

Werk

Jahr: 1933

Kollektion: fid.geo

Signatur: 8 GEOGR PHYS 203:9

Digitalisiert: Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek Göttingen

Werk Id: PPN101433392X_0009

PURL: http://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?PPN101433392X_0009

LOG Id: LOG_0026

LOG Titel: Zur physikalischen Theorie des Erdmagnetismus

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

Zur physikalischen Theorie des Erdmagnetismus*)

Von **T. Schlomka**, Greifswald — (Mit 1 Abbildung)

Es gibt drei Arten erdmagnetischer Theorien: die Permanent-, Strom- und Rotations-theorien. Die Permanenttheorie befriedigt nicht recht; die Stromtheorie zeigt sich bei näherer Betrachtung als undurchführbar; so bleiben nur die Rotationstheorien zur physikalischen Erklärung des erdmagnetischen Feldes übrig. Von den Rotationstheorien scheidet wiederum die meisten aus, weil sie viel zu kleine Magnetfelder liefern; lediglich diejenigen, die Abänderungen an den elektrodynamischen Grundgesetzen vornehmen, führen zu auch quantitativ befriedigenden Ergebnissen. Eine derartige Rotationstheorie wird etwas näher dargelegt. Gravitation und Erdmagnetismus finden ihre Erklärung, wenn man annimmt, daß die Kraft zwischen zwei Protonen (\mathfrak{R}_{++}), die Kraft zwischen zwei Elektronen (\mathfrak{R}_{--}) und die Kraft zwischen einem Proton und einem Elektron (\mathfrak{R}_{+-}) in folgendem Verhältnis zueinander stehen:

$$\mathfrak{R}_{++} : \mathfrak{R}_{--} : \mathfrak{R}_{+-} = (1 + \alpha) : (1 + \beta) : 1.$$

α und β sind annähernd entgegengesetzt gleiche Konstanten der Größenordnung 10^{-19} , deren genaue Werte aus den beiden Beziehungsgleichungen

$$(\beta + \alpha) = -0,80 \cdot 10^{-36} \quad \text{und} \quad (\beta - \alpha) = +0,13 \cdot 10^{-18}$$

erhalten werden. Der Weg, auf dem man zu diesen Beziehungsgleichungen gelangt, wird angedeutet. Zum Schluß wird auf einige Folgerungen und Prüfungsmöglichkeiten der entwickelten Theorie hingewiesen.

1. Permanenttheorie. Die naheliegendste Erklärung für das Vorhandensein des beharrlichen Erdmagnetismus liefert die Annahme einer permanenten Magnetisierung des Erdkörpers. Da 100 km unterhalb der Erdoberfläche aber bereits eine Temperatur von 1000° herrschen dürfte, kommen noch tiefer gelegene Teile des Erdkörpers als Träger der permanenten Magnetisierung sicher nicht in Frage; denn schon bei einer derartigen Temperatur hat kein Körper mehr ferromagnetische Eigenschaften**). Die permanente Magnetisierung müßte sich also auf die Erdkruste bis zu 100 km Tiefe beschränken. Die uns zugänglichen Oberflächenschichten sind aber nur ganz schwach magnetisierbar. Man müßte daher noch die Annahme machen, daß die geologischen Tiefengesteine einen höheren Eisen- bzw. Magnetitgehalt haben als die Oberflächengesteine (Nippoldt). Das

*) Erweiterung eines Vortrages vom 6. Oktober 1932 auf der 10. Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft. Die beiden ersten Abschnitte wurden beim Vortrag der Kürze der Zeit halber fortgelassen. Die im dritten Abschnitt dargelegte Theorie erscheint demnächst ausführlich in Gerlands Beitr. z. Geophys. unter dem Titel: „Gravitation und Erdmagnetismus. Teil I“.

***) Die früher des öfteren geäußerte Vermutung einer wesentlichen Druckabhängigkeit des Curiepunktes ist experimentell widerlegt worden durch die bei der Carnegie Institution ausgeführten Versuche von L. H. Adams und J. W. Green: The influence of hydrostatic pressure on the critical temperature of magnetization for iron and other materials. Phil. Mag. (7) **12**, 361—380 (1931).

ist eine zwar direkt nicht nachprüfbar, aber auch nicht von vornherein abzulehnende Hypothese. Ungeklärt bleibt dabei jedoch die Frage, woher denn überhaupt die permanente Magnetisierung der Erdkruste stammt: Das Vorhandensein magnetisierbarer Materialien ist ja noch kein Grund für ihr Magnetisiertsein. Die Magnetisierung kann zwar früher einmal durch ein äußeres kosmisches Magnetfeld hervorgerufen sein. Aber wodurch ist dieses kosmische Magnetfeld damals entstanden und warum ist es jetzt nicht mehr vorhanden?

