

Die Feldkomponentenmühle

Ein Gerät zur Messung der drei Komponenten des luftelektrischen Feldes und der Flugzeugeigenladung bei Flugzeugaufstiegen

Von H.-W. KASEMIR,

Luftelektrische Forschungsstelle Buchau a. F. des Observatoriums Friedrichshafen

(Manuscript received 1 October 1951)

Abstract

Recording the atmospheric-electric potential gradient from an aeroplane it is very useful to get all the three field-components. This is the case especially in investigations in greater altitudes and in thunderclouds. In this paper an apparatus is described working on the principle of the 'Feldmühle' (field strength meter) and giving simultaneous recording of the atmospheric-electric potential gradient separated in the three rectangular components of the field. Furthermore a method is pointed out to separate the field of the own charge of the aeroplane and to record this one separately. This enables the 'Feldkomponentenmühle' (field component meter) to be used in motor driven aeroplanes.

1. Einleitung

Alle bisher durchgeführten Messungen des luftelektrischen Feldes in der freien Atmosphäre angefangen von den Freiballonaufstiegen bis zu den modernen Messungen im Segel- oder Motorflugzeug (1, 2, 3, 4, 5, 9) beschränken sich auf die Messung oder Registrierung der vertikalen Feldkomponente. Solange man bei luftelektrisch ungestörtem Wetter nur bis zu Höhen von einigen Kilometern über dem Erdboden vordringt, kann man erwarten, daß das luftelektrische Feld vertikal gerichtet ist, und somit die Horizontalkomponenten fehlen. Bei Untersuchungen von Wolken und insbesondere von Gewitterfeldern aber treten neben der Vertikalkomponente auch erhebliche Horizontalkomponenten auf. So ist man z. B. bei der Registrierung der Vertikalkomponente in Gewitterfeldern gezwungen, über die geometrische Verteilung der Wolkenladungen gewisse Annahmen zu machen, um diese Messungen überhaupt auswerten zu können.

SIMPSON und ROBINSON (3) nehmen deshalb eine Ladungsverteilung in übereinanderliegenden Kugeln an, während E. WALL (6) die Ladungsanordnung in Schichten vorzieht, um für die Auswertung der Messungen einfach zu überschende theoretische Potential- und Feldverhältnisse zu haben. H. WICHMANN (7) leitet auf Grund der meteorologischen Verhältnisse in der Gewitterwolke gekoppelt mit den elektrizitätsbildenden Vorgängen eine andere Ladungsverteilung ab, die sich nicht mehr in so einfache geometrische Formen pressen läßt. Es verbleibt also bei der Auswertung der Messungen ein gewisser Grad von Unsicherheit, der sich durch die gleichzeitige Registrierung aller drei Feldkomponenten beseitigen lassen würde.

Auch bei Schönwetterflügen wird die Horizontalkomponente des luftelektrischen Feldes dann von wesentlicher Bedeutung sein, wenn man mit dem Registriergerät Höhen erreicht,

die größer sind als die Gipfelhöhe der Gewitterwolken. Hier muß sich die Elektrizitätsströmung nach den Seiten ausbreiten und somit auch eine horizontale Feldkomponente vorherrschen. Dieser seitliche Ausgleich wird nicht erst in der Ionosphäre stattfinden (8), sondern bereits in tiefer gelegenen Luftschichten, so daß man etwa in dem Raum zwischen 15 und 50 km Höhe mit dem Auftreten von horizontalen Feldkomponenten rechnen darf.

Aus diesen und anderen Gründen wurde vom Verfasser bereits 1944 mit der Entwicklung eines Meßgerätes für Flugzeugaufstiege begonnen, das die drei Komponenten des luftelektrischen Feldes gleichzeitig registriert. Durch dieses Instrument sollte außerdem die Möglichkeit gegeben werden, das von der Eigenladung des Flugzeuges herrührende Feld von dem luftelektrischen Feld abzutrennen und gesondert zu registrieren. Denn es ist bekannt, daß Motorflugzeuge durch die Auspuffgase auf Spannungen von 5—10 000 V aufgeladen werden, so daß das Eigenfeld des Flugzeuges die schwachen luftelektrischen Felder in der Höhe überdeckt.

Die praktische Erprobung der Anlage im Flugzeug konnte leider nicht mehr durchgeführt werden. Wenn hier trotzdem dieses Gerät beschrieben werden soll, so geschieht es aus dem Grunde, weil auch heute noch die praktische Flugerprobung in absehbarer Zeit in Deutschland nicht gesichert erscheint.

