

Om Bestemmelse af Jordopslemningers elektriske Ledningsevne.

Ved F. Steenbjerg.

395. Beretning fra Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Nærværende Afhandling redegør for den Metode, der anvendes ved Statens Planteavls-Laboratoriums jordbundskemiske Afdeling til Bestemmelse af Jordopslemningers elektriske Ledningsevne. Beretningen er udarbejdet af Afdelingsbestyrer, Dr. agro. *F. Steenbjerg*.

Forstanderne ved Statens Forsøgsvirksomhed i Plantekultur.

Indledning.

Siden 1934 er der ved Statens Planteavls-Laboratoriums jordbundskemiske Afdeling udført Bestemmelser af den elektriske Ledningsevne i Jordprøver, som hovedsagelig er udtaget i Gartnerier og i Væksthuse. En mindre Del af Jordprøverne er udtaget paa Strandenge og i udtørrede Fjorde og Havvige, hvor man ligesom i Gartneriet af en eller anden Grund har haft Mistanke om en for Planterne skadelig Saltkoncentration i Jorden.

Ved at bestemme vandige Jordopslemningers elektriske Ledningsevne under passende Betingelser faas et Maal for Mængden af letopløselige Salte (Gødningssalte eller andre Salte) i de paagældende Jorder. Saafremt der ønskes en detailleret Bestemmelse af en Jordopslemnings Saltindhold, maa Opslemningen filtreres, hvorpaa Filtratets Indhold af Kationer og Anioner kan bestemmes ved særlige kemisk-analytiske Metoder. En saadan Fremgangsmaade vil imidlertid være saa bekostelig, at den ikke i Almindelighed kan anvendes. En Maaling af den

elektriske Ledningsevne i en Jordopslemning er derimod forholdsvis hurtig, og Maaleresultatet er et ret godt Udtryk for samtlige i Jordopslemningen tilstedeværende Salte.

Ved Maaling af den elektriske Ledningsevne søger man alene at bestemme, hvorvidt de paagældende Jorder er overgødet eller paa anden Maade — f. Eks. ved Oversvømmelse af Havvand — er kommet til at indeholde for store Saltmængder. Derimod er det absolut udelukket, at Metoden kan anvendes til Bedømmelse af, hvilke Gødninger eller Gødningsmængder en given Jord bør tilføres.

Metodik.

Ved Bestemmelse af Jordopslemningers Ledningsevne er følgende Fremgangsmaade blevet fastlagt: 25 g lufttør Jord overføres til en 300 ml Erlenmeyerkolbe, hvorpaa der tilsættes 225 ml destilleret Vand. Kolben anbringes i et Stohmann-Rysteapparat, som derpaa roterer en Time. Efter Rystningen staar Kolben ca. $\frac{1}{2}$ Time, for at de større Jordpartikler kan bundfældes, hvorefter Maalingen foretages. Elektroderne skylles først et Par Gange i lidt af Jordopslemningen, der hældes op i et Cylinderglas. Cylinderglasset fyldes paany, og Opslemningens Modstand maales. De benyttede Elektroder, der er overtrukket med et Lag Platinsort, er anbragt i fast Afstand fra hinanden og beskyttet af en Glasklokke. Ved Modstandsmaalingen benyttes Vekselstrøm for at undgaa Polarisation.

Elektrodernes Modstandskapacitet bestemmes saaledes, som det er beskrevet i *F. Kohlrausch* og *L. Holborn*: *Das Leitvermögen der Elektrolyte*. Leipzig og Berlin 1916. Se Siderne 12 og 75 samt Tabel 13, Side 218.

Af praktiske Grunde bliver den specifikke Ledningsevne, som er omvendt proportional med den maalte Modstand (udtrykt i Ohm), multipliceret med 10^4 , og det fremkomne Tal benævnes Ledningstallet (Lt.). Herved opnaas det, at Maaleresultaterne bliver af samme Størrelsesorden som de øvrige Tal — Reaktionstal, Fosforsyretal o. s. v. — der anvendes i Jordbruget. Alle Maalinger foregaar ved 20^0 C.

Ved Udarbejdelse af en Metode til Ledningstallets Bestemmelse blev Rystetidens Indflydelse undersøgt. Da Ledningstallet maatte antages at være et Maal for Jordens Indhold af letopløselige Salte, var der ingen Grund til at vente nogen større Forskel paa Ledningstallet, hvad enten Rystetiden var 1, 2 eller 3 Timer.

