

Werk

Jahr: 1930

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:6

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0006

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0006

LOG Id: LOG_0059

LOG Titel: Forschungsmethode über den Zusammenhang zwischen der Sonnenfleckentätigkeit und den erdmagnetischen Störungen

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

Forschungsmethoden über den Zusammenhang zwischen der Sonnenflecktätigkeit und den erdmagnetischen Störungen

Von E. Gehlinsch

Dieser Artikel enthält einen Überblick über die wichtigsten Untersuchungsmethoden der Sonnenflecktätigkeit und der Variationen des erdmagnetischen Feldes. Eine Bewertung der Forschungsmethoden führt zum Schluß, daß die statistischen Forschungen als abgeschlossen angesehen werden müssen, die nichts mehr Neues liefern können. Weitere Forschungen müssen sich auf andere Methoden stützen, welche in das Wesen beider Erscheinungen tiefer einzudringen gestatten.

Einleitung. Nachdem im 17. Jahrhundert Galileo Galilei, mit Hilfe des von ihm erfundenen Fernrohres, auf der Sonne Flecke entdeckte, erwachte in den Forschern das Interesse für die Oberfläche der Sonne. Die Sonne, der Zentralkörper unseres Systems, wurde für das ganze irdische Geschehen verantwortlich gemacht und die verschiedensten Erscheinungen auf unserer Erde wurden mit den Veränderungen auf der Sonnenoberfläche im Zusammenhang gebracht.

Hier sind zwei Gruppen von Forschungen zu unterscheiden: erstens solche, die a priori die Erklärung der Erscheinungen in der Sonnenaktivität suchten, und zweitens solche, die die Erklärung in der Sonneneinwirkung erst nach einer Analyse der Beobachtungen und Erforschung der Gesetzmäßigkeiten fanden. Zur ersten Art gehören z. B. Herschels Schriften über den Einfluß der Sonnenaktivität auf die Londoner Getreidebörse, auf die Perioden der indischen Hungersnöte, auf Regen-, Frost- und Hitzeperioden. Solche Erscheinungen, deren Wiederkehr oft durch ganz andere, von der Sonnenaktivität unabhängige Ursachen hervorgerufen wurden, folgen nicht den Perioden der Sonnentätigkeit und bereiten den Forschern dadurch Enttäuschungen.

In den Forschungen der zweiten Art stellt sich die Abhängigkeit von den Perioden der Sonne nach der Auswertung des gesammelten Beobachtungsmaterials nach den Gesetzen der Statistik. Hierher gehören die Untersuchungen über die Schwankungen des erdmagnetischen und erdelektrischen Feldes und über die Anzahl der Nordlichter.

Das Interesse für die Sonnenaktivität und einige geophysikalische Erscheinungen regte die Forscher zur Untersuchung von neuen noch unberührten Fragen an. Der Erfolg blieb nicht aus — viele früher unverständliche Erscheinungen sind jetzt in allen Einzelheiten untersucht.

I. Die Methoden zur Erforschung der Sonnenflecke

Schon am Ende des 18. Jahrhunderts beobachtete man, daß die Anzahl der Flecke nicht konstant ist. Der dänische Astronom Horrobow sprach die Vermutung aus, daß die beobachteten Schwankungen periodischer Art seien, trotzdem damals noch keine genügende Beweise dafür vorhanden waren. Der Liebhaber-

astronom Schwabe*) stellte systematische Beobachtungen der Sonnenflecken an und kam nach vielen Jahren zu dem Schluß, daß dem Erscheinen der Flecke eine Periode von ungefähr zehn Jahren zukommt. Schwabes Entdeckung regte die Fachastronomen zu neuen Untersuchungen an. R. Wolf**) in Zürich sammelte die Beobachtungen aus früheren Jahren und ging bis zu Aufzeichnungen aus dem Jahre 1615 zurück. Aus allen Beobachtungen, die unsystematisch mit verschiedenen Instrumenten an verschiedenen Orten ausgeführt waren, fand Wolf die Periode der Fleckentätigkeit gleich 11.11 Jahren. Um einigermaßen sichere Resultate zu erhalten, führte Wolf eine willkürlich angenommenene Formel der sogenannten Relativzahlen ein. Die Formel lautet

$$r = k (10 g + f),$$

wo k eine das Beobachtungsinstrument charakterisierende Konstante ist, um die Verschiedenheit der Instrumente zu eliminieren; g die Anzahl der sichtbaren Fleckengruppen und f die Gesamtzahl der Einzelflecke ist. Die von Wolf eingeführte Relativzahl spielt noch heute eine große Rolle in der Fleckenstatistik.

Heutzutage basiert die Fleckenregistration auf drei Prinzipien: 1. Die Wolfsche Fleckenstatistik mit Hilfe der Relativzahl, die vom Züricher Observatorium angewandt wird. Die nach der Wolfschen Methode bearbeiteten Beobachtungen in verschiedenen europäischen Staaten werden in den „Astronomischen Mitteilungen der eidgenössischen Sternwarte zu Zürich“ publiziert. 2. Das systematische tägliche Photographieren der Sonne. Diese Aufnahmen werden in den Observatorien: Greenwich, Kodaikanal, Dehra Dûn und Cape of Good Hope ausgeführt. Die vermessenen und bearbeiteten Resultate publiziert das Greenwich Observatory als „Photo-Heliographic Results taken at Greenwich, Cape and India“. In diesen Publikationen sind die Koordinaten des Fleckes oder der Fleckengruppe in bezug auf den Sonnenäquator und Zentralmeridian, der Flächeninhalt des Kernschattens, Halbschattens und Fackeln von Tag zu Tag für die ganze Beobachtungszeit gegeben. 3. Die spektrographische Untersuchung der Sonnenoberfläche, besonders in der Umgebung der Flecke, wird regelmäßig vom Mount-Wilson observatory ausgeführt. Aus dem in den Spektrallinien gemessenen Zeemaneffekt bestimmt Hale mit seinen Mitarbeitern die magnetische Polarität der Flecke und teilt sie dann in Klassen auf, wie: unipolare, bipolare und multipolare oder komplexe. Auf Grund der magnetischen Eigenschaften muß man zu den Flecken auch solche helle Stellen der Sonnenoberfläche zählen, die die übrigen Eigenschaften der Flecke aufweisen; das sind die sogenannten „hellen Flecke“, die mit in ihrer Nähe befindlichen dunklen Flecken eine bipolare Gruppe bilden. Die Untersuchungen des Mount-Wilson observatory erscheinen einzeln in den „Mount-Wilson Contributions“ oder in anderen astrophysikalischen Zeitschriften, nicht aber in Form einer

*) Pringsheim: Vorlesungen über Physik der Sonne, S. 63. Leipzig 1910.

