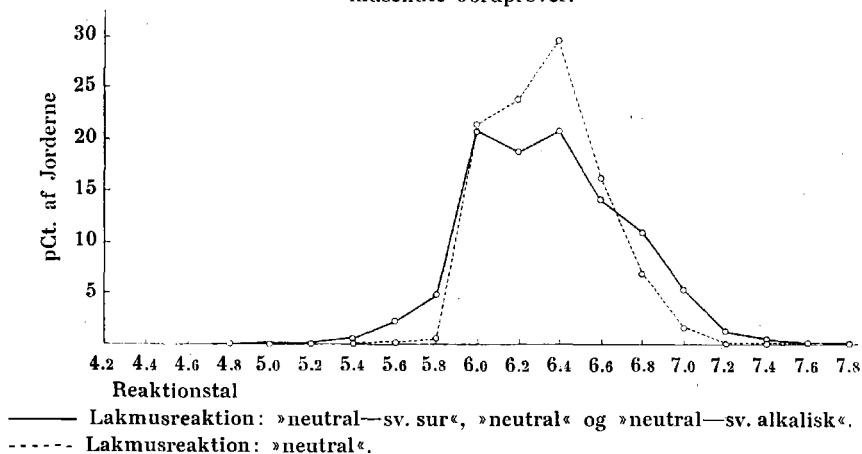


Fig. 2. Forholdet mellem Lakmusreaktionen og Reaktionstallene.

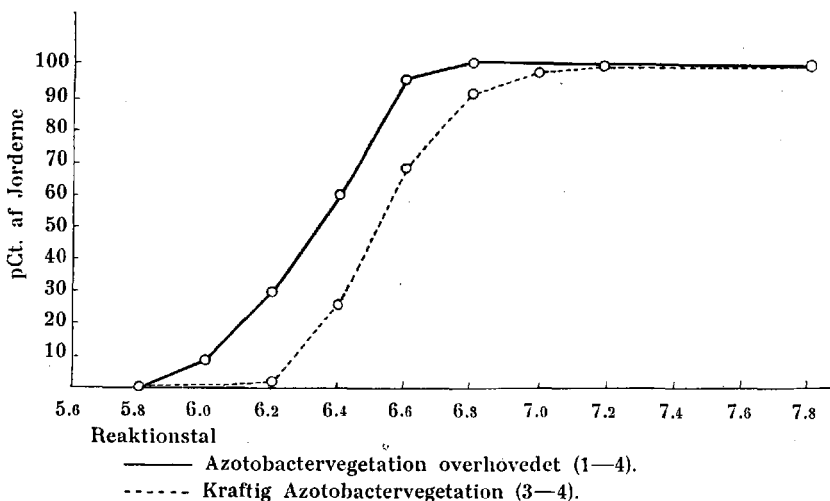


Fig. 3. Forholdet mellem Udfaldet af Azotobacterprøven og Reaktionstallene.

for et saa snævert Omraade som det, der afgrænses af Reaktionsstallene 6 og 7. Reaktionstal under 5.2 og over 7.4 forekommer kun undtagelsesvis. Reaktionstal over 6.8 omfatter Hovedparten af de Jorder, som ved Lakmusprøven er betegnedes som alkaliske. — Som det vil bemærkes, er de i Fig. 1—2 tegnede Reaktionskurver skæve (særlig gælder dette Kurven for Lerjord), idet de har et fladere Forløb paa den venstre (den sure) end paa den højre Side af Reaktionstallet 6, et Forhold, der formentlig i Hovedsagen udtrykker Virkningen af de Bestræbelser, der i Tidens Løb er udfoldede med Hensyn til Afhjælpning af Jordens Kalktrang, og som jo ret naturligt i særlig Grad har omfattet de stærkest kalktrængende, d. v. s. de sureste Agerjorder. Jo skævere vi kan gøre denne Kurve, desto bedre, og vi skulde gerne inden for en overskuelig Fremtid naa saa vidt, at hele det Omraade, der ligger til venstre for Reaktionstallet 6.4, helt forsvinder.

De interessante Tal i Tabellerne 2 og 3 er der allerede gjort Rede for, og vi skal da gaa over til at betragte Tabellerne 6—9, der behandler Hasenbäumer-Reaktionens og Comber-Reaktionens Forhold til henholdsvis Lakmus- og Azotobacterreaktionen.

Hvad nu først Hasenbäumer-Reaktionens Forhold til Lakmusreaktionen angaar (Tabel 6), viser det sig, at saa godt som alle udpræget lakmussure Jorder (svagt sur til stærkt sur) foranlediger en tydelig Rødfarvning (Karmin eller Cinnober) af den med Methyldrødt forsynede Klorkaliumekstrakt; de lakmus-neutrale Jorder fordeler sig over hele Farveskalaen, medens de lakmusalkaliske Jorder kun fordeler sig paa den brungule til gule Farve.

Det er af Interesse at bemærke, at de to Reaktionsgrupper, der danner Overgangen mellem de tydeligt lakmussure og de lakmus-neutrale Jorder (Gruppen »neutral—svagt sur«) paa den ene Side og mellem de lakmus-neutrale og de tydeligt lakmus-alkaliske Jorder (Gruppen »neutral—svagt alkalisk«) paa den anden Side, ved Hasenbäumer-Prøven skiller sig skarpt ud fra hinanden og fra den »neutrale« Jordgruppe, idet de som »neutral—svagt sur« betegnedes Jorder kun rent undtagelsesvis, medens de som »neutral—sv. alkalisk« betegnedes Jorder saa godt som altid foranlediger en gul Farve i Klorkaliumopløsningen. Dette Forhold tyder hen paa, at Vurderingen af Nuancerne i Lakmusreaktionen ved den almindelige Kalktrangsundersøgelse er foregaaet med en betydelig Sikkerhed.

Tabel 4. Reaktionstal i Jordopslemninger
og Filtrater af saadanne.
(Gennemluftning i 3 Timer før Filtreringen.)

