

## Zur Frage der Wärmetönung durch dielektrische Polarisaton

Dr. **Gustav Benischke.**

Aus dem physikalischen Institute der k. k. Universität in Innsbruck.

(Mit 1 Textfigur.)

Bekanntlich hat schon W. Siemens<sup>1</sup> mittelst Thermostromen die Erwärmung eines Glascondensators durch Ladung nachgewiesen. Ausserdem liessen die vielen Ähnlichkeiten zwischen magnetischen und elektrostatischen Erscheinungen erwarten, dass auch die magnetische Hysteresis ihr Analogon in einer dielektrischen Hysteresis haben werde. In dieser Hoffnung hat C. P. Steinmetz<sup>2</sup> Messungen an einem Paraffinpapier-Condensator von drei Mikro-Farad Capacität derart vorgenommen, dass derselbe in einen Wechselstromkreis von 1000 Volt und 170 Perioden eingeschaltet und durch Volt-, Amper- und Wattmesser der Energieverlust in demselben bestimmt wurde. Da aber Paraffinpapier ein zu unvollkommenes Dielektricum ist, um darauf sichere Schlüsse aufbauen zu können, unternahm ich es, die durch dielektrische Polarisaton etwa auftretende Wärme an einem Paraffincondensator zu untersuchen.

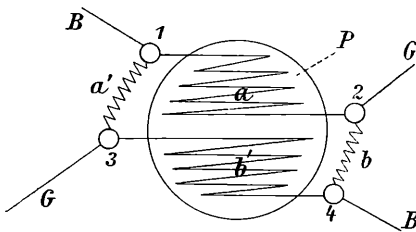
Während ich mit der Zusammenstellung der Versuchsmethode beschäftigt war, erschienen die einschlägigen Arbeiten

---

<sup>1</sup> W. Siemens, Monatsber. der Berl. Akad., 1861, October.  
Steinmetz, Elektrot. Zeitschr., 13, S. 227, 1892.

von Fritz<sup>1</sup> und Kleiner.<sup>2</sup> Ersterer untersuchte Glascondensatoren mittelst des Eis calorimeters und mittelst Thermoströmen, letzterer solche aus verschiedenen dielektrischen Stoffen mittelst Thermoströmen. Aus diesen Versuchen ergab sich für Paraffin und Colophonium keine Erwärmung, wohl aber für Glas, Glimmer, Ebonit und andere minder vollkommene Dielektrica.

Ich bemerke gleich, dass auch ich bei meinem Paraffincondensator keine Erwärmung constatiren konnte, wohl aber bei einem Paraffinpapier-Condensator, so dass ich zu der Ansicht gelangte, dass durch reine dielektrische Polarisation überhaupt keine Wärme erzeugt wird, und dass die bisher bei anderen Stoffen nachgewiesene Wärme nichts Anderes ist als zum Theil Joule'sche, zum Theil durch mechanische Vorgänge erzeugte Wärme.



Das Folgende wird, wie ich glaube, diese Ansicht rechtfertigen.

Zur Bestimmung der Temperaturerhöhung des Dielektricum musste die Versuchsmethode besonders zwei Bedingungen

erfüllen; sie musste erstens sehr empfindlich sein, zweitens einen Wärmeverlust möglichst vermeiden. Diesen Bedingungen entsprach ein aus zwei nicht correspondirenden Zweigen einer Wheatstone'schen Brücke bestehendes Bolometer, das sich mitten in dem zu untersuchenden Dielektricum befand.

Alle vier Zweige dieser Wheatstone'schen Brücke bestanden aus je einem circa  $0\cdot025\text{ mm}$  dicken,  $239\text{ cm}$  langen Platindrahte mit einem Widerstande von  $w = 511\cdot4\ \Omega$  bei  $17^\circ\text{ C}$ . Sind  $a, b, a', b'$  die vier Brückenarme, so waren  $a$  und  $b'$  in die Paraffinplatte des Condensators  $P$  von  $161\text{ mm}$  Durchmesser eingeschmolzen. Dies geschah in der Weise, dass diese beiden Drähte auf eine jener Paraffinplatten, die ich bei einer früheren

Fritz, Inaug.-Dissert., Zürich, 1893.

Kleiner, Vierteljahrsh. der Naturforsch. Ges. in Zürich, 37, 1893 und Wied. Ann., 50, S. 138, 1893.

