

# Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

**K. B. Akademie der Wissenschaften**

zu München.

---

Band XXXVII. Jahrgang 1907.

---



**München**

Verlag der K. B. Akademie der Wissenschaften  
1908.

---

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

## Über ein Saitenelektrometer.

Von Dr. C. W. Lutz.

(Eingelaufen 8. März.)

(Mit Tafel I.)

Die elektrostatischen Messungen haben in neuerer Zeit eine erhöhte Bedeutung gewonnen; einmal durch die Entdeckung der radioaktiven Substanzen und die hiedurch veranlaßten Messungen, sodann durch den Aufschwung, den in den letzten Jahren die lufterlektrische Forschung genommen hat. Zu diesen Messungen verwendet man hauptsächlich das Quadrantelektrometer und das Blattelektroskop. Neben den bekannten Vorzügen dieser Instrumente machen sich nun eine Reihe von Nachteilen bemerkbar, die gerade bei radioaktiven und lufterlektrischen Messungen recht stören können. So beim Quadrantelektrometer namentlich die große Kapazität, die Trägheit des beweglichen Systemes und der Mangel der Transportfähigkeit; beim Elektroskope die geringe Empfindlichkeit, der engbegrenzte Meßbereich, die verhältnismäßig große Kapazität, sowie seine Untauglichkeit zur Messung kleiner Spannungen und zur Selbstregistrierung.

Diese Mängel gaben Veranlassung zu zahlreichen Verbesserungen, die im Laufe der letzten Jahre diese Instrumente erfuhren. Haben sich auch manche dieser Neukonstruktionen bei speziellen Messungen als vorteilhaft erwiesen, so wurde ein durchschlagender Erfolg doch nicht erzielt, denn meist treten, durch die Behebung des einen Nachteiles, die anderen nur desto empfindlicher hervor. Die Schuld hieran liegt meines

Erachtens nicht an den Konstrukteuren, sondern offenbar am Prinzip der erwähnten Meßinstrumente, welches eben den vielerlei Ansprüchen, die die neueren elektrostatischen Messungen daran stellen, nicht gewachsen ist. Man ist daher gezwungen, sich nach einer neuen Anordnung umzusehen.

Nun hat sich bei Galvanometern<sup>1)</sup> das Prinzip der lose gespannten Saite wohl bewährt, und unter den Vorzügen desselben sind gerade solche, die auch bei feinen elektrostatischen Messungen gefordert werden. Es liegt daher nahe, das Saitenprinzip zur Konstruktion eines Elektrometers („Saitenelektrometer“) zu verwenden.

Ich habe schon vor zwei Jahren<sup>2)</sup> ein Modell eines solchen Elektrometers hergestellt und mich davon überzeugt, daß das neue Instrument in der Tat vielerlei Vorzüge vor den gebräuchlichen elektrostatischen Meßinstrumenten voraus hat. Seither habe ich eine Reihe von Verbesserungen daran angebracht und es nun in nachstehend beschriebener Form ausführen lassen. (Fig. 1a und 1b Taf. I.)

Innerhalb eines parallelepipedischen Gehäuses  $G$  (Fig. 1a) aus Leichtguß (Magnalium) stehen sich zwei zu einander parallele Messingplatten  $P_1, P_2$  gegenüber. Diese beiden Platten sind bei  $H_1, S_1$  bzw.  $H_2, S_2$  geführt und lassen sich durch die Mikrometerschrauben  $M_1$  und  $M_2$  mit Trommelteilung um meßbare Beträge einander nähern, oder voneinander entfernen.

<sup>1)</sup> Ader, *Compt. rend.* **124**, 1440, 1897; *La Nature* **2**, 115, 1897; *L'Éclairage électrique* 295, 1897; *Elektrotechn. Zeitschr.* 561, 1897.

W. Einthoven, *Ann. d. Phys.* (4) **12**, 1059, 1903; **14**, 182, 1904.

M. Edelmann jun., *Physikal. Zeitschr.* **7**, 115, 1906.

<sup>2)</sup> Später erfuhr ich, daß auf ein Elektrometer, welches auf demselben Prinzip beruht, von der Firma M. Th. Edelmann & Sohn hier selbst ein Patentschutz genommen ist.

Während der Drucklegung dieser Arbeit erhielt ich Kenntnis davon, daß auch Herr Professor Dr. Max Cremer hier auf die Idee eines Saitenelektrometers gekommen ist und ein derartiges, gemeinsam mit Herrn Dr. Max Edelmann jun. konstruiertes Instrument mit Erfolg zu elektrophysiologischen Messungen verwendet hat. (Siehe darüber: *Münchener medizinische Wochenschrift* Nr. 11, 1907.)