Reaktionstal		For- skel	Reaktions- tal		For- skel	Reaktions- tal		For- skel	Reaktions- tal		For- skel
Jord- opslemning	Filtrat		Jord- opslemning	Filtrat		Jord- opslemning	Filtrat		Jord- opslemning	Filtrat	
> 4.4 < 5.2	5.2 ¹⁾	?	6.2 ¹⁾	6.1	÷ 0.1	6.5	6.6	+ 0.1	7.1 ²⁾	7.2	+ 0.1
> 4.4 < 5.2	5.4	?	6.2	6.1	÷ 0.1	6.5	6.6	+ 0.1	7.1	7.1	0.0
> 4.4 < 5.2	5.2 ¹⁾	?	6.2	6.2	0.0	6.5	6.4	÷ 0.1	7.1	6.8 ¹⁾	÷ 0.3
> 4.4 < 5.2	5.0	?	6.2	5.9 ¹⁾	÷ 0.3	6.6	6.6	0.0	7.2	7.0	÷ 0.2
> 4.4 < 5.2	5.2 ²⁾	?	6.2	5.7 ²⁾	÷ 0.5	6.6	6.5	÷ 0.1	7.2	7.2	0.0
5.2 ¹⁾	5.2	0.0	6.2	6.1	÷ 0.1	6.6	6.6	0.0	7.2	7.1	÷ 0.1
5.2	5.3	+ 0.1	6.2	5.9 ¹⁾	÷ 0.3	6.6	6.7	+ 0.1	7.2	7.1	÷ 0.1
5.2	5.4	+ 0.2	6.2	5.8 ²⁾	÷ 0.4	6.6	6.8	+ 0.2	7.2	7.1	÷ 0.1
5.2	5.3	+ 0.1	6.2	6.2	0.0	6.6	6.6	0.0	7.2	7.2	0.0
5.2	5.2 ²⁾	0.0	6.2	6.2	0.0	6.6	6.6	0.0	7.3	7.4	+ 0.1
5.4 ¹⁾	5.5	+ 0.1	6.2	6.2	0.0	6.6	6.3 ²⁾	÷ 0.3	7.3	7.4	+ 0.1
5.4	5.4 ¹⁾	0.0	6.3	6.4	+ 0.1	6.6	6.5	÷ 0.1	7.3	7.2	÷ 0.1
5.4 ¹⁾	5.6 ¹⁾	+ 0.2	6.3	5.7 ²⁾	÷ 0.6	6.7	6.5	÷ 0.2	7.4	7.3	÷ 0.1
5.4	5.6	+ 0.2	6.3	6.0 ¹⁾	÷ 0.3	6.7	6.7	0.0	7.4	7.3	÷ 0.1
5.5	5.2 ¹⁾	÷ 0.3	6.3	6.3	0.0	6.8	6.7	÷ 0.1	7.4	7.3	÷ 0.1
5.6	5.6	0.0	6.3	6.2	÷ 0.1	6.8	6.8	0.0	7.4	7.4	0.0
5.7	5.7	0.0	6.3	5.8 ²⁾	÷ 0.5	6.8	6.4 ¹⁾	÷ 0.4	7.4	7.4	0.0
5.7	5.6	÷ 0.1	6.3	5.9 ²⁾	÷ 0.4	6.8	6.9	+ 0.1	7.4	7.4	0.0
5.7	5.7	0.0	6.3	6.2	÷ 0.1	6.8	6.2 ²⁾	÷ 0.6	7.4	7.4	0.0
5.7	5.7	0.0	6.3	6.4	+ 0.1	6.8	6.8	0.0	7.4	7.6	+ 0.2
5.8	5.7	÷ 0.1	6.3	5.8 ²⁾	÷ 0.5	6.8	7.2	+ 0.4	7.4	7.5	+ 0.1
5.8	5.7	÷ 0.1	6.4 ¹⁾	6.1	÷ 0.3	6.8	6.5 ¹⁾	÷ 0.3	7.4	7.6	+ 0.2
5.8	5.6 ¹⁾	÷ 0.2	6.4	6.4	0.0	6.8	7.0	+ 0.2	7.5	7.6	+ 0.1
5.8	5.6	÷ 0.2	6.4	6.4	0.0	6.9	6.4 ²⁾	÷ 0.5	7.5	7.5	0.0
5.8	5.6 ¹⁾	÷ 0.2	6.4	6.2 ¹⁾	÷ 0.2	6.8 ²⁾	7.1	+ 0.3	7.5	7.5	0.0
5.9	5.9	0.0	6.4 ²⁾	6.7	+ 0.3	6.9	6.8	÷ 0.1	7.5	7.5	0.0
5.9	5.9	0.0	6.4	5.9 ²⁾	÷ 0.5	6.9	7.0	+ 0.1	7.5	7.5	0.0
5.9	5.5 ²⁾	÷ 0.4	6.4	6.0 ¹⁾	÷ 0.4	7.0	7.0	0.0	7.6 ²⁾	7.7	+ 0.1
5.9	5.7 ¹⁾	÷ 0.2	6.4	6.1 ¹⁾	÷ 0.3	7.0	6.9	÷ 0.1	7.6	7.6	0.0
5.9	5.5 ²⁾	÷ 0.4	6.4	6.5	+ 0.1	7.0	6.9	÷ 0.1	7.6	7.3	÷ 0.3
6.0	5.7 ²⁾	÷ 0.3	6.4	6.4	0.0	7.0	6.9	÷ 0.1	7.6	7.5	÷ 0.1
6.0	6.1	+ 0.1	6.4	6.3	÷ 0.1	7.0	7.0	0.0	7.6	7.6	0.0
6.0	6.0	0.0	6.4	6.6	+ 0.2	7.0	7.0	0.0	7.6	7.6	0.0
6.0	6.0	0.0	6.4	5.8 ²⁾	÷ 0.6	7.0	7.0	0.0	7.6	7.6	0.0
6.1	5.9 ¹⁾	÷ 0.2	6.4	5.6 ²⁾	÷ 0.8	7.0	7.0	0.0	7.7	7.6	÷ 0.1
6.1	5.7 ¹⁾	÷ 0.4	6.5	6.4 ¹⁾	÷ 0.1	7.0	7.0	0.0	7.7	7.7	0.0
6.1	6.0	÷ 0.1	6.5	6.5	0.0	7.0	6.8 ¹⁾	÷ 0.2	7.7	7.7	0.0
6.1	5.6 ²⁾	÷ 0.5	6.5	6.4	÷ 0.1	7.0	6.8 ¹⁾	÷ 0.2	7.8	7.9	÷ 0.1
6.1	5.5 ²⁾	÷ 0.6	6.5	6.2 ¹⁾	÷ 0.3	7.0	7.0	0.0			

¹⁾ Vædsken noget uklar, Bestemmelsen mindre sikker.

²⁾ Vædsken meget uklar, Bestemmelsen usikker.

Tabel 5. Den Indflydelse, som Forholdet mellem Jord og Vand udøver paa Størrelsen af Brintionkoncentrationen.

Jordens		Forholdet mellem Jord- og Vandmængde				
Nr.	Beskaaffenhed	1 : 20	1 : 10	1 : 5	1 : 2	1 : 1
1	Sandjord	7.5	7.5	7.5	7.5	7.6
2	Sandjord	7.4	7.5	7.5		7.5
3	Lerjord	7.1	7.3	7.4	7.4	
4	Sandjord	7.0	7.0	7.0	7.1	7.1
5	Lerjord		6.6	6.7	6.8	6.8
6	Lerjord		6.6		6.6	6.8
7	Sandjord	5.8		5.8		
8	Sandjord	5.7			5.5	5.4
9	Lerjord	6.1				6.0
10	Lerjord	5.2	5.0	4.9	5.0	4.9
11	Sandjord	5.1	5.0	5.0	4.9	4.8

Forholdet mellem Hasenbäumer-Reaktionen og Azotobacterreaktionen fremgaar af Tabel 7. Som det vil ses, har kun 2 pCt. af de Jorder, der har foranlediget Karminfarvning, givet Azotobacterudvikling (og tilmed kun svag Azotobacterudvikling), medens paa den anden Side 87 pCt. af de Jorder, der har foranlediget en brungul, og 99 pCt. af de Jorder, der har foranlediget en ren gul Farve, har givet Azotobacterudvikling. En kraftig Azotobacterudvikling er ved disse to Farvereaktioner fremkommen i henholdsvis 69 og 96 pCt. af Tilfældene. Fremkomsten af den rene gule Farve synes da i næsten alle Tilfælde at kunne betragtes som et Udtryk for, at Jorden ikke er kalktrængende. I de mellemliggende Farvegrupper: Cinnober og Orange, der imidlertid omfatter over Halvdelen af Jorderne, er Azotobactervegetation og manglende Azotobactervegetation omtrent lige hyppigt forekommende, og vil man betragte Azotobacterprøven som Maalestok for andre Metoders Værdi ved Kalktrangsundersøgelsen, giver — set under eet — Hasenbäumer-Metoden i hvert Fald ikke bedre eller fyldigere Oplysninger om Jordens Kalktrang end Lakmusprøven og kan derfor lige saa lidt som denne staa alene ved Kalktrangsundersøgelsen.

