Aus den Sitzungsberichten der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien.
Mathem.-naturw. Classe; Bd. CVII. Abth. II. a. October 1898.

Über den Rückstand und die Leitfähigkeit von Paraffin und Schwefel

von

Dr. Fritz Hasenöhrl.

Aus dem physikalisch-chemischen Institute der k. k. Universität in Wien.

(Vorgelegt in der Sitzung am 7. Juli 1898.)

Es ist durch neuere Arbeiten wohl ausser Zweifel gesetzt, dass es nicht möglich ist, alle Erscheinungen des diëlektrischen Rückstandes der Condensatoren durch Inhomogeneitäten der Nichtleiter zu erklären.[1] Bekanntlich hat Maxwell[2] eine Theorie des geschichteten Dielektricums gegeben, welche sich aus der von ihm aufgestellten Hypothese ergibt, dass sich im Nichtleiter Änderung der Polarisation und galvanische Leitung addiren. Da sich nun eine solche, dem Ohm'schen Gesetze gehorchende Leitung — besonders in festen Isolatoren — sehr schwer nachweisen lässt, wäre es interessant, ganz abgesehen von der Erklärung der übrigen Rückstandserscheinungen, diese Theorie an einem gegebenen geschichteten Diëlektricum zu prüfen, um dann, wenn möglich, einen Schluss auf die Leitfähigkeit seiner Bestandtheile zu ziehen.

Um aber den in Folge Inhomogeneität entstehenden Rückstand sicher constatiren zu können, ist es nöthig, dass die einzelnen Bestandtheile vollkommen oder wenigstens nahezu rückstandsfrei seien, und dies war bei den vor mir untersuchten Substanzen nur bei Paraffin und Schwefel der Fall.

---

[1] Siehe vor Allem die Abhandlung von L. Houllevigue; Annales de l'université de Lyon, 1897; Journ. de Physique, 1897, in der auch eine sehr interessante neue Theorie der Rückstandserscheinungen gegeben ist.

[2] Lehrbuch der Elektricität und des Magnetismus; deutsche Ausgabe, I, S. 471.

(Geeignete Kalkspathplatten, deren Rückstandsfreiheit Rowland und Nichols nachgewiesen haben, standen mir nicht zur Verfügung.) Diese beiden Körper sind aber so ausgezeichnete Isolatoren, dass es auch auf diese Weise bei Paraffin gar nicht, bei Schwefel nur unsicher gelingt, eine Leitfähigkeit nachzuweisen Die obere Grenze, die sich dagegen mit ziemlicher Sicherheit für die Leitfähigkeit des Schwefels aufstellen lässt, liegt noch unterhalb des Werthes, den Foussereau[1] für diese Grösse angegeben hat, daher es sich vielleicht doch lohnt, meine Versuche wenigstens in Kürze mitzutheilen.

Die Versuchsanordnung war die gewöhnliche. Der zu untersuchende Condensator wird eine bestimmte Zeit hindurch mittelst einer 40elementigen Accumulatorenbatterie mit 85 Volt geladen. Die eine Platte ist stets am Potential der Erde. Dann wird der Condensator mit Hilfe eines eigens dazu construirten Fallpendels während der sich immer gleichbleibenden Zeit von circa 0·4 Secunden kurz geschlossen und darauf sofort mit einem Quadrantenelektrometer verbunden, an dem der Ausschlag abgelesen wird. Die dazu nothwendigen Contacte fielen direct auf die Platten des Condensators, so dass nur der Rückstand des letzteren beobachtet wurde; also der der Zuleitungsdrähte etc. nicht noch eigens eliminirt werden musste. Das Elektrometer gab auf 1 Volt 53 Theilstriche Ausschlag. In dem kleinen Bereich, in den meine Messungen fallen, kann die Capacität constant, der Ausschlag dem Potential proportional gesetzt werden.

Die Maxwell'sche Theorie ist von Arons[2] in eine solchen Beobachtungen angepasste Formel gebracht worden.

