

Werk

Jahr: 1938

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:14

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0014

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0014

LOG Id: LOG_0052

LOG Titel: Besprechung erdmagnetischer Registrierungen im Hinblick auf Vorgänge in der Ionosphäre und Wirkungen in der Höhenstrahlung

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 there 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

Besprechung erdmagnetischer Registrierungen im Hinblick auf Vorgänge in der Ionosphäre und Wirkungen in der Höhenstrahlung

Von J. Bartels, Potsdam. — (Mit 7 Abbildungen)

1. Zu den Erscheinungen, deren Zusammenhang mit dem erdmagnetischen Feld und seinen zeitlichen Schwankungen seit langem bekannt ist, sind in den letzten Jahren zwei neue Gebiete getreten: 1925 begann die unmittelbare Erforschung der *Ionosphäre* mit Hilfe reflektierter elektromagnetischer Wellen, und im Sonnenflecken-Maximaljahr 1937 wurde der Einfluß erdmagnetischer Stürme auf die Intensität der durchdringenden *Höhenstrahlung* erkannt. Die Deutsche Geophysikalische Gesellschaft hat einen Vormittag ihrer Tagung diesen Fragen und ihren inneren Zusammenhängen gewidmet, um die so notwendige Zusammenarbeit zu vertiefen und durch Austausch von Erfahrungen fruchtbarer zu gestalten. Da die erdmagnetischen Variationen recht zusammengesetzte Erscheinungen sind, soll einleitend ein Überblick gegeben werden. Hauptwert wird dabei auf möglichst anschauliche Darstellung auf Grund neuesten, meist unveröffentlichten Beobachtungsmaterials gelegt werden; es wird dabei notwendig sein, die Vorgänge gelegentlich zu schematisieren.

2. Zunächst sei an einige der üblichen Bezeichnungen erinnert: Das erdmagnetische Feld hat am Äquator (horizontal) die Stärke 0.3 Gauß, an den magnetischen Polen (vertikal) 0.6 Gauß. Man hält im Erdmagnetismus an dieser Bezeichnung (an Stelle der von den Physikern angenommenen Einheit Ørsted) fest, weil zahlenmäßig und meßtechnisch der Unterschied zwischen Feldstärke und Induktion in Luft belanglos ist und weil gerade die erdmagnetische Forschung Gauß soviel verdankt. Die zeitlichen Schwankungen werden in der Einheit 10^{-5} Gauß = 1 γ angegeben. Diese Genauigkeit von rund $1/50000$ der Gesamtfeldstärke ist notwendig und läßt sich leicht erreichen, wenn es sich um Schwankungen innerhalb kurzer Zeiten (Variationen) handelt; die ebenso genaue Vergleichbarkeit der Messungen im Laufe von Monaten und Jahren (die Zuverlässigkeit der Basiswerte) erfordert aber Präzisionsmessungen und wird von guten Observatorien angestrebt.

Der erdmagnetische Feldvektor vom Gesamtbetrage F wird in üblicher Weise in Komponenten zerlegt: Horizontal H , vertikal Z , positiv nach unten oder in die rechtwinkligen Komponenten X (nach Norden), Y (nach Osten), Z (nach unten). Die Richtungswinkel sind Deklination D (nach Osten positiv) und Inklination I (nach unten positiv).

Die zeitlichen Schwankungen an einem Ort würden sich dadurch veranschaulichen lassen, daß man sich den Feldvektor von einem Punkt aus auf-

getragen dächte; der Endpunkt des Vektors als Funktion der Zeit würde dann eine Raumkurve beschreiben. Solche dreidimensionalen Raumkurven kann man in *Stereogrammen* wiedergeben, die eine lebhaftere Anschauung vermitteln (einige Stereogramme [1] wurden nach dem Vortrag gezeigt). Wenn man erst einmal an diesen Beispielen die räumliche Anschauung gebildet hat, kann man sich später mit der Darstellung der Komponenten begnügen.

3. Kugelfunktionsanalyse hat gezeigt, daß bei vielen großräumigen erdmagnetischen Variationen (nämlich den tagesperiodischen und den sturmzeitlichen Schwankungen) etwa $\frac{6}{10}$ der horizontalen magnetischen Komponenten von flächenhaften Strömen in der Ionosphäre stammen, der Rest aus induzierten Strömen im Erdinnern (die hier weniger interessieren). Dann ergibt sich nach Chapman [2] die einfache Regel, daß eine horizontale magnetische Störungskomponente von 1γ erzeugt wird durch eine flächenhafte Stromdichte von 1 Amp./km , also 1000γ durch $1\text{ Million Amp./1000 km}$. Über die räumliche Erstreckung dieser Ströme nach oben kann man erdmagnetisch unmittelbar wenig aussagen; McNish [7] hat neuerdings für einen Spezialfall aus erdmagnetischen Störungen gefolgert, daß die Ströme längs der Polarlichtzone in einem schmalen Streifen angenommen werden könnten, der nicht höher als 200 km liegt. Im allgemeinen muß aber bei der Höhenbestimmung die direkte Erforschung der Ionosphäre und die stereophotogrammetrische Polarlichtvermessung helfen.

4. Die zeitlichen Schwankungen lassen sich folgendermaßen beschreiben und einteilen:

a) *Säkulär-Variation*: Eine allmähliche Änderung des Feldvektors, die jahrzehntelang in derselben Richtung fortschreitet und ihre Ursache anscheinend in langsamen Vorgängen im Erdinnern hat. In Mitteleuropa wandert die Kompaßnadel gegenwärtig in etwa sechs Jahren um 1° weiter nach Osten.

b) *Aktivität*: Es lassen sich ruhige und gestörte Zeiten unterscheiden. Der Grad der erdmagnetischen Unruhe hat sehr viele Abstufungen. Verschiedene Maßzahlen für diese Unruhe sind aufgestellt. Sie zeigen deutlich Zusammenhänge mit dem 11jährigen Sonnenfleckenzklus und, in einer etwa 27tägigen Wiederholungstendenz, mit der Sonnenrotation. Abgesehen von schwächeren Störungstypen, die auf die Tagseite der Erde beschränkt sind und von Schwankungen der kurzwelligen Sonnenstrahlung herrühren, deutet die erdmagnetische Unruhe auf die wechselnde Zufuhr solarer Korpuskularstrahlung. Ihre Wirkung konzentriert sich im wesentlichen in den *Polarlichtzonen* (von etwa 23° Radius um die magnetische Erdachse, bei starken Störungen sich erweiternd) und im *Ringstrom*, der die Erde in der Ebene ihres magnetischen Äquators von Ost nach West umfließt.

c) *Sonnentägiger Gang an ruhigen Tagen, S_q* : Auf der Tagseite bilden sich in der Ionosphäre vier große flächenhafte Stromwirbel aus; die Gesamtstärke des Hauptwirbels ist von der Größenordnung 100000 Amp.

d) *Mondentägiger Gang, L* : Kleine, aber sehr regelmäßige und aufschlußreiche Schwankungen, deren Größenordnung rund $\frac{1}{10}$ von S_q ist. L ist, ebenso wie S_q , auf der Tagseite viel ausgeprägter, und man kann aus L zum Beispiel schließen, daß am Äquator der effektive Ionengehalt der Ionosphäre um Mittag über 50mal stärker ist als nachts.

e) *Sonnentägiger Gang an gestörten Tagen, S_D* : Bei starken Störungen bildet sich ein starkes Stromsystem in der Ionosphäre aus, das längs der Polarlichtzonen am stärksten konzentriert ist. Es läßt sich nach Chapman [2] folgendermaßen schematisieren: Nachmittags (von Mittag bis Mitternacht) fließt der Strom längs der Zonen von West nach Ost, während der anderen Tageshälfte von Ost nach West (Stromrichtung immer im Sinne der Bewegung positiver Ladungen ausgedrückt). Die Strombahnen schließen sich zum Teil äquatorwärts (mittags Strom vom Äquator zu den Polarlichtzonen), zum Teil über die Polkappe hinweg.



