NGC	Helligkeiten		Expansion der Nebel	
	Nebel m	Zentralstern m	km/sec	in 100 Jahren
1952	9,0	15,9	1300	23,5″
2392	10,0	8,4	53	2,7
3242	11,7	7,1	10,5	0,7
6210	11,7	8,5	8,5	0,3
6543	11,3	8,1	12	0,6
6720	14,7	8,8	19	0,5
6818	14,9	8,8	21	0,5
7009	11,7	7,2	15	0,9
7662	12,7	8,4	14	0,9

Tab. 12. Expansion der planetarischen Nebel.

fang der Linienspaltung hat H. Zanstra[16] die Expansionsgeschwindigkeiten berechnet, die nach Tab. 12 zwischen 10 und 50 km/sec liegen. Von den im Krebsnebel vorherrschenden Verhältnissen sind diese Werte zwar stark verschieden. Immerhin sind die Expansionsgeschwindigkeiten meßbar, und wenn sie innerhalb einer angemessenen Zeit nach dem Beispiel des Krebsnebels auch keine Veränderungen ihrer äußeren Gestalt zu erkennen geben, so gestatten sie doch umgekehrt die Berechnung der Zeit, die seit dem Beginn der Nebelexpansion verstrichen ist, wenn man ihr jährliches Wachstum in Betracht zieht. Hier haben Untersuchungen von F. Whipple[17] an insgesamt 23 planetarischen Nebeln zu dem Ergebnis geführt, daß 10 unter ihnen zwischen 1700 und 6000 Jahren „alt" sind. Das würde heißen, daß die planetarischen Nebel kosmisch als kurzlebige Objekte anzusehen sind, weil sie sich im Zuge ihrer Entwicklung aufblähen und dadurch mit der Zeit verflüchtigen und unsichtbar werden. Statistische Grundsätze sprechen dafür, daß etwa alle 200 Jahre ein planetarischer Nebel neu entsteht. Darüber hinaus erweist sich als wahrscheinlich, daß die diffusen Nebel im Sternsystem u. U. auf ähnliche Weise entstanden sind, zumal die geringen Massen der Milchstraßennebel mit den Sternmassen oder der Krebsnebelmasse gut übereinstimmen.

Die konsequente Weiterführung dieser Überlegungen zieht zwangsläufig die Folgerung nach sich, daß die planetarischen Nebel ihrerseits Reste von kosmischen Katastrophen darstellen, die in ihrem Ausmaß nur mit den Vorgängen in einer Supernova verglichen werden können. Gelegentlich haben sich auch bei den gewöhnlichen Novae Nebelhüllen gezeigt (Abb. 6). Doch sind die Massen dieser Hüllen viel zu gering, um Jahrtausende hindurch sichtbar zu bleiben, wie dies gewiß bei den planetarischen Nebeln zutreffend ist, zumal diese einen Bestand bis zu 30000 Jahren und ein mittleres Alter von 15000 Jahren haben. Die Entwicklungswege der planetarischen Nebel weisen

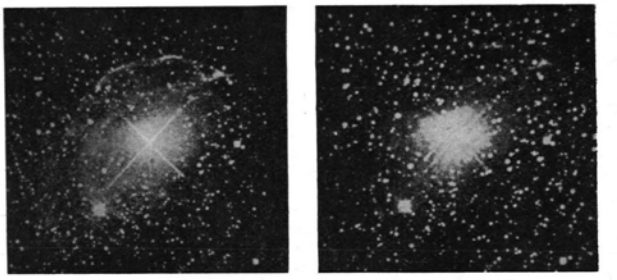

Abb. 6. Nebel um die Nova im Perseus (1901). Links: 30. Sept. 1901; rechts: 13. Nov. 1901.

daher mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die Supernovae im Milchstraßensystem zurück, deren Häufigkeit sie auch mit großer Näherung entsprechen. Daraus geht ferner hervor, daß die Supernovae der Milchstraße keineswegs auf die drei behandelten historischen Fälle beschränkt sind, sondern daß ihnen eine viel größere Verbreitung im Sternsystem beizumessen ist. Die endgültige Klärung dieser Zusammenhänge wird allerdings erst dann gelingen, wenn das kosmogonische Problem der Weißen Zwerge in den planetarischen Nebeln aufgeklärt ist und in gleicher Hinsicht das anscheinende Fehlen der Exnovae bei den Neuen Sternen von 1054, 1572 und 1604 durchschaut werden kann.