Tabel 8 angiver Forholdet mellem Lakmusreaktionen og Comber-Reaktionen. Af de som »sure« betegnede Jorder giver 82 pCt. udpræget rød (»mærkerød« eller »rød«) Farve, 18 pCt.

lyserød Farve og 0 pCt. ingen Rødfarvning i Rhodankaliumopløsningen. Af de som »svagt sur« betegnede Jorder har 70 pCt. givet udpræget rød Farve og 21 pCt. lyserød Farve, medens 9 pCt. har givet Reaktionen farveløs. Det er altsaa ikke alle surt reagerende Mineraljorder, der foranlediger Rødfarvning i Comber-Vædsken. De lakmusneutrale Jorder fordeles sig overvejende og de lakmusalkaliske Jorder fuldstændig paa »lyserød« og »farveløs«.

Tabel 6. Forholdet mellem Lakmusreaktionen og Hasenbäumer-Reaktionen.

Lakmusreaktion:	Antal Jorder i alt	Antal Jorder med Hasenbäumer-Reaktion:					pCt. Jorder med Hasenbäumer-Reaktion:				
		Karmin	Cinnober	Orange	Brungul	Gul	Karmin	Cinnober	Orange	Brungul	Gul
Sur.....	30	29	1	0	0	0	97	3	0	0	0
Svagt sur.....	53	44	8	1	0	0	83	15	2	0	0
Neutral—sv. sur ..	78	54	19	3	2	0	69	24	4	3	0
Neutral.....	360	34	109	76	89	52	9	30	21	25	15
Neutral—sv. alk...	57	0	0	1	9	47	0	0	2	16	82
Svagt alkalisk	44	0	0	0	1	43	0	0	0	2	98
Alkalisk	25	0	0	0	2	23	0	0	0	8	92

Tabel 9 viser Forholdet mellem Comber-Reaktionen og Udfaldet af Azotobacterprøven. Ved Comber-Reaktionen »mærkerød« er der kun i 4 pCt. af Tilfældene fremkommen Azotobactervegetation, ved »rød« i 7 pCt., ved »lyserød« i 16 pCt. og ved »farveløs« i 80 pCt. af de undersøgte Jorder. Denne Metode synes da paa det sureste Omraade (udpræget rød Farve) at give noget præcisere Udtryk for Jordens Kalktrang end Hasenbäumer-Metoden, der paa den anden Side med større Sikkerhed er i Stand til at udskille en ikke kalktrængende Jordgruppe; thi medens der i den Gruppe af Jorder, der i Hasenbäumer-Vædsken har foranlediget en ren gul Farve, ikke mindre end 96 pCt. har givet kraftig Azotobactervegetation, fremkommer en saadan kun i 65 pCt. af de Jorder, som har givet Reaktionen »Farveløs« i Comber-Vædsken, og denne Reaktion synes saaledes ikke at indeholde tilstrækkelig

Garanti for, at Jorden ikke er kalktrængende. Heller ikke Comber-Prøven kan da staa alene ved Kalktrængsundersøgelsen.

Dels paa Grundlag af det i Tabellerne 6—9 behandlede Materiale og dels paa Grundlag af en speciel Undersøgelse af en Række — overvejende fynske — Agerjorder, ved hvilke sidste der i alle Tilfælde er foretaget Bestemmelse af Reaktions-tallet i saavel Jordopslemningerne som i den af *Hasenbäumer* benyttede Klorkaliumekstrakt¹⁾ samt foretaget Comber-Prøven, er der i Tabel 10 foretaget en Sammenstilling af Resultaterne af disse forskellige Bestemmelser. For *Hasenbäumer*-Metodens

Tabel 7. Forholdet mellem *Hasenbäumer*-Reaktionen og Udfaldet af *Azotobacter*prøven.

Hasenbäumer- Reaktion	Antal Jorder i alt	Antal Jorder med <i>Azotobacter</i> vegetation ²⁾ :			pCt. Jorder med <i>Azotobacter</i> vegetation:		
		Svag (1—2)	Kraftig (3—4)	Svag— kraftig (1—4)	Svag	Kraftig	Svag til kraftig
Karmin	164	4	0	4	2	0	2
Cinnober	145	30	4	34	21	3	24
Orange	80	26	22	48	33	27	60
Brungul	104	19	72	91	18	69	87
Gul	164	5	157	162	3	96	99

Vedkommende omfatter denne Sammenstilling dog kun Jorderne fra den sidstnævnte Undersøgelse, da der kun ved disse er foretaget en præcis Bestemmelse af Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal.

Som det fremgaar af denne Tabel, har alle de Jorder, ved hvilke den vandige Jordopslemnings Reaktionstal ligger under 5.8, foranlediget en Rødfarvning af den af *Comber* benyttede Rhodankaliumopløsning. Ved Reaktionstal under 5.6 har denne Rødfarvning i 90 pCt. af Tilfældene været udpræget (»mørkerød« eller »rød«). Ved Reaktionstallene 5.8—5.9 giver 12 pCt.

¹⁾ Medens *Hasenbäumer* kun bestemmer Reaktionen inden for Methylrødts Omraade 4.2—6.2, er her ogsaa foretaget Bestemmelser af Reaktionstallet i de Klorkaliumekstrakter, der har højere Reaktionstal.

²⁾ Graden af *Azotobacter*vegetationen udtrykkes ved følgende Tal:
0 = ingen, 1 = meget svag, 2 = svag, 3 og 4 = ret kraftig og kraftig.

Tabel 8. Forholdet mellem Lakmusreaktionen og Comber-Reaktionen.

Lakmusreaktion:	Antal Jorder i alt	Antal Jorder med Comber-Reaktion:				pCt. Jorder med Comber-Reaktion:			
		Mørkerød	Rød	Lyserød	Farveløs	Mørkerød	Rød	Lyserød	Farveløs
Sur	34	22	6	6	0	64	18	18	0
Svagt sur	33	10	13	7	3	30	40	21	9
Neutral—sv. sur	76	12	17	41	6	16	22	54	8
Neutral	355	5	15	111	224	1	4	32	63
Neutral—sv. alk.	66	0	0	2	64	0	0	3	97
Svagt alkalisk..	44	0	0	1	43	0	0	2	98
Alkalisk	26	0	0	0	26	0	0	0	100

af Jorderne Reaktionen »Farveløs«, og Hyppigheden af denne Reaktion tiltager nu stærkt med Stigningen i Reaktionstallet. Den stærke Rødfarvning forekommer kun undtagelsesvis ved Reaktionstal over 6.5 og aldrig ved Reaktionstal over 6.9, medens der endnu ved Reaktionstal over 7.1 i et enkelt Tilfælde er paavist en svag Rødfarvning. — Inden for p_H -Omraadet 5.8—6.5 er alle tre Comber-Farvereaktioner repræsenterede med et betydeligt Antal Jorder.

