

BEZIEHUNG DER NORDLICHTERSCHEINUNGEN ZU DEN WELTWEITEN MAGNETISCHEN STÖRUNGEN

VON
A. RØSTAD

(Manuskript am 16. August 1934 empfangen.)

Einleitende Bemerkungen. In zwei früheren Veröffentlichungen habe ich die Beziehung statistisch untersucht, die zwischen magnetischen Störungen und gleichzeitig in niedrigeren Breiten auftretenden Nordlichterscheinungen besteht.

In der ersten Veröffentlichung¹ wurde eine südliche Verschiebung der Nordlichter mit zunehmender Störungsintensität qualitativ sichergestellt. Aus diesen Ergebnissen hat Vegard² die Beziehung zwischen Störungsintensität und Reichweite der Nordlichterscheinungen auch qualitativ ermittelt. Die erhaltenen Mittelwerte der südlichen Reichweite sind jedoch wegen Ungenauigkeiten des Observationsmaterials mit erheblicher Unsicherheit behaftet.

In der zweiten Veröffentlichung³ wurde mit ziemlich grosser Sicherheit eine lineare Korrelation abgeleitet, die zwischen der in Potsdam beobachteten Störungsintensität (perturbierenden Kraft) und dem in Potsdams Meridian simultan auftretenden Polabstand der Nordlichtzone zu bestehen schien.

Der gerade Verlauf dieser Kurve war jedoch nur statistisch begründet. Ob der Linearität auch eine reelle dynamische Abhängigkeit entspräche, blieb indessen fraglich. Während magnetischer Störungen weist ja die Störungsintensität grosse lokale Verschiedenheiten auf, und nach Vergleich mit den gleichzeitigen Störungsintensitäten in Tucson, U.S.A., musste der Zweifel als berechtigt erscheinen. In der

Abb. 1, die der erwähnten Arbeit entnommen ist, stellt die gerade Linie *P* diese Beziehung für Potsdam, und die Kurve *T* die entsprechende Beziehung für Tucson dar.

Der Polabstand der Nordlichter. Der anguläre Abstand θ des Nordlichtgebiets vom magnetischen Achsenpunkt ist zwar in der rein mathematischen Fassung eine scharf definierte Grösse. Bei den üblichen vereinfachenden Annahmen soll die elektrische Strahlung in einem sehr schmalen Streifen in die Erdatmosphäre einschlagen. In der Wirklichkeit aber hat das Lichtgebiet eine beträchtliche Breite, die mit süd-

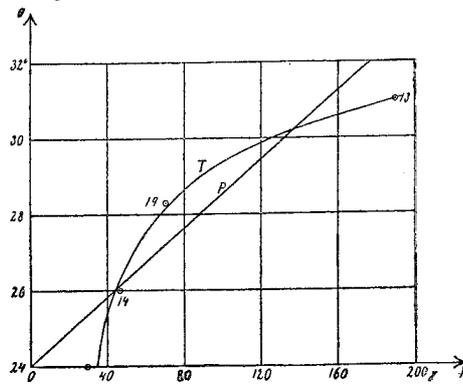


Abb. 1.

¹ A. Røstad, Über die Einwirk. der magn. Perturb. auf die geogr. Verbreit. des Nordl. Geof. Publ. Vol. V, No. 5. Oslo 1928.

² L. Vegard, Nordlicht, Handb. d. Exp.physik XXV, 1. Teil, S. 426.

³ A. Røstad, Über magnetische Störungen etc. Geof. Publ. Vol. IX, No. 3. Oslo 1931.

licher Verschiebung sehr rasch zunimmt. Und die Frage entsteht, wie θ hier zu definieren sei.

Der Polabstand θ sei vielleicht einem mittleren Polabstand der Nordlichter gleichzusetzen. Aus den für meine Untersuchungen vorliegenden Nordlichtbeobachtungen war es aber nicht möglich, exakte Werte eines mittleren Polabstands zu bestimmen. Und es ist vielmehr fraglich, ob solche Werte aus irgend welchen Beobachtungen genau bestimmbar seien. Das hängt von der unsicheren Schätzbarkeit der nördlichen Begrenzung der Lichterscheinungen ab, denn einzelne Strahlenbündel und strahlenförmige Bögen treten gewöhnlich sehr weit nördlich von dem Hauptgebiet auf.

