XI. Ueber ein neues Galvanometer; von J. Kollert.

(Hierzu Taf. IV Fig. 6–7.)

Im 23. Bande dieser Zeitschrift ¹⁾ beschreibt Hr. Rosenthal ein empfindliches Galvanometer, dessen günstige Wirkung darauf beruht, dass die Multiplicatorwindungen den Polen des Magnets sehr nahe gebracht sind. Ich habe ein ähnliches Instrument construirt, das sich jedoch in einer Anzahl von Punkten wesentlich von dem Rosenthal'schen unterscheidet, und das vor demselben verschiedene Vorzüge zu besitzen scheint.

Die äussere Ansicht stellt Fig. 6 dar, während Fig. 7 schematisch die Anordnung der wesentlichen Theile erkennen lässt; beide Figuren sind in drittel der natürlichen Grösse gezeichnet. Die vier Multiplicatorrollen sind aus Elfenbein gefertigt und enthalten je 4000 Windungen sogenannten Telephondrahtes (der Draht hat ohne Ueberspinnung ca. $\frac{1}{18}$ mm Durchmesser). Der Radius der innersten Windungen ist 0,35 cm, der der äussersten 1,25 cm, die Dicke der Drahtrollen = 0,77 cm. Es kommen somit auf 1 qmm des Wickelungsraumes ca. 58 Windungen. Die Gesamtlänge des Drahtes ist ca. 800 m, der Widerstand 4555 Ohm bei 17° C.; ich bemerke noch, dass der Preis des Drahtes noch nicht 3 Mark beträgt. Die Rollen sind paarweise auf zwei um die Axe des Instrumentes drehbaren und durch eine Druckschraube fest zu klemmenden Armen befestigt, welche mit Hülfe einer am Rande der Bodenplatte angebrachten, übrigens nur ganz rohen Gradtheilung unter einem Winkel von ca. 72° gegeneinander befestigt sind. Die Magnete bestehen aus kreisförmig gebogenen Stücken von sehr dünner Damenuhrfeder; der Radius des Kreises ist 3 cm, und die Länge eines Magnets beträgt den sechsten Theil des Kreisumfanges. Dieselben sind an einer möglichst leicht gearbeiteten Aufhängung befestigt, welche weiter oben (innerhalb *D*, Fig. 6) den Glimmerflügel einer Töpler'schen Luftdämpfung und darüber im Spiegel-

1) Rosenthal, Wied. Ann. 23. p. 677. 1884.

gehäuse *S* einen ca. 0,3 mm dicken Spiegel von 2 cm Durchmesser trägt. Wie aus Fig. 7 zu ersehen ist, sind die Magnete so angebracht, dass das ganze System astatisch ist. Als Aufhängefaden dient ein 25 cm langer, einfacher Coconfaden. Das ganze Instrument ruht auf einem mit Stellschrauben versehenen Messingdreifuss und ist um einen Conus drehbar. Der Spiegel und das Spiegelgehäuse ist ebenfalls nach verschiedenen Richtungen hin drehbar. Die Stromzuführung erfolgt durch die in zwei Gruppen zu je vier auf Kreisbogenstücken aus Hartgummi befestigten Klemmen *K*. Die vier Rollen sind hintereinander geschaltet und so verbunden, dass sich ihre Drehungsmomente addiren; dabei subtrahiren sich aber, wie leicht ersichtlich, die magnetischen Vertheilungswirkungen, sodass durch den Strom eine Aenderung des Nadelmagnetismus nicht oder nur in äusserst geringem Maasse stattfindet. Um Störungen durch den Luftzug zu verhindern, ist der die Magnete und Multiplicatorrollen enthaltende Theil des Instruments von einem leicht abnehmbaren Gehäuse *G* aus Messingrohr umschlossen. Beim Transport genügt es, die Magnete so weit zu senken, dass sie selbst oder auch der Dämpfungsflügel sich aufliegen.

Ich habe nun zunächst die Wirkungen der vier Rollen berechnet unter der Voraussetzung, dass die Magnetpole mit den Mittelpunkten der Drahtrollen zusammenfallen. Bezeichnen M_1 und M_2 die Stärken der Magnetpole, I die Stromstärke in absolutem magnetischen Maass pro Quadratcentimeter des Wicklungsraumes (also hier das 5800fache der Stromstärke im Leitungsdrahte), so ergab die Rechnung bei Zugrundelegung des cm, g, sec-Systems als Drehungsmoment des Stromes:

$$D = 30,426 I (M_1 + M_2).$$

Als Horizontalcomponente des Erdmagnetismus für Chemnitz ist 0,19 zu nehmen, sodass, weil die Axenlänge der Magnete 3 cm beträgt, als Drehungsmoment des Erdmagnetismus sich ergibt:

$$A = 3 \cdot 0,19 \cdot (M_1 - M_2) = 0,57 (M_1 - M_2).$$

Für einen sehr schwachen Strom, der nur eine äusserst geringe Ablenkung α hervorbringt, sodass sich dabei die

