

## Werk

**Jahr:** 1935

**Kollektion:** fid.geo

**Signatur:** 8 GEOGR PHYS 203:11

**Digitalisiert:** Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

**Werk Id:** PPN101433392X\_0011

**PURL:** [http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X\\_0011](http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0011)

**LOG Id:** LOG\_0028

**LOG Titel:** Die Aufzeichnung der erdmagnetischen Elementarwellen mittels des Kriechgalvanometers

**LOG Typ:** article

## Übergeordnetes Werk

**Werk Id:** PPN101433392X

**PURL:** <http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X>

**OPAC:** <http://opac.sub.uni-goettingen.de/DB=1/PPN?PPN=101433392X>

## Terms and Conditions

The Goettingen State and University Library provides access to digitized documents strictly for noncommercial educational, research and private purposes and makes no warranty with regard to their use for other purposes. Some of our collections are protected by copyright. Publication and/or broadcast in any form (including electronic) requires prior written permission from the Goettingen State- and University Library.

Each copy of any part of this document must contain these Terms and Conditions. With the usage of the library's online system to access or download a digitized document you accept the Terms and Conditions.

Reproductions of material on the web site may not be made for or donated to other repositories, nor may be further reproduced without written permission from the Goettingen State- and University Library.

For reproduction requests and permissions, please contact us. If citing materials, please give proper attribution of the source.

## Contact

Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen  
Georg-August-Universität Göttingen  
Platz der Göttinger Sieben 1  
37073 Göttingen  
Germany  
Email: [gdz@sub.uni-goettingen.de](mailto:gdz@sub.uni-goettingen.de)

## Messungen des Ionengehaltes von Grubenwettern\*)

Von M. Rössiger und L. Funder, Clausthal\*\*)

Da es nach den bisherigen Ergebnissen der Ionenforschung nicht als ausgeschlossen erscheint, daß die festgestellten biologischen Wirkungen der Ionen auch für den untertage arbeitenden Menschen von Bedeutung sein können, sind in der Versuchsgrube der Bergakademie Clausthal zum ersten Male Bestimmungen des Ionengehaltes der Wetter durchgeführt worden. Mit Hilfe eines verbesserten Ebert-Zählers wurde festgestellt, daß die Ionendichte untertage bis zu 30mal höher als übertage ist. Im Gegensatz zu den Verhältnissen in freier Luft überwiegen in der Grubenluft die negativen Ionen. Beim Anstellen des Wetterstromes und der damit verbundenen Druckverminderung wird eine Erhöhung der Ionendichten, besonders der positiven, hervorgerufen, was durch „Wandatmung“ erklärt wird. In gleicher Weise wird der Einfluß des Luftdruckganges gedeutet. Die wesentlichsten Ionisatoren sind die Emanation von Radium (vermutlich auch von Thorium) und ihre Folgestoffe.

---

## Die Aufzeichnung der erdmagnetischen Elementarwellen mittels des Kriechgalvanometers

Von M. Rössiger, Clausthal — (Mit 5 Abbildungen)

Die Änderungen des Flusses des erdmagnetischen Feldes durch eine Leiterschleife werden durch ein kriechend gedämpftes Galvanometer in weiten Grenzen phasengetreu und amplitudenproportional aufgezeichnet. Eine solche Anordnung eignet sich daher gut zur Registrierung kleiner Schwankungen des Erdfeldes. Die Eichung und Konstantenbestimmung wird beschrieben. Mit dem 10 Ohm-Siemens & Halske-Galvanometer kann bei mehrfacher Reflexion eine Empfindlichkeit von 0.05  $\gamma$ /mm erreicht werden. Einige Registrierungen zeigen die Brauchbarkeit der Anordnung. In den Registrierkurven fallen die langperiodigen „erdmagnetischen Elementarwellen“ auf. Die Wellen treten gruppenförmig auf.