Zwischen den Platten eines Condensators befinde sich, der abgeleiteten Platte anliegend, eine diëlektrische Schichte, der allein die Capacität c_2, der Widerstand w zukommt. Hierauf folgt eine Luftschichte, der die Capacität c_1 entspräche; dann die zweite Condensatorplatte. (Letztere wurde bei meinen Versuchen durch drei Paraffinstützen getragen, die etwa 1 mm^2 Querschnitt hatten und gar keinen Rückstand zeigten.) Diese

---

[1] Landolt und Börnstein, S. 473.

[2] Wied. Ann., 35, S. 291.

zweite Condensatorplatte wird während der Zeit τ auf dem Potential E gehalten, während der Zeit ϑ abgeleitet und dann mit einem Elektrometer von der Capacität γ verbunden. Der Rückstand erzeugt dann auf letzterem nach der Zeit t ein Potential φ, und zwar ist:

$$\varphi = E \, . \, \frac{c_1}{c_1 + c_2} \, \frac{c_1}{\gamma + c_1} \, . \\ \left(1 - e^{\frac{-\tau}{(c_1 + c_2) w}}\right) e^{-\frac{\vartheta}{(c_1 + c_2) w}} \left(1 - e^{-\frac{(\gamma + c_1) t}{w (c_2 c_1 + \gamma (c_1 + c_2))}}\right).$$

Bei meinen Versuchen war $E = 85$ Volt, $c_1 = 26$ *cm*, $\gamma = 38 \cdot 5$ *cm*, $\vartheta = 0 \cdot 4$ Secunden. Der Radius der Condensatorplatten war $2 \cdot 9$ *cm*.

Paraffin wurde durch Leinwand filtrirt und zwischen den Metallplatten gepresst. Hier war $c_2 = 18 \cdot 8$ *cm*. So präparirt gab Paraffin gar keinen Rückstand. Darauf wurde ein Condensator untersucht, der diese Paraffinschichte und eine Luftschichte von $0 \cdot 8$ *mm* enthielt. Auch dieser Condensator gab gar keinen Rückstand, obwohl die Ladungszeit bis auf 8 Tage erstreckt wurde. (Arons hat einen ähnlichen Versuch gemacht, dabei aber nur 57^{m} lang geladen. Er erhielt dabei gleichfalls ein negatives Resultat. Ein Blick auf obige Formel lehrt aber, dass bei so geringer Leitfähigkeit die lange Ladungsdauer nicht überflüssig ist.) Der Rückstand blieb also unterhalb der Grenze der Beobachtungsfehler. Da ich einen Ausschlag von 5 Theilstrichen nach 30^{m} sicher gemerkt hätte, so ist der specifische Widerstand des von mir untersuchten Paraffins bestimmt nicht kleiner als 50000 elektrostatische Einheiten, oder bezogen auf Quecksilber circa $5 \, . \, 10^{20}$. (Es ist dies nicht zu verwundern, kann vielmehr als Bestätigung des noch grösseren Werthes dienen, den Braun[1] zu circa $3 \, . \, 10^{22}$ angegeben hat.)

Schwefel wurde in heissem Zustande zwischen die Platten gegossen. (Nachträglich konnte ich mich überzeugen, dass dabei keine Luftblasen entstanden sind.) Die Leitfähigkeit des festen Schwefels ist allerdings bei höherer Temperatur von

---

[1] Landolt und Börnstein, S. 473.

Foussereau[1] zu circa 5.10^{-19}, bezogen auf Quecksilber, bestimmt worden, demnach sein specifischer Widerstand in elektrostatischem Maass circa $= 200$. Danach wäre bei meiner Versuchsanordnung nach 30^{m} ein Ausschlag von circa 12 Volt zu erwarten. Schwefel ist bekanntlich nicht gänzlich rückstandsfrei. Ich habe mehrere solche Platten untersucht und führe die Messungen an, die ich an der Platte ausgeführt habe, die am wenigsten Rückstand zeigte. Es ergab sich $c_2 = 14\,cm$.