Durch geriefte Hartgummistopfen  $H_1, h_1, S_1$  und  $H_2, h_2, S_2$ , in welchen die Führungssstifte gelagert sind, werden die beiden Platten  $P_1, P_2$  vom Gehäuse isoliert. Die unteren Führungsstifte  $S_1, S_2$  gehen isoliert durch das Gehäuse  $G$  hindurch und können mit den beiden Polen  $E_1, E_2$  einer Batterie, deren Mitte geerdet wird, verbunden werden, so daß die eine Platte auf ein  $+$ , die andere auf ein ebenso hohes  $-$  Potential aufgeladen wird. Die zum Instrumente gehörige Batterie  $B$  (Fig. 1b) ist eine kleine Akkumulatorenbatterie von 50 Zellen, die in ein Holzkästchen von 20 cm Breite, 11 cm Höhe, 16 cm Tiefe eingebaut ist, welches gleichzeitig dem Elektrometer als Fuß dient. Durch geeignete Schaltung der Batterie (Steckkontakte  $E_1, E_2$ ) lassen sich die beiden Feldplatten  $P_1, P_2$  (Fig. 1a) auf die Potentiale  $\pm 50$  Volt  $\pm 30$ ,  $\pm 10$  und  $\pm 4$  Volt bringen.

Genau in der Mitte zwischen den beiden Platten  $P_1, P_2$  ist die Saite  $W$ , ein Wollastondraht von  $1\frac{1}{100}$  mm Durchmesser und 10 cm Länge ausgespannt, mit beiden Enden an kurze Metallstiftchen angelötet, welche ihrerseits von je einem geriefen Hartgummiisolator  $J_1$  und  $J_2$  gehalten werden. Während der untere Isolator  $J_2$  fest gelagert ist, läßt sich der obere  $J_1$  mit Hilfe der Mikrometerschraube  $M_3$  (1 Trommelteil =  $1\frac{1}{100}$  mm) um meßbare Beträge verschieben und so die Spannung der Saite beliebig ändern. In die obere Lagerung der Saite läßt sich die Ladesonde  $L$  einstecken, die dann mit der Saite in leitender Verbindung steht. Bei Außergebrauchsetzung des Instrumentes wird die Sonde entfernt und der Verschlußdeckel  $D$  (Fig. 1b) aufgesteckt. Mit Hilfe eines kleinen Ablesemikroskopes  $O$  mit Okularmaßstab von großem Gesichtsfelde (Fig. 1b) (Durchmesser des Gesichtsfeldes 3 mm Vergrößerung 30fach)<sup>1)</sup> werden die Durchbiegungen der Saite in Teilen des Okularmaßstabes gemessen.

Die vier in den Figuren 1a und b deutlich sichtbaren kleinen Glasgefäße dienen zur Aufnahme von Natrium, zwecks

<sup>1)</sup> Angefertigt von der Firma C. A. Steinheil Söhne, München.

Austrocknung des Elektrometers im Innern. Die Klemmschraube  $K$  dient zur Erdung des Elektrometergehäuses.

Durch die Ladung der beiden Platten  $P_1, P_2$  auf entgegengesetzt gleiches Potential, entsteht zwischen ihnen ein hinreichend homogenes elektrisches Feld.

Wird nun ein zu messendes Potential an die Saite (Ladesonde  $L$ ) angelegt, so schlägt sie, je nach dem Vorzeichen dieses Potentials, nach der  $+$  oder  $-$  Platte hin aus. Aus der Größe und Richtung dieses Ausschlages kann das Potential nach Größe und Vorzeichen bestimmt werden, wenn das Elektrometer geeicht ist. Bei nicht allzu großen Durchbiegungen der Saite (innerhalb der „Elastizitätsgrenze“) sind die Ausschläge den angelegten Potentialen proportional, die Eichkurve ist also eine Gerade.

### Handhabung des Saitenelektrometers.

Das eben beschriebene Instrument läßt sich, wie das Quadrantelektrometer, in verschiedenen Schaltungsarten verwenden:

#### I. Mit Hilfsladung:

a) Die beiden Platten werden auf entgegengesetzt gleiches Potential geladen, das unbekannte Potential an die Saite angelegt: „Saitenschaltung“.

b) Die Saite wird auf ein hohes Hilfspotential geladen, eine Platte geerdet, an die andere die unbekannte Spannung angelegt: „Plattenschaltung“.