**) Wolf, R.: Handbuch der Astronomie, 4. Halbband, S. 408ff.

periodischen Publikation. Außer den Genannten existieren noch Beobachtungen einzelner Observatorien, die dem einen oder anderen Typus zuzuzählen sein werden.

Die mannigfaltige Registrierung der Flecke gibt die Möglichkeit, mit Hilfe der mathematischen Statistik und der harmonischen Analyse die Periodizität der Fleckentätigkeit zu bestimmen. Mit Hilfe der harmonischen Analyse versuchte A. Schuster*) schon im Jahre 1905 die Periode zu bestimmen. Die Aktivität der Flecke stellte er graphisch dar und teilte die erhaltene Kurve mit Hilfe der Fourierreihe in Sinusoiden auf. Für seine Untersuchungen benutzte Schuster**) die Resultate der Wolfschen Statistik für ungefähr 70 Jahre. Die Schusterschen Perioden sind 11.125, 8.344 und 4.768 Jahre; diese drei Perioden sind in der resultierenden Periode 33.375 Jahre enthalten.

O. Meißner***) benutzte auch die Resultate der Wolfschen Statistik für ungefähr 170 Jahre. Indem er die Methode der großen Zahlen anwandte und zuerst die Periode von 11.2 Jahren ausschloß, konnte er in den übriggebliebenen Schwankungen noch die Perioden von 9.9, 11.9 und 14.5 Jahre feststellen.

In allen Untersuchungen zeigt sich deutlich die elfjährige Periode; die anderen sind weniger bestimmt.

II. Das erdmagnetische Feld und die Erforschungsmethoden seiner Störungen

Die magnetische Kraft der Erde ist ein Vektor, der beständig seine Richtung und Größe ändert. Um eine bestimmte Vorstellung vom permanenten magnetischen Felde der Erde zu bekommen, muß man das Mittel dieses veränderlichen Vektors im gewählten Zeitintervall nehmen. Dieses Mittel bildet die Feldstärke für eine bestimmte Epoche. Wollen wir sie mit F bezeichnen. Die Feldstärke wird entweder in Orthogonalcomponenten: X (positiv nach Norden), Y (positiv nach Osten) und Z (positiv nach unten) dargestellt, oder man benutzt zur Darstellung die volle Intensität und zwei Winkel: die Deklination D — die Abweichung des magnetischen Meridians vom geographischen vom N -Punkt gezählt (positiv in der Richtung nach Westen, negativ nach Osten) und die Inklination J — der Winkel zwischen dem Kraftvektor und der Horizontalebene. Die Pollinie des magnetischen Gesamtfeldes der Erde bildet mit der Rotationsachse der Erde einen kleinen Winkel und verschiebt sich allmählich.

Man muß zugestehen, daß das Wesen des erdmagnetischen Feldes bis jetzt noch nicht vollständig geklärt ist. Die größte Wahrscheinlichkeit kommt einer Theorie von A. Schmidt †) und L. Bauer ††) über das innere und äußere Feld zu. A. Schmidt teilt das erdmagnetische Feld in drei Teile: der erste Teil ist der größte; seine Ursachen liegen im Erdinneren. Dieser Teil besitzt ein Potential.

*) A. Schuster: Proc. Roy. Soc. **77**, 1905.

) Derselbe: Phil. Trans. A. **206, 1906.

***) O. Meißner: Astr. Nachr. B 211, S. 261.

†) A. Schmidt, Abh. d. II. Kl. der königl. Bayer. Akad. d. Wiss. B. XIX, Abt. I.

††) L. Bauer: Terr. Magn. and Atm. El., Vol. XXIII, 1918.

Der zweite Teil ist kleiner, ungefähr $\frac{1}{40}$ der ganzen Feldstärke, seine Ursachen liegen außerhalb der Erdrinde; auch er besitzt ein Potential. Der dritte Teil ist etwas größer als der zweite; wird durch vertikale Strömungen in der Erdatmosphäre hervorgerufen; er besitzt kein Potential. Nach A. Schmidt wird das Feld folglich in ein Potentialfeld und ein potentialloses Feld eingeteilt.

Ähnlich wie A. Schmidt teilt L. Bauer das erdmagnetische Feld in ein inneres und ein äußeres Feld. Das innre Feld betrachtet er als ein gleichförmiges (uniformal) Feld, das sich nur verändern kann, wenn sich die Achsenrichtung oder das magnetische Moment ändert. Das permanente Feld charakterisiert Bauer durch eine Funktion G , die, für die Gesamterde Unveränderlichkeit der magnetischen Achse und des magnetischen Moments vorausgesetzt, eine konstante Größe ist. Der Ausdruck für G ist:

$$G = \sqrt{H^2 + \frac{1}{4}Z^2} = \sqrt{X^2 + Y^2 + \frac{1}{4}Z^2}$$

Indem man annimmt, daß die Ursachen des inneren Feldes in den unterirdischen magnetisierten Massen zu suchen sind, hat man mit der Tiefe der magnetischen Schicht zu rechnen. Wenn wir die schnell anwachsende Temperatur zum Innern der Erde beachten, ergibt sich, daß alle magnetischen Stoffe schon in geringer Tiefe den Curie-Punkt erreichen, und weiter kein magnetisches Feld mehr vorhanden ist. Nach der Ansicht A. Nippoldts erstreckt sich daher das magnetische Feld bis zu einer Tiefe von 20 bis 100 km in der Erdkruste.

