

## Zwei neue Messinstrumente.

Von

Alfred Kleiner.

### 1. Ueber rückstandslose Kondensatoren mit festem Dielektrikum.

Nachdem Beobachtungen über dielektrische Hysteresis <sup>1)</sup> ergeben hatten, dass Paraffin als Dielektrikum ausgezeichnete Eigenschaften besitzt, indem in diesem Material keine Hysteresis nachgewiesen werden konnte, bemühte ich mich, Paraffinkondensatoren herzustellen, in der Erwartung, dass dieselben betreffend Rückstände und Ladungszeit sich ähnlich oder gleich verhalten werden wie Luftkondensatoren, während sie diesen hinsichtlich erreichbarer Kapazität und elektrischer Resistenz überlegen sein würden.

Dass sich thatsächlich rückstandsfreie Paraffinkondensatoren herstellen lassen, ist schon von L. Arons <sup>2)</sup> nachgewiesen worden; es war aber wünschbar, für solche Kondensatoren eine solche Form und Herstellungsweise zu finden, dass sie als Messinstrumente mit nicht zu kleiner Kapazität verwendet werden können.

Der Versuch, Paraffinkondensatoren herzustellen aus übereinandergeschichteten, gegossenen oder aus reinem Material herausgedrehten Paraffinplatten mit zwischengelegten Stanniolblättern führte nicht zum gewünschten Ziel <sup>3)</sup>, weil bei dieser Herstellungs-

<sup>1)</sup> Wiedemanns Annalen Bd. 50, p. 138 und G. Benischke, Sitzungsber. der kaiserl. Akademie in Wien 1893.

<sup>2)</sup> Wiedemanns Annalen Bd. 35, 1888, p. 291.

<sup>3)</sup> Wiedemanns Annalen Bd. 50, p. 145.

art wegen der mannigfachen Manipulationen beim herstellen und zusammenlegen der Platten es wohl kaum möglich ist, das Material rein, von Feuchtigkeit frei, zu erhalten. Bessere Resultate waren zu erwarten, wenn ein System von parallelen Leitern in flüssiges Paraffin getaucht und nun das Dielektrikum erstarren gelassen wurde, nachdem es unter der Luftpumpe von Gasen und Feuchtigkeit vollkommen befreit worden. Es wurde nun also zunächst ein System von Kupfercylindern aus Schablonenblech von 0,1 mm Dicke derart zusammengestellt, dass zwischen zwei aufeinander folgenden solcher Röhren ein Zwischenraum von 2 mm blieb. 14 solcher konzentrischer Röhren von 18 cm Höhe, die innerste mit 2,6, die äusserste mit 76 mm Durchmesser, wurden oben und unten durch Kreuze von Ebonit mit passenden Einschnitten zusammengehalten, sodass überall der Abstand von 2 mm gewahrt blieb; um das System transportabel zu machen, wurden beide Versperrungskreuze in der Mitte durch einen, durch den innersten Cylinder gehenden Ebonitstab verbunden. Das Ganze bildete nun, nachdem je die gradzahligen und die ungradzahligen Cylinder mit gemeinsamen Zuleitungen versehen worden, zunächst einen Luftkondensator, dessen Kapazität zu 0,0015 MF. festgestellt werden konnte<sup>1)</sup>. Derselbe wurde in ein Gefäss mit flüssigem Paraffin gestellt und nachdem unter der Luftpumpe Gase und Dampfblasen aus der Flüssigkeit möglichst entfernt worden, wurde nun das Paraffin erstarren gelassen, wobei die Sorgfalt zu beachten war, dass das Erstarren langsam von unten nach oben fortschritt; erst wenn das Paraffin bis zum obern Rand der Kupfercylinder fest geworden, wurde das Erstarren auch an der Oberfläche freigegeben, sodass infolge der Volumverminderung beim Erstarren nur ein flacher Trichter an der Oberfläche sich bilden konnte.

Kondensatoren, welche auf die beschriebene Art hergestellt waren, zeigten immer noch Rückstände von mehr als 1%; ich überzeugte mich bald, dass diese herrührten von den Ebonitlamellen, welche zur Versperrung der Kupfercylinder verwendet wurden;

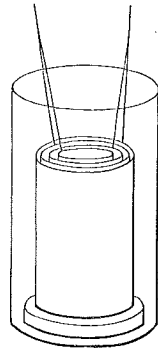
---

<sup>1)</sup> Mit einem solchen System lässt sich in einfacher Weise die Dielektricitätskonstante z. B. von Flüssigkeiten bestimmen, indem zwei Entladungsausschläge verglichen werden, wenn das System einmal in Luft aufgestellt und darauf in die zu untersuchende Flüssigkeit eingesenkt ist.

denn sie stellten sich nach einiger Zeit auch an Lufkondensatoren der oben beschriebenen Art ein und verschwanden wieder, wenn das System auseinander genommen und nach Reinigung der Ebonitversperrungen wieder frisch zusammengesetzt wurde; solche Rückstände wurden auch veranlasst durch Ueberbrücken benachbarter Röhren durch Fremdkörper, wie kleine Fäserchen etc.