Hvad dernæst Reaktionstallene i Filtraterne af Klorkaliumekstrakterne angaar, vil det bemærkes, at denne for de udpræget surt reagerende Jorders Vedkommende gennemgaaende er betydelig lavere end Reaktionstallene i de vandige Jord-

Tabel 9. Forholdet mellem Comber-Reaktionen og Udfaldet af Azotobacterprøven.

Comber-Reaktion:	Antal Jorder i alt	Antal Jorder med Azotobactervegetation:			pCt. Jorder med Azotobactervegetation:		
		Svag (1—2)	Kraftig (3—4)	Svag—kraftig (1—4)	Svag	Kraftig	Svag til kraftig
Mørkerød	57	1	1	2	2	2	4
Rød	54	4	0	4	7	0	7
Lyserød	183	26	15	41	14	2	16
Farveløs	371	56	240	296	15	65	80

opslemninger, og Hasenbäumers Metode er derfor ikke i Stand til at give Udtryk for Jordens virkelige Surhedsgrad, hvad der jo imidlertid ikke behøver at forhindre, at den kan give værdifulde Oplysninger om det, man med en sammenfattende Betegnelse kan kalde Reaktionsstilstanden i Jordbunden. For de alkaliske Jorders Vedkommende (Reaktionstal over 7 i de vandige Jordopslemninger) er de vandige Jordopslemningers og Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal som oftest tilnærmelsesvis lige store. Ved Reaktionstal under 5.7 i de vandige Jordopslemninger er Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal kun forholdsvis lidt varierende (4.2—4.7), hvorimod der er Tale om betydeligt større Variationer i de mindre surt reagerende Jordgrupper.

En tilsvarende Opgørelse af Forholdet mellem Reaktions-tallene i vandig Jordopslemning og Hasenbäumer-Reaktionerne, udtrykt ved Farverne, er foretaget i Tabel 11. Af denne vil det ses, at saa at sige alle de Jorder, der har Reaktionstal under 6, giver rød Farvereaktion (Karmin og Cinnøber), kun en enkelt Jord giver Farvereaktionen Orange, og den brungule til gule Farve optræder aldrig ved Reaktionstal under denne Grænse. Det er af ikke ringe Interesse at bemærke, at den nævnte Grænseværdi falder sammen med den, der angiver den for Azotobacterudviklingen kritiske Brintionkoncentration (se Tabel 3), idet Azotobacterudvikling jo aldrig optræder ved Reaktionstal under 6.0. — Den rene gule Farve optræder aldrig ved Reaktionstal under 6.1 og kun i et Par Tilfælde ved Reaktionstal under 6.4, og denne Farve bliver først almindelig ved Reaktionstal over 6.7. Som det fremgaar af Tabel 3, giver næsten alle Jorder, hvis Reaktionstal ligger over denne Værdi, Azotobacterudvikling og tilmed i de allerfleste Tilfælde en kraftig Azotobacterudvikling. — Inden for Reaktionsomraadet 6.2—6.5, der omfatter en stor Procentdel af Jorderne, er alle Hasenbäumer-Reaktionerne repræsenterede, men alt i alt maa der siges at være Tale om en betydelig mere udpræget Korrelation mellem Reaktionstallene i vandig Jordopslemning og Hasenbäumer-Reaktionerne end mellem disse Tal og Comber-Reaktionerne.

I Tabel 12 er der paa Grundlag af den foran nævnte specielle Undersøgelse af de overvejende fra Fyn hidrørende Jorder foretaget en Sammenstilling til Belysning af Forholdet

mellem Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal og Udfaldet af Azotobacter- og Comber-Prøven.

Som det fremgaar af denne Oversigt, er der aldrig forekommet en tydelig Azotobactervegetation (Karakter over 1) ved de Jorder, ved hvilke Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal ligger under 5.0, og Fremkomsten af en Azotobactervegetation er endnu forholdsvis sjælden helt op til et Reaktionstal af 5.7. Ved et Reaktionstal af ca. 6.0 har endnu omtrent en Tredjedel været ude af Stand til at foranledige Azotobacterudvikling, og knapt Halvdelen af Jorderne har foranlediget en kraftig Azotobacterudvikling. Først ved Reaktionstal over 6.1 er der i saa at sige alle Tilfælde fremkommet en Azotobactervegetation. Ved Reaktionstal over 6.7 er denne næsten altid kraftig.

Tabel 10. Forholdet mellem Reaktionstallene i vandig Jordopslemning og Comber-Reaktionerne.

Reaktions- tal i Jord- opslem- ninger	Antal Jorder	Comber-Reaktionen efter 2 Døgn:						Antal Jorder	Hasenbäumer- Reaktion: Reaktionstal i Filtrat af Klorkalium- ekstrakt	
		Farveløs		Lyserød		Rød og mørkerød			Variation	(Gennem- snit)
		Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.			
Under 5.4	33	0	0	3	9	30	91	12	4.2—4.7	(4.3)
5.4—5.5	29	0	0	3	10	26	90	3	4.2—4.4	(4.3)
5.6—5.7	44	0	0	13	30	31	70	7	4.2—5.5	(4.7)
5.8—5.9	77	9	12	42	54	26	34	9	4.2—5.1	(4.5)
6.0—6.1	93	23	25	42	45	28	30	13	4.4—5.9	(5.0)
6.2—6.3	137	53	37	53	40	31	23	26	4.4—6.1	(5.2)
6.4—6.5	130	85	65	30	23	15	12	23	4.6—6.5	(5.6)
6.6—6.7	91	82	90	6	7	3	3	12	4.9—6.7	(6.0)
6.8—6.9	88	76	86	6	7	6	7	22	5.2—7.1	(6.2)
7.0—7.1	45	41	91	4	9	0	0	21	6.0—7.5	(6.7)
Over 7.1	79	77	97	2	3	0	0	33	6.8—8.0	(7.4)

Mellem Størrelsen af Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal og Comber-Reaktionerne er der ligeledes en vis Korrelation. Ved Reaktionstal under 4.6 er der i alle Tilfælde fremkommen en mørkerød Farve i den anvendte alkoholiske Rhodankaliumopløsning, og ved Reaktionstal under 5.2 er Farven i alle Tilfælde enten mørkerød eller rød. Ved Reaktionstal over 5.3 begynder Comber-Reaktionen »Farveløs« at indtræde, og dennes Hyppighed tiltager stærkt med stigende Reaktionstal, indtil

den ved Reaktionstal over 6.7 fremkommer i saa at sige alle Tilfælde. Overstiger Reaktionstallet 6.1, fremkommer i det højeste Reaktionen »Lyserød«, der er forekommet lige indtil Reaktionstallet 7.3, men aldrig Reaktionen »rød« eller »mørkerød«.

Da de Jorder, der ved Comber- og Hasenbäumer-Prøverne bevirker, at de paagældende Vædsker bliver henholdsvis »farveløs« og »gul«, i de fleste Tilfælde foranlediger Azotobacterudvikling ved Azotobacterprøven (Tabellerne 7 og 9), vil der kunne være Tale om at anvende disse to Prøver som supplerende Prøver ved Kalktrangsundersøgelserne, saaledes at de, ligesom nu Azotobacterprøven, bringes i Anvendelse ved en nærmere Undersøgelse af de Jordgrupper, om hvis Kalk-

Tabel 11. Forholdet mellem Reaktionstallene i vandig Jordopslemning og Hasenbäumer-Reaktionerne.