2. Theoretische Überlegungen zur Feldkomponentenmühle

Das Meßgerät wurde nach dem Prinzip der automatisch rotierenden Wilsonplatte gebaut, das unter dem Namen Feldmeßmaschine oder speziell in der Luftpolektrizität als Feldmühle bekannt ist. In Verbindung mit der modernen Verstärkertechnik hat sich dieses Meßverfahren wegen seiner Unempfindlichkeit gegen mechanische Beanspruchungen und wegen der geringen Isolationsanforderung zur Registrierung luftelektrischer Felder im Flugzeug ausgezeichnet bewährt.

Das Gerät mißt letzthin die durch das äußere Feld influenzierte Ladung auf einem Teilstück der Flugzeugoberfläche, bzw. die dieser Ladungsdichte proportionale Feldstärke. Zum Verständnis der 3 Komponentenmessung

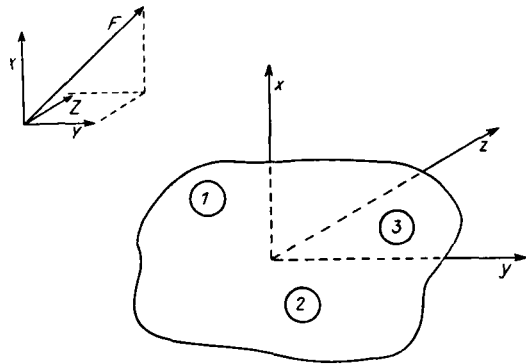


Abb. 1. Leitender Körper im elektrischen Feld beliebiger Richtung.

soll eine kurze theoretische Überlegung eingeschaltet werden.

Wir setzen einen beliebig geformten leitenden Körper in ein beliebig gerichtetes elektrisches Feld. Dieses Feld mit der Feldstärke F zerlegen wir entsprechend unserem kartesischen Koordinatensystem x, y, z in seine Komponenten X, Y, Z . (Abb. 1.)

Weiterhin schneiden wir uns 3 beliebige Oberflächenstücke 1, 2, 3 aus dem Körper aus, die aber durch einen Draht mit der übrigen Oberfläche des Körpers leitend verbunden bleiben sollen. Auf jedem Oberflächenstück wird von jeder Komponente des äußeren Feldes eine Ladung q influenziert, die der jeweils betrachteten Feldkomponente proportional ist. Die den einzelnen Oberflächenstücken zugehörigen Ladungen kennzeichnen wir durch die Indizes 1, 2, 3 und unterteilen die Gesamtladung in jedem Oberflächensegment in die Anteile, die durch die Feldkomponenten X, Y, Z induziert werden. Diese Teilladungen kennzeichnen wir durch weitere Indizes X, Y, Z . Es setzt sich also die Gesamtladung q_1 auf dem Oberflächenstück 1 zusammen aus den Teilladungen q_{1X}, q_{1Y}, q_{1Z} . Dasselbe gilt entsprechend für die Oberflächenstücke 2 und 3. Damit erhalten wir folgendes Gleichungssystem.

$$\begin{aligned} q_1 &= q_{1X} + q_{1Y} + q_{1Z} \\ q_2 &= q_{2X} + q_{2Y} + q_{2Z} \\ q_3 &= q_{3X} + q_{3Y} + q_{3Z} \end{aligned} \quad (1)$$

Die Teilladungen $q_{1X}, q_{1Y}, \dots$ sind nun proportional den Feldkomponenten $X,$

Y, Z. Diese führen wir mit Hilfe der Proportionalitätsfaktoren $a_1, b_1, c_1, \dots$ ein und erhalten aus Gl. (1.)

$$\begin{aligned} q_1 &= a_1 X + b_1 Y + c_1 Z \\ q_2 &= a_2 X + b_2 Y + c_2 Z \\ q_3 &= a_3 X + b_3 Y + c_3 Z. \end{aligned} \quad (2)$$

Da die $a_1, b_1, c_1, \dots$ konstante Faktoren darstellen, die wir etwa als Teilkapazitätskoeffizienten für die entsprechende Feldrichtung definieren und messen können, dürfen wir Gl. (2) nach den Feldkomponenten X, Y, Z auflösen und erhalten mit neuen Konstanten $A_1, B_1, C_1, \dots$

$$\begin{aligned} X &= A_1 q_1 + B_1 q_2 + C_1 q_3 \\ Y &= A_2 q_1 + B_2 q_2 + C_2 q_3 \\ Z &= A_3 q_1 + B_3 q_2 + C_3 q_3. \end{aligned} \quad (3)$$