Die Aufzeichnung geringster Schwankungen der Intensität des erdmagnetischen Feldes nach Phase und Amplitude bereitet der Meßtechnik bekanntlich Schwierigkeiten. Die mechanisch-magnetischen Variometer z. B. sind bei hoher Empfindlichkeit träge, die Empfindlichkeit des vom Verfasser\*\*\*) früher angegebenen trägheitsfreien elektrischen Verfahrens ist durch die Schwankungen des Anodenstromes der verwendeten Röhre begrenzt. Im folgenden soll nun eine

---

\*) Veröffentlicht in „Glückauf“, Jahrg. 1934, S. 850—854.

\*\*) Vorgetragen von M. Rössiger.

\*\*\*) M. Rössiger: Zur Messung von magnetischen Feldern und Feldänderungen mit dem Magnatron. Zeitschr. f. Phys. 43, 480 (1927).

Versuchsordnung beschrieben werden, die bei höchster Empfindlichkeit die angestrebte Phasen- und Amplitudentreue mit einfachen Mitteln erreicht. Sie besteht aus einer niederohmigen Leiterschleife, an die unmittelbar ein kriechend gedämpftes Galvanometer\*) angeschlossen ist.

Bei den bisher benutzten Verfahren, die Schwankungen mit Leiterschleife und Galvanometer zu registrieren\*\*), ging man von der Erwägung aus, daß die notwendige hohe Empfindlichkeit durch eine große Windungsfläche der ausgelegten „Induktionsschleife“ erreicht werden kann. Man benutzte infolgedessen Schleifen von vielen Windungen, deren elektrische Widerstände naturgemäß relativ hoch ausfielen. Indessen werden die registrierten Kurven dann nicht leicht deutbar\*\*\*), da bei einer solchen Anordnung im wesentlichen nur die Geschwindigkeit der Feldänderungen registriert wird.

Verkleinert man umgekehrt den elektrischen Außenwiderstand, indem man eine Schleife von möglichst dickem Draht und am besten nur einer Windung verwendet, so lassen sich besonders übersichtliche Verhältnisse erreichen, da die Dämpfung dann bis zur Kriechgrenze des Galvanometers gesteigert werden kann. Die für die Bewegung der Galvanometerspule geltende Differentialgleichung

$$K \ddot{\varphi} + p \dot{\varphi} + D \varphi = qi \dots \dots \dots (1)$$

wo  $\varphi$  der Ausschlagwinkel,  $K$  das Trägheitsmoment der Spule,  $p$  die Dämpfungskonstante,  $D$  das Direktionsmoment der Spulenaufhängung,  $q$  die dynamische Galvanometerkonstante und  $i$  die jeweilige Stromstärke bedeuten, vereinfacht sich nämlich durch das Überwiegen des Dämpfungsgliedes im vorliegenden Falle zu

$$p \dot{\varphi} = qi \dots \dots \dots (2)$$

Da sich die Stromstärke  $i$  bei (erlaubter!) Vernachlässigung der Eigenschwingung des Stromkreises aus der induzierten EMK  $E$  und dem Gesamtwiderstande  $R$  zu  $E/R$  ergibt,  $E$  aber aus der Änderungsgeschwindigkeit des die Schleife durchsetzenden Magnetflusses  $\Phi$  zu  $E = d\Phi/dt$  folgt, so erhält man aus (2) einfach, unter Benutzung der Beziehung  $Rp = q^2 \dagger$ ),

$$\varphi = \frac{\Phi}{q} + \text{const} \dots \dots \dots (3)$$

also eine absolut getreue Wiedergabe des jeweiligen Flusses durch den Ausschlag des Registriergalvanometers. Wenn, wie im vorliegenden Falle, die Schleife von

\*) Das Kriechgalvanometer ist von C. Féry, C. R. **128**, 663, 1392 (1899) in die messende Physik eingeführt worden. Bekanntgeworden ist es als Grassotsches Fluxmeter [M. E. Grassot: Journ. de phys. **3**, 696 (1904)]. Später hat sich noch H. Busch mit dem Instrument beschäftigt [Zeitschr. f. techn. Phys. **7**, 361 (1926)].

\*\*) Vgl. z. B. H. Ebert: Über Pulsationen von geringer Periodendauer in der erdmagnetischen Feldkraft. Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wiss. **36**, 527 (1906), daselbst auch ausführliche Literatur!