Fig. 1. Vertikaler Schnitt senkrecht zur Polarlichtzone, Blick nach Osten, am Nachmittag eines gestörten Tages. Längs der Zone fließt ein elektrischer Strom nach Osten, also in die Papierebene hinein. Südlich der Nordlichtzone (in der Figur also rechts davon) wird die erdmagnetische Vertikalkomponente Z durch das Magnetfeld dieses Stromes verstärkt

Natürlich sind die „Stromsysteme in der Ionosphäre“, von denen hier immer die Rede ist, ursprünglich aus erdmagnetischem Material abgeleitet; wenn aber die Stromsysteme einmal erkannt sind, lassen sich mit ihrer Hilfe — ganz unabhängig von der Frage ihrer physikalischen Realität — die erdmagnetischen Variationen übersichtlich beschreiben.

Am Äquator ist S_D klein gegen S_q , aber in höheren Breiten, auch in Mitteleuropa, gehört S_D zum charakteristischen Bild einer langandauernden magnetischen Störung. Wenn man in Richtung eines elektrischen Stromes blickt, so umkreisen die magnetischen Kraftlinien den Strom so, daß links vom Strom das magnetische Feld aufwärts, rechts von ihm abwärts gerichtet ist. Am Nachmittag muß also Z infolge S_D nördlich der Polarlichtzonen abgeschwächt, südlich der Zonen verstärkt sein (Fig. 1). Gerade diese Verstärkung von Z von Mittag bis Mitternacht in Mitteleuropa ist in der Tat typisch für gestörte Tage, weil S_D in Z auffällig von S_q abweicht. Die entsprechende Abschwächung von Z vormittags ist seltener voll ausgebildet, sondern äußert sich nur in vorübergehenden Verminderungen von Z , die nach einigen Stunden zurückgehen [3].

Dieser charakteristische *tägliche Störungsgang* in Z gestattet es, aus mittteleuropäischen erdmagnetischen Registrierungen diejenigen Zeiten zu erkennen, in denen stärkere Ströme in der Polarlichtzone fließen, in denen also stärkere solare Korpuskularstrahlung die Erde trifft. An äquatorialen Stationen (Huan-cayo, Batavia) fehlt er ganz.

f) *Pulsationen*: Periodische Feldschwankungen von einigen γ Amplituden mit Perioden von der Größenordnung einer Zeitminute; mitunter überlagern sie sich sonst ruhigen Kurven.

g) *Bais*: Ausbuchtungen der Kurven im sonst ruhigen Verlauf von der Größenordnung 10 bis 100 γ , Dauer von der Größenordnung 1 Stunde. Sie treten zu bestimmten Tageszeiten bevorzugt auf, in Mitteleuropa abends. Eine besondere, nur am Tage und an äquatorialen Stationen auftretende Form tritt gleichzeitig mit der vorübergehenden Verstärkung kurzweiliger Sonnenstrahlung bei Eruptionen auf der Sonne ein, und mit Schwunderscheinungen im Funkverkehr.

h) *Stürme*: Starke Schwankungen mit Amplituden bis zu 5% der Gesamtfeldstärke und mehreren Stunden Dauer, oft plötzlich, aus der Ruhe heraus, auf der ganzen Erde bis auf die Minute gleichzeitig ausbrechend. Neben unregelmäßigen Schwankungen, die jedem magnetischen Sturm ein eigenes Gesicht geben, lassen sich einige typische Züge herauschälen. Der „plötzliche Anfang“ ist meist ein Vektor in der Ebene des geomagnetischen Meridians (durch Station und magnetische Achse der Erde).

5. Außer durch S_D und die unregelmäßigen Schwankungen ist eine magnetische Großstörung durch einen charakteristischen mittleren Verlauf gekennzeichnet, den man am einfachsten beschreibt als Wirkung eines „*Ringstromes*“ (Fig. 2) in der Ebene des erdmagnetischen Äquators, senkrecht zur magnetischen Achse: er ist experimentell von Birkeland und Brüche in Modellversuchen, theoretisch von Störmer behandelt. Dieser Strom fließt, in unbekanntem Abstand, von Ost nach West, unabhängig von Tag und Nacht (Fig. 2). In wechselndem zeitlichen Abstand nach dem Anfang des Sturmes bildet er sich aus, erreicht seine größte Intensität in der Hauptphase des Sturmes und klingt dann im Verlauf mehrerer Tage und Wochen allmählich wieder ab; diese erdmagnetische Wirkung wird *Nachstörung* oder *Erholung* genannt. Sie äußert sich zu Beginn in einer *Abnahme der Horizontalintensität H* , entsprechend dem Richtungssinn des Stromes; außerhalb des Ringstromes, über dessen Radius erdmagnetisch nichts Bestimmtes gesagt werden kann, muß das magnetische Feld der Erde dagegen *verstärkt* sein. Die Vertikalintensität Z ist am Äquator ungestört, auf der nördlichen Halbkugel verstärkt, auf der südlichen abgeschwächt; da der Mittelwert von Z im Norden positiv, im Süden negativ ist, kann man auch sagen, daß auf beiden Halbkugeln der absolute Wert von Z erhöht wird.

Die weltweite Natur des Ringstromeffekts läßt sich schon an unseren Nimmegker Kurven zeigen. Der geomagnetische Meridian, also die Ebene durch

Niemegk und die magnetische Erdachse, weicht nämlich dort von astronomisch Nord um 19^0 nach Westen ab (Fig. 3). Die Horizontalkomponente des Ringstromeffekts sollte also nach Süd 19^0 Ost gerichtet sein. Die Abnahme ΔX der Nordkomponente sollte also von einer Zunahme ΔY der Ostkomponente begleitet sein,

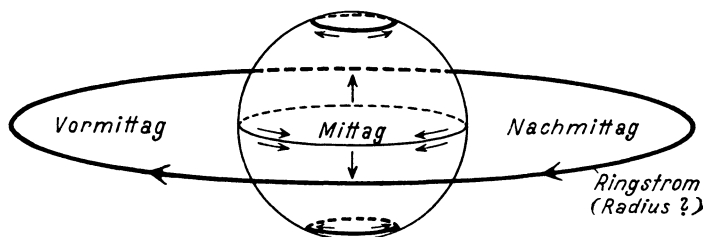


Fig. 2. Schematisches Bild, von der Sonne aus gesehen, des Ringstromes und der Ströme in den Polarlichtzonen an gestörten Tagen

und ΔY sollte zu ΔX im Verhältnis $\tan 19^0$ oder rund $1 : 3$ stehen. Das wird nun tatsächlich beobachtet! Die lokalen erdmagnetischen Verhältnisse haben also mit diesem Ringstrom wenig zu tun: denn wenn sich das Azimut des Vektors nach der augenblicklichen Deklination in Niemegk (4.5^0 W) richten würde, müßte ΔY nur $\frac{1}{12}$ von ΔX erreichen (Fig. 3).

