

herrschen, da aus einer Tabelle von Kohlrausch¹⁾ hervorgeht, dass die Temperaturcoefficienten der Natriumsalze immer beträchtlich höher stehen, als die der entsprechenden Kaliumverbindungen.

Dass gegen reines Wasser zu die sämtlichen Curven so steil in die Höhe gehen, könnte auf den Gedanken bringen, dass auch das völlig reine Wasser einen ausgesprochenen Temperaturcoefficienten vom gleichen Vorzeichen, wie die gewöhnlichen Electrolyte, besitzt. Allein die grosse Veränderlichkeit der Werthe α lässt ebenso leicht die Möglichkeit zu, dass die Curve nochmals umkehrt und sogar schliesslich gleich Null wird.

Jedenfalls ist aus den obigen Untersuchungen ersichtlich, dass die Verhältnisse der Electricitätsleitung, welche bei grossen Verdünnungen sich so übersichtlich gestalten, im Grenzfall, d. h. beim Uebergang zum reinen Wasser, wieder erhebliche Complicationen erfahren.

München, im Mai 1887.

VII. Ueber das electricische Verhalten des Steinsalzes; von Ferdinand Braun.

(Hierzu Taf. VI Fig. 10–14.)

1. Steinsalz ist bekanntlich optisch isotrop, während es sich für die mechanische Elasticität nach verschiedenen Richtungen verschieden verhält. Sein Elasticitätsmodul ist nach den Bestimmungen von Voigt²⁾ parallel zu den Normalen der Würfel­fläche, der Rhombendodekaederfläche und der Octaederfläche resp. 4170; 3400; 3180 (kkgew/qcm). Es schien mir von Interesse, sein electricisches Verhalten kennen zu lernen, umsomehr als Steinsalz für Licht (resp. strahlende Wärme) von sehr grosser Wellenlänge ausserordentlich durchlässig ist. Nach den Anschauungen von Maxwell würde man daher eine sehr hohe Isolationsfähigkeit von ihm er-

1) Kohlrausch, Wied. Ann. 25. p. 223. 1885.

2) Voigt, Dissertation. Leipzig 1874.

warten dürfen; andererseits gestattet seine Diathermansie, den Brechungsexponenten für Strahlen von grosser Wellenlänge direct zu bestimmen. — Es zeigte sich, dass Steinsalz, wenn es auch nicht vollkommen isolirt, doch so schlecht leitet¹⁾, dass Bestimmungen seiner Dielectricitätsconstante sehr wohl durchzuführen sind, wenn man es in gut getrockneten Räumen untersucht.

2. Ehe ich weiter gehe, möchte ich einfache Apparate erwähnen, welche mir für die Untersuchung von wesentlichem Vortheil waren. Es sind dies kleine Electrometer, welche die Potentiale direct in Volts abzulesen gestatten. Sie bieten, abgesehen von der Bequemlichkeit, nichts wesentlich Neues. — Für Potentiale bis zu etwa 800 Volts benutze ich Goldblatt-electroskope mit einem einzigen Goldblattstreifen; derselbe wird von einem feststehenden, mit ihm auf gleiches Potential geladenen Metallstreifen abgestossen und spielt über einem Kreisbogen, welcher die Theilung in Volts trägt. Das Ganze ist bis auf geringfügige Partien in ein Metallgehäuse eingeschlossen. Auf diese Weise wird die Ablenkung ausschliesslich von geraden Potenzen der Potentialdifferenz zwischen Gehäuse und Goldblatt bestimmt, und man ist von der Vertheilung der Potentiale zwischen beiden vollständig unabhängig. Mehr oder weniger vollkommene Isolation des Gehäuses ist ganz gleichgültig, wenn nur beide mit den Punkten, deren Potentialdifferenz gemessen werden soll, verbunden sind. Bei isolirtem Gehäuse können daher die „absoluten“ Potentiale beliebig hoch liegen. Ebenso kann das Goldblatt dann „zur Erde abgeleitet“ sein, ohne dass der Ausschlag für die gleiche Potentialdifferenz sich ändert. Auf diese Eigenschaften lässt sich eine einfache Aichungsmethode gründen. — Die Capacität solcher Electrometer ist etwa 17 cm; die Ausschläge sind so, dass bei Beobachtung mit einem schwach vergrössernden Mikroskop einem Scalenthail des Ocularmikrometers nahezu ein Volt entspricht, sodass noch 0,1 Volt gemessen werden kann. Die Theilung ist ziemlich

1) Vgl. auch J. Curie, Beibl. 11. p. 260. 1887. Compt. rend. 103. p. 928. 1886.