\*\*\*) Mit der allgemeinen Theorie der Anordnung Leiterschleife-Galvanometer hat sich A. Pödder, Gerlands Beitr. **17**, 232 (1927) befaßt. Daselbst auch Registrierkurven.

†) Vgl. z. B. Kohlrausch: Lehrb. d. prakt. Physik, 13. Aufl., S. 484.

der Windungsfläche  $F$  horizontal und festverlegt ist, so ist der Fluß  $\Phi = F \cdot Z$  ( $Z =$  Vertikalintensität), also  $\varphi$  auch proportional  $Z$ ! Gegenüber einem magnetischen Variometer hat eine solche Anordnung den Vorteil, daß auch sehr schnelle Änderungen von  $Z$  unverkleinert wiedergegeben werden.

Im folgenden soll nun untersucht werden, welchen Einfluß das oben unterdrückte Trägheitsmoment der Galvanometerspule und das Direktionsmoment ihrer Aufhängung haben. Auch ohne nähere Annahmen zu machen über die Art der Änderung des magnetischen Flusses ist sofort zu übersehen, daß  $\infty$  — schnelle Änderungen (infolge des Trägheitsmomentes) und  $\infty$  — langsame Änderungen (infolge des Direktionsmomentes) nicht mehr aufgezeichnet werden. Das Vorhandensein der dem Ausschlag entgegenwirkenden Torsion hat ferner zur Folge, daß das System nach dem Abklingen einer beliebigen Störung schließlich immer wieder in seine torsionsfreie Ruhelage zurückkehrt\*).

Für den besonderen, hier interessierenden Fall der sinusförmigen Flußänderungen ( $\Phi = \Phi_0 \sin \omega t$ ) erhält die Gleichung (1) eine Form, die des öfteren diskutiert worden ist:

$$K \ddot{\varphi} + p \dot{\varphi} + D \varphi = \frac{q}{R} \Phi_0 \omega \cos \omega t \dots \dots \dots (4)$$

Zum Unterschied gegenüber der analogen, in der Seismometrie auftretenden Gleichung sei darauf hingewiesen, daß hier  $\omega$  in der ersten Potenz auftritt.

Die Lösung, die nach dem Abklingen zweier additiver, die Anfangsbedingungen enthaltenden Terme übrigbleibt,

$$\varphi = \varphi_0 \cdot \sin(\omega t + \epsilon),$$

hat die Amplitude  $\varphi_0$ , die wie folgt geschrieben werden soll:

$$\varphi_0 = \frac{\Phi_0}{q} \cdot \frac{\left(\frac{p}{D} \omega_0\right) \frac{\omega}{\omega_0}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \left(\frac{p}{D} \omega_0\right)^2 \cdot \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}} \dots \dots \dots (5)$$

wo  $\omega_0$  die Eigenkreisfrequenz des ungedämpft schwingenden Galvanometers ist.

Die Flußamplitude  $\Phi_0$  wird also gegenüber dem Idealfall absoluter Kriechdämpfung, wo  $\varphi_0 = \Phi_0/q$  ist, mit einem gewissen verkleinernden Faktor behaftet wiedergegeben.

Die Zusammenfassung der Faktoren in der obigen Form ist deshalb erfolgt, weil der Koeffizient  $\frac{p}{D} \omega_0$ , der eine unbenannte Zahl ist, den Grad der Dämpfung charakterisiert: Er hat im aperiodischen Grenzfall den Wert 2, bei überaperiodischer Dämpfung ist er größer als 2.

\*) Diese Rückkehr des Lichtfleckes in die Ruhelage ist natürlich meßtechnisch ganz angenehm, da im anderen Falle, wegen der hohen Empfindlichkeit, die für die Registrierung der Elementarwellen notwendig ist, eine Dauerregistrierung unmöglich wäre.