Das Verhältnis der Nachstörungen in Z und X , also in der Vertikalebene des geomagnetischen Meridians, weicht dagegen deutlich ab von diesen einfachen

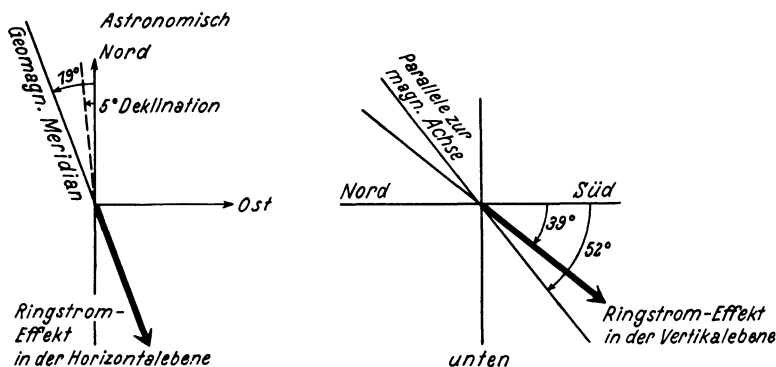


Fig. 3. Ringstromeffekt in Potsdam in der Horizontalebene, und in der Vertikalebene durch die magnetische Achse der Erde

Annahmen. Die Parallele zur Erdachse ist nämlich um 52^0 (die magnetische Breite von Niemegk) unter den Südhorizont geneigt, und $\tan 52^0 = 1.28$. Demnach müßte ΔZ positiv sein, und absolut genommen größer als ΔX ; tatsächlich ist auch ΔZ positiv, aber nicht so groß wie ΔX , sondern nur einer Neigung von 39^0 entsprechend (nach Ad. Schmidt [4], aus der Schwankung der Monatsmittel

von X und Z berechnet). Diese Abweichung rührt von einem inneren Anteil der Nachstörung her, der zwar ebenfalls symmetrisch zur magnetischen Achse der Erde ist, aber das einfache Bild des homogenen magnetischen Feldes eines äußeren, weit entfernten Ringes verändert. Dieser innere Anteil tritt in größerem Abstand von der Erde gegen den äußeren Anteil zurück.

6. Diese Hauptpunkte wurden während des Vortrages an Lichtbildern erläutert, die hier nicht alle wiedergegeben werden können. Typische Bilder von Registrierungen erdmagnetischer Stürme sind zusammengestellt in der vor kurzem erschienenen Arbeit von Rössiger [3]. Der große Sturm vom 16. April 1938 ist an anderer Stelle beschrieben [5]. Die dreistündlichen Potsdamer *erdmagnetischen Kennziffern*, die einen Überblick über den erdmagnetischen Störungszustand geben sollen, erscheinen seit Anfang dieses Jahres laufend in der vorliegenden Zeitschrift. Über die Zusammenhänge mit der Sonnentätigkeit wurde ausführlich auf Grund bereits veröffentlichter Arbeiten [6] berichtet. Gegenwärtig zeigt der Erdmagnetismus das Bild eines besonders starken Sonnenfleckensmaximums. Die 27tägige Wiederholungsneigung, die im Anfang des Zyklus wenig ausgeprägt ist, wird vermutlich im Laufe der nächsten Jahre wieder stärker hervortreten.

7. Im Vortrag wurde das Zusammenwirken der wesentlichen Ursachen für erdmagnetische Schwankungen an mehreren Darstellungen veranschaulicht, von denen hier einige wiedergegeben sind. Der Anblick der Originalregistrierungen an einer Station läßt nämlich den zeitlichen Verlauf des erdmagnetischen Feldvektors über eine längere Folge von Tagen nur unvollkommen erkennen. Bei den Kraftkomponenten kann sich zum Beispiel der mittlere Abstand der Kurve von der Basislinie im Laufe eines Monats auch aus rein instrumentellen Gründen erheblich ändern, etwa infolge wechselnder Temperatur der Magnete im Variometer, oder infolge anderer allmählicher Änderungen des magnetischen Momentes oder sonstiger Instrumentalkonstanten. Erst nachdem die Temperaturkorrektion angebracht ist und die Basiswerte auf Grund der absoluten Beobachtungen (vielleicht erst nach Monaten) ordnungsmäßig ausgeglichen worden sind, kann man z. B. über die Wirkung des Ringstromes etwas Endgültiges aussagen. Die große Sorgfalt, die in erdmagnetischen Observatorien auf genaueste Messungen verwendet wird, ist dadurch gerechtfertigt; vorläufige Ablesungen (wie z. B. diejenigen, die wir Herrn Kolhörster zum Vergleich mit seinen Registrierungen der Höhenstrahlung zur Verfügung stellen) müssen mit Vorsicht betrachtet werden.

8. Aber noch ein anderer Umstand hindert den Überblick: Der verschiedene Maßstab der Kurven. In Niemegk ist in unseren normalen Registrierungen auf der Abszisse eine Stunde gleich 20 mm, und auf der Ordinate 2γ gleich 1 mm. Außer den Instrumenten mit diesem Skalenwert von $2\gamma/\text{mm}$ laufen noch, mit derselben Zeitskala, weitere, unempfindlichere Registrierungen mit rund $8\gamma/\text{mm}$ und rund $30\gamma/\text{mm}$, die auch bei den größeren Störungen den Verlust der Aufzeichnungen vermeiden (vgl. die Bemerkungen in [5]); ferner läuft die Schnellregistrierung

nach Ad. Schmidt, bei der eine Stunde gleich 240 mm ist und der Skalenwert nur $0,6 \gamma/\text{mm}$, um die Pulsationen und die Einsätze von Störungen schärfer erkennbar zu machen.

Schmidt hat nun einen Pantographen eingeführt, der Abszisse und Ordinate in verschiedenen, beliebig verstellbaren Verhältnissen reduziert, und eine Beispielsammlung im Jahrbuch 1922 der Potsdamer Erdmagnetischen Ergebnisse zeigt, wie stark der Eindruck ein und derselben Kurve wechselt, wenn der relative Maßstab von Abszisse und Ordinate sich ändert. Diesen *relativen Maßstab* kann man durch die Angabe ausdrücken, wieviel γ auf der Ordinate der Strecke von einer Stunde auf der Abszisse entsprechen; dieser relative Maßstab empfiehlt sich, weil er gegen die üblichen Vergrößerungen oder Verkleinerungen invariant ist. Bei den Registrierungen muß man den Nachteil der verschiedenen Skalenwerte in Kauf nehmen, weil die erdmagnetischen Variationen in ihrer Größenordnung so stark wechseln, daß es nicht zweckmäßig wäre, sie alle in gleichem Maßstab darzustellen. So war es bei der Wiedergabe des großen Sturmes vom 16. April 1938 nötig [5], für die ersten beiden Stunden nach dem Ausbruch einen relativen Maßstab von rund $500 \gamma/\text{Stunde}$ zu wählen, während für die anschließenden 10 Stunden aber nur $40 \gamma/\text{Stunde}$ genügte.

Diese notwendige Verschiedenheit bei der Wiedergabe erdmagnetischer Schwankungen würde sich dadurch erträglich machen, daß eine feste Anzahl von Maßstäben zur Auswahl gegeben würde. International ist für die Reproduktion von Störungskurven empfohlen, daß die Stunde gleich 15 mm sein sollte, und der Skalenwert soll $5 \gamma/\text{mm}$ betragen; der relative Maßstab ist demnach 75γ pro Stunde. Bei sehr großen Störungen ist aber auch dieser Skalenwert noch zu groß; in *H* war bei dem erwähnten Sturm die Amplitude 1900γ , wäre also 380 mm auf der Reproduktion, so daß man in solchen Fällen besser auf $10 \gamma/\text{mm}$ hinaufgehen würde (relativer Maßstab $150 \gamma/\text{Stunde}$), wie dies auch bei früheren größeren Störungen geschehen ist.

Für die Wiedergabe sonnentägiger Schwankungen ist dieser Maßstab natürlich nicht geeignet, weil er viel zu flache Kurven liefern würde. Nach einigen Versuchen möchte ich vorschlagen, für *Zeichnungen sonnentägiger Schwankungen sowie für die Wiedergabe fortlaufender Stundenmittel den relativen Maßstab $2 \gamma/\text{Stunde}$ zu bevorzugen*; für mondentägige Gänge in höheren Breiten würde sich vielleicht $0.2 \gamma/\text{Stunde}$ empfehlen.

