10. *Ueber den Durchgang electrischer Wellen durch Electrolytenschichten; von G. Udny Yule.*

Einleitung.

Im Jahre 1889 hat J. J. Thomson zum ersten male den Versuch gemacht¹⁾ den Widerstand der Electrolyten mit Hülfe sehr schneller Schwingungen zu bestimmen. Er untersuchte nämlich, wie dicke Schichten der Electrolyten nöthig waren, um eine hindurchgehende Welle bis auf eine gewisse durch Funkenmessung bestimmte Grösse abzuschwächen. Dabei ergaben sich Werthe der Widerstände, welche sich ungefähr verhielten wie diejenigen, welche die gewöhnlichen Methoden ergeben; doch wurden keine absoluten Bestimmungen gemacht, und die Messungen waren naturgemäss nur rohe. Da es wichtig wäre, eine wenn auch noch so kleine Aenderung des Widerstandes mit der Geschwindigkeit der Bewegung festzustellen²⁾, so beabsichtige ich, jene Versuche wiederaufzunehmen mit solcher Abänderung, dass eine genaue Messung möglich wäre.

Nach einigen vergeblichen Versuchen, das ursprüngliche Verfahren J. J. Thomson's zu verbessern, benutzte ich folgende Methode: Ich liess eine electrische Welle zwischen zwei Drähten hindurchlaufen, füllte den Zwischenraum beider Drähte auf eine gewisse Strecke hin mit den flüssigen Electrolyten, und untersuchte, in welchem Maasse die Welle beim Durchgang durch diese Strecke geschwächt wurde. Diese Schwächung konnte mit den Electrometer ziemlich genau gemessen werden; wäre sie eine Folge allein der Absorption, so wäre es leicht, aus ihr den Widerstand der Flüssigkeit zu berechnen. Es zeigte sich aber, dass die Sache so einfach nicht war. Denn wenn die Länge der durchlaufenen Flüssigkeit wuchs, so nahm die hindurchgegangene Intensität nicht logarithmisch ab, sie nahm überhaupt nicht immer ab, sondern in gewissem

1) J. J. Thomson, Proc. Roy. Soc. **45**. p. 269. 1889.

2) Vgl. die Rechnungen von Cohn, Wied. Ann. **38**. p. 217. 1889.

Fällen liess die doppelte Länge des Electrolyten einen grösseren Theil der Welle hindurch als die einfache. Da ich Zeuge der gleichzeitig ausgeführten Versuche des Hrn. E. H. Barton war ¹⁾, so konnte ich nicht zweifeln, dass meine Resultate die gleiche Erklärung forderten, wie die von ihm beobachtete Erscheinung. Es verhielt sich offenbar die wachsende Schicht des Electrolyten zu den electrischen Wellen, wie die wachsende Luftschicht eines Newton'schen Farbenglases zu den Wellen des Lichtes. Durch diese Complication wurde allerdings der Versuch zu verwickelt, um die genaue Bestimmung des Widerstandes zu gestatten, welche ursprünglich beabsichtigt war, aber die Erscheinung gewann ein hinlängliches eigenes Interesse, und ich theile deshalb im Folgenden die Erfahrungen mit, welche ich an ihr machte.

Versuchsanordnung.

Den primären und secundären Leitern gab ich die von Bjerknes ²⁾ beschriebene Form. Es sei ASA' Fig. 1, der

Fig. 1.

primäre Leiter, und $B B'$ die ähnlichen secundären Platten, von denen ein Paar parallel laufender langer Kupferdrähte $B D$, $B' D'$, abgezweigt ist. Die Drähte darf man als blosse Führungen für die Strahlung, die sich in den Zweigen fortpflanzt, betrachten.

Die Dimensionen des Apparates waren dieselben wie die von Bjerknes benutzten (l. c.):

$A A'$, $B B'$ sind kreisförmige Zinkscheiben vom Durchmesser 40 cm; Abstand von A und B 30 cm; Länge des Drahtes ASA' (vom Durchmesser 2 mm) 200 cm; Wellenlänge λ 900 cm.

Die Drähte $B F D$, deren Durchmesser ungefähr 1 mm betrug, waren 6 cm von einander entfernt.