Die Konstanten $A_1, B_1, C_1, \dots$ können wir nach bekanntem Rechenverfahren aus den $a_1, b_1, c_1, \dots$ gewinnen. Wir wollen jedoch diese Gleichungen übergehen, da diese Konstanten bei der praktischen Ausführung des Gerätes zweckmäßig durch Eichung gewonnen werden.

Als Ergebnis halten wir fest, daß es nach Gl. 3 theoretisch möglich ist, durch Messung der Oberflächenladung an drei verschiedenen Stellen der Oberfläche des Körpers, der sich in einem beliebig gerichteten homogenen Feld



Abb. 2. Photographie der Feldkomponentenmühle.

befindet, die Komponenten des äußeren Feldes zu bestimmen. Die praktische Ausführung zeigt darüber hinaus, daß es keine Schwierigkeiten bereitet, die erforderliche Rechenoperation durch das Gerät automatisch ausführen zu lassen.

3. Praktische Ausführung der Feldkomponentenmühle

Die Messung der Oberflächenladung bzw. der Feldstärke nach dem Feldmühlenprinzip soll hier als bekannt vorausgesetzt werden. Wir wenden uns gleich der technischen Konstruktion der Feldkomponentenmühle zu. Abb. 2 zeigt eine Photographie solch eines Gerätes. Die Feldmühle besteht also aus einem kurzen Zylinder, dessen Kopf in 8 voneinander isolierte Segmente aufgespalten ist. Hierbei entfallen auf den Zylinderdeckel 4 Segmente, während das obere Stück des Zylindermantels ebenfalls in 4 symmetrische Teilstücke unterteilt ist. Über diesen Segmenten rotiert ein etwas größerer geerdeter zylindrischer Flügel, in dem Ausschnitte derart angebracht sind, daß bei der Rotation je 2 gegenüberliegende Segmente im gleichen Rythmus frei gegeben und abgeschirmt werden. Jedes Segmentepaar des Zylindermantels ist durch einen Widerstand miteinander verbunden, der durch einen Mittelabgriff mit der Flugzeugoberfläche verbunden ist. Die Wirkungsweise dieser Anordnung wollen wir uns an der Schemafigur Abb. 3 a—3 d klar machen.

Es sind hier die 4 Segmente 1, 3 und 2, 4 des Zylindermantels im Schnitt aufgezeichnet. Sie werden von einem horizontalen Feld beeinflusst, dessen Richtung parallel zur Verbindungslinie der Segmente 1, 3 gegeben ist, und das senkrecht zur Zylinderachse steht. Wir sehen aus Abb. 3 b, daß das Segment 1 nur negative und das Segment 3 nur positive Influenzladung trägt. Die Segmente 2 und 4 dagegen tragen nach Abb. 3 a auf ihrer linken Hälfte negative und auf der rechten Hälfte positive Ladung.

Wir wollen nun den Ladungsfluß zwischen den Segmenten 1 und 3 bei einer Rotation des Flügels verfolgen. Als Ausgangsstellung wählen wir die in Abb. 3 a abgebildete Lage des Flügels, in der die Segmente 1 und 3 von dem äußeren Feld vollkommen abgeschirmt