9. Fig. 4 gibt durchschnittliche sonnentägige Gänge für die drei Kraftkomponenten *X*, *Y* und *Z* nach Registrierungen des Potsdamer Hilfsobservatoriums Seddin. Es sind jeweils drei Kurven für die Jahresdrittel untereinander gezeichnet, nämlich für den Winter (Mittel für die vier Monate November bis Februar), die Äquinoktien (Mittel für März, April, September, Oktober) und den Sommer (Mai bis August). Sie beziehen sich auf die ruhigen und gestörten Tage, je 5 in jedem Kalendermonat, die von Herrn G. van Dijk in De Bilt auf Grund der internationalen erdmagnetischen Charakterzahlen ausgewählt werden. In allen

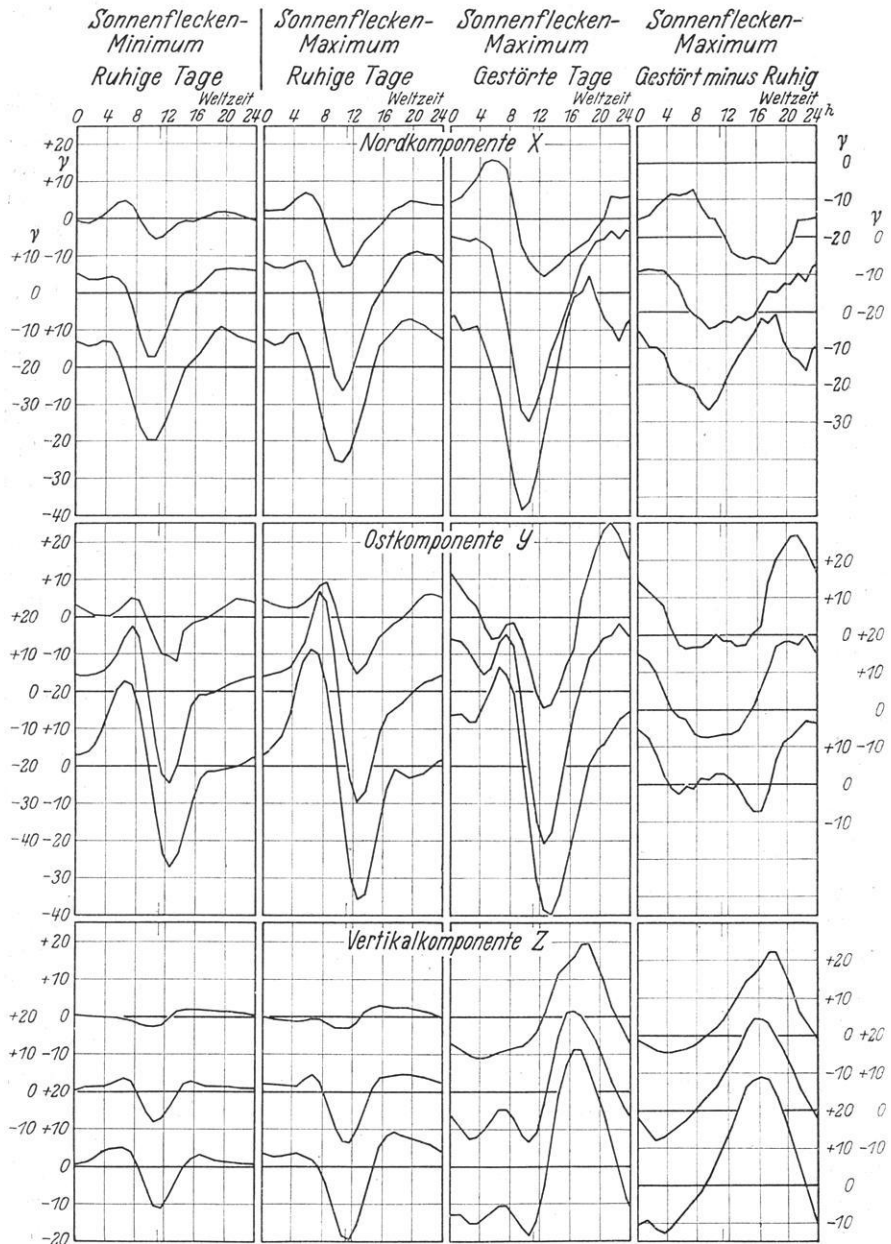


Fig. 4. Sonnentägige Schwankungen in Potsdam-Seddin

Kurven ist der fortschreitende Gang (die Mitternachtsdifferenz) eliminiert. Die Stundenmittel sind in Abweichungen vom Tagesmittel aufgetragen (vgl. aber Abschnitt 14) und durch gerade Linien verbunden. Die angeschriebenen Stunden sind Weltzeit; Ortsmittag um 11.1^h Weltzeit ist durch kurze Striche an der Zeitskala markiert. Die linke Spalte der Figur gibt Mittelwerte für die drei Sonnenflecken-Minimaljahre 1923, 1924 und 1934 (durchschnittliche Züricher Sonnenflecken-Relativzahl 10.4), die drei weiteren Spalten beziehen sich auf den Durchschnitt der drei Sonnenflecken-Maximaljahre 1917, 1918 und 1929 (mittlere Relativzahl 87.4).

Die beiden ersten Spalten gestatten einen Vergleich der täglichen Gänge S_q an ruhigen Tagen im Fleckenminimum und Fleckenmaximum; mit dem Fleckenanstieg verstärkt sich die Amplitude der erdmagnetischen Variationen, ohne daß sich die Form der Kurven wesentlich ändert (Deutung: Zunahme der Ultraviolettstrahlung und damit des Ionengehalts der Ionosphäre am Tage).

Die gestörten Tage unterscheiden sich deutlich von den ruhigen, namentlich in Z. Man kann versuchsweise annehmen, daß der tägliche Gang an gestörten Tagen die Summe von zwei Anteilen, S_q und S_D , ist und kann für S_q einfach den Gang an ruhigen Tagen ansetzen. Die Differenz der Gänge an gestörten und ruhigen Tagen wäre dann S_D , und die letzte Spalte zeigt, daß diese Annahme recht vernünftige Kurven liefert. Namentlich bei Z ist S_D deutlich verschieden von S_q ; während S_q die Wirkung von Stromwirbeln südlich von Potsdam ist, erscheint in S_D in Potsdam vor allem die Wirkung des Stromes in der Nordlichtzone mit der typischen Verstärkung von Z am Nachmittag. Der eigentümliche Verlauf von Z an gestörten Tagen (dritte Spalte) läßt sich zwanglos als Überlagerung der S_q (zweite Spalte) und S_D (vierte Spalte) deuten. Der Strom, der in der Ionosphäre längs des Mittagsmeridians von Süden nach Norden und längs des Mitternachtsmeridians von Norden nach Süden strömt, ist angedeutet in S_D für Y; er erzeugt unter Mittag eine zusätzliche westliche Komponente, um Mitternacht eine zusätzliche östliche Komponente.