#### II. Ohne Hilfsladung:

a) Die Saite wird durch einen außen um das Gehäuse herumführenden Metallbügel mit einer Platte leitend verbunden, die andere Platte geerdet. Das unbekannte Potential wird an die Saite (und die eine Platte) angelegt. Diese Schaltung ist im Prinzip die gleiche, wie sie beim Braunschen Zeigerelektrometer verwendet ist: „Doppelschaltung“.

b) Beide Platten werden geerdet, eine Platte wird möglichst weit herausgeschraubt. Das unbekannte Potential wird

an die Saite angelegt. Durch Influenzwirkung biegt sich die Saite nach der näherstehenden Platte hindurch: „Influenzschaltung“.

### Ia. Saitenschaltung.

Die Empfindlichkeit des Instrumentes, d. i. der Ausschlag für ein bestimmtes kleines Potential, etwa 0,1 Volt, ist hier abhängig: 1. von der Saitenspannung, 2. vom Plattenabstande, 3. von der Plattenladung. Alle diese drei Größen können bei dem vorstehend beschriebenen Instrument verändert werden. Ihr Einfluß auf die Empfindlichkeit wurde der Reihe nach genau festgestellt.

#### 1. Saitenspannung geändert.

Die Größe der Durchbiegung der Saite, der Ausschlag derselben, ist im allgemeinen abhängig von ihrer Spannung. Es gelingt leicht, durch entsprechende Regulierung der Saitenspannung für ein gegebenes Potential einen bestimmten Ausschlag immer wieder herzustellen. Bei genügender Spannung schnellt die Saite in ihre jeweilige Gleichgewichtslage ohne jegliches Hin- und Herschwingen, die (Luft-) Dämpfung ist eine völlig aperiodische.

Bei einer bestimmten Plattenladung und bestimmter Plattenentfernung läßt sich durch Entspannen der Saite ihr Ausschlag für ein bekanntes Potential mehr und mehr vergrößern. Hierbei werden die Bewegungen der Saite nach ihrer Einstellungs- bzw. Nulllage langsamer und langsamer und schließlich geht sie überhaupt nicht mehr auf 0 zurück, sondern verharrt bei stärkster Durchbiegung in der Nähe einer Platte. Die Näherung der anderen Platte, oder ein Neigen des Instrumentes bewirkt dann, daß die Saite von der einen extremen Lage sogleich in die entgegengesetzte überspringt, eine Einstellung auf den Nullpunkt ist nicht mehr zu erreichen. In dieser „instabilen Lage“ der Saite läßt sich das Instrument zu Messungen nicht mehr verwenden, und damit ist auch der Entspannung der Saite, also auch der Empfindlichkeit für jede gegebene Platten-

ladung und Plattenentfernung eine strenge Grenze gesetzt. Um eine möglichst große Empfindlichkeit zu erreichen, wird man zweckmäßig nahe an die instabile Lage herangehen, die Entspannung aber nur so weit treiben, daß die Einstellungen der Saite noch rasch und sicher erfolgen. Die Saite ist genügend gespannt, wenn sie nach ihrem jeweiligen Einstellungspunkt hin schnellt.

## 2. Plattenabstand verändert.

Die Empfindlichkeit des Instrumentes wächst mit Verminderung des Plattenabstandes anfänglich linear, nimmt aber dann rascher zu, je näher die Saite der instabilen Lage kommt. Fig. 2 (hiez u Tabelle 1) zeigt diesen Zusammenhang zwischen Plattenabstand und Ausschlag der Saite in Teilen des Okularmaßstabes für Potentiale von 0,24 Volt (Fig. 2a) und 0,38 Volt (Fig. 2b), einer Plattenladung von  $\pm 50$  Volt und einer konstanten Saitenspannung (Teilstrich 25,9 der Trommelteilung  $M_3$ ). Bei dieser Saitenspannung befindet sich die Saite bei dem Abstand von 4,5 mm gerade an der Grenze der instabilen Lage.

Tabelle 1.

| Plattenabstand in mm                      |               | 4,5 | 6 0  | 8,0 | 10,0 |
|-------------------------------------------|---------------|-----|------|-----|------|
| Ausschlag<br>der Saite in<br>Okularteilen | bei 0,38 Volt | 2,1 | 0,65 | 0,5 | 0,3  |
|                                           | bei 0,24 Volt | 1,3 | 0,4  | 0,3 | 0,15 |

Eine weitere Annäherung der Platten aneinander führt die instabile Lage der Saite herbei, ist aber auch noch aus einem anderen Grunde nicht zu empfehlen. Es ist nämlich, ohne besondere Hilfsmittel, nicht möglich, bei Außergebrauchsetzen des Instrumentes beide Feldplatten im genau gleichen Zeitmoment zu entladen. Die Folge davon ist, daß die Saite im Augenblick der Entladung mit Heftigkeit nach der später zur Ableitung gelangenden Platte hingerrissen wird, was unter Umständen ein Ankleben des dünnen Drahtes an dieser Platte und ein Abreißen desselben zur Folge haben kann.