Reaktions- tal i Jord- opslem- ninger	Antal Jorder	Hasenbäumer-Reaktionen:									
		Karmin		Cinnober		Orange		Brungul		Gul	
		Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.
Under 5.4	19	19	100	0	0	0	0	0	0	0	0
5.4—5.5	28	27	96	1	4	0	0	0	0	0	0
5.6—5.7	35	29	83	6	17	0	0	0	0	0	0
5.8—5.9	67	49	73	17	25	1	2	0	0	0	0
6.0—6.1	79	26	33	38	48	11	14	4	5	0	0
6.2—6.3	106	11	10	60	57	25	24	8	7	2	2
6.4—6.5	106	2	2	15	14	33	30	42	39	14	13
6.6—6.7	79	0	0	1	1	9	12	35	44	34	43
6.8—6.9	63	0	0	1	2	0	0	11	17	51	81
7.0—7.1	23	0	0	0	0	0	0	2	9	21	91
Over 7.1	47	0	0	0	0	0	0	2	4	45	96

trang man paa Grundlag af den kolorimetrisk Reaktionsbestemmelse eller Lakmusprøven ikke er i Stand til at udtale sig med nogen Sikkerhed, og for yderligere at belyse, hvorledes Udfaldet af disse Prøver forholder sig til Resultaterne af Azotobacterprøven, er der foretaget den i Tabel 13 givne Sammenstilling, omfattende mineralske Jorder med Reaktionstal fra 6.3 til 6.8, d. v. s. det Reaktionsomraade, hvor Azotobacterprøven maa anses for nødvendig ved Kalktrangsundersøgelsen.

Tabel 12. Forholdet mellem Klorkaliumekstrakternes Reaktionstal og Resultaterne af Azotobacter- og Comber-Prøven.

Reaktionstal i Filtratet af Klorkalium- ekstrakten	Antal Jorder	Jorder med Azoto- bactervegetation:						Jorder med Comber- Reaktion: (efter 3 Dage)								
		Ingen (0)		Svag (1—2)		Kraftig (3—4)		Farveløs		Lyserød		Rød		Mørkerød		
		Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	
Under 4.6 (Min. 4.2)	24	24	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	100
4.6—4.7	11	11	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	10	91	
4.8—4.9	13	11	85	2 ¹⁾	15	0	0	0	0	0	0	5	38	8	62	
5.0—5.1	9	6	67	3	33	0	0	0	0	0	0	3	33	6	67	
5.2—5.3	9	7	78	1	11	1	11	0	0	1	11	5	56	3	33	
5.4—5.5	9	8	89	1	11	0	0	1	11	2	22	3	33	3	33	
5.6—5.7	9	7	78	1	11	1	11	0	0	5	56	4	44	0	0	
5.8—5.9	10	6	60	2	20	2	20	3	30	3	30	4	40	0	0	
6.0—6.1	11	4	36	2	18	5	46	3	27	5	46	3	27	0	0	
6.2—6.3	4	1		1		2		3		1		0		0		
6.4—6.5	8	1	13	1	13	6	75	5	63	3	37	0	0	0	0	
6.6—6.7	7	0	0	2	29	5	71	5	71	2	29	0	0	0	0	
6.8—6.9	9	1	11	0	0	8	91	9	100	0	0	0	0	0	0	
Over 6.9 (Maks. 8.0)	42	0	0	0	0	42	100	41	98	1 ²⁾	2	0	0	0	0	
		Uden Azotobactervegetation				Med Azotobactervegetation		Farveløs		Lyserød		Rød og mørkerød				
			Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.	Antal	pCt.		
Under 5.0	48	46	96	2	4	0	0	0	0	48	100					
5.0—5.5	27	21	78	6	22	1	4	3	11	23	85					
5.6—6.1	30	17	57	13	43	6	20	13	43	11	37					
6.2—6.7	19	2	11	17	89	13	68	6	32	0	0					
Over 6.7	51	1	2	50	98	50	98	1	2	0	0					
Over 6.1 ³⁾	70	3	4	67	96	63	90	7	10	0	0					

Hvad først Comber-Prøven angaar, vil det bemærkes, at der i Reaktionstalgruppen 6.2—6.3 kun ret sjældent fremkommer Azotobactervegetation, selv i de Jorder, der giver Reaktionen »Farveløs«, hvorimod der i de to andre Grup-

¹⁾ Begge med meget svag (1) Azotobactervegetation.

²⁾ Reaktionstal: 7.3.

³⁾ Den rene gule Farve med Methylrødt.

Tabel 13. Azotobactervegetationens Forhold til Comber- og Hasenbäumer-Reaktionen ved det med Hensyn til Azotobacterudvikling usikre Reaktionsomraade (p_H 6.2—6.7).

Metoden:	Reaktionstal:								
	6.2—6.3			6.4—6.5			6.6—6.7		
	Antal Jorder	Jorder med tydelig Azotobactervegetation (over 1)		Antal Jorder	Jorder med tydelig Azotobactervegetation (over 1)		Antal Jorder	Jorder med tydelig Azotobactervegetation (over 1)	
		Antal	pCt.		Antal	pCt.		Antal	pCt.
Comber-Reaktion:									
Mørkerød	15	3	20	5	0	0	0	0	0
Rød	16	0	0	10	0	0	3	2	67
Lyserød	53	19	36	30	14	47	6	3	50
Farveløs	53	15	28	85	70	82	82	81	99
Hasenbäumer-Reaktion:									
Karmin	11	1	9	2	0	0	0	0	0
Cinnober	60	17	28	15	6	40	1	1	100
Orange	25	8	32	33	27	82	9	8	89
Brungul	8	5	63	42	33	79	35	35	100
Gul	2	2	100	14	12	86	34	34	100

per: 6.4—6.5 og 6.6—6.7, henholdsvis 82 og 99 pCt. af Jorderne med den nævnte Comber-Reaktion har foranlediget Azotobacterudvikling. Et lignende Forhold gør sig gældende for Hasenbäumer-Prøvernes Vedkommende, men her synes dog Endereaktionens, d. v. s. den gule Farvereaktions Forhold til Azotobactervegetationen, at være betydelig mere uafhængig af Størrelsen af Reaktionstallet, end Tilfældet var for Reaktionen »Farveløs« ved Comber-Prøven, og ved ren gul Farve er der ved alle tre Reaktionsgrupper i saa at sige alle Tilfælde fremkommen en tydelig Azotobacterudvikling.

Set under eet, bekræfter denne Sammenstilling, at man ved Hjælp af Hasenbäumer- og Comber-Prøverne er i Stand til at foretage en betydningsfuld Sortering af hele denne med Hensyn til Kalktrang tvivlsomme Jordgruppe (6.2—6.7) i mere eller mindre kalktrængende Jorder, om end ogsaa denne Sortering

synes at være mindre fuldkommen end den, der opnaas ved Anvendelse af Azotobacterprøven. Men ogsaa med Bibeholdelse af Azotobacterprøven har de to nævnte Metoder deres Værdi, idet det i de ikke helt faa Tilfælde, hvor Azotobacterprøven vanskelig kan gennemføres, eller i andre Tvivlstilfælde er af Betydning, at man ogsaa ad anden Vej kan fremskaffe Oplysninger om de paagældende Jorders Reaktionstilstand. Giver de paagældende Jorder enten rød Farve i Comber-Vædsken eller en gul Farve i Hasenbäumer-Vædsken, er det i Henhold til de her refererede Undersøgelser overvejende sandsynligt, at de er henholdsvis kalktrængende og ikke kalktrængende. — Til dette supplerende Brug har de to nævnte Prøver og ganske særlig Hasenbäumer-Prøven i det sidste Aar fundet en udstrakt Anvendelse ved de paa Statens Planteavls-Laboratoriums Kalktrængsafdeling udførte Kalktrængundersøgelser, og den Kontrol, man derigennem i de nævnte Tvivlstilfælde har kunnet underkaste Azotobacterprøven, der i saadanne altid gentages, kan siges i ikke helt ringe Grad at have forøget Kalktrængundersøgelsens Sikkerhed.