Zusammenfassend läßt sich also sagen, daß das an der Erdoberfläche vorhandene Magnetfeld zwar von einer permanenten Rindenmagnetisierung herrühren mag, daß aber diese Permanenttheorie erst dann als eine befriedigende Erklärung des Erdmagnetismus betrachtet werden kann, wenn die permanente Rindenmagnetisierung nicht einfach postuliert, sondern aus anderen Erscheinungen oder Tatsachen näher begründet wird.

2. Stromtheorie. Ähnliches gilt von einer zweiten Art erdmagnetischer Theorien, der Stromtheorie, die das Magnetfeld der Erde erklären will durch Ströme, die auf oder unterhalb der Erdoberfläche von Osten nach Westen fließen sollen. Damit das tatsächlich beobachtete Feld der Form und Größe nach richtig herauskommt, müßte der in Richtung der Parallelkreise fließende „Flächen“-Strom die Dichte $0,8 \cdot \sin \vartheta$ Amp./cm haben, wenn man mit ϑ den Polabstand bezeichnet und die Stromdichte auf der Erdoberfläche längs eines Meridians mißt. Das bedeutet folgendes: Macht man die in der Literatur vertretene Annahme des Vorhandenseins freier Elektronen in einer unterhalb der Erdoberfläche gelegenen „dünnen“ Kugelschale, so müßten diese der Erdrotation voraneilen mit einer Winkelgeschwindigkeit ω , die bestimmt ist durch die Gleichung

$$\omega = \frac{c \cdot M}{a \cdot h \cdot \rho} \dots \dots \dots (1)$$

wo c die Lichtgeschwindigkeit in cm/sec bedeutet, M die fiktive mittlere Magnetisierungsdichte des Erdkörpers in Gauß, h die Kugelschalendicke in cm, ρ die Ladungsdichte der freien Elektronen in elektrostatischen Einheiten und a den Erdradius in cm.

Diese Beziehung ergibt sich folgendermaßen: Das äußere Magnetfeld der Erde wird in erster Annäherung wiedergegeben durch

$$\mathfrak{H}_{\text{Erde}}^a = \frac{m}{w \cdot r^5} \cdot \{ [\mathbf{r} \cdot [\mathbf{w} \cdot \mathbf{r}]] - 2\mathbf{r}(\mathbf{w}, \mathbf{r}) \} \dots \dots \dots (2)$$

wenn man mit m den absoluten Betrag des magnetischen Momentes der Erde bezeichnet. Die entsprechende Darstellung des äußeren Magnetfeldes einer mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotierenden, mit der elektrischen Oberflächenladung Q versehenen Kugel des Radius a ist

$$\mathfrak{H}_{\text{rot. Kugel}}^a = \frac{-Q \cdot a^2}{3 \cdot c \cdot r^5} \cdot \{ [\mathbf{r} \cdot [\mathbf{w} \cdot \mathbf{r}]] - 2\mathbf{r}(\mathbf{w}, \mathbf{r}) \} \dots \dots \dots (3)$$

wobei Q elektrostatisch und \mathfrak{H} elektromagnetisch zu messen sind. Sollen die beiden Magnetfelder übereinstimmen, so muß

$$3 \cdot c \cdot m = -Q \cdot w \cdot a^2 \dots \dots \dots (4)$$

sein. Sind die freien Elektronen in einer „dünnen“ Schale mit der Schalendicke h enthalten, so ist die „Oberflächen“-Ladung

$$-Q = 4\pi a^2 \cdot h \cdot \rho \dots \dots \dots (5)$$

wo ρ den absoluten Betrag der Raumladungsdichte der Elektronen bedeutet. Bezeichnet man die fiktive mittlere Magnetisierungsdichte der Erde mit M , so ist

$$m = \frac{4}{3}\pi a^3 \cdot M \dots \dots \dots (6)$$

Einsetzen von (6) und (5) in (4) liefert die obige Gleichung (1).