Eine allzu große Annäherung der beiden Platten aneinander ist aber auch, wie sogleich gezeigt werden soll, gar nicht notwendig, weil hiedurch eine Vergrößerung der Empfindlichkeit doch nicht erzielt wird. Je näher sich nämlich die beiden Feldplatten gegenüberstehen, desto stärker ist auch die Saite anzuspannen, um sie außerhalb der instabilen Lage zu erhalten. Was also einerseits durch die stärkere Annäherung der beiden Platten aneinander an Empfindlichkeit gewonnen wird, geht andererseits durch die damit notwendig werdende straffere Anziehung der Saite wieder verloren. Dies ist deutlich aus Fig. 3a und b (hiez u Tabelle 2) ersichtlich, wo die Eichkurven für Plattenentfernungen von 4,5 mm (Fig. 3a) und 10 mm (Fig. 3b) dargestellt sind, wobei die Saite jedesmal bis nahe an die instabile Lage hin entspannt wurde.

Tabelle 2.

| Potential in Volt                                | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,07 | 0,14 | 0,24 | 0,38 | 0,72 | 0,73 | 1,05 | 1,40 |
|--------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Saitenanschlag bei<br>4,5 mm Platten-<br>abstand | 0,08 | 0,15 | 0,25 | 0,60 | 1,10 | 1,95 | 3,00 | 5,15 | —    | —    | 8,20 |
| Saitenanschlag bei<br>10 mm Plattenab-<br>stand  | 0,05 | 0,1  | 0,17 | 0,45 | 0,95 | 1,70 | 2,55 | 4,85 | 4,95 | 6,70 | 8,65 |

Bei einer Plattenladung von  $\pm 50$  Volt läßt sich also ein Potential von 0,01 Volt noch gut messen. Die Saitenausschläge hiefür sind, wenn auch bei der geringen Vergrößerung des Mikroskopes klein, so doch deutlich wahrnehmbar.

Aus den in Fig. 3 gezeichneten Eichkurven ergibt sich noch eine weitere Eigenschaft der Saite, die alle späteren Messungen immer wieder bestätigt haben. Nämlich Proportionalität zwischen angelegtem Potential und Ausschlag der Saite besteht, bei gegebener Plattenladung und Plattenentfernung nur innerhalb eines gewissen Bereiches (Gültigkeitsbereich des Hookschen Gesetzes). Im vorliegenden Fall nur für Potentiale bis ca. 0,4 Volt (Fig. 3a) bzw. 0,9 Volt (Fig. 3b).

Bei höheren Potentialen vermag die Saite nicht mehr genügend weit auszuschlagen.

Ferner zeigt Fig. 3: je stärker die Saite angespannt ist, desto kleiner wird auch der Bereich der Proportionalität zwischen Ausschlag und Potential. Auch deshalb empfiehlt es sich, den Plattenabstand groß zu wählen. Aus diesen Gründen habe ich bei allen späteren Messungen den Plattenabstand konstant auf 10 mm belassen, wobei eine Beschädigung der Saite durch Anspringen an eine Platte ausgeschlossen ist.

### 3. Plattenladung geändert.

Durch Änderung der Plattenladung ändert sich auch die Empfindlichkeit des Instrumentes (bei konstanter Saitenspannung und Plattenentfernung) und zwar ist der Zusammenhang zwischen beiden anfänglich linear (Fig. 4 und Tabelle 3).

**Tabelle 3.**

| Plattenladung in Volt         | 10   | 20   | 30  | 40   | 50  |
|-------------------------------|------|------|-----|------|-----|
| Saitenausschlag für 0,24 Volt | 0,09 | 0,17 | 0,3 | 0,75 | 2,1 |

Um den Gesamtmeßbereich des Instrumentes bei Verwendung der mir zur Verfügung stehenden Hilfsladung von 100 Volt festzustellen, wurde dasselbe für verschiedene Plattenladungen geeicht und zwar für  $\pm 50 \pm 30 \pm 10$  und  $\pm 4$  Volt bei 10 mm Plattenabstand und konstanter Saitenspannung (Teilstrich 28,9 der Trommelteilung). Die Saitenspannung wurde so hoch genommen, daß sich die Saite auch bei der höchsten Plattenladung ( $\pm 50$  Volt) gut außerhalb der instabilen Lage befand. Geht man mit der Plattenladung bei 10 mm Abstand unter  $\pm 4$  Volt herab, so erhält man kein hinreichend homogenes elektrisches Feld mehr zwischen beiden Platten. Die Eichkurve ist dann auch in ihrem unteren Teile keine Gerade mehr. Will man bei dieser Schaltung den Meßbereich des Instrumentes erweitern (innerhalb der Proportionalitätsgrenze),

