XIII. *Ueber eine Methode, starke galvanische Ströme zu messen; von F. Himstedt.*

Mit Hülfe der Accumulatoren ist man jetzt im Stande, Ströme von 20, 30 und mehr Ampère ebenso leicht und ebenso sicher constant zu erhalten, wie dies früher etwa bei Strömen von 2—3 Ampère der Fall war. Dagegen fehlt es noch an bequemen Methoden, derartige stärkere Ströme mit der für wissenschaftliche Untersuchungen nöthigen Genauigkeit zu messen. Handelt es sich darum, die mittlere Stromstärke eines längere Zeit hindurch benutzten, constanten Stromes zu bestimmen, so genügt nach meinen Erfahrungen das Kupfervoltmeter allen Anforderungen bei einer Genauigkeit bis 0,1 Proc. Ich habe Ströme bis 40 Ampère mit der erwähnten Genauigkeit gemessen, indem ich vier Voltmeter der von Kittler¹⁾ beschriebenen Form (eine Platinplatte zwischen zwei leitend verbundenen Kupferplatten) parallel schaltete. Die quadratischen Platinplatten hatten 10 cm Seitenlänge, sodass die nöthigen Wägungen bequem auf einer feinen Analysenwaage ausgeführt werden konnten.

Für die Messung der in einem bestimmten Zeitmomente herrschenden Stromstärke resp. für die stetige Controle der Stromintensität sind meines Wissens bisher nur zwei Methoden²⁾ vorgeschlagen. Hr. Obach³⁾ hat für diesen Zweck die Windungen der Tangentenbussole drehbar gemacht um ihren horizontalen Durchmesser. Ist die Neigung der Windungsebene gegen die Verticalebene gleich α und wird die Nadel durch einen Strom um den Winkel φ aus dem Meridian abgelenkt, so ergibt sich die Stromstärke:

1) Kittler, Electrotechnik. 1. p. 170.

2) Ich sehe natürlich hier von den für die Technik bestimmten Amperemetern ab, denn ich glaube, dass man mit denselben nur in besonders günstigen Fällen eine Genauigkeit von 1—2 Proc. wird erreichen können.

3) Obach, Phil. Mag. (5) 16. p. 77. 1883.

$$J = 10 \frac{r \cdot H}{2n\pi} \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\cos \alpha}.$$

Um hierbei eine grössere Genauigkeit zu erzielen, muss man den Winkel α an einem sehr guten Theilkreise ablesen können, also ein ziemlich kostspieliges Instrument sich beschaffen.

Bei der zweiten, von Hrn. Kittler¹⁾ eingeführten Methode schaltet man in den Stromkreis, dessen Intensität bestimmt werden soll, einen bekannten kleinen Widerstand und zweigt von den Enden desselben einen Stromkreis ab, welcher ein empfindliches Galvanometer und einen Widerstandskasten enthält. Das Galvanometer wird geacht, indem man durch den Hauptkreis einen Strom von bekannter Intensität i_0 schickt, die Widerstände im Nebenzweige, w_0 des Galvanometers, r_0 des im Widerstandskasten gezogenen, und z_0 des Abzweigungswiderstandes sowie den Ausschlag am Galvanometer α_0 beobachtet. Sind dann bei der Stromstärke J im Hauptkreise die entsprechenden Grössen w_1 r_1 z_1 α_1 beobachtet, so ist:

$$J = i_0 \frac{r_1 + z_1 + w_1}{r_0 + z_0 + w_0} \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_0}.$$

Kann man den Widerstand z so einrichten, dass sich derselbe auch bei den stärksten zu messenden Strömen nicht erwärmt, und kann man das Galvanometer in einem Raume von constanter Temperatur aufstellen, so dass sich auch sein Widerstand nicht ändert, so wird $z_1 = z_0$ und $w_1 = w_0$. Es genügt nach vorhergegangener Aichung die Ablesung von α_1 und r_1 , um den Strom J mit der gewünschten Genauigkeit zu messen. Da die Widerstände z und w aus Kupfer sind, so lassen sich die genannten Bedingungen nicht immer leicht erfüllen, resp. die Controle darüber, ob sie erfüllt sind, erfordert besondere Widerstandsmessungen, sodass man die Methode bei solchen Untersuchungen nicht gut wird benutzen können, bei denen die Stromstärke nebenbei beobachtet werden muss, weil der Experimentirende durch andere Beobachtungen in Anspruch genommen ist. In einem solchen Falle habe ich bei einer Arbeit, die noch nicht abgeschlossen ist, die Tangentenbussole in einer besonderen

1) Kittler, Electrotechnik. 1. p. 243.