Diedrich Wattenberg,
Archenhold-Sternwarte, Berlin-Treptow.

[16] H. Zanstra, Luminosity of planetary nebulae and stellar temperatures. Publ. Astrophysic. Obs. Victoria IV [1931]; Untersuchungen über planetarische Nebel II. Z. Astrophysik **2**, 329 [1931].

[17] F. Whipple, Harvard Bull. Nr. 905 [1938]; ref. in Weltall **39**, 35 [1939].

Die Analyse des Erd-Magnetfeldes und seiner Variationen[1]

Das Department of Terrestrial Magnetism der Carnegie Institution of Washington hat sich durch seine grundlegenden geophysikalischen Arbeiten eine führende Stellung auf dem Gebiet der erdmagnetischen Forschung erworben. Es ist daher in hohem Maße zu begrüßen, daß nunmehr seitens dieser autoritativen Stelle eine umfassende Darstellung aller erdmagnetischen Beobachtungen der letzten Jahre und Jahrzehnte (bis 1945) erfolgt ist, und zwar in der Veröffentlichung Nr. 578[2], die alles für die Praxis

[1] Bericht über E. H. Vestine, L. Laporte, I. Lange u. W. E. Scott, The Geomagnetic Field, Its Description and Analysis. Carnegie Institution of Washington, Publication Nr. 580, vi + 390 S., Washington 1947.

[2] Description of the Earth's main magnetic field and its secular change, 1905—1945; vgl. Referat von S. Chapman, Nature [London] **161**, 160 [1948].

Wichtige enthält, sowie in der — hier ausschließlich zu besprechenden — Veröffentlichung Nr. 580, die in erster Linie rein wissenschaftliche Gesichtspunkte betont.

Dieses Werk behandelt die ausführlichen Analysenergebnisse für das Hauptfeld und dessen Säkularvariation sowie die weiteren, verschiedenartigsten Variationen und Fluktuationen des Erd-Magnetfeldes, von der geomagnetischen Variation mit der Sonnenfleckenperiode bis zu den Mikro-Pulsationen von 1 sec Dauer und weniger. Die Anfangskapitel (II u. III) enthalten die Resultate einer — für jede Feldkomponente (X, Y, Z) bis zu den Kugelfunktionen 6. Ordnung ausgedehnten — *Potential-Analyse* des beharrlichen Erd-Hauptfeldes (HF; ausgeglichenes Oberflächenfeld, ohne lokale Störungen) auf Grund der erdmagnetischen Weltkarten für 1945 sowie dessen Säkularvariation (SV) für die vier Pentaden um 1912,5, 1922,5, 1932,5 und 1942,5. Wie aus den Tabellen der Residuen „beobachtetes minus berechnetes Feld" zu ersehen ist, wird das HF durch diese Entwicklung in der Gesamtfeldstärke F auf 1—2% genau wiedergegeben, nur in den Polarzonen treten stellenweise Abweichungen bis zu 5% und mehr auf. Ein systematisches Außenfeld sowie ein nennenswerter potentialloser Anteil wurde nicht nachgewiesen, das (permanente) Erd-Magnetfeld dürfte demnach — wie seit langem vermutet — praktisch vollständig auf *innere* Ursachen zurückzuführen sein. Das magnetische Moment der Erde beträgt $8{,}06 \times 10^{25}\,\Gamma\,\mathrm{cm}^3$; die ständige Abnahme desselben um etwa $^1/_{1000}$ pro Jahr, wie sie noch für 1902—1920 von J. Bartels bestätigt wurde, hat sich seitdem in verlangsamtem Maße fortgesetzt und betrug von 1940 bis 1945 nur noch 0,3 ‰ jährlich. Der geomagnetische Nordpol (nördl. Spurpunkt der magnetischen Achse) lag 1945 auf 78,6° N / 70,1° W, gegen 78,5° N / 69° W im Jahre 1922.