gleichmässig. — Da diese Electrometer wegen des leicht zerreissenden Goldblattes nur mit grosser Vorsicht zu handhaben sind, so benutze ich noch andere, von welchen Fig. 10 den wesentlichen Theil zeigt. Der Geschicklichkeit des hiesigen Mechanikers, Hrn. Albrecht, ist es gelungen, die Aluminiumstreifen *AA* so herzustellen, dass ihre Masse bei genügender Festigkeit sehr gering ist, ihr Schwerpunkt nahe unter der Drehungsaxe (in feinen, gehärteten Spitzen gehend) liegt, und man daher mit ihnen fast die Empfindlichkeit eines Goldblatt-electrometers erreicht. Ihre Einstellung ist ziemlich sicher, wenn auch nicht so sicher, als die eines Goldblattes. Instrumente, welche grössere Spannungen messen sollen, lassen sich in gleicher Weise mechanisch leichter anfertigen. Potentiale bis zu 4000 und 6000 Volts können auf 10 Volts genau und sicher abgelesen werden. Wenn man den Aluminiumstreifen in einer mit dem festen Metallstreifen verbundenen, sich allmählich öffnenden Gabel spielen lässt, so entsprechen gleichen Potentialzunahmen an einer Stelle der Scala viel grössere Zunahmen des Ausschlages als an anderen Theilen derselben, und es ist auf diese Weise die Empfindlichkeit dort erhöht. (Die in der Figur angegebene Theilung ist die eines Instrumentes mittlerer Empfindlichkeit ohne Gabel.) — Wird das Electrometer nicht direct geladen, sondern nur mit der Influenzelectricität zweiter Art, welche in einer Platte erregt ist, die einer mit der Quelle verbundenen gegenübersteht, so kann man bewirken, dass seine Angaben, mit 5 oder 10 multiplicirt, die Potentiale der Quelle messen. — Bei den Instrumenten für höhere Spannung ist der Gradbogen mit dem festen Metallstreifen verbunden. Der Vorsprung *B* bewirkt, dass das Pendel niemals an das Gehäuse anschlägt; es können auf diese Weise empfindlichere und weniger empfindliche Electrometer gleichzeitig ohne Gefahr für den Apparat oder Unbequemlichkeit für den Versuch eingeschaltet werden. — Die Aichungsmethoden will ich hier nicht besprechen, sondern nur erwähnen, dass bei denselben zurückgegangen wurde auf die magnetisch genau bekannte electromotorische Kraft des Latimer-Clark'schen Elementes.

3. Da ich kleine Unterschiede im electrischen Verhalten

(Dielectricitätsconstante und Leitungsvermögen) messen wollte, so benutzte ich die folgende Differentialmethode. Es seien zwei Condensatoren (Fig. 11) gegeben. Die beiden Platten A_1 und A_2 seien untereinander verbunden; die Platten B_1 und B_2 isolirt und von ihnen dünne Drähte je nach einem Quadrantenpaare eines Thomson'schen Electrometers geführt. Es soll angenommen werden, dass man von der Capacität der Drähte absehen kann. Ladet man die Platten A_1 und A_2 zum Potential V , so mögen B_1 und B_2 durch Influenz annehmen die resp. Potentiale v_1 und v_2 . In diesen Platten werden die resp. Electricitätsmengen $-E_1$ und $-E_2$ erregt und festgehalten und $+E_1$ und $+E_2$ zu den Quadranten abgestossen. Bezeichnet C_1 und C_2 die Capacität der Condensatoren, γ_1 und γ_2 diejenige der entsprechenden Quadrantenpaare, so ist:

$$-E_1 = C_1(V - v_1) = v_1\gamma_1, \quad -E_2 = C_2(V - v_2) = v_2\gamma_2.$$

Die Ausschläge des Electrometers seien (eventuell nach Anbringung einer Correction) den Potentialen v_1 und v_2 proportional; sie seien s_1 und s_2 , so ist, wenn A eine Constante bezeichnet:

$$As_1 = v_1; \quad -As_2 = v_2.$$

Es sei Q die Fläche einer der (einander gleichen) ebenen Condensatorplatten, m der Abstand der Platten, n die Dicke der eingelegten dielectricischen Platte, D deren Dielectricitätsconstante, so ist (wenn die Platten gross sind gegen die Abstände) annähernd:

$$C = Q/4\pi \cdot (m - n + n/D),$$

Aus den Gleichungen folgt:

$$(1) \quad \frac{C_1}{C_2} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{V - v_2}{V - v_1}.$$

Macht man $\gamma_1 = \gamma_2$, so wird:

$$(2) \quad \frac{C_1 - C_2}{C_2} = \frac{V(v_1 - v_2)}{(V - v_1)v_2} = A \cdot \frac{V}{(V - v_1)v_2} \cdot (s_1 + s_2).$$

Ist ferner $Q_1 = Q_2$; $m - n = 0$, d. h. sind die Platten der beiden Condensatoren gleich gross und der Zwischenraum zwischen den Belegungen ganz mit dem Dielectricum gefüllt, so wird:

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{n_1}{n_2} \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{V - v_2}{V - v_1}.$$

Ist n_2 wenig von n_1 verschieden, und setzt man $n_1 = n_2 + \delta$, so wird endlich:

$$(3) \quad \frac{D_1 - D_2}{D_2} = \frac{V(v_1 - v_2)}{v_2(V - v_1)} + \frac{\delta}{n_2} \cdot \frac{v_1}{v_2} \cdot \frac{V - v_2}{V - v_1}.$$

Von den Ausdrücken dieser Gleichung lässt sich $v_1 - v_2$ leicht genau bestimmen; mit der gleichen procentischen Genauigkeit ergibt sich durch eine sehr einfache Beobachtung mit Hilfe der vorher beschriebenen Electrometer (von bekannter Capacität) v_2 .