Untersuchung<sup>1</sup> zur Bestimmung der Dielektricitätsconstante verwendet hatte, so wie es die Figur zeigt, aufgespannt wurden. Bei der Feinheit der Drähte genügte das blosses Andrücken, um sie haften zu machen. Darüber wurde dann Paraffin in mehreren Schichten gegossen und daraus auf der Drehbank eine ebene, 2·5 *mm* dicke Platte derart abgedreht, dass die beiden so gespannten Drähte sich mitten in der Paraffinplatte befanden. So wurde erreicht, dass die im Dielektricum auftretende Wärme ohne Verlust nach aussen gemessen werden konnte. Die Enden dieser äusserst dünnen Drähte waren zunächst an dickere Platindrähte, welche aus der Paraffinplatte herausragten, und diese an dickere Kupferdrähte gelöthet, welche in die Quecksilbernäpfchen 1, 2, 3, 4 tauchten. Jeder der beiden anderen Zweige *b* und *a'* war auf ein Stück einer dicken Glasröhre aufgewickelt und die Enden aus Kupferdraht diametral durch die die Röhre verschliessenden Korke gesteckt. Das ganze mit Ausnahme der in die Quecksilbernäpfchen tauchenden Kupferdrähte wurde mit einer schützenden Paraffinschichte überzogen.

Alle vier Brückenarme waren demnach qualitativ und quantitativ gleich, so dass ich sowohl von äusseren Temperaturschwankungen als auch von der im Stromkreise der Wheatstone'schen Brücke selbst auftretenden Joule'schen Wärme vollständig unabhängig wurde.

Die Drähte *G* führen zu einem Spiegelgalvanometer, die Drähte *B* zu einer Batterie von einem Daniell.

Haben alle vier Brückenarme gleiche Temperatur, so zeigt das Galvanometer auf Null; ändert sich aber die Temperatur der Arme *a* und *b'* und damit ihr Widerstand, so gibt die Nadel einen Ausschlag, der durch einen zu *a'* zugeschalteten Widerstand compensirt werden kann. Ist der Widerstand jedes Brückenarmes *w* und vermehrt sich derselbe infolge der Temperaturerhöhung in jedem der eingeschmolzenen Arme *a* und *b'* um *x* und ist *r* der zu *a'* zugeschaltete Compensationswiderstand, so besteht für das Gleichgewicht in der Wheatstone'schen Brücke folgende Beziehung:

$$w+x : w = w+r : w+x;$$

daraus ist

$$w+x = \pm \sqrt{w^2 + nr}$$

und

$$x = -w + \sqrt{w^2 + nr}.$$

Man ersieht daraus die Empfindlichkeit der Methode, da der Compensationswiderstand  $r$  unter der Quadratwurzel vorkommt. Derselbe bestand aus einem Rheochord von verschwindend kleinen Temperaturcoëfficienten.

Die Ladung des Condensators geschah, so wie in meiner früher citirten Arbeit, mittelst des durch die Spule eines Ruhmkorff'schen Inductoriums auf höhere Spannung transformirten Wechselstromes des Elektrizitätswerkes Innsbruck. Ein Ende des secundären Stromkreises und eine Platte des Condensators waren zur Erde abgeleitet. Störungen wurden weder durch die Ladungen des Condensators, noch durch das magnetische Feld des Transformators verursacht, so dass ich auch, während beide in Thätigkeit waren, messen konnte. Der Condensator wurde demnach in der Secunde 80mal entgegengesetzt geladen und entladen; und obwohl ich dies durch 10 Minuten geschehen liess und bis zu einer am absoluten Schutzring-Elektrometer gemessenen Spannung der einzelnen Ladungen von rund 1700 Volt ging, zeigte das Galvanometer dennoch keinen Ausschlag; das heisst, es trat keine Erwärmung im Condensator auf.

Ich ging nun daran, einen Condensator aus Paraffinpapier in ähnlicher Weise zu untersuchen, da bei solchen schon wiederholt eine starke Erwärmung unzweifelhaft constatirt worden ist. Um das mühsame Abmessen und Spannen der Platindrähte nicht nochmals durchführen zu müssen, legte ich auf beide Seiten meiner Paraffinplatte ein Blatt Papier und darauf wieder die Condensatorplatten. Indem ich nun dieselben erwärmte, schmolz das Paraffin von beiden Seiten gleichmässig ab, und schliesslich hatte ich die Platindrähte in unveränderter Lage zwischen den beiden Papieren, welch letztere sich natürlich in gut durchgetränkte Paraffinpapiere verwandelt hatten. Da schon nach dem ersten Versuche ein Funke diese beiden Paraffinpapiere durchbrochen hatte, war ich genöthigt, noch je ein Paraffinpapier auf jede Seite hinzuzufügen, so dass das Dielek-

tricum aus einer vierfachen Schichte Paraffinpapier bestand, in deren Mitte sich der Bolometerdraht befand.