Die südliche Reichweite der Lichterscheinungen ist dagegen viel schärfer bestimmbar, und sei dem mittleren Polabstand vorzuziehen. Oft aber ist auch die Südgrenze der Nordlichter sehr verwischt, besonders wenn weite diffuse Lichtflächen an der Südgrenze der Lichterscheinungen auftreten.

Solche Grössen, wie mittlerer Polabstand des Lichtgebiets und südliche Reichweite der Nordlichter, können allerdings nur durch Kooperation mehrerer in verschiedenen Breiten liegenden Observatorien ermittelt werden.

Für meine Untersuchung lagen Beobachtungen nur von einem einzigen Orte vor. Ich habe Størmers' photographische Nordlichtbeobachtungen und die von ihm aus diesen Beobachtungen berechneten Werte von θ für die Berechnung des Polabstands der Nordlichter verwendet. Diese Beobachtungen aber waren zu einem anderen Zweck ausgeführt. Sie sollten für die Berechnung der Nordlichthöhen über der Erdoberfläche geeignete Parallaxen geben. Für ihn war es darum wichtig, Lichtbildungen mit so grosser Lichtintensität und scharfer Begrenzung wie möglich auszuwählen. Aus diesen Beobachtungen kann deshalb für meine Untersuchung nur eine Grösse etwa wie der Polabstand der Stellen grösster scheinbarer Lichtintensität relativ zum Beobachtungsort bestimmt werden.

Die Beziehung des Polabstands zur Störungsintensität. Die in Abb. 1 dargestellten Beziehungen können nicht einer reellen dynamischen Abhängigkeit entsprechen. Das ist schon an den verschiedenen Formen der Kurven klar ersichtlich. Der Grund dafür ist leicht zu ersehen, denn an jedem Ort der Erdoberfläche setzen sich die Störungsintensitäten aus mehreren Einzelkräften zusammen — aus Komponenten der äquatorialen Störungen, Komponenten polarer Störungen, magnetischen Wirkungen induzierter Erdströme, u. s. w.

Dynamisch ist wohl der Polabstand θ von den Veränderungen des erdmagnetischen Feldes in grosser Erdferne abhängig. In der vereinfachenden mathematischen Theorie² wird nur die verschiebende Wirkung eines erdfernen elektrischen Ringstroms behandelt. In der Wirklichkeit aber sind gewiss auch andere erdferne Stromsysteme durch ihre magnetischen Wirkungen an der Verschiebung beteiligt. Die verschiebende Wirkung der erdnahen Stromsysteme ist gewiss nur gering.

Für die Verschiebung der Polarlichter sollen also die Veränderungen des magnetischen Feldes in grosser Erdferne massgebend sein. An der Erdoberfläche beobachtete Störungsintensitäten können aber diesen erdfernen Veränderungen in keiner Weise proportional gesetzt werden, und ihre Bedeutung für das Studium der Polarlichtverschiebungen wird dadurch erheblich reduziert.

Heute aber ist es nicht möglich, die erdfernen Veränderungen des erdmagnetischen Feldes experimentell auszuwerten. Wir besitzen kein Hilfsmittel, das magnetische Feld

¹ C. Størmer, Resultats des mesures photogrammetriques des aurores boreales etc. Geof. Publ. Vol. IV. No. 7. Oslo 1926.

² C. Størmer, Sur les trajectoires des corpuscules électrisés etc. Extr. d. Arch. de Sci. phys. et nat. Genève 1912.

weit ausserhalb der Erde genau zu bestimmen. Für diese statistischen Untersuchungen geben darum die Störungsintensitäten an der Erdoberfläche die einzigen Werte, die zur Verfügung stehen. Ihre Verwendbarkeit für die vorliegende Untersuchung muss aber besonders geschätzt werden.

Die Störungsintensitäten polnaher magnetischer Stationen sind indessen schlecht verwendbar. Nahe der Polarlichtzonen sind die polaren Störungen ausschlaggebend, die von erdnahen Stromsystemen herrühren. Die Intensitäten dieser Störungen nehmen ja gegen die Nordlichtzone hin sehr stark zu. Für benachbarte magnetische Stationen, die in verschiedenen Entfernungen von der Nordlichtzone liegen, werden darum verschiedene Beziehungskurven erhalten. In Abb. 2 sind die geraden Linien *P* und *R* solche Beziehungskurven für bzw. Potsdam und Rude Skov in Dänemark. Die starke Verschiebung der Kurven rührt von den verschiedenen Störungsintensitäten dieser zwei Stationen her.