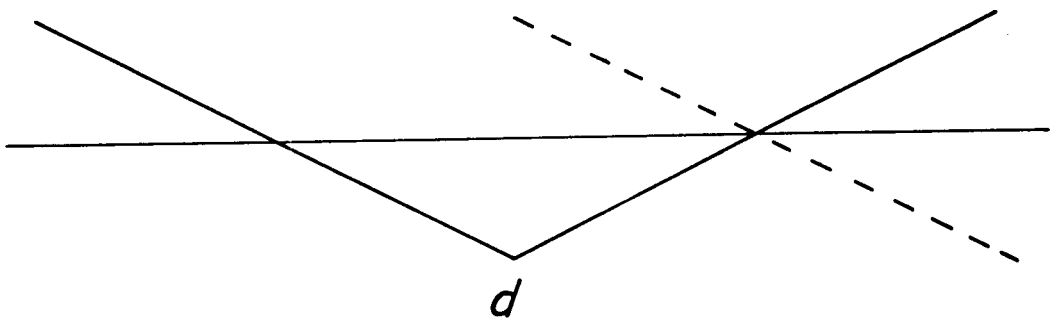
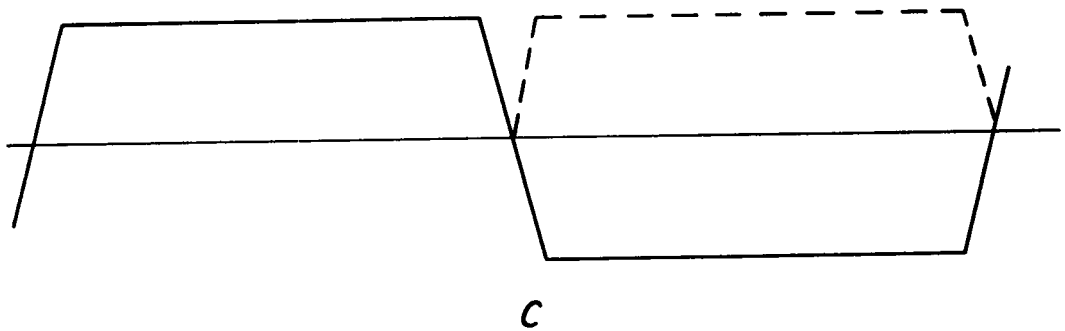
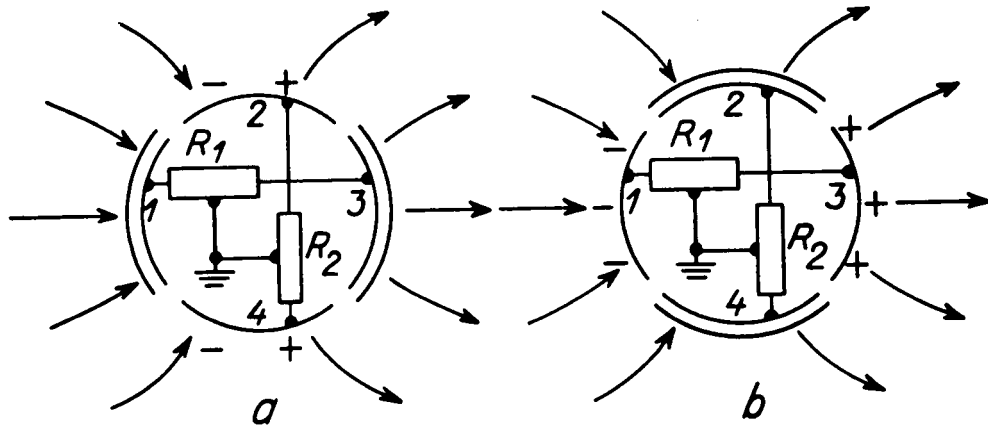


Abb. 3 a und 3 b. Mantelsegmente unter dem Einfluss eines horizontalen Feldes.

Abb. 3 c. Von den Segmenten 1 und 3 gelieferte Spannung.

Abb. 3 d. Von den Segmenten 2 und 4 gelieferte Spannung.

sind. Dreht sich der Flügel im Uhrzeigersinn bis in die Stellung 3b, so fließen unter der Einwirkung des äußeren Feldes Elektronen über den Widerstand R_1 von Segment 3 auf Segment 1. Dreht sich der Flügel weiter, bis er wieder die Stellung 3a erreicht, so gleichen sich die Influenzladungen über den Widerstand R_1 aus, es fließen also Elektronen von Segment 1 auf Segment 3. Bei weiterer Drehung wiederholt sich das Spiel von neuem. Dieser dauernde Ladungsfluß durch den Widerstand R_1 erzeugt über diesem eine Spannung, deren Verlauf in Abb. 3c schematisch dargestellt ist. Diese Wechselspannung wird dann wie üblich durch einen Verstärker verstärkt und durch einen zwangsgesteuerten Gleichrichter gleichgerichtet dem Schreiber zugeführt. Die Amplitude dieser Spannung ist der einfallenden Feldstärke proportional. Der zwangsgesteuerte Gleichrichter sorgt außerdem dafür, daß auch das Vorzeichen des Feldes nicht verloren geht.