Neuartig sind Tabellen des H- und SV-Feldes für die Höhen von 100, 300, 500, 1000 und 5000 km über der Erdoberfläche, berechnet durch „analytische Fortsetzung" aus den Potential-Konstituenten 1.—6. Ordnung des Oberflächenfeldes. Sie sind für die Ionosphärenforschung und ihre Anwendungsgebiete (Funkwellenausbreitung) von großer theoretischer und praktischer Bedeutung. Ähnliches dürfte für die — gleichfalls erstmalig berechneten und tabellierten — *Vertikalgradienten* $\partial X/\partial r$, $\partial Y/\partial r$, $\partial Z/\partial r$ des HF sowie $\partial \dot{X}/\partial r$, $\partial \dot{Y}/\partial r$, $\partial \dot{Z}/\partial r$ des SV-Feldes an der Erdoberfläche gelten.

Von besonderem physikalischen Interesse sind zahlreiche Kartendarstellungen berechneter, äquivalenter *Stromfunktionen* sowohl für das HF als auch für die SV in 0, 1000, 2000 und 3000 km Tiefe. Die Verff. stützen sich nämlich zur Deutung des Erd-Magnetfeldes (und seiner SV) weitgehend auf die hypothetische Möglichkeit, daß dieses durch planetarische, zeitlich veränderliche elektrische Ströme im Erdinnern hervorgerufen sein könnte. Anlehnend an die von Chapman nachgewiesene starke Zunahme der Leitfähigkeit unterhalb 700 km Tiefe wird, um die erforderliche Permanenz derartiger Stromsysteme zu erklären, rein spekulativ die Möglichkeit einer *Supraleitung* im tiefen Erdinnern erwogen. — Vestine und Mitarbb. gelangen auf Grund ihrer diesbezüglichen analytischen Untersuchungen zu der Schlußfolgerung: „*Wenn das erdmagnetische Oberflächenfeld (HF und SV) durch interne, zeitlich veränderliche (Flächen-)Ströme bedingt ist, müßten diese am wahrscheinlichsten in 1000—3000 km Tiefe verlaufen.*" Grundsätzlich ist zu bemerken, daß diese von den Verff. stark hervorgehobenen (äquivalenten) Stromsysteme rein physikalische Interpretationen darstellen, denen keineswegs eine unbedingte Realität beizumessen ist. Der eigentliche Ursprung des HF und seiner SV ist nach wie vor unbekannt; Verff. betonen abschließend zu Kap. III die Notwendigkeit umfassender experimenteller Forschungen (Verhalten der Materie unter extrem hohen Drucken!), aus denen sich Anhaltspunkte für dieses Kardinalproblem des Erdmagnetismus gewinnen ließen.

Die Kap. IV—VIII behandeln nacheinander die Variation RV der geomagnetischen Elemente (Schwankung der Jahresmittel mit der Sonnenfleckenperiode), die Variation AV (jährlicher Gang der Monatsmittel), die aperiodische Nachstörung P der magnetischen Stürme, die sonnentägigen Variationen S_q und S_D an magnetisch ruhigen bzw. gestörten Tagen sowie die (irregulären) sturmzeitlichen Schwankungen D_{st} und D_i des Erdfeldes. Alle diese periodischen und unperiodischen *Variationen* beruhen — im Gegensatz zur langfristigen SV — in erster Linie auf *äußeren* Vorgängen (solare Wellen- und Partikelstrahlung, durch atmosphärische Gezeiten erzeugte ionosphärische Stromsysteme, äquatorialer Ringstrom), sie beeinflussen das primäre, steuernde Erd-Innenfeld (HF) allgemein nur geringfügig. Einzelne besonders starke Fluktuationen (magnetische Stürme) bedingen auch in mittleren geographischen Breiten kurzzeitig Verminderungen der H-Intensität um 10% und mehr sowie Deklinationsschwankungen bis zu 5°. Durch ihre bekannten, weltweiten Störungen im drahtlosen Verkehr sowie durch ihre sonstigen Begleiterscheinungen (ausgedehnte, intensive Polarlichter, Induktion starker Erdströme) sind insbesondere die komplizierten physikalischen Vorgänge der magnetischen Stürme von erheblichem Interesse. An Hand der umfangreichen Beobachtungsergebnisse der letzten vier Jahrzehnte, vor allem des Polarjahres 1932/33, werden die charakteristischen Grundzüge (Abhängigkeit von der geographischen bzw. geomagnetischen Breite und Länge, jahreszeitliche Amplitudenunterschiede usw.) aller zuvor genannten Variationen eingehend dargestellt.