Tabelle 4.

| Potential in Volt                                  | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,18 | 0,36 | 0,53 | 0,73 | 1,00 | 1,27 | 1,57 | 2,00 | 2,55 | 3,14 | 4,00 |
|----------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Saitenausschlag bei $\pm 50$<br>Volt Plattenladung | 0,05 | 0,1  | 0,3  | 0,7  | 1,1  | 2,2  | 3,3  | 4,5  | 6,0  | 7,4  | 8,9  | 10,3 | —    | —    | —    |
| Saitenausschlag bei $\pm 30$<br>Volt Plattenladung | 0,0  | 0,05 | 0,1  | 0,15 | 0,3  | 0,8  | 1,0  | 1,35 | 2,0  | 2,45 | 3,0  | 3,85 | 4,8  | 5,95 | 7,1  |

Tabelle 5.

| Potential in Volt                                       | 0,18  | 0,53  | 1,00  | 2,00  | 4,0   | 6,1   | 8,2   | 10,2  | 12,2  | 14,2  | 16,0  | 18,2 | 20,2 | 26,4  | 30,6  | 40,8  | 50,9  | 61,2  |
|---------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Saitenausschlag bei<br>$\pm 10$ Volt Platten-<br>ladung | 0,08  | 0,2   | 0,5   | 1,0   | 2,0   | 3,0   | 4,0   | 5,0   | 5,9   | 6,8   | 7,65  | 8,65 | 9,45 | 11,85 | 13,2  | 16,4  | 18,8  | 20,95 |
| Potential in Volt                                       | 2,0   | 4,0   | 6,0   | 8,0   | 10,2  | 20,4  | 30,6  | 40,8  | 51,0  | 61,2  | 71,4  | 81,6 | 91,6 | 101,8 | 111,6 | 121,8 | 131,6 | 141,4 |
| Saitenausschlag bei<br>$\pm 4$ Volt Platten-<br>ladung  | 0,25  | 0,85  | 1,05  | 1,5   | 1,95  | 3,85  | 5,7   | 7,6   | 9,5   | 11,45 | 13,3  | 15,0 | 16,6 | 18,35 | 19,8  | 21,2  | 22,5  | 23,8  |
| Potential in Volt                                       | 151,4 | 161,2 | 171,2 | 181,2 | 191,2 | 201,0 | 210,8 | 220,8 | 230,6 | 240,6 | 250,4 |      |      |       |       |       |       |       |
| Saitenausschlag bei<br>$\pm 4$ Volt Platten-<br>ladung  | 24,9  | 25,9  | 26,85 | 27,75 | 28,45 | 29,15 | 29,95 | 30,6  | 31,1  | 31,85 | 32,25 |      |      |       |       |       |       |       |

so empfiehlt sich zur Messung höherer Potentiale als 75 Volt (Fig. 6b) die Verwendung einer dickeren Saite und zur Messung kleinerer Spannungen als 0,01 Volt (Fig. 5a) die Vergrößerung der Plattenladung.

Fig. 5a und b zeigt die Eichkurven für eine Plattenladung von  $\pm 50$  Volt und  $\pm 30$  Volt bei 10 mm Plattenabstand und beidesmal derselben Saitenspannung (Teilstrich 28,9 der Trommelteilung) (hiez u Tabelle 4). In Fig. 6a und b sind die Eichkurven für  $\pm 10$  Volt und  $\pm 4$  Volt Plattenladung und demselben Plattenabstand von 10 mm und derselben Saitenspannung (28,9) gezeichnet (hiez u Tabelle 5).