Wenn man diese Drähte zu kurz nimmt, so kann ein

1) Barton, Proc. Roy. Soc. June 1893.

2) Bjerknes, Wied. Ann. 44. p. 513. 1891.

von BB' ausgeschickter Wellenzug an den Electrolyten x_1 , oder der Brücke D reflectirt werden, und nach B zurückkommen, bevor die primären Oscillationen ganz abgelaufen sind. Wenn dies der Fall ist, so können Veränderungen bei x_1 etc. die Wirksamkeit des Apparates (wie bei einem Wechselstromtransformator) beeinflussen, ganz abgesehen von den unbequemen Interferenzen, die man hierbei erhalten würde. Wenn aber Bx_1 länger als die Hälfte des wirksamen Wellenzuges ist, so können die reflectirten Wellen erst nach B gelangen, wenn die praktisch in Betracht kommenden Oscillationen aufgehört haben: dann erfährt der primäre Leiter nichts von Veränderungen in der Leitung bei x_1 , oder an entferntern Orten. Eine solche Rückwirkung des secundären auf den primären Leiter — und zwar eine ziemlich grosse — ist von Hrn. von Geitler¹⁾ an der Blondlot'schen Anordnung bemerkt worden.

Bei meinem Apparate waren die Drähte bei F_1 in einem Kreis von ungefähr 50 m Umfang um den Garten des Instituts geleitet. Sie kehrten bei F_2 in das Zimmer zurück und wurden dann vertical durch das für den Electrolyten bestimmte Gefäß geführt. Indem die Drähte F_3, F_4 abermals den Garten umkreisten, wurde der Weg auf 100 m verlängert. Das Electrometer befindet sich bei E , eine Viertelwellenlänge ($= 2,25$ m) vom Ende D der Leitung entfernt. Wenn wir den von Bjerknes (l. c.) bestimmten Werthe für die primäre Dämpfung annehmen, dürften diese Grössen genügen, um jede merkliche Rückwirkung auszuschliessen.

Ich benutzte das Bjerknes'sche Electrometer. Es ist ein einfaches Quadrantelectrometer mit einem einzigen Paar Quadranten. Die Nadel, von gewöhnlicher Gestalt, ist aus dünnem, ausgewalzten Aluminium gemacht, und an einem Quarzfaden aufgehängt. Ein Quadrant ist mit jedem Draht verbunden. Weil die Nadel nicht geladen wird, finden die Ausschläge immer in derselben Richtung statt, und sind direct dem Zeitintegral der Energie proportional. Man beobachtet nur die ersten Ausschläge, dieselben werden mit Spiegel, Scala und Fernrohr abgelesen.

1) v. Geitler, Doctor-Dissertation. Bonn, Jan. 1893. p. 22.

2) Blondlot, Compt. rend. 114. p. 283. 1892.

Mehrere Glasgefässe von verschiedenen Gestalten wurden für die Electrolyten benutzt. Die Drähte wurden vertical durch Löcher im Boden des Gefässes geführt, und in denselben eingekittet.

Versuche.

Mehrere Versuche wurden mit diesem Apparat mit verdünnten Kupfersulfatlösungen angestellt. Die Beobachtungen wurden abwechselnd zweimal mit leerem Gefäss und zweimal mit einer bestimmten Schicht des Electrolyten gemacht, für jede Schicht zehn Ablesungen. In solcher Weise wurden die Verhältnisse der Intensitäten der durchgelassenen Wellenzüge für mehrere Dicken des Electrolyten bestimmt und die Resultate in einer Curve dargestellt. Diese Curven wichen immer von der logarithmischen ab, und desto mehr, je verdünnter die Lösung. Nahm man das mittlere logarithmische Decrement für die ganze benutzte Dicke an, so war die daraus berechnete spezifische Leitungsfähigkeit ausserordentlich hoch.