Kap. IX befaßt sich auf *statistischer* Grundlage mit den Schwankungen (Variationen) aller Art (geomagnetic fluctuations) der erdmagnetischen Elemente H, D und Z. Die Theorie der allgemein gebräuchlichen La-Cour-Variometer wird dargelegt, vor allem hinsichtlich ihres Ansprechens auf kurzperiodische Fluktuationen des Erd-Magnetfeldes. Schwankungen über 10 sec Periodenlänge werden von diesen Variometern (Eigenperiode rund 2 sec) in Phase und Amplitude praktisch einwandfrei registriert. Zur genauen Messung

der (Mikro-) Pulsationen unter 10-sec-Periode sind sog. Fluxmeter (Spulen über 5 m Durchmesser) erforderlich, deren Arbeitsweise ebenfalls kurz beschrieben wird. Die weltweite, für viele praktische Anwendungen wichtige *Verteilung* erdmagnetischer Feldschwankungen (Gesamtamplituden) wird für verschiedene Zeitabschnitte (Tag, Woche, 1—12 Monate) in Tabellen und zahlreichen Kartenskizzen durch geeignete Häufigkeits- bzw. Wahrscheinlichkeitswerte dargestellt. Die höchsten Amplituden und zugleich größten Häufigkeiten für die Schwankungen insbesondere der Elemente H und D treten durchweg in den Polargebieten, vor allem in den Ringzonen maximalen Polarlicht-Vorkommens (s. u.) auf.

Unter den Fluktuationen von 10 sec bis einschl. 10 h Dauer sind diejenigen mit einer Periode von etwa 50 sec am häufigsten. Ihre Amplituden betragen zumeist nur wenige γ ($1\ \gamma = 10^{-5}\ \Gamma$), jedoch sind insbesondere bei den Schwankungen über 1 h Dauer und in höheren Breiten („Bay-Störungen"; s. u.) H-Änderungen von 500 γ und mehr möglich. — Die erdmagnetischen *Pulsationen* unter 10 sec Periodendauer sind vielfach eng mit intensiven, sporadischen E-Schicht-Ionisationen verknüpft. Eine geeignete Registrierung derartiger Fluktuationen kann als ein gutes Maß für den Störungsgrad von Radio-Kurzwellen angesehen werden, da die magnetischen Feldschwankungen der Empfangsstärke proportional sind.

Im Kap. X werden die ionosphärischen (zirkumpolaren) *Stromsysteme einzelner magnetischer Stürme* des Polarjahres 1932/33 abgeleitet und ferner die Zusammenhänge der geomagnetischen Fluktuationen mit kosmischen Erscheinungen (solare Wellen-, Partikel- und Ultrastrahlung) erörtert. Diese, von Vestine erstmalig konstruierten Stromsysteme (als Flächenströme in etwa 150 km Höhe angenommen) stimmen — wenigstens während der Sturm-Hauptphasen — grundsätzlich mit dem von Chapman vorgeschlagenen, idealisierten Strom-Modell (D_{st}- plus S_D-Anteil) für magnetische Stürme mittlerer Stärke überein. Sehr eindrucksvoll tritt jeweils die intensive Konzentration der Stromlinien, entsprechend einer Stromstärke bis $> 10^6$ A, in dem nur 100—200 km breiten *Gürtel maximaler Polarlichthäufigkeit* hervor. Dieser verläuft als *ovale* Ringzone in 20° bis 30° Distanz um den geomagnetischen Nordpol.

Das *Stromsystem magnetischer Bay-Störungen* ähnelt weitgehend dem der S_D-Variation, jedoch tritt auch deutlich ein überlagerter sturmzeitlicher D_{st}-Anteil in Erscheinung. Wie aus dem raschen Abklingen derartiger Störungen (Dauer 1—5 h) sowie aus ihrer engen Verknüpfung mit der Absorption elektrischer Wellen (radio blackouts) hervorgeht, müssen ihre erzeugenden — durch solare UV-Ausbrüche [verstärkte Ionisation!] bedingten — Stromsysteme in verhältnismäßig niedrigen Schichten (unter 100 km) verlaufen.