Damit machte ich nun zwei verschiedenartige Messungen, welche entscheiden sollten, ob die in ihm auftretende Wärme Joule'sche Wärme sei oder nicht. Einmal legte ich meine Condensatorplatten auf die vierfache Schichte von Paraffinpapier, das anderemal nahm ich zwei Blätter Stanniol und presste sie gut an das Paraffinpapier an, so dass sie ohne Falten hafteten. Ich hatte also im ersten Falle infolge der Unebenheit des Paraffinpapieres Berührung blos an einigen Stellen, im zweiten Falle jedoch auf der ganzen Fläche. Die Capacität unterschied sich in beiden Fällen kaum merklich. Hat nun die Erwärmung ihre Ursache in dielektrischer Polarisation, so konnte kein wesentlicher Unterschied zwischen beiden Fällen auftreten. Ist die Wärme hingegen Joule'sche Wärme, so musste sie im zweiten Falle beträchtlich grösser sein als im ersten, weil auch die Stromstärke, die den Condensator passirt, grösser ist.

Es war nun für die oben angegebene Versuchsdauer und Spannung im ersten Falle der zugeschaltete Widerstand  $r = 0.91 \Omega$  (als Mittel aus mehreren Versuchen); daraus  $x = 0.46 \Omega$ . Nun ist für eine Temperaturerhöhung des Condensators um  $1^\circ \text{C}$ .  $x = 1.52 \Omega$ , welchen Werth ich praktisch mit Hilfe von Wasserbädern ermittelt habe. Demnach beträgt die im ersten Versuche auftretende Temperaturerhöhung  $0.30^\circ$

Für den zweiten Versuch war  $r = 3.31 \Omega$ , daraus  $x = 1.66 \Omega$ , was einer Temperaturerhöhung des Condensators um  $1.09$  entspricht. Die im zweiten Falle auftretende Wärmemenge ist also nahezu viermal grösser als im ersten Falle.

Ist die vorhin gegebene Erklärung richtig, so muss die auf solche Weise gemessene Erwärmung wenigstens in der Grössenordnung mit der aus dem Joule'schen Gesetze berechneten übereinstimmen. Ich bestimmte daher die specifische Wärme des Paraffinpapieres nach der Mischungsmethode und erhielt dafür  $0.4$ . Dann ergibt sich für die im Condensator entwickelte Wärme  $2.08 g \text{ Cal}$ . Der Widerstand des Condensators wurde mittelst eines Batteriestromes und eines Quadranten-Elektrometers durch Vergleichung des Potentialgefälles mit dem in einem Graphitwiderstande von  $10^6 \Omega$  ermittelt und ergab sich

gleich  $145 \cdot 10^6 \Omega$ . Daraus berechnet sich die Joule'sche Wärme<sup>1</sup> zu  $1 \cdot 5 \text{ g Cal}$ . Man sieht, dass die beiden Werthe wenigstens in der Grössenordnung übereinstimmen. Eine bessere Übereinstimmung ist nicht zu erwarten, da die spezifische Wärme des Paraffinpapieres und der Widerstand des Condensators nur beiläufige Werthe sind.

Es deuten übrigens auch die Messungen von Steinmetz<sup>2</sup> und Kleiner<sup>2</sup> darauf hin, dass die im Condensator auftretende Wärme Joule'sche Wärme sei. Beide fanden nämlich für unvollkommene Dielektrica den Verlust an elektrischer Energie proportional dem Quadrate der Spannung, letzterer ausserdem verkehrt proportional der Dicke der dielektrischen Platte. Das ist also das Joule'sche Gesetz. Allerdings bemerkt Steinmetz, dass die von ihm angegebenen Werthe bereits um die durch den Leitungswiderstand verlorene Energie vermindert sind. Die Werthe, die er dann für den Energieverlust durch »dielektrische Hysterisis« erhält, sind so klein ( $58600$  bis  $1900.000 \text{ Erg}$ , das sind etwa  $0 \cdot 001$  bis  $0 \cdot 05 \text{ g Cal}$ .), dass dieselben gewiss unter die Fehlergrenze fallen.