Die beigegebene Fig. 1 zeigt, in welchem Maße die registrierte Flußamplitude bei drei verschiedenen Dämpfungsgraden vom Frequenzverhältnis  $\omega/\omega_0$  abhängt. Bei genügend hoher Dämpfung ist, wie man sieht, die Amplitudentreue bis zu extremen Werten von  $\omega/\omega_0$  gut gewahrt. Bei einem Zahlenwert von  $\frac{p}{D}\omega_0 = 30$ , der leicht zu erreichen ist, werden z. B. Perioden, die 10- bzw.  $\frac{1}{10}$ mal so groß sind wie die Eigenperiode des Galvanometers, nur mit einer Verkleinerung von etwa 5% aufgezeichnet.

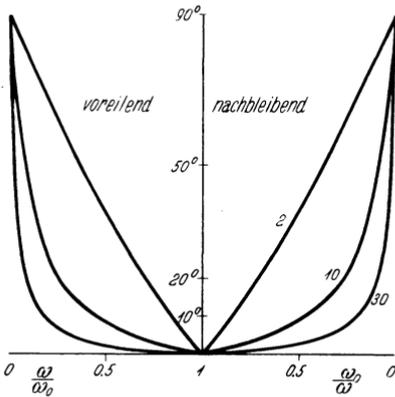


Fig. 1. Amplitudenfaktor bei verschiedenen Dämpfungen, berechnet für  $(p/D_0\omega) = 2$  (aperiodischer Grenzfall), 10 und 30 (kriechende Dämpfung)

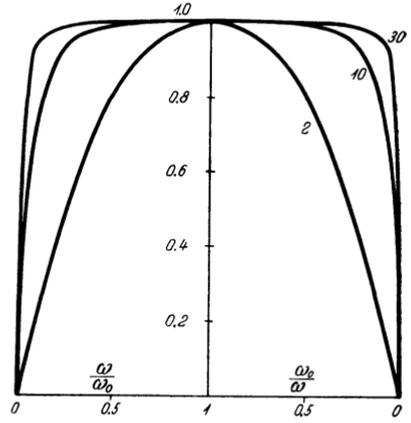


Fig. 2. Phasenverschiebung bei verschiedenen Dämpfungen

Die Phasenverschiebung der aufgezeichneten Wellen gegenüber den Schwankungen des Magnetfeldes zeigt die Fig. 2. Die dort gezeichneten Phasenverschiebungen  $\varepsilon$  sind dabei berechnet nach der Gleichung

$$|\cot \varepsilon| = \frac{p \omega_0}{D} \frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \dots \dots \dots (6)$$

Bei kriechender Dämpfung ist die Phasentreue sehr gut erfüllt, auch bei Perioden, die von der Eigenperiode des Galvanometers stark abweichen.

Um den in Gleichung (5) bisher unbestimmt gebliebenen Faktor  $p/D$  für eine bestimmte Anordnung von Schleife und Galvanometer zu bestimmen, werden sogenannte Abklingungskurven registriert. Hierzu wird eine plötzliche Feldänderung künstlich hervorgerufen und die Rückkehr des Lichtflecks in die Ruhe-

lage beobachtet. Bei hinreichend großer Dämpfung lautet die Lösung der zu (4) homogenen Gleichung

$$\varphi = C_1 \cdot e^{-\frac{D}{p\omega_0}\omega_0 t} + C_2 \cdot e^{-\left(\frac{p\omega_0}{D} - \frac{D}{p\omega_0}\right)\omega_0 t} \dots \dots \dots (7)$$

Da sowohl der Faktor  $C_2$  des zweiten Gliedes klein ist, als auch sein Exponent schon nach sehr kurzen Zeiten negativ sehr groß wird, so kann man für die Rückkehr in die Ruhelage sehr genähert setzen

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\frac{D}{p} t} \dots \dots \dots (8)$$

woraus der gesuchte Faktor  $p/D$  zu entnehmen ist.