Setzt man die Zahl der angenommenen freien Elektronen gleich der Zahl der Leitungselektronen in Kupfer — angenähert ein Leitungselektron je Kupferatom, also $8 \cdot 10^{22}$ freie Elektronen je cm^3 —, so wird $\rho = 8 \cdot 10^{22} \cdot 4,77 \cdot 10^{-10} = 38,2 \cdot 10^{12}$ est. Ladungseinheiten je cm^3 . Mit einer Kugelschalendicke von $h = 10 \text{ km} = 10^6 \text{ cm}$, $M = 0,08$ Gauß, $c = 3 \cdot 10^{10} \text{ cm/sec}$ und $a = 637 \cdot 10^6 \text{ cm}$ erhält man $w = 1 \cdot 10^{-19} \text{ sec}^{-1}$.

Es müßten sich bei den zugrunde gelegten Zahlenwerten die angenommenen freien Elektronen mit einer Geschwindigkeit

$$v = w \cdot a \cdot \sin \vartheta = 637 \cdot 10^{-13} \cdot \sin \vartheta \text{ cm/sec}$$

relativ zu den den Erdkörper bildenden Atomen im Sinne der Erdrotation verschieben. Selbst wenn man die Zahl der freien Elektronen 10^8 mal kleiner annimmt, also ein freies Elektron auf 10^8 Atome ansetzt, erhält man bei gleichem h erst ein v von $0,006 \cdot \sin \vartheta \text{ cm/sec}$. Es ergäben sich also durchaus zulässige Wandergeschwindigkeiten. Trotzdem ist diese Elektronenstromtheorie recht aussichtslos, und zwar

- a) weil die Existenz freier Elektronen innerhalb der Erdkruste eine vollkommen unmögliche Annahme ist;
- b) weil überhaupt kein Grund vorhanden ist dafür, daß die freien Elektronen schneller um die Erdachse rotieren als die sie umgebende Materie;
- c) weil der Strom eine viel zu große Joulesche Wärme erzeugen würde.

Zu a): Die Leitfähigkeit des Erdbodens ist keine metallische, sondern eine elektrolytische; innerhalb der Erdkruste sind also keine freien Elektronen vorhanden, sondern nur positive und negative Ionen. Einen Anhalt für die ungefähre Größe N der mittleren Ionendichte innerhalb der Erdkruste erhält man aus der bekannten Gleichung für die spezifische Leitfähigkeit, $\kappa = N \cdot e \cdot (v_- + v_+)$, wenn man darin für $(v_- + v_+)$ die Größenordnung der Ionenbeweglichkeit bei flüssigen

Elektrolyten und festen Salzen ($1 \cdot 10^{-3}$ cm²/sec Volt) und für die Elementarladung e den Wert $1,6 \cdot 10^{-19}$ Amperesekunden einsetzt. Es wird dann*)

- bei einem α_1 von 10^{-7} bis 10^{-5} Ohm⁻¹ · cm⁻¹ (trockener Boden) $N_1 = 10^{15}$ bis 10^{17} cm⁻³;
- bei einem α_2 von 10^{-5} bis 10^{-4} Ohm⁻¹ · cm⁻¹ (feuchter Boden) $N_2 = 10^{17}$ bis 10^{18} cm⁻³;
- bei einem α_3 von 10^{-2} Ohm⁻¹ · cm⁻¹ (Seewasser) $N_3 = 10^{20}$ cm⁻³.

Bei ganz trockenem Boden ($N_1 = 10^{15}$ cm⁻³) brauchen also z. B. nur alle in den oberen 10 km enthaltenen positiven Ionen mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = 1 \cdot 10^{-11}$ sec⁻¹, also mit der linearen Geschwindigkeit $v = 0,006 \cdot \sin \vartheta$ cm/sec hinter den negativen Ionen und nichtionisierten Molekülen zurückzubleiben. Bei feuchtem Boden und Seewasser wird die erforderliche Ionenbewegung noch einige Zehnerpotenzen kleiner. Man erhält also scheinbar keine von vornherein unmöglichen Relativgeschwindigkeiten der in der Erdkruste tatsächlich vorhandenen positiven und negativen Ionen. In Wirklichkeit ist aber auch diese Ionenstromtheorie aus den Gründen b) und c) abzulehnen.