Die registrierenden Apparate (Bifilare, die Lloidsche Waage und die frei suspendierte Magnete) messen die Horizontalkomponente H , die Vertikalkomponente Z und die Deklination. Die Magnetogramme dieser Apparate liefern den Stand des magnetischen Feldes in jedem Augenblick und ermöglichen seine Forschung in Abhängigkeit von der Zeit. Die Magnetogramme zeigen, daß das magnetische Feld der Erde nicht konstant ist, und daß es verschiedener Art Schwankungen unterworfen ist. Hierzu sind zu nennen die säkulären Variationen, die periodischen Variationen und die Stürme. Die säkulare Variation steht im Zusammenhang mit der allmählichen Änderung des Kraftvektors. Wenn wir die Bauersche G -Funktion als reelle Größe annehmen, dann können wir die säkulare Variation folgendermaßen darstellen:

$$dG = \frac{H}{G} \cdot dH + \frac{1}{4} \frac{Z}{G} \cdot dZ = \frac{X}{G} \cdot dX + \frac{Y}{G} \cdot dY + \frac{1}{4} \frac{Z}{G} \cdot dZ$$

Da G für ein gleichförmiges Feld eine konstante Größe ist, können die Variationen nur von der Verschiebung der magnetischen Achse und der Veränderungen des magnetischen Moments der Erde herrühren, also von inneren Ursachen.

Die kurz- und langperiodischen Störungen, von welchen später die Rede sein wird, hängen nur von äußeren Ursachen ab. Es ist folgende Periode zu nennen: 1 Tag, 26 bis 30 Tage, 1 Jahr und 11 Jahre.

Die magnetischen Stürme, ebenso wie die periodischen Störungen, werden von äußeren Faktoren beeinflußt. Die Stürme unterscheiden von den periodischen

Störungen sich nur dadurch, daß sie zu jeder beliebigen Zeit entstehen, wie auch kürzere oder längere Zeit fort dauern können.

Über das Wesen der Stürme und ihren Verlauf sind viele Forschungen publiziert worden, zwischen welchen die erschöpfendste die Arbeiten von K. Birkeland*) und G. Angenheister**) sind. Birkeland benutzte zu seinen Forschungen über die magnetischen Stürme die Magnetogramme vieler Observatorien; dabei stützte er sich auf die theoretischen Untersuchungen von Størmer, wonach die Ursache der Stürme in den von der Sonne kommenden Korpuskularströme zu suchen ist. Størmer untersuchte theoretisch die Bahnen elektrisch geladener Teilchen, die, von der Sonne kommend, in die Nähe des erdmagnetischen Feldes gelangen. Die Resultate dieser Untersuchungen stellte er graphisch dar und sie zeigen, daß die Korpuskeln, in Abhängigkeit von der Entfernung und Geschwindigkeit, sich entweder in Kreisen um den magnetischen Äquator bewegen oder in die magnetische Pole streben. Birkeland prüfte die Størmersche Theorie im Laboratorium, indem er eine magnetisierte Kugel in einen Kathodenstrahlbüschel stellte.

Die Kugel sollte die Erde darstellen. Dann sah man helle Ringe um den magnetischen Äquator der Kugel und das Einströmen der Elektronen in die Pole. Fernerhin untersuchte Birkeland mit Hilfe von Magnetogrammen die magnetischen Stürme und teilte sie in mehrere Klassen ein. Nach seiner Einteilung gibt es folgende Arten: die äquatorialen positiven, die äquatorialen negativen und die polaren Stürme. Die positiven und negativen äquatorialen Stürme beginnen und enden auf der ganzen Erde gleichzeitig; sie unterscheiden sich in der Richtung des störenden Kraftvektors. Die polaren Stürme sind anders geartet, sie sind von ausgeprägt örtlichem Charakter und auf die Nordlichterzone lokalisiert; je weiter von dieser Zone, desto schwächer ist ihre Intensität. Die Störung dauert nur einige Stunden und ihr Beginn und Ende ist an jedem Orte verschieden.

Angenheister sucht die Ursachen der Stürme im äußeren Felde, das sich in ungefähr 50 bis 100 km Höhe über dem Erdboden befindet. Die Ursache der Störungen ist wahrscheinlich in den elektrischen Strömen in den oberen Atmosphärenschichten zu suchen. Der Einfluß der Korpuskularströme ist nach Angenheister zu gering, um diese großen Störungen hervorzurufen, die wir als magnetische Stürme kennen. Angenheister teilt die Stürme nach Intensität und Dauer in: 1. große Stürme, die auf der ganzen Erde zu beobachten sind und deren Dauer mehrere Tage umfaßt; 2. lokal begrenzte Störungen, die in den Magnetogrammen als starke Büchte auftreten und deswegen Baistörungen genannt sind. Sie sind besonders stark in hohen Breiten und an der Nachtseite der Erde; sie dauern eine Stunde oder etwas mehr an; 3. Pulsationen, die aus

*) K. Birkeland: The Norwegian Aurora Polaris exped. 1902—1903, Vol. I.

**) Wien-Harms: Handbuch d. experim. Phys., Bd. XXV, Geophys. Teil I, S. 665ff.

sinusoidenähnlichen kurzperiodischen Schwingungen von schwacher Intensität bestehen. Sie umfassen gleichzeitig die ganze Erde.

Die Stürme beginnen mit einem plötzlichen Einsatz, welchen Angenheister als Impetus bezeichnet. Der Beginn des Sturmes wird vom Moment des Impetus an gezählt. Die größte Aktivität dauert 6 bis 12 Stunden und stellt die Hauptschwingung dar. Nachdem folgt der unruhige Zustand des Feldes, welcher als Nachstörung bezeichnet wird.