Wir betrachten nun die Wirkung des Feldes auf die Segmente 2 und 4. Gehen wir ebenfalls von der Stellung 3a aus, so werden sich beim Drehen des Flügels in die Stellung 3b in der ersten Halbzeit die negativen Ladungen von Segment 2 mit den positiven von Segment 4 ausgleichen, während in der zweiten Halbzeit sich die positiven Ladungen von Segment 2 mit den negativen von 4 ausgleichen. Dreht sich der Flügel weiter in Stellung 3a, so ergibt sich derselbe Ladungsfluß nur mit umgekehrtem Vorzeichen. Die Kurve 3d zeigt ungefähr den resultierenden Spannungsverlauf über dem Widerstand R_2 . Dieser ist gegenüber dem Spannungsverlauf über dem Widerstand R_1 so in der Phase verschoben, daß durch eine mit dem ersten Stromkreis synchrone Zwangsgleichrichtung die resultierende Gleich-

spannung gleich 0 wird. (Die gleichgerichtete Spannung ist in Abb. 3c und 3d gestrichelt eingezeichnet.)

Drehen wir jetzt die Feldrichtung so, daß sie mit der Verbindungslinie der Segmente 2 und 4 zusammenfällt, dann liefern sinngemäß diese die Spannung, die wir eben für die Segmente 1 und 3 abgeleitet haben, während letztere die gleichgerichtete Spannung 0 geben. Durch den Kunstgriff der zwangsgesteuerten Gleichrichtung sprechen also sowohl die Segmente 1 und 3 als auch die Segmente 2 und 4 nur auf die Feldkomponente an, die parallel zu der Verbindungslinie der entsprechenden Segmente gerichtet ist.

Wir müssen uns jetzt noch davon überzeugen, daß diese Segmentpaare auch unempfindlich sind gegenüber der Feldkomponente, die in Richtung der Zylinderachse einfällt. Zu diesem Zweck betrachten wir Abb. 4. In dieser sind die beiden Segmente 1 und 3 im Aufriß dargestellt.

Durch das in Achsrichtung einfallende Feld wird auf beiden Segmenten die gleich große negative Ladung influenziert. Diese Ladung fließt dem Segment 1 über den linken halben Widerstand zu und dem Segment 3 über den rechten halben Widerstand. Da in den beiden Widerstandshälften die Stromrichtung gegenständig ist, kompensiert sich der dadurch entstehende Spannungsabfall über dem ganzen Widerstand zu 0. Dasselbe gilt für das Segmentpaar 2 und 4.

Voraussetzung für diese Kompensation ist die Symmetrie des Feldlinienbildes. Montiert man die Feldmühle z. B. auf der Oberseite des Flugzeuges, so ist diese Symmetrie für das in Richtung der Flugzeugflügel weisende Segmentpaar immer dann gegeben, wenn man die Mühle über der Mittellinie des Flugzeugs anbringt. Für das nach Kopf- und Schwanzende zeigende Segmentpaar müßte die elektrisch neutrale Linie erst bestimmt werden. Läßt sich diese Linie aus irgend einem Grund für die Montage nicht verwenden, so kann man durch einen anderen Erdungsabgriff am Widerstand die vollständige Kompensation erzwingen.

Abschließend können wir feststellen. Die Segmentpaare des Zylindermantels geben jedes nur für jeweils eine Komponente eines äußeren Feldes eine gleichgerichtete Spannung.

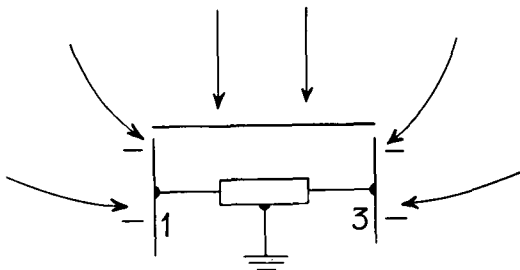


Abb. 4. Influenz des Segmentpaares 1 und 3 durch ein senkrecht einfallendes Feld.