An äquatornahen Stationen dagegen sind die sogenannten äquatorialen Störungen ausschlaggebend. Ihre charakteristischen Züge sind besonders von Birkeland¹ und von vielen anderen Forschern eingehend studiert. Diese Störungen treten hauptsächlich in der Horizontalintensität auf, und sind von der Lokalzeit der Beobachtungsorte weitgehend unabhängig. Ihr universeller Charakter macht es wahrscheinlich, dass ihre Intensitäten, viel genauer als die Intensitäten der polaren Störungen, den erdfernen Veränderungen des erdmagnetischen Feldes entsprechen.

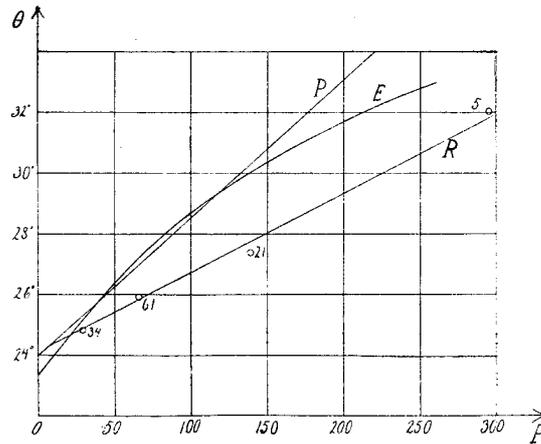


Abb. 2.

Ich habe deshalb auch die Beziehung zwischen dem Polabstand θ und den Intensitäten simultan auftretender äquatorialer Störungen ermittelt. Für diese Untersuchung wurden magnetische Beobachtungswerte der fünf äquatornahen Stationen Antipolo bei Manila, Batavia, Mauritius, Vieques in Puerto Rico und Honolulu verwendet.

Das Berechnungsverfahren. Der Polabstand θ ist für diese Beziehung aus denselben Beobachtungswerten wie für die Beziehungskurven *P* und *R* ermittelt.² Aus den photographischen Nordlichtbeobachtungen war es, wie früher gesagt, nicht möglich, weder die südliche Reichweite der Nordlichterscheinungen noch den mittleren Polabstand der Nordlichtgebiete zu bestimmen. Die erhaltenen Werte von θ zeigen vielmehr etwa die Polabstände der Nordlichterscheinungen grösster Lichtintensität (scheinbare Lichtintensität von Oslo aus gesehen).

Die Störungsintensität *P* ist der Mittelwert aus den Störungsintensitäten der fünf äquatornahen Beobachtungsorte. Bei der Berechnung von *P* wurde nur die Horizontalintensität berücksichtigt.

Die einzelnen Werte von *P* wurden nach der Formel berechnet:

$$P = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{3} (P_{an} + P_{ba} + P_{ma}) + \frac{1}{2} (P_{vi} + P_{ho}) \right]$$

wo P_{an} , P_{ba} , P_{ma} , P_{vi} , P_{ho} die Komponenten der Störungsintensität in Richtung der Horizontalintensität für bzw. Antipolo, Batavia, Mauritius, Vieques und Honolulu bedeuten. Die erste Gruppierung der Stationen wurde benutzt, um zwei Stationen-

¹ Kr. Birkeland, The Norwegian Aurora Polaris Expedition 1902—03. Vol. I und II. Christiania 1908—12.

² C. Störmer, Résultats des mesures photogrammétriques des aurores boréales etc. Geof. Publ. Vol. IV. No. 7. Oslo 1926.

gruppen zu erhalten, deren Lokalzeiten um etwa 12 Stunden verschieden waren. Bei der letzten Mittelwertbildung konnten dann die lokalzeitlichen Störungselemente grösstenteils eliminiert werden.

Die Werte P_{an} , P_{ba} etc. habe ich als Differenzen zwischen den tatsächlich beobachteten Stundenwerten und hypothetischen ungestörten Stundenwerten der Horizontalintensität berechnet. Der hypothetische ungestörte Verlauf wurde aus den Verläufen der fünf internationalen ruhigen Tage jedes einzelnen Monats ermittelt, und dann den Anfangsverhältnissen der einzelnen Störungen angepasst.