Zu b): Die Stromtheorie stammt von Ampère, der z. B. in einem von ihm und Babinet verfaßten Buche**) des öfteren darauf hinweist, daß das erdmagnetische Feld von ostwestlichen Strömen herrühren könne, und auch Gründe für die Existenz der Ströme namhaft macht. Diese Gründe (Rotation des Erd-

*) Zu denselben Werten der durchschnittlichen Ionendichte kommt man, wenn man beachtet, daß Erdboden nicht ein einheitlicher Elektrolyt ist, sondern zum großen Teile aus isolierendem Material besteht zwischen dessen Poren usw. sich der eigentliche Elektrolyt befindet. Nimmt dieser etwa den k -ten Teil des Gesamtvolumens ein, so muß die im Elektrolyten vorhandene wirkliche Ionendichte N' (= Zahl der Ionenpaare in 1 cm³ des Elektrolyten) natürlich k -mal größer sein als die oben berechneten N_1 - und N_2 -Werte. Da aber in 1 cm³ Erdboden nur $1/k$ cm³ Elektrolyt vorhanden ist, ist die im Erdboden durchschnittlich vorhandene Ionendichte auch nur $1/k \cdot N'$, also N_1 bzw. N_2 .

**) Ampère et Babinet, Exposé des nouvelles découvertes sur l'électricité et le magnétisme. Deutsch unter dem Titel „Darstellung der neuen Entdeckungen über die Elektrizität und den Magnetismus“; Leipzig 1822. In den Artikeln 18, 19, 27, 28, 30, 31, 72 und 88 findet man Hinweise auf die Stromtheorie des Erdmagnetismus; der Artikel 87 enthält eine etwas nähere Diskussion, aus der des historischen Interesses halber folgende Sätze hier wiedergegeben seien:

„Die Richtung der Ströme in der Erdkugel von Ost nach West ist deswegen merkwürdig, weil sie der Bewegung der Erde fast entgegengesetzt ist, mit welcher sie auch ohne Zweifel in einer Beziehung steht, die sich noch nicht unwiderleglich dartun läßt. In der Hypothese, nach welcher der Raum mit einer sehr elastischen Materie erfüllt sein soll, würde die scheinbare Bewegung dieser Materie in bezug auf die Kugel auch ziemlich mit der Richtung der elektrischen Ströme zusammenfallen, die vielleicht dieser Ursache zuzuschreiben ist.“

„Zufolge der bekannten Erfahrung, daß zwei Körper von einer und derselben Natur, aber verschieden erwärmt, galvanisch aufeinander wirken, ist es übrigens wahrscheinlich, daß die Ströme in der Erdkugel zum Teil von der Erwärmung durch die Sonne herrühren, welche, in ihrer täglichen Bewegung alle Meridiane von

körpers durch den Weltäther; Thermoelektrizität; galvanische Ströme) wird man heute aber nicht mehr gelten lassen. Es sind meines Wissens im Laufe der inzwischen verstrichenen 110 Jahre jedoch keine besseren Gründe angegeben worden*). Die Erdrotation für die hypothetischen Ströme verantwortlich zu machen, erscheint vollkommen aussichtslos; denn bei konstanter Umdrehungsgeschwindigkeit ist irgendein Grund für das Vorseilen negativer Ionen (bzw. freier Elektronen) oder für das Zurückbleiben positiver Ionen nicht vorhanden. Daß auch elektromotorische Kräfte irgendwelchen Ursprungs kaum in Frage kommen, ersieht man aus folgender Überlegung:

Wenn der „Flächen“-Strom in einer Kugelschale der Dicke 10 km fließen würde, so müßte er die Dichte $j = 0,8 \cdot 10^{-6} \cdot \sin \vartheta$ Amp./cm² haben. Jedes cm³ der Erdrinde hat einen spezifischen Widerstand $\sigma = 1/\kappa$ Ohm · cm (vgl. die obigen κ -Werte). Die Stromdichte j ist nur dann möglich, wenn die senkrecht zu j liegenden, 1 cm voneinander entfernten Flächen des betrachteten cm³ eine Spannung von E Volt aufweisen, wo

$$\mathcal{E} \left(\frac{\text{Volt}}{\text{cm}} \right) = \sigma (\text{Ohm} \cdot \text{cm}) \cdot j \left(\frac{\text{Amp.}}{\text{cm}^2} \right).$$

Mit einem $\sigma_1 = 10^7$ Ohm · cm (trockener Boden) ergäbe sich das erforderliche

$$E_1 = 8 \cdot \sin \vartheta \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} = 8 \cdot 10^5 \cdot \sin \vartheta \frac{\text{Volt}}{\text{km}}$$

und die längs eines Parallelkreises gemessene Gesamtspannung

$$P_1 = E_1 \cdot 2 a \pi \cdot \sin \vartheta = 8 \cdot 10^5 \sin \vartheta \cdot 40000 \cdot \sin \vartheta = 3 \cdot 10^{10} \cdot \sin^2 \vartheta \text{ Volt.}$$

Selbst wenn die betrachtete 10 km dicke Erdschale überall die Leitfähigkeit von ganz feuchtem Erdboden hätte ($\sigma_2 = 10^4$ Ohm · cm), wäre noch ein

$$E_2 = 8 \cdot 10^{-3} \cdot \sin \vartheta \frac{\text{Volt}}{\text{cm}} = 800 \cdot \sin \vartheta \frac{\text{Volt}}{\text{km}}$$

und eine Parallelkreis-Gesamtspannung $P_2 = 3 \cdot 10^7 \cdot \sin^2 \vartheta$ Volt erforderlich!