Wie aus den Fig. 5 und 6 (und den Tabellen 4 und 5) ersichtlich ist, lassen sich unter Verwendung der verschiedenen Plattenladungen Spannungen von 0,01 Volt bis ca. 75 Volt messen, wobei Proportionalität zwischen Saitenausschlag und angelegtem Potential besteht. Der Proportionalitätsbereich ist für die einzelnen Plattenladungen in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6.

| Plattenladung | Bereich der Proportionalität<br>zwischen Potential und Saitenausschlag |
|---------------|------------------------------------------------------------------------|
| $\pm 50$ Volt | Von 0,01 Volt bis ca. 0,8 Volt                                         |
| $\pm 30$ „    | „ 0,02 „ „ „ 3,4 „                                                     |
| $\pm 10$ „    | „ 0,2 „ „ „ 20 „                                                       |
| $\pm 4$ „     | „ 0,5 „ „ „ 75 „                                                       |

Für diesen Meßbereich ist die Eichung des Instrumentes eine höchst einfache. Es genügt, einen einzigen Punkt der Eichkurve (gerade Linie) durch Anlegen eines bekannten Potentials festzulegen. Hiez u verwendet man bei großer Empfindlichkeit ein Normalelement (offen), bei den kleineren Empfindlichkeiten aber eine entsprechende Anzahl von Zellen der zum Instrumente gehörigen Akkumulatorenbatterie, deren Spannung jederzeit durch das Saitenelektrometer selbst (ohne Hilfs-

ladung) in einer der nachstehend beschriebenen Schaltungen geprüft werden kann.

Will man in der Schaltung I Potentiale messen, die außerhalb der Proportionalitätsgrenze liegen ( $> 75$  Volt), so ist eine vollständige Durcheinrichtung des Instrumentes nötig (Fig. 6b). Hierbei hat man immer noch den Vorteil, die unbekannten Spannungen auch ihrem Vorzeichen nach bestimmen zu können und durch Kommutieren der Plattenladung (und damit des Saitenausschlages) eine große Genauigkeit der Messung zu erreichen. Auf diese Weise lassen sich bei einer Plattenladung von  $\pm 4$  Volt Potentiale von ca. 1 Volt bis 250 Volt gut messen (Fig. 6b).

Hat man es aber stets mit höheren Potentialen zu tun, z. B. bei Messung des atmosphärischen Potentialgefälles, oder will man das Instrument als Hochspannungselektrometer benutzen, so empfiehlt sich die Verwendung einer dickeren Saite, vielleicht auch eine der unter 2a und b angegebenen Schaltungen ohne Hilfsladung.

Bei niederen Plattenladungen ( $\pm 10$  Volt und  $\pm 4$  Volt) läßt sich die Plattenladung kommutieren, um Ausschläge der Saite nach beiden Seiten hin zu erhalten, aus denen dann der Mittelwert gebildet wird. Bei größeren Plattenladungen ändert sich beim Kommutieren derselben die Nullstellung der Saite, wohl wegen der Ungleichheit der Spannungen beider Batteriehälften. Die kleinen hiedurch entstehenden Verschiebungen der Nullage der Saite (ca. 0,5 bis 1 Okularteil) stören bei der Messung niederer Potentiale.

Es gelingt leicht (bei jeder Plattenladung), die Ausschläge der Saite nach beiden Richtungen gleich groß zu machen. Zu diesem Zwecke braucht man nur die beiden Feldplatten, ohne dabei ihren gegenseitigen Abstand zu verändern, entsprechend zu verschieben.

Um auch bei höheren Plattenladungen Ausschläge nach beiden Seiten hin zu erhalten, kommutiert man das angelegte Potential, oder, wo dies nicht möglich ist, verwendet man die

**Ib. Plattenschaltung.**

Bei dieser Schaltung wird, je nach der verlangten Empfindlichkeit, eine entsprechende Anzahl von Zellen der Akkumulatorenbatterie hintereinander geschaltet, der eine Batteriepole geerdet und der andere mit der Saite verbunden. Eine Feldplatte wird geerdet, die andere an das zu messende Potential angelegt. Beim Kommutieren des Hilfspotentiales bleibt jetzt die Saite ruhig in ihrer Nullage stehen. Auch bei dieser Schaltung besteht Proportionalität zwischen angelegtem Potential und Ausschlag der Saite innerhalb eines bestimmten Bereiches (wie bei Ia).

**IIa. Doppelschaltung.**

Bei meinen Messungen betrug in dieser Schaltung (siehe S. 64 unter IIa) der Abstand der mit der Saite leitend verbundenen Feldplatte von ihr = 5 mm. Die Saitenspannung betrug einmal 28,9 Trommelteile, was der bereits oben benutzten Saitenspannung entspricht (Fig. 7a) und wurde bei einer zweiten Eichung so groß als möglich genommen (Fig. 7b). Durch größere Annäherung der Platte an die Saite läßt sich