Die Zeitangaben der beobachteten Stundenwerte mussten nach Weltzeit umgerechnet werden. Bei dieser Umrechnung konnten leider nur ganze Stundendifferenzen verwendet werden, die nicht ganz simultane Werte von P_{an} , P_{bz} etc. gaben. Der kleine methodische Fehler, der in dieser Weise in die Rechnung eingeführt wurde, konnte jedoch keinen wesentlichen Einfluss auf die berechneten Werte ausüben.

Für jeden einzelnen Nordlichttag wurde in dieser Weise der Störungsverlauf ermittelt. Um den Störungsverlauf zu veranschaulichen, wurden die Stundenwerte P für jede einzelne Störung in den Störungsdiagrammen, Abb. 4—33, aufgezeichnet. An den Nulllinien derselben Diagramme wurden dann die Nordlichtbeobachtungen mit kleinen Querstrichen eingezeichnet.

Der Störungsverlauf der meisten stärkeren Störungen zeigt in ausgesprochener Weise die charakteristischen Züge der äquatorialen Störungen mit Übergang von positiver zu negativer Störungsintensität. Besonders die Störungen am 8. März 1918 und am 4. März 1920 geben die schönsten Beispiele des allgemeinen Störungsverlaufs.

Bei der Verwendung der Stundenwerte P für die Berechnung der Beziehungskurve musste besonders der Übergang von positiver zu negativer Störungsintensität mit Vorsicht behandelt werden. Während sowohl positiver wie negativer Störung wird das Nordlicht nach Süden verschoben. Welchen Einfluss üben dann Übergänge von positiver zu negativer Störungsintensität auf die Verschiebung der Polarlichter aus?

Es gibt keine Veranlassung, diesen Vorzeichenwechsel als ein rein kosmisches Phänomen zu deuten. Alle Theorien der magnetischen Störungen stimmen in dieser Hinsicht überein. Sie deuten den Übergang von positiver zu negativer Störungsintensität als ein Phänomen, das sich in der Nähe der Erde abspielt. Man hat darum keinen Grund, anzunehmen, dass das Störungsfeld in grosser Erdferne dadurch wesentlich beeinflusst wird. Das kosmisch vorhandene Störungsfeld bleibt wohl von solchen erdnahen Vorgängen ziemlich unberührt. Infolgedessen wurden die verschiedenen Vorzeichen (positiv oder negativ) bei der statistischen Berechnung nicht berücksichtigt. Nur die numerischen Werte der Störungsintensität wurden in Rechnung getragen.

Zur Zeit des Vorzeichenwechsels zwischen positiver und negativer Störungsintensität werden an der Erdoberfläche sehr schwache Störungsintensitäten beobachtet. Die verschiebenden Veränderungen in grosser Erdferne werden gewiss nicht in demselben Masse geschwächt. In diesem Übergangsbereich muss es darum fehlerhaft sein, die reinen Beobachtungswerte der Störungsintensität zu verwenden, und man wird der schwierigen Frage gegenüber gestellt, welche anderen Werte zu verwenden sind. An zwei der Störungsdiagramme (8. März 1918 und 4. März 1920) habe ich das Verfahren skizziert, das versuchsweise verwendet wurde. Nur die numerischen Werte wurden berücksichtigt, und ihr Verlauf in die Abbildung punktiert eingetragen. Der diskontinuierliche Verlauf, der dadurch aus dem Vorzeichenwechsel entstand, wurde durch eine unterbrochen gezeichnete Hilfslinie in der einfachsten Weise überbrückt. Diese Hilfslinie stellt die verwendeten Werte der Störungsintensität dar.

Im hier vorliegenden Observationsmaterial finden sich nur wenige Störungen, für welche das skizzierte Verfahren notwendig war. Die Berechtigung des Verfahrens kann darum zurzeit nicht statistisch untersucht werden.

Ergebnisse. In der beschriebenen Weise wurden Simultanwerte von P und θ erhalten, und aus solchen Wertepaaren sind die mit kleinen Kreisen bezeichneten Mittelwertpunkte der Abb. 3 berechnet. Die hinzugeschriebenen Zahlen geben die Anzahl der zur Mittelwertbildung verwendeten Einzelwerte an.

Die voll aufgezeichnete Kurve zeigt also die Beziehung der magnetischen Störungsintensität etwa zum Polabstand der Nordlichterscheinungen grösster Lichtintensität (scheinbare Lichtintensität von Oslo aus gesehen). Diese Kurve ist auch in der Abb. 2 eingezeichnet und mit E bezeichnet.