4. Die Methode gestattet, mit Condensatoren von kleiner Capacität noch geringe Unterschiede der Dielectricitätsconstante zu ermitteln, und lässt sich unter Benutzung eines Condensators von in messbarer Weise variabler Capacität auch allgemeiner verwenden; sie macht aber folgende Voraussetzungen: 1) Werden beide Quadranten auf gleiches und vom Potential des Electrometergehäuses verschiedenes Potential geladen, so darf kein Ausschlag entstehen. 2) Die Capacität der beiden Quadranten muss, wenigstens nahezu, gleich sein. Von der unvermeidlichen kleinen Differenz der Capacitäten befreit man sich durch Commutiren. Will man dauernde grössere Ablenkungen benutzen, so muss 3) die Capacität der Quadranten constant, d. h. von der Zeit und von der Stellung der Nadel gegen die Quadranten unabhängig sein.

Die erste Bedingung war bei meinem Instrument nicht ohne weiteres erfüllt. Man findet aber leicht eine Quadrantenstellung, bei welcher sie in einem ausreichend grossen Intervall stattfindet. Dies mag beispielsweise die folgende Reihe zeigen.

1 Volt Potentialdifferenz = 36 Scalenth.

Beide Quadrantenpaare geladen auf	Ablenkung	Beide Quadrantenpaare geladen auf	Ablenkung
600 Volts	+ 6,5 ⁸⁰	1000 Volts	+ 1,3 ⁸⁰
700 „	5,2	1100 „	— 3,0
800 „	4,7	1300 „	— 21,5
900 „	2,0		

Innerhalb der Ladungen von etwa 800 bis 1000 Volt genügt also eine ganz approximative Bestimmung des Potentials, um für die durch gleich hohe Ladung der Quadranten entstehende Ablenkung eine durchaus sichere Correctur anbringen zu können. — Zu beachten ist nur, dass andere Ablenkungen entstehen, wenn das Vorzeichen der Ladung vertauscht wird. Man muss daher stets dieselbe Electricitätsart verwenden.

Benutzt man nur kurze Ladungszeiten, so ergibt sich betreffs der Empfindlichkeit der Methode das Folgende: Die Schwingungsdauer meiner Aluminiumnadel war 6 Sec.; nimmt man an, 1 Volt gebe 40 Scalenth. dauernde Ablenkung, so berechnet sich, dass 1 Volt bei einer Ladungszeit von 0,5 Sec. rund 10 Scalenth. einmaligen Ausschlag bewirkt. Da eine Ladung auf 1000 Volt sehr wohl möglich ist, so gestattet die Methode mit Sicherheit, noch Differenzen der Capacitäten von $\frac{1}{10000}$ zu erkennen. — Condensatoren von kleinen Dimensionen und so grossen Abständen, dass eine Störung durch Staub etc. nicht zu fürchten ist, genügen schon. Ein Luftcondensator, dessen Platten etwa 23 qcm Fläche und 15 mm Abstand hatten, gab bei Ladung mit 3800 Volts ein Influenzpotential von 170 Volts und würde daher schon 0,06 Proc. Unterschied haben erkennen lassen (1 Scalenth. Ausschlag entsprechend). —

Die zweite Bedingung ist wohl nie bei Electrometern erfüllt. Es wurde deshalb mit dem Quadrantenpaar kleinerer Capacität noch ein in seinen Dimensionen passend gewählter Cylindercondensator verbunden, dessen Capacität geändert werden konnte. Gleiche Capacitäten wurden nun in folgender Weise hergestellt (Fig. 12). *a* ist eine mit Stanniol überzogene Spiegelglasplatte; *b* und *c* sind die *a* gegenüberstehenden Belegungen eines Luftcondensators. Sie sind gebildet aus zwei miteinander abgedrehten, gleich dicken, eben geschliffenen Messingplatten, an deren Rückseiten in der Mitte dünne Drähte angelöthet sind. Sie stehen der Platte *a* symmetrisch gegenüber und liegen in einer Ebene. Dies erreicht man, indem man an die Platten seitlich 3 Siegellackstücke ankittet; solange der Siegellack noch warm ist, werden die

Platten auf eine Spiegelglasplatte aufgedrückt. Mit den Siegelackstücken werden die Platten auf 3 Schellacksäulchen von ca. 15 mm Höhe aufgelegt. Diese sind von gleicher Länge in folgender Weise hergestellt: Das untere Ende eines genügend langen Schellackstäbchens wird erwärmt und eben gedrückt, mit diesem Fuss auf eine ebene Glasplatte gesetzt, und um es herum ein genau gleich dick abgedrehter Metallring gelegt. Dann wird das obere Ende des Schellackstäbchens durch Erwärmen weich gemacht und eine ebene Glasplatte auf den Metallring aufgedrückt. Man findet unter mehreren Stäbchen solche, welche bis auf 0,01 mm gleich lang sind. —

Was endlich die dritte Bedingung betrifft, so war die Capacität meiner Electrometerquadranten aussergewöhnlich gross, weil die Unterflächen derselben sich nur wenige Millimeter von Metallplatten entfernt befanden. Sie waren von denselben durch Schellack und gut isolirendes Glas getrennt. Von der Amplitude erwies sich die Capacität in Folge dessen fast unabhängig. — Die Capacität eines Quadrantenpaares war durch Theilung der Ladung mit einem Kohlrausch'schen Luftcondensator, dessen Capacität nach den Kirchhoff'schen Formeln¹⁾ aus den Dimensionen berechnet wurde, bestimmt. Sie fand sich:

$$\gamma = 60,5 \text{ cm} = 6,708 \cdot 10^{-11} \text{ Farad.}$$

Eine Ladung auf mehrere Hundert Volts liess, trotz der in dieser Hinsicht ungünstigen Beschaffenheit des Electrometers, keine merkbare Differenz an Rückstandsbildung in dem Isolationsmaterial der beiden Quadrantenpaare erkennen, wenn die Ladung nicht länger als eine oder wenige Minuten gewährt hatte. —

Eine wesentliche Bedingung ist endlich, dass überall sehr gute metallische Leitung hergestellt ist. Ein Fehler in dieser Richtung kann Veranlassung zu groben Irrthümern geben. Die Verbindungen müssen fast ebenso vollkommen sein als für galvanometrische Messungen. Dies gilt auch für die Verbindungen der inneren Belegungen sowohl, als der

1) Kirchhoff, Ges. Abhandlungen p. 112.