Ost nach West durchlaufend, allmählich alle Teile der Erde unter diesen verschiedenen Meridianen wärmt, und so Ströme nach einer bestimmten Richtung etabliert.“

„Außerdem ist es, abgesehen von dieser Betrachtungsweise, kaum möglich, daß nicht bei einer Vereinigung von heterogenem Material, wie die Erde ist, die galvanischen Wirkungen Ströme hervorbringen sollten, die dann, selbst wenn wir sie als sehr wenig intensiv annehmen, wegen ihrer großen Menge unfehlbar einen wahrnehmbaren Effekt hervorbringen würden.“

*) F. Auerbach schreibt in Winkelmanns Handb. d. Phys. 5, 508 (1908) und in Grätz' Handb. d. Elektr. 4, 1112 (1920): „Am meisten Anspruch auf Beachtung verdient jedenfalls die Vorstellung, daß es sich um Verschiebungsströme handelt, und zwar um scheinbare, d. h. nur relativ gegen die Erddrehung existierende; mit anderen Worten, daß die Erde durch den ruhenden Äther hindurch rotiert, und daß der so relativ zurückbleibende Äther das Phänomen der elektrischen Ost-West-... Strömungen erzeugt.“ Das ist weiter nichts als die erste Ampèresche Erklärung in moderner Bezeichnungsweise; allerdings dürfte der Ausdruck „Verschiebungsstrom“ hier nicht am Platze sein.

Zu c): Die von einem Strom J (Ampere) beim Durchfließen eines Widerstandes R (Ohm) sekundlich erzeugte Stromwärme W (Watt) ist bestimmt durch $W = J^2 \cdot R$. Durchfließt der Strom das Medium mit gleichmäßiger Stromdichte, so wird die Wärme gleichmäßig in den einzelnen Volumenelementen erzeugt; man hat dann eine sekundlich erzeugte Stromwärmedichte

$$S = j^2 \cdot \sigma \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^3} = j^2 \sigma \frac{\text{Joule}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^3},$$

wo j die Stromdichte in Amp./cm² und σ den spezifischen Widerstand in Ohm · cm bedeuten. Die hier zu benutzende Stromdichte ergibt sich aus der Flächenstromdichte $0,8 \cdot \sin \vartheta$ Amp./cm durch Division mit der in cm zu messenden Dicke h des fiktiven Flächenstromes, also $j = \frac{0,8}{h} \cdot \sin \vartheta$ Amp./cm². Die in jedem cm³ in jeder Sekunde erzeugte Wärme ist demnach bestimmt durch

$$S = \frac{0,64}{h^2} \cdot \sin^2 \vartheta \cdot \sigma \frac{\text{Joule}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^3} \dots \dots \dots (7)$$

Will man die gesamte vom Strom sekundlich erzeugte Wärme W haben, so kann man im vorliegenden Falle nicht einfach S mit dem vom Strome durchflossenen

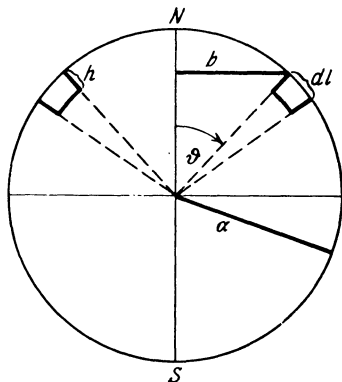


Fig. 1

Volumen $4\pi a^2 \cdot h$ multiplizieren, da S nicht konstant ist. Man hat vielmehr S mit einem geeigneten Volumenelement zu multiplizieren und dann die Integration auszuführen. Als Volumenelement wählen wir (vgl. Fig. 1) einen Ring mit unendlich kleinem viereckigen Querschnitt; die Querschnittsseiten sind h und $dl = a \cdot d\vartheta$, der Ringhalbmesser ist $b = a \cdot \sin \vartheta$, die Ringlänge (Umfang) $2b\pi = 2 \cdot a \cdot \pi \cdot \sin \vartheta$, das Volumenelement demnach

$$d\tau = h \cdot a \, d\vartheta \cdot 2\pi a \sin \vartheta.$$

Es ist dann

$$W = \int S \cdot d\tau = 2\pi a^2 \cdot \frac{0,64 \cdot \sigma}{h} \cdot \int_0^\pi \sin^3 \vartheta \cdot d\vartheta,$$

also

$$W = 4\pi a^2 \cdot \frac{1,28 \cdot \sigma}{3 \cdot h} \frac{\text{Joule}}{\text{sec}} \dots \dots \dots (8)$$