Die entsprechende Beziehung der Störungsintensität P zur südlichen Reichweite der Lichterscheinungen ist durch die punktierte Kurve der Abb. 3 angedeutet, deren exakter Verlauf jedoch nicht genau bestimmt werden konnte.

Ihre stärkere Krümmung ist aber sichergestellt. Bei den niedrigsten Störungsintensitäten lag die südliche Reichweite ziemlich nahe an der Polarlichtzone, und wegen der Lichtabsorption in der Atmosphäre lagen die Stellen der grössten scheinbaren Lichtintensität (von Oslo aus gesehen) ziemlich nahe an der Südgrenze der Lichterscheinungen. Für stärkere Störungsintensitäten dagegen wichen die erhaltenen Werte des Winkels viel beträchtlicher von der südlichen Reichweite ab. Diese grössere Abweichung muss wohl durch die veränderte perspektivische Lage des Lichtgebiets relativ zum Beobachtungsort, die geringere atmosphärische Lichtabsorption und die Verbreiterung des Nordlichtgebiets bewirkt sein.

Bei den grössten Intensitäten waren die Lichterscheinungen über weite Gebiete des Himmels verbreitet. Die vorliegenden Beobachtungswerte von θ gaben deshalb keine genauen Auskünfte über die Stellen grösster Lichtintensität und, wegen der Ausbreitung weit über den südlichen Himmel, noch weniger über die südliche Reichweite der Lichterregung. Hier wurden nur drei Einzelbeobachtungen an südlichen Bögen, die vermutlich ziemlich nahe an der südlichen Lichtgrenze lagen, für die Berechnung korrespondierender Werte von P und θ verwendet. Es ist daraus wahrscheinlich, dass die Kurve der südlichen Reichweite etwas näher an diesem Punkte liegen muss, wie an den zwei mittleren Punkten.

Die Beziehung des Polabstands θ zur erdfernen Veränderung des erdmagnetischen Feldes ist nicht scharf definierbar, und die zwei in Beziehung gesetzten Grössen können nicht scharf bestimmt werden. Der zweiten dieser Grössen sei es vielleicht möglich, durch eine besondere Folgerung etwas näher zu kommen.

Wenn die Erde in ein kosmisch-elektrisches Strahlungsfeld hineingeht, dessen magnetische Wirkungen sich an der Erdoberfläche als weltweite Störung vermerkbar machen, wird die erste Phase der weltweiten Störung gewöhnlich von einer positiven äquatorialen Störung gebildet. Später setzen dann starke polare Störungen und die negative «Hauptphase» der äquatorialen Störungen ein. Es ist daraus wahrscheinlich, dass die positiven Störungen magnetische Wirkungen von erdfernen elektrischen Stromsystemen sind, dass die positiven Störungsintensitäten etwas genauer den erdfernen Veränderungen des erdmagnetischen Feldes entsprechen, und dass sie bei den Übergängen zu negativen Intensitäten von den magnetischen Wirkungen erdnäherer Stromsysteme verschleiert werden.

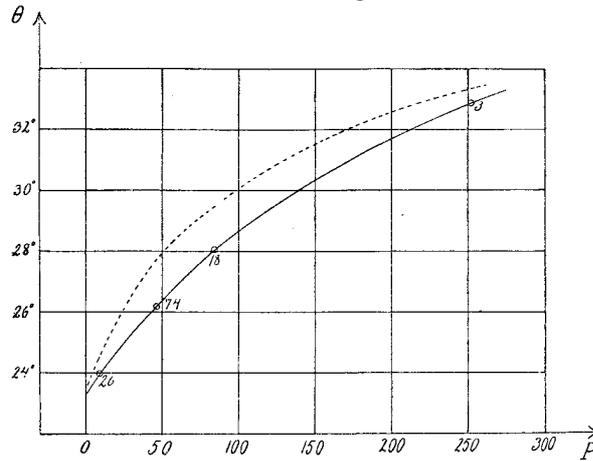


Abb. 3.

Die positiven Störungen scheinen also die besten Auskünfte über die Beziehung zwischen den verschiebenden Veränderungen des erdmagnetischen Feldes und der resultierenden Verschiebung der Polarlichter geben zu können. Weiter könnte vielleicht ein eingehendes Studium der Verschiebungsbeziehungen mit Vergleich der Beziehungen für positive und negative Störungen zu Aufschlüssen über die Natur der Stromsysteme führen.