Schaltweise verwendet. Die Versuchsanordnung, welche ich benutzt habe, ist so nahe liegend, dass ich kaum annehmen kann, dass sie nicht auch von anderen Beobachtern schon vor mir benutzt worden ist, doch habe ich irgend welche Angaben darüber nicht finden können, und da sich dieselbe bei meinen Arbeiten ganz vorzüglich bewährt hat, so glaube ich das Verfahren mit wenigen Worten beschreiben zu sollen.

Ich benutze eine Tangentenbussole mit zwei concentrischen Kupferringen, welche 1 cm breit und 0,4 cm dick und deren Radien $r_1 = 23,276$ und $r_2 = 27,422$ cm. Die Ringe werden direct in die Stromleitung eingeschaltet und zwar so, dass sie von dem Strome in entgegengesetzter Richtung durchflossen werden, mithin auf die Magnetnadel ein Drehungsmoment ausüben, welches gleich der Differenz der einzelnen Drehmomente ist. Bezeichnen wir die Stromintensität mit i , das magnetische Moment der Bussolennadel mit m , ihren Polabstand mit l , so wird das Drehungsmoment:

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2,$$

$$\Delta_1 = \frac{2\pi i m \cos \psi}{r_1} \left(1 + \frac{3}{16} \frac{l^2}{r_1^2} - \frac{15}{16} \frac{l^2}{r_1^2} \sin^2 \psi \right),$$

und entsprechend Δ_2 mit r_2 statt r_1 . Ist l klein gegen r_1 und r_2 (bei meinem Apparate war $l = 1,75$ cm) und setzt man $r_0 = (r_1 + r_2)/2$, so ist mit genügender Annäherung:

$$\Delta = 2\pi i m \cos \psi \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \left(1 + \frac{3}{16} \frac{l^2}{r_0^2} - \frac{15}{16} \frac{l^2}{r_0^2} \sin^2 \psi \right),$$

und in bekannter Weise ergibt sich die Stromstärke:

$$i = \frac{H}{2\pi} \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \operatorname{tg} \psi \left(1 - \frac{3}{16} \frac{l^2}{r_0^2} + \frac{15}{16} \frac{l^2}{r_0^2} \sin^2 \psi \right)$$

wozu, wenn in Ampere gemessen wird, auf der rechten Seite noch der Factor 10 hinzutritt.

Die Methode besitzt alle Vortheile der Messung mit der Tangentenbussole, von denen hier besonders in Frage kommen, dass das Messinstrument in den Stromkreis selbst eingeschaltet wird, dass eine einzige Winkelablesung genügt und dass alle Widerstandsmessungen in Wegfall kommen. Wegen des Factors $r_1 r_2 / (r_2 - r_1)$ ist eine genaue Messung der Radien erforderlich. Es ist bekannt, dass man den Durchmesser eines grösseren Kreises nicht sehr gut mit dem

Comparator ermitteln kann, dagegen den Umfang leicht mit sehr grosser Genauigkeit mit dem Stahlband oder mit Hülfe eines umgelegten Drahtes findet. Ich habe deshalb, um diese Art der Messung zu ermöglichen, die Zuleitungen zu der Durchschnittsstelle des Kupferringes nicht, wie dies gewöhnlich geschieht, aussen angelöthet, sondern seitlich, sodass der ganze äussere Umfang frei ist. Ich glaube, dass diese Anordnung aus dem genannten Grunde für alle Tangentenbussolen sehr empfehlenswerth ist, denn bei allen bildet die genaue Bestimmung des Radius eine wichtige Aufgabe.