Vi skal derefter vende tilbage til selve Azotobacterprøven for nærmere at gøre Rede for de Erfaringer, der er indvundne med denne i Aarenes Løb.

I dep med Jord forsynede og med Azotobacterraakultur podede Mannitopløsning vil man, i Henhold til hvad der i Begyndelsen af Beretningen blev oplyst om Azotobacters store Ømfindtlighed over for Syre, kunne vente, at selv et yderst ringe Syreindhold vil forhindre Azotobacterudviklingens Indledning. Men desuden maa det erindres, at der som Følge af de mannitnedbrydende Bakteriers Virksomhed foregaar en Syredannelse samtidig med Azotobacterudviklingen, og hvis Jorden ikke indeholder syrebindende Stoffer til Neutralisation af disse Syrer, vil en indledet Azotobactervegetation hurtigt standse. Azotobacterprøvens Princip kan da i Virkeligheden klargøres ved at sige, at denne Prøve inden for visse snævre Grænser giver Udtryk for Jordens Stødpudevirkning i Nærheden af Neutralpunktet eller, for at benytte sig af en anden Vending: dens Evne til at opløse Syre uden at Reaktionen i væsentlig Grad fjærner sig fra Neutralpunktet. Efter hele denne Prøves Karakter kan man ikke paa Forhaand vente, at den

er i Stand til at give kvantitative eller i Grænsetilfælde (Overgangsjorder) heller ikke helt sikre Udtryk for den nævnte Stødpudevirkning, hvis Bestemmelse i Virkeligheden er det centrale i Kalktrangsspørgsmaalet, men den er den eneste af de hidtil ved Masseundersøgelser anvendte Metoder, der overhovedet tager Hensyn til denne, og kan derfor, uanset om det er den ene eller den anden Fremgangsmaade, der benyttes ved Undersøgelsen over Jordvædsakens Brintionkoncentration, i Øjeblikket ikke undværes ved Kalktrangsundersøgelsen, specielt Undersøgelsen af de tilnærmelsesvis neutralt reagerende Jorders Kalktrang.

Ved visse Jorder, særlig saadanne med et forholdsvis ringe Stødpudeindhold omkring Neutralpunktet, hænder det undertiden, at en Gentagelse af Azotobacterprøven kan vise ret varierende Resultater, saaledes at f. Eks. en Jord, der første Gang har givet en ret kraftig til kraftig Azotobactervegetation, ved Gentagelse af Undersøgelsen ikke eller kun i ringe Grad foranlediger Azotobacterudvikling, hvad der sandsynligvis skyldes et forskelligt Forløb af Mannitforgæringen i de to Tilfælde. Ved Vurderingen af dette Forhold maa det imidlertid erindres, at et positivt Udfald af en biologisk Prøve som Azotobacterprøven ikke, under Forudsætning af et tilstrækkelig homogent Materiale, kan afkræftes af et negativt, og den Omstændighed, at en Jord har kunnet foranledige Udviklingen af en Azotobactervegetation, maa i Henhold til vort nuværende Kendskab anses som et Udtryk for, at den er i Besiddelse af en vis Stødpudevirkning omkring Neutralpunktet og derfor ikke kan være særlig stærkt kalktrængende. Men i visse Tilfælde kan det ikke undgaas, at man paa Grundlag af Azotobacterprøven kommer til at opføre Jorder som kalktrængende, der, hvis vor Opfattelse af Azotobactervegetationens Forhold til Jordens Kalktrang er rigtig, ikke er det. Men da disse Jorder, der i alle Tilfælde er tilnærmelsesvis neutralt reagerende, maa forudsættes at være forholdsvis stødpudefattige (kalkfattige) og derfor inden alt for lang Tid vil behøve Kalktilførsel, er denne Ufuldkommenhed næppe af nogen meget stor praktisk Betydning, saa meget mere som det i Henhold til de foreliggende Erfaringer og Undersøgelser kan siges at være et ret ringe Antal af de lakmusneutrale Jorder, der forholder sig paa denne afvigende Maade.

Der udføres i Øjeblikket Undersøgelser paa Statens Planteavls-Laboratorium til nærmere Belysning af Aarsagerne til de nævnte Uregelmæssigheder, og muligvis er den Dag ikke alt for fjærn, da Azotobacterprøven enten kan udvikles yderligere eller helt afløses af en anden Fremgangsmaade, der paa en mere fuldkommen, men paa samme Gang lige saa enkel og let gennemførlig Maade giver Oplysning om Jordens Stødpudevirkning.

I Jorder, der er rige paa let opløselige Kvælstofforbindelser, kan det forekomme, at der udvikles en kraftig Bakterievegetation af omtrent samme Udseende som den rigtige Azotobacterhinde, men som i Hovedsagen bestaar af nitratassimilerende eller andre æggehivedannende Bakterier. Denne Vegetation udviser sandsynligvis et andet Forhold over for Reaktionstilstanden end den rigtige Azotobactervegetation. Tilfælde af denne Art forekommer dog ved Anvendelse af almindelige Agerjorder kun meget sjældent.

I øvrigt er Fremskaffelsen af et godt og ensartet Podemateriale ikke altid den letteste Sag, og en gennemført Kontrol er paa dette Omraade en Nødvendighed. — Det kan i denne Forbindelse ogsaa anføres, at Azotobacterprøvens Gennemførelse under og efter Krigsaarene har været besværliggjort derved, at det ikke har været muligt at fremskaffe en tilstrækkelig god Mannit, idet denne ikke sjældent har været forurennet med Kalkforbindelser, eller, hvad der er værre, ligefrem indeholdt Stoffer med Evne til at hæmme Udviklingen af Azotobacterhinderne. Mannitten maa derfor undersøges nøje, inden den tages i Brug og eventuelt renses ved Omkrystallisation, hvorved Kalken, men ikke altid de væksthæmmende Stoffer, kan fjænes.

Som Følge af disse forskellige Vanskeligheder egner Azotobacterprøven sig bedst til Udførelse paa Speciallaboratorier, hvor man raader over et Personale, der er godt indøvet i Metoden og fortrolig med de Vanskeligheder, der ved denne, saavel som ved andre biologiske Undersøgelsermetoder, kan forekomme.