Mit einer Schichtdicke $h = 10^6$ cm und einem $\sigma_1 = 10^7$ Ohm · cm (ganz trockener Boden) bzw. einem $\sigma_2 = 10^4$ Ohm · cm (sehr feuchter Boden) erhält man aus den Gl. (7) und (8) unter Berücksichtigung der Beziehung 1 cal = 4,2 Joule:

$$S_1 = 0,15 \cdot 10^{-5} \cdot \sin^2 \vartheta \frac{\text{cal}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^3}; \quad W_1 = 5 \cdot 10^{18} \frac{\text{cal}}{\text{sec}} = 1,6 \cdot 10^{26} \frac{\text{cal}}{\text{Jahr}};$$

$$S_2 = 0,15 \cdot 10^{-8} \cdot \sin^2 \vartheta \frac{\text{cal}}{\text{sec} \cdot \text{cm}^3}; \quad W_2 = 5 \cdot 10^{15} \frac{\text{cal}}{\text{sec}} = 1,6 \cdot 10^{23} \frac{\text{cal}}{\text{Jahr}}.$$

Setzt man die Schichtdicke gleich 100 km, so werden diese Werte zehnmal kleiner. Aber auch dann noch kommt man zu einer viel zu hohen Wärmeerzeugung, wie ein Vergleich mit anderen bekannten Werten zeigt: Kontraktionswärme der Erde = $8 \cdot 10^{22}$ cal/Jahr; Wärmeabgabe der Erde durch Strahlung = 10^{13} cal/sec; radioaktive Wärmeerzeugung in Granit und sauren Gesteinen = $3 \cdot 10^{13}$ cal/g · sec = $8 \cdot 10^{13} \frac{\text{cal}}{\text{cm}^3 \cdot \text{sec}}$.

3. Die Rotationstheorien bilden die letzte Art erdmagnetischer Theorien.

Wie aus der nebenstehenden systematischen Übersichtstabelle zu ersehen ist, befriedigen alle Rotationstheorien, die im Rahmen des bisher Bekannten bleiben, quantitativ durchaus nicht: das aus diesen Theorien folgende Rotationsmagnetfeld der Erde ergibt sich um mehrere Zehnerpotenzen (10^8 bis 10^{24} mal) kleiner als das tatsächlich vorhandene Feld. Lediglich die Rotationstheorien der Gruppe V 6, die Abänderungen an den elektrodynamischen Grundgleichungen vornehmen, kommen zu auch quantitativ ausreichenden Magnetfeldern. Das sei an einem Beispiel näher erläutert.

Die Theorie V 6 d beruht auf der Annahme, daß die abstoßende Kraft zwischen zwei Protonen (e_+) in einer gewissen Entfernung r verschieden ist von der abstoßenden Kraft zwischen zwei Elektronen (e_-) in derselben Entfernung und verschieden von der anziehenden Kraft zwischen einem Proton und einem Elektron in der gleichen Entfernung r :

$$\mathfrak{R}_{++} = (1 + \alpha) \cdot \frac{e_+ \cdot e_+}{r^2}; \quad \mathfrak{R}_{--} = (1 + \beta) \cdot \frac{e_- \cdot e_-}{r^2}; \quad \mathfrak{R}_{+-} = 1 \cdot \frac{e_+ \cdot e_-}{r^2} \dots (9)$$

Die in diesen Kraftansätzen auftretenden Konstanten α und β lassen sich unter Zuhilfenahme der Gravitation und des Erdmagnetismus ermitteln. Die Gravitation liefert die Beziehung

$$(\alpha + \beta) = -\varkappa \cdot \left(\frac{m_p + m_e}{e} \right)^2 \dots \dots \dots (10)$$