Ich nahm, wie schon oben erwähnt, an, dass man diese Unregelmässigkeit auf Interferenzerscheinungen zurückführen müsse. Um die Richtigkeit dieser Annahme näher zu prüfen, war es wünschenswerth, die Absorption möglichst zu vermeiden. Daher wählte ich als den zu diesem Zweck geeigneten Electrolyten destillirtes Wasser. Als Gefäss benutzte ich jetzt einen Glaszylinder von etwa 114 cm Höhe und einem mittleren Durchmesser von 12 cm. Die Beobachtungen fanden wie früher statt, nur mit dem Unterschied, dass nicht Wasserschicht und leeres Gefäss, sondern zwei verschiedene Wasserschichten mit einander verglichen wurden. Dadurch vermied ich zu grosse Pausen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ablesungspaaren, welche leicht Funkenveränderungen mit sich bringen. Der Ausschlag mit leerem Gefäss wurde immer als Einheit genommen: auch wurden wieder, um die Veränderlichkeit der primären Funken möglichst zu eliminiren, zehn oder zwölf Ablesungen für jede Dicke gemacht.

Als Probe der Veränderungen in der Wirksamkeit der primären Funken mögen die zwei Beobachtungsreihen in Tabelle I dienen. Aus denselben lässt sich das Verhältniss der durchgelassenen Intensitäten bei zwei Schichten von 40 und 55 cm, bez. 60 und 80 cm ablesen.

Tabelle I.

40 cm	55 cm	60 cm	80 cm
4,6	11,4	6,8	3,0
4,9	11,4	6,4	3,0
5,0	11,0	6,5	2,8
4,2	11,9	6,1	2,7
4,3	11,5	6,1	2,3
3,9	11,2	6,1	2,5
4,0	11,6	5,9	2,7
4,3	11,4	5,7	2,5
4,6	10,4	5,8	2,0
4,4	11,2	6,6	2,1
4,5	10,4	5,8	2,7
4,6	10,0	6,8	2,7

Dabei erinnere ich daran, dass, zeitlich geordnet, zwischen je zwei Beobachtungspaares der ersten Columnne ein Beobachtungspaar der zweiten Columnne stehen müsste.

Fig. 2.

Die ganzen Resultate sind in der Curve (1) Fig. 2 dargestellt. Man ersieht sofort daraus, dass die Absorptionswirkungen, wenigstens bei einem so schlechten Leiter wie destillirtem Wasser, ganz und gar von Interferenzerscheinungen verdeckt werden. Die Intensität der durchgelassenen Strahlung nimmt durchaus nicht gleichmässig mit wachsender Dicke der absorbirenden Schicht ab. Das Phänomen befolgt dasselbe allgemeine Gesetz wie Newton's Farbenringe oder die Interferenzerscheinungen dünner Blättchen bei durchgelassenem

Licht — wir haben es hier mit einem Blättchen zu thun, dessen Dicke (50—100 cm) mit der Wellenlänge des benutzten „Lichtes“ vergleichbar ist. Die Intensität des durchgehenden Strahls erreicht bei einer Dicke von $\lambda/4$ ein Minimum, bei einer Dicke $\lambda/2$ ein Maximum, bei $3\lambda/4$ nochmals ein Minimum etc.

Es frug sich aber, ob diese Erscheinungen auch noch bei Electrolyten von grösserer Leitungsfähigkeit zu beobachten sein würden. Um diese Frage zu untersuchen, wurden einige Tropfen einer ziemlich starken Zinksulfatlösung in den Cylinder mit Wasser gegossen und die relativen Intensitäten der durchgelassenen Strahlung nochmals wie vorher bestimmt.

Fig. 3.

Die Resultate sind in der Curve (2) Fig. 2 dargestellt und die einer zweiten Beobachtungsreihe mit etwas stärkerer Lösung in der Curve (3) Fig. 2.

Beide Lösungen waren aber noch immer sehr verdünnt; ihr spezifisches Gewicht bezogen auf Wasser bei derselben Temperatur von 21° C. war etwa 1,00028, bez. 1,00038. Ihr mit der Kohlrausch'schen Brücke gemessener Widerstand betrug etwa 5100, bez. 4030 Ohm $\times$ cm.

Weitere Versuche habe ich mit anderen Flüssigkeiten von verschiedenem spezifischen Inductionsvermögen ausgeführt. Die Curve (1) Fig. 3 wurde mit 95 proc. Alkohol bestimmt, und Curve (2) Fig. 3 mit einer Mischung von 3 Volumina 95 proc. Alkohol mit 1 Volumen Wasser.

Numerische Resultate.