III. Zusammenhang zwischen der Fleckentätigkeit und den Störungen des erdmagnetischen Feldes

Schon 1851 wies J. Lamont darauf hin, daß zur Zeit der größten Anzahl der Sonnenflecke auch die Zahl der magnetischen Stürme anwächst und umgekehrt bei der kleinsten Anzahl der Flecke sich auch die Zahl der magnetischen Stürme verringert. Späterhin konstatierten Sabine, Gautier und Wolf eine elfjährige Periode in den Störungen des erdmagnetischen Feldes*). Erschöpfende Forschungen über den Zusammenhang zwischen den erdmagnetischen Störungen und den Sonnenflecken vollführte L. Bauer**), welcher die Beobachtungen vieler Observatorien genau bearbeitete. Die Forschungen über den Zusammenhang muß man ihrem Wesen nach in direkte und indirekte einteilen. Zu den direkten Forschungen muß man die Untersuchungen über den Einfluß aller auf der Sonne sichtbaren Flecke und die Untersuchungen über die Einwirkung einzelner, mit besonderen Bedingungen ausgewählter Flecke auf das erdmagnetische Feld zählen. Die Zahl der Arten der indirekten Forschungen wächst beständig. Aus ihnen sind folgende zu erwähnen: die Untersuchungen 1. über Nordlichter, 2. über elektrische Ströme in der Erdkruste, 3. über Schwankungen der Solarkonstante, 4. über die Lage des Mondes in seiner Bahn, 5. über die Rundfunkstörungen, 6. über die Ozonmenge in der Luft.

Die erste Art der direkten Forschungen enthält die Bestimmung der Periodizität in den magnetischen Störungen. In den ersten Arbeiten wurden nur die starken Stürme berücksichtigt; in den späteren ist die Rede über die Stürme im allgemeinen. Da keine strenge Grenze existiert, um eine Störung des magnetischen Feldes zu den Stürmen zu zählen, so erhielten verschiedene Forscher verschiedene Periodenlänge, je nachdem, welche Störungen sie zu den Stürmen zählten und folglich berücksichtigten.

Deutlich zeigt sich die elfjährige Periode in den magnetischen Störungen, die vollständig mit der Periode der Sonnenfleckentätigkeit übereinstimmt. Zur Bestimmung dieser Periode wird einerseits die Relativzahl der Wolfschen Statistik und andererseits die Anzahl der gestörten Tage benutzt. Da die Magnetogramme und die Wolfsche Statistik schon ein einige Jahrhunderte umfassendes

*) Birkeland: The Norwegian Aurora Polaris exped. 1902—1903, Vol. I, ser. I, p. 43.

**) Bauer and Duvall: Terr. Magn. Atm. Electr. Vol. XXX, 1925.

Material liefern, ist die elfjährige Periode in allen Einzelheiten und mit allen Abweichungen vom Mittel bekannt.

Schon die einfache Ansicht der Magnetogramme lehrt, daß das erdmagnetische Feld Veränderungen im Laufe des Tages erleidet. Um den täglichen Gang in jedem Element herauszuschälen, muß man die gelegentlichen Störungen eliminieren und für jede Tagesstunde das Mittel aus langjährigen Beobachtungen nehmen. Zur vollständigen Elimination der Nebeneinflüsse teilt man die Tage in „ruhige“ und „gestörte“ ein und bestimmt für beide unabhängig die mittlere Größe für jede einzelne Stunde. A. Schmidt*), der viel an der Erforschung der täglichen Periode des Magnetfeldes gearbeitet hat, gibt die Mittel in der Form von Vektordiagrammen. Derartige Diagramme zeigen auch den Verlauf für einzelne Monate, Teile des Jahres in Abhängigkeit von der Lage der Sonne in der Ekliptik (Lloidsche Jahresdrittel) und ganze Jahre sowohl in Zeiten des Fleckenmaximums als auch -minimums.

Den Gang der täglichen Variation in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität versucht A. Schmidt mit Hilfe der folgenden empirischen Formel darzustellen:

$$\Delta = \Delta' + r\Delta'',$$

wo Δ die Abweichung vom Tagesmittel, Δ' und Δ'' die gesuchten Größen zur Bestimmung der täglichen Variation und r eine der Wolfschen Relativzahl R proportionale Größe ist. Nach Schmidt ist $r = 0.01 R \cdot \Delta'$ und Δ'' bestimmt man mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aus einer ganzen Reihe von Beobachtungen, wo für Δ die bekannten Größen $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$ und für r entsprechend r_1, r_2, r_3, \dots genommen wird.

Im täglichen Gange kann man Sonnen- und Mondzeit unterscheiden; außerdem ist der tägliche Gang von der Stellung der Sonne in der Ekliptik und der Sonnenaktivität abhängig. In den Observatorien der nördlichen Halbkugel ist die Amplitude des täglichen Ganges zur Zeit des Sommersolstitiums größer, zur Zeit des Wintersolstitiums kleiner. Ebenso ist die Amplitude größer zur Zeit des Fleckenmaximums, kleiner zur Zeit des Minimums.

Zwei Observatorien, die sich auf demselben Breitenkreise befinden, deren Längen aber stark verschieden sind, haben verschiedene Amplituden des täglichen Ganges und die Richtungen der Störungsvektoren fallen nicht zusammen.

Die Ursachen der täglichen Variation sind nach A. Schuster**) und S. Chapman***) die Änderungen der elektrischen Ströme in den oberen Schichten der Atmosphäre. Die Sonnenstrahlen ionisieren die oberen Luftschichten, machen sie leitend; es entstehen Foucaultsche Ströme, wenn diese leitenden Schichten sich im erdmagnetischen Felde bewegen. Die Foucaultschen Ströme verstärken oder

*) A. Schmidt: Archiv d. Erdmagnetismus, Heft 1, 1903.

**) A. Schuster: Phil. Transl. A. 180, London 1889; A. 208, 1907.

***) S. Chapman: Phil. Transl. A. 218, 1919; A. 225, 1925.

schwächen die permanenten Ströme in der Atmosphäre und in der Erdkruste, die ihrerseits Veränderungen des Magnetfeldes hervorrufen.