äusseren von Leydener Flaschen und insbesondere auch für die sogenannten Erdleitungen, d. h. für die metallischen Verbindungen mit dem Gehäuse des Electrometers; ich nenne „absolute Potentiale“ die Differenzen gegen das Potential dieses Apparattheiles. — Die Electrometernadel war mit einer gut leitenden Batterie von 160 Latimer-Clark'schen Elementen geladen.

5. Lässt man die Verbindung der Condensatoren mit den Quadranten längere Zeit dauern, oder leitet man sie für einen Augenblick zur Erde ab (um ihnen nicht unnötig lange Zeit grosse Potentiale zu geben) und isolirt dann wieder, so misst das Electrometer gleichzeitig den durch die Dielectrica fliessenden Strom und wirkt wie ein Differentialgalvanometer, oder bei dauernder Ableitung eines Quadrantenpaares wie ein Galvanometer.

6. Für die folgenden Versuche hatte ich das Electrometer so eingestellt, dass die Ablenkungen waren:

Beide Quadranten auf	0	100	200	500	700	Volts
Ablenkung	0	2	4	6	14	Scalenth.

Die Ladungen bewegten sich zwischen 100 und 200 Volts. 1 Volt Potentialdifferenz gab 23 Scalenth. Ablenkung.

Mittelst des Luftcondensators wurden nun die Capacitäten der Quadranten so weit ausgeglichen, dass 3800 Volts, welche der einen Condensatorbelegung mitgetheilt wurden, und welche 170 Volts in den anderen, mit dem Electrometer verbundenen Condensatorplatten erregten, 2 Scalenth. Ablenkung gab.

Ich begnügte mich, mit ersten Ausschlägen oder auch mit kurz dauernden constanten Ablenkungen zu messen.

Dielectrisches Verhalten des Steinsalzes.

7. Für die ersten Versuche diente eine ausgesucht reine, optisch fast isotrope Steinsalzsäule, die zunächst von quadratischem Querschnitt hergestellt war. Die Länge war 68 mm, die Breite 17,4 mm; die Längskanten waren so abgeschliffen, dass der Querschnitt ein regelmässiges Achteck wurde. In die Mitte war ein cylindrischer Canal von 5 mm Durchmesser bis auf 7 mm Abstand vom Boden gebohrt. Die Säule wurde

mit ihrer Basis in Paraffin eingeschmolzen, der innere Canal bis 15 mm unter den Rand mit Quecksilber gefüllt und an zwei der äusseren Säulenflächen (eine Würfel- und eine Granatoëderfläche) eine Stanniolbelegung von je 5×47 mm angebracht, indem man den mit Wasser befeuchteten Streifen glatt aufstrich. Der obere und untere Rand des Streifens stand etwa 8 mm vom oberen Rand der Säule, resp. vom Paraffin, in welches die Säule gesetzt war, ab.

Die Säule befand sich unter einer innen mit Stanniolstreifen bezogenen Glasglocke. Durch einen aufge kitteten Metalldeckel führten, mit Schellack isolirt, ein Draht, welcher in das Quecksilber tauchte; ferner zwei Drähte, welche mit Stückchen dünner blanker Uhrfedern die Stanniolbelegungen berührten. An diese Drähte schlossen sich die Leitungen zu den Quadranten an. Alle umgebenden Metalltheile waren abgeleitet. — Phosphorsäureanhydrid hielt den Innenraum trocken.

Bei einem Ladungspotential von 3600 Volts des Quecksilbers wurden influencirt auf einem Quadranten 180 Volts; das Electrometer zeigte dabei eine Potentialdifferenz der beiden Quadranten von 1,8 Volts an. Danach ist:

$$\frac{\text{Dielectricitätsconstante } \perp \text{ zur Granatoëderfläche}}{\text{Dielectricitätsconstante } \perp \text{ zur Würfelfläche}} = \frac{181,8}{180} = 1,01,$$

wenn beide Flächen denselben Abstand von der Axe der Säule besaßen. Auf mehr als 1 Proc. ist dies nicht zu garantiren, d. h. in diesen Richtungen ist Steinsalz dielectrisch isotrop innerhalb der möglichen Fehlergrenzen.