Für solche niedrige Leitungsfähigkeiten, wie wir hier haben, dürfen wir sicherlich innerhalb der experimentellen Fehlergrenzen die durch die Maxima sich ergebenden als die wahren Wellenlängen ansehen. Die in Fig. 2 und 3 gegebenen Curven liefern uns dann für die Wellenlängen die in der ersten Columnne von Tabelle II zusammengestellten Werthe. Daraus sind sogleich die in der zweiten und dritten Columnne gegebenen Brechungsverhältnisse und Dielectricitätsconstanten nach den gewöhnlichen Formeln

$$n = \frac{\lambda_a}{\lambda_w}, \quad \kappa = n^2$$

berechnet, wo n das Brechungsverhältniss, κ die Dielectricitätsconstante, λ_w die Wellenlänge in den Electrolyten, λ_a die in der Luft bedeuten.

Tabelle II.

	λ cm	n	κ
Wasser	108	8,33	69,5
1. ZnSO ₄ -Lösung	106	8,49	72,0
2. ZnSO ₄ -Lösung	104	8,65	74,9
95 proc. Alkohol .	174	5,17	26,7
3 Vol. Alkohol } 1 Vol. Alkohol }	154	5,84	34,1
Luft	900	—	—

Aus den Versuchen mit Zinklösung folgt, dass ein Zusatz von Salz, welcher den Widerstand schon sehr bedeutend ändert, die Dielectricitätsconstante nur wenig beeinflusst. Dies stimmt ganz mit dem Resultat von Cohn¹⁾, welcher zuerst die grosse Constante des Wassers bemerkte.²⁾ Immerhin scheint die Dielectricitätsconstante eine merkliche, sogar eine verhältnissmässig bedeutende Zunahme durch die Einführung des Salzes zu erfahren. Zum Vergleich mit meinen Werthen gebe ich in der folgenden Tabelle die von anderen Forschern für Wasser und Alkohol bestimmten Dielectricitätsconstanten.

1) Cohn, Wied. Ann. **45**. p. 370. 1892.

2) Cohn u. Arons, Wied. Ann. **33**. p. 13. 1888.

Tabelle III.

Methode	Forscher	Dielectricitätsconstanten	
		Wasser	Alkohol
Wechselstrom oder unterbrochener Strom	Heerwagen ¹⁾	79,56	—
	Rosa ²⁾	75,70	25,7
	Rosa ³⁾	70,00	30,9 †
	Bouty ⁴⁾	—	7,93
Ruhmkorff'sche Apparate	Cohn und Arons ⁵⁾	76,00	26,5 *
	Tereschin ⁶⁾	83,8	27,0 *
Hertz'sche Schwingungen	Cohn ⁷⁾	73,5	—
	Ellinger ⁸⁾	82,0	24
	Stscheglaeff ⁹⁾	1,75	1,62

† 98 proc. * 93 proc.

Die von Stscheglaeff gegebenen Zahlen darf man wohl als unrichtig ausscheiden: den von Bouty gegebenen Werth für Alkohol vermag ich nicht zu erklären; er war allerdings nicht direct bestimmt, sondern nur aus den Dielectricitätsconstanten für alkoholische Mischungen berechnet.

Mit den anderen Zahlen verglichen sind die meinigen etwas niedrig. Dies rührt vielleicht daher, dass nicht die ganze Welle durch das Gefäss geht, sondern ein gewisser Bruchtheil der Energie durch die Luft ausserhalb fliesst, und mit der ersteren Interferenzerscheinungen erzeugt, die das Maximum der Curve verschieben, sodass das Ganze sich wie eine Mischung von Luft und Wasser verhält. Die hieraus entstehende Unbestimmtheit könnte man leicht dadurch vermeiden, dass man einen bestimmten Theil des einen Drahtes durch ein metallisches Rohr *AB* (Fig. 4) ersetzte und dies zugleich als Leitung und Electrolytengefäss benutzte. Dann muss die ganze Induction zwischen dem inneren Draht und