Die durchschnittlichen Änderungen im Laufe des Tages (im Sinne: Ende minus Anfang) sind eliminiert. Sie haben natürlich charakteristische Vorzeichen, die das Abklingen des Ringstromes an ruhigen, sein Anwachsen an gestörten Tagen anzeigen. Die Durchschnittswerte dieser Mitternachtsdifferenzen sind:

	x	y	z
Fleckenminimum, ruhige Tage...	+ 2.4 γ	— 0.7 γ	— 0.4 γ
Fleckenmaximum, ruhige Tage..	+ 3.8 γ	— 0.8 γ	— 1.1 γ
„ gestörte Tage..	— 8.0 γ	+ 1.2 γ	+ 1.7 γ

Die Kurven in der rechten Hälfte der Figur sind nicht so glatt wie diejenigen in der linken. Jede dieser Kurven ist aus drei mal vier Monaten gewonnen, insgesamt also aus 60 Tagen. Eine Änderung von 120 γ von einem Stundenmittel zum nächsten ist an gestörten Tagen nichts Außergewöhnliches; im Durchschnitt von 60 Tagen erscheint sie noch mit 2 γ . Es ist also anzunehmen, daß die kleineren Zacken in diesen Kurven bei Verwendung größeren Materials verschwinden

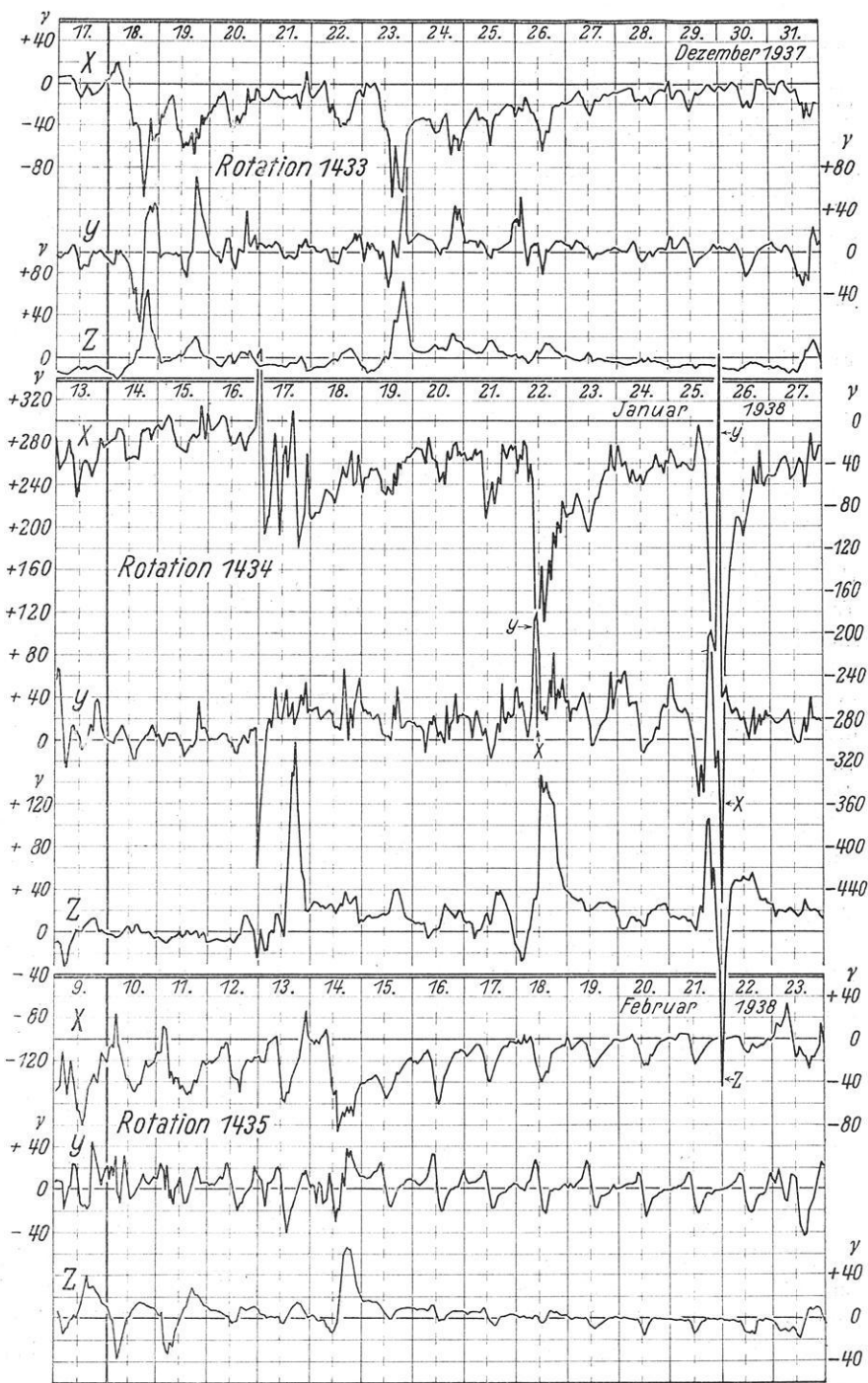
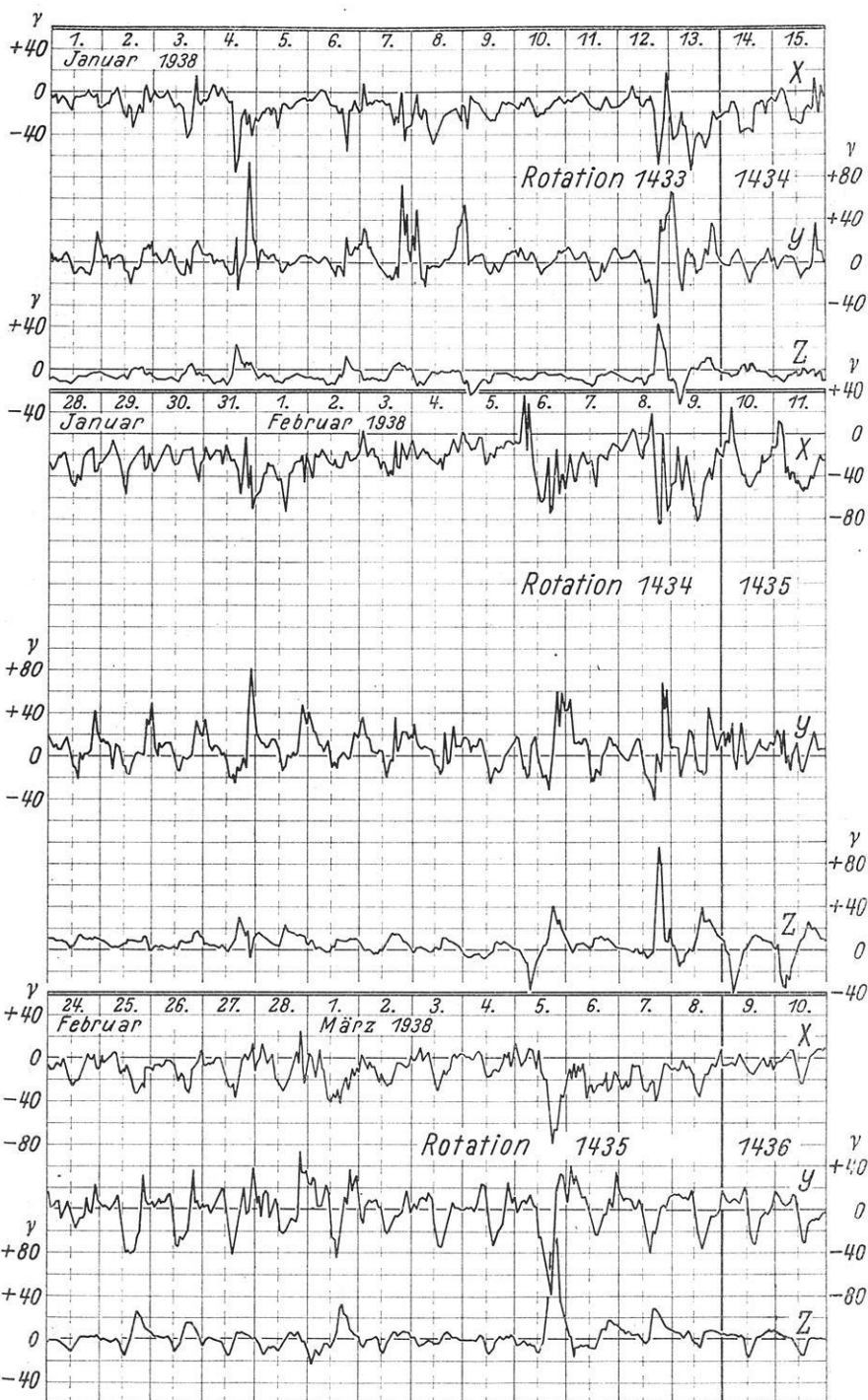