8. Aus einem grossen, homogenen und sprungfreien Steinsalzwürfel wurden zwei Platten hergestellt; sie sollen als Plattenpaar I bezeichnet werden; die eine war senkrecht zur Würfelnormale (im Mittel 4,376 mm dick), die andere senkrecht zur Octaëdernormale (4,232 mm dick) geschnitten. Sie waren annähernd planparallel (grösste Differenz bei der einen 0,044; bei der dickeren 0,10 mm)¹). Sie wurden, um

1) Ueber den Einfluss der ungleichen Dicke einer Platte vgl. Boltzmann, Wien. Ber. (2) 67. p. 75. 1873.

die Flächen möglichst auszunutzen, mit dreieckigen Stanniolbelegungen von 849 qmm Inhalt beklebt, so, dass bei horizontal gelegter Platte (auf einen Spiegel) die Ränder der Belegungen vertical übereinander standen. Die Platten wurden vertical stehend mit ihrer unteren Kante in Paraffin eingeschmolzen; die Ränder der Belegungen standen mindestens 6 mm von den Plattenrändern, bezw. vom Paraffin ab. Die beiden einander zugekehrten, etwa 3 cm voneinander abstehenden Belegungen wurden auf das gleiche Potential geladen; die beiden anderen waren wieder, ähnlich wie vorher beschrieben, zum Electrometer geführt. Bei einem Ladungspotential von 1900 Volts und einem influencirten von 290 Volts ergab sich aus ersten Ausschlägen des Electrometers das Verhältniss der Capacitäten für:

$$\frac{\text{Influenz zur Octaëdernormale}}{\text{Influenz zur Würfelnormale}} = 1,007.$$

Andererseits ist:

$$\frac{\text{Dicke der Würfelnormale}}{\text{Dicke der Octaëdernormale}} = \frac{4,376}{4,232} = 1,034.$$

Bezeichnet man die Dielectricitätsconstante für eine parallel der Würfel-, resp. Octaëdernormale influencirende Kraft mit D_w , resp. D_0 , so folgt daraus:

$$\frac{D_w}{D_0} = 1,027.$$

Dass D_w sich grösser als D_0 berechnet, rührt aber von der Leitungs-, resp. der Rückstandsbildung des Steinsalzes her (vgl. § 12). Für erste Ausschläge überwog die Influenz durch die senkrecht zur Octaëdernormale geschnittene Platte; für dauernde Ablenkung die andere. Die Zeit, welche zwischen Ladung und Ablesung des Ausschlages verging, betrug etwa 6 Sec. Verkürzt man diese auf 1 bis 2 Sec., so wird D_w/D_0 sehr nahe gleich 1.

Als eine unabhängige Controle führe ich an Bestimmungen des Ausschlages eines mit Mikroskop beobachteten Goldblattelectrometers.

Influenzirendes Potential = 640 Volts.

	Influenz parallel der Würfelnormale	Octaädernormale
Erste Anordnung der Drähte . . .	289,7 Volts	295,9 Volts
Drähte umgelegt gegen die Berüh- rungsflächen ¹⁾	288,8 „	292,9 „

Es ergibt sich hieraus $D_w/D_0 = 0,996$.

9. Beobachtungen an zwei anderen Steinsalzplatten, welche gleichfalls nach der Würfel-, resp. Octaäderfläche geschnitten, aber, wegen Zerspringens der einen Platte, nicht aus demselben Stück hergestellt waren, ergaben grössere Differenzen. Bei ihnen war:

$$\frac{\text{Dicke } \parallel \text{ der Würfelnormale}}{\text{Dicke } \parallel \text{ der Octaädernormale}} = \frac{15,256 \text{ mm}}{14,86 \text{ mm}} = 1,027.$$

Sie waren mit kreisförmigen Stanniolbelegungen von 26,2 mm Durchmesser versehen. Die Verbindungslinie der Kreismittelpunkte stand normal zu den Schnittflächen.

Es wurden influenziert durch 1480 Volts Ladung der einen Belegung (Ladungsdauer ca. 2 Sec.):

	¶ Würfelnorm.	¶ Octaädernorm.
Erste Anordnung der Drähte	233,7 Volts	220,4 Volts
Drähte gegen die Berührungsfläche umgelegt	229,4 „	222,1 „

Nachdem noch ein Luftcondensator mit dem Electrometer verbunden war, influenzierten 3300 Volts:

¶ Würfelnorm.	¶ Octaädernorm.
228,1 Volts	221,8 Volts

Demnach verhalten sich die Capacitäten für:

$$\frac{\text{Influenz } \parallel \text{ Würfelnormale}}{\text{Influenz } \parallel \text{ Octaädernormale}} = \frac{231,6 (1480 - 232)}{221,2 (1480 - 221)} = 1,038,$$

sodass hier, mit Rücksicht auf die Dicken, die Influenz parallel der Würfelnormale um etwa 6 Proc. diejenige parallel der Octaädernormale überwiegt. — Es zeigt sich ferner, dass das Verhältniss der Dielectricitätsconstanten vom Potentialgefälle unabhängig ist.

Bei einer Ladungsdauer von 6 Sec. ergab sich das Verhältniss der Capacitäten grösser (1,047), sodass sich auch

1) d. h. die Feder, welche vorher die Octaäderfläche berührte, liegt jetzt an der Würfelfläche und umgekehrt.

hier eine bessere Leitung in der Richtung der Würfelnormale geltend macht.

Aus dem Ganzen darf gefolgert werden, dass Steinsalz dielectricisch isotrop ist, und dass die beobachteten kleinen Unterschiede in ungleichmässiger Beschaffenheit des Materiales begründet sind.

Versuche über die Leitung.