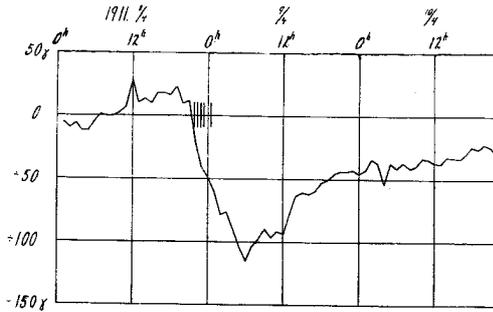


Abb. 4.

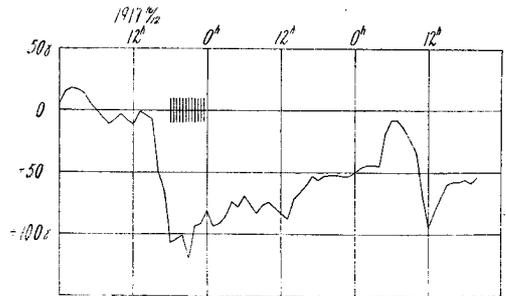


Abb. 9.

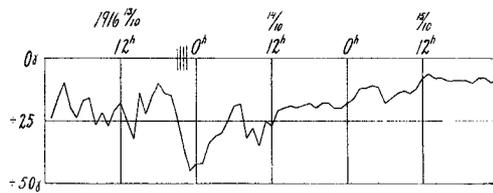


Abb. 5.

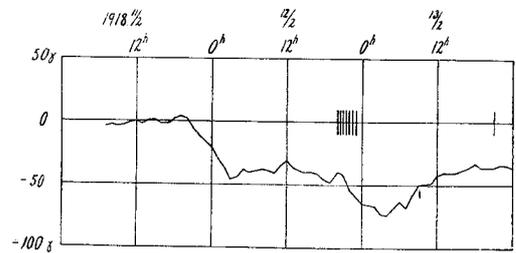


Abb. 10.

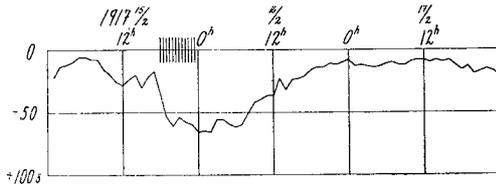


Abb. 6.

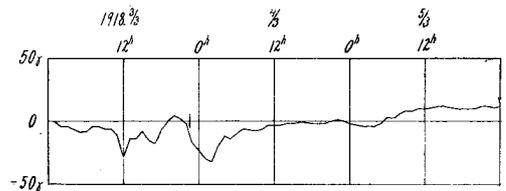


Abb. 11.

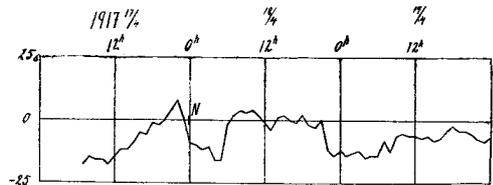


Abb. 7.

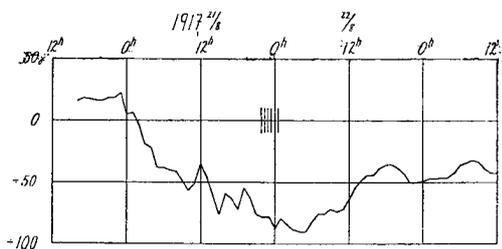


Abb. 8.

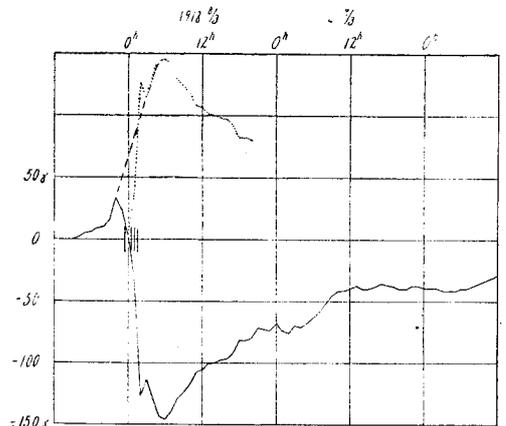


Abb. 12.

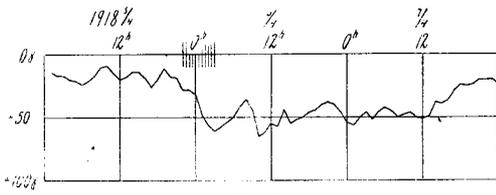


Abb. 13.