Erst in der letzten Zeit ist eine Periode von 26 bis 30 Tagen festgestellt worden. Hier sind die Arbeiten von A. Schmidt*), Chree**), Schuster***), Angenheister†) und Deslandres††) zu erwähnen. Chree und Schuster konstatierten eine Periode von 26 und 28 Tagen. Jedoch kann man diese Perioden nicht als streng ansehen. Dominierend zwischen den 26 bis 28tägigen Perioden ist eine 27tägige Periode. Schmidt und Angenheister fanden außer den erwähnten noch eine 30tägige Periode. Besonders eingehende Untersuchungen über die 30tägige Periode führte Angenheister aus, der auch die Ursachen dieser Periode aufzufinden versuchte. Angenheister kam zum Schluß, daß die 26.5 und 30tägige Perioden der Stürme durch eine zweifache Rotationsgeschwindigkeit der Sonne erklärbar sind. Die 26.5tägige Periode wird von den oberen Schichten, die 30tägige von einer tieferen Schicht, dem Sitze der Stürmenquelle, verursacht. Nach ihrer Aktivität müsse man die Sonne in zwei Halbkugeln A und B einteilen. Zur Zeit des Maximums der Fleckentätigkeit rufen beide Halbkugeln gleichartig Störungen des magnetischen Feldes hervor; zur Zeit des Minimums ist B wirkungslos und die Aktivität gehört nur der A-Hälfte. Die magnetischen Störungen zeigen in der Zeit des Minimums eine 27tägige Periode und eine 30tägige im Maximum; also verursachen die äußeren Schichten die magnetischen Störungen im Minimum und die innere tiefe Schicht die magnetischen Störungen im Maximum.

Der Angenheisterschen Theorie über die Aktivität einer tieferen Schicht steht die Deslandressche Theorie der Risse (brusires) nahe. Deslandres nimmt an, daß im Innern der Sonne eine, einem festen Körper ähnliche Schicht mit sechs symmetrischen Rissen sich befindet. Jeder Rißmeridian wirkt wie ein Vulkan, der elektrisch geladene Teilchen ausspeit, die ihrerseits auf der Erde magnetische Störungen hervorrufen. Über der inneren, gleichmäßig rotierenden Schicht befinden sich noch zwei Schichten, die auch durch Rißmeridiane aufgeteilt sind. Die innere Schicht hat nur sechs Meridiane, die äußeren zwei je zwölf. Da die Ursachen der Störungen Risse auf der Sonne sind, so sind die magnetischen Stürme unabhängig von der Fleckentätigkeit.

Untersuchungen über die jährliche Periode der magnetischen Störungen sind von Cortie†††) und Chree§) ausgeführt worden. Die Methoden von Cortie und Chree sind verschieden. Der erstere fand die jährliche Periode durch Untersuchungen der Aktivität der Einzelflecke während ihres Durchgangs durch den Zentralmeridian. Das Endresultat zeigte, daß die magnetischen Störungen

*) A. Schmidt: *Astron. Nachr.* **214**, Nr. 5134.

) Chree: *Proc. of Roy. Soc.* **109, 1925.

***) A. Schuster: *Terr. Magn. and Atm. El.*, Vol. **6**, 1901.

†) G. Angenheister: *Terr. Magn.*, Vol. **26**, 1921; Vol. **27**, 1922.

††) Deslandres: *C. R.* **182**, S. 669, 733, 1301; **183**, S. 165, 493, 1313; **185**, S. 10.

†††) Cortie: *Monthly Not. of R. A. S.*, Vol. **73**, 1913.

§) Chree: *Proc. of Roy. Soc.* **101**, 1922.

anwachsen, wenn der Zentralmeridian sich um 90° von den Knoten des Sonnenäquators befindet, und abnehmen, wenn der Zentralmeridian sich in der Nähe der Knoten befindet. Der zweite Forscher fand die jährliche Periode aus den Untersuchungen über die 27 tägige Periode mit Hilfe der Methode der großen Zahlen. Chree kam zum Schluß, daß die magnetische Aktivität der Erde anwächst, wenn die Sonne sich in der Nähe des Frühlings- und Herbstpunktes befindet, und abnimmt, wenn die Sonne sich in den Solstitien befindet. Die Resultate beider Forscher stimmen vollkommen überein, da die Knoten des Sonnenäquators sich kurz vor den Solstitien in der Nähe des Zentralmeridians befinden.

Schon im Jahre 1887 sprach E. Marchand*) das Gesetz aus, daß jeder Fleck magnetische Störungen hervorruft und daß die stärksten Störungen stattfinden, wenn sich der Fleck oder Fleckengruppen im Zentralmeridian befinden. Das Nichtbefolgen dieses Gesetzes wurde durch eine zeitliche Fortpflanzung, die notwendig ist, damit die störende Einwirkung bis zur Erde gelangt, erklärt. Aus den Beobachtungen folgt, daß diese Verspätung 20 bis 50 Stunden beträgt. Eine so große Amplitude veranlaßte neue Untersuchungen, die jedoch nichts Neues ergaben. Im Jahre 1913 veröffentlichte Cortie**) weitgehende Untersuchungen über den Einfluß der Flecke auf das erdmagnetische Feld, wenn sie sich im Zentralmeridian befinden. Das Resultat dieser Untersuchungen ist in bezug auf das Gesetz Marchands ein negatives, da Cortie fand, daß die magnetischen Stürme unabhängig von der Lage der Flecke auf der Sonne und ihrer Größe sind. Magnetische Stürme entstehen sogar dann, wenn auf der Sonne kein einziger Fleck zu sehen ist, sowie auch dann, wenn der Fleck sich weit vom Zentralmeridian befindet. .