Am einfachsten ist es dabei, die Zeit  $T$  zu bestimmen, in der der Ausschlag auf seinen halben Betrag sinkt. Für  $p/D$  erhält man dann einfach

$$\frac{p}{D} = \frac{T}{\ln 2} \dots \dots \dots (9)$$

Die noch notwendige absolute Eichung der ganzen Anordnung wird mit der geschilderten Messung gleich zweckmäßig verbunden. Die Änderung des die Schleife durchsetzenden Flusses muß hierzu nur einen bekannten Wert haben. Man kann z. B. ein kleines Stück der Schleife posaunenartig verschiebbar machen. Vergrößert man durch Verschieben des Drahtstückes die Windungsfläche der Schleife um  $f \text{ cm}^2$ , so ist, bei horizontal verlegter Schleife, die eintretende Flußänderung  $f \cdot Z$ , wo  $Z$  die hierbei als bekannt angenommene Vertikalintensität bedeutet.

In anderer Weise kann die notwendige Flußänderung durch das Feld eines permanenten Magneten hervorgerufen werden, der in bekanntem Abstände  $a$  von einem hinreichend langen, geradlinigen Teil der Schleife entfernt, aus einer lotrechten, zur Schleife symmetrischen Anfangslage um  $180^\circ$  gedreht wird. Die Drehachse soll dabei am besten senkrecht zu dem benachbarten geradlinigen Teil der Schleife sein\*).

Hat der Magnet das Moment  $M$ , so ergibt sich die Flußänderung aus der Integration über die gesamte, von der Schleife umrandete Fläche  $F$

$$\Delta \Phi = 2 \int \frac{M}{r^3} df \dots \dots \dots (10)$$

woraus nach einfacher Rechnung folgt, falls die übrige Umrandung der Schleife hinreichend weit entfernt ist,

$$\Delta \Phi = \frac{4M}{a} \dots \dots \dots (11)$$

---

\*) Um hierbei den Ausschlag unverkleinert zu erhalten, muß die Drehung nicht zu rasch und nicht zu langsam, am besten in einer Zeit, die etwa der Eigenperiode des Galvanometers entspricht, vorgenommen werden. Wegen der Unempfindlichkeit der „Verkleinerungskurven“ (siehe Fig. 1) gegenüber Änderungen im Periodenverhältnis  $\omega/\omega_0$  ist diese Bedingung absolut nicht kritisch!

Der durch diese Magnetdrehung erzeugte Galvanometerausschlag entspricht dann einer Änderung der Vertikalintensität um

$$\Delta Z = \frac{4M}{\alpha F} \dots \dots \dots (12)$$

Zum Schluß seien noch einige Registrierungen (vgl. Fig. 4 und 5) wiedergegeben, die in einem von industriellen Störungen entfernten Gebiet (Acker-Bruchberg) im Harz angestellt wurden. Zur Verwendung kam eine Gummiaderleitung\*) von 600 m Länge (Widerstand etwa 3  $\Omega$ ), die teils in einem, teils in zwei Ringen ausgelegt wurde. Der Drahtquerschnitt war, um die hohe Dämpfung zu erzielen, relativ groß (4 mm<sup>2</sup>). Der Draht muß fest auf dem Boden verlegt werden, damit Bewegungen durch den Wind ausgeschlossen sind. Registriert

wurde mit zwei verschiedenen Drehspul-Spiegelgalvanometern: einem 10  $\Omega$ -Instrument und einem 50  $\Omega$ -Instrument (neue Type!) von Siemens & Halske. Die Empfindlichkeit wurde durch mehrfache Reflexion an einem festen Spiegel vervielfacht. Bis zur vierfachen Reflexion kann man leicht kommen.

Die Fig. 3 zeigt zunächst die absolute Eichung, verbunden mit der Bestimmung, des Koeffizienten  $p/D$  aus der „Halbwertszeit“  $T$ . Die beiden Ausschläge wurden durch Drehen eines Stab-