Fig. 5. Erdmagnetische Variationen in Potsdam-Niemegk, dargestellt durch fortlaufendes während drei Sonnenrotationen. Die Nullniveaus entsprechen



Stundenmittel der drei Kraftkomponenten vom 17. Dezember 1937 bis 10. März 1938
 rund $+18400 \gamma$ in X. -1500γ in Y, $+43300 \gamma$ in Z

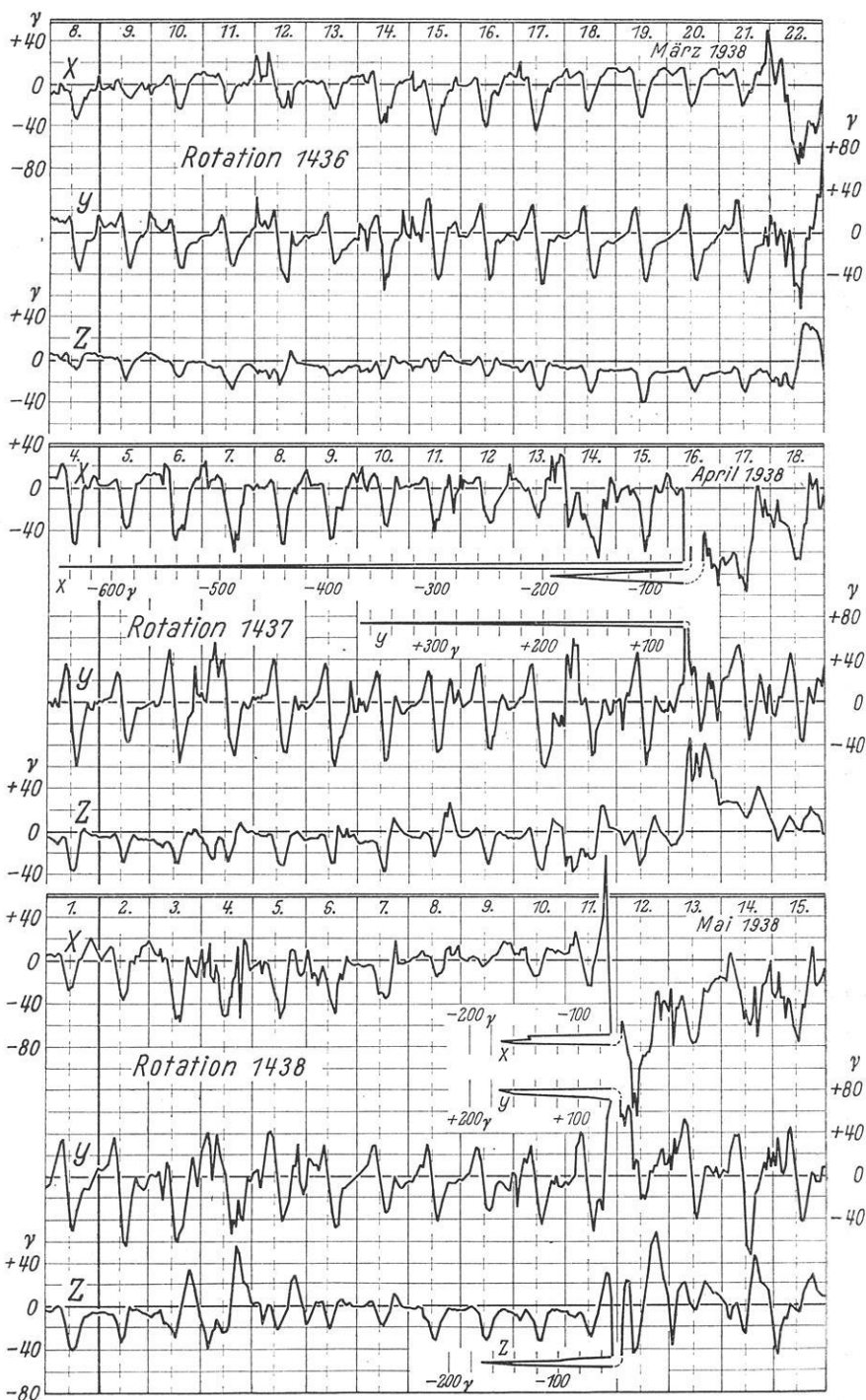
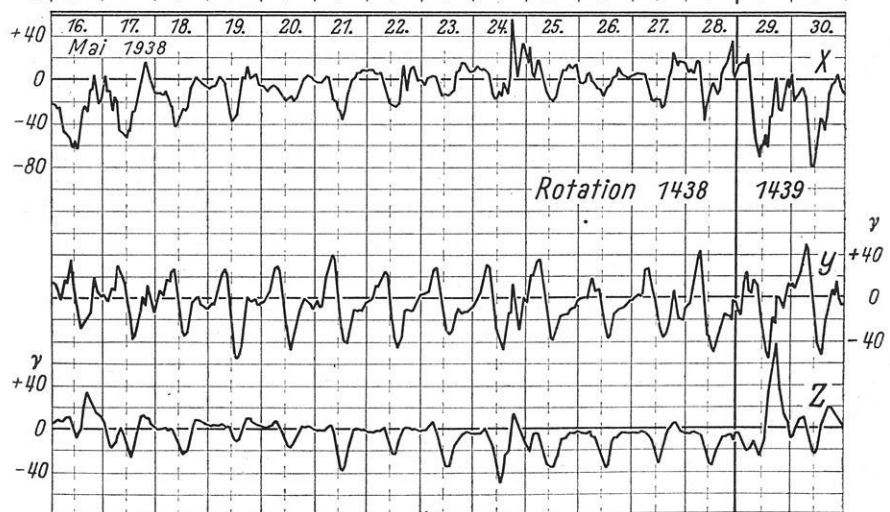
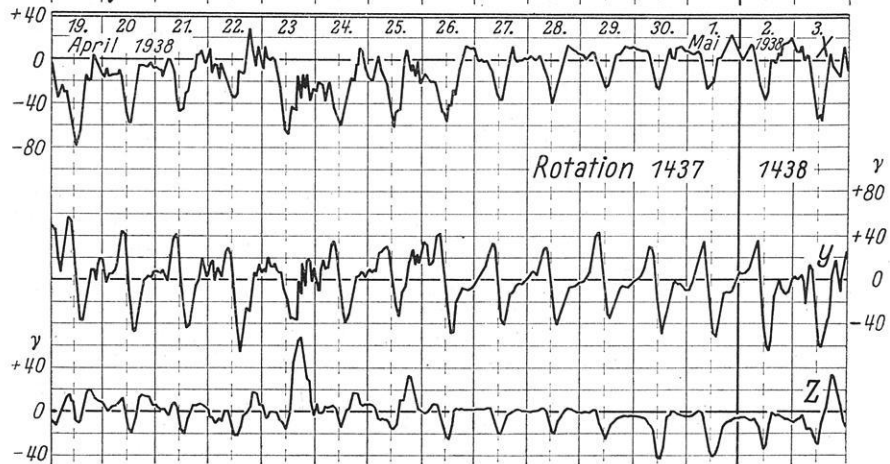
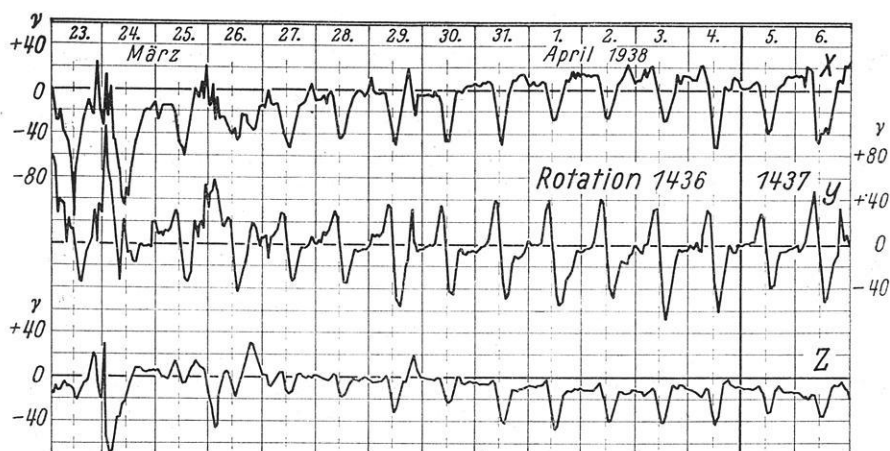