Tabel 1. Ledningstal ved varierende Rystetid.

Løbe Nr.	Rystetid 1 Time	Rystetid 2 Timer
10828	4.1	4.1
10829	3.6	3.6
10830	1.6	1.6
10715	1.4	1.5
10716	1.4	1.5
11597	1.2	1.3
11598	1.5	1.5
11599	1.2	1.2
11872	5.4	5.5
11873	5.8	5.9
10469	1.9	2.1
10470	2.4	2.4

Tabel 2. Ledningstal ved varierende Rystetid.

Løbe Nr.	1 Time	3 Timer	27 Timer ¹⁾
6819	9.6	11.2	12.2
7114	1.9	1.7	2.9
7468	17.6	19.5	21.8
10829	3.6	3.9	4.4
11873	5.8	6.1	8.5
12414	1.2	1.7	2.4
12876	6.2	5.4	6.4
13666	4.2	4.2	5.6

¹⁾ Ikke rystet og maalt paa samme Tid som de andre Forsøg (1 Time og 3 Timer).

Dette bekræftes af Tabellerne 1 og 2. Ledningstallene er nogenlunde ens, enten der rystes 1, 2 eller 3 Timer. Ved at forlænge Rystetiden til 27 Timer (Tabel 2), stiger Ledningstallet lidt; men opstilles Jorderne i Rækkefølge efter Ledningstallenes Størrelse, vil det ses, at Rækkefølgen ikke ændres ved varierende Rystetid. Andre Undersøgelser har vist, at denne Rækkefølge heller ikke forandres, hvis Forholdet mellem Jord og Vand ændres. Eksempelvis ses i Tabel 3 Resultatet af en saadan Undersøgelse, hvor Jordmængden varierede fra 12.5 g til 50 g (225 ml destilleret Vand).

Det blev derpaa undersøgt, hvorledes Ledningstallet reproduceres ved en Rystetid paa 1 Time. Som det ses af Tabel 4 er Reproducerbarheden saa god, som det kan forlanges.

Tabel 3.
Ledningstal ved varierende Jordmængde og Rystetid.

Jord Nr.	12.5 g Jord			25 g Jord			50 g Jord		
	Timer			Timer			Timer		
	1	3	24	1	3	24	1	3	24
I.....	1.7	1.8	2.8	2.7	2.9	3.8	4.1	4.6	6.3
II.....	2.8	2.8	3.5	4.7	4.7	5.7	7.6	7.9	9.3
III.....	3.6	3.8	4.2	6.9	6.9	7.7	10.9	10.9	12.2
7114.....	1.6	1.8	2.4	—	—	—	2.4	2.7	3.9

Tabel 4. Ledningstal. Reproducerbarhed.

Løbe Nr.	1. Maaling	2. Maaling
5167	8.8	8.6
5168	4.3	4.2
5171	1.5	1.6
5730	1.1	1.0
5731	1.0	1.0
5732	1.1	1.2
5733	1.1	1.2

Ledningstallets Afhængighed af Gødskningen. Ledningstallets Betydning.

Der foreligger efterhaanden mange Maalinger, som viser, at Ledningstallet stiger, naar Tilførslen af letopløselige Gødningssalte øges. Eksempelvis findes i Tabel 5 Laboratorieresultater, som viser dette Forhold. Der tilførtes i Opløsning 0,83 Millimol (mmol.) af de forskellige Salte pr. 25 g Jord. Jorden stod et Døgn, hvorefter den blev lufttørret. Ledningstalletenes Stigning er ikke helt ens for de forskellige Jorder, men dog af samme Størrelsesorden. Det kan beregnes, at Stigningen i Ledningstallet skal ligge omkring 4. Nederst i Tabel 5, hvor den gennemsnitlige Stigning for Ledningstallet er anført for 7 Jorder, ses det, at man nærmer sig denne Værdi for Ledningstallets Stigning, uanset det tilsatte Salt.

Ved disse Undersøgelser var Jorden før Tørringen saa vaad, at en Del Salt formentlig er optaget af det Papir, hvorpaa Jorden tørredes. Ved Forsøgene, hvorfra Resultaterne i Tabel 6 stammer, blev dette undgaaet. Her er desuden tilsat to forskel-

lige Saltmængder pr. 25 g Jord, og Jorden henstod 1 eller 2 Døgn efter Salttilsætningen, før den blev tørret. Det ses blandt andet, at Ledningstallenes gennemsnitlige Stigning nu ligger helt ens for de tre Jorder.