**Tabelle 7.**

| Saitenspannung 28,9  |                      |                      |                      | Saitenspannung 25,0  |                      |                      |                      |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Potential<br>in Volt | Saiten-<br>ausschlag | Potential<br>in Volt | Saiten-<br>ausschlag | Potential<br>in Volt | Saiten-<br>ausschlag | Potential<br>in Volt | Saiten-<br>ausschlag |
| 4,0                  | 0,1                  | 141,4                | 38,0                 | 10,2                 | 0,1                  | 161,0                | 21,6                 |
| 6,0                  | 0,3                  | 151,4                | 38,9                 | 20,4                 | 0,9                  | 170,8                | 22,6                 |
| 10,0                 | 1,0                  | 161,4                | 39,4                 | 30,4                 | 1,9                  | 180,8                | 23,5                 |
| 20,4                 | 4,3                  | 171,2                | 40,1                 | 40,0                 | 3,1                  | 190,8                | 24,4                 |
| 30,4                 | 9,5                  |                      |                      | 50,8                 | 4,9                  | 200,8                | 25,2                 |
| 40,8                 | 15,2                 |                      |                      | 61,0                 | 6,8                  | 210,6                | 26,1                 |
| 50,8                 | 20,4                 |                      |                      | 71,2                 | 8,8                  | 220,4                | 27,0                 |
| 61,2                 | 24,5                 |                      |                      | 81,2                 | 10,7                 | 230,4                | 27,8                 |
| 71,2                 | 27,7                 |                      |                      | 91,2                 | 12,4                 | 240,4                | 28,4                 |
| 81,4                 | 30,0                 |                      |                      | 101,4                | 14,0                 | 250,2                | 29,1                 |
| 91,6                 | 32,0                 |                      |                      | 111,4                | 15,6                 | 262,0                | 30,2                 |
| 101,6                | 33,5                 |                      |                      | 121,4                | 17,0                 | 272,0                | 30,9                 |
| 111,6                | 34,9                 |                      |                      | 131,2                | 18,1                 | 281,6                | 31,6                 |
| 121,8                | 36,0                 |                      |                      | 141,0                | 19,4                 | 292,0                | 32,1                 |
| 131,6                | 37,0                 |                      |                      | 151,0                | 20,5                 | 301,6                | 32,8                 |

die Empfindlichkeit des Instrumentes steigern. Wie die Eichkurven (Fig. 7a und b, hiezu Tabelle 7) zeigen, ist das Instrument auch in dieser Schaltung dem Blättchenelektroskope überlegen, dessen Meßbereich von 50 bis ca. 250 Volt geht, während man es beim vorliegenden Instrumente durch entsprechende Wahl der Saitenspannung in der Hand hat, entweder niederere oder höhere Spannungen in weitem Bereich genau zu messen. Bei Verwendung dickerer Saiten gibt das Instrument in dieser Schaltung ein sehr einfaches Hochspannungselektrometer.

Diese Schaltung weist noch einen weiteren Vorteil auf, der namentlich luftelektrischen Messungen zustatten kommen wird. Das Instrument läßt sich nämlich bei den mittleren und höheren Ausschlägen der Saite um ganz erhebliche Beträge neigen, ohne daß dadurch eine zu berücksichtigende Änderung der Saiteneinstellung auftritt. So wurde z. B. das Elektrometer bei stärkster Saitenspannung und 100 Volt angelegtem Potential bis ca.  $40^\circ$  geneigt, ohne daß eine Änderung des Saitenausschlages (ca. 14 Okularteile) eintrat. Nur bei den kleineren Potentialen und schwach gespannter Saite verursacht eine Neigung des Instrumentes eine geringfügige Änderung der Saiteneinstellung (einige  $\frac{1}{10}$  Okularteile bei stärkerer Neigung). Daher besitzt das Instrument überall dort, wo man nicht auf eine stabile Aufstellung rechnen kann, eine große Verwendbarkeit, also namentlich für Beobachtungen im Ballon und auf Schiffen.

## IIb. Influenzschaltung.

Der Abstand der einen Platte von der Saite betrug 5 mm, die Saitenspannung war wieder 28,9 Trommelteile die andere Platte wurde soweit als möglich von der Saite zurückgeschraubt (ca. 7 mm). Die Eichung ergab die in Fig. 7c (hiezu Tabelle 8) gezeichnete Kurve. Hier gilt im wesentlichen dasselbe, was schon unter IIa S. 72 angeführt wurde, nur ist das Instrument in dieser Schaltung gegen Neigungen etwas empfindlicher.