- 1) Heerwagen, Wied. Ann. **48**. p. 35. 1893.
- 2) Rosa, Phil. Mag. **31**. p. 200. 1891.
- 3) Rosa, Phil. Mag. **34**. p. 344. 1892.
- 4) Bouty, Journ. de Phys. 3. Ser. Tom. I. p. 445. 1892.
- 5) Cohn u. Arons, Wied. Ann. **33**. p. 13. 1888.
- 6) Tereschin, Wied. Ann. **36**. p. 792. 1889.
- 7) Cohn, Wied. Ann. **45**. p. 370. 1892.
- 8) Ellinger, Wied. Ann. **46**. p. 513. 1892.
- 9) Stscheglaeff, Phil. Mag. **34**. p. 388. 1892.

dem Rohre liegen, und folglich muss auch die ganze Strahlung durch die Flüssigkeit im Innern des Gefässes hindurchgehen.

Dies war auch eigentlich die Methode, die ich anfangs hatte benutzen wollen; sie besitzt indessen mehrere Nachtheile, derentwegen ich sie schliesslich aufgab. Unter anderm reflectirt stets ein solcher Condensator schon an sich einen Theil der ankommenden Energie.¹⁾ Ferner würden die Lagenveränderungen der Electrolytenoberfläche x_1 in Bezug auf das Ende des Rohres A neue Interferenzerscheinungen eintreten lassen, weil die Wellenzüge von dem letzteren, wie in dem von Hrn. Barton benutzten Apparat²⁾, so gut als von dem ersteren reflectirt würden. Eine weitere Unbequemlichkeit böte die grosse Metalloberfläche des Rohres, die das destillierte Wasser oder die verdünnten Electrolyten sehr rasch verunreinigen würde.

Fig. 4.

Meine ursprüngliche Absicht war, aus den Curven nicht die Dielectricitätsconstante, sondern den Widerstand der Flüssigkeit zu berechnen. Theoretisch kann man behaupten, dass dies auch möglich sein muss: praktisch aber ist die Sache nicht einfach genug, um diesem Zweck zu dienen.

Unter der Annahme, dass die Leitungsfähigkeit sehr klein ist, sodass man die Phasenverschiebung bei Reflexion vernachlässigen darf, lässt sich die Gleichung der Interferenzcurve nach einem von Hrn. Barton benutzten Verfahren ausrechnen. Dies aber genügt nicht: der von x_1 (Fig. 1) reflectirte Wellenzug wird bei B reflectirt und kehrt nochmals nach x_1 zurück, wo er wie vorher theilweise durchgelassen, theilweise reflectirt wird etc. Der Fall ist zu complicirt für exacte Rechnung. Wir haben es mit drei Unbekannten zu thun: erstens mit der Dämpfung des primären Wellenzuges oder der primären Dämpfung; zweitens mit der Dämpfung des secundären Wellenzuges wegen des Widerstandes der Drähte etc.; drittens mit dem Electrolytenwiderstand. Ich habe die Rechnung so gut es ging durchgeführt, aber da sie keine genauen Resultate geben kann, verzichte ich darauf, sie hier wiederzugeben. Ich kann nur

1) v. Geitler, Wied. Ann. **49**. p. 184. 1893.

2) Barton, Proc. Roy. Soc. June 1893.

sagen, dass meine Rechnung es wahrscheinlich macht, dass der in diesen Versuchen auftretende Widerstand übereinstimmt mit dem, welcher nach der gewöhnlichen Methode mit Brücke und Telephon bestimmt wird.

Zum Schluss bemerke ich noch, dass ich an Stelle des flüssigen Electrolyten auch feste Salze in Pulverform benutzt habe, z. B. Kochsalz und mit Wassergehalt krystallisirte Soda. Diese Versuche lassen sich gut durchführen, doch erhielt ich noch keine genauen Resultate. Jedenfalls nähern sich die Werthe der Dielectricitätsconstanten für die genannten Salze mehr den für Isolatoren bekannten Werthen, als den grossen Werthen, welche man für Wasser und Alkohol gefunden.

Diese Arbeit wurde im physikalischen Laboratorium der Universität Bonn ausgeführt. Ich erlaube mir, Hrn. Prof. Hertz für sein stetes Interesse sowie für Rath und Hülfe bei derselben auch an dieser Stelle meinen herzlichen Dank auszusprechen.¹⁾

1) Einige dieser Resultate sind schon in Proc. Roy. Soc. of London, June 1893, veröffentlicht worden.