Magnetpole noch nicht merklich von den Spulenmitten entfernen, somit D constant zu setzen ist, hat man:

$$\sin \alpha = \frac{D}{A} = 53,379 I \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2}.$$

Die Grösse $(M_1 + M_2)/(M_1 - M_2)$ kann man leicht bestimmen, indem man einen und denselben Strom einmal nur durch die Rollen 1 und 2, sodann nur durch 3 und 4 schickt. Sind α_1 und α_2 die in beiden Fällen beobachteten Ablenkungen, so ist:

$$\alpha_1 = k \cdot I \cdot \frac{M_1}{M_1 - M_2}; \quad \alpha_2 = k \cdot I \cdot \frac{M_2}{M_1 - M_2},$$

also $M_1 : M_2 = \alpha_1 : \alpha_2$. Der Versuch ergab $M_1 : M_2 = 38,5 : 32,5 = 6 : 5$ ca. Die Astasirung ist also eine sehr schlechte, da sich die Magnetismen der beiden Magnete nur wie 6 : 5 verhalten; dieselbe ist aber absichtlich nicht verbessert worden, da sich das Instrument für die Messungen, zu denen es bestimmt ist, als hinreichend empfindlich erwies. Aus obigem Werthe folgt aber:

$$\frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2} = 11,8.$$

Es müsste somit für einen Strom von:

$$0,000\,000\,001\,A, \quad \text{d. h.} \quad I = 0,000\,000\,58, \\ \sin \alpha = 0,000\,365,$$

d. h. angenähert $\lg 2\alpha = 0,00073$ sein. Da der Scalenabstand 1355,4 S.-T. betrug, so müsste folglich obigem Strom ein Ausschlag von 1 S.-T. entsprechen, was, wie sich sogleich zeigen wird, mit der directen Beobachtung vollkommen übereinstimmt.

Um das Instrument zu prüfen, bez. zu aichen, bediente ich mich auf Vorschlag des Hrn. Prof. Weinhold einer Wheatstone'schen Brückencombination, in deren Brücke das zu prüfende Galvanometer eingeschaltet war. Es seien A und B Ein- und Austrittsstelle des Stromes, C und D die Punkte, mit denen das Galvanometer verbunden ist; ferner sei $AC = w_1$, $AD = w_2$, $BC = w_3$, $BD = w_4$, $CD = w$. Ist alsdann e die Potentialdifferenz zwischen den Punkten A und B , so ist:

$$i = e \frac{w_1 w_3 - w_2 w_4}{w(w_1 + w_3)(w_2 + w_4) + w_1 w_3(w_2 + w_4) + w_2 w_4(w_1 + w_3)}.$$

Bei der zu den Versuchen benutzten Vorrichtung war (in Ohm):

$$w_1 = w_2 = 19990; \quad w_3 = 20003,2 + x; \quad w_4 = 19998.$$

Im Zweige w_3 befand sich ein Siemens'scher Widerstandskasten, sodass der Werth x leicht variirt werden konnte. Die Potentialdifferenz zwischen A und B wurde mittelst eines Torsionsgalvanometers von Siemens und Halske gemessen, dessen Reductionsfactor wiederholt mit dem Silbervoltmeter bestimmt worden war. Es ergab sich $e = 1,087$ V., wobei der Strom von einem mittleren Daniell'schen Element geliefert wurde. Die Versuchsergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt, wobei n den einseitigen Ausschlag in Scalentheilen bedeutet.

x in Ohm	i in 10^{-9} Amp.	n	$i : n$
0	2,878	2,1	1,370
9,421	8,091	5,9	1,371
18,842	13,303	9,5	1,400
28,263	18,514	13,2	1,403
37,684	23,723	17,0	1,395
47,105	28,930	20,9	1,384
94,21	54,946	39,8	1,381
188,42	106,870	77,0	1,388
282,63	158,649	114,5	1,386
376,84	210,285	151,2	1,391
471,05	261,778	188,3	1,390
565,26	313,136	224,7	1,393

Es ist somit bis zu einem Ausschlagswinkel von 5° sicher die Stromstärke den abgelesenen Scalentheilen proportional, und es entspricht im Mittel ein Scalenthail einer Stromstärke von $0,000\,000\,001\,388$ A. Die grösseren Abweichungen am Anfang rühren vom Gebrauch eines ziemlich mangelhaften Fernrohres her, dass kaum Fünftelscalentheile zu schätzen gestattete. Dabei war die Dämpfung so beträchtlich, dass bei den grössten beobachteten Ausschlägen ein Hinausschwingen über die endgültige Ruhelage um höchstens 8 Scalentheile erfolgte; dies war sogar dann noch der Fall, wenn durch Umlegen des Commutators der entgegengesetzte Ausschlag hervorgerufen wurde.