Fig. 6. Anschluß an Fig. 5 für die nächsten



drei Sonnenrotationen, bis 30. Mai 1938

würden. Man muß ferner beachten, daß die rechten Kurven S_D für den — relativ niedrigen — mittleren Störungsgrad der fünf gestörten Tage pro Monat darstellen. Wenn man nur eine *geringere* Zahl von *stärker* gestörten Tagen zugrunde legte, würde S_D größere Amplituden bekommen, jedoch — wie auf Grund verschiedener Erfahrungen anzunehmen — keine wesentlich andere Form.

10. S_D ist, zum Unterschied von den drei anderen Kurvenarten, nicht in Abweichungen vom Tagesmittel aufgetragen, sondern es sind die *wirklichen* Unterschiede der gestörten und ruhigen Tage wiedergegeben. Im Sinne „gestört minus ruhig“ sind die Unterschiede der Tagesmittel, im Durchschnitt für das ganze Jahr, $\Delta X = -15.6\gamma$, $\Delta Y = +5.4\gamma$, $\Delta Z = +6.0\gamma$. Mit überraschender Genauigkeit ergibt sich wieder, wie zu erwarten (Abschnitt 5), das Verhältnis der absoluten Werte $\Delta Y : \Delta X = 1 : 3$, weil die Unterschiede durch den Ringstrom bewirkt werden; ΔZ ist jedoch wesentlich kleiner (nur einer Neigung von 21° unter den Südhorizont entsprechend) als aus den Schwankungen der Monatsmittel abgeleitet. Es scheint also, daß der innere Anteil der Nachstörung (relativ zum äußeren Anteil) in der Differenz der Tagesmittel der gestörten und ruhigen Tage noch größer ist als bei der Schwankung von *Monatsmitteln*. Dieses vorläufige Ergebnis bedarf weiterer Untersuchung, wie überhaupt die Figur dazu anregt, z. B. über die jahreszeitliche Veränderung von S_D , die bisher überhaupt nicht betrachtet wurde, aber in der Nordkomponente in Potsdam stark hervortritt in dem Gegensatz der X-Kurven für Sommer und Winter in der letzten Spalte.

11. Die großen Fig. 5 und 6 sind fortlaufend aufgetragene Niemegker Stundenmittel. Als Nulllinie ist ein Niveau gewählt, daß sich mit der Säkularvariation und, zu einem kleineren Teile, dem jährlichen Gang langsam und gleichförmig verändert und ungefähr dem Normalwert für ruhige Tage in genügendem Abstand hinter einer Störung entspricht. In der Wahl dieses Niveaus liegt natürlich eine gewisse Willkür, die aber praktisch unwesentlich ist, wenn man nicht die absoluten Werte, sondern nur die zeitlichen Veränderungen ins Auge faßt. Später wird man als Nullniveau vielleicht den „Normalwert“ wählen, d. h. das Jahresmittel für die beiden Halbjahre, die vor und nach dem betrachteten Augenblick liegen; auf die Ableitung dieser Normalwerte muß man aber mindestens ein halbes Jahr warten, so daß die hier gewählte Darstellung vorläufig genügen muß. Man kann etwa sagen, daß die Nulllinie nur deshalb stärker ausgezogen ist, um das Liniennetz klarer zu machen; tatsächlich könnte die Bezifferung der Linien ohne Schaden für die Anschaulichkeit auch um konstante Beträge geändert werden.

Die Tage sind in „Rotationen“ von 27 Tagen angeordnet, wie sie bei den Kennziffern verwendet werden; am Anfang ist 1 Tag hinzugefügt, am Ende 2 Tage, so daß jede Zeile 30 Tage umfaßt, die von der linken auf die rechte Heftseite hinübergehen. Jedes Bild umfaßt drei Rotationen. X, Y, Z sind jeweils übereinander gezeichnet. Insgesamt sind auf diesen vier Seiten fast 12000 Stundenmittel dargestellt. Die Tage sind nach Weltzeit abgegrenzt, der Ortsmittag ist durch vertikale gestrichelte Linien angedeutet. Horizontale Linien sind im Abstand

von 20° gezogen. Der vertikale Abstand der Nulllinien mußte verschieden gewählt werden, um die großen Störungen noch darstellen zu können; bei den Januarstörungen überschneiden sich die Kurven noch zum Teil, weshalb auf dem nächsten Blatt (April und Mai) der Ausweg gewählt wurde, die größten Spitzen um 90° in die Horizontale zu schwenken.

12. Eine eingehende Betrachtung der Figuren wird viele wesentliche Züge in den erdmagnetischen Schwankungen erkennen lassen. Hier soll nur auf einige Punkte verwiesen werden:

Gestörte und ungestörte Zeiten treten klar hervor. Von den großen Störungen fallen ins Auge die drei Störungen im Januar (am 16./17., am 22. und am 25./26.), am 16. April (Ostersonnabend) und am 11./12. Mai. Diese Störungen sind überall dort, wo sie in die Dunkelheit fallen, von Polarlichtern begleitet gewesen; von den genannten fünf Störungen traf das für Mitteleuropa zu bei den weitverbreiteten Nordlichtern vom 25./26. Januar und vom 11./12. Mai.

Wie schon erwähnt, ist die 27tägige Wiederholungsneigung im dargestellten Abschnitt noch nicht ausgeprägt. Man findet in den Figuren einzelne Beispiele für Wiederholungen; natürlich sind die Figuren für eine quantitative Untersuchung der Wiederholungsneigung nicht geeignet. Alle fünf Großstörungen liegen in der ersten Hälfte der Rotationen, hatten also ihre Herde auf derselben Sonnenhalbkugel, die durch zwei gegenüberliegende Sonnenmeridiane begrenzt ist. Als Einzelstörung ist besonders diejenige vom 22. Januar auffällig, auf die in den nächsten beiden Rotationen besonders ruhige Zeiten folgen.

Der Übergang der sonnentägigen Schwankung an ruhigen Tagen vom Winter zum Sommer (gemäß Fig. 4) läßt sich gut verfolgen. Wie bekannt, ist die Amplitude und Form der Tageskurve von Tag zu Tag verschieden, auch in einer Folge von ruhigen Tagen. Sehr scharf erscheint auch der Gegensatz von S_q und S_p , sowohl in Y wie in Z ; die Nachmittagsaufwölbung der Z -Kurve ist ein sicheres Kennzeichen für Zufuhr solarer Teilchen zur Nordlichtzone.