Es ist bei einiger Sorgfalt sicher möglich, den Fehler bei einer Umfangsmessung unter 0,1 mm hinabzudrücken, aber selbst wenn man 0,1 mm als Fehler annimmt, so würden bei meinem Instrumente die Radien auf $\frac{1}{15000}$ genau gemessen werden und selbst im ungünstigsten Falle, wenn die Fehler bei r_1 und r_2 entgegengesetztes Vorzeichen hätten, würde der Factor $r_1 r_2 / (r_2 - r_1)$ noch auf 0,07 Proc. genau bestimmt sein.

Besondere Sorgfalt muss darauf verwendet werden, dass die Zuleitungen für sich keine Wirkung auf die Nadel der Tangentenbussole ausüben. Am sichersten erreicht man dies, wenn man für die eine Zuleitung eine Kupferröhre benutzt, in deren Axe man den zweiten Zuleitungsdraht legt. Die Horizontalintensität des Erdmagnetismus wird nur selten an dem Beobachtungsorte genau genug bekannt sein. Am bequemsten dürfte es dann sein, diese Grösse mit der Tangentenbussole selbst und mit dem Voltameter in der bekannten Weise zu bestimmen, wobei man natürlich je nach Belieben einen der Drahtringe allein oder beide in gewöhnlicher Weise hintereinander geschaltet benutzen kann.

Um die Brauchbarkeit der beschriebenen Anordnung für starke Ströme zu prüfen, habe ich an demselben Orte die Horizontalintensität nach der eben erwähnten Methode bestimmt und dabei ausser dem Kupfervoltameter benutzt:

1. eine Kohlrausch-Hartmann'sche Tangentenbussole,
2. den kleinen Ring der beschriebenen Tangentenbussole,
3. ebenso den grossen Ring und endlich 4. beide Ringe, in der oben angegebenen Weise gegen einander geschaltet. Die Resultate sind die folgenden:

1.	$r = 19,977 \text{ cm}$	$i = 0,5018 \text{ Am}$	$H = 0,18387 \text{ cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$
2.	$r_1 = 23,276 \text{ ''}$	$i = 0,5830 \text{ ''}$	$H = 0,18395 \text{ '' '' ''}$
3.	$r_2 = 27,422 \text{ ''}$	$i = 0,7089 \text{ ''}$	$H = 0,18377 \text{ '' '' ''}$
4.	{ r_1 und r_2 gegen einander	$i = 8,838 \text{ ''}$	$H = 0,18376 \text{ '' '' ''}$
		$i = 9,834 \text{ ''}$	$H = 0,18403 \text{ '' '' ''}$
		$i = 19,353 \text{ ''}$	$H = 0,18388 \text{ '' '' ''}$

Die Uebereinstimmung ist eine sehr gute und zeigt, glaube ich, zur Genüge, dass sowohl diese Anordnung der Tangentenbussole als auch das Kupfervoltmeter für die Messung derartiger stärkerer Ströme sehr gut verwendet werden können.

Die Grenzen für die Verwendbarkeit der beschriebenen Bussole sind ausserordentlich weite. Schaltet man beide Ringe hintereinander oder benutzt einen Ring allein oder endlich die beiden Ringe entgegengesetzt geschaltet, so kann man bei Spiegelablesung (Winkel zwischen 1° und 20°) alle Stromstärken von 0,1 Ampere bis 20 Ampere messen. Begnügt man sich mit der Ablesung des Winkels an einer Gradtheilung, so gestattet das Instrument bei 60° Ablenkung Stromstärken über 80 Ampere zu messen. Es dürfte deshalb das Instrument besonders bequem für die Aichung resp. Controlirung der Amperemeter sein.

Hinsichtlich der Voltameter muss noch bemerkt werden, dass diese bei grossen Stromstärken anfänglich eine Temperatursteigerung erfahren, welche ihren Widerstand und damit auch die Stromstärke im Schliessungskreise verändert. Es lässt sich das aber leicht vermeiden, wenn man, wie ich es z. B. bei den obigen Versuchen gethan habe, anfänglich nicht die Platinplatten in die Voltameter einsetzt, sondern ihnen gleiche Kupferplatten und dieselben erst dann mit den ersteren vertauscht, wenn die Temperatur constant geworden ist.

Giessen, September 1890.