Tabelle 8.

| Influenzschaltung |                 | Influenzschaltung |                 |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| Potential in Volt | Saitenausschlag | Potential in Volt | Saitenausschlag |
| 20,4              | 0,2             | 171,0             | 24,0            |
| 30,4              | 0,6             | 181,0             | 25,2            |
| 40,6              | 1,2             | 191,0             | 26,4            |
| 50,8              | 2,1             | 201,0             | 27,5            |
| 60,8              | 3,1             | 210,6             | 28,4            |
| 71,0              | 4,4             | 220,8             | 29,2            |
| 81,2              | 6,0             | 230,6             | 30,1            |
| 91,2              | 8,0             | 240,6             | 31,0            |
| 101,4             | 10,1            | 250,4             | 31,5            |
| 111,4             | 12,2            | 262,4             | 32,2            |
| 121,4             | 14,6            | 272,4             | 32,9            |
| 131,4             | 16,9            | 281,6             | 33,2            |
| 141,0             | 18,9            | 291,6             | 33,8            |
| 151,0             | 20,8            | 301,6             | 34,2            |
| 161,0             | 22,4            |                   |                 |

#### Kapazität des Saitenelektrometers bei den verschiedenen Schaltungsarten.

Die Kapazität wurde nach der Harmschen Methode<sup>1)</sup> bestimmt. Wie vorausszusehen, war die Kapazität des Elektrometers bei Saitenschaltung sehr klein. Um sie mit wünschenswerter Genauigkeit (ca. 1%) nach dieser Methode zu bestimmen, dürfte der Harmsche Kondensator für diesen Zweck eine kleinere Eigenkapazität haben.

In Saitenschaltung betrug die Kapazität des Elektrometers bei  $\pm 4$  Volt Plattenladung (kommutiert), 10 mm Plattenabstand und 28,9 Trommelteilen Saitenspannung = 5 cm. Sie ist also ca. 3 mal so klein, als die eines Elektroskopes und ca. 10 mal so klein als die eines Quadrantelektrometers in gebräuchlicher Ausführung.

In Doppelschaltung, bei 5 mm Abstand zwischen Saite und Platte und 28,9 Trommelteilen Saitenspannung betrug die Kapazität 17,7 cm.

<sup>1)</sup> F. Harms, Physikal. Zeitschr. 5, 47, 1904.

In Influenzschaltung, bei 5 mm Abstand der Platte von der Saite und derselben Saitenspannung von 28,9 Trommelteilen erwies sich die Kapazität stark abhängig von der Größe des Saitenausschlages, also von der jeweiligen Entfernung der Saite von der influenzierten Platte. Die Messung ergab Werte zwischen 5 und 8 cm (bei dem gegebenen Gesichtsfelde des Ablesemikroskopes).

Überblicken wir die Ergebnisse der vorstehend angeführten Messungen, so lassen sich folgende Eigenschaften des Saitenelektrometers anführen, durch welche es in mancher Hinsicht den anderen elektrostatischen Meßinstrumenten überlegen ist.

Für alle Schaltungsarten gilt: Äußerst einfache Handhabung, leichte Transportfähigkeit, Wegfall jeglicher Arretierung, einfache und genaue Ablesung, außerordentliche Beweglichkeit und geringe Trägheit der Saite, daher momentane Einstellung und aperiodische Dämpfung, ferner veränderlicher Meßbereich, vorzügliche Isolation und endlich Verwendbarkeit zum Projizieren und Selbstregistrieren. Bei Verwendung einer Hilfsladung gilt noch besonders: Große Empfindlichkeit, Proportionalität zwischen angelegtem Potential und Ausschlag der Saite innerhalb ziemlich weiter Grenzen, Möglichkeit, den Saitenausschlag zu kommutieren und damit erhöhte Genauigkeit der Messung, Meßbarkeit auch des Vorzeichens eines unbekannten Potentials, kleine Kapazität, einfache Eichung.

Für die Schaltungen ohne Hilfsladung gilt: Weiter Meßbereich (durch Veränderung der Saitenspannung und Verwendung verschieden dicker Saiten), Unabhängigkeit der Angaben des Instrumentes von der Neigung desselben (bei mittleren und höheren Potentialen und speziell der Doppelschaltung).

Infolge dieser Eigenschaften dürfte das Saitenelektrometer zu vielen Messungen in der Physik, Geophysik, Chemie und Physiologie verwendbar sein; es wird dort besondere Vorteile bieten, wo es sich um die Messung oder Registrierung kleiner, auch rasch veränderlicher Spannungen und Elektrizitätsmengen handelt, sich aber auch als Hochspannungselektrometer unter Benützung dickerer Saiten eignen.

Zum Schlusse drängt es mich Herrn, Prof. Dr. H. Ebert für die Freundlichkeit, mit welcher er mir die zu diesen Messungen nötigen Apparate zur Verfügung stellte, auch an dieser Stelle meinen besten Dank auszusprechen.