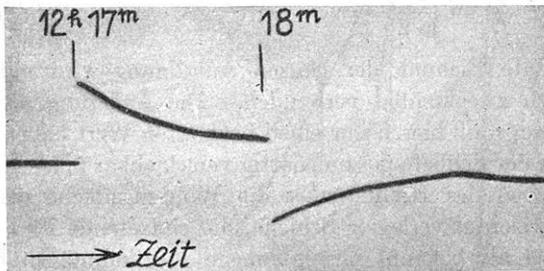


Fig. 3. Eichung und Bestimmung des Koeffizienten  $p/D$ . 50  $\Omega$ -Instrument, Eigenperiode 7 sec, umrandete Fläche 3.5 · 10<sup>7</sup> cm<sup>2</sup>. Bei 12h 17m und 18m je eine Magnetdrehung, Moment 5810 cgs, Abstand 30 cm. Der Anfangsausschlag beträgt 12.5 mm, die entsprechende Änderung der Vertikalintensität ist also nach Gleichung (12) 2.2  $\gamma$ , damit die Empfindlichkeit 0.176  $\gamma$ /mm. Die danach folgende Rückkehr in die Ruhelage ist zur Hälfte in 24.4 sec erfolgt. Damit  $p/D$  aus Gleichung (9) 35.3 sec, damit der Dämpfungskoeffizient  $(p/D)\omega_0 = 31.5$

magneten vom Moment 5810 cgs in der geschilderten Weise erzeugt. Mit der aus der Unterschrift zur Fig. 3 ersichtlichen Auswertung folgt, daß Wellen von z. B. 38 sec Periode nur um etwa 2% verkleinert registriert werden.

Das 10  $\Omega$ -Instrument (Eigenperiode 15 sec) ist durch die Schleife von 3  $\Omega$  natürlich nicht in so hohem Maße kriechend gedämpft. Bei der hohen Volt-empfindlichkeit des Instruments ist aber die Ausschlagsempfindlichkeit gegen Magnetfeldschwankungen\*\*) höher. 1 mm entspricht hier einer Feldänderung von 0.046  $\gamma$ . Die Amplitudentreue ist etwas geringer als beim 50  $\Omega$ -Instrument.

\*) Isolation durch zwei Lagen vulkanisierter Gummimischung, mit gummiertem Band bewickelt und getränkter Baumwollbeflechtung versehen.

\*\*\*) Mit  $\omega = \omega_0$ .

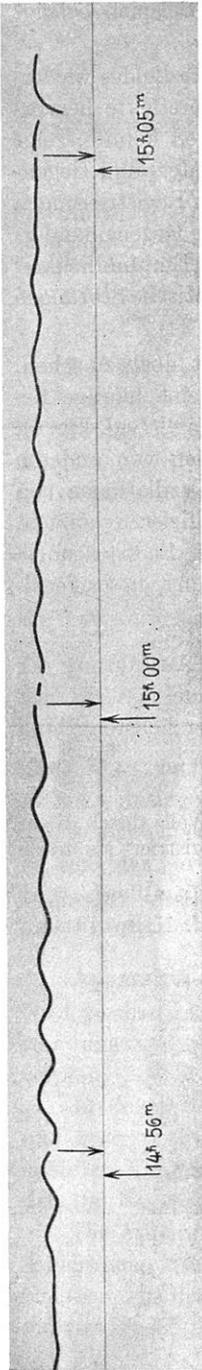


Fig. 4. Originalregistrierung der Elementarwellen, 5. X. 1933. 10  $\Omega$ -Instrument, Zeitmarken bei 14h 56m, 15h 00m, 05m  
Am Ende der Registrierung ein Eicherschlag mit der folgenden Abklingung