Alle de foran omtalte Undersøgelsermetoder er i Hovedsagen af kvantitativ Art, om end dog Azotobacterprøven til en vis Grad maa betegnes som en kvantitativ Metode. Sikre og ved Kulturforsøg afprøvede Fremgangsmaader til Bestemmelse

af Graden af Jordens Kalktrang gives for Øjeblikket ikke, men fra flere Sider er der givet betydningsfulde Bidrag til Belysning af dette Spørgsmaal. En fuldstændig Oversigt over Graden af paa den ene Side Jordens Kalktrang eller paa den anden Side Størrelsen af dens Beholdning af basiske Stoffer vil formentlig, saaledes som *N. Bjerrum* og *J. K. Gjaldbæk* (17) vistnok først har henledt Opmærksomheden paa, forudsætte Kendskab til Jordens Stødpudevirkning ved vekslende Brintionkoncentration, og for at opnaa en saadan kræves ikke en enkelt, men en Række Bestemmelser. Bestemmelser af denne Art er af stor saavel videnskabelig som praktisk Interesse, men vil i Øjeblikket være for kostbare til at kunne gennemføres ved Masseundersøgelser. Forhaabentlig vil dog ogsaa denne Side af Spørgsmaalet, paa hvilket Statens Planteavls-Laboratorium i høj Grad har sin Opmærksomhed rettet, en Gang kunne løses paa en for det praktiske Jordbrug tilfredsstillende Maade.

De her fremlagte Undersøgelsesresultater giver Anledning til at drøfte det Spørgsmaal, om der ud fra disse vil være Grund til at indføre Ændringer i den nuværende Kalktrangsundersøgelser Metodik.

Forfatterens Standpunkt til denne Sag er, at der endnu ikke er fremkommen nogen Metode, der kan gøre Azotobacterprøven overflødig. Derimod tør det siges at være et Fremskridt at erstatte Lakmusprøven med den foran omtalte kolorimetriske Bestemmelse af Reaktionstallet, der giver et mere omfattende Indblik i Jordens Reaktionstilstand, end det er muligt at opnaa ved Lakmusprøven eller andre hidtil anvendte Reaktionsbestemmelsesmetoder. Endvidere vil den mere præcise Angivelse af Jordens Reaktion gøre det muligt, bedre end hidtil at belyse visse Kulturplanters Forhold over for Jordreaktionen. Der er nemlig Grund til at gøre opmærksom paa, at de Kalkforsøg, gennem hvis Resultater der har været udøvet Kontrol med Værdien af de nu benyttede Undersøgelsesmetoder, kun i meget ringe Omfang har omfattet de erfaringsmæssigt mest kalktrængende af de i Landbruget dyrkede Kulturplanter, til hvilke maa henregnes Lucerne, Humle-Sneglebælg og Sukkerroer, og at det derfor ikke er udelukket, at disse Planter under visse Forhold stiller større Krav til Jordens Reaktionsforhold, end der kendetegnes ved Betegnelsen: kraftig Azotobactervegetation. Endvidere skal det anføres, at der for virksom Bekæmpelse af

visse ondartede Plantesygdomme, særlig Rodbrand hos Runkel- eller Sukkerroer eller Kaalbrok hos Kaalroer og Turnips, undertiden kræves et større Kalkindhold, end der svarer til den nævnte Grænse, der derimod, i Henhold til de af Forfatteren foretagne specielle Undersøgelser (18), synes tilstrækkelig til at sikre en normal og sund Stofomsætning i Jorden.

I den Vejledning ved Vurdering af Undersøgelserne af Jordens Kalktrang, der ledsager de til Konsulenterne eller Landmændene udsendte Undersøgelsesresultater, er det Afsnit, der gør Rede for, hvorledes Reaktionsbestemmelsernes Resultater skal vurderes, siden September Maaned 1922 formuleret paa følgende Maade:

Bestemmelsen af Jordens Reaktion er navnlig oplysende for de Jorder, der har udpræget lave (udpræget sur Reaktion) eller udpræget høje (alkalisk Reaktion) Reaktionstal (Reaktionstallet varierer i danske Agerjorder mellem 4.6 og 8.0).

Reaktionstal under 5.7 viser, at Jorden er stærkt kalktrængende.

- fra 5.7 til 6.0 viser, at Jorden er kalktrængende.
- over 6.8 viser, at Jorden ikke er kalktrængende.
- fra 6.1 til 6.8 oplyser intet sikkert om Jordens Kalktrang. Nærmere Vejledning maa her søges i Udfaldet af Azotobacterprøven. For de tre andre Reaktionsgruppers Vedkommende er denne Prøve ikke nødvendig og bliver ikke foretaget.

Litteraturfortegnelse.

1. *Harald R. Christensen*: Nyere Principper i Jordbundsforskningen. Tidsskrift for Planteavl 1906, 13. Bd., S. 172.
2. *K. A. Bondorff*: Om Benyttelse af Mikroorganismer til Bestemmelse af Jordens Indhold af Plantenæringsstoffer. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles Aarsskrift 1918.
3. *P. L. Gainey*: Soil reaction and the growth of Azotobacter. Journ. of Agricultural Research 1918, Bd. 14, S. 265.
4. *E. B. Fred og A. Davenport*: Influence of reaction on nitrogen-assimilating bacteria. Journ. of Agricultural Research 1918, Bd. 14, S. 317.
5. *K. Hasselbalch*: Om Lucernens Kalktrang. Ugeskrift for Landmænd 1922, S. 33.
6. *Harald R. Christensen*: Undersøgelser over Fremgangsmaader til Bestemmelse af Jordens Reaktion. Tidsskrift for Planteavl 1916, 23. Bd., S. 1.

7. *W. M. Clark og H. A. Lubs*: The colorimetric determination of hydrogen ion concentration and its applications in bacteriology. Journ. of Bacteriology 1917, Bd. 2, S. 109.
8. *W. M. Clark*: The determination of hydrogen ions. Baltimore 1920.
9. *L. J. Gillespie*: The reaction of soils and measurements of hydrogen ion concentration. Journ. of the Washington acad. of sci. 1916, Vol. 6, S. 7.
10. *L. J. Gillespie og L. A. Hurst*: Hydrogen ion concentration measurements of soils of two types: Caribou loam and Washburn loam. Soil Science 1917, Vol. 4, S. 313.
11. *Carsten Olsen*: Studier over Jordens Brintionkoncentration og dens Betydning for Vegetationen, særlig for Plantefordelingen i Naturen. Meddelelser fra Carlsberg-Laboratoriet, 15. Bd., S. 1.
12. *J. Hasenbäumer*: Einfluss der Bodenreaktion auf die Düngung und Fruchtbarkeit der Kulturboden. Mitteilung der deutsch. Landw. Gesellschaft 1921, og endvidere: *Hasenbäumer og König*, Landw. Jahrbücher, Bd. 55, S. 233.
13. *N. M. Comber*: A qualitative test for sour soils. The journal of agricultural science 1920.
14. *M. K. Kristensen*: Ny Metode til Bestemmelse af Agerjordens Kalktrang. Jydsk Landbrug 1921, S. 819.
15. *P. Christensen*: Om Metoder til Bestemmelse af Jordens Surhedsgrad (Kalktrang). Dansk Landbrugs- og Handelslaboratoriums Aarsberetning 1922.

I denne efter Udarbejdelsen af nærværende Beretning fremkomne Afhandling gives der Meddelelse om nogle sammenlignende Undersøgelser vedrørende Lakmusprøven, den kolorimetriske Reaktionsbestemmelse samt Hasenbäumer- og Comber-Prøven.