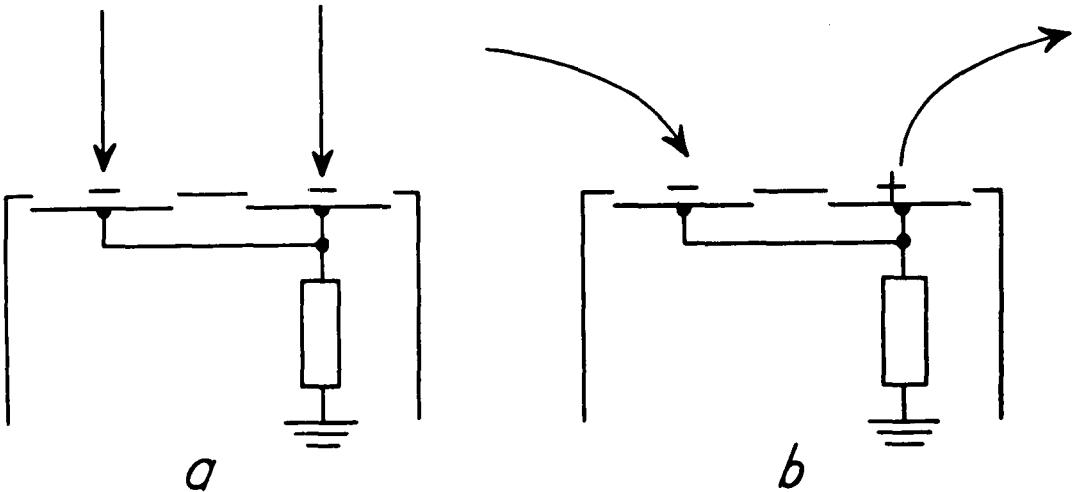


Abb. 5 a. Deckelsegmente unter der Einwirkung eines senkrecht einfallenden Feldes.
Abb. 5 b. Deckelsegmente unter der Einwirkung eines horizontal einfallenden Feldes.

Gegen die jeweils anderen beiden Feldkomponenten ist das Segmentenpaar unempfindlich, teils durch die zwangsgesteuerte Gleichrichtung, teils durch eine entsprechende Erdung des überbrückenden Widerstandes.

Etwas einfacher zu übersehen sind die Verhältnisse für die Segmente im Zylinderdeckel. Hier genügt es, wenn von den zwei Segmentpaaren überhaupt nur eines benutzt wird. Dieses wird nach Abb. 5a kurzgeschlossen und über einen Widerstand mit dem Flugzeug verbunden.

Die Wirkung für parallel zur Zylinderachse einfallende Felder ist dieselbe, wie bei der normalen Einkomponenten-Mühle. Bei senkrecht zur Zylinderachse einfallenden Feldern hebt sich die Wirkung entweder schon innerhalb ein und desselben Segments oder durch das Kurzschließen beider Segment auf, wie aus Abb. 5b ohne weiteres ersichtlich ist.

Wenn man nicht Wert darauf legt, daß man für jeden Komponentenkanal des Verstärkers einen getrennten Eingangswiderstand erhält, könnte man auf die Segmente im Zylinderdeckel überhaupt verzichten. Denn parallel zur Zylinderachse einfallende Felder kann man auch mit einer Schaltung nach Abb. 6 durch die Zylindermantelsegmente registrieren.

Hier fließt über den eingeführten Widerstand R_3 die Influenzladung auf die Segmente 1 und 3. Die Spannung für die senkrecht einfallende Feldkomponente wird über dem Wi-

derstand R_3 abgenommen. Der Querwiderstand bleibt dabei ohne Wirkung. Die Ähnlichkeit dieser Schaltung mit den Ausführungen nach Abb. 5a und 5b ist so evident, daß nach den oben gemachten Ausführungen eine eingehende Diskussion nur eine Wiederholung bedeuten würde.

Mit den bisherigen Ausführungen ist gezeigt, daß bei einer der angegebenen Konstruktionen der Feldkomponentenmühle jeweils ein Segmentpaar immer nur auf eine Feldkomponente anspricht, während es durch die anderen beiden Komponenten nicht beeinflußt wird.

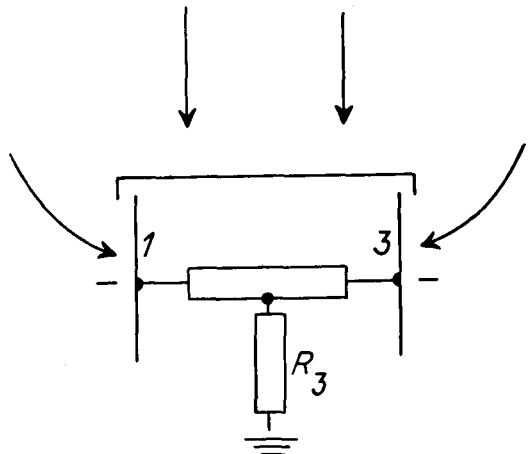


Abb. 6. Registrierung vertikaler Felder mit Hilfe der Zylindermantelsegmente.