13. Der Ringstromeffekt äußert sich deutlich in der Abnahme von X , Zunahme von Y und Z bei Störungen, mit anschließender Erholung. Man kann die Wirkung der magnetischen Stürme auf die Höhenstrahlung mit dem Ringstrom in Zusammenhang bringen. Dann ist es von Bedeutung, daß die „Ernährung des Ringstromes“ nicht allein von der Stärke der Störungen abhängt, sondern auch von der Vorgeschichte. So erfolgt im Januar die deutlichste Änderung des Ringstromfeldes bei dem ersten Sturm vom 16./17. Januar; die beiden nächsten Stürme setzten ein, als der Ringstromeffekt des ersten Sturmes noch nicht abgeklungen war. Deshalb war auch wohl die Änderung der Höhenstrahlung beim ersten Sturm am größten. Der große Sturm vom 16. April (Ostersonnabend) erschien erdmagnetisch in Mitteleuropa wesentlich stärker als die Januarstürme; der Ringstromeffekt war aber von gleicher Größenordnung.

Es wird Aufgabe der erdmagnetischen Observatorien sein, durch Zusammenarbeit fortlaufend die „Ringstromstärke“ von Tag zu Tag zu verfolgen und an-

zugeben. In dem Vortrag wurde ein Diagramm gezeigt, das, ähnlich Fig. 5 und 6, für Niemeck und die beiden Observatorien der erdmagnetischen Abteilung des Carnegie-Institutes in Huancayo (Peru) und Watheroo (West-Australien) die gezeichneten Werte der drei Komponenten für die 30 Tage 5. Oktober 1927 bis 3. November zeigte; in dieser Figur, die an anderer Stelle veröffentlicht werden soll, kommt die weltweite Natur des Ringstromeffekts besonders deutlich zum Ausdruck.

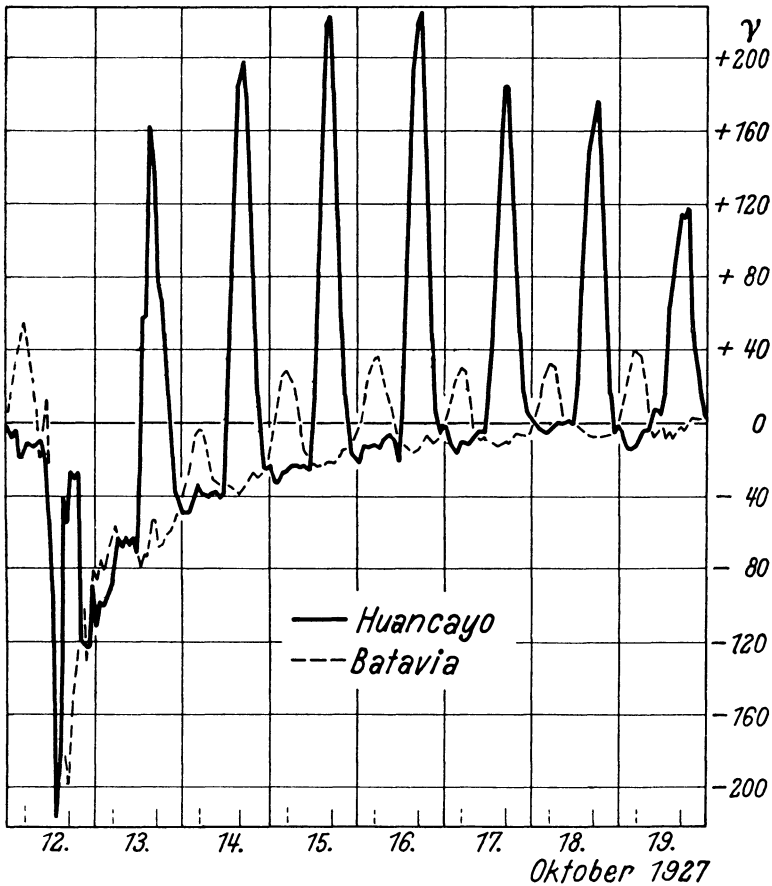


Fig. 7. Fortlaufende Stundenmittel der Horizontalintensität in Huancayo (Peru) und Batavia vom 12. bis 19. Oktober 1927, nach Weltzeit aufgetragen, zur Demonstration der verschiedenen täglichen Schwankungen und des gleichen Ringstromeffektes. Das Nullniveau entspricht 29622 γ bei Huancayo, 36836 γ bei Batavia

14. Hier soll Fig. 7 noch einmal veranschaulichen, wie unabhängig die Ringstromwirkung von den lokalen erdmagnetischen Verhältnissen und von Tag und Nacht ist. Die tägliche Schwankung der Horizontalintensität am Äquator wurde früher immer aus Beobachtungen an indischen Observatorien und aus Batavia

abgeleitet, und man glaubte lange, daß S_q in H sich längs des Äquators nicht wesentlich ändern würde. Die Errichtung des Observatoriums in Huancayo (Peru) durch das Carnegie-Institut, in 180° Längenunterschied von Batavia, brachte die große Überraschung, daß dort die tägliche Schwankung in H über dreimal so groß ist als in Batavia! Das geht aus Fig. 7 deutlich hervor; hier sind die fortlaufenden Stundenmittel von Huancayo und Batavia *nach Weltzeit* aufgetragen, so daß Tag und Nacht sich an den beiden Stationen gerade abwechseln. Das Nullniveau ist so gewählt, daß man an den Nachtwerten erkennt, mit welcher erstaunlichen Regelmäßigkeit der Ringstrom nach dem Sturm vom 12. Oktober 1927 abklingt. Man erkennt daraus auch, daß die Nachtwerte nicht von der täglichen Schwankung beeinflusst werden; man sollte also die tägliche Schwankung nicht in Abweichungen vom Tagesmittel aufzeichnen, wie in Fig. 4 — wobei dann z. B. bei Huancayo große Negativwerte von H in der Nacht vorgetäuscht würden —, sondern in Abweichungen vom Nachtniveau.

15. Die vorstehenden Ausführungen sollten denen, die erdmagnetische Registrierungen zum Vergleich mit anderen Erscheinungen heranziehen, das Verständnis für die erdmagnetischen Schwankungen erleichtern. Eine ausführliche Darstellung aller experimentellen, statistischen und theoretischen Fragen von S. Chapman und dem Verfasser ist im Druck [8], und eine deutsche Bearbeitung ist vorgesehen.

Literatur

- [1] J. Bartels: Terr. Magn. **36**, 187—198 (1931).
- [2] S. Chapman: Ebenda **40**, 349—370 (1935).
- [3] M. Rössiger: Zeitschr. f. Geophys. **14**, 78—87 (1938).
- [4] Adolf Schmidt: Ebenda **1**, 1—13 (1924/25).
- [5] J. Bartels u. G. Fanselau: Naturwiss. **26**, 296—298 (1938).
- [6] J. Bartels: Terr. Magn. **37**, 1—52 (1932); **39**, 1—4, 201—202 (1934); **40**, 1—60, 265—266 (1935); **41**, 374 (1936); **43**, 131—134 (1938).
- [7] A. G. McNish: Terr. Magn. **43**, 67—75 (1938).
- [8] S. Chapman u. J. Bartels: Geomagnetism, 2 Bände. Oxford University Press (im Druck).

Potsdam, Geophysikalisches Institut.

Aussprache zum Vortrag Bartels

Herr Scultetus bemerkt, daß die Schwäche der 27 täglichen Wiederkehrtendenz zu Beginn des Sonnenfleckenzklus auch damit zusammenhängen könnte, daß die Herde auf der Sonne selbst dann kurzlebiger sind.

Bartels erwidert, daß das durchaus möglich sei, daß aber allem Anschein nach auch die verminderte Treffwahrscheinlichkeit, infolge der höheren heliographischen Breite der Herde, die Wiederkehrtendenz auf der Erde schwäche.