Gelegentlich habe ich an solchen Paraffinkondensatoren eine früher gemachte Beobachtung <sup>1)</sup> wiederholen können, nämlich die, dass bei wiederholter Ladung der Kondensatoren deren Rückstände immer kleiner wurden, das Dielektrikum sich also verbesserte.

Um zwischen den Leitern der Paraffinkondensatoren jegliche Versperrungen zu vermeiden und nur reines Paraffin als Dielektrikum verwenden zu können, wurden in der Folge die Kupferröhren zunächst montiert auf einer etwa 1 cm dicken Bodenplatte von Paraffin, (vergl. Fig.) mit dem Schmelzpunkte  $74-76^{\circ}$  in welche kreisrunde, feine 1 mm tiefe Rinnen eingedreht waren. Die obern Enden der Kupfercylinder wurden vorläufig mit Glasstäbchen als Versperrungen fixiert, und dies System in ein Gefäß mit flüssigem Paraffin vom Schmelzpunkt  $46-48^{\circ}$  eingesenkt; wenn dann durch das von unten fortschreitende Erstarren des Paraffins die Kupferröhren genügend fixiert waren, wurden oben die Glasstäbchen herausgezogen und die Masse nun vollends erstarren gelassen, und nun befand sich zwischen den Leitern nur Paraffin. Für das als Bodenplatte verwendete Paraffin hatte ich gleiche Dielektricitätskonstante und Isolation festgestellt wie für die andern Paraffine. (Es waren 4 Sorten untersucht worden: mit Erstarrungspunkten  $46-48^{\circ}$ ,  $52-54^{\circ}$ ,  $56-58^{\circ}$ ,  $76-78^{\circ}$ ).



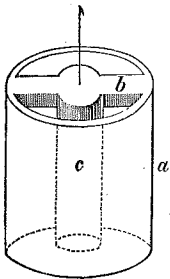
Von zwei, nach diesem Verfahren hergestellten Paraffinkondensatoren zeigte der erste einen Rückstand von  $C^{\circ} \frac{1}{3}\%$ , ein zweiter liess, nachdem eine erste Entladung einen Entladungsausschlag von über 600 Scalenteilen ergeben hatte, bei einer zweiten Entladung keinen Ausschlag mehr sicher erkennen, er war also so gut wie rückstandslos; seine Ladungszeit ist nicht über eine

<sup>1)</sup> Hertz, Wiedemanns Ann. Bd. 20 u.: Verhandlungen der schweizerischen Naturforscherversammlung, 1894.

Sekunde, ist aber bis dahin noch nicht genau bestimmt worden. Für einen dieser Kondensatoren ist auch die elektrische Festigkeit ungefähr ermittelt worden; er hielt Ladungen bis zu 16000 Volts aus, ohne dass das Dielektrikum durchbrochen wurde. Nach Macfarlane und Pierce <sup>1)</sup> entsprechen der Funkenstrecke von 1 mm im festen Paraffin etwa 25000 Volts, nach Monti <sup>2)</sup> gar 155000 Volts. Die elektrische Festigkeit des Paraffins scheint wesentlich von seiner Reinheit abzuhängen. Auf Grund der mitgetheilten Beobachtungen bin ich überzeugt, dass Paraffin, das im flüssigen Zustand mechanisch (durch filtrieren) gereinigt und tüchtig ausgepumpt worden, die Herstellung von Kondensatoren mit idealen Eigenschaften ermöglicht.

## 2. Ueber ein neues Galvanometer.

Die vielfache Anwendung von Starkströmen auch in Laboratorien wirkt so störend auf Strommessungen mit den bisher gebräuchlichen Bussolen, dass es wünschbar geworden ist, Galvanometer zur Disposition zu haben, deren Konstanten vom magnetischen Feld, in welchem gearbeitet wird, unabhängig sind. Ich habe versucht, ein Instrument dieser Art zu konstruieren, welches vor den jetzt vielfach verwendeten vorzüglichen technischen Ampèremetern den Vorzug haben sollte, dass die Beziehung zwischen der zu messenden Grösse und einem zu beobachtenden Ausschlag eine gesetzmässige ist, also keine empirische Scala zur Verwendung kommt, sondern einfache Winkelmessung, etwa mit Spiegel und Scala.



Ein wesentlicher Bestandteil des neuen Galvanometers ist ein Magnet von der in der Figur ersichtlichen Form. Derselbe besteht aus einem Hohlzylinder *a* der durch eine Brücke *b* mit einem koaxialen Massivzylinder *c* verbunden ist. Es wird so magnetisiert, dass das freie Ende des centralen Massivzylinders die eine Polarität, z. B. Nordmagnetismus, bekommt, während der Rand des umgebenden Rohres entgegen-

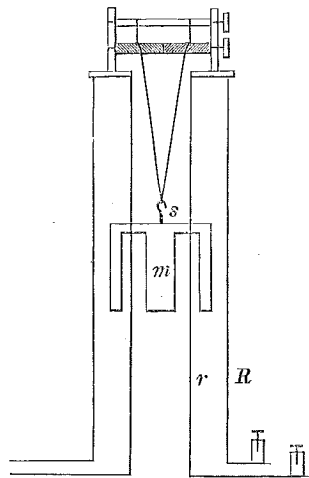
<sup>1)</sup> Physical Review 1, 1893.