4. Die Registrierung der Flugzeugeigenladung

Eine Komplikation entsteht bei der Feldregistrierung im Flugzeug dadurch, daß Motorflugzeuge durch die Auspuffgase so hoch aufgeladen werden, daß ihre Eigenfelder die schwachen luftelektrischen Felder in der Höhe überdecken. Man kann diese Schwierigkeit natürlich dadurch umgehen, daß man ein Segelflugzeug verwendet, von dem man eine etwa vorhandene Eigenladung mit Hilfe eines in der neutralen Linie angebrachten Ausgleichers wegbringt. Andererseits wird gerade bei Messungen in Regen- und Gewitterwolken auch das Segelflugzeug durch Einfangen von geladenem Niederschlag eine derartige Eigenladung annehmen, die durch einen Ausgleich nicht restlos beseitigt werden kann.

Bei der Komponentenmühle bietet sich zur Abtrennung dieser Eigenladungsfelder folgender Weg. Es wird hierzu für die Zylindermantelsegmente eine Schaltung nach Abb. 6 und für die Zylinderdeckelsegmente eine Schaltung nach Abb. 5a verwendet. Wir bezeichnen die parallel zur Mühlenachse einfallende Komponente des äußeren Feldes mit F_X und die von der Eigenladung herrührende Feldstärke mit E . Für das Eigenladungsfeld gelten bei den einzelnen Segmenten andere Teilkapazitätskoeffizienten als für das äußere Feld. Die ersteren bezeichnen wir mit b_1 , b_2 und die letzteren mit a_1 , a_2 .

Mit der Schaltung nach Abb. 7 können wir jetzt das Eigenladungsfeld von dem äußeren Feld auf folgende Weise separieren.

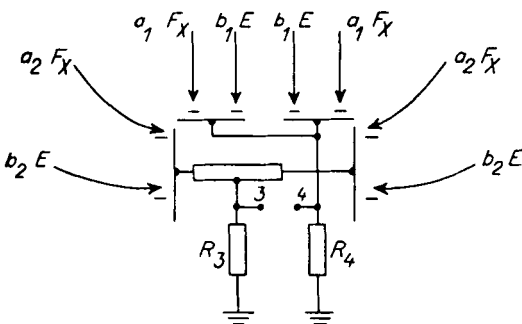


Abb. 7. Schaltung zur Trennung der Wirkung des Eigenladungsfeldes von der des äusseren luftelektrischen Feldes.

Die über dem Widerstand R_4 entstehende Spannung U_4 ist gegeben durch

$$U_4 = a_1 F_X + b_1 E, \quad (4)$$

während für die über R_3 entstehende Spannung U_3 gilt

$$U_3 = a_2 F_X + b_2 E. \quad (5)$$

Durch passende Wahl der Widerstände R_3 und R_4 können wir erreichen, daß $a_1 = a_2$ wird. Dann erhalten wir durch Gegeneinanderschalten der Widerstände R_3 und R_4 an den Punkten 3 und 4 die Eingangsspannung U_e für den Verstärkerkanal der Eigenladung. Denn es ist

$$U_e = U_3 - U_4 = (b_1 - b_2) E. \quad (6)$$

Es ist also U_e nur proportional der Eigenladungsfeldstärke E . Dasselbe Schaltbild verwenden wir für die andere Kombination der Zylindermantel- und Deckelsegmente. Hier gleichen wir die R_3 und R_4 entsprechenden Widerstände aber so ab, daß in den Gleichungen (4) und (5) $b_1 = b_2$ wird. Dann fällt der Eigenladungsanteil heraus, und wir erhalten

$$U_X = U_3 - U_4 = (a_1 - a_2) F_X. \quad (7)$$

U_X ist also eine Spannung, die nur proportional der parallel zur Mühlenachse einfallenden Feldkomponente F_X ist.

Eine Störung der Anzeige der horizontalen Feldkomponenten durch die Eigenladungsfeldstärke erfolgt nicht, wenn die Mantelsegmente nach Abb. 3a bzw. 7 geschaltet werden. Es gilt dann für das Eigenladungsfeld dasselbe, was an Hand der Abb. 4 für die vertikale Feldkomponente dargelegt wurde. Durch den Mittelabgriff des Querwiderstandes fällt die Wirkung des Eigenladungsfeldes heraus.