Tabel 5. Ledningstal ved forskellig Salttilsætning og varierende Rystetid.

Jord	Ingen Tilsætning			Tilsat 0.83 mmol. NaNO ₃			Tilsat 0.83 mmol. NaCl			Tilsat 0.83 mmol. KCl			Gens. Stigning af Lt.
	Timer			Timer			Timer			Timer			
	1	3	24	1	3	24	1	3	24	1	3	24	
Tystofte ..	0.8	0.8	1.1	4.0	4.2	4.5	4.3	4.3	4.6	4.2	4.3	4.6	3.4
Studsgaard	0.5	0.5	0.6	3.1	3.3	3.4	3.2	3.3	3.5	3.6	3.8	3.6	2.9
Rønhave ..	1.6	1.7	2.2	6.3	6.3	6.6	9.3	9.3	9.9	7.0	7.0	7.6	5.9
Virumgrd..	0.7	0.8	1.0	5.4	5.8	5.8	5.0	5.2	5.4	4.5	4.7	4.8	4.4
Lundgaard	0.6	0.6	—	3.6	3.7	—	3.1	3.5	—	3.2	3.5	—	2.3
Havejord..	1.9	1.9	—	4.9	5.5	—	6.6	7.0	—	6.0	6.3	—	4.2
Stokkemrk.	2.1	—	—	4.7	4.7	—	5.0	5.3	—	—	—	—	2.8
Gns. Stigning af Lt.....				3.4	3.8	3.9	4.0	4.4	4.6	3.7	3.9	4.0	—

Tabel 6. Ledningstal ved Tilsætning af varierende Saltmængder. Varierende Rystetid.

Jord	Tilsat 0.83 mmol. NaNO ₃		Tilsat 1.65 mmol. NaNO ₃		Tilsat 0.83 mmol. KCl		Tilsat 1.65 mmol. KCl		Gens. Stigning af Lt.			
	Timer		Timer		Timer		Timer		0.83 mmol.		1.65 mmol.	
	1	24	1	24	1	24	1	24	1	24	1	24
Henstand 2 Døgn												
Virumgaard ..	4.8	4.8	9.0	9.0	5.3	5.3	10.1	10.1	4.4	4.1	8.3	8.6
Studsgaard ...	4.3	4.5	8.1	8.1	5.0	5.1	9.2	9.2	4.2	4.2	7.6	8.1
Rønhave	5.5	5.7	9.0	9.1	6.1	6.5	9.8	10.0	4.2	3.9	7.4	7.4
Henstand 1 Døgn												
Virumgaard ..	5.0	5.1	8.9	9.0	5.4	5.4	9.6	10.0	4.5	4.3	8.2	8.5
Studsgaard ...	4.5	4.6	7.9	8.2	5.0	5.1	9.4	9.5	4.3	4.3	7.4	8.3
Rønhave	5.6	5.9	9.5	9.3	6.1	6.1	9.8	10.4	4.3	3.8	7.9	7.7
Gens. Stigning.	4.0	3.8	7.8	7.5	4.6	4.3	8.7	8.6	—	—	—	—

Det har desuden vist sig, at Tilførsel til Jorden af et saa forholdsvis tungtopløseligt Stof som Gibs bevirker, at Ledningstallet stiger. Paa samme Maade virker iøvrigt Superfosfat, hvis primære Kalciumfosfat i Jorden hurtigt overføres til tungtopløselige Forbindelser. Nedenfor anføres Ledningstallene (Tabel 7) fra nogle af Konsulent A. Klougart indsendte Jordprøver. Disse Jordprøver blev udtaget i et Forsøg, hvor der var tilført stigende Gibsmængder.

Tabel 7.
Ledningstal ved varierende Rystetid og Gibstilsætning.

Indsendt	g Gibs ($\text{CaSO}_4, \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) pr. Liter Jord	1 Time	3 Timer	24 Timer
26/4 1945	0	1.2	1.3	2.3 ¹⁾
	3	5.5	5.6	5.9 ¹⁾
	12	7.8	8.0	8.3 ¹⁾
6/6 1945	0	1.9	2.1	2.4
	3	4.7	4.7	5.4
	12	8.6	9.0	9.8
18/7 1945	0	1.6	1.7	2.2
	3	4.0	4.3	4.8
	12	7.2	7.4	7.7

¹⁾ Ikke rystet og maalt paa samme Tid som de øvrige Prøver fra denne Udtagningsdato.