Die hier verwendete Methode der Aichung hat vor einer Aichung mittelst einfacher Stromabzweigung von einem aus-

gespannten Drahte den entschiedenen Vorzug, dass die zugeschalteten Widerstände x grössere und deshalb genauer bestimmbare Werthe besitzen.

Nach dem Obigen ist die Empfindlichkeit meines Galvanometers etwa die doppelte von der des Rosenthal'schen bei möglichster Astasirung¹⁾, ein Resultat, das zunächst wenig zu Gunsten der von mir gewählten Anordnung zu sprechen scheint, da das Rosenthal'sche Galvanometer nur 400 Windungen mit ca. 30 Ohm Widerstand besitzt, das aber sich ohne weiteres aus der geringen Astasirung meines Galvanometers erklärt, welche sich leicht noch beträchtlich verbessern liesse. Denn die Schwingungsdauer beträgt jetzt:

$$15^{\text{sec}} = \pi \sqrt{\frac{K}{0,19 \cdot 3 \cdot (M_1 - M_2)}}.$$

Würde man demnach dieselbe auf 60^{sec} steigern, so würde $M_1 - M_2' = \frac{1}{16}(M_1 - M_2)$ werden müssen, d. h.:

$$M_1 + M_2' = M_1 - \frac{1}{16}(M_1 - M_2) + M_1 = M_1 + M_2 + \frac{15}{16}(M_1 - M_2).$$

Mit Berücksichtigung des p. 493 angegebenen Werthes für $(M_1 + M_2)/(M_1 - M_2)$ würde sich also ergeben, dass $(M_1 + M_2')/(M_1 - M_2) = 17,3 \cdot 11,8$ werden würde, d. h. die Empfindlichkeit stiege auf das 17,3fache, oder auf das ca. 34fache von der des Rosenthal'schen Galvanometers, sodass also bei diesem Instrument, um gleiche Empfindlichkeit zu erzielen, die Windungszahl mindestens auf das 40fache gesteigert werden müsste (in Rücksicht darauf, dass die weiter abliegenden Windungen weniger wirken). Man würde so auch hier auf mindestens 16000 Windungen kommen; es wird aber grosse Schwierigkeiten haben, dieselben bei der von Hrn. Rosenthal gewählten Form unterzubringen.

Als Resultat hatte sich ergeben, dass einem Strom von 0,000 000 001 A. ein Ausschlag von 0,7 Scalenth. entspricht; die Rechnung dagegen ergab 1 Scalenth., wobei aber vorausgesetzt war, dass die Magnetpole mit den Spulenmitten zusammenfielen. Diese Anordnung hatte ich anfangs gewählt, es zeigte sich aber dabei, dass der Ausschlag langsamer zunahm, als die Stromstärke. Es gelang jedoch durch Weiter-

1) l. c. p. 680.

auseinanderstellen der Rollen (ca. 72° statt 60° , wie bereits oben erwähnt) das Instrument so zu justiren, dass Stromstärke und Ausschlag einander genau proportional wurden. Dabei ging aber die Empfindlichkeit im Verhältniss von $45:33 = 1:0,7$ herab, sodass also Rechnung und Beobachtung vollkommen miteinander übereinstimmen.

Um zu prüfen, ob vielleicht eine andere Grösse der Magnete ein günstigeres Resultat gäbe, berechnete ich noch das Drehungsmoment der vier Rollen unter der Voraussetzung, dass dieselben Viertelkreise seien. Es ergab sich dabei allerdings der etwas grössere Werth $D = 31,012 I(M_1 + M_2)$; allein es wird gleichzeitig wegen der grösseren Länge der Magnete das Drehungsmoment des Erdmagnetismus auf das $\sqrt{2}$ fache vergrössert, sodass also diese Anordnung entschieden ungünstiger sein würde, als die oben gewählte. Es würden überhaupt die Verhältnisse sich am günstigsten für eine weit geringere Länge der Magnete gestalten, indessen ist der Gewinn nicht beträchtlich, und es ergeben sich grössere Schwierigkeiten für die Construction.

Das Instrument dürfte, namentlich bei besserer Astasirung, allen bei physiologischen Versuchen gestellten Anforderungen entsprechen. Um dasselbe für Thermostrome besser verwendbar zu machen, dürfte es vielleicht am besten sein, von jeder Rolle etwa die zweihundert innersten Windungen separat mit Klemmen zu versehen, um sie allein benutzen zu können. Auch kann man natürlich die Rollen bifilar wickeln, um das Instrument als Differentialgalvanometer gebrauchen zu können.

Das hier beschriebene und abgebildete Instrument habe ich im Laboratorium der technischen Staatslehranstalten selbst hergestellt und kann infolge dessen über den Preis etwas Bestimmtes nicht angeben. Ich glaube indessen, dass derselbe bei Ausführung durch den Mechaniker 150 Mark nicht überschreiten würde, da Constructionsschwierigkeiten nicht vorhanden sind.

Chemnitz, im Juni 1886.