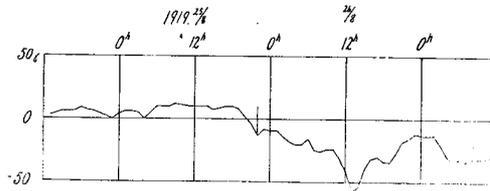


Abb. 20.

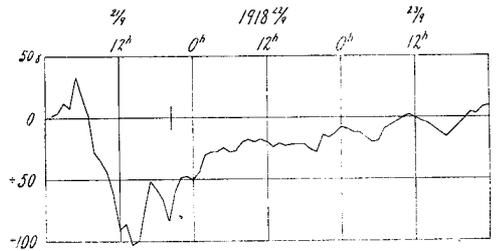


Abb. 14.

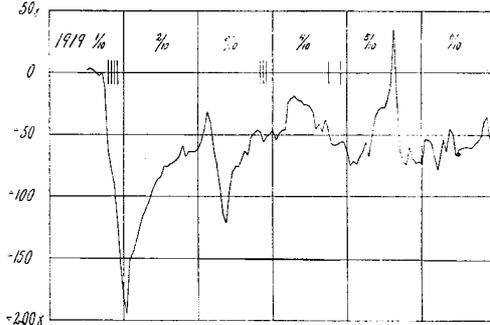


Abb. 21.

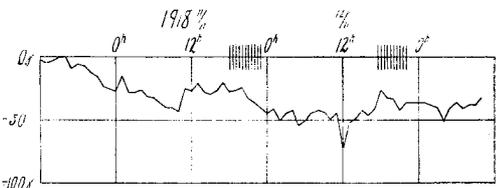


Abb. 15.

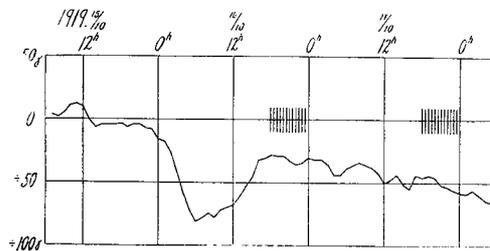


Abb. 22.

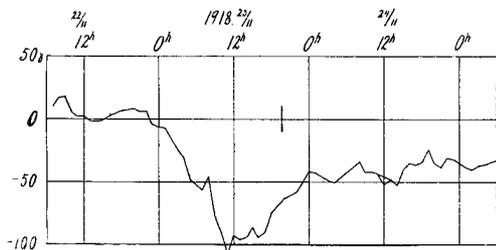


Abb. 16.

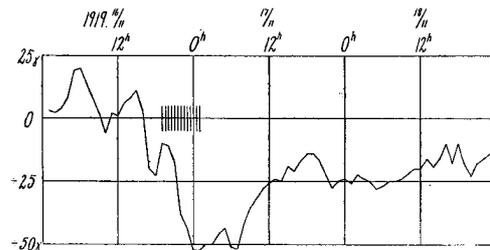


Abb. 23.

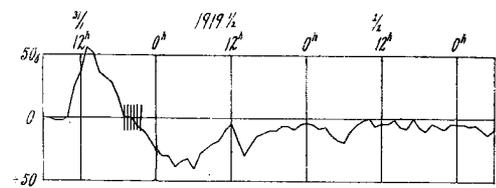


Abb. 17.

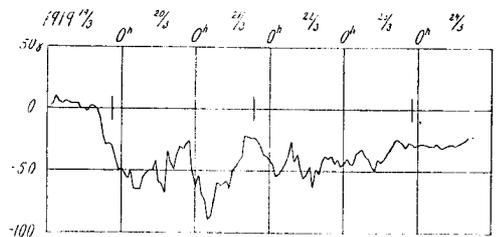


Abb. 18.

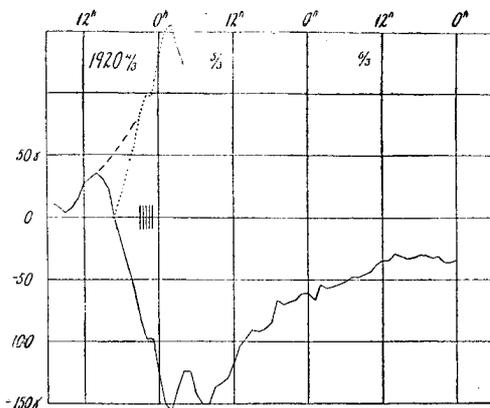


Abb. 24.