10. Die Leitungsfähigkeit wurde in der schon erwähnten Weise bestimmt. Hier ist aber mehreres zu beachten. 1) Die Leitungsfähigkeit des trockenen Steinsalzes ist so gering, dass man einigermaßen sichere Zahlen nur erhält, wenn man grosse Potentialgefälle benutzen kann. Diese empfehlen sich auch, um sicher zu sein, dass kleine Sprünge im Inneren des Kör- oder nicht ganz vollkommenes Anliegen der Electroden ohne Einfluss sind. Ich habe deshalb Potentiale zwischen 2000 und 4000 Volts benutzt. Leydener Flaschen wurden bis zu dieser Höhe geladen und dann als Stromquelle benutzt. 2) Diese verlieren aber immer an Spannung, selbst unter den günstigsten Isolationsbedingungen (wie sie die langdauernde kalte Witterung des letzten Winters bot) und auch längere Zeit nach ihrer Ladung, wenn die Rückstandsbildung bündigt ist. Mit Abnahme des Potentiales nimmt aber auch die auf den isolirten Belegungen der Steinsalzplatte influenzirte Electricitätsmenge ab. Man beobachtet daher am Electrometer die durch die Strömung den Quadranten zugeführte Electricitätsmenge weniger der wegen der zeitlichen Abnahme des Potentiales von den Quadranten zurückströmenden Influenzelectricität. Es sei c die „geometrische“ Capacität des Steinsalzcondensators (d. h. für die Dielectricitätsconstante 1), s die Ablenkung der Electrometernadel, t die Zeit, so ist:

$$A \frac{ds}{dt} = \frac{dv}{dt} = \frac{c \cdot D}{\gamma} \frac{d(V-v)}{dt} + \frac{c\lambda}{\gamma} (V-v).$$

Darin bedeutet λ eine der Leitungsfähigkeit des Steinsalzes proportionale Grösse; die anderen Buchstaben haben die früher angegebene Bedeutung. Die Integration über ein Zeitintervall $t - t_0$ gibt ausreichend genau:

$$(4) \quad \left(1 + \frac{cD}{\gamma}\right) \frac{v - v_0}{t - t_0} = \frac{cD}{\gamma} \frac{V - V_0}{t - t_0} + \frac{c\lambda}{\gamma} (\bar{V} - \bar{v}),$$

wenn unter \bar{V} und \bar{v} Mittelwerthe verstanden sind. Hierin ist nach § 3:

$$As = v = \frac{cD}{\gamma} (V - v).$$

$(V - V_0)/(t - t_0) = dV/dt$ ist negativ. Die Abnahme der Ladung rührt her 1) von der Zerstreung an die Luft und der unvollkommenen Isolation der Batterie; 2) von der Leitung durch das Steinsalz. Der letztere Electricitätsverlust kann vollständig gegen den ersten vernachlässigt werden. (Ein Schluss aus der zeitlichen Abnahme der Flaschenladung auf die Electricitätsleitung des Steinsalzes würde bei dessen grossem Widerstand daher ganz fehlerhafte Resultate geben.) Es handelt sich darum, dV/dt möglichst klein zu machen. Benutzt man nur eine einzige, wenn auch sehr gut isolirende Flasche, so überwiegt das erste Glied gegen das zweite in Gl. (4), und man beobachtet eine Strömung aus dem Electrometer nach der Flasche hin, statt des erwarteten umgekehrten Stromes. Ich habe daher eine Batterie von 16 grossen Flaschen angewendet; dV/dt wächst mit V selber und rascher als dieses. Für meine speciellen Anordnungen lag der günstigste Werth bei etwa 1500 bis 3000 Volts. Um dV/dt ausreichend genau bestimmen zu können, wurde die Abnahme des Potentials der Batterie, während sie einen Strom durch das Steinsalz schickte, im Laufe langer Zeitintervalle (4 bis 40 Stunden) bestimmt.

Da die Potentiale in Volts, die Capacitäten in Farads gemessen sind, so bekommt man die Electricitätsmengen in Coulombs, und es bedarf keiner Bemerkung, wie man den Widerstand des Steinsalzes in Ohm oder S.-E. und daraus seine Leitungsfähigkeit auf Quecksilber bezogen berechnen kann.

11. Einfluss der Zeit. Misst man die Stromintensität möglichst unmittelbar nach dem Laden des Steinsalzcondensators, so findet sich dieselbe relativ gross; sie nimmt aber stetig ab, anfangs rasch, später langsamer und nähert sich einem constanten Werth, den sie nach einer halben Stunde

annähernd, genau erst nach mehreren Stunden erreicht. Dieses Verhalten hat schon Gaugain¹⁾ an festen Leitern beobachtet, aber, wie mir scheint, fälschlich aus dem „äusseren Widerstand“ erklärt, während es von der Natur des leitenden Körpers bedingt ist; Wüllner²⁾ hat es auch bei Flüssigkeiten gefunden. Zu seiner Erklärung wird man annehmen müssen, dass die Electricität, welche dem Electrometer zufließt, aus der durch Strömung nach dem Ohm'schen Gesetz bewegten besteht, und dass sich ihr eine durch „Rückstandsbildung“ frei werdende zugesellt. Die Capacität des Steinsalzcondensators nimmt scheinbar dauernd zu. Eine Reihe möge als Beispiel dienen:

Leitung parallel der Würfelnormale. Electromotorische Kraft = 1900 Volts.