Der Einfluß der einzelnen Flecke auf das erdmagnetische Feld ist von E. Gehlinsch***) untersucht worden, wobei er den Fall wählte, wo auf der sichtbaren Sonnenscheibe nur ein einziger Fleck oder eine Fleckengruppe sich befindet. Den Verfasser verleitete zur Arbeit die Ansicht, daß der Einfluß der Flecke, als physikalische Erscheinung, auf das erdmagnetische Feld irgendwelchen Gesetzen gehorchen müsse. Um diese Gesetze zu erforschen, wurden Einzelflecke gewählt. Solche Fälle, in denen wirklich nur ein Fleck oder eine geschlossene Fleckengruppe sichtbar ist, sind selten. Um mehr Material zu erhalten, mußten gewisse Abweichungen zugelassen werden: in einigen Fällen wurden als Aktivitätszentrum nahe zusammenliegende Fleckengruppen genommen oder es wurden mit einem großen Fleck gleichzeitig sichtbare, winzige Fleckchen nicht berücksichtigt. Diese Untersuchungen führten zu folgenden Resultaten. Die Aktivität der Flecke ist von ihrer Fackelumhüllung abhängig. Die Zunahme, bzw. Abnahme der Aktivität steht im Zusammenhang mit Veränderungen im Fleck bzw. in der Fackel-

*) E. Marchand: C. R. **104**, 135 (1887).

) Cortie: Monthly Not. R. A. S., Vol. **73, 1913.

***) E. Gehlinsch: Acta Univ. Latviensis, Vol. XX, 1928; Mitteilungen aus dem Institut für theor. Astronomie Riga Nr. 3.

umhüllung. Magnetische Störungen sind bei jeder Lage des Flecks zu beobachten, jedoch sind die am Ostrande befindlichen Flecke besonders aktiv und die am Westrande befindlichen weniger aktiv. Zu beiden Seiten des Zentralmeridians kann man eine verstärkte Aktivität der Flecke beobachten, da jedoch die Anzahl der dem Sonnenzentrum nahe passierenden Flecke nicht groß war, so ist der Ort dieser Maxima und ihre Realität nicht absolut sicher. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung müssen sich noch mit den zentralen Maxima und Minima, sowie ihrer Ursachen beschäftigen. Die deutliche Aktivität des Ostrandes und die schwache Wirksamkeit des Westrandes kann mit Hilfe der Ansicht von der Korpuskularströmung aus den Flecken in tangentialer Richtung zur Sonnenoberfläche erklärt werden. Eine derartige Strömung ist vollkommen möglich, da St. Johns*) Untersuchungen im Mount-Wilson Observatorium den Nachweis erbrachten, daß aus den tieferen Schichten der Flecke und aus dem Halbschatten Gase in tangentialer Richtung ausströmen, während in die oberen Schichten des Kerns ein Einstromen von Gasen stattfindet. Die vom Ostrande fortfließenden Teilchen erreichen die Erde, wenn der Fleck sich schon ein wenig vom Rande auf das Innere der Scheibe hin bewegt hat, dagegen erreichen die vom Westrande fortfließenden Korpuskeln die Erde, wenn der Fleck schon vollständig unsichtbar geworden ist. Um so ein Bild zu bekommen, muß die Geschwindigkeit der Teilchen zwischen 1200 und 5000 km/sec betragen.

Einige geophysikalische Erscheinungen sind so eng miteinander verbunden, daß man, wenn man die Abhängigkeit der einen von der Sonnenaktivität untersucht, zugleich auch die Abhängigkeit der übrigen, verwandten erhält. So kommt man zu den indirekten Methoden, mit deren Hilfe, außer der direkten Aufgabe, man auch die verwandten Aufgaben löst.

Bei der Erforschung der Nordlichter taucht die Frage nach dem Zustande des magnetischen Feldes zur Zeit von besonders intensiven Polarlichtern auf. Schon im vergangenen Jahrhundert hat H. Fritz**) eine Nordlichtkarte zusammengestellt, in der die Orte mit gleicher Nordlichterzahl eingezeichnet waren. Die Kurven gleicher Häufigkeit (Isochasmen) sind fast konzentrische Kreise, deren gemeinsamer Mittelpunkt sich in der Nähe des Magnetpols der Erde befindet. Diese Karte zeigte die Verwandtschaft zwischen dem Erdmagnetismus und den Nordlichtern.

Weitere Forschungen, besonders die Arbeiten von Angot***), Birkeland†) und Vegard††) zeigten die tägliche, jährliche und die elfjährige Periode. Die Beobachtungen Birkelands in den Jahren 1902 bis 1903 und Vegards in den Jahren 1912 bis 1913 im Norden Norwegens bewiesen, daß die Nordlichter immer mit erdmagnetischen Störungen zusammenfallen. Diese nahe Verwandtschaft

*) St. John: Mt. Wilson Contr. Nr. 69, 74, 1913; Ap. J. Vol. 37 and 38, 1913.

**) H. Fritz: Das Polarlicht. Leipzig 1881.

***) Angot: The Aurora Borealis. London 1896.

†) K. Birkeland: The Norwegian Aurora Polaris exped. 1902—1903, Vol. I.

††) Wien und Harms: Handb. d. Experimentalphys. Bd. XXV, Teil I, S. 385ff.

läßt auch aus den Beobachtungen der Nordlichter über den Zusammenhang zwischen den magnetischen Stürmen und Sonnentätigkeit schließen.

Kaum gewann die Leitungstelegraphie eine weite Verbreitung und wurden weit entfernte Stationen mit Leitung verbunden, so bemerkte man, daß durch die an beiden Enden geerdeten Drähte ununterbrochen elektrische Ströme fließen, die zur Zeit von magnetischen Stürmen so stark den telegraphischen Verkehr stören, daß die Benutzung des Telegraphen unterbrochen werden mußte. Zur Erforschung der innerirdischen elektromotorischen Kräfte wurden Meßstationen eingerichtet. Die Messungen zeigten, daß die Veränderungen der Stromstärke eine tägliche und jährliche Periode besitzen, die in Abhängigkeit von den Variationen des erdmagnetischen Feldes stehen. Ob die innerirdischen Ströme vom erdmagnetischen Felde induziert sind oder eine andere Ursache haben, ist nicht bekannt. Die elfjährige Sonnenperiode ist im Gange des innerirdischen elektrischen Potentials bemerkbar.