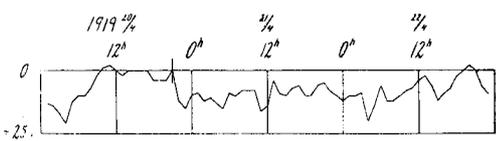


Abb. 19.

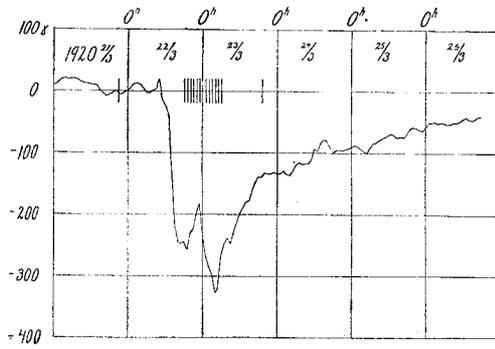


Abb. 25.

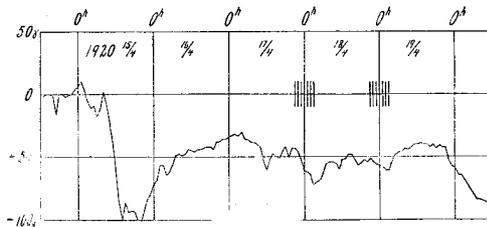


Abb. 26.

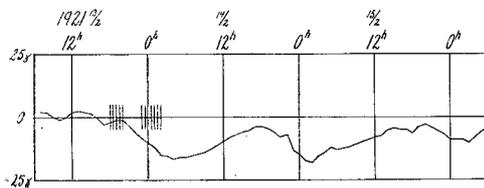


Abb. 27.

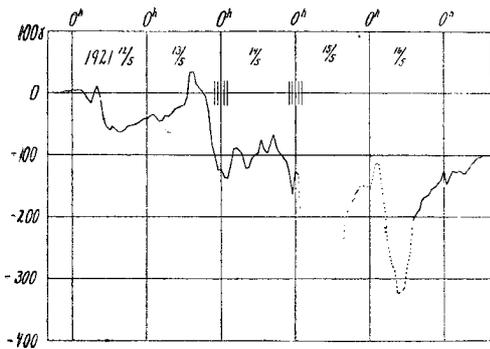


Abb. 28.

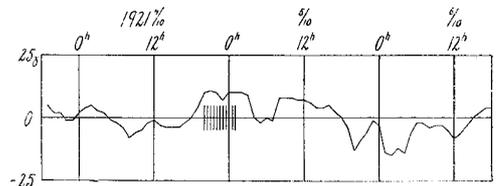


Abb. 29.

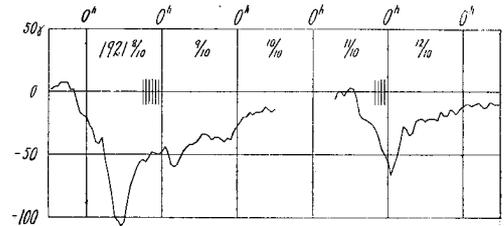


Abb. 30.

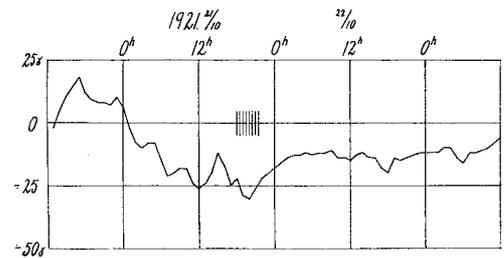


Abb. 31.

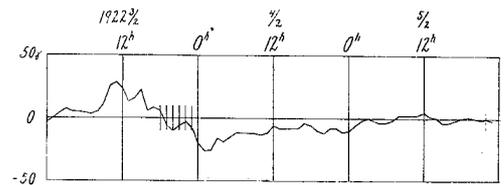


Abb. 32.

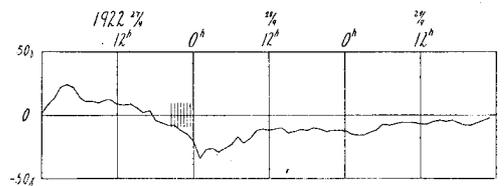


Abb. 33.