Über die amerikanischerseits von Forbush (1946) entdeckte, plötzliche Intensitätszunahme der kosmischen Höhenstrahlung *vor* einzelnen magnetischen Stürmen in Verbindung mit chromosphärischen Eruptionen auf der Sonne, hat Ehmert[3] ausführlich berichtet. Dieser weist, ebenso wie Vestine, auf die Wirkung eines (hypothetischen) äquatorialen *Ringstroms* hin. Der zeitweilige Intensitätsrückgang der Ultrastrahlung mit Einsetzen der Hauptphase starker magnetischer Stürme ist möglicherweise auf die verstärkte magnetische Abschirmung eines derartigen, durch solare Eruptionen (Partikelstrahlung!) plötzlich intensivierten (permanenten) Ringstromes zurückzuführen.

Die wahre Natur der für viele ionosphärische Erscheinungen (momentane Änderungen der F-Schicht-Ionisation, rascher Höhenanstieg der F-Schicht von 300 auf 1000 km u. a.), insbesondere für die magnetischen Stürme, primär verantwortlichen (eruptiven) *Korpuskularstrahlung* der Sonne ist im Grunde noch unbekannt. Man nimmt allgemein ausgedehnte, elektrostatisch insgesamt neutrale Schwärme oder Wolken an, die sowohl aus Protonen und Elektronen, als auch aus Ionen, Elektronen und neutralen Partikeln bestehen könnten. Weiter wird auf statistische Schwankungen der Partikelstrahlung („Wolkenstruktur") hingewiesen, welche in den kurzperiodischen Feldfluktuationen von $\sim$ 50 sec zum Ausdruck kommen. Die lineare Ausdehnung derartiger „Einzelwolken" in ihrer Flugrichtung ergibt sich hieraus zu rd. 50 000 km.

Am Schluß (Kap. XI) werden, im Hinblick auf die Praxis, die Möglichkeiten einer *Vorhersage* kurzfristiger erdmagnetischer Variationen und mit diesen verknüpfter Erscheinungen erörtert. Zum Beispiel wird auf die enge Korrelation erdmagnetischer Störungen (durch 3-stdg. Kennziffern —'K-indices'— ausgedrückt) mit der Sonnenfleckentätigkeit hingewiesen; die Wiederkehr ausgeprägter Fleckengruppen nach einer Sonnenrotation von rd. 27 Tagen gestattet bereits eine grobe Vorhersage von magnetischen Stürmen. Allgemein ist für verschiedene Variationen (S_q, P bzw. D_{st}) die Anwendung von bestimmten Vorhersagemethoden möglich. Die Verff. betonen allerdings, daß diese (versuchsweise von ihnen entwickelten) Methoden für praktische Zwecke noch zu kompliziert seien.

Neue Kartenskizzen der prozentualen täglichen Polarlichthäufigkeit auf der Nord- und Südhemisphäre werden abschließend gebracht, ferner solche der Häufigkeitsprozente von Nordlichtern zu bestimmten *Tagesstunden*. Zusammen mit den Tabellen und graphischen Darstellungen des Kap. IX bilden diese Karten bereits eine wertvolle statistische Unterlage für praktische Fragen und theoretische Untersuchungen, in denen die geographische Verteilung von erdmagnetischen Störungen (Häufigkeit und Amplituden der Feldschwankungen aller Art) von Interesse ist.

Alles in allem stellt diese Veröffentlichung von Vestine und Mitarbb., ebenso wie die vorangegangene[2], auf dem Gebiet des Erdmagnetismus ein einzigartiges Werk von hohem wissenschaftlichem Rang dar. Beide Bände zusammen können als ein wertvoller Rechenschaftsbericht des Department of Terrestrial Magnetism über dessen bisherige, mehrere Jahrzehnte umfassende erdmagnetische Forschungstätigkeit angesehen werden.

Hans G. Macht, Kiel.

[3] A. Ehmert, Z. Naturforschg. **3a**, 264 [1948].