16. *Guðrun Weibull*: Om sättet at bestämma jordens reaktion. Landbruksakademiens Handlingar og Tidskrift 1921, S. 626.
17. *N. Bjerrum og K. Gjaldbæk*: Undersøgelser over de Faktorer, som bestemmer Jordbundens Brintionkoncentration. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskoles Aarsskrift 1919, S. 48.
18. *Harald R. Christensen*: Studier over Jordbundsbeskaffenhedens Indflydelse paa Bakterielivet og Stofomsætningen i Jordbunden. Tidsskrift for Planteavl 1914, 21. Bd., S. 321.

Summary.

Investigations of some new Methods for Determining the Reaction and Lime Requirement of Soil.

The paper opens with a short account of the method used here in Denmark for lime-requirement tests, based in the main on the investigations published by the author in 1906. Next the methods used in determining the actual acidity, (hydrogen-ion concentration) of the soil are discussed, with emphasis laid on the reasons why, until recently, the litmus test has been used here in Denmark in lime requirement investigations. Until a very short time ago litmus was considered the best indicator available for determining soil reactions, for only in exceptional cases is litmus solution discolored

by the soil; moreover it shows a wide range of hydrogen-ion concentration (from p_H ca. 4.5—ca. 7.8, — which is the most important domain in soil reaction investigations,) has its turning point near the actual neutral point, and gives a considerable reaction on either side of this turning point, and so, to the great facilitation of investigations in the mass, this indicator alone has sufficed in making soil tests. The greatest drawback in the use of litmus lies in the fact that it is not very sensitive to small changes in reactions, and furthermore it possesses on its own account a slight buffer action. The results of the investigations found in the paper (Table 2, p. 736, and Fig. 2, p. 748) show that within the group of soils designated »litmus-neutral«, (neutral—slightly acid, neutral, and neutral—slightly alkaline) great variations in the size of the p_H value occur (called by *K. A. Hasselbalch* the reaction figure) for it may lie between 5.0 and 7.8 (Table 2 a). These extreme figures, however, only occur by exception, while 91 % lie within the bounds of the reaction figures 6.0—7.0. The reaction figures for those soils which according to the litmus test are only designated »neutral« vary between 5.8 and 7.4, yet 99 % lie within the group showing the reaction figures 6—7, and 91 % within the group 6.0—6.8 (Table 2 b). As in lime-requirement investigations, litmus neutral soils have always been submitted to the azotobacter test, these variations have no great practical importance.

In an investigation in which 5,000 field soils (mineral soils) are used, the new American indicators, brom-phenol-blue, brom-cresol-purple, brom-thymol-blue and phenol-red (and of these the three latter are especially adapted to soil tests) are compared with the litmus and azotobacter test. However, on account of the narrow scope of their p_H domain, none of these indicators alone can take the place of litmus. In many cases it becomes necessary to use two or three indicators, and even so in making a colorimetric determination of the soil reaction an indicator which can give positive information in regard to the hydrogen-ion concentration within the bounds 4.6—5.2 is lacking. Based on a suggestion from American soil scientists, (especially *Gillespie*) the colorimetric measurements of hydrogen-ion concentrations made hitherto were taken in filtrates of the mixture of soil and water. In our experiments this mixture after standing 24 hours for clarifying was direct used to the measurements in question: When the soil is neither too poor in electrolytes, nor too clayey, a clear portion of greater or less depth appears at the top of the solution, and it is of course, only the color of this portion which is determined. The difference between the reaction figure found from this method and from filtering, is, when the fluid is clear, as a rule small, (Table 4, p. 750) and the direct use of the mixtures of soil and water in the colorimetric determination of hydrogen-ion concentration has given results which are sufficiently exact for our use.

An investigation (in which filtrates were used) of the effect which the proportion between the amount of soil and water exerts on the size of the reaction figures (see Table 5, p. 751) has shown that even a very great variation in the proportion is of small moment, and that the proportion between water and soil 1:4 (5 g. soil to 20 cm³ distilled water) used hitherto in our reaction investigations was sufficiently close. This proportion is therefore retained. In Table 1, p. 736, and Fig. 1, p. 748, we see how the 5,000 mineral soils which have been tested arrange themselves within the reaction scale. The entire material is grouped within the comparatively narrow p_H domain 4.6–8.0, while by far the largest part (74 %) lies within the p_H domain 6–7.

3200 soil samples are used to test the relation between the azotobacter development (in cultures which have been inoculated with raw azotobacter cultures: the azotobacter test) and the reaction figure for the soil. The acidity boundary for the development of azotobacter lies near the reaction figure 6.0 (in the case of vigorous azotobacter development, about 6.2), and the frequency of the appearance of azotobacter vegetation increases from that point with increasing reaction figure, and already at 6.6–6.8 has nearly reached the maximum (Table 3, p. 737, and Fig. 3, p. 748).

Tables 6–13 show a schematic summary of the relation between Hasenbäumers Method (extract of the soil with solution of chloride of potassium) and Comber's Method (extract of the soil with an alcoholic solution of Rhodanide of potassium) and soil reaction and azotobacter vegetation. Table 10 (p. 756) shows that the Comber fluid is colored red by all soils having a reaction figure under 5.8, and not before the reaction figure exceeds 6.9 is a decided red color debarred. 80 % of the soils showing the Comber reaction 'colorless', when submitted to the azotobacter test, have caused azotobacter development; vigorous azotobacter development is only reached by 68 % of the soils (Table 9, p. 754). Under the Hasenbäumer method, nearly all the soils showing a yellow color reaction have caused vigorous azotobacter development. In acid reacting soils, chloride of potassium extracts are, as a rule, considerably more acid than the watery soil extracts (Table 10, p. 756). The Hasenbäumer method is therefore powerless to express the actual degree of acidity of the soil. At a lower reaction figure than 6.0 no yellow color ever appears in the Hasenbäumer fluid, but it always appears however, when the reaction figure exceeds 6.7 (Table 11, p. 757). The two methods above described are of special interest as supplementary tests in investigating the reaction and lime requirement of the soil. In cases, especially those in which the azotobacter test is not used, there may be reasons for using these methods for a further investigation of those soils for which the litmus test or the colorimetric reaction test gives no information in regard to lime requirement. That division into more or less lime

requiring soils which is thus obtained is, however, less dependable than the one obtained by using the azotobacter test which cannot therefore yet be dispensed with in lime requirement investigations. At the present writing both the Hasenbäumer and the Comber methods are finding a comprehensive and important application at the Danish State Laboratory for Soil Culture (Statens Planteavlslaboratorium), in a closer investigation of the several cases in which the azotobacter test can only be used with difficulty.

Furthermore the principle of the azotobacter test is discussed, — briefly speaking the results of this test express, within certain narrow bounds, the 'buffer' action of the soil in the proximity of the neutral point, — and the many facts to be taken into consideration in the practical application of the test. Finally, in the case of mineral soils, it is proposed to limit the p_H domains to the printed guides sent to farmers for the understanding of the results of lime requirement tests as follows:

- A reaction figure below 5.7 shows the soil to be greatly lime requiring.
- — from 5.7 to 6.0 shows the soil to be lime requiring.
 - — above 6.8 shows the soil to be non lime requiring
(at the present time).
 - — between 6.0—6.8 indicates nothing definite in regard to the lime requirement of the soil. In such cases further information must be sought in the results of the azotobacter test. In the three other groups this test is not necessary and is not made.
-