Rotationstheorien des Erdmagnetismus

Ursprung des Erdmagnetismus	Diskutiert von	Kurze Kritik
<p>I. Rotation neutraler Materie</p>	<p>a) Schuster 1891/93 b) Lord Kelvin 1892/93 c) J. J. Thomson 1894 d) von Bezold 1898/95</p>	<p>Nur allgemein gehaltene Vermutungen ohne nähere Begründung oder Ausarbeitung.</p>
<p>II. Rotation der negativen Oberflächenladung der Erde</p>	<p>a) Rowland 1876/79 b) Ayrton-Perry 1879 c) Siemens 1883 d) Szarvassi 1902 e) Arrhenius 1903 f) Pflüger 1905/06</p>	<p>Das erzeugte Magnetfeld ist 10^8mal zu klein und hat eine falsche Form für den mitrotierenden Beobachter.</p>
<p>III. Rotation der Erde mit ihren Materieatomen; Ursache des Magnetfeldes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Magnetomechanischer (gyromagnetischer) Effekt 2. Unterschied zwischen dem mittleren quadratischen Abstand der Atomhüllenelektronen von der Rotationsachse der Erde und dem Abstandquadrat des zugehörigen Atomkerns 	<p>a) Barnett 1914 b) Einstein-de Haas 1915</p> <p style="text-align: right;">Haalcck 1929</p>	<p>Das erzeugte Magnetfeld ist 10^{10}mal zu klein</p> <p style="text-align: right;">10^{14}mal zu klein.</p>

<p>IV. Rotation der Erdmasse mit einer Quasi-Ladung oder einer Quasi-Doppel-ladung</p>	<p>a) Sutherland I 1900 b) Bauer 1912 c) Décombe 1922 d) Einstein 1924 e) Angenheister 1924/1925</p>	<p>Das Vorhandensein dieser Quasi-Ladungen wird nicht näher begründet.</p>
<p>V. Rotation der Erde mit innerer Raum- und äußerer Oberflächenladung oder mit ineinander geschichteten Raum-ladungen; Ladungstrennung ist er-zeugt durch:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Zentrifugalwirkung auf freie Elek-tronen 2. Unterschied der Zentrifugalwirkung auf Atomkerne und gebundene Elek-tronen (Zentrifugal-Polarisation) 3. thermoelektrische Kräfte 4. Gravitationswirkung auf freie Elek-tronen 5. Unterschied der Gravitationswir-kung auf Hüllen - Elektronen und zugehörige Atomkerne (Gravitations-Polarisation) 6. Abänderung der elektrodynamischen Grundgleichungen 	<p>a) Lebedew 1911/12 b) Swann 1916</p> <p>Schlomka 1933 Swann 1916 Swann 1916</p> <p>Schlomka 1933</p> <p>a) Sutherland II—IV 1903/04 b) Schuster 1912 c) Swann 1923/27 d) Schlomka 1927/33</p>	<p>Der Größenordnung nach unzureichend (10¹⁷ bis 10²⁴mal zu klein) und zum Teil von falscher Form des Magnetfeldes.</p>

wo α die Gravitationskonstante in $\text{dyn} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-2}$, m_p bzw. m_e die Masse eines Protons bzw. Elektrons in g und e die Elementarladung in $\text{dyn}^{1/2} \cdot \text{cm}$ bedeuten. Diese Gleichung wird dadurch erhalten, daß man die zwischen den Protonen und Elektronen zweier Körper nach (9) wirkenden Einzelkräfte summiert. Da α und β einen zwar kleinen, aber doch endlichen Wert haben, bleibt bei der Summation eine elektrische Restkraft übrig; identifiziert man diese mit der Gravitation, so ergibt sich obige Gl. (10).

Eine weitere Folge der Ansätze (9) ist, daß in jedem Körper eine Polarisation jedes einzelnen Atoms auftreten muß. Bei einer Kugel ist diese Polarisation eine radiale: das betrachtete Atom als Ganzes bleibt an seiner Stelle, der Atomkern wird aber innerhalb seiner Elektronenhülle in Richtung des Kugelmittelpunkts zum Erdmittelpunkt hin verschoben um ein Stück b , das bestimmt ist durch

$$b = (\beta - \alpha) \cdot a \cdot \frac{4 \pi \rho^3 d}{3 \cdot (m_p + m_e) \cdot N_2} \dots \dots \dots (11)$$

wo d die Dichte der betreffenden Kugel, N_2 die Ordnungszahl und ρ den Atomradius der die Kugel bildenden Atome bedeuten, und wo a gleich dem Abstand des betrachteten Atoms vom Kugelmittelpunkt ist. Die Polarisationsverschiebung b ist also proportional der Größe $(\beta - \alpha)$ und der Mittelpunktse Entfernung a . Die durch den Bruch in Gl. (11) bestimmte Proportionalitätskonstante nimmt beim Erdkörper nach Einsetzen der in Frage kommenden Größen den Wert 1 an, so daß die Polarisation der Atome der Erdkugel gegeben ist durch