Eine praktische Schwierigkeit könnte aber dadurch entstehen, daß sowohl die Werte für a_1 und a_2 als auch für b_1 und b_2 fast gleich groß sein werden. Durch die Differenzbildung in den Klammern von Gl. 6 und 7 erhalten wir also für U_e und U_X kleine Werte. Nach dem Stand der heutigen Verstärkertechnik bereitet es zwar keine Schwierigkeit auch kleine Wechselfspannungen genügend hoch zu verstärken. Aber schwerer wird es sein, den genauen Abgleich der Widerstände zu erreichen. Außerdem muß die von der Kontaktspannung und die von der mehr oder minder

guten Erdung des rotierenden Flügels herrührende Störspannung der Mühle klein gehalten werden.

Sollte sich also herausstellen, daß dieser Weg nur mit großem Aufwand beschritten werden kann, so bleibt immer noch die Möglichkeit offen eine einfache Hilfsmühle mit hinzuzuziehen. Diese kann dann an einem geeigneten Ort und zwar an der Unterseite des Flugzeuges montiert werden. Dadurch erhalten die entsprechenden Koeffizienten a_1 , a_2 und b_1 , b_2 verschiedenes Vorzeichen, verstärken also einander. Für die Konstruktion der Komponentenmühle gelten sonst sinngemäß dieselben Erfahrungen, die man beim Bau der einfachen Feldmühle gesammelt hat, auf die aber hier nicht mehr eingegangen werden soll.

Zusammenfassung

Bei der Registrierung des Luftpotektischen Feldes im Flugzeug ist es äusserst wünschenswert, alle drei Feldkomponenten aufzunehmen. Dies gilt besonders bei Untersuchungen in grossen Höhen und bei Gewitterfeldern. In dieser Arbeit wird eine Apparatur beschrieben, die nach dem Feldmühlenprinzip arbeitet und die gleichzeitige Registrierung der nach kartesischen Koordinaten zerlegten Komponenten des luftpotektischen Feldes gestattet. Ferner wird ein Weg aufgezeigt mit dieser Apparatur das Feld der Eigenladung des Flugzeuges von dem luftpotektischen Feld abzutrennen und für sich gesondert zu registrieren. Dadurch ist es möglich die Feldkomponentenmühle auch im Motorflugzeug zu verwenden.

LITERATUR

- (1) EVERLING, E., u. A. WIGAND, 1921: Spannungsgefülle und vertikaler Leitungsstrom in der freien Atmosphäre nach Messungen bei Hochfahrten im Freiballon. *An. d. Phys.* 4, 66, 261 — 288.
- (2) SIMPSON G. C., F. J. SCRASE, 1937: The Distribution of Electricity in Thunderclouds I. *Proc. R. Soc. A.* 161, 309—352.
- (3) SIMPSON G. C., G. D. ROBINSON, 1941: The Distribution of Electricity in Thunderclouds II. *Proc. R. Soc. A.* 177, 281—329, 1941.
- (4) KASEMIR, H.-W., I. v. WITTICH, 1943: Feld- und Eigenladungsregistrierungen bei Flugzeugaufstiegen. *ZWB Forschungsbericht* Nr. 1886.
- (5) ROSS GUNN, 1948: Electric Field Intensity Inside Natural Clouds. *J. Applied Physics* 19, 481—484.
- (6) WALL, E.: Das Gewitter I. *Wetter u. Klima* 1/2, 7—21, 1948.
— Das Gewitter II. *Wetter u. Klima* 3/4, 65—74, 1948.
— Das Gewitter III. *Wetter u. Klima* 7/8, 193—204, 1948.
— Das Gewitter IV. *Wetter u. Klima* 11/12, 321—326, 1948.
- (7) Wichmann, W.: Grundprobleme der Physik des Gewitters. Wolfenbüttel Verlagsanstalt. Wolfenbüttel u. Hannover 1948.
- (8) ISRAEL, H., u. H.-W. KASEMIR, 1949: In welcher Höhe geht der weltweite luftpotektische Ausgleich vor sich. *Ann. d. Geophysique* 5, 313—324.
- (9) R. LECOLAZET, 1948: Étude Expérimentale de l'état électrique des cumulus de beau temps, interprétation des résultats. *Ann. de Géoph.*, 4, 81 — 95.