Endlich kommt für die Erwärmung, die in der Regel bei den in der Praxis verwendeten Paraffinpapier-Condensatoren auftritt, noch eine mechanische Wirkung in Betracht. Dieselben lassen immer ein mehr oder minder starkes summendes Geräusch hören; auch kann immer ein Vibriren der einzelnen Blätter constatirt werden, was aus der Anziehung zwischen beiden Belegungen leicht zu erklären ist. Es tritt demnach auch eine mechanische Energie auf, welche sich zum Theile in Wärme, zum Theile in Schall umsetzt.

Während der Durchführung dieser Untersuchung sind noch einige weitere Arbeiten zu diesem Gegenstande erschienen.

Das Joule'sche Gesetz lautet  $A = 0 \cdot 24 \frac{E^2}{11^2} t$ , wenn  $t$  die Zeit

Secunden bedeutet. Für  $E^2$  ist in diesem Falle der Mittelwerth aus der Summe aller  $E^2$  zu setzen. Diesen Werth erhält man direct durch das absolute Elektrometer; in diesem Falle gleich  $1,461.000$ . Die früher angegebene Zahl für die Spannung des Wechselstromes bedeutet die maximale Spannung  $E_{\max}$ . Zwischen dem Mittel aus der Summe der  $E^2$  und dem  $E_{\max}$  besteht bekanntlich die Beziehung:  $E^2 = \frac{1}{2} E_{\max}^2$ .

L. c.

Arnò<sup>1</sup> zeigte, dass ein Hohlzylinder aus einem Dielektricum in einem rotirenden elektrostatischen Felde ebenfalls in Rotation geräth und erklärt dies aus einer im Dielektricum auftretenden dielektrischen Hysteresis. Abgesehen davon, dass die diesen Versuchen unterzogenen Cylinder alle aus unvollkommenen dielektrischen Stoffen bestanden und demnach jene Erscheinung aus der Rückstandsbildung erklärt werden kann, haben Graetz und Fomm<sup>2</sup> nachgewiesen, dass es eine Eigenschaft vollkommen homogener und isotroper dielektrischer Körper ist, im homogenen elektrostatischen Felde Drehungsbewegungen auszuführen.

Hess<sup>3</sup> ist durch eine theoretische Betrachtung zu dem Resultate gekommen, dass, wenn man das Dielektricum mit leitenden Theilchen vermischt betrachtet, ein Verlust an elektrischer Energie entsprechend dem Joule'schen Gesetze auftreten muss.

Endlich hat Janet<sup>4</sup> den Verlust elektrischer Energie in einem Dielektricum bei schnellen elektrischen Schwingungen bestimmt. Er geht dabei von dem Grundsatz aus, »dass bei gänzlicher Abwesenheit der Erscheinungen der Hysteresis oder Viscosität der Quotient  $\frac{Q}{V}$  constant und gleich der Capacität des Condensators sein müsse.« Dieser Grundsatz ist unrichtig, da die Erscheinungen der Rückstandsbildung die Inconstanz dieses Quotienten hinlänglich begründen. Die Erscheinungen der Rückstandsbildung ohneweiters als dielektrische Hysteresis aufzufassen, geht auch nicht an, denn unter Hysteresis versteht man einen wirklichen Energieverlust durch Umsetzung in Wärme. Die Rückstandsbildung jedoch bedeutet keinen derartigen Verlust, da die für den Augenblick verschwundene elektrische Energie allmählig von selbst wieder erscheint. Ich glaube demnach, dass eine dielektrische Hysteresis nicht existirt

<sup>1</sup> Arnò, Atti della R. Accad. dei Lincei, 1892, I, 2, S. 248; 1893, II, 1, S. 341.

Graetz und Fomm, Sitzungsber. der mathem.-physik. Classe der k. bayer. Akad. der Wiss., 23, S. 275, 1893.

<sup>3</sup> Hess, Lumière électr., 46, S. 401 und 507, 1892.

<sup>4</sup> Janet, Compt. rend., 116, S. 373, 1893.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1893

Band/Volume: [102\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Benischke Gustav

Artikel/Article: [Zur Frage der Wärmetönung durch dielektrische Polarisierung- 1345-1351](#)