<sup>2)</sup> L'Elettricista 2, p. 225.

gesetzten Magnetismus besitzt; die Brücke  $b$  bildet die indifferente Zone; die Kraftlinien gehen längs  $c$  durch die Brücke  $b$  in den Mantel  $a$  und durchsetzen den Luftraum zwischen  $a$  und  $c$  radienförmig. Das System ist wegen der Symmetrie des ringförmigen Kraftfeldes ein astatisches, von der Richtkraft des Erdmagnetismus unabhängiges, wenigstens sofern nicht wegen der Asymmetrie bei der Brücke  $b$  etwas freier Magnetismus von bestimmter Richtungsorientierung auftreten kann.

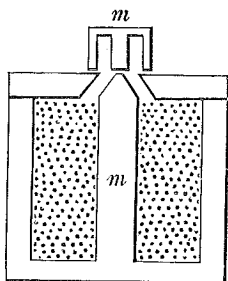
Wird nun ein stromdurchflossenes Rohr durch den Hohlraum zwischen den Cylindern, also durch das radikale Kraftliniensystem hindurchgesteckt, so wird das magnetische System gedreht, und wenn dasselbe bifilar aufgehängt ist, so ist die neue Gleichgewichtslage dadurch bestimmt, dass das dem Sinus der Ablenkung proportionale Drehmoment der bifilaren Aufhängung gleich ist dem durch den Strom bewirkten, welches der Stromstärke proportional ist. Die zu messende Stromstärke ist also dem Sinus des Ablenkungswinkels proportional, der Proportionalitätsfaktor hängt ab von Dimension, Gewicht, magnetischem Moment des Magnets und von Länge und Abstand der Aufhängefäden, also von dauernd konstanten Grössen. Bei unifilarer Aufhängung wäre die Stromstärke dem Torsionswinkel proportional.

Die Anordnung, welche dem Instrumentchen gegeben worden ist, ist im Schema aus nebenstehender Figur ersichtlich: Durch das innere Rohr  $r$ , welches mit 2 Ausschnitten versehen ist, um durch den freien Teil der Decke des Magnets  $m$  hindurchgeführt zu werden, wird der Strom durch das Magnetsystem geleitet und durch ein äusseres Rohr  $R$  wird er einer stromabführenden Klemme zugeführt. Der Magnet hängt bifilar an einem Kokonfaden, dessen obere Enden in die Gewindgänge zweier zusammenstossender rechts- und linksläufiger Gewinde eingelegt sind, sodass durch Drehung des Aufhängecylinderchens der obere Fadenabstand variiert werden kann. Der Magnet trägt



einen Spiegel *s*, zu dessen Beobachtung Fenster an den stromführenden Röhren angebracht sind.

Ein erstes Instrument der beschriebenen Art, mit einem Magneten von 20 mm Länge und 20 mm äusserm Durchmesser, hatte bei kleinem Fadenabstand eine solche Empfindlichkeit, dass, als untere Grenze, zehntausendstel Ampère gemessen werden konnten; es erwies sich aber als nicht ganz astatisch, indem ein genäherter Magnet Ablenkungen bewirkte; dies rührt zum Teil von nicht ganz symmetrischer Magnetisierung her, zum Teil auch von etwas freiem Magnetismus an der Brücke *b*; doch ist die Richtkraft, welche diese Ursache hat, sehr klein verglichen mit der durch die Art der Aufhängung bedingten, auch wird durch die Existenz einer solchen Richtkraft das Sinusgesetz nicht beeinträchtigt, da sie ebenfalls proportional dem Sinus der Ablenkung ist. Ich habe mit Erfolg diese Richtkraft auf ein Minimum reduziert, indem 2 gleiche Magnetsysteme mit einander verbunden wurden, wobei die Brücken senkrecht zu einander gestellt waren.



Es wäre leicht, solche Instrumente mit Flüssigkeitsdämpfung zu versehen; doch empfehlen sich Luftdämpfung oder Induktionsdämpfung besser, welche anzubringen keine grossen Schwierigkeiten bieten sollte.

Erwähnenswert ist die Art und Weise, wie Magnete der oben beschriebenen Form bis zur Sättigung zu magnetisieren sind. Es wurden dazu grössere, kapselförmige mit Maschinenstrom zu erregende Elektromagnete *M* verwendet, auf welche in aus der Figur (Schnitt durch die Achse) ersichtlicher Weise die Magnete *m* als Schluss des magnetischen Kreises aufgesetzt wurden.

Zürich, März 1896.