Nach 24stündiger Ladungszeit ergab sich der Rückstand in Scalentheilstrichen (Th. Str.):

	Schwefel	Schwefel und Luftschichte von 8 *mm*
nach $0\cdot5^{m}$	6 Th. Str.	3 Th. Str.
1	9	4·8
2	13·2	7
3	16	8·5
4	18·8	9·9
5	20·5	10·9
10	27·2	15
15	32	18
20	36·6	21
30	41·8	24·6

(Es sind dies Durchschnittswerthe aus je vier Beobachtungsreihen, die keine grössere Abweichung als 8% zeigten.)

Die erstangegebene Zahlenreihe lässt es als unwahrscheinlich erscheinen, dass der Rückstand des Schwefels eine Folge von Inhomogeneitäten sei. (Bei so kleinen Werthen würde die Maxwell'sche Theorie ein der Zeit proportionales Anwachsen des Rückstandes fordern.) Es ist daher wahrscheinlich gestattet, diesen Rückstand etwa als elastische Nachwirkung oder dergleichen aufzufassen, d. h. von der Stärke des den Condensator durchfliessenden Stromes unabhängig. Nehmen wir dies an, so entwickelt sich der Rückstand im Schwefel gleich, ob der Condensator noch eine Luftschichte enthält oder nicht. Hat man dann im letzteren Fall am Elektrometer das Potential V_1

[1] L. c.

abgelesen, so wird man in Folge dieses Rückstandes im ersteren Fall das Potential

$$V_2 = V_1 \frac{(c_2+\gamma)\,c_1^2}{(c_1+c_2)(c_1c_2+\gamma(c_1+c_2))} = 0\cdot 49 \,.\, V_1$$

ablesen. (Es wird ja einmal das auf den Schwefel fallende Potentialgefälle geringer, und dann fliesst die durch den Rückstand erzeugte Elektricitätsmenge nicht direct in das Elektrometer, sondern wirkt nur inducirend auf die mit letzterem verbundene Condensatorplatte.)

Der Rückstand, der sich an einem Condensator zeigt, der eine Luft- und eine Schwefelschichte enthält, verdankt demnach sein Entstehen sowohl der Inhomogeneität im Maxwell'schen Sinne, als auch dieser letzteren Ursache.

Wollen wir den in Folge der Inhomogeneität enstandenen Rückstand kennen, so haben wir offenbar die erste Colonne der vorigen Tabelle mit 0·49 zu multipliciren und von der zweiten zu subtrahiren. Dadurch erhält man folgende Reihe:

nach 0·5^{m}	0·1 Th. Str.
1	0·4
2	0·5
3	0·7
4	0·7
5	0·9
10	1·7
15	2·3
20	3·1
30	4·1

Die Theorie würde für diese Zahlen fast genaue Proportionalität mit der Zeit fordern. Sie sind jedoch zu unsicher, um einen sicheren Schluss zu gestatten. Es ist dies nicht zu verwundern, da die Grössen ja an der Grenze der Beobachtungsfehler liegen und nur als Durchschnittswerthe vielleicht einige Berechtigung haben.

Die frühere Annahme, dass sich diese aus verschiedenen Ursachen entwcikelnden Rückstände einfach addiren, ist ja auch nicht exakt, wenn auch wahrscheinlich damit ungefähr das Richtige getroffen ist.

Wir wollen auch hier diese Werthe nur als obere Grenze ansehen. Aus dem letzten Werth nach 30 *m* 4·1 Th. Str. = 0·074 Volt wollen wir noch einen Schluss auf die Leitungsfähigkeit des Schwefels ziehen. Es ergibt sich der specifische Widerstand des Schwefels in elektrostatischem Maasse zu 12.000. Die Leitfähigkeit bezogen auf Quecksilber wäre dann circa $= 8.10^{-21}$; welcher Werth aber auch nur als obere Grenze Berechtigung hat. (Also etwa 60mal so klein, als der Werth von Foussereau; da aber letzterer bei 69°, ich bei Zimmertemperatur gearbeitet habe, ist dies leicht vereinbar.)

Es ist endlich zu bemerken, dass Schwefel anfangs einen viel bedeutenderen Rückstand zeigte; erst durch langes Laden und Entladen sank der Rückstand so tief.

Aus der k. k. Hof- und Staatsdruckerei in Wien.