Im Jahre 1925 veröffentlichte Chree*) eine Arbeit über die Abhängigkeit der erdmagnetischen Störungen von der Solarkonstante. Ausgehend von den bekannten elfjährigen und ungefähr 27tägigen Perioden der erdmagnetischen Störungen, suchte Chree dieselben Perioden in den Veränderungen der Solarkonstanten, dazu untersuchte er die Abhängigkeit dieser Variationen von den erdmagnetischen Störungen. Er teilte die ganze Zeit in Intervalle von je 27 Tagen und wählte in diesen Intervallen eine bestimmte Anzahl von Tagen zum Vergleichen der Solarkonstanten und des erdmagnetischen Feldes. Der Ausgangstag ist mit n bezeichnet; die zum Vergleich genommenen Tage sind: $n - 2, n - 1, n, n + 1, n + 2$. Die nächsten Perioden sind $27 \times q + [n - 2, n - 1, n, n + 1, n + 2]$, wo $q = 1, 2, 3 \dots m$ ist. Mit Hilfe dieser Einteilung wurden die Variationen der Solarkonstanten mit denen des erdmagnetischen Feldes verglichen. Das Resultat zeigt, daß die Solarkonstante zugleich mit der Fleckentätigkeit und den magnetischen Störungen anwächst. Die Untersuchungen erstrecken sich auf die Zeit vom Jahre 1920 bis 1924.

Das Potsdamer Observatorium**) hat ein Programm zur Erforschung des Mondeinflusses auf das magnetische Feld aufgestellt. Die Methode besteht in folgendem: die Magnetogramme werden nach der Mondzeit aufgeteilt (mittlerer Montag); die Tage werden in Gruppen zu je zwei Monaten eingeteilt. In jeder Gruppe ist die Entfernung des Mondes von den Knoten und vom Perigeum für bestimmte Tage gegeben, um hieraus den Einfluß der Entfernung des Mondes von der Erde und seiner Deklination festzustellen. Tage mit starken Stürmen werden ausgeschlossen, da sie das Resultat stark verfälschen würden. Mit dieser Methode ist festgestellt, daß die lunaren Variationen in der Tageszeit stärker, nachts aber schwächer sind. Die Amplitude der jährlichen Variation ist der entsprechenden solaren gleich. Bezüglich der Entfernung des Mondes ist deutlich zu sehen, daß die

*) Chree: Proc. of Roy. Soc. 109 (1925).

**) Ergebn. d. magn. Beob. in Potsdam u. Seddin 1917. 1922.

Amplituden der Variation vom Apogeum zum Perigeum wächst. Im Verhältnis zur Aktivität der Sonnenflecke zeigen die lunaren Variationen eine kleinere Amplitude als die Variationen der 27tägigen Periode des solaren Ganges. Dank diesem Umstande lassen sie sich leicht von den übrigen Einflüssen auf das erdmagnetische Feld ausscheiden.

Im Jahre 1927 veröffentlichte Greenleaf Pickard*) zwei Arbeiten über seine Untersuchungen über die Störungen im Radioverkehr in Zusammenhang mit der Fleckentätigkeit der Sonne. In seinen Untersuchungen vergleicht Pickard die Radiostörungen mit den Sonnenflecken und den Störungen des erdmagnetischen Feldes. Die Beobachtungen wurden täglich von 21 bis 22 Uhr Ortszeit das ganze Jahr 1926 hindurch ausgeführt. Der Rundfunkempfang verschlechterte sich mit dem Anwachsen der Sonnenfleckenzahl; ebenso verschlechterte er sich beim Vorhandensein von erdmagnetischen Störungen. Der Empfang langer Wellen wurde besser beim Anwachsen der Sonnentätigkeit und Verstärken der magnetischen Störungen. In beiden Fällen konnte die 27tägige Periode beobachtet werden.

Die Spektroskopie lehrt, daß das Spektrum des Ozons ein starkes Absorptionsband im Intervall von 9300 Å bis 2000 Å mit einem Maximum bei 2550 Å besitzt. Außerdem existiert noch ein schwächeres Band bei 6000 Å und im ultraroten Teil. Diese Eigenschaft des Ozons erlaubt die Feststellung seines Vorhandenseins in der Atmosphäre, sowie die Veränderungen der Ozonmenge mit der Zeit durch spektroskopische Untersuchung des Sonnenlichtes.

Dobson und Harrison**) veröffentlichten im Jahre 1926 eine Arbeit über ihre Untersuchungen in Oxford über die Ozonmenge in der Luft. Sie wandten zwei Methoden an: 1. Die ausführliche Methode: Messung der Absorptionskoeffizienten der Luft für bestimmte Wellenlänge und bei verschiedenen Sonnenhöhen und Reduktion auf eine bestimmte Höhe. 2. Die abgekürzte Methode: die in die Messungen eingehenden Konstanten sind schon vorher bestimmt worden. Die Intensität der Sonnenstrahlen außerhalb der Erdatmosphäre muß als konstant angenommen werden. Wählen wir zwei Strahlen, deren Wellenlängen an der Grenze des Absorptionsbandes (beim einen Strahl im innern, beim anderen außerhalb des Bandes), so wird der Absorptionskoeffizient des Ozons für sie verschieden sein und aus der relativen Intensität kann die Ozonmenge in der Luft und ihre Veränderung mit der Zeit bestimmt werden.

Die Resultate sind: Die Ozonmenge ist veränderlich, sie besitzt eine jährliche Periode mit einem Maximum im Frühjahr und einem Minimum im Herbst. Eine tägliche Periode ist nicht nachgewiesen, ebensowenig eine 27tägige. Die Abhängigkeit von der Fleckentätigkeit der Sonne drückt sich darin aus, daß die Ozonmenge bei einer großen Fleckenzahl fällt, bei einer kleinen wächst.

*) Gr. Pickard: Proc. Inst. Radio Eng. **15**, Nr. 2 and 9, 1927.