Som det ses stiger Ledningstallet ved stigende Gibstilsætning, uanset om Rystetiden er 1 eller 24 Timer.

Hvad betyder et Ledningstal paa f. Eks. 1; hvilken Saltmængde svarer det til? Der findes i Jorden forskellige Salte (Ioner), som hver for sig bidrager til det maalte Ledningstal. Denne Saltblandings Sammensætning kan selvfølgelig ikke bestemmes ved Hjælp af Ledningstallet. Derimod kan det tilnærmelsesvis beregnes, hvor stor en Mængde f. Eks. af Kaliumgødning et vist Ledningstal i Jordopslemningen svarer til. Til en saadan Beregning kan Maalinger over Ledningsevnen i Opløsninger af Kaliumklorid af varierende Normalitet anvendes. Nedenstaaende Værdier for Kaliumkloridopløsningers Styrke ved forskellige Ledningstal er beregnede ud fra *Kohlrausch* og *Holborns* Maalinger.

Ledningstal	Millimol KCl pr. Liter
1	0.8
2	1.5
3	2.3
4	3.1
5	4.0
6	4.8
7	5.6
8	6.4
9	7.3
10	8.2

Man kan nu beregne Størrelsesordenen af den letopløselige Saltmængde — udtrykt som Kaliumklorid — der er til Stede i Jordopslemningerne. Man finder da, at et Ledningstal paa 1 vilde svare til, at der i de 25 g Jord i Rysteflasken fandtes en Saltmængde omtrentlig svarende til 2000 kg 40 pCt. Kaligødning pr. ha, naar Vægten af det øverste Jordlag pr. ha sættes til 2500 Tons. Et Ledningstal paa f. Eks. 3 svarer altsaa til ca. 6000 kg 40 pCt. Kaligødning pr. ha, og det er forstaaeligt, at Skadevirkningen begynder at blive mærkbar ved dette Ledningstal. Det maa imidlertid erindres, at 40 pCt. Kaligødning ogsaa indeholder andre Salte end netop Kaliumklorid, Salte, som bidrager til det maalte Ledningstal. Det ovenfor anførte Tal paa 2000 kg angiver derfor en højeste Værdi. For Chilesalpeter, der indeholder ca. 95 pCt. Natriumnitrat, kan Beregningen gennemføres med noget større Sikkerhed, og man finder her, at et Ledningstal paa 1 svarer til en Chilesalpetermængde paa omkring 1600 kg pr. ha.

Som det fremgaar af Tabellerne 1 til 5, varierer Ledningstallet betydeligt; der er iøvrigt maalt Ledningstal helt op til 60. I de ca. 2300 Jordprøver, der er blevet undersøgt gennem Aarene 1934 til 1945 i Lyngby, og som er udtaget i Frilandsgartnerier, Væksthuse og Privathaver, har Ledningstallet hyppigst ligget omkring 1.5, medens det gennemsnitlige Ledningstal var 3.9. I Landbrugsjord er Ledningstallet som Regel ca. 0.5.

I Henhold til Undersøgelser af Alm. dansk Gartnerforenings Konsulenter begynder Skadevirkningen i Væksthuse at gøre sig mærkbart gældende ved Ledningstal paa 3 og derover, og det tilraades at lade Jorden udskifte. Jo mere Ledningstallet stiger over 3, desto mere fremtrædende bliver Skadevirkningen (se iøvrigt Aarbo for Gartneri 1934 og 1935).

Det maa altid erindres, at Ledningstallet kun er udarbejdet til Brug for en Undersøgelse af, om en given Jord er overgødet eller ej. Hvis der ønskes Oplysninger om Jordens Kalktilstand, Fosforsyretilstand o. s. v., maa de til dette Formaal benyttede Analysemetoder bringes i Anvendelse.

Ledningstallet har nu været i Brug i en Aarrække, især af Gartneriet; det maa i Henhold til de Erfaringer, der er gjort af Gartneriets Konsulenter, siges at være et anvendeligt Hjælpe-middel, naar det drejer sig om at skønne, hvorvidt en Jord er saa kraftigt gødet, at Kulturplanterne skades. Fortsatte Undersøgelser og Iagttagelser vil maaske vise, at andre supplerende Metoder vil kunne bringes i Anvendelse.