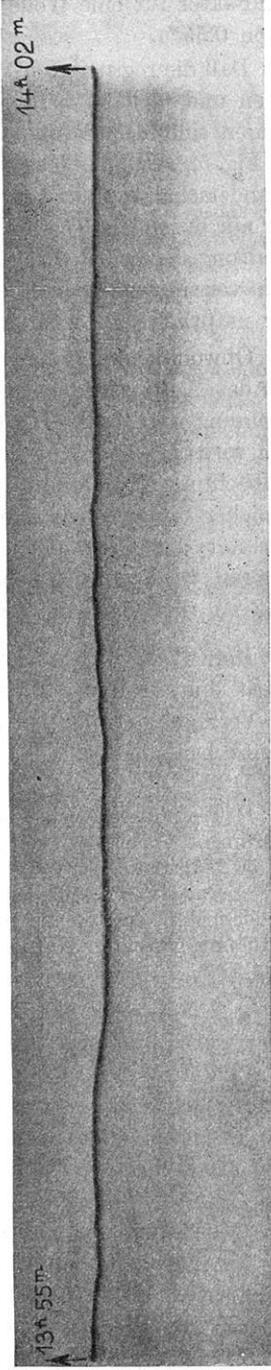
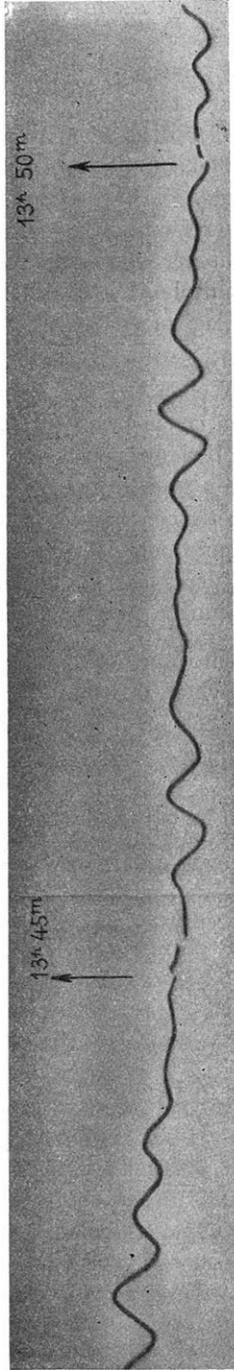


Fig. 5. Originalregistrierung von Wellengruppen, 29. IX. 1933. Nach der Pause sind die beiden Schleifen „gegeneinander“ geschaltet

Der Faktor für eine Welle von einer Periode von 38 sec (obiges Beispiel) beträgt schon 0.55\*).

Daß die registrierten Wellen tatsächlich Schwankungen des Erdfeldes wiedergeben und nicht etwa durch parasitäre EMK oder sonstige Störeffekte hervorgerufen sind, an die man bei einer fliegenden Aufstellung denken könnte, zeigt die Fig. 5, wo unmittelbar anschließend mit zwei Schleifen in Hinter- und Gegeneinanderschaltung registriert wurde. Die kleine Pause zwischen den Registrierungen war nur durch das Umschalten der Drahringe bedingt. Nach der Gegeneinanderschaltung der beiden Ringe bleibt nur eine kleine, bei der hohen Empfindlichkeit nicht verwunderliche Nullpunktsunruhe. Durch absichtliche magnetische Störungen war natürlich jetzt kein Ausschlag zu erzielen.

Obwohl kein umfangreiches Registriermaterial vorliegt\*\*), ist doch zu sehen, daß das Auftreten der langen Wellen (32 und 38 sec-Periode) eine häufige Erscheinung sein muß. Die Wellen erscheinen dabei „gruppenförmig“ (vgl. Fig. 5). Man wird die beobachteten Wellen und Wellengruppen mit den von anderen Beobachtern (z. B. Eschenhagen und Pödder) festgestellten Oszillationen von ähnlicher Periode, den erdmagnetischen Elementarwellen, identifizieren können. Das mit der beschriebenen Anordnung leicht beizubringende Beobachtungsmaterial wird vielleicht einmal den bisher unbekanntem Ursprung dieser regelmäßigen sinusförmigen Schwankungen enthüllen helfen.

Herr Prof. Valentiner stellte mir, wie bisher immer, zur Ausführung der Arbeit die Mittel des Physikalischen Instituts der Bergakademie bereitwilligst zur Verfügung, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen möchte.

---

\*) Trotz dieses verkleinernden Faktors wird aber die genannte Welle durch dieses Instrument, eben wegen seiner höheren „Empfindlichkeit“, größer registriert als durch das 50  $\Omega$ -Instrument.

\*\*) Daß sich die Registriertage nicht durch besondere magnetische Störungen auszeichneten, zeigten die mir liebenswürdigerweise von Herrn Prof. Nippoldt zur Verfügung gestellten Niemecker Registrierungen.

---