) Dobson and Harrison: Proc. of Roy. Soc. Vol. **110, 1926; **114**, 1927.

Chree*) verglich die Schwankungen der Ozonmenge mit den erdmagnetischen Störungen und fand, daß bei starken Schwankungen der Horizontalkomponente die Ozonmenge am stärksten vom Monatsmittel abweicht. Bei schwachen Schwankungen der Horizontalkomponente schwankt auch die Ozonmenge wenig und diese Erscheinung wiederholt sich konsequent von Jahr zu Jahr.

IV. Die Bewertung der Forschungen

Die statistischen Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen der Fleckentätigkeit auf der Sonne und den erdmagnetischen Störungen ergaben befriedigende Resultate, die zum Schluß führten, daß zwischen beiden Erscheinungen unzweifelhafte Zusammenhänge bestehen. Dennoch sind diese Resultate nicht erschöpfend und haben nicht die Antwort auf die Frage nach den Gesetzen der Schwankungen des erdmagnetischen Feldes in Zusammenhang mit der Variation der Anzahl der Sonnenflecke gegeben. Eine solche Antwort können statistische Untersuchungen auch nicht geben. Die beste Bewertung der Erfolge der Forschungen finden wir in den Schlüssen L. Bauers in seiner ausführlichen Arbeit in *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity*, Vol. XXX, wo die Punkte b und c lauten:

„b) Neither the number, area, nor position of spots on the Sun's visible disk may be taken at present as a safe index for the prediction of the occurrence of magnetic storms, or of the production of the electric currents in the Earth's crust which are responsible for interruptions in telegraphy. There are at times notable magnetic storms on the Earth when there is no visible disturbance on the disk of the Sun presented to the Earth.“

„c) While, on the average, there is a very high correlation between solar activity and the Earth magnetic activity, from year to year during a solar cycle, the correlation does not seem to be one of cause and corresponding effect, but rather one indicative of the fact that solar disturbances and magnetic disturbances are effects of one, as yet undiscovered cause, which may simultaneously affect the condition of the entire Sun. The active areas on the Sun, which may be the source of the Earth's magnetic disturbances, seem to be more often also provocative of sunspot formations but not always so.“

Die in den Schlußfolgerungen ausgesprochenen Gedanken konnten schon vorher erwartet werden und sie kommen nicht überraschend. Diese Schlüsse muß man als Hinweis nehmen, die alten Forschungsmethoden zu verlassen. Die Sonnenflecke sind eine physikalische Erscheinung, und als solche eine ist sie einem Gesetze unterworfen, das ihren Eintritt besagt. Ebenso sind die magnetischen Störungen eine physikalische Erscheinung, die ebenso den Gesetzmäßigkeiten unterworfen sind. Wenn andererseits beide Erscheinungen eine gemeinsame, noch unbekanntere Ursache haben, oder wenn die eine von ihnen die Folge der anderen ist, so ist es

*) Chree: *Proc. of Roy. Soc.* Vol. 110, 1926.

natürlich, daß die statistischen Untersuchungen, die dem Wesen der Sache sehr fern stehen, die Realität des Zusammenhanges beweisen. Die Verfeinerung und Ergänzung der statistischen Methoden kann nichts wesentlich Neues bringen. Deswegen verlangt die weitere Erforschung des Zusammenhanges beider Erscheinungen, neue Wege zu suchen. Bis jetzt ist noch nicht bekannt, wie die Sonnenflecke das erdmagnetische Feld beeinflussen und was die eigentliche Ursache der starken magnetischen Stürme ist. Ebenso ist noch nicht bekannt, was für Strömungen und mit welcher Geschwindigkeit sie von den Sonnenflecken ausgehen. Es ist wahrscheinlich, daß von den Flecken ein Strom von elektrisch geladenen Teilchen ausgeht, der ein Magnetfeld mit sich führt und das erdmagnetische Feld beeinflußt, wenn er die Erde erreicht. Die Klärung dieser Strömung erfordert noch viel Arbeit trotz der schon erreichten Erfolge.

Es ist vorteilhafter, den Einfluß der Flecke auf das erdmagnetische Feld zu untersuchen, wenn man solche Flecke aussucht, die sich ganz allein auf der Sonne befinden. Indem man das Gleiten des Fleckes auf der Sonnenscheibe und den Zustand des erdmagnetischen Feldes gleichzeitig verfolgt, kann man die Stellen auf der sichtbaren Sonnenscheibe feststellen, wo die Flecke am aktivsten oder am wenigsten wirksam sind. Auf Grund derartiger Untersuchung kann man die Ursachen der Aktivität der Flecke an verschiedenen Orten der Scheibe suchen. Diese Untersuchungsmethode ist schon eingeleitet. Die Anfangserfolge sind derart, daß sie eine gewisse Klarheit hineinzubringen versprechen, jedoch kann man darüber Ausführliches nur nach Abschluß der Untersuchungen berichten.

Die indirekten Untersuchungen, die wohl eine gewisse Klarheit über die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen geophysikalischen Erscheinungen geben können, gelten nicht als Mittel zur Feststellung der Ursachen der erdmagnetischen Störungen in Abhängigkeit von der Sonnenaktivität.

Zusammenfassung

1. Die statistische Erforschung der Flecke und des erdmagnetischen Feldes muß als abgeschlossen angesehen werden und kann nichts Neues mehr liefern. Die eingehenden und scharfsinnigen Methoden, mit deren Hilfe die hervorragendsten Wissenschaftler in dieser Richtung gearbeitet haben, erbrachten den unzweifelhaften Beweis für den Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen.

2. Weitere Forschungen müssen sich auf andere Methoden stützen, die ein tieferes Eindringen in das Wesen der Flecke, als physikalische Erscheinung, ermöglichen. Hier spielt die individuelle Untersuchung der Flecke und eine eingehendere Klassifikation der erdmagnetischen Störungen eine wichtige Rolle.

Riga, Inst. f. theor. Astronomie der Lettländischen Universität, Mai 1930.