$$b = a \cdot (\beta - \alpha).$$

Jede derartig polarisierte Kugel muß nun bei einer Rotation ein Magnetfeld erzeugen, das sowohl von einem an der Rotation nicht teilnehmenden, als auch von einem mitrotierenden Beobachter wahrgenommen werden kann. Identifiziert man das so nach den Ansätzen (9) zwangsweise bei der Rotation der Erde auftretende Magnetfeld mit dem tatsächlich vorhandenen — diese Identifikation ist deshalb zulässig, weil beide Magnetfelder dieselbe Form haben —, so erhält man schließlich die Gleichung

$$\beta - \alpha = + 0,13 \cdot 10^{-18},$$

die zusammen mit der aus (10) sich ergebenden Beziehung

$$\beta + \alpha = - 0,80 \cdot 10^{-36}$$

folgende Werte liefert:

$$\alpha = - 0,65 \cdot 10^{-19} - 0,4 \cdot 10^{-36}$$

$$\beta = + 0,65 \cdot 10^{-19} - 0,4 \cdot 10^{-36}$$

Mit den so festgelegten Werten von α und β wird also erstens eine Erklärung der Gravitation im Sinne einer Zurückführung auf elektrische Differenzkräfte geschaffen und zweitens eine Erklärung des Erdmagnetismus geliefert durch die

Rotation der radial polarisierten Atome des Erdkörpers. Eine Berechtigung hat eine derartige Theorie natürlich aber erst dann, wenn man mit den Konstanten α und β nicht nur die beiden Erscheinungen erklären kann, die man eben zur Berechnung dieser zwei Konstanten herangezogen hat — das wäre dann nur eine *theoria ad hoc* —, sondern wenn man auch andere bisher rätselhafte Tatsachen dadurch aufklärt oder neue, experimentell prüfbare Erscheinungen voraussagt. Beides trifft hier zu:

a) Das aus der Theorie folgende allgemeine Oberflächenmagnetfeld der Sonne stimmt mit dem tatsächlich dort vorhandenen recht gut überein.

b) Bei Anwesenheit von zwei oder mehr Körpern treten nach dieser Theorie in jedem derselben nicht nur innere Polarisationen der Atome auf. Die Körper beeinflussen sich auch gegenseitig in den $(\beta - \alpha)$ -Polarisationen. Es folgt so eine berechenbare Beeinflussung der Gravitation durch ein Zwischenmedium.

c) Alle bisherigen Rotationstheorien des Erdmagnetismus können nur den rotationssymmetrischen Anteil des erdmagnetischen Feldes erklären. Demgegenüber läßt sich aus den obigen Vorstellungen auch der Einfluß der Massenverteilung in der Erdkruste auf das erdmagnetische Feld zahlenmäßig ableiten.

Diese und andere Prüfungsmöglichkeiten zeigen wohl deutlich, daß die aufgestellte Theorie nicht eigens für die Erklärung von Gravitation und Erdmagnetismus zurechtgeschnitten ist, sondern daß es sich um eine allgemeine Arbeitshypothese handelt, die unter anderem auch zu verschiedenen Experimentalarbeiten Anlaß gibt und geeignet erscheint, mehrere bisher getrennte Gebiete in einem gemeinsamen Ausgangspunkte zu vereinigen. —

Der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft sei für die Gewährung eines Forschungsstipendiums bestens gedankt. —

Greifswald, Physikalisches Institut der Universität.

Eine hochempfindliche magnetische Feldwaage

Von **J. B. Ostermeier**, Augsburg — (Mit 4 Abbildungen)

Die meist verbreitete Methode der geophysikalischen Forschung in ihrer Anwendung zur Unterstützung geologischer Untersuchungen ist die Bestimmung der vertikalen erdmagnetischen Richtkraft. Die Feldwaage nach dem Lloydschen Prinzip bietet allein ein zuverlässiges Mittel, die Vertikalintensitätswerte an verschiedenen Orten vergleichbar zu bestimmen. Damit war die Basis für eine erfolgreiche Anwendung der magnetischen Messungen zur Unterstützung der geologischen Untersuchung gegeben. Die bisher erreichbare Genauigkeit von etwa ± 4 bis 5γ reicht jedoch für manche Fälle nicht aus.