Zeit		Stromstärke in relativem Maasse	Zeit		Stromstärke in relativem Maasse
0'	bis 0' 30''	22	30'	bis 31'	3,9
0' 30''	„ 1	22	31	„ 32	3,9
1	„ 2	23	32	„ 38	3,4
—	—	—	33	„ 45	3,4

Diese Eigenschaft ist, wie erwähnt, nicht auf Steinsalz beschränkt. Paraffin z. B. gab:

Zeit	Relative Stromstärke	Potentialdifferenz
0' bis 3	14,7	1790 Volts
Nach 16 Stunden	0,66	1750 „

Die wahre Leitungsfähigkeit wird man also nur dann erhalten, wenn man den constanten Strömungszustand abwartet.

12. Die als Paar I bezeichneten dünnen Platten, welche aus demselben Stück geschnitten waren, sich dielectrisch gleich verhielten und auch optisch fast vollkommen isotrop waren, zeigten verschiedene Leitungsfähigkeiten; parallel der Würfelnormale war dieselbe, und zwar sowohl die anfängliche scheinbare, als auch die dauernde wahre nahezu doppelt so gross, als parallel der Octaëdernormale.

Eine Beobachtungsreihe mag zur Erläuterung dienen:

1) Gaugain, Ann. de chim. et de phys. (4) 2. p. 264. § 260. 1864.
2) Wüllner, Wied. Ann. 1. p. 247. u. 361. 1877 und insbesondere Lehrbuch 4. p. 333. 4. Aufl. 1886.

Electromotorische Kraft = 2120 Volts. Relative Stromintensitäten.

0' Strom geschlossen	|| Würfelnormale	Octaëdernormale
1 bis 3'	12,25	—
3 30' „ 5 30'	—	5,35
6 „ 8	11,3	—
9 „ 11	—	4,65
Nach 1 Stunde	3,1	—

Nachdem der Strom 20 Stunden lang die Platten durchflossen hatte, ergaben sich aus den immer in Zeiträumen von etwa 10 Minuten dem Electrometer zugeflossenen Electritätsmengen die folgenden Werthe:

Electromot. Kraft zu Anfang der Reihe 2520 Volts.

„ „ „ Ende „ „ 2480 „

Aenderung der Ablenkung des Electrometers in 1':

Strom || d. Würfelnormale.	Strom || d. Octaëdernormale.
4,58 ⁸⁰	1,82 ⁸⁰
3,80	1,83
4,96	—
4,24	—
Mittel 4,39	1,82
Correct. wegen Potentialabnahme + 0,80	+ 0,80
5,19	2,62

Für den Strom parallel der Würfelnormale berechnet sich daraus die Intensität zu $3,78 \cdot 10^{-13}$ Amp. und der Widerstand des Steinsalzstückes zu $6,55 \cdot 10^{15}$ Ohm = $6,93 \cdot 10^{15}$ S.-E. Aus den Dimensionen der Belegungen und der Plattendicke folgt daher der specifische Widerstand des Steinsalzes für die senkrecht zur Würfelnormale geschnittene Platte, bezogen auf Quecksilber:

$$= 1,33 \cdot 10^{21}.$$

Für die senkrecht zur Octaëdernormale geschliffene Platte ist er:

$$= 2,63 \cdot 10^{21}.$$

Für eine Paraffinplatte ergab sich (nachdem der Strom 18 Stunden lang geflossen war) der specifische Widerstand:

$$= 3,02 \cdot 10^{22}.$$

Steinsalz leitet rund 11 bis 23 mal besser als Paraffin.

Ich gebe hier eine Zusammenstellung mit den specifischen Widerständen anderer schlechter Leiter (Quecksilber = 1):

Guttapercha des Kabels Red Sea ¹⁾	0,28 bis $0,38 \times 10^{18}$
” ” ” Malta-Alexandria	. . . . .	$1,29 \times 10^{18}$
” ” ” Persian Gulf	. . . . .	$1,80 \times 10^{18}$
” ” ” Second Atlantic	. . . . .	$3,59 \times 10^{18}$
” ” ” Hoopers Persian Gulf Core	. . . . .	$78,4 \times 10^{18}$
” bei 24° C.	. . . . .	$3,70 \times 10^{18}$
Steinsalz (Platte \perp Würfelnormale)	. . . . .	$1,33 \times 10^{21}$
” (Platte \perp Octaëdernormale)	. . . . .	$2,63 \times 10^{21}$
Paraffin	. . . . .	$3,02 \times 10^{22}$

13. An dem früher erwähnten Steinsalzcyylinder ergaben sowohl Differenzbeobachtungen, als auch Messungen der nach je einer Belegung allein fließenden Electricitätsmenge ein Ueberwiegen der Leitung zu Gunsten der Würfelnormale. Die Leitungsfähigkeit verhielt sich in der Richtung der Würfelnormale zu der in der Richtung der Rhombendodekaëdernormale nahezu wie 3:2.

14. Es war mir von Interesse zu prüfen, ob sich mit der Zeit der Electricisirung die Dielectricitätsconstante ändere. Mit der inneren Belegung der Leydener Flaschen war eine auf Paraffin isolirt aufgestellte Batterie von 40 kleinen Latimer-Clark'schen Elementen verbunden. Fig. 14 zeigt ein einzelnes Element. Fig. 13 gibt die Anordnung. Die Drähte *A* und *B* enden in den Quecksilbernapfen einer aus einem Paraffinkuchen hergestellten Wippe. Der Metallbügel $\alpha\beta$ konnte an einer isolirenden Handhabe weggenommen werden. Die gestrichelten Linien sind Erdleitungen, welche nach Belieben an den Punkten, auf welche die Pfeile zeigen, angelegt werden konnten. Zwischen den Punkten *A* und *B* herrscht eine constante Potentialdifferenz von 57,4 Volts, während das absolute Potential der beiden Punkte beliebig geändert werden kann. Es wurde die Ablenkung des Electrometers bestimmt, welche durch die Influenzelectricität entstand, wenn der Steinsalzcondensator mit dem absoluten Potential 57,4 Volts geladen wurde. Ein Quadrantenpaar war dauernd abgeleitet. — Dann wurden beide Quadrantenpaare zur Erde geleitet, das Steinsalz mit der Batterie (vom Punkte

1) Diese Zahlen nach den Messungen von Jenkin; cfr. Maxwell, Electricität, deutsch von Weinstein. I. p. 526

A aus), deren Potential bei verschiedenen Versuchen zwischen 2600 und 3200 Volts lag, geladen, so lange gewartet, bis sich constante Strömung eingestellt hatte, und die Quadranten dann wieder isolirt. Die Wanderung der Electrometernadel ist jetzt so langsam und regelmässig, dass die zu irgend einer Zeit vorhandene Einstellung mit Sicherheit interpolirt werden kann nach dem vorher beobachteten Gange des Spiegels. Dann wurde die Ladung der influenzirenden Condensatorplatte A_1 um 57,4 Volts. erhöht und die Ablenkung durch die Influenzelectricität gemessen. Bei mehreren Beobachtungsreihen zeigte sich für die dielectricische Polarisirung keine Aenderung durch den Ladungszustand des Steinsalzes, welcher nicht aus unvermeidlichen Beobachtungsfehlern zu erklären wäre; die Induction durch 57,4 Volts, wenn das Steinsalz nicht geladen war, und die Induction durch das gleiche Potential, während das Steinsalz mit der Potentialdifferenz 3200 Volts durchflossen war, verhielten sich zu einander wie 214:216; 214:213,6 etc., d. h. die Dielectricitätsconstante ist mindestens bis auf 1 Proc. die gleiche, mag das Steinsalz frei von Rückstand oder mit Rückstand behaftet sein.¹⁾

Ich glaube, man darf aus den Versuchen schliessen, dass Steinsalz dielectricisch isotrop ist. Ferner: dass seine Dielectricitätsconstante unabhängig ist von der Electrification (Strömung und Rückstand).

Vielfach denkt man sich nach der Faraday'schen Anschauung die Dielectrica aus gut leitenden Theilchen bestehend, welche durch vollkommene Isolatoren getrennt sind. Dass man dem Zwischenmittel vollkommene Isolationsfähigkeit zulegt, ist wohl nur Bequemlichkeit der Ausdrucksweise. Für diejenigen dielectricischen Substanzen, die auch nach mehrtäbigem Electrification dieselbe Leitungsfähigkeit zeigen, wie nach dem Electrification von mehreren Stunden, muss man jedenfalls dem Zwischenmittel selber auch Leitungsfähigkeit zuerkennen.

Ob Steinsalz, wie es nach den Versuchen den Anschein hat, je nach der Richtung verschiedenes Leitungsvermögen

1) Vgl. auch Gaugain, l. c. p. 313.

hat, lasse ich noch dahingestellt, so lange nicht mehr Beobachtungen vorliegen. Eigenthümlich ist es, dass nach dem bis jetzt untersuchten Material die Leitungsfähigkeiten sich folgen würden in der Reihe: Octaëder-, Granatoëder-, Würfelnormale, — die gleiche, in welcher die Elasticitätsmoduln zunehmen. Denkt man sich Steinsalz aus leitenden, in den Ecken von Würfeln vertheilten Partikelchen bestehend, so würde die Reihe der Leitungsfähigkeiten auch übereinstimmen mit derjenigen, welche man erhält, wenn man die lineare Dichte der leitenden Theilchen (Anzahl derselben auf der Längeneinheit) aufsucht. Immerhin könnte dies ein Zufall sein. Ich enthalte mich daher einstweilen auch aller Schlüsse, welche aus einer derartigen gleichzeitigen Isotropie für Dielectricität und nichtisotropen Beschaffenheit für Leitung folgen würden.

Tübingen, 20. Mai 1887.

VIII. *Studien über Salzlösungen:*
von C. Bender.

(Hierzu Taf. VI Fig. 15–18.)

Vorliegende Untersuchung bildet die Fortsetzung einer Arbeit über den gleichen Gegenstand, welche ich im Jahre 1884 in diesen Annalen veröffentlichte.¹⁾ Ich habe in derselben verschiedene chemisch inactive Salzlösungen und deren Mischungen bezüglich Dichte, Ausdehnungscoëfficient und electricischen Leitungsvermögens untersucht und unter diesen solche Lösungen gefunden, welche in ihren Mischungen in Bezug auf diese Constanten indifferent nebeneinander bestehen. Lösungen dieser Art nannte ich correspondirende. Aus einer Reihe sorgfältig ausgeführter Beobachtungen ging hervor, dass sie in einem einfachen Molecülzahlverhältniss zu einander stehen. So correspondiren für Dichte und Ausdehnung miteinander eine Chlornatriumlösung, welche in

1) C. Bender, Wied. Ann. 22. p. 179. 1884.